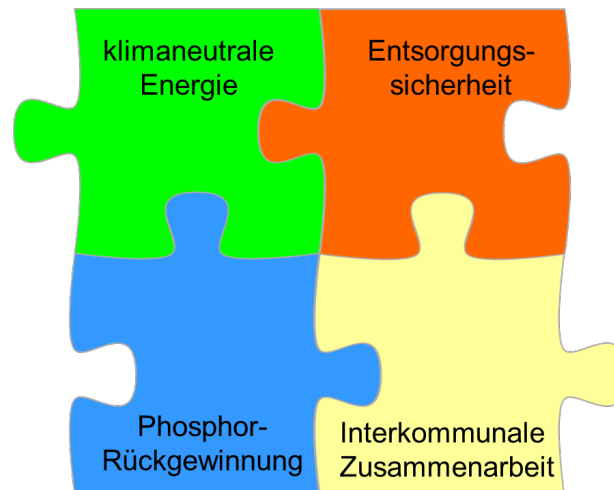


Machbarkeitsstudie

Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm

Klärwerk Schlitz



Endbericht

**Gefördert mit Mitteln des Hessischen Ministeriums
für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz**

**Fördermittelbescheid vom 11.07.2019, Geschäftszeichen I1-003d 10
Bewilligungszeitraum: bis 30.09.2020**

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
1 Veranlassung und Ziele	1
2 Konkretisierung der für die Studie notwendigen Basisdaten	6
2.1 Klärschlamm Entsorgungsbund, beteiligte Kommunen und Verbände sowie Lieferanten von Co-Substraten	6
2.2 Konkretisierung und Festlegung der zu behandelnden Klärschlamm- und Co-Substratmengen für die weitere Planung	8
2.3 Abfrage, Konkretisierung und Bewertung der jeweiligen Klärschlammzusammensetzung in Bezug auf DüMV, AbfKlärV	11
2.4 Recherche zum Volatilisierungsverhalten von Nickel - Bewertung der Auswirkung auf die Aschequalität	14
2.5 Eigenschaften einer virtuellen Klärschlammmasche nach thermischer Umsetzung des Klärschlammes aus dem Einzugsgebiet	15
3 Technische Bewertung von Verfahrenskombinationen unter der Prämisse „Weitestgehende Rückgewinnung der Ressource Phosphor aus dem Klärschlamm“	18
3.1 Grundsätze zur Festlegung von Verfahren zur Phosphorrückgewinnung auf der Kläranlage Schlitz	18
3.2 Vortrocknung vor der Verbrennung auf der Kläranlage Schlitz	20
3.2.1 Einbeziehung der auf der Kläranlage Schlitz vorhandenen solarthermischen Klärschlamm Trocknungsanlage	22
3.2.2 Bewertung der Rückbelastung der Abwässer aus Klärschlamm-Trocknungsanlagen bei den verschiedenen Trocknungstechnologien, Abwassermengen	24
3.2.3 Bewertung der Rückbelastung der Abwässer aus Klärschlamm-Trocknungsanlagen bei den verschiedenen Trocknungstechnologien, Abwasserzusammensetzung	25
3.2.4 Rückbelastung bei Einleitung der Brüdenkondensate aus der Klärschlamm Trocknung, CSB- und NH ₄ -N-Frachten	26
3.3 Recherche und Dokumentation des Stands der Entwicklung und Technik bei verschiedenen P-Rückgewinnungsverfahren	27

3.4	Technische Bewertung verschiedener Verfahren zur thermischen Klärschlammbehandlung	30
3.4.1	Übersicht	30
3.4.2	Wirbelschichtverfahren	31
3.4.3	Drehrohr-Technik	34
3.4.4	KlärschlammReformer, Fa. Thermo-System	38
3.5	Emissionen aus der thermischen Klärschlammbehandlung	42
3.5.1	Übersicht	42
3.5.2	Emissionsminderung	43
3.5.3	Emissionsminderung saurer Schadgase	44
3.5.4	Bewertung der Rückbelastung der Abwässer aus der Klärschlammverbrennung mit Phosphorrückgewinnung (Abwassermengen, Abwasserzusammensetzung)	45
3.6	Vorversuche im Pilotmaßstab zur thermischen Behandlung und P-Rückgewinnung	45
4	Bewertung verschiedener Verfahren zur Produktion eines Sekundärrohstoffs mit sehr guter Pflanzenverfügbarkeit und Entfrachtung von Schadstoffen	54
4.1	Szenarien zum Phosphorrecycling aus Klärschlammaschen	54
4.1.1	Szenario P1: Direkte Nutzung der Klärschlammasche in der regionalen Düngemittelproduktion	54
4.1.2	Szenario P2: Behandlung des Klärschlamm nach dem EuPhoRe®-Verfahren und Erzeugung eines Vorprodukts zur Abgabe in die Düngemittelindustrie	55
4.1.3	Szenario P3: Fertigung eines verkaufsfähigen Düngers am Standort Schlitz (z.B. pontes pabuli-Verfahren)	55
4.2	Bewertung der Szenarien P1 bis P3	56
4.3	Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit der P-Rezyklate	58
4.4	Kriterienkatalog zur Entlassung der P-Rückgewinnungsprodukte aus dem Abfallrecht	64
5	Dialoge mit regionalen Akteuren aus Kommunen, Abwasserverbänden, Landwirtschaft, weiteren Lebensmittelproduzenten und Lebensmittelhandel	66
5.1	Dialogforen	66

5.2	Dialoge mit Marktteilnehmern	66
5.2.1	Dialog mit der Düngemittelindustrie	66
5.2.2	Dialog mit dem Amt für den ländlichen Raum sowie dem Kreisbauernverband	67
5.2.3	Dialog mit Lebensmittelproduzenten, Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft VGMS e.V., Getreidemühlen	68
5.2.4	Dialog mit Lebensmittelhandel, Fa. tegut ... gute Lebensmittel GmbH & Co. KG	70
5.2.5	Stellungnahme und Akzeptanzkriterien des Bioland-Verbandes	73
5.3	Zusammenfassung Dialoge, Strategien zur Verwertung des P-Rezyklats in der Düngemittelindustrie, Rückführung des Sekundärrohstoffes in die regionale Landwirtschaft über regionale Düngemittelvermarkter	74
6	Gesamtkonzept	76
6.1	Ziele des Klärschlammverwertungsverbundes Region SchlitZ	76
6.2	Mögliche Szenarien für den Klärschlammverwertungsverbund SchlitZ	76
6.3	Erforderliche Anpassung der Klärschlamm Trocknungsanlage auf der Kläranlage SchlitZ	77
6.4	Verfahrenstechnische Konzeptionen der verschiedenen Szenarien	79
6.4.1	Szenario 1: Trocknung bis ca. 50 %, Verbrennung im Drehrohfen, Phosphor-Recycling als direkte Ascheverwertung in der Düngemittelindustrie	79
6.4.2	Szenario 2: Trocknung bis ca. 85 %, Verbrennung im Drehrohfen, Phosphor-Recycling als direkte Ascheverwertung in der Düngemittelindustrie	80
6.4.3	Szenario 3: Nutzung der vorhandenen Solartrocknung für einen Teilstrom sowie eines weiteren Kontaktrockners, Verbrennung in einem Etagenofen, Phosphor-Recycling als direkte Ascheverwertung in der Düngemittelindustrie	81
6.5	Kostenvergleich der betrachteten Szenarien	82
6.5.1	Investitionen	82
6.5.2	Betriebskosten	82
6.5.3	Jahreskosten	83
6.6	Rechtliche Anforderungen an die Errichtung eines Klärschlammzwischenlagers, einer Trocknung, Verbrennung und Phosphor-Rückgewinnung auf der Kläranlage SchlitZ	84

6.6.1	Genehmigungsverfahren	84
6.6.2	Inverkehrbringung des P-Rezyklates und Entlassung aus dem Abfallrecht	85
7	Erarbeitung eines Realisierungsvorschlags	87
7.1	Kriterien zur Auswahl des Verfahrens der Klärschlammbehandlung durch Trocknung, Verbrennung und Phosphor-Rückgewinnung	87
7.1.1	Kriterium Kostenvergleich	87
7.1.2	Kriterium Einhaltung der Grenzwerte der Düngemittelverordnung	87
7.1.3	Kriterium Pflanzenverfügbarkeit und Förderfähigkeit	88
7.1.4	Kriterium Platzbedarf	89
7.1.5	Kriterium Genehmigungsumfang	90
7.1.6	Kriterium Ausfallrisiko bez. Erfüllung P-Recyclingpflicht	90
7.1.7	Kriterium Erfordernis zum Aufbau von Vertriebsstrukturen	90
7.1.8	Kriterium Erfüllungsgrad des Regionalitätsanspruchs der P-Rückgewinnung	91
7.1.9	Kriterium technologischer Reifegrad	91
7.2	Empfehlung für die Ableitung eines Realisierungsvorschlags	91
8	Literatur	94
9	Anhang	97
9.1	Teilnehmerliste 1. Dialogforum Phosphor am 06.02.2020	97
9.2	Versuchsbericht des Instituts für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen über die Phosphor-Pflanzenverfügbarkeit von verschiedenen Phosphor-Rezyklaten im Rahmen der Machbarkeitsstudie	99
9.3	Stellungnahme zur organisatorischen und juristischen Einbindung des Phosphor-Recyclings in die bestehende und zukünftige Kooperation, AX Rechtsanwälte Neckargemünd	111

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Übersicht über die Klärschlämme der Kläranlagen des Klärschlammverbundes Schlitz, die über die Faulung der Kläranlage Schlitz angenommen werden (als t TR/a)	7
Abb. 2-2:	Übersicht über die im Klärschlammverbund Schlitz angenommenen sowie in der Faulung behandelten Co-Substrate ab 2020 (als t TR/a)	7
Abb. 2-3:	Übersicht über die im Klärschlammverbund Schlitz zusätzlich angenommenen kommunalen Klärschlämme, die lediglich über Trocknung und P-Recycling verwertet werden, voraussichtlich ab 2021 (als t TR/a)	8
Abb. 3-1:	Abhängigkeit des Heizwertes von Klärschlamm vom TR-Gehalt sowie Glühverlust (entspr. oTR-Gehalt) (Dünnebeil, 2017)	19
Abb. 3-2:	Einordnung des entwässerten Schlamms des Klärschlammverbundes Schlitz, mit i.M. 27 % TR, 54,3 % oTR (im TR), Brennstoff-Dreiecksdiagramm inkl. Kennzeichnung des selbstgängigen autarken Verbrennungsbereiches (gilt für Wirbelschichtverbrennungsanlagen) (nach Heindl et. al., 2020)	20
Abb. 3-3:	Einordnung verschiedener Trocknerarten (nach Tomalla., 2017)	21
Abb. 3-4:	Thermische Verfahren der Klärschlammbehandlung, Darstellung in Anlehnung an (nach Franck, J., Schröder, L., 2015, S. 463, erweitert).	31
Abb. 3-5:	Kraftwirkung am Feststoffpartikel (Thomé-Kozmiensky, K. J., 2013, S. 4)	32
Abb. 3-6:	Stationäre (links) und zirkulierende Wirbelschichtfeuerung (rechts) (Thomé-Kozmiensky, K.J., 2013, S. 14)	34
Abb. 3-7:	Drehrohr-Ofen mit außen liegender Beheizung, Fa. IBU-tec advanced materials AG, Weimar, Homepage www.IBU-tec.de	35
Abb. 3-8:	EuPhoRe [®] -Verfahren als Vorschaltanlage vor einer Müllverbrennungsanlage (Klose, 2018)	36
Abb. 3-9:	Baugrößen Klärschlammbehandlung Schneckenrocktrockner plus Drehrohrkessel, Fa. WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH (WERKSTÄTTEN GmbH, 2020); je Modul Auslegung auf 500 kW _{th} sowie Betriebsdauer von 7.150 h/a	37
Abb. 3-10:	Trockner mit Abluftbehandlung, Referenzanlage Schüttorf, Foto: WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH	37
Abb. 3-11:	Drehrohrofen mit Abgasreinigung, Referenzanlage Schüttorf, Foto: WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH	38
Abb. 3-12:	Verfahrenskonzept zur dezentralen thermischen Verwertung von Klärschlamm aus vorgeschalteter Trocknung und mehrstufiger Verbrennung (KlärschlammReformer (Thermo-System, 2020)	39
Abb. 3-13:	Verfahrenskomponenten der KlärschlammReformer-Anlage (Thermo-System, 2020)	40
Abb. 3-14:	KlärschlammReformer, Fa. Thermo-System auf der Kläranlage Renningen (Thermo-System, 2020)	41

Abb. 3-15: KlärschlammReformer-Halle mit Annahmehunker, Rauchgasreinigung und BigBag-Befüllstation, Fa. Thermo-System auf der Kläranlage Renningen (Thermo-System, 2020)	41
Abb. 3-16: Einteilung der Verfahren zur Minderung saurer Schadgase (Löschau, 2014, S. 233)	44
Abb. 4-1: Fließbild des pontes pabuli-Verfahrens	56
Abb. 4-2: CAL-lösliches P in Bodenproben nach der Keimung des Weidelgrases in Abhängigkeit von der Düngungsvariante und dem Bodensubstrat. Varianten „ohne Additive“, „2,25 % MgCl ₂ “ und „2,25 % Polychlorid“: Rezyklat aus Klärschlamm Schlitz gem. EuPhoRe [®] -Verfahren; Varianten „GRU/AS“ und „REN/AS“ Rezyklate, aus den Klärschlammen aus Grünstadt bzw. Renningen unter Einsatz des Thermo-System-Verfahrens	60
Abb. 4-3: Einfluss der Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat) auf die in drei Schnitten erzielte Sprosstrockenmasse (g TM/Gefäß) von Welschem Weidelgras in Abhängigkeit von Düngungsvariante und Bodensubstrat. Varianten „ohne Additive“, „2,25 % MgCl ₂ “ und „2,25 % Polychlorid“: Rezyklat aus Klärschlamm Schlitz gem. EuPhoRe [®] -Verfahren; Varianten „GRU/AS“ und „REN/AS“ Rezyklate, aus den Klärschlammen aus Grünstadt bzw. Renningen unter Einsatz des Thermo-System-Verfahrens.	61
Abb. 4-4: Exemplarisches Bild des Wachstums von Welschem Weidelgras in Abhängigkeit von Düngungsvariante. Varianten „ohne Additive“, „2,25 % MgCl ₂ “ und „2,25 % Polychlorid“: Rezyklat aus Klärschlamm Schlitz gem. EuPhoRe [®] -Verfahren; Varianten „GRU/AS“ und „REN/AS“ Rezyklate, aus den Klärschlammen aus Grünstadt bzw. Renningen unter Einsatz des Thermo-System-Verfahrens.	62
Abb. 4-5: Bemessung der Input- und Outputqualität bei der Erzeugung des P-Rezyklates im Rahmen der Entlassung aus dem Abfallrecht	65
Abb. 7-1: Aufstellungsvorschlag Vorlagebunker, Klärschlamm-trocknung, Abluftbehandlung und Drehrohrofen	92

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz angelieferten Klärschlämme und Co-Substrate, mit mittleren TR- und oTR-Gehalten, Bestand 2019, Behandlungsverfahren auf der Kläranlage: ED: Voreindickung, FB: Faulbehälter, Ent: Entwässerung, Tro: Trocknung:, P: P-Recycling	9
Tab. 2-2:	Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz zusätzlich zukünftig angelieferten Klärschlämme ausschließlich zur Entwässerung (teilweise), Trocknung und Phosphor-Recycling, mit mittleren TR- und oTR-Gehalten, voraussichtlich ab 2021, Behandlungsverfahren auf der Kläranlage: ED: Voreindickung, FB: Faulbehälter, Ent: Entwässerung, Tro: Trocknung:, P: P-Recycling	10
Tab. 2-3:	Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz insgesamt zukünftig angelieferten Klärschlämme und Co-Substrate, mit mittleren TR- und oTR-Gehalten, ab 2020, Behandlungsverfahren auf der Kläranlage: ED: Voreindickung, FB: Faulbehälter, Ent: Entwässerung, Tro: Trocknung:, P: P-Recycling	10
Tab. 2-4:	Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz nach Faulung und Entwässerung weiter zu verarbeitenden Schlammmenge, ab 2020	11
Tab. 2-5:	Anforderungen an Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost auf oder in den Boden gemäß AbfKlärV, 2017, DüMV, 2019, EU-Düngemittelverordnung 2019	12
Tab. 2-6:	Zusammensetzung der virtuellen Asche gem. aktuellem Bestand und bei Einbeziehung von Partnerkommunen im Vergleich zu den Grenzwerten der deutschen und Europäischen Düngemittelverordnung.	16
Tab. 3-1:	Vergleich von Kontakttrocknung und Bandtrocknung [modifiziert nach (Heindl et. al., 2020) sowie (Roskosh, Heidecke, 2018)]	22
Tab. 3-2:	Zusammenstellung verschiedener Analysen-Werte von Brüdenkondensaten aus der Klärschlamm-trocknung	26
Tab. 3-3:	Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlamm (KS) und Klärschlamm-asche (KSA) (Adam, 2018), Teil 1	28
Tab. 3-4:	Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlamm (KS) und Klärschlamm-asche (KSA) (Adam, 2018), Teil 2	29
Tab. 3-5:	Technische Daten der aktuell von Thermo-System angebotenen Baugröße des Klärschlamm-Reformers (Thermo-System, 2020)	42
Tab. 3-6:	Wirk- und Reaktionsprinzipien zur Abscheidung von Schadstoffen in der Abgasreinigung, [Fink, M. 2019, Darstellung in Anlehnung an: [Löschau, 2014, S. 93]]	43
Tab. 3-7:	Analysenergebnisse von teilgetrocknetem Klärschlamm, Kläranlage Schlitz, sowie von Aschen der Versuche zur reduktiv-oxidativen thermischen Behandlung nach dem EuPhoRe®-Verfahren; Versuchsdurchführung bei IBU-tec advanced materials AG, Weimar, 25. – 26.11.2019, erhöhter Nickeleintrag durch fehlerhafte Sonde, Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel	48

Tab. 3-8:	Analysenergebnisse von teilgetrocknetem Klärschlamm, Kläranlage Schlitz, sowie von Aschen der Versuche zur reduktiv-oxidativen thermischen Behandlung nach dem EuPhoRe®-Verfahren; Versuchsdurchführung bei IBU-tec advanced materials AG, Weimar, 04.03.2021, Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel	49
Tab. 3-9:	Analysenergebnisse von getrocknetem Klärschlamm sowie von Aschen des KlärschlammReformers (Schlammverbrennung) der Fa. Thermo-System der Kläranlage Grünstadt; Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel	50
Tab. 3-10:	Analysenergebnisse von getrocknetem Klärschlamm sowie von Aschen des KlärschlammReformers (Schlammverbrennung) der Fa. Thermo-System der Kläranlage Renningen; Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel	51
Tab. 4-1:	Im Rahmen der Verfahrensauswahl zu berücksichtigende Aspekte	57
Tab. 4-2:	Gesamt-P-Gehalte P _{total} und P-Extrahierbarkeit in Zitronensäure und Neutralammoniumcitrat sowie Eisengehalt der getesteten Rezyklate	59
Tab. 4-3:	Kriterienkatalog für die Entlassung des P-Rezyklats aus dem Abfallrecht	65
Tab. 6-1:	Zuordnung der relevanten Anlagen – sofern geplant und erforderlich – zu den Abschnitten der 4. BImSchV (Anh. 1); G: Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 10 BImSchG), V: Vereinfachtes Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 19 BImSchG), E: Anlage nach der Industrieemissions-Richtlinie.	85

1 Veranlassung und Ziele

Mit der im Oktober 2017 in Kraft getretenen Novelle der AbfKlärV sowie den Änderungen in der Düngegesetzgebung hat sich die Verwertung von Klärschlamm drastisch geändert. In absehbarer Zeit endet für viele auch kleinere Kläranlagen die Möglichkeit der landwirtschaftlichen Klärschlamm-Verwertung und für Anlagen größer 50.000 EW ist die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm zu erfüllen. Weiterhin bedingt die Limitierung des Stickstoffeintrages in landwirtschaftlich genutzte Flächen eine unmittelbare Konkurrenz zwischen landwirtschaftlich verwertbaren Klärschlämmen und anderen Nährstoffträgern wie Gülle, Festmist oder flüssigen Gärresten. Für viele Kläranlagen, besonders im ländlichen Raum, existiert gegenwärtig keine gesicherte und zukunftsfähige Klärschlammverwertungsmöglichkeit.

Vor diesem Hintergrund wurde die vorliegende Machbarkeitsstudie erarbeitet, welche die Verwertung kommunaler Klärschlämme als Phosphor-Ressource für den Klärschlammverbund Schlitz und Umgebung im Fokus hat. Es wurde eine Projektgruppe mit dem Ziel der Entwicklung einer nachhaltigen, gesetzeskonformen Klärschlammentsorgung in der Region Schlitz (Osthessen) ins Leben gerufen. Das Projekt verfolgt das Ziel, für den bereits bestehenden Entsorgungverbund im Bereich Schlitz eine dauerhafte Entsorgungssicherheit für die regionalen Klärschlämme mit nachgelagerter Phosphorrückgewinnung zu erreichen. Die Machbarkeitsstudie dient der Entwicklung eines zukunftssicheren kommunalen Konzeptes im Rahmen der Ressourcenschutz-Strategie des Landes Hessen und leistet einen Beitrag zur Daseinsvorsorge im Bereich der Klärschlammentsorgung. Der Ressourcenschutz umfasst dabei den Schutz des Bodens und des Grundwassers sowie die effiziente Rückgewinnung von Phosphor und den Ausbau der regenerativen Energieversorgung. Dazu sind regionale Wertschöpfungsketten und Stoffkreisläufe zu entwickeln.

Ziele des Klärschlammverwertungskonzeptes sind also vorrangig

- eine hohe Entsorgungssicherheit für die beteiligten Kläranlagenbetreiber,
- stabile marktgerechte Entsorgungspreise für die beteiligten Kläranlagenbetreiber,
- eine weitestgehende Phosphorrückgewinnung,
- eine Rückführung des Phosphor-Rezyklats in die regionale Landwirtschaft,
- eine insgesamt möglichst geringe CO₂-Emission, auch unter Berücksichtigung von Transportaufwendungen.

Für eine weitgehende Verwertung sowie Phosphor-Rückgewinnung ist eine zentrale Verbrennungs- und -Rückgewinnungsanlage aus der Asche am Standort Schlitz obligatorisch. Aufgrund der anzunehmenden Fremdschlämme wird neben der Phosphor-Rückgewinnung auch ein nachhaltiges Konzept zur thermischen Verwertung mit Teiltrocknung der Klärschlamm betrachtet.

Verfahren der Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser, Schlammwasser oder Klärschlamm werden nicht berücksichtigt, da diese Verfahren das übergeordnete Ziel einer weitestgehenden Phosphor-Rückgewinnung mit Rückgewinnungsquoten > 80 % nicht gewährleisten können (siehe auch Tab. 3-3Tab. 3-3).

Pyrolyseverfahren sowie Verfahren mit der hydrothermalen Carbonisierung von Klärschlamm werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Pyrolysekoks und Karbonisate von Klärschlamm aus HTC-Anlagen weisen aktuell keine düngerechtliche Zulassung gemäß DüMV auf. Beide Verfahren könnten daher ausschließlich als Vorstufe zu einer Verbrennung eingesetzt werden. Damit wären Sie Alternativen zur Klärschlamm-trocknung, sind aber spezifisch deutlich teurer.

Mit Datum 30.10.2019 beauftragten die Stadtwerke Schlitz die TransMIT GmbH mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur Entwicklung eines regionalen Konzeptes zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm oder Klärschlamm-asche auf dem Klärwerk Schlitz.

Projektleiter der TransMIT GmbH sind Prof. Dr.-Ing. Ulf Theilen und Prof. Dr. rer. nat. Harald Weigand.

Der Auftrag beinhaltet folgende Arbeitspakete:

Arbeitspaket 1:

Konkretisierung der Basisdaten (siehe Kap. 2)

Zunächst wurden die Basisdaten für das Phosphor-Recycling-Konzept zusammengestellt. Dies umfasste im Wesentlichen:

- Konkretisierung und Festlegung der zu behandelnden Klärschlamm-mengen für die weitere Anlagenplanung
- Bewertung der jeweiligen Klärschlamm-zusammensetzung (Klärschlamm-analysen in Bezug auf DüMV, AbfKlärV sowie Anforderungen an Verbrennungstechnologie und Emissionsschutz)
- Bewertung der jeweiligen Klärschlamm-zusammensetzung in Bezug auf TS-Gehalt, Anteil organischer Stoffe (oTS-Gehalt), P-Gehalt

Die Auswertung der Klärschlamm-mengen sowie der -zusammensetzung erfolgte mit den seitens des Auftraggebers sowie der in das Konzept einzubeziehenden Kommunen und Verbände anhand der von Gewerbe- und Industriebetrieben bereitgestellten Daten.

Es wurden – sofern verfügbar – die Klärschlamm-mengen sowie die -zusammensetzung der Jahre 2017 – 2019 ausgewertet.

Arbeitspaket 2:

Technische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren der Phosphor-Rückgewinnung unter der Prämisse „Weitestgehende Rückgewinnung der Ressource Phosphor aus dem Klärschlamm“ (siehe Kap. 3, 6 und 7)

Prämisse des geplanten Verbundes zur Phosphor-Rückgewinnung in Osthessen ist die weitestgehende Rückgewinnung des enthaltenen Phosphors. Aufgrund der bei Verfahren zur P-Rückgewinnung aus dem Schlamm direkt bzw. dem Schlammwasser limitierten Rückgewinnungsrate von maximal 50 % (eher 20 – 40 %) beschränkt sich diese Machbarkeitsstudie auf die Verfahren,

mit denen die Phosphorrückgewinnung aus der Klärschlammasche durchgeführt wird. Verfahren aus Teilströmen wie Schlammwasser werden hier nicht beachtet.

Laut Aufforderung zur Abgabe eines Angebotes sollen *„für ausgewählte Verfahren (insbesondere Verfahren zur Pyrolyse und Nachverbrennung) ... in diesem Arbeitspaket – bei Eignung und Verfügbarkeit – auch kurze pilotmaßstäbliche Untersuchungen zur P-Rückgewinnung durchgeführt werden“*.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden Vorversuche im Pilotmaßstab mit einem thermochemischen reduktiv-oxidativen Verfahren mit einer spezifischen Klärschlammprobe vorgesehen, wobei mit Hilfe von Chlordonatoren Schwermetalle als Schwermetallchloride volatilisiert werden und damit die Asche entfrachtet wird. Diese Vorversuche wurden im November 2019 bei IBU-tec advanced materials AG, Weimar, durchgeführt. Die bei diesen Vorversuchen erforderliche chemische Analytik des Klärschlammes (Input Versuche) sowie der Klärschlammasche (Produkt) wurde ebenfalls durchgeführt (siehe Kap. 3).

Für das Gesamtkonzept wurden 3 Szenarien mit unterschiedlichen Verfahrenskombinationen aus Klärschlamm-trocknung und thermischer Behandlung zur Bereitstellung der Klärschlammasche als Grundstoff für die Düngemittelindustrie untersucht und bewertet.

Aufgrund der Bewertung wurde ein Realisierungsvorschlag erarbeitet.

Arbeitspaket 3:

Technische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren zur Produktion eines Sekundärrohstoffs mit sehr guter Pflanzenverfügbarkeit und Entfrachtung von Schadstoffen (siehe Kap. 4)

Dieses Arbeitspaket wurde in direkter Koppelung mit dem Arbeitspaket 2 bearbeitet. Es wurden verschiedene Verfahren unter den Aspekten der Produktion und Vermarktung eines P-Recycling-Düngers untersucht. Die Bewertung der Verfahren berücksichtigt unter anderem die folgenden Aspekte:

- Einsetzbarkeit des Rezyklats in der Düngemittelindustrie
- Pflanzenverfügbarkeit des gewonnenen Sekundärrohstoffs
- Handhabbarkeit des gewonnenen Sekundärrohstoffs in der Landwirtschaft (Konditionierung, Konfektionierung)
- Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, Kosten und Erlöse für den produzierten Sekundärrohstoff
- Unterstützung von regionalen Lebensmittelproduzenten bei der Nutzung der Sekundärrohstoffe

Laut Aufforderung zur Abgabe eines Angebotes sollen *„für ausgewählte Verfahren ... in diesem Arbeitspaket – bei Eignung und Verfügbarkeit – auch Produktanalysen und Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des im Rahmen der pilotmaßstäblichen Untersuchungen zur P-Rückgewinnung (siehe Arbeitspaket 2) gewonnenen P-Rezyklats durchgeführt werden.“*

Die in den Untersuchungen im Pilotmaßstab mit einem thermochemischen reduktiv-oxidativen Verfahren (siehe Erläuterungen zum Arbeitspaket 2) erzeugten Produkte wurden in Anlehnung an die Düngemittelverordnung sowie die Klärschlammverordnung chemisch analysiert sowie in einer Untersuchungsreihe zur Pflanzenverfügbarkeit untersucht.

Ergänzend wurden Untersuchungen mit Aschen aus einem weiteren Verbrennungs-Verfahren durchgeführt, welches für kleine bis mittlere Klärschlamm-mengen geeignet erscheint.

Diese Untersuchungen erfolgten in Kooperation mit dem Institut für Pflanzenernährung der Justus Liebig Universität Gießen, Prof. Dr. Diedrich Steffens.

Arbeitspaket 4:

Strategien zur Verwertung des P-Rezyklat in der Düngemittelindustrie, Rückführung des Sekundärrohstoffes in die regionale Landwirtschaft über regionale Düngemittelvermarkter

Das gewonnene P-Rezyklat soll regional in der Landwirtschaft verwertet werden. Hierfür ist eine Aufbereitung in ein durch die Landwirte zu handelndes Düngemittel durchzuführen. Neben einer Granulation ist auch die Produktion eines Mehrkomponenten-Düngers denkbar.

In diesem Arbeitspaket wurden verschiedene Aufbereitungsmöglichkeiten der P-Rezyklate in Kooperation mit regionalen Düngemittelherstellern untersucht sowie Vermarktungswege zusammen mit dem regionalen Landhandel auf ihre Machbarkeit hin untersucht.

Aspekte der Akzeptanz von Recycling-Düngern wurden bereits in einer Studie der THM für das HMUKLV untersucht, hier werden weitere Aspekte betrachtet.

Dieses Arbeitspaket wurde in das Kap. 5 integriert.

Arbeitspaket 5:

Aufbau einer Dialogplattform mit regionalen Akteuren aus Kommunen, Abwasserverbänden, Landwirtschaft und Lebensmittelhandel, Vorstellung der Machbarkeitsstudie im Rahmen einer Gremiensitzung

Die verschiedenen Schritte der Machbarkeitsstudie sowie die anschließende Umsetzung des ausgewählten Konzepts wurden intensiv mit den regionalen Partnern (Akteuren) aus Kommunen und Abwasserverbänden diskutiert.

In Bezug auf die Verwertung des P-Rezyklat wurde ein Dialog mit der regionalen Landwirtschaft durchgeführt. Hier war es wichtig, die Multiplikatoren aus der Düngemittelindustrie, den Landwirtschaftsverbänden sowie der Landwirtschaftskammer mit in den Prozess einzubinden.

Auch der regionale Lebensmittel-Einzelhandel als Abnehmer regionaler landwirtschaftlicher Produkte wurde in diese Dialogforen eingebunden. Die Abnahme und Vermarktung regionaler Produkte wird zunehmend für den Einzelhandel auch als Wettbewerbsargument gegenüber überregionalen Ketten (Supermärkten) bedeutsam.

Arbeitspaket 6:

Organisatorische und juristische Einbindung des Phosphor-Recyclings in die bestehende Kooperation mit anderen Kommunen und Verbänden, hierbei insbesondere von Kommunen, die lt. AbfKlärV nicht unmittelbar dem Phosphorreycling unterworfen sind

Die organisatorische und juristische Einbindung des Phosphor-Recyclings in die bestehende und zukünftige Kooperation mit anderen Kommunen und Verbänden erfolgte in Form einer Stellungnahme der Rechtsanwaltskanzlei AX Rechtsanwälte aus Neckargemünd vom 24.09.2020, welche dem Anhang 9.3 zu entnehmen ist.

2 Konkretisierung der für die Studie notwendigen Basisdaten

2.1 Klärschlamm Entsorgungsverbund, beteiligte Kommunen und Verbände sowie Lieferanten von Co-Substraten

In dem Klärwerk Schlitz der Stadtwerke Schlitz werden bereits seit 2015 Schlämme externer Kläranlagen zur weiteren Behandlung und energetischen Verwertung im Faulbehälter angenommen. Dieser Klärschlamm Entsorgungsverbund startete zunächst mit den Gemeinden Niederaula und Burghaun und wurde in den vergangenen Jahren mit Verträgen mit dem Zweckverband Gruppenklärwerk Bad Salzschlirf-Wartenberg sowie vor kurzem mit dem Zweckverband Gruppenklärwerk Hosenfeld-Großenlüder weiter ausgebaut. Der Verbund soll auch zukünftig ergänzt werden, sofern die Kapazitäten der Verfahrensstufen des Klärwerks Schlitz dies erlauben.

Weiterhin werden organische Reststoffe von verschiedenen industriellen Anlieferern insbesondere zur energetischen Verwertung und Umsetzung zu Faulgas / Biogas im Faulbehälter angenommen. Hierzu zählen bereits jetzt

- Obst-Schlempen der Schlitzer Destillerie, ca. 400 m³/a
- Fette und Öle aus Fettabscheidern von verschiedenen Entsorgern, ca. 2.500 m³/a
- Teigreste aus Bäckereien, ca. 350 m³/a

Zeitweise wurden bereits weitere Co-Substrate angenommen, was zukünftig noch regelmäßiger erfolgen soll:

- Flotate und Spülmilch (Reste) der Fa. Milupa, ca. 5.750 m³/a
- Schlämme der Betriebskläranlage Rhön-Sprudel, ca. 1.120 m³/a (die Annahme der Schlämme der Betriebskläranlage Rhön-Sprudel ist derzeit ausgesetzt und wird nachfolgend nicht weiter betrachtet)

Die Kläranlagen sowie Lieferanten von Co-Substraten des zukünftigen Klärschlammverbundes sind in den Abb. 2-1, Abb. 2-2 sowie Abb. 2-3 mit den zu entsorgenden TR-Mengen dargestellt.

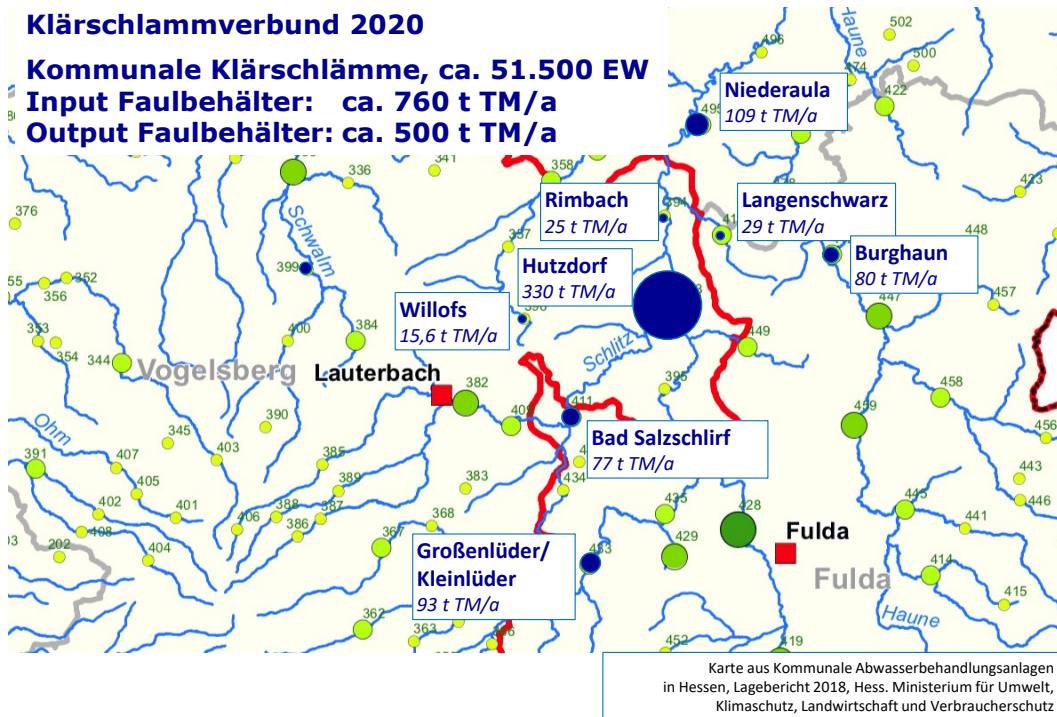


Abb. 2-1: Übersicht über die Klärschlämme der Kläranlagen des Klärschlammverbundes Schlitz, die über die Faulung der Kläranlage Schlitz angenommen werden (als t TR/a)

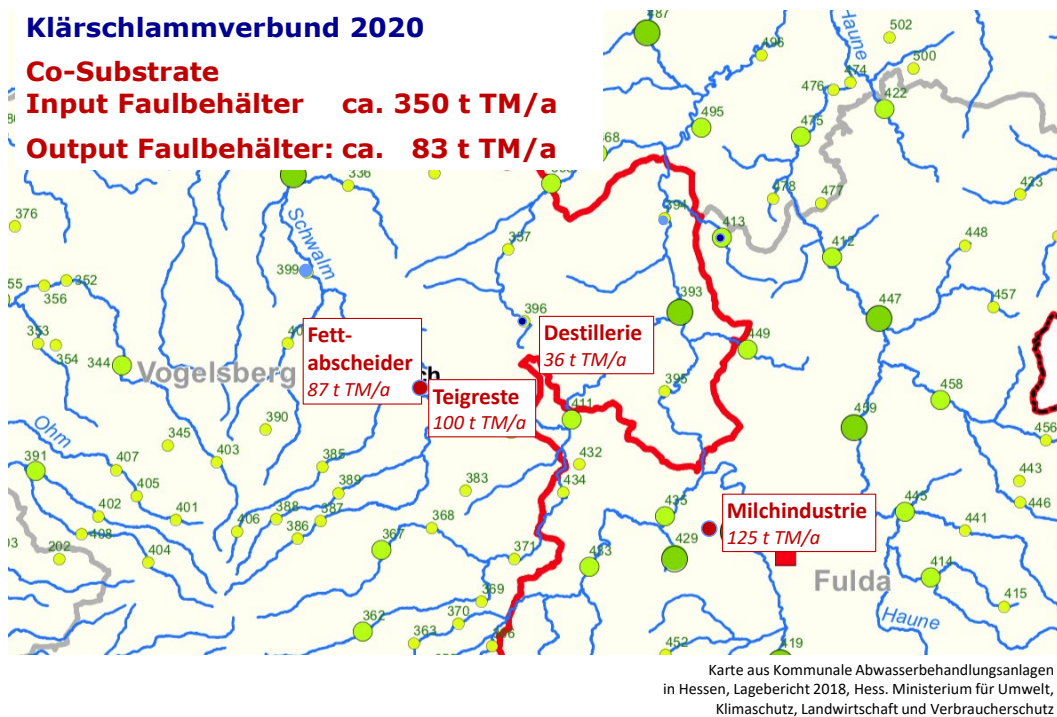


Abb. 2-2: Übersicht über die im Klärschlammverbund Schlitz angenommenen sowie in der Faulung behandelten Co-Substrate ab 2020 (als t TR/a)

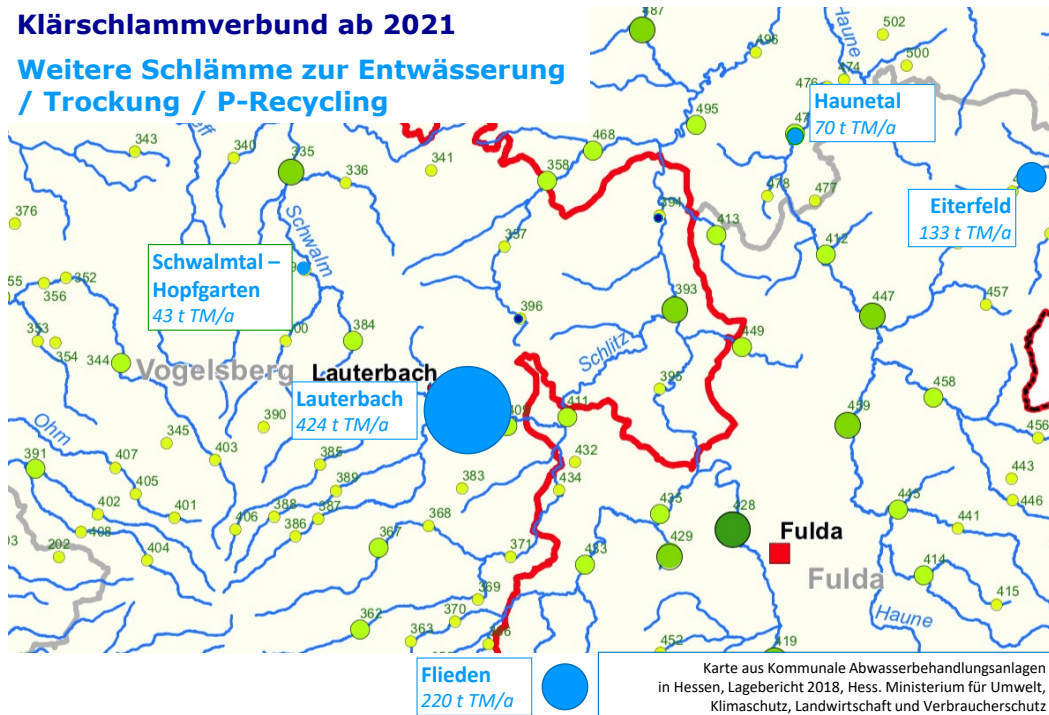


Abb. 2-3: Übersicht über die im Klärschlammverbund Schlitz zusätzlich angenommenen kommunalen Klärschlämme, die lediglich über Trocknung und P-Recycling verwertet werden, voraussichtlich ab 2021 (als t TR/a)

2.2 Konkretisierung und Festlegung der zu behandelnden Klärschlamm- und Co-Substratmengen für die weitere Planung

In der nachstehenden Tab. 2-1 sind die in 2018/9 im bereits bestehenden Klärschlammverbund Schlitz zusammengeschlossenen Kläranlagen sowie industriellen Anlieferer von Co-Substraten mit den angelieferten Klärschlamm- und Co-Substratmengen zusammengestellt. Die Tab. 2-3 zeigt die zukünftig anzuliefernden Klärschlamm- und Co-Substratmengen. Insgesamt werden ab 2020 ca. 50.000 m³/a Schlämme mit verschiedenen TR-Gehalten (flüssig bis entwässert) sowie ca. 9.000 m³ flüssige bzw. pastöse Co-Substrate auf der Kläranlage Schlitz verarbeitet werden.

Die Tab. 2-1 bis Tab. 2-3 zeigen zudem die Verfahrensstufen, in denen die verschiedenen Schlämme und Co-Substrate verarbeitet werden. Insbesondere die Überschussschlämme der kommunalen Kläranlagen werden nach der Anlieferung und Zwischenlagerung im Annahmespeicher zunächst eingedickt (ED = Eindicker), bevor sie dann anschließend zusammen mit dem Primärschlamm der Kläranlage Schlitz und den Co-Substraten im Faulbehälter (FB = Faulbehälter) ausgefault, dann entwässert (Ent = Entwässerung) und teilgetrocknet (Tro = Trocknung) werden und der Phosphor-Rückgewinnung (P) zugeführt werden.

Schlämme von Anlagen, die sehr weitgehend aerob stabilisieren, wie Schwalmatal-Hopfgarten, Hauswurz, Giesel, Dipperz und Oberaula werden nicht im Faulbehälter behandelt, um diesen hydraulisch nicht zu überlasten, sondern direkt über den Nacheindicker in die Entwässerung und Trocknung gegeben.

Weitere Schlämme sollen zukünftig noch angenommen werden, sofern die Verarbeitungskapazität der Verfahrensstufen dies zulässt. Entsprechende Gespräche mit den Städten bzw. Gemeinden Lauterbach, Haunetal, Eiterfeld, Rasdorf wurden bereits geführt. Die Schlämme aus Flieden und Lauterbach sind bereits entwässert und werden dann direkt dem Schlamm lager bzw. der Trocknung zugeführt. Diese Schlämme sind in der nachfolgenden Betrachtung berücksichtigt.

Tab. 2-1: Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz angelieferten Klärschlämme und Co-Substrate, mit mittleren TR- und oTR-Gehalten, Bestand 2019, Behandlungsverfahren auf der Kläranlage: ED: Voreindickung, FB: Faulbehälter, Ent: Entwässerung, Tro: Trocknung, P: P-Recycling

Bestand 2019			Verfahren				Anlieferung					
			ED	FB	Ent	Tro	Q	TR	oTR	mTR	TR	
Werte geschätzt												
							m ³ /a	%	%	t/a	t/a	
Klärschlämme Bestand 2018/2019	EW											
Hutzdorf	14.000	PS		x	x	x	5.700	3,39%	79,4%	39,8	193,2	
Hutzdorf		ÜS	x	x	x	x	16.500	0,83%	64,7%	48,3	137,0	
Rimbach	1.930	ÜS	x	x	x	x	1.200	2,10%	63,0%	9,3	25,2	
Willofs	500	ÜS	x	x	x	x	460	3,40%	63,0%	5,8	15,6	
Richthof	830	ÜS	x	x	x	x	190	2,50%	63,0%	1,8	4,8	
Niederaula	8.500	ÜS	x	x	x	x	2.650	4,10%	68,6%	34,1	108,7	
Burghaun	6.500	ÜS	x	x	x	x	4.150	1,92%	66,5%	26,7	79,7	
Langenschwarz	3.200	ÜS	x	x	x	x	1.450	2,00%	63,2%	10,7	29,0	
Bad Salzschlirf / Wartenberg	8.000	ÜS	x	x	x	x	3.700	2,08%	69,4%	23,5	77,0	
Großenlüder-Kleinlüder	7.200	ÜS	x	x	x	x	4.050	2,30%	63,1%	34,4	93,2	
Schwalmtal-Hopfgarten	1.900	ÜS			x	x	2.010	2,14%	58,7%	17,8	43,0	
Summe Klärschlämme Bestand	52.560						42.060	1,92%	68,7%	252,2	806,2	
Co-Substrate Bestand 2018/2019												
Schlempen Schlitzer Destillerie				x	x	x	400	9,00%	95,8%	1,5	36,0	
Flotat Milupa				x	x	x	2.750	1,80%	95,0%	2,5	49,5	
Spülmilch Milupa				x	x	x	3.000	2,50%	95,0%	3,8	75,0	
Teigreste				x	x	x	350	29,00%	98,3%	1,8	101,5	
Speisefette und -öle aus Abscheider				x	x	x	2.500	3,50%	92,4%	6,7	87,5	
Summe Co-Substrate Bestand							9.000	3,88%	95,4%	16,2	349,5	
Summe Bestand 2019	52.560						51.060	2,26%	76,8%	268,3	1.155,7	

Tab. 2-2: Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz zusätzlich zukünftig angelieferten Klärschlämme ausschließlich zur Entwässerung (teilweise), Trocknung und Phosphor-Recycling, mit mittleren TR- und oTR-Gehalten, voraussichtlich ab 2021, Behandlungsverfahren auf der Kläranlage: ED: Voreindickung, FB: Faulbehälter, Ent: Entwässerung, Tro: Trocknung, P: P-Recycling

Erweiterung geplant ab 2020			Verfahren				Anlieferung					
			ED	FB	Ent	Tro	Q	TR	oTR	mTR	TR	
Werte geschätzt												
							m ³ /a t/a	%	%	t/a	t/a	
Klärschlämme, nicht in die Faulung	EW											
Lauterbach	30.000	ÜS				x	1.300	32,59%	50,4%	210,1	423,7	
Flieden	14.500	ÜS				x	800	27,50%	59,5%	89,2	220,0	
Gemeinde Haunetal (Neukirchen, Wehrda, Unterstoppel)	4.000	ÜS				x	1.150	6,13%	32,5%	47,6	70,4	
Buchenau	7.500	ÜS				x	2.250	4,06%	53,5%	42,4	91,3	
Soisdorf	3.000	ÜS				x	900	3,23%	53,9%	13,4	29,1	
Großentaft	1.350	ÜS				x	400	3,24%	65,6%	4,5	13,0	
Summe Klärschlämme Plan	60.350						6.800	12,46%	52,0%	407,1	847,4	

Ursprünglich sollten auch noch Schlämme der Kläranlage Rasdorf (3.000 EW, 129 t TR/a) sowie der Betriebskläranlage Rhön-Sprudel angenommen werden.

Tab. 2-3: Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz insgesamt zukünftig angelieferten Klärschlämme und Co-Substrate, mit mittleren TR- und oTR-Gehalten, ab 2020, Behandlungsverfahren auf der Kläranlage: ED: Voreindickung, FB: Faulbehälter, Ent: Entwässerung, Tro: Trocknung, P: P-Recycling

Summe inkl. Erweiterung geplant ab 2020			Verfahren				Anlieferung					
			ED	FB	Ent	Tro	Q	TR	oTR	mTR	TR	
							m ³ /a t/a	%	%	t/a	t/a	
Klärschlämme	112.910						48.860	3,38%	60,1%	659,3	1.653,6	
Co-Substrate	0						9.000	3,88%	95,4%	16,2	349,5	
Summe inkl. Erweiterung	112.910						57.860	3,46%	66,3%	675,5	2.003,1	

Die anaerobe Behandlung im Faulbehälter wird einerseits zu einer erheblichen Klärgasproduktion, andererseits zu einem Abbau der organischen Substanz (oTR) führen. Die Berechnung ergibt eine nach der Faulung sowie der Entwässerung zu behandelnde Schlammmenge von ca. 5.414 t/a mit einem mittleren TR-Gehalt von ca. 27 % entsprechend einer Fracht von 1.472 t TR/a. Der oTR macht ca. 54 % aus (siehe Tab. 2-4).

Tab. 2-4: Zusammenstellung der an der Kläranlage Schlitz nach Faulung und Entwässerung weiter zu verarbeitenden Schlammmenge, ab 2020

Summe inkl. Erweiterung geplant ab 2020		Input Trocknung (entspr. Output Entwässerung + ges. angelieferte Schlämme)				
		Q	TR	TR	mTR	oTR
		t/a	%	t/a	t/a	t/a
Klärschlämme	112.910	5.082		1.389,2	659,3	729,9
Co-Substrate	0	331		82,8	16,2	66,7
Summe inkl. Erweiterung	112.910	5.414	27,2%	1.472,1	675,5	796,6
(theoretisch)		kg/d		kg/d	kg/d	kg/d
		14.831,8		4.033,0	1.850,6	2.182,5

Die Technologie der Klärschlammbehandlung mit Trocknung, Verbrennung und Phosphorrückgewinnung wurde für eine Auslegungsgröße (max. Klärschlammmenge) von 6.000 t/a konzipiert, also mit einer freien Kapazität von ca. 10 %.

2.3 Abfrage, Konkretisierung und Bewertung der jeweiligen Klärschlammzusammensetzung in Bezug auf DüMV, AbfKlärV

Gemäß § 8, Abs. 1, der AbfKlärV, 2017, ist die „Auf- oder Einbringung des Klärschlammes auf oder in den Boden nur zulässig, wenn die Untersuchungen nach § 5 Absatz 1 und 2 ergeben, dass die Grenzwerte nach Anlage 2 Tabelle 1.4 Spalte 4 der Düngemittelverordnung sowie die zusätzlichen Grenzwerte nach Anlage 1 nicht überschritten werden. Für das Schwermetall Kupfer gilt als Grenzwert der zulässige Höchstgehalt nach Anlage 1 Abschnitt 4.1 Nummer 4.1.1 Spalte 6 Absatz 2 der Düngemittelverordnung.“ Die entsprechenden Grenzwerte der AbfKlärV, 2017, und der DüMV, 2019, sind in der nachfolgenden Tab. 2-5 zusammengestellt.

Die EU hat am 25. Juni 2019 die neue EU-Düngemittelverordnung 2019/1009 für das Inverkehrbringen von Düngemitteln auf dem EU-Markt in Kraft gesetzt. Mit dieser Verordnung sollen die Anforderungen an Düngemittel harmonisiert werden, die aus organischen oder sekundären Rohstoffen in der EU hergestellt werden, wodurch sich neue Möglichkeiten für ihre Herstellung und Vermarktung im großen Maßstab eröffnen. Als wesentliche Unterschiede zur deutschen Düngemittelverordnung sind die deutlich verschärften Grenzwerte für Kupfer und Zink zu sehen. Beim Kupfer müssen zukünftig 300 mg/kg TM bei organischen Düngemitteln und 600 mg/kg TM bei anorganischen Düngemitteln im Vergleich zum Grenzwert von 900 mg/kg TM in der deutschen Düngemittelverordnung eingehalten werden. Für Zink gelten EU-Grenzwerte von 800 mg/kg TM bei organischen Düngemitteln und 1.500 mg/kg TM bei anorganischen Düngemitteln im Vergleich zum deutschen Grenzwert von 5.000 mg/kg TM. Ob und ggf. wann diese Grenzwerte der EU-Düngemittelverordnung in deutsches Recht umgesetzt werden, ist unbekannt.

Insgesamt wurden 79 Klärschlammanalysen der Kläranlagen des Verbundes sowie interessierter Betreiber aus den Jahren 2017, 2018, 2019 ausgewertet und mit den Anforderungen an die Verwertung von Klärschlamm auf oder in den Böden gem. der AbfKlärV von 2017 und der DüMV von 2019 sowie der EU-DüMV von 2019 verglichen. Aufgrund der Vertraulichkeitsvereinbarungen mit den Betreibern der Kläranlagen sind die detaillierten Ergebnisse hier nicht veröffentlicht. Von einigen Anlagen wurden keine Analysen zur Verfügung gestellt.

Tab. 2-5: Anforderungen an Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost auf oder in den Boden gemäß AbfKlärV, 2017, DüMV, 2019, EU-Düngemittelverordnung 2019

		AbfKlärV v. 27.09.2017 BGBl. I S. 3465)	DüMV v. 26.5.2017, Verordn. 02.10.2019 (BGBl. I S. 1414)		EU-DüMV Verordnung (EU) 2019/1009 v. 5. Juni 2019	
		gem. Anlage 1 (zu § 8 Absatz 1)	gem. Anlage 2 Tabelle 1.4 Spalte 2 und 4		Veröff. am 25.06.2019 im EU- Amtsblatt L 170	
			Kennzeich- nung	Grenzwert	Organisches Düngemittel	Anorganisches Makronähr- stoff- Dünge- mittel
Arsen	mg / kg TM		20	40	40	40
Blei	mg / kg TM		100	150	120	120
Cadmium	mg / kg TM		1 20 mg/kg P ₂ O ₅	1,5 50 mg/kg P ₂ O ₅	1,5	3,0 50 mg/kg P ₂ O ₅
Chrom	mg / kg TM		300	-		
Chrom (VI)	mg / kg TM		1,2	2,0	2,0	2,0
Kupfer	mg / kg TM			0,09 % bez. auf TM / 900	300	600
Nickel	mg / kg TM		40	80	50	100
Quecksilber	mg / kg TM		0,5	1,0	1,0	1,0
Thallium	mg / kg TM		0,5	1,0		
Zink	mg / kg TM	4.000		0,5 % bez. auf TM / 5.000	800	1.500
PFT	mg / kg TM		0,05	0,1		
AOX	mg / kg TM	400				
PCB je Kongener	mg / kg TM	0,1				
Benzo(a)pyren	mg / kg TM	1				
Σ Dioxine und dl-PCB	ng / kg TM			30		

Zusammengefasst ergaben sich folgende Bewertungen der analysierten Klärschlammproben für die verschiedenen Schadstoffe (siehe Tab. 2-5):

Arsen:	keine Überschreitungen
Blei:	keine Überschreitungen
Cadmium:	mehrere Überschreitungen (ca. 33 % aller ausgewerteten Proben) des Wertes zur Kennzeichnungspflicht der DüMV (1,0 mg/kg), Maximal-Wert 1,24 mg/kg)
Chrom (VI):	nur sehr wenige Analysen vorhanden, z.T. unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze, (Maximal-Wert 1,0 mg/kg)
Chrom:	keine Überschreitungen des Wertes zur Kennzeichnungspflicht der DüMV (300 mg/kg)
Kupfer:	keine Überschreitungen der Grenzwerte der DüMV (0,09 % der TM); Maximal-Werte bei ca. 520 mg/kg TM, mehrere Überschreitungen (ca. 58 % aller ausgewerteten Proben) der Grenzwerte der EU-DüMV für organische Düngemittel (300 mg/kg)
Nickel:	mehrere Überschreitungen (ca. 58 % aller ausgewerteten Proben) des Wertes zur Kennzeichnungspflicht (40 mg/kg), die Schlämme einer Kläranlage, die derzeit noch nicht im Verbund ist, überschreiten den Grenzwert (80 mg/kg) zum Teil deutlich (max. 230 mg/kg),
Quecksilber:	keine Überschreitungen des Wertes zur Kennzeichnungspflicht (0,5 mg/kg)
Thallium:	nur wenige Analysen, keine Überschreitung des Wertes zur Kennzeichnungspflicht (0,5 mg/kg)
Zink:	keine Überschreitungen des Grenzwertes gem. AbfKlärV (4.000 mg/kg) bzw. DüMV (4.000 mg/kg), fast alle Klärschlammproben (ca. 88 % aller ausgewerteten Proben) überschreiten den Grenzwert der EU-DüMV für organische Düngemittel (800 mg/kg), Maximal-Wert 1.750 mg/kg)
AOX:	zwei Überschreitungen (1 Kläranlage) des Grenzwertes gem. AbfKlärV (400 mg/kg)
Σ Dioxine und dl-PCB	wenige Analysen, keine Überschreitung des Grenzwertes gem. AbfKlärV (30 ng/kg)
Σ PFT	wenige Analysen, Überschreitungen des Grenzwertes gem. AbfKlärV (1,0 mg/kg)

2.4 Recherche zum Volatilisierungsverhalten von Nickel - Bewertung der Auswirkung auf die Aschequalität

Da bekannt ist, dass die Region Vogelsberg und damit auch der Klärschlamm aus der Region Schlitz geogen bedingt eine hohe Nickelbelastung aufweist, war bereits im Vorfeld davon auszugehen, dass dieser Parameter in der Bewertung der Klärschlämme und auch der sich nach einer thermischen Behandlung erzeugten Asche eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Verwertbarkeit haben wird. Daher wurde bereits im Vorfeld die Frage nach dem Volatilisierungsverhalten des Nickels untersucht.

Für Nickel existiert in der Düngemittelverordnung ein Grenzwert, der im Endprodukt eingehalten werden muss. Käme es bei der Verbrennung des Klärschlammes zu einer Volatilisierung des Nickels, so würde dieses in der Asche abgereichert werden (Lind et al., 1999) und das Produkt günstig beeinflussen. Für die im Berichtszeitraum durchgeführte Recherche wurden die einschlägigen Datenbanken wissenschaftlicher Fachzeitschriftenartikel ausgewertet. Dabei erwies sich die Mehrzahl an Publikationen als zentriert auf die Frage nach einer Verflüchtigung von Metallen aus kommunalem Restmüll (z.B. Chang et al., 2007) oder aus Regelenergieträgern (z.B. Xu et al., 2003). Diesen zufolge ist zwar Nickel als lithogenes Element bei der Verbrennung von kommunalem Restmüll durchaus auch in den Abgasreinigungsrückständen zu finden (Abanades et al., 2002), was möglicherweise in Verbindung mit der Bildung von Nickelchloriden steht, eine ausgeprägte Partitionierung in Richtung der Abgasreinigungsprodukte scheint jedoch nicht zu erfolgen. Es konnte lediglich eine Arbeit ermittelt werden, die sich explizit dem Volatilisierungsverhalten von Nickel bei der Verbrennung von kommunalem Klärschlamm in einer Wirbelschicht widmet (Marani et al., 2003). Die Autoren bestätigen zwar in Modellrechnungen die Neigung des Nickels, ebenfalls in Form von Chloriden volatilisiert zu werden, konnten die jedoch nur bei extrem hohen Cl-Konzentrationen im Brennstoff (4 Mass-%) bestätigen.

Die Metall-Volatilisierung durch Zudosierung von Chloriden – wie z.B. mit dem Verfahren der EuPhoRe® GmbH – betrifft vorrangig die Elemente Arsen, Blei, Cadmium, Zink und eher nachrangig das Nickel.

Eine erste und sicherlich nicht ausführliche Patentrecherche ergab, dass die Chlorid-Additivierung u.a. in folgenden Patenten beschrieben ist:

- WO 2010/108630 AI „Verfahren zur Eliminierung von Schadstoffe aus Klärschlamm und Verfahren zur Herstellung von Phosphaten und phosphathaltigen Verbindungen, 2010, Erfinder Ingeborg Klose, Frank Zepke
- DE10243840B4 "Verfahren zur Abtrennung von umweltrelevanten Schwermetallen aus Klärschlammasche", 2002, Erfinder Rudolf Brenneis, Gerd Kley, Peter Köcher, Bundesanstalt für Materialprüfung BAM.

Eine weitergehende Patentrecherche erscheint im Hinblick auf die Verfahrensimplementierung bzw. Adaptation wegen der Limitierungen bez. des Nickels zweckmäßig.

Für das Klärschlammprojekt Schlitz sollte zunächst im Sinne eines konservativen Ansatzes davon ausgegangen werden, dass Nickel in der Asche verbleibt, es sei denn, es lägen für einzelne Verfahren experimentelle Daten zur Akkumulation / Abreicherung von Elementen vor. Für dessen Konzentration im Endprodukt wäre demnach entscheidend:

- der Nickelgehalt des jeweiligen Klärschlammes,
- der oTS-Gehalt des jeweiligen Klärschlammes bzw. der Aschegehalt, sowie
- die bei Aufschlussverfahren hinsichtlich einer Verfügbarmachung des Phosphors einzusetzende Säuremenge.

Da nicht davon auszugehen ist, dass die Verbrennung der einzelnen Klärschlämme separat voneinander erfolgt, hängt der Nickelgehalt des Produkts entscheidend vom Brennstoffmix und der Logistik ab.

Die nachstehend in Kap. 2.5 vorgelegte Zusammensetzung einer virtuellen Mischasche unter Berücksichtigung der von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellten Klärschlammanalysen erlaubt eine Aussage darüber, ob die Nickelbelastung der virtuellen Asche aus dem Einzugsgebiet letztlich ohne eine forcierte Volatilisierung zu Überschreitungen des Nickelgrenzwerts gem. Düngemittelverordnung von 80 mg/kg führen wird.

2.5 Eigenschaften einer virtuellen Klärschlammmasche nach thermischer Umsetzung des Klärschlammes aus dem Einzugsgebiet

Um die Eigenschaften der resultierenden Asche aus der thermischen Verwertung der Klärschlämme beurteilen zu können, wurde deren Zusammensetzung rechnerisch ermittelt. Es ergibt sich quasi eine virtuelle Asche. Nicht berücksichtigt sind Volatilisierungen einzelner Schadstoffe, insbesondere der Metalle. Ausgangspunkt bildeten die durch die Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellten Klärschlamm- und Jahrestonnage, die jede Anlage in die Verbrennung einspeisen würde. Anhand des Glühverlustes wurde für jede Anlage die Aschemenge nach vollständiger Mineralisation und deren Elementarzusammensetzung ermittelt. Der Asche-Massenstrom jeder einzelnen Kläranlage diente als Gewichtungsfaktor für die Charakterisierung der Elementarzusammensetzung der virtuellen Mischasche aus der Region.

Berechnung des Gewichtungsfaktors

$$f_i = \frac{(1 - GV_i) \cdot \dot{M}_i^{KS}}{\sum_{i=1}^n (1 - GV_i) \cdot \dot{M}_i^{KS}}$$

- f_i = Gewichtungsfaktor Ascheanteil der Anlage i
 GV = Glühverlust des Klärschlammes der Anlage i
 \dot{M}_i^{KS} = Massenstrom trockener Klärschlamm der Anlage i

Berechnung des Elementgehalts in der Asche der einzelnen Anlagen

$$E_i^{Asche} = (1 - GV_i)^{-1} \cdot E_i^{KS}$$

- E_i^{Asche} = Elementgehalt in der Asche der Anlage i
 E_i^{KS} = Elementgehalt im Klärschlamm der Anlage i

Berechnung des Elementgehalts in der Asche des Klärschlammverbundes Schlitz

$$E_{\text{Region}}^{\text{Asche}} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot E_i^{\text{Asche}}$$

Auf Basis der aufbereiteten Analysedaten der Bestandskläranlagen sowie der avisierten Partneranlagen wurde die Zusammensetzung der virtuelle Mischasche berechnet. Die dabei ermittelnden Schwermetallgehalte sind relevant für die Weiterverarbeitung der Asche zu einem Düngemittel, denn sie bestimmen, ob im fertigen Produkt die Grenzwerte der Düngemittelverordnung inkl. der Inputhöchstwerte, 2017, sowie der EU-Düngemittelverordnung, 2019, eingehalten werden. Anzumerken ist, dass es sich bei der Berechnung der Ascheeigenschaften um eine worst-case Abschätzung handeln, da davon ausgegangen wird, dass das sämtliche Elemente in der Asche verbleiben und keine Volatilisierungsverluste auftreten. Insbesondere für Quecksilber dürften in der realen Asche die Gehalte deutlich niedriger ausfallen.

Die ermittelte Zusammensetzung der virtuellen Asche zeigt Tab. 2-6.

Tab. 2-6: Zusammensetzung der virtuellen Asche gem. aktuellem Bestand und bei Einbeziehung von Partnerkommunen im Vergleich zu den Grenzwerten der deutschen und Europäischen Düngemittelverordnung.

Bei den mit einem Stern gekennzeichneten Parametern Kupfer und Zink handelt es sich um Inputreglementierungen bei der Produktion von Düngemitteln (sog. Höchstwerte, keine Grenzwerte).

Element	Einheit	Virtuelle Asche Bestand	Virtuelle Asche Plan	Grenzwert DüMV	Grenzwert EU-DüMV
P	%	5,68	4,85		
P ₂ O ₅	%	13,01	11,11		
As	mg/kg	9,57	10,34	40	40
Pb	mg/kg	106,3	100,4	150	120
Cd	mg/kg	2,09	1,85	50 mg/kg P ₂ O ₅	50 mg/kg P ₂ O ₅
Cr	mg/kg	139,1	241,3	300 Kennz.	-
Cu	mg/kg	820,4	673,6	900*	600
Ni	mg/kg	82,13	103,3	80	100
Hg	mg/kg	0,70	0,61	1	1
Tl	mg/kg	0,54	0,48	1	-
Zn	mg/kg	2341,3	2218,0	5000*	1.500

Vergleicht man die virtuelle Asche der Bestandsanlagen mit den Grenzwerten bzw. Höchstwerten der deutschen Düngemittelverordnung, so hält diese bis auf eine geringfügige Überschreitung bei Nickel sämtliche Vorgaben ein.

Die Einbeziehung von Partnerkommunen führt zu einer merklichen Veränderung der Aschezusammensetzung. Die Gehalte an Phosphor (angegeben als % P bzw. % P₂O₅) nehmen leicht ab. Dasselbe gilt für die Schwermetalle mit Ausnahme von Chrom und Nickel. Während der Chromgehalt unter der Kennzeichnungsschwelle der deutschen Düngemittelverordnung bleibt, wird die Grenzwertüberschreitung bei Nickel deutlicher als bei der virtuellen Asche der Bestandsanlagen überschritten.

Auch beim Vergleich der Zusammensetzung der virtuellen Asche mit der europäischen Düngemittelverordnung muss je nach Beteiligung der Partnerkommunen differenziert werden. Infolge des Nickelgrenzwertes von 100 mg/kg ist der Gehalt in der Asche der Bestandsanlagen unkritisch, jedoch sind die Kupfer- und Zinkgrenzwerte überschritten. Bei Einbeziehung der Partnerkommunen erfolgt zudem eine geringfügige Überschreitung des Nickelwertes, da die betreffenden Anlagen vergleichsweise hohe Nickelfrachten in die virtuelle Mischasche einbringen.

Einer Verarbeitung der virtuellen Asche in der erdfeuchten Düngekalkkette steht allein die Überschreitung des Nickelwertes entgegen, da die Höchstwerte für die inputseitig reglementierten Elemente Kupfer und Zink eingehalten sind. Da die Asche in das Endprodukt „Düngerkalk mit Phosphorkomponente“ nur zu einem geringen Anteil eingehen würde, wären im Endprodukt die Grenzwerte – auch bei Nickel – sicher eingehalten.

Die Überschreitung des Nickelwertes birgt weiterhin einen Nachteil an der Schnittstelle Abfall-/Düngemittelrecht: Wären die Grenzwerte der DüMV durchgehend eingehalten, so ergäbe sich potenziell die Möglichkeit, je nach Düngewirksamkeit bereits für die Asche ein Produktstatus darzustellen. Damit könnte dessen Verarbeitung in der Düngekalkkette außerhalb des Abfallrechtes erfolgen.

Ergänzend wird auf die Ergebnisse der Pilotversuche zur thermischen Verwertung des Klärschlammes nach dem EuPhoRe[®]-Verfahren verwiesen, die ausführlich in Kap. 3.6 dargestellt sind. Dort werden auch die Ergebnisse zum Einsatz von Chlordonatoren vorgestellt, die eine Abreicherung von Schwermetallen bewirken sollen.

Der Vergleich der rechnerischen mit der analytisch ermittelten Zusammensetzung von Klärschlammaschen, die in den Verbrennungsversuchen mit Klärschlämmen bekannter Zusammensetzung erzeugt wurden, belegen, dass Nickel unter normalen Verbrennungsbedingungen keiner Volatilisierung unterliegt und damit quantitativ in der Asche verbleibt. Dies bestätigt die Ergebnisse der Literaturrecherche zum Volatilisierungsverhalten des Elements. Lediglich unter Einsatz von Chlordonatoren konnte eine Abreicherung der Asche um ca. 6 bis 11 % (je nach eingesetztem Additiv) erzielt werden, was zumindest für die Bestandsasche einem Wert nahe des Grenzwerts der deutschen DüMV entspräche, bei der rechnerischen zukünftigen Asche aber nicht ausreichen würde (siehe Kap. 3.6).

3 Technische Bewertung von Verfahrenskombinationen unter der Prämisse „Weitestgehende Rückgewinnung der Resource Phosphor aus dem Klärschlamm“

3.1 Grundsätze zur Festlegung von Verfahren zur Phosphorrückgewinnung auf der Kläranlage Schlitz

Prämisse des geplanten Verbundes zur Phosphor-Rückgewinnung in Osthessen ist die weitestgehende Rückgewinnung des enthaltenen Phosphors. Aufgrund der bei Verfahren zur P-Rückgewinnung aus dem Schlamm direkt bzw. dem Schlammwasser limitierten Rückgewinnungsrate von maximal 50 % (eher 20 – 40 %) beschränkt sich diese Machbarkeitsstudie auf die Verfahren, mit denen die Phosphorrückgewinnung aus der Klärschlammasche durchgeführt wird. Verfahren aus Teilströmen wie Schlammwasser werden daher hier nicht beachtet.

Die Verfahren werden theoretisch anhand von Literaturdaten sowie Informationen der Anbieter und Anwender betrachtet. Die Bewertung der Verfahren ist unter diesen Rahmenbedingungen ergebnisoffen und berücksichtigt unter anderem die folgenden Aspekte:

- Phosphor-Rückgewinnungspotentiale
- technische Aspekte wie Betriebserfahrungen und -risiken, Betriebsaufwand, vor allem auch vor dem Hintergrund des Betriebs einer kleinen Anlage im ländlichen Raum
- Bewertung der Auswirkungen der Verfahren zur Phosphorrückgewinnung auf den Betrieb des Klärwerks Schlitz (ggf. eintretende Rückbelastung aus Kondensaten, Schlammwasser etc., Energiebilanzen (Wärme und Strom))
- Wirtschaftlichkeit der Verfahren, hierfür Einholung von Richtpreisangeboten, Investitionen und Betriebskosten, Jahreskosten sowie spezifische Kosten €/t Klärschlamminput

Der auf der Kläranlage Schlitz anfallende Klärschlamm des Klärschlammverbundes wird in etwa folgende Zusammensetzung haben (nach der Entwässerung):

TR	ca. 27 %
oTR:	ca. 54 %
mTR:	ca. 46 %

Nach Dünnebeil (2017) (siehe Abb. 3-1) ergibt sich für den entwässerten Schlamm mit 27 % TR, 54,1 % oTR, ein Heizwert von ca. 1.700 kJ/kg. Bei Teiltrocknung auf ca. 45 % TR erhöht sich der Heizwert auf ca. 4.700 kJ/kg.

Abhängigkeit des Heizwertes vom Trockenstoffgehalt und Glühverlust

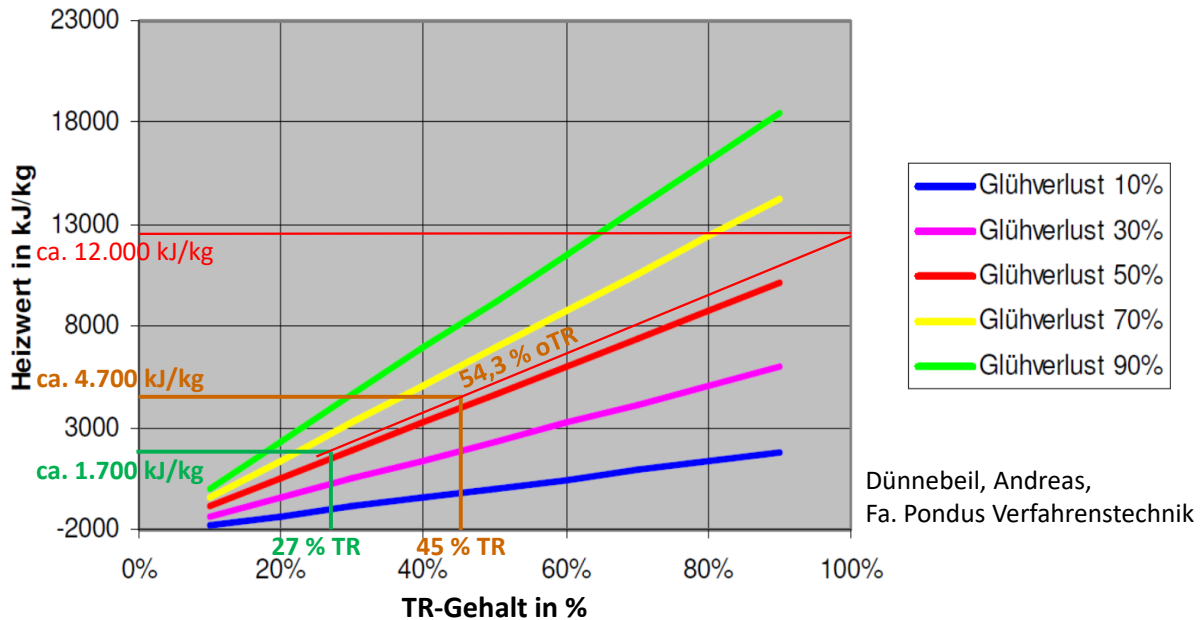


Abb. 3-1: Abhängigkeit des Heizwertes von Klärschlamm vom TR-Gehalt sowie Glühverlust (entspr. oTR-Gehalt) (Dünnebeil, 2017)

Die Abb. 3-2 zeigt das Brennstoff-Dreiecksdiagramm inkl. Kennzeichnung des selbstgängigen autarken Verbrennungsbereichs (nach Heindl et. al., 2020). Eingetragen ist der entwässerte Klärschlamm aus Schlitz mit 27 % TR.

Für eine selbstgängige Verbrennung von Klärschlamm in einer (Wirbelschicht-)Verbrennungsanlage ist nach Heindl et. al., 2020, ein Heizwert von mind. 4,0 bis 4,5 MJ/kg vor dem Eintrag in die Feuerung erforderlich. Dieser wird bei dem Klärschlamm des Klärschlammverbundes Schlitz in etwa bei einem TR-Gehalt von mind. 42-45 % TR erreicht.

Eine weitere Trocknung des entwässerten Klärschlammes auf mind. 42-45 % TR bzw. je nach eingesetzter Verfahrenstechnik zur Verbrennung des Klärschlammes ist auf jeden Fall erforderlich.

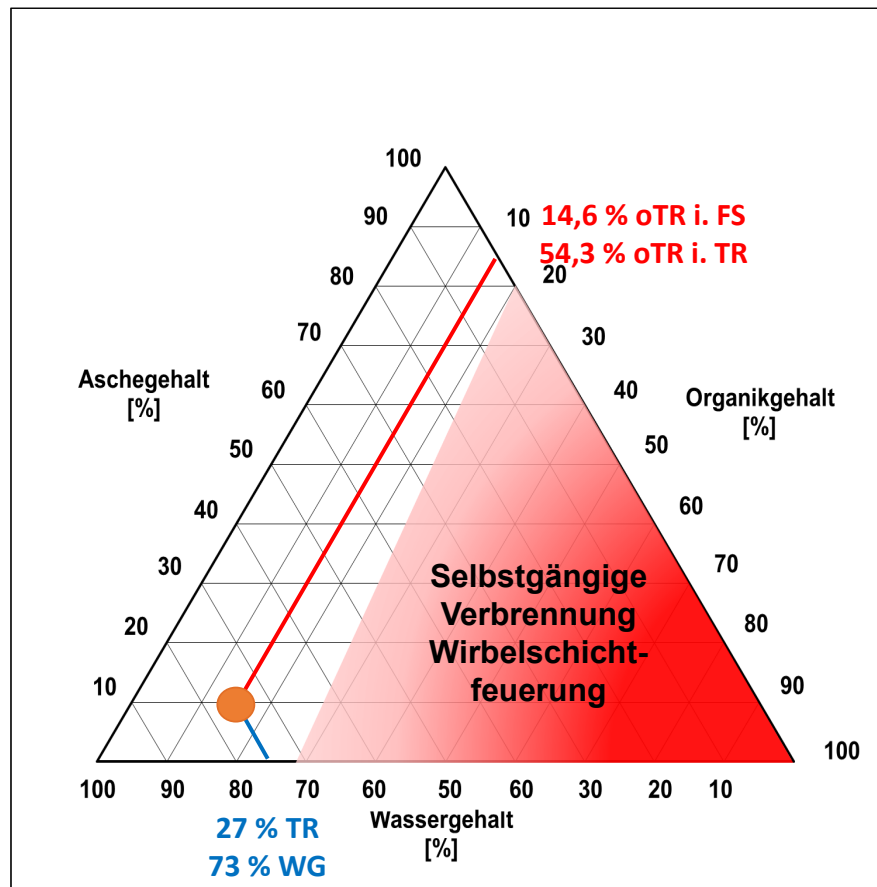


Abb. 3-2: Einordnung des entwässerten Schlammes des Klärschlammverbundes Schlitz, mit i.M. 27 % TR, 54,3 % oTR (im TR), Brennstoff-Dreiecksdiagramm inkl. Kennzeichnung des selbstgängigen autarken Verbrennungsbereiches (gilt für Wirbelschichtverbrennungsanlagen) (nach Heindl et. al., 2020)

3.2 Vortrocknung vor der Verbrennung auf der Kläranlage Schlitz

Um eine selbstgängige Verbrennung des Klärschlammes zu erreichen, ist also eine Vortrocknung von 27 % TR auf mind. 42-45 % TR erforderlich. Diesbezüglich bestehen grundsätzlich 2 Möglichkeiten:

- Teil-Trocknung der gesamten Klärschlammmenge im Vollstrom auf den erforderlichen TR-Gehalt, z.B. mit der vorhandenen Solartrocknungsanlage, mit Scheibentrocknern, Dünnschichttrocknern oder Schneckentrocknern, auf jeden Fall unterhalb der 45 % TR (Gefahr der Leimphase oberhalb 45 % TR)
- Voll-Trocknung auf ca. 90 % TR einer Teilmenge des Schlammes im Teilstrom (z.B. mit Bandtrocknern) und kontrollierte Mischung mit entwässertem Schlamm (27 % TR) auf den notwendigen TR-Gehalt von 40 – 45 %

Die Wärmeversorgung der Solartrocknungsanlage erfolgt in der Regel mit Niedertemperatur-Wärme, z.B. der Abwärme aus dem Blockheizkraftwerk oder auch Abwärme aus der Klärschlammverbrennung. Gleiches gilt auch für Bandtrockner, die als Konvektionstrockner ebenfalls mit Temperaturen von $< 100\text{ °C}$ (häufig $< 80\text{ °C}$) mit Abwärme aus Blockheizkraftwerken betrieben werden. Kontakttrockner wie Scheibentrockner, Dünnschichttrockner benötigen Hochtemperatur-Wärme mit Temperaturen deutlich $> 100\text{ °C}$, die als Dampf unter erhöhtem Druck oder über Thermoöl bereitgestellt wird. Hierfür kann die Abhitze der Klärschlammverbrennung genutzt werden.

Im Bereich der Klärschlamm-trocknung können unterschiedliche Trocknertypen unterschieden werden, welche abhängig von der jeweiligen Art der Wärmeübertragung als Kontakttrockner, Konvektionstrockner oder Strahlungstrockner bezeichnet werden (vgl. Abb. 3-3).

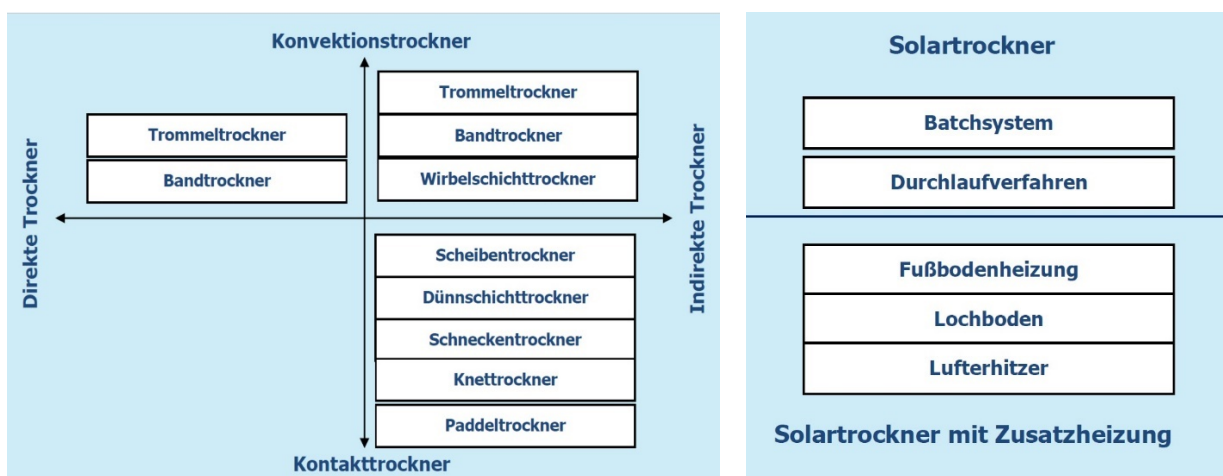


Abb. 3-3: Einordnung verschiedener Trocknerarten (nach Tomalla., 2017)

Im Jahr 2018 waren in Deutschland 203 Trocknungsanlagen für kommunale Klärschlämme installiert, wovon 44 % als Solartrockner ausgeführt wurden, die jedoch weniger als 10 % des in Deutschland getrockneten Klärschlammes umgesetzt haben. Deutlich größere Durchsätze haben dagegen Band-, Dünnschicht- und Scheibentrockner (Roskosh, Heidecke, 2018).

Solartrockner haben zudem den Nachteil, dass sie je nach Auslegung unterschiedlich auf die Einstrahlung von Wärmeenergie aus der Sonneneinstrahlung angewiesen sind. Das kann – wie auch in Schlitz – dazu führen, dass rein solar ohne Zusatzheizung betriebene Solartrockner im Winter ganz außer Betrieb genommen werden müssen.

Konvektions- oder Kontakttrockner werden häufig für eine kontinuierliche Trocknung größerer Schlamm-mengen in Anbindung an eine Klärschlammverbrennungsanlage oder an ein angrenzendes Kraftwerk bevorzugt, da nicht zuletzt aus dem Verbrennungsprozess die für die Trocknung erforderliche Wärme ausgekoppelt werden kann (vgl. Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Vergleich von Kontakt Trocknung und Band Trocknung [modifiziert nach (Heindl et. al., 2020) sowie (Roskosh, Heidecke, 2018)]

Verfahren	Kontakt trockner mit Kondensation	Band trockner mit Kondensation	Band trocknung im Zu-/Abluftbetrieb ohne Kondensation
Temperatur Wärmeträger	>160 °C	80 – 150 °C	80 – 150 °C
Wärmeträger	Dampf (~ 5 bis 11 bar)	Luft	Luft
Spez. Abluftanfall [m ³ /kg Wasserverdampfung]	ca. 0,1 bis 0,2 (abh. von Dichtigkeit des Systems)	ca. 1-10	ca. 6-25
Abluftkomponenten nach der Kondensation	NH ₃ bis 10.000 ppm CH ₃ -SH bis 65 ppm C ₂ H ₅ -SH bis 60 ppm H ₂ S bis 60 ppm	NH ₃ 300-600 ppm CH ₃ -SH bis 3 ppm H ₂ S bis 5 ppm	NH ₃ 100-200 ppm CH ₃ -SH bis 1 ppm H ₂ S bis 2 ppm

Bei Einsatz eines Mischungssystems (Mischers) ist auch die Zumischung von teilgetrockneten Schlämmen mit anderen TR-Gehalten (z.B. 50 – 70 % TR aus Solartrocknern) möglich. Das Mischaggregat benötigt dann eine angepasste Messtechnik (kontinuierliche TR-Messung) sowie Gewichtsmessung der Teilströme.

In allen Fällen muss die sog. Leimphase berücksichtigt werden, die bei vielen Schlämmen im Bereich zwischen 45 und 60 % TR zu schwer handhabbaren Schlämmen mit klebrig-viskosem Verhalten führt.

Je nach Trocknungstechnologie ist zudem zu beachten, dass teilweise der Heizwert des Schlammes reduziert wird; so können biologische Abbauvorgänge z.B. bei Solartrocknungsanlagen zu einer Reduzierung des organischen Anteils und damit des Heizwertes führen.

Aufgrund der Prämisse des geplanten Verbundes zur weitestgehenden Phosphor-Rückgewinnung in Schlitz wird der teilgetrocknete oder gemischte Schlamm anschließend in einer thermischen Behandlung verbrannt (siehe Kap. 3.4).

3.2.1 Einbeziehung der auf der Kläranlage Schlitz vorhandenen solarthermischen Klärschlamm trocknungsanlage

Die auf der Kläranlage Schlitz installierte solarthermische Trocknungsanlage besteht derzeit aus 2 Trocknungshallen mit ca. 36 * 15 m (entspr. 540 m²) bzw. 30 * 15 m (entspr. 450 m²). In der ersten Trocknungshalle ist ein Wärmetauscher installiert, der mit Abwärme aus der BHKW-Anlage die in der Trocknung umgewälzte Luft erwärmt.

Mit dieser Trocknungsanlage ist derzeit ein Winterbetrieb mit einer signifikanten Trocknungsleistung kaum möglich. Die über den Wärmetauscher in die erste Trocknungshalle eingetragene Abwärmemenge reicht hierfür nicht aus. Die Trocknungsanlage wird daher aktuell nur von ca. März bis Oktober betrieben.

In den Sommermonaten können bei Durchsätzen von bis zu 350 t/Monat TR-Gehalte von 60 bis 70 % erreicht werden. Der Durchsatz durch der Trocknungsanlage betrug in den vergangenen Jahren:

- 2017: 564 t mit i.M. 72,2 % TR entspr. ca. 407 t TM
- 2018: 1.059 t mit i.M. 59,4 % TR entspr. ca. 629 t TM
- 2019: 348 t mit i.M. 67,5 % TR entspr. ca. 235 t TM

Die aktuell bereits anfallende Klärschlammmenge von ca. 2.900 t/a (25 % TR) lässt sich mit der vorhandenen Trocknungsanlage und der dort installierten Wärmeeintragstechnik über den Jahresverlauf nicht auf den geplanten TR-Gehalt von ca. 60 – 70 % TR trocknen.

Eine Erhöhung der Trocknungsleistung der vorhandenen Solar-Trocknungsanlage, um die maximal zu verarbeitenden 5.414 (lt. Szenario 2021) bis 6.000 t/a (Auslegungsgröße der Anlagen) von i.M. 27 % TR (ca. 1.460 - 1.620 t TM/a) auf mind. 45 % TR zu trocknen, erscheint mit dem vorhandenen System ohne Erweiterung des Wärmeeintrags auch nach Rücksprache mit dem Hersteller nicht möglich.

Es ist zudem zu bedenken, dass für die zukünftig zu realisierende Verbrennungsanlage mit Phosphor-Rückgewinnung eine Fläche von mindestens 400 - 600 m² erforderlich ist, die auf dem Gelände der Kläranlage Schlitz nicht zur Verfügung steht.

Daher war bereits zu Beginn der Überlegungen davon ausgegangen worden, die Fläche der kleinen Trocknungshalle für die Verbrennungs- und P-Rückgewinnung zur Verfügung zu stellen und ggf. nur die große Trocknungshalle mit 540 m² weiter zu nutzen.

Eine erste Abschätzung des Herstellers der Solartrocknung ergab, dass mit Installation weiterer Heizregister in der großen Solartrocknungshalle eine Schlammmenge von ca. 2.500 – 2.900 t/a (entwässertes Schlamm) von 25-27 % TR, 54 % oTR, auf ca. 75 % TR getrocknet werden könnte. Da insbesondere in der Solartrocknung ein Abbau organischer Masse von ca. 5 % erfolgt (aufgrund aerober Abbauvorgänge), wird die getrocknete Klärschlammmenge auf ca. 950 t/a (75 % TR) abgeschätzt. Die Abschätzung ist in der Anlage enthalten.

Die hierfür erforderliche Wärme würde vor allem aus dem Verbrennungsprozess sowie der Überschusswärme aus dem Klärgas-BHKW bereitgestellt werden müssen. Im Einzelnen würden folgende Wärmemengen zur Trocknung von ca. 2.530 t/a benötigt:

- Jahres-Wärmebedarf: 1.515 MWh/a
- Wärmebedarf im Winter (Januar) 160 MWh/Mo.
- Wärmebedarf im Sommer (Juli) 90 MWh/Mo.

Zur Trocknung der weiteren erforderlichen ca. 2.900 bis 3.500 t/a entwässerten Klärschlammes müsste die Hochtemperatur-Wärme aus der Verbrennung genutzt werden müssen. Aufgrund des

nicht ausreichend zur Verfügung stehenden Platzes in der Solartrocknung müsste diese Schlammmenge z.B. mit einem Kontakttrockner getrocknet werden. Hier wären aus der Verbrennung einer getrockneten Teilmenge (ausgehend von 3.500 t/a mit 25-27 % TR ca. 1.160 – 1.260 t/a mit ca. 75 % TR, ca. 54 % oTR) eine Wärmemenge von ca. 155 MWh/Mo. bereitzustellen.

3.2.2 Bewertung der Rückbelastung der Abwässer aus Klärschlamm-Trocknungsanlagen bei den verschiedenen Trocknungstechnologien, Abwassermengen

Je nach Trocknungstechnologie muss von unterschiedlichen Abwassermengen und auch unterschiedlichen Abwasserzusammensetzungen ausgegangen werden. Konservativ ist davon auszugehen, dass das gesamte in der Klärschlamm-trocknung zu verdampfende Wasser als Brüden anfällt, je nach Abluftbehandlungstechnologie zu Abwasser kondensiert wird.

Die bei der Klärschlamm-trocknung anfallende Abwassermenge ist abhängig von

- dem Input-TR-Gehalt des Schlammes in der Zuführung zur Trocknung sowie dem zu erzielenden Output-TR-Gehalt
- der Kondensation der Brüden in der Abluftbehandlung
- der Abluftbehandlungstechnik

Das Szenario zum Klärschlammverbund Schlitz geht von einer Schlammmenge von ca. 5.414 t/a mit einem TR-Gehalt nach Vorentwässerung (Input-TR-Gehalt) von 27 % TR aus. Bei der Trocknung werden dann – je nach zu erreichendem Trocknungsgrad (TR-Gehalt nach der Trocknung) folgende Wassermengen freigesetzt:

- bei Teiltrocknung: Trocknung von 27 % auf 50 % TR:
 $5.414 \text{ t/a mit } 27 \% \text{ TR auf } 2.924 \text{ t/a mit } 50 \% \text{ TR: } 5.414 - 2.924 = 2.490 \text{ m}^3/\text{a} = 6,8 \text{ m}^3/\text{d}$
- bei Volltrocknung: Trocknung von 27 % auf 85 % TR:
 $5.414 \text{ t/a mit } 27 \% \text{ TR auf } 1.720 \text{ t/a mit } 85 \% \text{ TR: } 5.414 - 1.720 = 3.694 \text{ m}^3/\text{a} = 10,1 \text{ m}^3/\text{d}$

Ein Teil des verdampften Wassers wird als Wasserdampf nach der Abluftbehandlung in die Atmosphäre entlassen, fällt also nicht als Abwasser an. Dies gilt insbesondere bei Niedertemperatur-Konvektionstrocknern, bei denen z.T. keine Kondensation des Wasserdampfes erfolgt. Dies ist z.B. bei Solartrocknern der Fall, bei denen die Feuchtigkeit mit einem großen erwärmten Luftstrom aus dem Trocknungssystem ausgetragen wird.

Die Fa. Thermo-System GmbH, Anbieter von Solar-Trocknern und abwärmegestützten Solar-trocknern, gibt als zu behandelnde Brüdenmenge (Abwassermenge aus der Abluftbehandlung) ca. 10 % der verdampften Wassermenge an. Demnach gehen ca. 90 % als Wasserdampf nach der Abluftbehandlung an die Atmosphäre.

Je nach Ausführung und Konstruktion ist dies auch bei Bandtrocknern der Fall. Hier werden Systeme mit Kondensationsbetrieb und entsprechendem Abwasseranfall und mit Abluftbetrieb mit nur geringen Abwassermengen angeboten. So soll die Anlage der Fa. Sludge2Energy in Halle-Lochau mit einer geplanten Durchsatzmenge von ca. 10.700 t TS/a (42.800 t/a mit 25 % TS), bei der ein Bandtrockner der Fa. Huber eingesetzt werden soll, „quasi-abwasserfrei“ betrieben werden (Wiesgickl, 2019). Die mit dem Wasserdampf beladene Abluft des Trockners wird in diesem

Fall der Zuluft zur dort installierten Wirbelschicht-Verbrennungsanlage zugeführt, so dass in diesem Fall auch die Abluftbehandlung entfallen kann.

Insbesondere bei den Verfahren der Kontakttrocknung werden die aus der Trocknung ausgetragenen Brüden in der Regel kondensiert, um den Gesamt-Energiebedarf der Trocknung zu minimieren. In den Brüden ist ein Großteil der für die Trocknung eingesetzten thermischen Energie enthalten. Sie lässt sich durch verschiedene Verfahren der Wärmerückgewinnung relativ einfach nutzen, wenn entsprechender Bedarf für Niedertemperatur-Wärme vorhanden ist. Dies kann z.B. zur Vorwärmung des flüssigen Schlammes vor der Entwässerung sinnvoll sein, um die mechanische Entwässerung zu optimieren.

Die genaue Konstruktion und Technologie des Trockners erfolgt nach Festlegung des zu realisierenden Gesamt-Szenarios sowie im Rahmen der weiteren Planungsschritte.

Für die weitere Betrachtung der Szenarien wird von folgenden Abwassermengen / Mengen an Brüdenkondensaten ausgegangen, die weiterbehandelt werden müssen:

- Kontakttrockner: bis 100 % der Wasserverdampfung (vollständige Kondensation der Brüden)
- Bandtrockner: bis 100 % der Wasserverdampfung (vollständige Kondensation der Brüden)
- Rührwerkstrockner mit Biofilter: ca. 10 % der Wasserverdampfung
- abwärmegestützter Solartrockner mit Biofilter: ca. 10 % der Wasserverdampfung

3.2.3 Bewertung der Rückbelastung der Abwässer aus Klärschlamm-Trocknungsanlagen bei den verschiedenen Trocknungstechnologien, Abwasserzusammensetzung

Die Belastung des bei der Abluft-/Brüdenbehandlung anfallenden Brüdenkondensats oder Washwassers hängt von folgenden Faktoren ab:

- Schlammzusammensetzung (kommunale und industrielle Anteile)
- Schlammbehandlung (ohne oder mit Faulung: bei Klärschlämmen, die in einer Faulung behandelt wurden, erfolgt durch den anaeroben Abbau in der Faulung ein teilweiser Aufschluss der Zellmasse und damit eine Freisetzung insbesondere von Ammoniak / Ammonium und auch von organischen Verbindungen)
- Trocknungstemperatur (je höher die Trocknungstemperatur ist, desto höher sind die Ammonium-Konzentrationen im Kondensat)
- Staubanteile (Trocknungstechnologie, bei Kontakttrocknern (Dünnschichttrockner, Scheibentrockner) ist der Staubaustrag und damit der Staubeintrag in das Kondensat höher; damit einher geht in der Regel auch ein Anstieg des CSB)
- Abluftbehandlung

In der nachfolgende Tab. 3-2 sind verschiedene CSB- und $\text{NH}_4\text{-N}$ -Analysen-Werte von Brüdenkondensaten aus der Klärschlamm-trocknung zusammengestellt. Die Tab. dokumentiert einen

sehr großen Wertebereich, so dass allgemein gültige Aussagen zur Rückbelastung durch die Brüden nicht machbar sind.

Tab. 3-2: Zusammenstellung verschiedener Analysen-Werte von Brüdenkondensaten aus der Klärschlamm-trocknung

Konzentrationen Brüdenkondensate Trocknung				
Anlage	Trockner	Quelle	CSB	NH ₄ -N
			mg/l	mg/l
Backnang	Bandrockner	Fa. Huber, 2018	2.376	80
Backnang	Bandrockner	Fa. Huber, 2018	1.333	649
Backnang	Bandrockner	Fa. Huber, 2018	411	360
Backnang	Bandrockner	Fa. Huber, 2018	930	200
Straubing	Bandrockner	Fa. Huber, 2018	5.765	1.008
Straubing	Bandrockner	Fa. Huber, 2018	9.647	3.110
Nova Gorica	Bandrockner	Fa. Huber, 2018	4.050	k.A.
Bereich	Bandrockner	Fa. Wehrle, 2019	2.090-7.520	39-3.000
Italien	Bandrockner	Fa. Wehrle, 2019	3.100	2.070
Moerdijk, NL	Scheibentrockner	Sijstermans, SNB, 2019	1.800-7.000	700-3.000
Bereich	keine Spezifikation	DWA-M 379 (Entwurf), 2019	300-9.000	300-1.500
Minimum			300	39
Maximum			9.647	3.110
Mittelwert			3.452	1.068

3.2.4 Rückbelastung bei Einleitung der Brüdenkondensate aus der Klärschlamm-trocknung, CSB- und NH₄-N-Frachten

In einem Szenario, in dem auf der Kläranlage Schlitz die Brüden aus der Trocknung der gesamten Klärschlammmenge von 5.414 t/a von 27 % TR auf 50 % TR (siehe Kap. 3.2.2) zu 100 % kondensiert werden, wären ca. 2.490 m³/a entsprechend 6,82 m³/d in der Kläranlage als zusätzliche Rückbelastung zu behandeln. Aus den o.g. CSB- und NH₄-N-Konzentrationen (siehe Tab. 3-2) ergibt sich damit folgende CSB- und NH₄-N-Fracht, die als Rückbelastung vom Klärwerk behandelt werden müssten:

- CSB: (120 g CSB/EW*d)
 - Mittelwert: $6,82 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 3.452 \text{ g/m}^3 = 23.543 \text{ g CSB/d}$ entspr. 196 EW_{CSB}
 - Maximum: $6,82 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 9.647 \text{ g/m}^3 = 65.792 \text{ g CSB/d}$ entspr. 548 EW_{CSB}
- NH₄-N: (10 g NH₄-N/EW*d bzw. 11 g TKN/EW*d)
 - Mittelwert: $6,82 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1.068 \text{ g/m}^3 = 7.284 \text{ g NH}_4\text{-N/d}$ entspr. 728 EW_N
 - Maximum: $6,82 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 3.110 \text{ g/m}^3 = 21.210 \text{ g NH}_4\text{-N/d}$ entspr. 2.121 EW_N

Aufgrund des CSB/N-Verhältnisses von ca. 3,1:1 verschlechtert sich bei einer Einleitung der Brüdenkondensate in den Zulauf zur Kläranlage das Nährstoffverhältnis, welches für eine weitgehende Stickstoffelimination (insbesondere für die Denitrifikation) bei ca. 6-7:1 liegen sollte.

Unter Berücksichtigung der mittleren Konzentrationen wäre die zusätzliche Rückbelastung aus der Brüdenkondensation mit 728 EW_N und 196 EW_{CSB} erheblich.

Daher sollte weitgehend auf eine Kondensation der Brüden verzichtet werden. Die Brüden aus der Trocknung werden bei den nachstehend betrachteten Szenarien über die Verbrennungsanlage entsorgt. „Üblicherweise werden die Konzepte abwasserarm realisiert, sodass lediglich eine Abschlämmenge aus der Abluftreinigung von einigen 100 l/d behandelt werden muss“.

Sollte das nicht möglich sein, ist eine gesonderte Brüdenbehandlung und Ausschleusung insbesondere der erheblichen Ammonium-Frachten sowie der schwefelgebundenen Geruchsstoffe (Schwefelwasserstoff, Mercaptane) sinnvoll und teilweise erforderlich. Zur Abluftbehandlung wird dann in der Regel eine saure Wäsche (Einsatz z.B. von Schwefelsäure, Bindung des Ammoniaks zu Ammoniumsulfat-Lösung (ASL)), eine kombinierte saure und alkalische Wäsche und ggf. noch Nachbehandlung in einem Biofilter realisiert. Die Ammonium-Sulfat-Lösung kann ggf. in der Landwirtschaft verwertet werden.

Der Aspekt der Brüdenbehandlung muss im Weiteren nach Festlegung auf ein Schlammbehandlungsverfahren detailliert betrachtet werden.

3.3 Recherche und Dokumentation des Stands der Entwicklung und Technik bei verschiedenen P-Rückgewinnungsverfahren

Der Stand der Entwicklungen bei Phosphorrückgewinnungsverfahren wurde zwischenzeitlich in adäquater Weise durch die Deutsche Phosphor Plattform dokumentiert und ist als Sammlung von Verfahrenskennblättern über eine Web-Anwendung abrufbar (Deutsche Phosphor Plattform, 2018).

Prämisse des geplanten Verbundes zur Phosphor-Rückgewinnung in der Region Schlitz ist die weitestgehende Rückgewinnung des enthaltenen Phosphors. Aufgrund der bei Verfahren zur P-Rückgewinnung aus dem Schlamm direkt bzw. dem Schlammwasser limitierten Rückgewinnungsrate von maximal 50 % (eher 20 – 40 %) beschränkt sich diese Machbarkeitsstudie auf die Verfahren, mit denen die Phosphorrückgewinnung aus der Klärschlammasche durchgeführt wird. Verfahren aus Teilströmen wie Schlammwasser werden hier nicht beachtet.

Eine Zusammenstellung des Spektrums an P-Rückgewinnungsverfahren zeigen die nachstehenden Tab. 3-3 und Tab. 3-4. Für das Verbundkonzept in Schlitz gilt es zu beachten, dass infolge des Bestrebens der thermischen Verwertung der regionalen Klärschlämme naturgemäß die aschebasierten Verfahren im Fokus stehen. Diese haben auch den Vorteil, dass infolge der vorgelagerten Mineralisierung der Phosphor gegenüber dem Abwasser bzw. dem Klärschlamm aufkonzentriert wird und dass die organische Schadstofffracht keine Rolle mehr spielt.

Weiterhin ist zu beachten, dass nach der aktuell gültigen Düngemittelverordnung (DüMV, 2019), Anlage 2, Tabelle 6, Nr. 6.2.3 Phosphatdünger aus der Verbrennung von Klärschlämmen als „Besonderer Ausgangsstoff für bestimmte mineralische Düngemittel“ nach Anlage 1 der DüMV, Pkt. 1.2.9 Vorgaben für Phosphatdünger: Phosphatdünger aus Aschen von Klärschlämmen eingesetzt werden kann. Dafür muss die Asche einen Mindest-Phosphat-Gehalt von 10 % P_2O_5 haben.

Die in Kap. 2.5 rechnerisch ermittelte „virtuelle“ Asche hat einen P_2O_5 -Gehalt von 12,8 % (zukünftig ca. 11.5 %); die in den Verbrennungsversuchen produzierte Asche wies sogar ca. 15 % P_2O_5 auf. Sofern die Asche die weiteren Kriterien der DüMV einhält, kann sie daher direkt als Düngemittel bzw. als besonderer Ausgangsstoff für mineralische Düngemittel eingesetzt werden.

Tab. 3-3: Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlamm (KS) und Klärschlammasche (KSA) (Adam, 2018), Teil 1

Verfahren		Produkte	Entwicklungsstand	Voraussetzung	Rückgewinnung* %
Auf Kläranlage integrierte Verfahren (P-Rückgewinnung aus KS)					
AirPrex	ohne forcierte Rücklösung, Fällung im Schlamm	Struvit	Großtechnik	Bio-P Kläranlage	5-15
Lysogest	Hydrolyse, Fällung im Schlamm	Struvit	Großtechnik	Bio-P Kläranlage	5-15
Pearl, NuRe-Sys, Phospaq	Fällung im Zentrat	Struvit	Großtechnik	Bio-P Kläranlage	~ 15
Wasstrip	Hydrolyse, Fällung im Zentrat	Struvit	Großtechnik	Bio-P Kläranlage	~ 30
Haarlslev	Hydrolyse, Fällung im Zentrat	Struvit	Pilotanlage, Großtechnik in Bau	Bio-P Kläranlage	~ 22
CalPrex	saure Faulung, Fällung im Zentrat mit $CaCl_2$	Brushit	Pilotanlage	Bio-P Kläranlage	> 50 techn. möglich
Stuttgarter Verfahren	KS-Aufschluss mit H_2SO_4	Struvit	Pilotanlage	keine	> 50 techn. möglich
ExtraPhos	KS-Aufschluss mit CO_2 im Druckreaktor	Brushit	Pilotanlage	keine	> 50 techn. möglich
P-Rückgewinnung aus KSA und alternative thermische Verfahren					
Mephrec	Schmelzvergasung von KS/KSA	P-Schlacke	Pilotanlage	keine	keine Angabe
EuPhoRe	thermische Behandlung (ox./red.) von KS im Drehrohrofen unter Zufuhr von Cl-Trägern	P-haltige Asche	Pilotanlage, großtechnische Versuche	keine	> 80
RecoPhos (InduCarb)	induktiv beheizte Schmelzvergasung von KSA	elementarer Phosphor oder H_3PO_4	Pilotanlage	Monoverbrennung	keine Angabe

Tab. 3-4: Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlamm (KS) und Klärschlammasche (KSA) (Adam, 2018), Teil 2

Verfahren		Produkte	Entwicklungsstand	Voraussetzung	Rückgewinnung* %
SeraPlant	Aufschluss KSA mit H_3PO_4 , keine Separation von Störstoffen	Aufgeschlossene KSA	Pilotanlage	Monoverbrennung, Aschen mit geringen Schadstoffgehalten.	> 80
konv. Düngerproduktion	saurer Aufschluss von KSA zusammen mit Rohphosphat, keine Separation von Störstoffen	Aufgeschlossene KSA	Versuche Großtechnik	Monoverbrennung, <i>Premiumaschen</i> mit geringen Fe- und Al-Gehalten	> 80
PASCH-Verfahren der RWTH Aachen	saurer Aufschluss von KSA mit HCl, Separation mit Solventextraktion	Calciumphosphate	Pilotanlage	Mono-verbrennung	> 80
EcoPhos	saurer Aufschluss von KSA mit H_3PO_4 , Separation mit selektiven Ionenaustauschern	technische H_3PO_4 (75%ig), Fe-/Al-Salze, Ca-/Mg-Salze	Pilotanlage	Mono-verbrennung	> 80
TetraPhos	saurer Aufschluss mit H_3PO_4 , Separation mit Fällung und Ionenaustauschern	technische H_3PO_4 (75%ig), Gips, Fe-/Al-Salze	Pilotanlage, Großtechnik in Bau	Mono-verbrennung	> 80
PARFORCE	saurer Aufschluss von KSA mit HCl oder HNO_3 , Separation mit Elektrodialyse und Solventextraktion	technische H_3PO_4 (75%ig), Fe-/Al-Salze, Ca-/Mg-Salze	Pilotanlage	Mono-verbrennung	> 80
Ash2Phos	saurer Aufschluss von KSA mit HCl oder H_2SO_4 , Separation durch Fällungs- und Lösungsvorgänge	Ca-Phosphate, Ammoniumphosphate, H_3PO_4 (75%ig), Fe-/Al-Salze, Ca-/Mg-Salze	Pilotanlage	Mono-verbrennung	> 80
AshDec	thermochemische Behandlung von KSA mit Alkali-Verbindungen im Drehrohrofen	thermisch aufgeschlossene KSA mit Ca-Alkali-Phosphaten als P-Komponente	Pilotanlage	Mono-verbrennung	> 80

Die an der Asche ansetzenden Verfahren der Phosphor-Rückgewinnung lassen sich grob in drei Verfahrensfamilien einteilen. Diese sind:

- **Thermochemische Ansätze**
(z.B. EuPhoRe®, AshDec)
Diese Verfahrensgruppe macht sich zunutze, dass mit Hilfe von Chlordonatoren Schwermetalle als Schwermetallchloride volatilisiert werden und damit die Asche entfrachtet wird.
- **Leaching Ansätze mit nachgelagerter Aufbereitung der Flüssigphase**
(z.B. EcoPhos, PASCH)
Diese Verfahrensgruppe transferiert die Metalle sowie den Phosphor zunächst in eine saure Flüssigphase, aus der dann die selektive Rückgewinnung des Phosphors bzw. die Abtrennung von Schadstoffen erfolgt.
- **Aufschlussverfahren ohne Separation der Asche-Matrix**
(z.B. Seraplant/RecoPhos, pontes pabuli)
In dieser Verfahrensgruppe erfolgt der Ausschluss bei einem möglichen engen fest/flüssig Verhältnis mit nachgelagerter Verdampfung der Flüssigphase. Die Aschematrix geht quantitativ in das Endprodukt über.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie galt es ergebnisoffen verschiedene P-Rückgewinnungsverfahren hinsichtlich ihrer Kosten und der Rahmenbedingungen ihrer Umsetzung zu prüfen. Dabei war festzustellen, dass die Verfahrensanbieter teils sehr zurückhaltend sind, was die Preisgabe von Verfahrensschritten, Energiebedarfen, Einsatzstoffen und Preisen betrifft.

Nachstehend wird untersucht – auch anhand der Pflanz- und Ertragsversuche – ob überhaupt ein gesondertes Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm eingesetzt werden muss oder ob die Klärschlammasche gemäß DüMV 2017 direkt als Düngemittel oder als Grundstoff für die Düngemittelherstellung eingesetzt werden kann.

3.4 Technische Bewertung verschiedener Verfahren zur thermischen Klärschlammbehandlung

3.4.1 Übersicht

Bei der thermischen Verwertung von Klärschlamm wird die Verbrennungsweise in Mono- und Mitverbrennung unterschieden. Die Mitverbrennung wird unter anderem in Kohlekraftwerken, Zementwerken sowie Abfallverbrennungsanlagen angewendet.

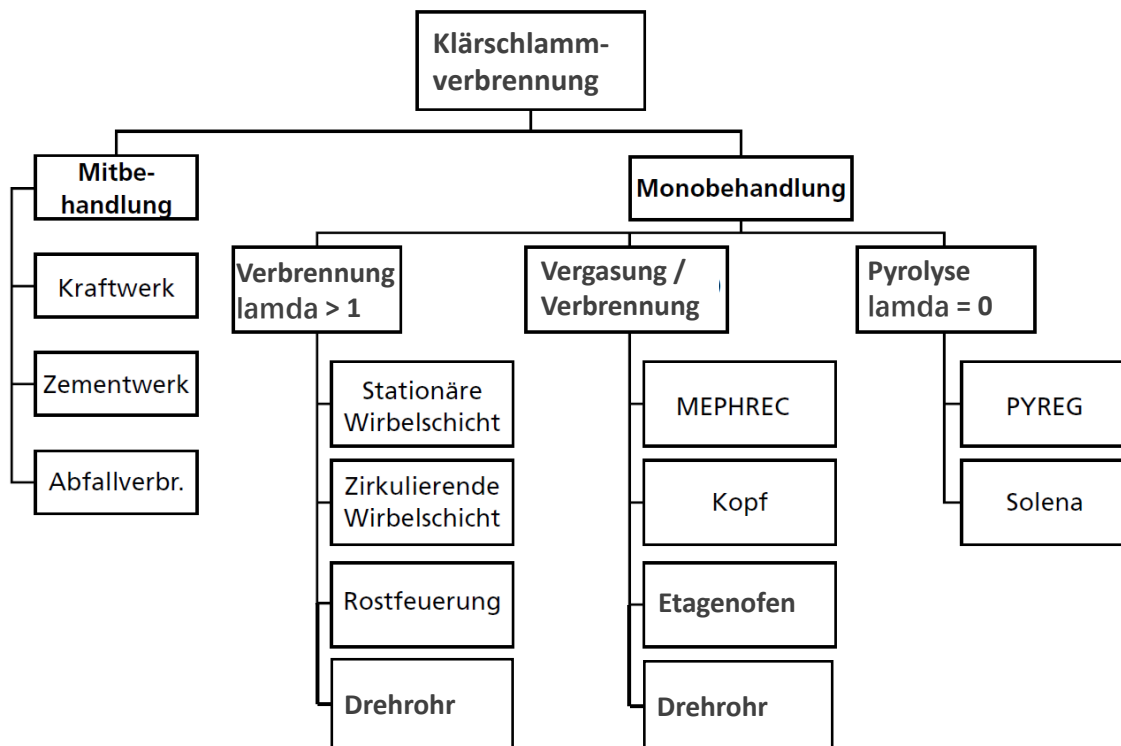


Abb. 3-4: Thermische Verfahren der Klärschlammbehandlung, Darstellung in Anlehnung an (nach Franck, J., Schröder, L., 2015, S. 463, erweitert).

In der Monobehandlung unterteilen sich die Verfahren in Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung, wobei der entscheidende charakteristische Unterschied in dem Luftverhältnis liegt und mit der Luftüberschusszahl λ (Lambda) beschrieben wird. Die Pyrolyse läuft, im Gegensatz zur Vergasung und Verbrennung, unter Sauerstoffentzug ($\lambda = 0$) ab. Bei der Vergasung liegt der Bereich zwischen dem Sauerstoffentzug und dem stöchiometrischen Luftbedarf ($0 < \lambda < 1$).

Bei der Verbrennung wird mehr Sauerstoff zur Verfügung gestellt ($\lambda > 1$), als zur stöchiometrisch vollständigen Oxidation der Brennstoffe notwendig ist.

Eine Hybridform der Monobehandlung stellen das EuPhoRe[®]- und auch das KlärschlammReformer-Verfahren der Fa. Thermo-System GmbH dar, da hierbei zoniert eine reduktive (Pyrolyse) mit einer oxidativen Behandlung gekoppelt wird. Diese Verfahren sind in der Abb. 3-4 unter der Rubrik „Vergasung / Verbrennung“ aufgeführt.

Das am häufigsten eingesetzte Verfahren ist die stationäre Wirbelschichtfeuerung. Etwa 73 % der in Betrieb befindlichen Anlagen nutzen dieses Verfahren. Auf weitere thermische Verfahrenswege, wie z. B. die Rostfeuerung oder Vergasung, wird aufgrund der geringen technischen Anwendung und Bedeutung in Deutschland nicht weiter eingegangen.

3.4.2 Wirbelschichtverfahren

In der heutigen Verfahrenstechnik reicht der Einsatz der Wirbelschicht-Technologien der von der Kohlefeuerung bis hin zu Trocknungsverfahren und Kaffeeröstungen (Bittermann, P., 2013). Der

erste europäische Wirbelschichtofen zur Schlammverbrennung von Raffinerieschlamm ging 1964 in Betrieb.

Der Aufbau dieser Verfahrenstechnik ähnelt meist einer zylindrischen oder konisch-zylindrisch stehenden Brennkammer. Um die Wirbelschicht auszubilden und das Schüttgut zu fluidisieren sind am Boden des Reaktors eine große Anzahl von Lufteintrittsdüsen angebracht. (Vater, W., 1996). Mit steigender Anströmgeschwindigkeit lockert sich die Schüttung zunehmend, bis sich diese im Kräftegleichgewicht zwischen Auftriebskraft und Schwerkraft befindet. Wird die Anströmgeschwindigkeit weiter erhöht, expandiert die Schüttung bis sich eine statische Wirbelschicht ($F_T = F_W$) einstellt. Wird der Luftstrom weiter erhöht und der Austragspunkt überschritten, werden die Feststoffpartikel in Abhängigkeit von ihrer Größe und Masse aus dem Reaktor getragen (Thomé-Kozmiensky, K. J., 2013).

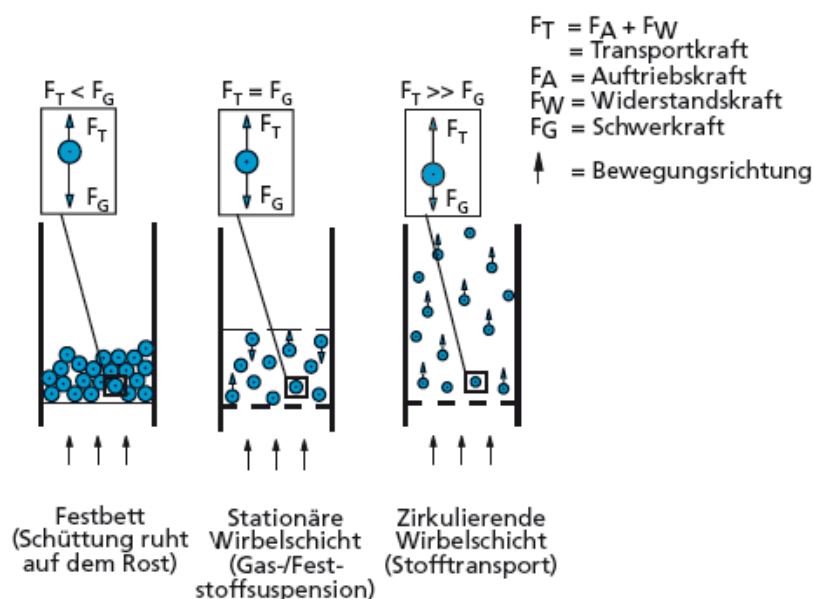


Abb. 3-5: Kraftwirkung am Feststoffpartikel (Thomé-Kozmiensky, K. J., 2013, S. 4)

Der Übergang vom Fest- zum Wirbelbett wird als Wirbelpunkt bezeichnet. Das Wirbelbett ist die technische Voraussetzung für das Wirbelschichtverfahren. Beim Anfahren der Wirbelschicht ist eine externe Vorwärmung des Bettmaterials notwendig bevor die Brennstoffzufuhr gestartet wird. Über die Zufuhr der Primärluft werden die Feststoffe dreidimensional bewegt und damit in horizontaler und vertikaler Richtung vermischt. Die energetische Umsetzung des Brennstoffes findet in einem inerten Sand-Asche-Gemisch in einem Temperaturbereich von 850 bis hin zu 950 °C in der Brennkammer statt. Die Verbrennungstemperatur muss unterhalb des Ascheschmelzpunktes liegen, damit die Asche nicht schmilzt oder versintert. Die Regulierung der Verbrennungstemperatur geschieht durch den eingebrachten Luft- und Brennstoffmassenstrom. Das Wirbelbett besteht aus einer 70 bis 100 cm hohen Sandschicht mit einer Körnung von 0,2 bis 4 mm, die durch Einblasen der Verbrennungsluft in Schwebe gehalten wird.

Das Wirbelbettmaterial nimmt die frei werdende Verbrennungswärme auf, wodurch eine homogene Temperaturverteilung im gesamten Wirbelbett erreicht wird. Dies gilt als besonderer Vorteil der Wirbelschichtverbrennung gegenüber der Rost- und Staubfeuerung. Die Wirbelbettmasse

wirkt als beweglicher Wärmespeicher und gleicht Schwankungen bei der Brennstoffqualität hinsichtlich Heizwert, Schadstoff- und Wassergehalt aus. (Thomé-Kozmiensky, K., 2013, Ispen, C., 2016)

Die Auslegung und rechnerische Unterteilung einer Wirbelschicht hängt von verschiedenen Parametern ab:

- Strömungsgeschwindigkeit in der Wirbelschicht,
- Abmessung, Form und Dichte der Partikel sowie
- Dichte und kinematische Viskosität des Gases.

Diese verschiedenen Kenngrößen lassen sich durch unterschiedliche dimensionslose Kennzahlen zusammenfassen. Zur Einordnung der Strömungszustände eines Gas-Feststoff-Gemisches können die Kennzahlen grafisch in einem Reh-Diagramm dargestellt und dem jeweiligen System zugeordnet werden.

Im Betriebsbereich einer zirkulierenden Wirbelschicht liegt die Strömungsgeschwindigkeit üblicherweise zwischen 5 und 6 m/s. Im Gegensatz zur stationären Wirbelschicht wird über die Steigerung der Anströmgeschwindigkeit im Reaktor der noch teils unverbrannte Brennstoff inkl. dem Bettmaterial ausgetragen. Bei der nachfolgenden Abbildung (Abb. 3-6) rechts dargestellten zirkulierenden Wirbelschicht muss das mitgerissene Bettmaterial in die Wirbelschicht zurückgeführt werden. Dieses geschieht über einen so genannten Rückführzyklon. In diesem System sind zudem keine Schichtoberflächen mehr erkennbar. Vielmehr nimmt die Beladung der Feststoffe von unten nach oben ab. Trotz der kompakten Bauweise befindet sich die zirkulierende Wirbelschicht am Ende der thermischen Leistungsskala und kommt aus wirtschaftlichen Gründen erst ab einer Feuerungswärmeleistung von 50 MW_{th} zum Einsatz. (Thomé-Kozmiensky, K.J., 2013; Hartmann, H. et. al., 2016, S. 115 – 184)

Der Reaktorraum über dem Wirbelbett wird als Freiraum bezeichnet. In diesen kann bei Bedarf zusätzliche Sekundärluft zur Sicherstellung der vollständigen Oxidation des Brennstoffes sowie zur Regelung der Temperatur eingebracht werden. Die bei der Verbrennung entstehende Asche wird über das Rauchgas aus dem Reaktor ausgetragen und in späteren Prozessschritten abgeschieden. (Thomé-Kozmiensky, K.J., 2013)

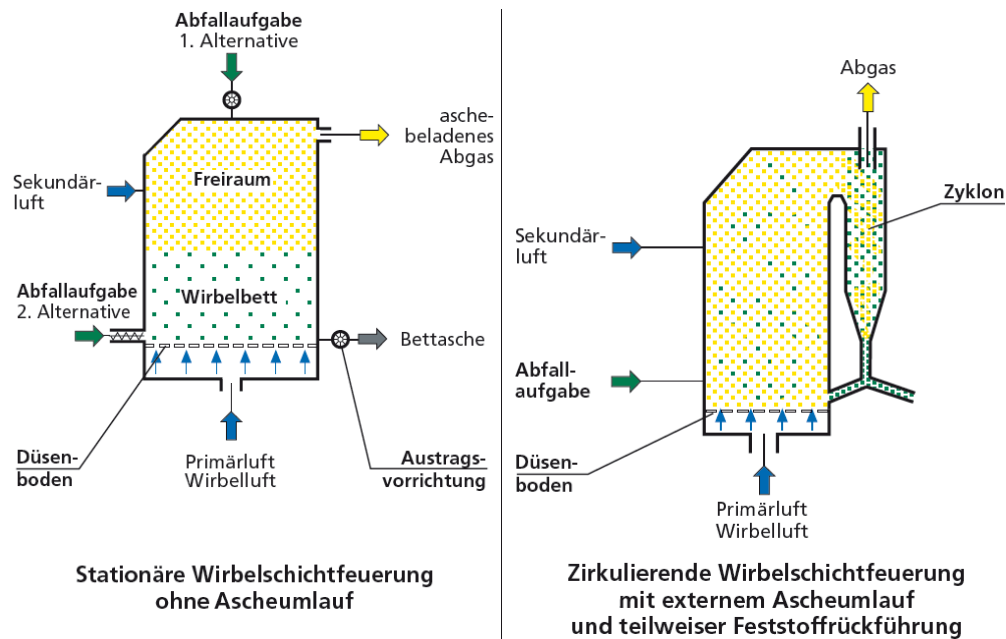


Abb. 3-6: Stationäre (links) und zirkulierende Wirbelschichtfeuerung (rechts) (Thomé-Kozmiensky, K.J., 2013, S. 14)

Für die im Klärschlammverbund Schlitz anfallende Schlammmenge von ca. 5.414 t/a mit 27 % TR bzw. einer theoretischen teilgetrockneten Menge von ca. 3.250 t/a mit 45 % TR erscheint eine Wirbelschichtverbrennungsanlage nicht wirtschaftlich.

3.4.3 Drehrohr-Technik

Alternativ zur oben vorgestellten Wirbelschicht-Verbrennung, die in der Regel nur für größere Klärschlamm-mengen > 5.000 t TR/a (ca. 20.000 t/a entw. Klärschlamm) wirtschaftlich einzusetzen ist, werden hier Drehrohröfen betrachtet, die anhand der Referenzlage auch bei kleineren Durchsätzen – wie hier in Schlitz – eingesetzt werden können.

Als Beispiel wird hier ein thermochemisches 2-stufiges Aufschlussverfahren erläutert, in dem einerseits der thermische Energiegehalt des eingesetzten Klärschlammes genutzt werden kann, andererseits – nach Angabe des Verfahrensanbieters EuPhoRe®-GmbH – das im Klärschlamm enthaltene Phosphat in eine besser pflanzenverfügbare Form gebracht werden und zudem durch Zugabe von Additiven eine Schwermetallentfrachtung erfolgen soll.

Das EuPhoRe®-Verfahren ist ein 2-stufiger thermochemischer Behandlungsprozess für Klärschlämme und andere Biomassen (Wirtschaftsdünger, Gärreste, ggf. Komposte). Damit können neben thermischer Energie insbesondere Phosphate mit höherer Reinheit und guter Pflanzenverfügbarkeit bereitgestellt werden. Das Verfahren soll auch für kleinere Klärschlamm-mengen mit < 1.000 t TR/a wirtschaftlich einsetzbar sein.

Die thermochemischen Prozesse zur Klärschlammbehandlung lassen sich vorzugsweise innerhalb eines Drehrohrreaktors abbilden (siehe Abb. 3-7). Der erste thermische Behandlungsschritt

ist die Erhitzung des Klärschlammes und die Entgasung der flüchtigen Bestandteile unter reduzierenden Bedingungen bei Temperaturen zwischen 650 und 750 °C. Unter diesen Bedingungen werden bereits leicht- bis mittelflüchtige Schwermetalle in Gegenwart von Salzen (Chlordonatoren) in die Gasphase überführt.

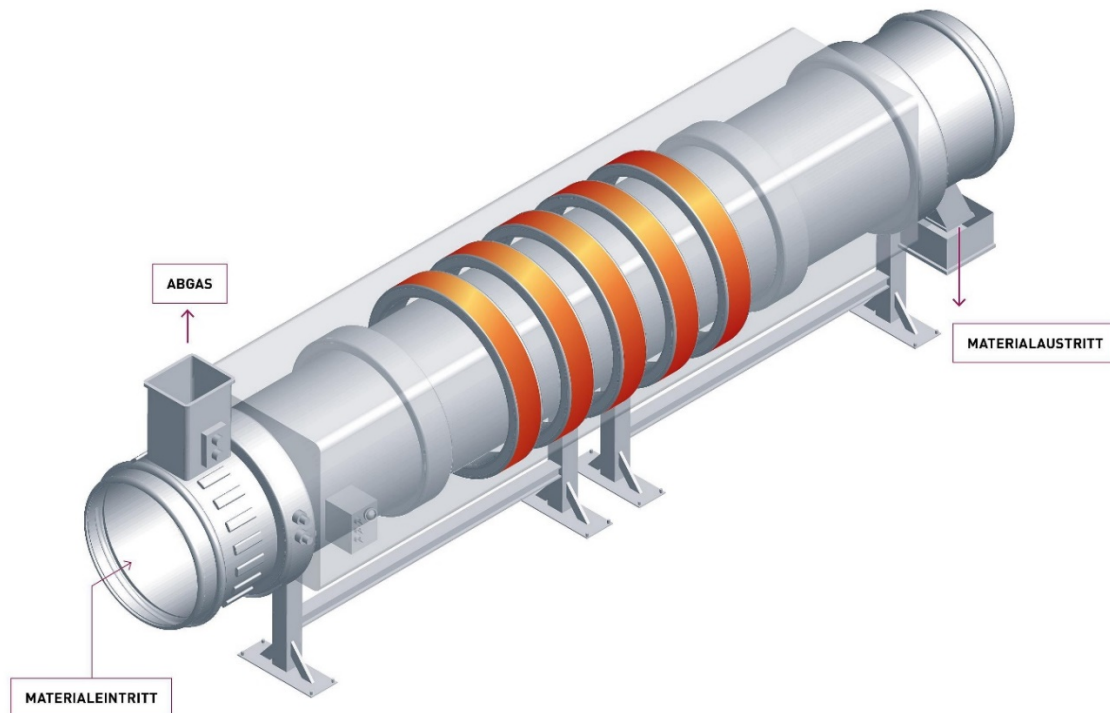


Abb. 3-7: Drehrohr-Ofen mit außen liegender Beheizung, Fa. IBU-tec advanced materials AG, Weimar, Homepage www.IBU-tec.de

In der unmittelbar folgenden oxidativen Nachverbrennung des entstandenen fixen Kohlenstoffs setzt sich die Volatilisierung auch schwerer flüchtiger Metalle bei Temperaturen zwischen 900 und 1.000 °C fort. Als Vorbehandlungsschritt werden Additive in Form von Alkali- und/oder Erdalkalisalzen (z.B. Magnesiumchlorid $MgCl_2$ oder auch Mehr-Komponenten-Chloride (sog. Polychlorid)) dem Klärschlamm zugegeben. Dadurch soll die Effizienz des Schwermetallaustrags gesteigert und abgesichert werden. Die Schwermetalle werden schließlich in der Gasreinigung aus dem Abgasstrom entfernt und bilden den einzigen verbleibenden bisher nicht verwertbaren Rest.

Ein weiterer Effekt der Additivierung ist nach Aussage der EuPhoRe®-GmbH die signifikante Erhöhung des in Zitronensäure löslichen sowie des neutral-Ammoniumcitrat-löslichen Phosphates. Dies ist auf den alkalischen Charakter der Asche nach der Schlammbehandlung mit z.B. Magnesiumchlorid zurückzuführen. Gleichzeitig führt die Verwendung von Magnesiumsalzen zu einer Anreicherung dieses Makronährstoffs in der Asche (siehe auch Kap. 3.6 mit Ergebnissen der Vorversuche).

Das mittels EuPhoRe®-Verfahren aus Klärschlamm erzeugte Ascheprodukt ist Ausgangsstoff zur Herstellung von Einzel- und Mehrnährstoffdüngern, wobei im Prinzip – je nach Schwermetallkonzentrationen – bereits nach der Feinvermahlung und Staubbinding ein mineralischer P-Dünger

vorliegt. Das Verfahren lässt sich als autarkes System betreiben, wobei die gemäß BImSchG erforderlichen Rauchgasreinigungsanlagen vergleichbar zu einer Wirbelschichtverbrennungsanlage realisiert werden müssen.

Sofern bereits am Standort eine Feuerungsanlage mit entsprechender Rauchgasreinigung vorhanden ist – z.B. eine Müllverbrennungsanlage oder EBS-Verbrennungsanlage –, kann die EuPhoRe®-Anlage in der Regel an dieses Rauchgasreinigungs-System und auch an die Wärmeauskoppelung angeschlossen werden. Die Anlage fungiert dann als Vorschaltanlage mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Investitions- und Betriebskosten. Bei diesen Vorschaltanlagen wird die EuPhoRe®-Anlage mit einem Teilstrom des Rauchgases aus dem Kraftwerk im Gegenstrom zum Klärschlamm beheizt. Das Abgas könnte in dieser Konstellation in den Abgasstrom der Feuerungsanlage gegeben und dort mitbehandelt werden (Abb. 3-8).

Am Standort Schlitz ist es aber nicht möglich, die thermische Klärschlammverwertung an eine Müllverbrennungsanlage anzukoppeln und dort die bereits vorhandenen technischen Einrichtungen zur Rauchgasreinigung und zur Wärmeauskopplung mit zu nutzen. Eine autarke Anlage mit eigenständiger Rauchgasreinigung ist daher obligatorisch.

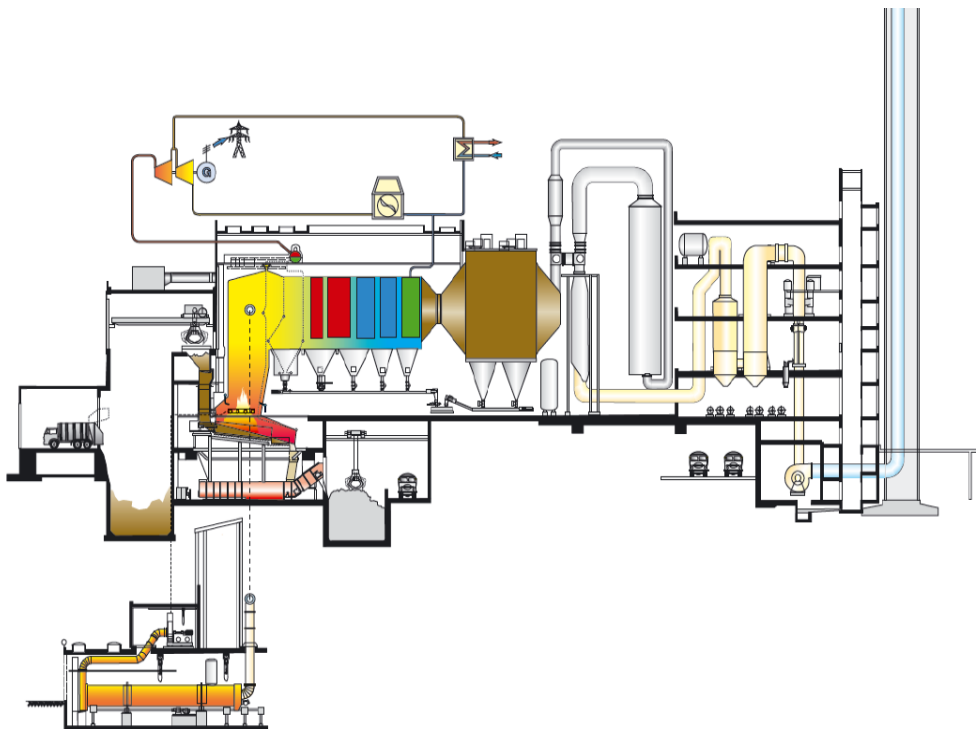


Abb. 3-8: EuPhoRe®-Verfahren als Vorschaltanlage vor einer Müllverbrennungsanlage (Klose, 2018)

Die Drehrohrtechnik zur Klärschlammverbrennung wird auch von anderen Unternehmen angeboten, so z.B. von Werkstätten heating-systems GmbH, Nordhorn.

WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH konzipiert von vornherein ein Gesamtsystem mit Vortrocknung (als Schneckenrockner der Fa. RHS Maschinen- u. Anlagenbau GmbH Typ Rhino

7000) bis auf 85 % TS sowie einem Drehrohrföfen, dessen Abwärme für die Trocknung des Klärschlammes im Schneckenföfner eingesetzt wird. Das Konzept der WERKSTÄTTEN GmbH verwendet die vorhandene solare Trocknung nicht.

Die Fa. WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH bietet ihre Drehrohrentechnik aktuell standardisiert mit einer Feuerungsleistung von 500 kW_{th} an. Das führt zu festen Baugrößen und einer standardisierten Konstruktion und Fertigung. Eine Anpassung an größere Klärschlammengen wird derzeit ausschließlich über die Anzahl der Föfner realisiert (siehe Abb. 3-9). Z.B. würden bei einer Klärschlammmenge von ca. 18.000 t/a 3 baugleiche Föfner realisiert werden.

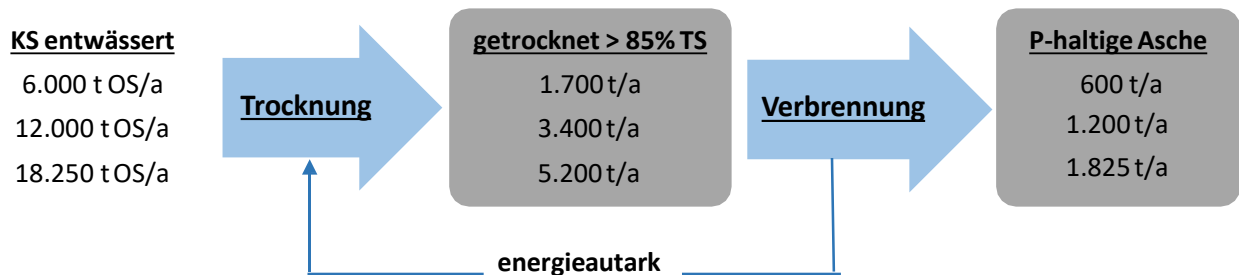


Abb. 3-9: Baugrößen Klärschlammbehandlung Schneckenföfner plus Drehrohrföfner, Fa. WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH (WERKSTÄTTEN GmbH, 2020); je Modul Auslegung auf 500 kW_{th} sowie Betriebsdauer von 7.150 h/a



Abb. 3-10: Trockner mit Abluftbehandlung, Referenzanlage Schüttorf, Foto: WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH



Abb. 3-11: Drehrohfen mit Abgasreinigung, Referenzanlage Schüttorf, Foto: WERKSTÄTTEN Heating Systems GmbH

3.4.4 KlärschlammReformer, Fa. Thermo-System

Als weiteres für kleinere Klärschlammengen einsetzbares thermisches System wird der sog. „KlärschlammReformer“ der Fa. Thermo-System GmbH angeboten. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine mehrstufige Verbrennungsanlage, bei der eine Trennung von Gas- und Schlammverbrennungszone mit gezielter Einstellung der Prozessbedingungen in den unterschiedlichen Stufen möglich sein soll.

Das Verfahren wurde bisher auf den Kläranlagen Renningen, Baden-Württemberg, und Grünstadt, Rheinland-Pfalz, eingesetzt mit vergleichbaren Schlammengen, wie sie in Schlitz bearbeitet werden sollen. Aschen dieser beiden Anlagen wurden im Rahmen dieses Vorhabens ebenfalls analytisch (siehe Kap. 3.6) und in Pflanzversuchen (siehe Kap. 4.3) untersucht.

Der KlärschlammReformer mehrstufiger Verbrennungsprozess wird dabei in ein Verfahrenskonzept mit einer vorgeschalteten Trocknung aus Solartrocknung und/oder Bandtrocknung eingebunden.

Die nachfolgenden Ausführungen stammen von der Fa. Thermo-System GmbH, sind daher derzeit nicht bewertet.

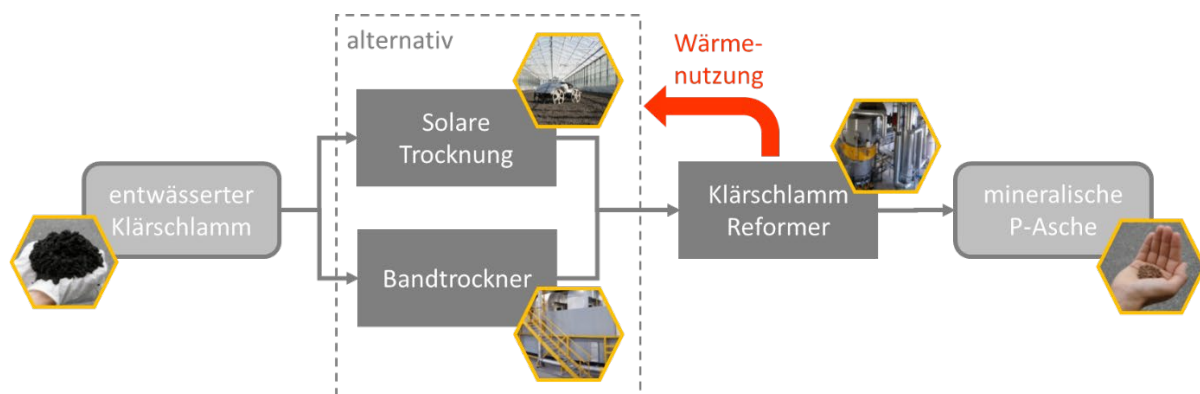


Abb. 3-12: Verfahrenskonzept zur dezentralen thermischen Verwertung von Klärschlamm aus vorgeschalteter Trocknung und mehrstufiger Verbrennung (KlärschlammReformer (Thermo-System, 2020)

Der mechanisch entwässerte Klärschlamm wird zunächst in einer Trocknungsanlage getrocknet. Hierzu kann alternativ entweder eine solare Klärschlamm-trocknung oder ein thermischer Trockner eingesetzt werden. Der getrocknete Klärschlamm wird anschließend im KlärschlammReformer thermisch verwertet. Die Abwärme wird in der Trockner zurückgeführt. Als Produkt entsteht eine phosphathaltige mineralische Asche.

Im KlärschlammReformer wird der getrocknete Klärschlamm in einem mehrstufigen Verbrennungsprozess thermochemisch umgesetzt. Der Reaktor besteht aus einer Pyrolysezone und einer Oxidationszone für den Schlamm sowie einer Gasbrennkammer zur Verbrennung der entstehenden Pyrolysegase. Das innovative Verfahrenskonzept basiert auf einer räumlichen Trennung der verschiedenen Zonen und ermöglicht dadurch eine unabhängige Regelung der Prozessbedingungen. Die Gasbrennkammer wird bei einer Temperatur von etwa 900°C betrieben. Das entstehende Rauchgas wird in einem Wärmetauscher abgekühlt und durchläuft eine 3-stufige Gasreinigung bestehend aus Staubfilter, Rauchgaswäscher und Polzeifilter. Dadurch wird sichergestellt, dass die Grenzwerte der 17. BImSchV eingehalten werden. Die Prozesswärme wird über den Rauchgaswärmetauscher ausgekoppelt und zur Trocknungsanlage übertragen.

Der Klärschlamm wird beim Durchlaufen des Reaktors in mehreren Stufen unter kontrollierten Bedingungen vollständig zu einer mineralischen Asche umgesetzt. Organische Schadstoffe werden durch die hohen Brennraumtemperaturen sicher zerstört. Schwermetalle wie Quecksilber, Cadmium und Thallium werden ausgetrieben und in der Rauchgasreinigung abgefangen.

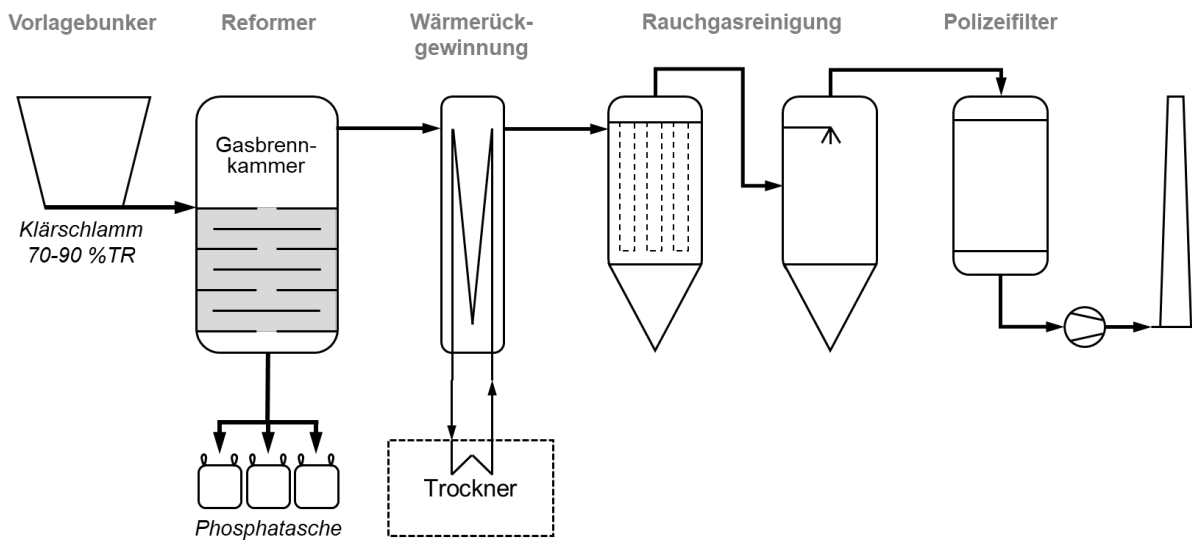


Abb. 3-13: Verfahrenskomponenten der Klärschlamm-Reformer-Anlage (Thermo-System, 2020)

Der mehrstufige Verbrennungsprozess läuft mit dem vorgetrockneten Klärschlamm selbstgänglich und benötigt keine Zufeuerung. Gas wird lediglich für das Anfahren des Reaktors aus dem kalten Zustand benötigt.

Der Annahmebunker kann per Radlader oder mit einer Förderschnecke beschickt werden und verfügt über eine Aufnahmekapazität von etwa 3 Tagen, so dass ein Wochenendbetrieb ohne Nachbeschickung möglich ist. Aus dem Bunker wird der Schlamm mit Förderschnecken zum Klärschlamm-Reformer transportiert, wo die thermochemische Umwandlung des Klärschlammes stattfindet. Die entstehende Asche wird abgekühlt und anschließend für eine weitere Verarbeitung bereitgestellt.

Der Klärschlamm-Reformer sowie die gesamte Peripherie mit Annahmebunker, Rauchgasreinigung und Ascheabsackung sind in einer geschlossenen Halle untergebracht (siehe Abb. 3-15).



Abb. 3-14: KlärschlammReformer, Fa. Thermo-System auf der Kläranlage Renningen (Thermo-System, 2020)

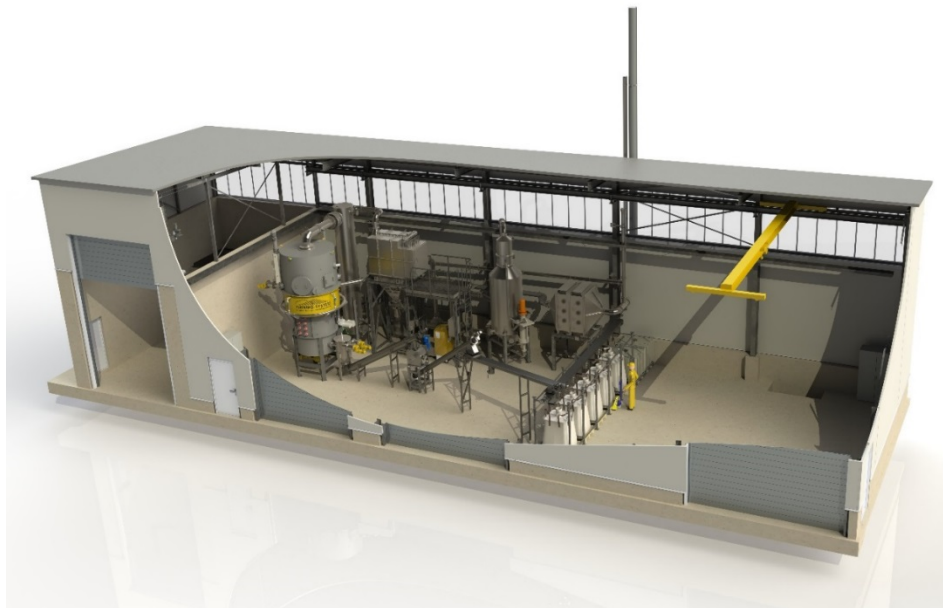


Abb. 3-15: KlärschlammReformer-Halle mit Annahmehunker, Rauchgasreinigung und Big-Bag-Befüllstation, Fa. Thermo-System auf der Kläranlage Renningen (Thermo-System, 2020)

Der aktuell angebotene Baugröße des KlärschlammReformers besitzt eine maximale Feuerungsleistung von ca. 600 kW. Je nach Schlammigenschaften (Feuchtegehalt, Organikgehalt, Heizwert) entspricht dies einer Durchsatzmenge an getrocknetem Schlamm von ca. 1.200 - 2.000 t/a bzw. der Schlammmenge von ca. 50.000 -100.000 EW. Dies wäre also für den Klärschlammverbund Schlitz gut geeignet.

Dem KlärschlammReformer muss eine Trocknungsanlage vorgeschaltet werden, die auf mind. 70 % TR (besser 80-90 % TR) vortrocknet. Das für Schlitz geeignete Konzept wird in Kap. 6.4.3 erläutert.

Tab. 3-5: Technische Daten der aktuell von Thermo-System angebotenen Baugröße des KlärschlammReformers (Thermo-System, 2020)

KlärschlammReformer-Anlage	
Anlagengröße (Einwohnerwerte) *	50.000 - 100.000 EW
Schlammmenge getrocknet Input *	1.200 - 2.000 t/a (ca. 80-90 % TR)
TR-Gehalt *	70 - 90 % TR *)
Organikgehalt des Schlamms *	45 - 60 %TR *)
Heizwert des Schlamms Hu (min.)	7 MJ/kg *)
Feuerungsnennwärmeleistung	600 kW
Aschemenge *	500 - 1.000 t/a *)
Rauchgasreinigung	3-stufig
Gebäudefläche (mit Bunker), ohne Trocknung	300 m ²

*) abhängig von den Schlammeigenschaften

3.5 Emissionen aus der thermischen Klärschlammbehandlung

3.5.1 Übersicht

Gelangen feste, flüssige oder gasförmige Stoffe in die Luft, wird dadurch ihre natürliche Zusammensetzung verändert und es wird von Luftverunreinigung gesprochen. Zum Schutz vor Luftverunreinigungen wurde am 15.03.1974 in Deutschland das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) bzw. die darauf aufbauenden Bundes-Immissionsschutz-Verordnungen (BImSchV) erlassen. Ziel des Gesetzes ist der Schutz von Flora, Fauna und Habitat (Schutzgüter) vor schädlichen Luftverunreinigungen, Geräuschen, Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch den Ausstoß von Rauch, Ruß, Staub, Gasen, Aerosolen, Dämpfen oder Geruchsstoffen.

Grundsätzlich muss in zwei potenzielle Wirkweisen von Luftschadstoffen unterschieden werden. Zum einen in die Emission und zum anderen in die Immission. Nach dem BImSchG sind Emissionen, die von einer Anlage ausgestoßenen Luftverunreinigungen, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und Geräusche. Unter Immission wird die Einwirkung auf den Menschen, das Tier oder die Pflanze nach der Verteilung, dem Transport oder der Verdünnung der Schadstoffe in der Luft, verstanden. (Fritz, W., Kern H., 1990, S. 13 – 18)

Zu den typischen Luftschadstoffen zählen:

- Partikel (Staub)
- Kohlenstoffverbindungen

- Stickstoffverbindungen
- Schwefelverbindungen
- Halogenwasserstoffe
- Organische Schadstoffe

3.5.2 Emissionsminderung

Eine Emissionsminderung ist auf Grundlage primärer und sekundärer Maßnahmen möglich:

Zu den Primärmaßnahmen zählen alle Methoden, mit denen der Verbrennungsprozess beeinflusst wird (z. B. konstruktive Änderung sowie Änderung der Prozessführung). Der Schwerpunkt der Primärmaßnahmen liegt üblicherweise in der Reduktion von Stickstoffoxiden, Kohlenstoffmonoxiden und Kohlenwasserstoffverbindungen.

Bei den Sekundärmaßnahmen handelt es sich um die dem Verbrennungsprozess nachgeschalteten Maßnahmen. Das bedeutet, das Abgas wird mithilfe additiver technischer Maßnahmen gereinigt, ohne die eigentliche Verbrennung zu beeinflussen (Hartmann, H. et. al., 2016). Für die Abscheidung der Emissionen kommen im Sekundärbereich die in der nachfolgenden Tab. 3-6 dargestellten Wirk- und Reaktionsprinzipien zum Einsatz.

Tab. 3-6: Wirk- und Reaktionsprinzipien zur Abscheidung von Schadstoffen in der Abgasreinigung, [Fink, M. 2019, Darstellung in Anlehnung an: [Löschau, 2014, S. 93]]

Schadstoff	Verfahren	Wirkprinzip
Partikel (Staub)	Zyklon	Fliehkraft
	Filternde Abscheider	Filtration
	Elektroabscheider	Elektrische Anziehungskraft
NO _x	Nassabscheider	Heterokoagulation (Ein- und Anlagerung an Flüssigkeitströpfchen)
	Selektive nichtkatalytische Reduktion (SNCR)	Gasphasenreaktion
	Selektive katalytische Reduktion (SCR)	Heterogene Katalyse (Chemische Adsorption)
HCl, HF, SO ₂ , SO ₃	Nassverfahren	Absorption
	Quasitrockenverfahren	Absorption und Adsorption
	Trockenverfahren	Chemische Adsorption
Organische Schadstoffe, Schwermetallverbindungen	Flugstromadsorber Fest- oder Wanderbettadsorber	Physikalische Adsorption

3.5.3 Emissionsminderung saurer Schadgase

Durch Zugabe von natrium- oder calciumbasierter Sorptionsmittel lassen sich saure Schadgase wie Chlorwasserstoff (HCl), Schwefeloxid (SO_x) und Fluorwasserstoff (HF) chemisch binden (Chemisorption) (siehe Abb. 3-16).

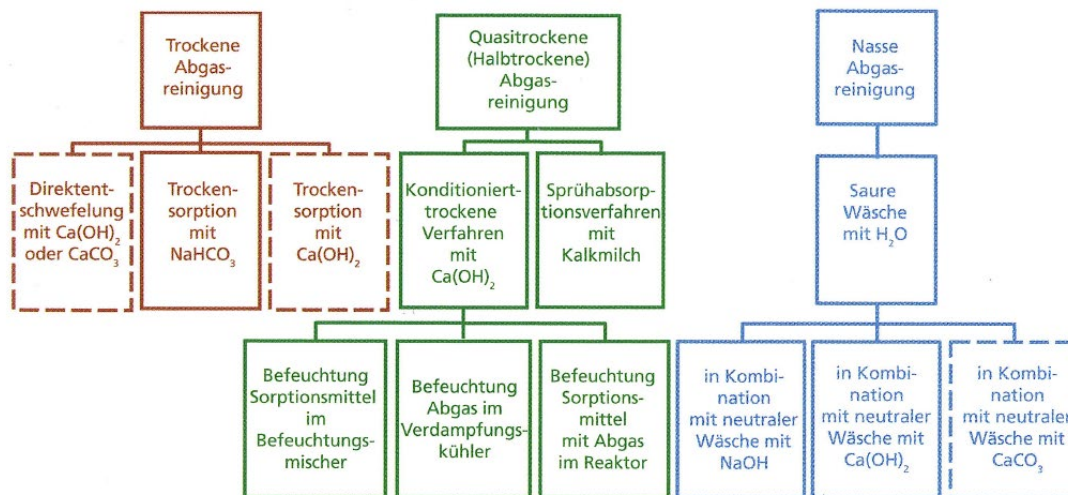


Abb. 3-16: Einteilung der Verfahren zur Minderung saurer Schadgase (Löschau, 2014, S. 233)

Für viele Emissionsminderungsverfahren wird als Sorptionsmittel Kalkhydrat verwendet. Dieses wird durch das Mischen von gemahlenem Branntkalk mit Wasser hergestellt und fällt als trockenes, sehr feines Pulver an. Die Reaktion des Branntkalks mit Wasser ist stark exotherm und wird als Kalklösch bezeichnet.

Das Kalkhydrat wird in das heiße Abgas eingeblasen und im Anschluss über einen Gewebefilter abgeschieden. Die optimale Reaktionstemperatur liegt dabei zwischen 130 – 140 °C. Für eine hinreichende Abscheidung der Schademission wird mit einem Stöchiometriefaktor zwischen 2 bis 3 gearbeitet (Löschau, 2014, S. 297).

Auch bei der trockenen Sorption spielt die hohe Lösungsgeschwindigkeit in wässrigen Lösungen eine wichtige Rolle. Das im Rauchgas enthaltene Wasser bindet um den $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Partikel eine Hydrathülle, wodurch die Reaktionskinetik gegenüber der eben beschriebenen reinen Trockensorption mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ deutlich verbessert wird.

Ein von der Rauchgasfeuchte unabhängiges Behandlungsverfahren für saure Schadgase ist der Einsatz von Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) als Additiv. Natriumhydrogencarbonat ist als Backtriebmittel bekannt und ein ungiftiger Stoff, der als weißes, geruchloses, kristallines Pulver vorliegt. Für eine effektive Abscheidung ist die Partikelgröße des Korns ausschlaggebend, da hierdurch die für die Reaktion zur Verfügung stehende Kontaktfläche beeinflusst wird.

Die für die Abscheidung erforderlichen Additivmengen liegen nicht viel höher als die benötigte Stöchiometrie, oftmals genügt eine 0,1 – 0,4-fache stöchiometrische Zugabe. (Conrad, Y., Karpf, R., 2014; Löschau, 2014; et.al, 2006).

3.5.4 Bewertung der Rückbelastung der Abwässer aus der Klärschlammverbrennung mit Phosphorrückgewinnung (Abwassermengen, Abwasserzusammensetzung)

Die bei der Klärschlammverbrennung anfallende Abwassermenge ist abhängig von

- dem Input-TR-Gehalt des Schlammes in der Zuführung zur Verbrennung
- der Kondensation der Brüden in der Rauchgasreinigung (Brennwert-Technik)
- der Rauchgasreinigung

Die nachfolgend betrachteten Verfahren zur Klärschlammverwertung (Szenarien, siehe Kap. 6) arbeiten jeweils mit einer Vortrocknung, die teilweise als Teiltrocknung bis ca. 45-50 % TM, teils als Volltrocknung bis ca. 85-90 % TM realisiert wird.

Je nach Grad der Vorentwässerung bzw. der Vortrocknung (Input-TR-Gehalt) sind im zu verbrennenden Klärschlamm (in diesem Fall ca. 5.414 t/a mit 27 % TR entsprechend 1.462 t TR/a) folgende Wassermengen enthalten:

- bei 50 % TR (Vortrocknung):
OS: 2.924 t/a, TR: 1.462 t/a, Wasser: $2.924 - 1.462 = 1.462 \text{ m}^3/\text{a} = 4,0 \text{ m}^3/\text{d}$
- bei 85 % TR (Vortrocknung):
OS: 1.720 t/a, TR: 1.462 t/a, Wasser: $1.720 - 1.462 = 258 \text{ m}^3/\text{a} = 0,7 \text{ m}^3/\text{d}$

Die bei der Verbrennung entstehenden Brüden (Wasserdampf) werden in allen Fällen über die Rauchgasreinigung in die Atmosphäre abgegeben. Eine weitergehende Wärmerückgewinnung mit Kondensation der Brüden ist für den Standort Schlitz nicht vorgesehen, da für eine Nutzung der Niedertemperatur-Abwärme kein Potential besteht.

3.6 Vorversuche im Pilotmaßstab zur thermischen Behandlung und P-Rückgewinnung

Laut Aufgabenstellung sollten „für ausgewählte Verfahren ...– bei Eignung und Verfügbarkeit – auch kurze pilotmaßstäbliche Untersuchungen zur P-Rückgewinnung durchgeführt werden“.

In Abstimmung mit den Stadtwerken Schlitz wurden Vorversuche im Pilotmaßstab mit einem thermochemischen reduktiv-oxidativen Verfahren im Drehrohrofen (nach dem EuPhoRe®-Verfahren) mit einer spezifischen Klärschlammprobe durchgeführt, wobei mit Hilfe von Chlordonatoren Schwermetalle als Schwermetallchloride volatilisiert und damit die Asche entfrachtet werden sollte. Diese Vorversuche wurden in Kooperation mit der Fa. EuPhoRe® GmbH sowie IBU-tec advanced materials AG, Weimar, am 25. und 26. November 2019 durchgeführt. Die bei diesen Vorversuchen erforderliche chemische Analytik des Klärschlammes (Input Versuche) sowie der Klärschlammasche (Produkt) wurde bei der AGROLAB LUFA GmbH, Kiel, durchgeführt.

Die Vorversuche wurden mit einer Probe teiltrocknetem (ca. 72 % TS) Klärschlamm durchgeführt. Der Klärschlamm wurde vom Auftraggeber (Stadtwerke Schlitz) bereitgestellt und stammte von der Solartrocknung der Kläranlage Schlitz.

Das Versuchsprogramm wurde mit den folgenden Proben durchgeführt:

- Klärschlammprobe ohne Additiv
- Klärschlammprobe mit Zudosierung von 2,25 % Cl (Additiv als $MgCl_2$)
- Klärschlammprobe mit Zudosierung von 2,25 % Cl (Additiv als 2-Komponenten-Dosierung)

Die Prozessparameter waren wie folgt:

- Pyrolyse: ca. 750 °C, $O_2 < 1$
- Nachverbrennung: 950 - 1.050 °C, $O_2 > 1$

Das feste Pyrolyseprodukt wurde nicht abgekühlt, sondern unmittelbar nachverbrannt.

Insgesamt wurden 4 chemische Analysen durchgeführt:

- 1 x Klärschlamm (getrocknet unbehandelt),
- 3 x Asche.

Die Klärschlammanalyse umfasste folgende Parameter:

TS, oTS, P mineralsäurelöslich, N ges., S ges., Cl, Fe, Cu, Mn, Se, Zn, As, Pb, Cd, Cr, Cr (VI), Ni, Hg, Tl, U, Basisch wirksame Bestandteile als CaO, MgO, K_2O

Die Ascheanalytik umfasste folgende Parameter:

P mineralsäurelöslich, N ges., S ges., Cl, Fe, Cu, Mn, Se, Zn, As, Pb, Cd, Cr, Cr (VI), Ni, Hg, Tl, U N, jedoch zusätzlich C ges., P zitronensäure-/neutral-Ammoniumcitrat-/wasserlöslich, Basisch wirksame Bestandteile als CaO, MgO, K_2O .

Die Analysenergebnisse der Versuche mit dem thermochemischen reduktiv-oxidativen Verfahren (EuPhoRe®-Verfahren) vom 25. und 26.11.2019 sind in der Tab. 3-7 zusammengestellt.

Im Nachgang zur Durchführung und Auswertung der Versuche am 25. – 26.11.2019 bei IBU-tec advanced materials AG, Weimar, wurde bekannt, dass die Versuchsdurchführung und damit auch die Analysenergebnisse durch eine fehlerhaft in den Versuchsdrehrohrofen eingebaute Sonde verfälscht waren. Dadurch war es zu einem zusätzlichen Metalleintrag in den Versuchsbetrieb gekommen.

Daraufhin wurden die Versuche am 04.03.2021 wiederholt. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in Tab. 3-8 zusammengefasst.

Die Analysen der Ausgangs-Klärschlämme zeigen z.T. ähnliche Werte, allerdings auch Unterschiede. Der Schlamm aus dem September 2019 war offensichtlich weiter stabilisiert, der organische Anteil (Glühverlust) lag bei ca. 51 %, der Schlamm aus dem Februar 2021 hingegen wies einen Glühverlust von ca. 55 % auf. Die „rechnerische (virtuelle) Asche“ (GR berechnet) des Schlammes aus dem September 2019 wies i.M. um ca. 10 % höhere Metallkonzentrationen auf als der Schlamm aus dem März 2021, allerdings war die Phosphat-Konzentration in der „rechnerischen (virtuelle) Asche“ aus dem September 2019 um ca. 7 % niedriger als im Schlamm aus dem März 2021.

Ergänzend zu den Versuchen mit dem EuPhoRe®-Verfahren wurden Klärschlämme und Aschen von zwei Kläranlagen (Grünstadt, Rheinland-Pfalz, und Renningen, Baden-Württemberg) untersucht, die mit einer mehrstufigen Etagen-Verbrennungsanlage nach dem System „Klärschlamm-Reformer“ der Fa. Thermo-System behandelt wurden. Die Analysen sind in den Tab. 3-9 und Tab. 3-10 zusammengestellt. Die Analysenparameter wurden vergleichbar mit denen der EuPhoRe®-Versuche gewählt.

Tab. 3-7: Analysenergebnisse von teiltrocknetem Klärschlamm, Kläranlage Schlitz, sowie von Aschen der Versuche zur reduktiv-oxidativen thermischen Behandlung nach dem EuPhoRe®-Verfahren; Versuchsdurchführung bei IBU-tec advanced materials AG, Weimar, 25. – 26.11.2019, erhöhter Nickeleintrag durch fehlerhafte Sonde, Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel

Analysen Klärschlamm Schlitz				Klärschlamm, Ausgangsmaterial (teiltrocknet)			Aschen Versuchsvarianten EuPhoRe mit verschiedenen Additiven								
				FM		TM	Glüh-Rückst.	0 % Additiv		2,25% Cl		2 x 1,125% Cl		DüMV-D	DüMV-EU
Physikalisch-chemische Parameter				72,3 % TM			rechnerisch	100 % TM		100 % TM		100 % TM		26.05.2017	25.06.2019
Organische Substanz			%	36,8		50,90									Anorganisches Makro-Nährstoff Düngemittel
Glührückstand			%	35,5		49,10									
Chlorid			%	< 0,10		< 0,10									
Kohlenstoff gesamt (TC)			%					0,1		< 0,1		< 0,1			
Wertbestimmende Bestandteile					% P-lösl.				% P-lösl.		% P-lösl.		% P-lösl.		
Gesamt-Phosphat	P ₂ O ₅	%		4,70		6,50	13,24	14,90		15,2		15,2			
2%-Zitronensäure lösliches Phosphat	P ₂ O ₅	%		3,80	80,9	5,26	10,70	7,20	48,3%	10,7	70,4%	9,1	59,9%		
neutral-ammonicitratlösliches Phosphat	P ₂ O ₅	%		5,20	110,6	7,19	14,65	10,20	68,5%	12,4	81,6%	10,3	67,8%		
wasserlösliches Phosphat	P ₂ O ₅	%		<1,00	< 21,3%	< 1,0		<1,00	< 6,7%	<1,00	< 6,6%	<1,00	< 6,6%		
Stickstoff	N	%		3,00		4,15		<0,20		<0,20		<0,20			
basisch wirksame Stoffe	CaO	%		<1,00		< 1,0		9,1		10,2		9,3			
Kalium	K ₂ O	%		0,28		0,39		0,9		0,72		0,7			
Magnesium	MgO	%		0,71		0,98	2,0	2,2		4,9		4,3			
Gesamt-Schwefel	S	%		0,71		0,98		<0,20		<0,20		<0,20			
Spurennährstoffe							GR rechn.		Reduktion		Reduktion		Reduktion		
Eisen	Fe	mg/kg		39.600		54.772	111.549	101.000	-9,5%	101.000	-9,5%	101.000	-9,5%		
Kupfer	Cu	mg/kg		251		347	707	586	-17,1%	574	-18,8%	581	-17,8%	900	600
Mangan	Mn	mg/kg		288		398	811	1150	41,8%	1.020	25,7%	762	-6,1%		
Selen	Se	mg/kg		< 2,0		< 2,0		< 2,0		< 2,0		< 2,0			
Zink	Zn	mg/kg		754		1.043	2.124	1.960	-7,7%	937	-55,9%	738	-65,3%	5000	1500
Schwermetalle							GR rechn.		Reduktion		Reduktion		Reduktion		
Arsen	As	mg/kg		4,51		6,24	12,7	11,20	-11,8%	3,11	-75,5%	2,62	-79,4%	40	40
Blei	Pb	mg/kg		32,6		45,09	91,8	29,3	-68,1%	2,30	-97,5%	1,1	-98,8%	150	120
Cadmium	Cd	mg/kg		0,7		0,95	1,9	<0,20	-89,7%	<0,20	-89,7%	<0,20	-89,7%	1,5 mg/kg TM 50 mg/kg P ₂ O ₅	3,0 mg/kg TM 60 mg/kg P ₂ O ₅
Chrom	Cr	mg/kg		49,70		68,74	140,0	133	-5,0%	133	-5,0%	129	-7,9%	300 (Kennz.)	-
Chrom VI	Cr	mg/kg		<0,1		< 0,14		<0,1		<0,1		<0,1		2	2
Nickel	Ni	mg/kg		33,60		46,47	94,6	109,0	15,2%	89,3	-5,7%	84,1	-11,1%	80	100
Quecksilber	Hg	mg/kg		< 0,050		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		1	1
Thallium	Tl	mg/kg		0,11		0,15	0,31	0,11	-64,5%	<0,1	-67,7%	<0,1	-67,7%	1	-
Uran	U	mg/kg		1,8		2,49	5,1	5,6	10,4%	7,1	40,0%	5,3	4,5%	-	-

Tab. 3-8: Analysenergebnisse von teilgetrocknetem Klärschlamm, Kläranlage Schlitz, sowie von Aschen der Versuche zur reduktiv-oxidativen thermischen Behandlung nach dem EuPhoRe®-Verfahren; Versuchsdurchführung bei IBU-tec advanced materials AG, Weimar, 04.03.2021, Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel

Analysen Klärschlamm Schlitz (04.03.2021)				Klärschlamm, Ausgangsmaterial (teilgetrocknet)			Aschen Versuchsvarianten EuPhoRe mit verschiedenen Additiven						DüMV-D	DüMV-EU
Versuchsvariante				FM	TM	Glüh-Rückst.	0 % Additiv		2,25% CI		2 x 1,125% CI			
Physikalisch-chemische Parameter				88,9 % TM		rechn.	100,0 % TM		100,0 % TM		100,0 % TM			
Organische Substanz				%	49,3	55,5								Anorganisches Makro-Nährstoff Düngemittel
Glührückstand				%	39,6	44,5								
Kohlenstoff gesamt (TC)				%			< 0,1		< 0,1					
Wertbestimmende Bestandteile					% P-lösl.			% P-lösl.		% P-lösl.		% P-lösl.		
mineralsäurelösliches Phosphat		P ₂ O ₅	%	5,60	6,3	14,1	15,10		15,3		15,1			
2%-Zitronensäure lösliches Phosphat		P ₂ O ₅	%				4,70	31,1	6,8	44,4	6,2	41,1		
neutral-ammoncitratlösliches Phosphat		P ₂ O ₅	%				3,80	25,2	6,4	41,8	6,4	42,4		
wasserlösliches Phosphat		P ₂ O ₅	%				<1,00		<1,00					
basisch wirksame Stoffe		CaO	%	2,10	2,4	5,3	8,5		10,6		10,6			
Magnesium		MgO	%	0,76	0,9	1,9	2,2		4,1		3,4			
Spurennährstoffe								Reduktion		Reduktion		Reduktion		
Eisen		Fe	ppm	34.700	39.033	87.626	94.400	1,3 %	92.000	-1,3 %	92.900	-0,3 %		
Kupfer		Cu	ppm	265	298	669	587	-10,4 %	600	-8,4 %	595	-9,2 %	900	600
Mangan		Mn	ppm	259	291	654	718	-1,1 %	721	-0,7 %	722	-0,6 %		
Zink		Zn	ppm	780	877	1.970	858	-57,5 %	268	-86,7 %	510	-74,8 %	5000	1500
Schwermetalle								Reduktion		Reduktion		Reduktion		
Arsen		As	ppm	5,72	6,43	14,4	6,81	-58,2 %	5,73	-64,8 %	4,60	-71,8 %	40	40
Blei		Pb	ppm	31,3	35,2	79,0	13,4	-83,4 %	1,34	-98,3 %	2,7	-96,7 %	150	120
Cadmium		Cd	ppm	0,59	0,7	1,5	<0,20	-85,7 %	<0,20	-85,7 %	<0,20	-85,7 %	1,5 mg/kg TM 50 mg/kg P ₂ O ₅	3,0 mg/kg TM 60 mg/kg P ₂ O ₅
Chrom		Cr	ppm	49,70	55,9	125,5	111	-13,3 %	106	-17,2 %	119	-7,0 %	300 (Kennz.)	-
Chrom VI		Cr	ppm	<0,1			<0,1		<0,1		<0,1		2	2
Nickel		Ni	ppm	32,80	36,9	82,8	67,1	-19,4 %	73,0	-12,3 %	72,3	-13,1 %	80	100
Quecksilber		Hg	ppm	< 0,050			<0,050	0,0 %	<0,050	0,0 %	<0,05	0,0 %	1	1
Thallium		Tl	ppm	0,11	0,12	0,28	0,16	-61,9 %	<0,1	-76,2 %	<0,1	-76,2 %	1	-

Tab. 3-9: Analysenergebnisse von getrocknetem Klärschlamm sowie von Aschen des KlärschlammReformers (Schlammverbrennung) der Fa. Thermo-System der Kläranlage Grünstadt; Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel

Analysen Klärschlamm Grünstadt				Klärschlamm, Ausgangsmaterial (getrocknet)			Asche Thermo-System			
				FM		TM	Glüh-Rückst.	SchlammReformer	DüMV-D	DüMV-EU
Physikalisch-chemische Parameter				87,9 % TM			berechnet	100,0 % TM	26.05.2017	25.06.2019
Organische Substanz			%	45,3		51,54				Anorganisches Makro-Nährstoff Düngemittel
Glührückstand			%	42,6		48,46				
Chlorid			%	0,12		0,14		<0,10		
Kohlenstoff gesamt (TC)			%					1,5		
Wertbestimmende Bestandteile					% P-lösl.			% P-lösl.		
Gesamt-Phosphat	P ₂ O ₅	%		6,40		7,28	15,02	16,20		
2%-Zitronensäure lösliches Phosphat	P ₂ O ₅	%		5,20	81,3%	5,92	12,21	10,80	66,7%	
neutral-ammonicitratlösliches Phosphat	P ₂ O ₅	%		6,30	98,4%	7,17	14,79	13,10	80,9%	
wasserlösliches Phosphat	P ₂ O ₅	%		<1,00	< 15,6%	<1,14		<1,00	< 6,2%	
Stickstoff	N	%		3,60		4,10		<0,20		
basisch wirksame Stoffe	CaO	%		2,40		2,73	5,63	11,70		
Kalium	K ₂ O	%		0,26		0,30	0,61	0,80		
Magnesium	MgO	%		1,10		1,25	2,58	2,60		
Gesamt-Schwefel	S	%		1,10		1,25	2,58	1,30		
Spurennährstoffe									Reduktion	
Eisen	Fe	mg/kg		31.400		35.722	73.709	74.500	1,1%	
Kupfer	Cu	mg/kg		452		514	1.061	964	-9,1%	900
Mangan	Mn	mg/kg		197		224	462	493	6,6%	
Selen	Se	mg/kg		4,0		4,6	9	4,3	-54,2%	
Zink	Zn	mg/kg		1.230		1.399	2.887	2.880	-0,3%	5000
										1500
Schwermetalle									Reduktion	
Arsen	As	mg/kg		7,57		8,61	17,8	13,70	-22,9%	40
Blei	Pb	mg/kg		38,3		43,57	89,91	86,90	-3,3%	150
Cadmium	Cd	mg/kg		0,82		0,93	1,92	1,40	-27,3%	1,5 mg/kg TM 50 mg/kg P ₂ O ₅
Chrom	Cr	mg/kg		34,40		39,14	80,75	71,80	-11,1%	300 (Kennz.)
Chrom VI	Cr	mg/kg		<0,10		<0,11	<0,23	<0,10		2
Nickel	Ni	mg/kg		24,20		27,53	56,81	58,10	2,3%	80
Quecksilber	Hg	mg/kg		0,50		0,57	1,17	0,05	-95,7%	1
Thallium	Tl	mg/kg		0,18		0,20	0,42	0,10	-76,3%	1
Uran	U	mg/kg		10,0		11,38	23,47	25,00	6,5%	-

Tab. 3-10: Analyseergebnisse von getrocknetem Klärschlamm sowie von Aschen des KlärschlammReformers (Schlammverbrennung) der Fa. Thermo-System der Kläranlage Renningen; Analysen durch AGROLAB LUFA GmbH, Kiel

Analysen Klärschlamm Renningen				Klärschlamm, Ausgangsmaterial (getrocknet)			Asche Thermo-System			
				FM		TM	Glüh-Rückst.	SchlammReformer	DüMV-D	DüMV-EU
Physikalisch-chemische Parameter				88,4 % TM			berechnet	100,0 % TM		
					% P-lösl.			% P-lösl.	26.05.2017	25.06.2019
Organische Substanz			%	43,1		48,76				Anorganisches Makro-Nährstoff Düngemittel
Glührückstand			%	45,3		51,24				
Chlorid			%	<0,10		<0,11		<0,10		
Kohlenstoff gesamt (TC)			%					4,5		
Wertbestimmende Bestandteile					% P-lösl.			% P-lösl.		
Gesamt-Phosphat	P ₂ O ₅		%	5,80		6,56	12,80	13,10		
2%-Zitronensäure lösliches Phosphat	P ₂ O ₅		%	3,80	65,5%	4,30	8,39	9,30	71,0%	
neutral-ammonicitratlösliches Phosphat	P ₂ O ₅		%	5,80	100,0%	6,56	12,80	10,00	76,3%	
wasserlösliches Phosphat	P ₂ O ₅		%	<1,00	<17,2%	<1,13		<1,00	<7,6%	
Stickstoff	N		%	3,40		3,85		<0,20		
basisch wirksame Stoffe	CaO		%	6,20		7,01	13,69	13,80		
Kalium	K ₂ O		%	<0,50		<0,57	1,10	0,68		
Magnesium	MgO		%	0,80		0,90	1,77	1,90		
Gesamt-Schwefel	S		%	1,00		1,13	2,21	1,70		
Spurennährstoffe							GR rechn.		Reduktion	
Eisen	Fe	mg/kg		55.500		62.783	122.517	122.000	-0,4%	
Kupfer	Cu	mg/kg		443		501	978	952	-2,7%	900
Mangan	Mn	mg/kg		286		324	631	612	-3,1%	
Selen	Se	mg/kg		<2,00		<2,26	<4,4	2,1	-52,4%	
Zink	Zn	mg/kg		994		1.124	2.194	2.380	8,5%	5000
										1500
Schwermetalle							GR rechn.		Reduktion	
Arsen	As	mg/kg		4,67		5,28	10,3	8,20	-20,5%	40
Blei	Pb	mg/kg		33,3		37,67	73,51	75,80	3,1%	150
Cadmium	Cd	mg/kg		0,74		0,84	1,63	0,46	-71,8%	1,5 mg/kg TM 50 mg/kg P ₂ O ₅
										3,0 mg/kg TM 60 mg/kg P ₂ O ₅
Chrom	Cr	mg/kg		33,80		38,24	74,61	84,80	13,7%	300 (Kennz.)
Chrom VI	Cr	mg/kg		<0,10		<0,11	<0,22	<0,10		2
Nickel	Ni	mg/kg		23,70		26,81	52,32	65,50	25,2%	80
Quecksilber	Hg	mg/kg		0,16		0,18	0,35	<0,05	-85,8%	1
Thallium	Tl	mg/kg		0,18		0,20	0,40	<0,10	-74,8%	1
Uran	U	mg/kg		1,4		1,58	3,09	3,20	3,5%	-

Aus den chemischen Analysen der Aschen können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

1. Die Zitronensäure- und Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit wird durch die thermische Behandlung (Verbrennung) verschlechtert:
 - Die Zitronensäure-Löslichkeit wird von ca. 80 % auf ca. 65-70 % reduziert.
 - Die Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit wird von ca. 100 % auf ca. 70-80 % reduziert
 - Die Löslichkeiten nach den Versuchen im Drehrohrofen sind geringer (Zitronensäure ca. 50 % bzw. Neutral-Ammoniumcitrat ca. 70 %) die der Aschen aus den KlärschlammReformern (Zitronensäure ca. 70 % bzw. Neutral-Ammoniumcitrat ca. 80 %)
2. Durch die Zugabe von Chlorid-Additiven wird die Zitronensäure- und Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit im Drehrohr deutlich verbessert.
3. Die Aschen aus dem KlärschlammReformer weisen ohne Additiv-Zugabe vergleichbare Löslichkeiten auf wie die Aschen aus dem Drehrohr mit Chlorid-Additiv-Zugabe.
4. Die Bewertung der in den einzelnen Proben analysierten Schwermetallkonzentration erfolgt im Vergleich zu den theoretisch errechneten Konzentrationen, die sich allein aufgrund der Elimination des organischen Anteils bei der Verbrennung ergeben.
 - Die thermische Behandlung bewirkt bei allen betrachteten Proben (unabhängig vom thermischen Verfahren) eine z.T. deutliche Reduzierung der Konzentrationen an Arsen, Cadmium, Quecksilber, Selen, Thallium gegenüber den rechnerisch ermittelten Konzentrationen im Glührückstand.
 - In den Aschen der KlärschlammReformer ist keine signifikante Reduzierung der Konzentrationen an Blei, Chrom, Mangan, Nickel, Kupfer, Zink zu verzeichnen.
 - In der Asche des Drehrohr-Versuchs ohne Chlorid-Additive sind gegenüber den Aschen der KlärschlammReformer die Konzentrationen an Blei (deutlich), Kupfer (geringfügig) und Zink (geringfügig) reduziert.
 - Die Zugabe von Chlorid-Additiven bewirkt gegenüber den Ergebnissen ohne Additive eine deutliche Reduzierung der Schwermetallkonzentrationen bei Arsen, Blei, Zink
 - Ob die geringfügige Reduzierung der Nickel- und Chrom-Konzentrationen (ca. 12 – 13 % gegenüber der rechnerischen Asche) wirklich auf die Additivierung zurückzuführen ist, bleibt unklar, zumal die Nickelkonzentration in der Asche ohne Additiv-Zugabe niedriger ist als die der Aschen mit Additivzugabe.

In Bezug auf die Grenzwerte der deutschen und der europäischen Düngemittelverordnung können folgende Bewertungen abgegeben werden:

- Die in den Aschen aus dem Klärschlamm aus März 2021 analysierten Nickel-Konzentration unterschreiten mit und ohne Additive (72 bzw. 67 mg/kg TS) den Grenzwert der DüMV von 80 mg/kg TS leicht. Allerdings wies die rechnerische Asche mit ca. 83 mg/kg auch nur leicht erhöhte Werte auf. Ob diese geringe Volatilisierung auf die Chlorid-Additive zurückzuführen ist, kann auch nach der Wiederholung des Versuchs im März 2021 nicht

endgültig bestätigt werden. Damit ist nach wie vor unklar, ob eine Asche nach der Verbrennung des Klärschlammes aus Schlitz den Ni-Grenzwert der deutschen DüMV sicher unterschreiten wird. (siehe auch Kap. 2.4).

- Die übrigen Schwermetall-Konzentrationen der analysierten Aschen aus dem Klärschlamm aus Schlitz unterschreiten die Grenzwerte der deutschen DüMV (DüMV, 2019)

Die Aschen der KlärschlammReformer aus Renningen und Grünstadt überschreiten bei dem Parameter Kupfer mit 952 bzw. 964 mg/kg TS analytisch den Grenzwertes der DüMV. Die übrigen Schwermetall-Parameter werden hinsichtlich der deutschen DüMV eingehalten. Die Zink-Konzentrationen sind allerdings bei beiden KlärschlammReformer-Aschen – auch im Vergleich zu der Asche aus Schlitz – mit 2.380 bzw. 2.880 mg/kg TS deutlich erhöht und überschreiten den Grenzwert der europäischen Düngemittelverordnung. Die Nickel-Belastung ist in beiden Schlämmen geringer als im Schlamm aus Schlitz.

4 Bewertung verschiedener Verfahren zur Produktion eines Sekundärrohstoffs mit sehr guter Pflanzenverfügbarkeit und Entfrachtung von Schadstoffen

4.1 Szenarien zum Phosphorrecycling aus Klärschlammaschen

Eines der Hauptziele des Klärschlammverwertungskonzeptes ist eine weitestgehende Bereitstellung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors für die regionale Landwirtschaft bei gleichzeitig hoher Entsorgungssicherheit für die beteiligten Kläranlagenbetreiber. Wie bereits erläutert, werden aufgrund dieser Prämisse Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm direkt bzw. aus dem Schlammwasser nicht betrachtet.

Für eine weitgehende Verwertung ist damit die Klärschlammverbrennung am Standort Schlitz und Bereitstellung des in der Asche enthaltenen Phosphors für weitere Prozessschritte bis zur Verwertung als Phosphor-Rezyklat aus der Asche in der Region obligatorisch.

Ob für die Anlieferung der Aschen bei der Düngemittelindustrie Erlöse zu erzielen sind, konnte im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht detailliert geklärt werden. In dem Dialog mit einem regionalen Düngemittelhersteller (siehe Kap. 5.2.1) wurde auf folgende noch unklare Punkte verwiesen:

- genaue Zusammensetzung, insbesondere P-Gehalt der Asche
- Status der Asche: Produkt, Vorprodukt, Abfall
- ggf. erforderliche Aufwendungen zum chemischen Aufschluss des Phosphates sowie zur Schadstoffabreicherung
- erforderliche Aufwendungen zur Weiterverarbeitung (z.B. Mahlen)
- erforderliche Aufwendungen zur Konfektionierung (z.B. Einmischung in den Düngekalk)

Für die Bereitstellung des in der Asche enthaltenen Phosphors werden folgende Szenarien betrachtet:

4.1.1 Szenario P1: Direkte Nutzung der Klärschlammasche in der regionalen Düngemittelproduktion

In diesem Szenario erfolgt auf der Kläranlage Schlitz eine Verbrennung des Klärschlammes ohne weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Pflanzenverfügbarkeit. Dieses Szenario orientiert sich an der Festlegung der Düngemittelverordnung (DüMV, 2019), Anhang 2, Tabelle 6 Nr. 6.2.3, wonach Aschen aus der Verbrennung von Klärschlamm direkt als Düngemittel in Verkehr gebracht werden dürfen, sofern sie die Anforderungen der DüMV in Bezug auf Schadstoffgehalte erfüllen.

Als Verbrennungstechnologie kann bei der zu verarbeitenden Menge von ca. 180 – 200 kg TR/h z.B. ein Etagen-Verbrennungsofen oder ein Drehrohrofen eingesetzt werden. Andere Verfahren wie Wirbelschicht-, Rostfeuerung oder Staubfeuerungsverfahren scheidet aufgrund der geringen Schlammengen aus (siehe Kap. 3.4)

Die Asche wird zu einem regionalen Düngemittel-Produzenten transportiert und dort in die Düngemittelproduktion eingespeist. Die Erfüllung der Auflagen zur Phosphorrückgewinnung gem.

AbfklärV erfolgt durch den Betreiber der dortigen Anlage. Die genehmigungsrechtlichen Erfordernisse am Standort Schlitz erstrecken sich somit auf die Errichtung des Klärschlamm-lagers, der Trocknungsanlage und der Verbrennung.

Sofern die Anforderungen der Düngemittelverordnung für die Asche eingehalten werden, insbesondere die Grenzwerte für Schadstoffe, kann für die Asche ein Produktstatus erwirkt werden (siehe auch Kap. 4.4, Entlassung aus dem Abfallrecht). In Kap. 2.5 und auch in den Analysen im Rahmen der Vorversuche (Kap. 3.6) musste aber bereits festgestellt werden, dass die Aschen aus Schlitz sowohl in der derzeitigen Zusammensetzung als auch rechnerisch für die zukünftige Zusammensetzung Überschreitungen beim Grenzwert für Nickel aufweisen können.

Daher muss es das Ziel sein, den Klärschlamm an sich weiter von Nickel zu entfrachten.

4.1.2 Szenario P2: Behandlung des Klärschlammes nach dem EuPhoRe[®]-Verfahren und Erzeugung eines Vorprodukts zur Abgabe in die Düngemittelindustrie

In diesem Szenario erfolgt die thermische Umsetzung des vorgetrockneten Klärschlammes in dem 2stufigen (reduktiv/oxidativ) EuPhoRe[®]-Verfahren in einem Drehrohrreaktor unter Zugabe von Chloridadditoren (ca. 2,25 % Chlorid als $MgCl_2$ bzw. $MgCl_2 / KCl$) zur Volatilisierung von Schwermetallen. Die Ergebnisse der Volatilisierung sind der Tab. 3-7 (Klärschlamm- und Ascheanalysen der Pilotversuche mit dem EuPhoRe[®]-Verfahren) zu entnehmen.

Die Chlorid-Additivierung im Verbrennungsprozess hat zumindest in den durchgeführten Versuchen nicht zu einer deutlichen Unterschreitung des Nickel-Grenzwertes der Düngemittelverordnung 80 mg/kg TS geführt.

Daher muss es das Ziel sein, den Klärschlamm an sich weiter von Nickel zu entfrachten.

Ziel des EuPhoRe[®]-Verfahrens ist zudem, durch die 2-stufige thermische Behandlung eine bessere Pflanzenverfügbarkeit der Phosphate zu erreichen. Unter ausschließlicher Bewertung der Analyseergebnisse für die Zitronensäure- und die Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeiten (siehe Tab. 3-7) wird dieses Ziel auch erreicht (Verbesserung um ca. 10 – 20 %). Die durchgeführten Pflanzversuche / Ertragsversuche (siehe Kap. 4.3) haben diesbezüglich keine eindeutigen Vorteile ergeben.

4.1.3 Szenario P3: Fertigung eines verkaufsfähigen Düngers am Standort Schlitz (z.B. pontes pabuli-Verfahren)

Dieses Szenario beinhaltet ebenfalls eine kleine Klärschlammverbrennungsanlage (siehe Szenario P1) z.B. nach dem Verfahren des Etagenofens oder Drehrohrofens mit anschließendem chemischen Aufschluss der Asche und Herauslösung des Phosphates aus der Aschematrix. Diese Verfahrenskombination weist die höchste Verarbeitungstiefe am Standort auf, da sie in ein verkaufsfähiges Düngemittel mündet. Verfahrenskern ist der saure Aufschluss der Asche, um das darin enthaltene Tricalciumphosphat in eine wasserlösliche und damit deutlich bessere pflanzenverfügbare Form zu überführen. Die Wasserphase wird nach einer Fest-Flüssigtrennung im Kreis geführt, wobei die Option besteht, Schwermetalle auszuschleusen. Der Feststoff wird (bedarfsweise unter Zusatz weiterer Nährstoffträger) granuliert und getrocknet. Das Verfahren befindet sich derzeit im pre-engineering.

Das Verfahrensfliessbild von pontes pabuli zeigt die Abb. 4-1.

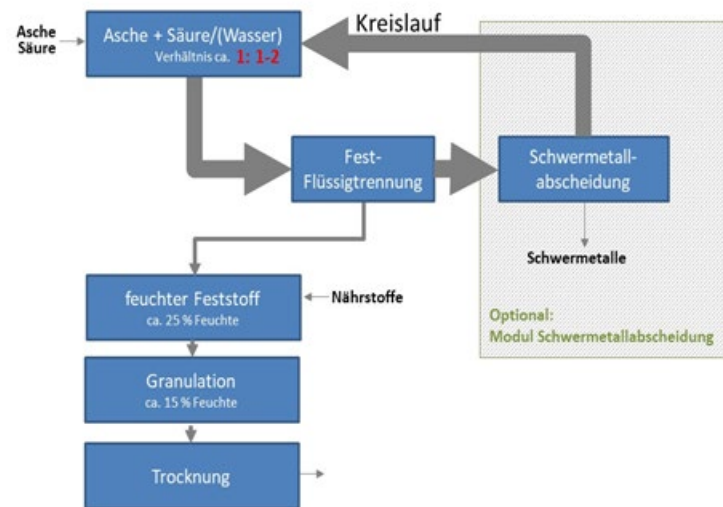


Abb. 4-1: Fließbild des pontes pabuli-Verfahrens

Das pontes pabuli-Verfahren arbeitet vergleichbar zum SeraPlant-Verfahren ohne Separation der Aschematrix. Dies bedingt, dass die aus dem Klärschlamm bzw. der Klärschlamm-Asche resultierende P-Fracht quantitativ in das Produkt eingebracht wird. Geringfügige Verluste treten allenfalls dann auf, wenn es aus der Produkt-Perspektive erforderlich sein sollte, Feinmaterial zur Unterbindung der Staubproduktion aus dem Prozess auszuschleusen und dessen Rückführung in den Prozess nicht möglich ist.

Für das technisch und chemisch ähnliche SeraPlant-Verfahren (ehemals RecoPhos) liegen umfangreiche Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit und zur Handhabbarkeit des Produktes vor (Weigand et al, 2013, Weigand und Bertau, 2013). Diese belegen eindeutig, dass das Produkt einem konventionell hergestellten Triple Superphosphat ebenbürtig ist. In Abhängigkeit von der Ausbaustufe einer entsprechenden Behandlungsanlage (Vor-/oder Endprodukt) muss der Nachweis der Düngewirksamkeit des Rezyklates durch den Betreiber selbst oder durch eine nachgelagert einzuschaltenden Düngemittelerzeuger nachgewiesen werden.

Dieses Verfahren weist allerdings für den Standort Schlitz folgende wesentliche Nachteile auf:

- Die zu verarbeitende Asche-Menge mit ca. 800 t/a ist für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Säureaufschluss-Anlage deutlich zu gering.
- Am Standort Schlitz würde eine chemietechnische Anlage mit Einsatz und Lagerung größerer Mengen an Chemikalien (v.a. Säure) installiert werden müssen
- Die Anlage führt zu einem weiteren deutlichen Personalaufwand.

4.2 Bewertung der Szenarien P1 bis P3

Die drei Szenarien zur P-Rückgewinnung unterscheiden sich in der Qualität und der Pflanzenverfügbarkeit des Produktes, der regionalen Realisierungstiefe, den anlagentechnischen Erfordernissen, den Erfordernissen hinsichtlich der Genehmigung und dem erforderlichen Investitionsvolumen sowie den spezifischen Kosten. In der nachfolgenden Tab. 4-1 sind die zu berücksichtigenden Kriterien mit einer entsprechenden Bewertung zusammengestellt.

Tab. 4-1: Im Rahmen der Verfahrensauswahl zu berücksichtigende Aspekte

Aspekt	Szenario P1 Drehrohr- oder Etagenofen Düngemittelproduzent regional	Szenario P2 EuPhoRe® Drehrohr Düngemittelproduzent regional	Szenario P3 Drehrohr- oder Etagenofen, Ascheaufbereitung (z.B.) Pontes pabuli
P-Recyclingquote	sehr hoch (> 90 %)	sehr hoch (> 90 %)	sehr hoch (> 90 %)
Pflanzenverfügbarkeit des Produktes (siehe Kap. 4.3)	mittel	gut	Sehr gut
Genehmigungsumfang	Kurzzeitlager Schlamm, Trocknung, Verbrennung, Kurz- zeitlager Asche	Kurzzeitlager Schlamm, Trocknung, Verbrennung, Kurz- zeitlager Asche	Kurzzeitlager Schlamm, Trocknung, Verbrennung, Dün- gerproduktion, ggfs. Produktlager
BlmSchG- Genehmigung	Vereinfachtes Verfah- ren gemäß § 19, BlmSchG, 4. BlmSchV	Vereinfachtes Verfah- ren gemäß § 19, BlmSchG, 4. BlmSchV	Vereinfachtes Verfah- ren gemäß § 19, BlmSchG, 4. BlmSchV
Ausfallrisiko bez. Erfüllung P-Recyc- lingpflicht	nicht vollständig kon- trollierbar (z.B. Ver- tragskündigung durch DüM-Produzent)	nicht vollständig kon- trollierbar (z.B. Ver- tragskündigung durch DüM-Produzent)	vollständig kontrollierbar
Rechts-Einordnung Asche- / Rezyklat- Verwertung	Abfallrecht / Düngemittelrecht	Abfallrecht / Düngemittelrecht	Düngemittelrecht
Investitionen Schlammbehand- lung, P-Recycling	siehe Kap. 6.5	siehe Kap. 6.5	sehr hoch, Szenario nicht weiter betrachtet
Spezifische Kosten Schlammbehand- lung, P-Recycling	siehe Kap. 6.5	siehe Kap. 6.5	sehr hoch, Szenario nicht weiter betrachtet
Erfordernis zum Aufbau Vertriebs- strukturen	keine, Vermarktung über Düngemittelproduzent	keine, Vermarktung über Düngemittelproduzent	für Dünger- vermarktung
Erfüllungsgrad Re- gionalität der Dün- gemittelproduktion	ja, Region Fulda	ja, Region Fulda	ja, Region Fulda

4.3 Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit der P-Rezyklate

Laut Aufforderung zur Abgabe eines Angebotes wurden „für ausgewählte Verfahren ... bei Eignung und Verfügbarkeit – auch Produktanalysen und Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des im Rahmen der pilotmaßstäblichen Untersuchungen zur P-Rückgewinnung (siehe Kap. 3.6) gewonnenen P-Recyclats durchgeführt.“

Die in den Untersuchungen im Pilotmaßstab mit einem thermochemischen reduktiv-oxidativen Verfahren (EuPhoRe®-Verfahren) (siehe Kap. 3.6) erzeugten Produkte wurden in Anlehnung an die Düngemittelverordnung sowie die Klärschlammverordnung chemisch analysiert sowie hinsichtlich der Pflanzenverfügbarkeit untersucht. Ebenso wurden Aschen aus der thermischen Behandlung mit dem „KlärschlammReformer“ der Fa. Thermo-System in die Untersuchung und Bewertung einbezogen

Die Klärschlamm- und Ascheanalytik ist Kap. 3.6 in Tab. 3-7 bis Tab. 3-10 enthalten.

Die Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit wurden in Klimakammern des Instituts für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität, Prof. Dr. Steffens, unter definierten Bedingungen mit Weidelgras mit zwei verschiedenen Bodensubstraten durchgeführt:

- einem sehr nährstoffarmen Sandboden (Standard-Boden) zur Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen z.B. des LHL sowie
- einem speziellen Substrat, welches an der Universität Bonn (Prof. Dr. Goldbach) für Standard-Versuche entwickelt wurde (sog. HGoTech-Substrat).

Bei dem Substrat der Firma HGoTECH handelt es sich um eine Mischung aus Vermiculit und Sand. Vermiculit ist ein Schichtsilikat aus der Mineralklasse der „Silikate und Germanate“ und gehört zu den Tonmineralen.

Die Untersuchungen erfolgten mit vermahlenden Proben, deren Gesamt-P Gehalte in der Originalsubstanz bei Anlage der Düngerversuche berücksichtigt wurden. Eine Charakterisierung der Rezyklate entsprechend der P-Löslichkeiten zeigt Tab. 4-2.

Die P-Düngung betrug einheitlich 75 mg P/kg Boden bzw. Substrat der Firma HGoTECH. Da der Versuchsboden relativ viel CAL-extrahierbares Phosphat enthielt (0,8 mg P/100 g Boden) wurde dieser Boden mit Quarzsand im Verhältnis 1:1 gemischt. Ferner wurde dieses Boden/Sand-Gemisch mit kohlensaurem Kalk auf einen pH-Wert (CaCl_2) von 6 aufgekalkt.

Tab. 4-2: Gesamt-P-Gehalte P_{total} und P-Extrahierbarkeit in Zitronensäure und Neutral-ammoniumcitrat sowie Eisengehalt der getesteten Rezyklate

Rezyklat Herkunft	P_{total} (=100 %)	in 2%iger Zitronensäure lösliches P	in Neutral-Ammonium- citrat lösliches P	Fe-Gehalt der Asche
Klärschlamm aus Schlitz	2,05	1,65 (= 80,5%)	2,27 (= 110,7%)	39,6
Rezyklat Schlitz, EuPhoRe® ohne Additiv	6,50	3,14 (= 48,3%)	4,45 (= 68,5%)	101
Rezyklat Schlitz, EuPhoRe® + 2,25% MgCl₂	6,63	4,67 (= 70,4%)	5,41 (= 81,6%)	101
Rezyklat Schlitz, EuPhoRe® +2,25 Poly-Chlorid	6,63	3,97 (= 59,9%)	4,49 (= 67,7%)	101
Rezyklat Grünstadt, Thermo-System	7,03	4,67 (=66,4%)	5,67 (= 80,7%)	74,5
Rezyklat Renningen, Thermo-System	5,67	5,67 (= 100%)	4,32 (= 76,2%)	122

Mit den aufgeführten Produkten wurden Gefäßversuche zur Ermittlung der Düngewirksamkeit angesetzt. Die Untersuchung erfolgte vergleichend zu mineralischen Handelsdüngern (Rohphosphat (Hyperphos), $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) sowie hinsichtlich der Abhängigkeit der Düngewirkung vom Bodensubstrat in den folgenden Versuchsvarianten:

- Variante 1: P₀, Kontrolle, keine Phosphordüngung
- Variante 2: Rohphosphat (Hyperphos)
- Variante 3: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ Calciumdihydrogenphosphat
- Variante 4: Rezyklat KA Schlitz, EuPhoRe® ohne Additive
- Variante 5: Rezyklat KA Schlitz, EuPhoRe® plus 2,25% MgCl₂
- Variante 6: Rezyklat KA Schlitz, EuPhoRe® plus 2,25% Polychlorid
- Variante 7: Rezyklat KA Grünstadt, Thermo-System KlärschlammReformer
- Variante 8: Rezyklat KA Renningen Thermo-System KlärschlammReformer

Jede der aufgeführten acht Varianten des Gefäßversuches wurde in vierfacher Wiederholung und mit jedem Substrat angelegt, so dass der Gefäßversuch 64 kleine Mitscherlichgefäße umfasste (8 Varianten × 4 Wiederholungen × 2 Substrate = 64). Von dem HGoTECH-Substrat wurden 5 kg und vom Boden/Sand-Gemisch wurden 6 kg/Gefäß eingefüllt.

Neben Phosphat wurden alle anderen Pflanzennährstoffe im Optimum gedüngt. Vom 28.02.2020 bis zum 05.03.2020 erfolgte die Inkubation der P-Rezyklate in den beiden Substraten bei 60% der Wasserhaltekapazität, um dann auf 40% der Wasserhaltekapazität abzutrocknen, damit am 10.03.2020 Weidelgras (*Lolium multiflorum* L, cv. Zebu) ausgesät werden konnte.

Mit den aufgeführten Produkten wurde am 28.02.2020 ein Gefäßversuch zur Klärung der nachstehenden Fragen durchgeführt:

- *Wie ist die Pflanzenverfügbarkeit für Phosphor aus verschiedenen aufgearbeiteten Klärschlammaschen im Vergleich zu mineralischen Handelsdüngern (Rohphosphat, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) zu bewerten?*
- *Besteht ein gravierender Unterschied in der P-Wirkung zu Weidelgras von P-Rezyklaten, die in ein Boden/Sand Gemisch bzw. in ein Substrat von HGoTECH gedüngt werden?*

Infolge der P-Düngung stieg das CAL-extrahierbare Boden-P an, wobei die deutlichste Zunahme in der TSP-Variante ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) zu verzeichnen war. Die Prüfprodukte wirkten sämtlich besser als das Rohphosphat auf das CAL-extrahierbare Boden-P. Dies ist ein erstes Indiz dafür, dass die thermische Umsetzung des Klärschlammes zu einer Verbesserung der P-Verfügbarkeit im Vergleich zu Rohphosphat führt.

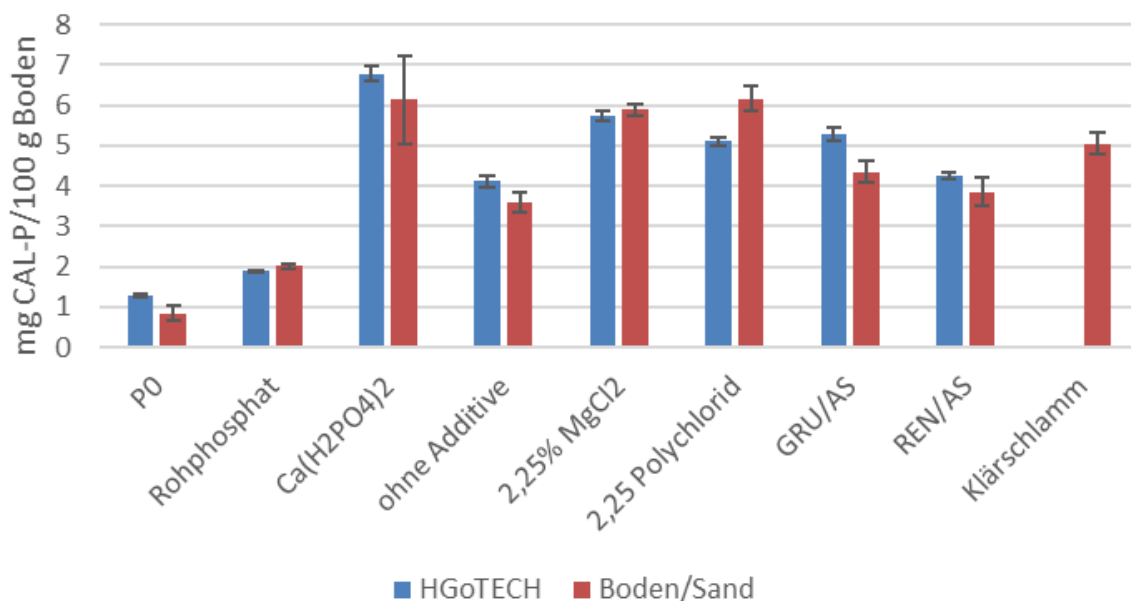


Abb. 4-2: CAL-lösliches P in Bodenproben nach der Keimung des Weidelgrases in Abhängigkeit von der Düngungsvariante und dem Bodensubstrat. Varianten „ohne Additive“, „2,25 % MgCl_2 “ und „2,25 % Polychlorid“: Rezyklat aus Klärschlamm Schlitz gem. EuPhoRe[®]-Verfahren; Varianten „GRU/AS“ und „REN/AS“ Rezyklate, aus den Klärschlammen aus Grünstadt bzw. Renningen unter Einsatz des Thermo-System-Verfahrens

Infolge der P-Düngung in Form der verschiedenen Rezyklate sowie P-Dünger stiegen auch die Weidelgras-Erträge deutlich an. Ausnahme bildete die Düngung mit Rohphosphat. Sowohl auf

dem HGoTECH-Substrat als auch auf dem Boden/Sandgemisch nahm der absolute Sprossstrockenmasseertrag von Weidelgras bei jedem Schnitt im Vergleich zur P0-Variante deutlich zu.

Die Pflanzen wurden 3 mal geschnitten, um die Biomassenproduktion sicher bestimmen zu können und die Wirksamkeit der Recycling-Phosphate im Vergleich zu herkömmlichen P-Düngern zu prüfen. In der Abb. 4-3 ist die Summe der Trockenmasseerträge aus den drei Weidelgraschnitten dargestellt. Wie erwartet, wurde auf dem HGoTECH-Substrat und dem Boden/Sandgemisch der höchste Ertrag mit der $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -Variante erzielt, wobei die Erträge auf dem Boden/Sandgemisch höher ausfielen als auf dem HGoTECH-Substrat. Eine Ursache könnte der höhere pH-Wert des HGoTECH-Substrates sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die unterschiedliche Löslichkeit des in den Rezyklaten gebundenen P besser in den auf dem HGoTECH-Substrat erzielten Erträgen widerspiegelt als in dem Boden/Sandgemisch.

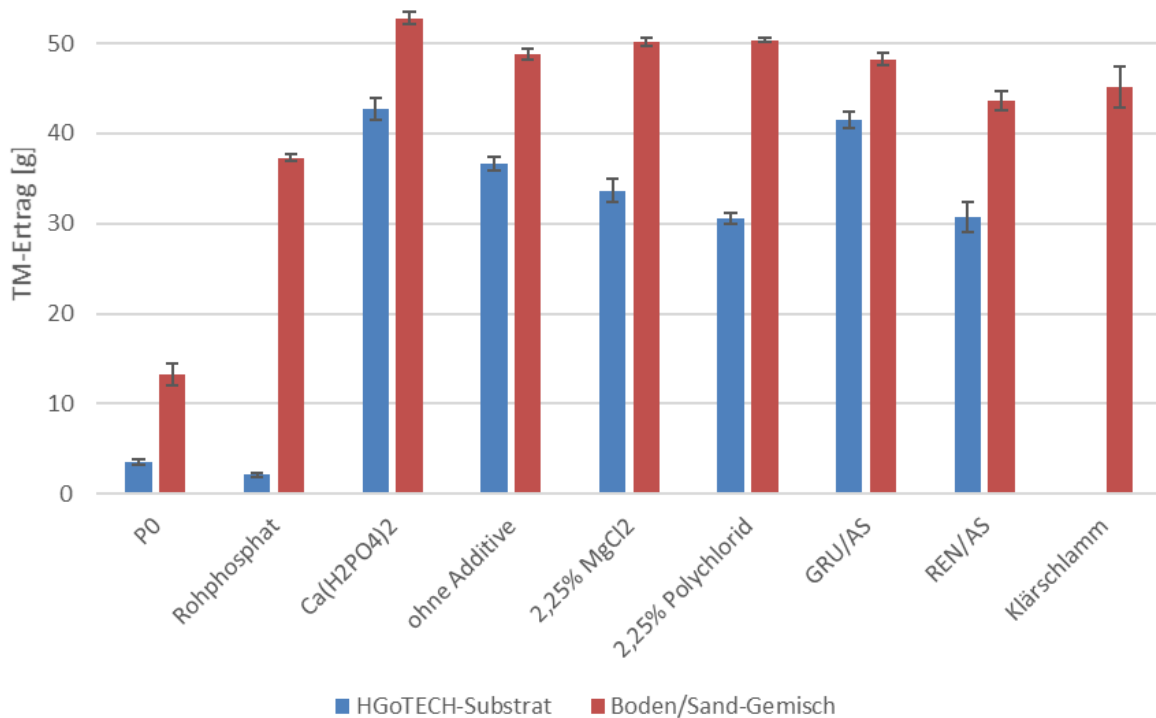


Abb. 4-3: Einfluss der Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat) auf die in drei Schnitten erzielte Sprossstrockenmasse (g TM/Gefäß) von Welschem Weidelgras in Abhängigkeit von Düngungsvariante und Bodensubstrat.
Varianten „ohne Additive“, „2,25 % MgCl_2 “ und „2,25 % Polychlorid“: Rezyklat aus Klärschlamm Schlitz gem. EuPhoRe[®]-Verfahren;
Varianten „GRU/AS“ und „REN/AS“ Rezyklate, aus den Klärschlammen aus Grünstadt bzw. Renningen unter Einsatz des Thermo-System-Verfahrens.

Wachstum Boden/Sand-Gemisch

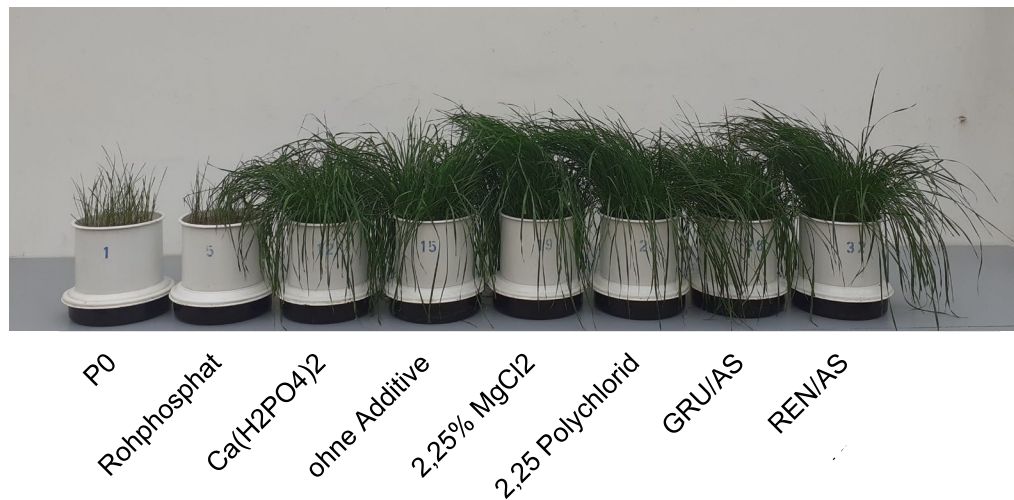


Abb. 4-4: Exemplarisches Bild des Wachstums von Welschem Weidelgras in Abhängigkeit von Düngungsvariante.

Varianten „ohne Additive“, „2,25 % MgCl₂“ und „2,25 % Polychlorid“: Rezyklat aus Klärschlamm Schlitz gem. EuPhoRe[®]-Verfahren;

Varianten „GRU/AS“ und „REN/AS“ Rezyklate, aus den Klärschlämmen aus Grünstadt bzw. Renningen unter Einsatz des Thermo-System-Verfahrens.

Um den Grad der Phosphornutzung in Abhängigkeit von der Düngungsform zu charakterisieren, wurde die apparente Düngeneffizienz $aPDE$ berechnet. Diese ergibt sich aus dem Quotienten der zugegebenen und netto in die Biomasse aufgenommenen P-Menge. Die Ergebnisse zeigen, dass unabhängig vom Herstellungsverfahren (EuPhRe[®] mit/ohne Cl-Donatoren, Themo-System) die Düngeneffizienz der Rezyklate deutlich höher war als die einer niveaugleichen Rohphosphatdüngung. Beim Boden/Sand-Gemisch kann sogar von einer vergleichbaren – allenfalls geringfügig niedrigeren – Düngewirkung der eingesetzten Rezyklate im Vergleich zur Düngung mit Ca(H₂PO₄)₂ gesprochen werden.

Die Ergebnisse mit dem HGoTECH-Substrat zeigen durchgehend geringere Erträge. In den Gefäßen ohne P-Zugabe konnte fast kein Wachstum festgestellt werden, auch bei Düngung mit Rohphosphat ergab sich nur eine vernachlässigbare Wirkung.

Die in dieser Studie geprüften Rezyklate zeigten in beiden Bodensubstraten eine deutliche Wirkung auf das Wachstum und die P-Aufnahme von Weidelgras. Diejenigen Rezyklate, die unter Zugabe von MgCl₂ bzw. Poly-Chlorid (50% aus HCl und 50% aus MgCl₂) hergestellt wurden, zeigten im HGoTECH-Substrat eine verminderte, im Boden/Sand-Gemisch jedoch eine gesteigerte Düngeneffizienz. Die mit dem vergleichsweise basischen HGoTECH-Substrat erzielten Ergebnisse weisen darauf hin, dass die aus dem Klärwerk Schlitz stammenden Klärschlamm-Rezyklate aus Sicht der Pflanzenernährung durchaus einem Kalkdüngemittel als P-Quelle zugemischt werden können (erdfeuchte Kalkdüngemittelkette). Die Düngewirksamkeit dieses Produktes wäre jedoch idealerweise erneut zu prüfen.

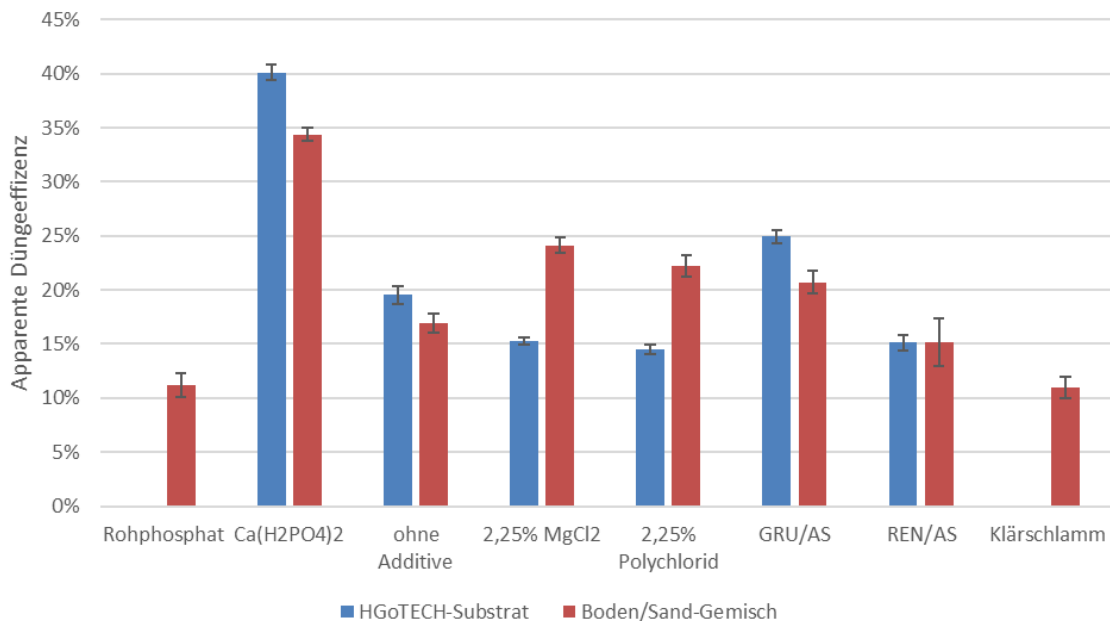


Abb. 4-3: Abhängigkeit der apparenten Düngereffizienz für Welsches Weidelgras in Abhängigkeit von der Düngungsvariante und dem Bodensubstrat.
Varianten „ohne Additive“, „2,25 % MgCl₂“ und „2,25 % Polychlorid“: Rezyklat aus Klärschlamm Schlitzz gem. EuPhoRe[®]-Verfahren;
Varianten „GRU/AS“ und „REN/AS“ Rezyklate, aus den Klärschlämmen aus Grünstadt bzw. Renningen unter Einsatz des Thermo-System-Verfahrens

Die relativ gute P-Verfügbarkeit des P-Rezyklats von EuPhoRe[®] zeigt sich auch in der Relation zwischen dem CAL- und DL-extrahierbarem Phosphat im Boden. In der Kontroll-, EuPhoRe[®]- und TSP-Variante stimmen die CAL- und DL-Konzentrationen gut überein. Nach Düngung von Rohphosphat (Hyperphos) unterscheiden sich die P-Werte der CAL- und DL-Extraktion stark. Dieses hängt damit zusammen, dass der Doppellactat-Extrakt sehr wohl apatitisches Phosphat, welches die dominierende P-Form im Hyperphos ist, löst. Diese Form ist aber nur kaum mit dem CAL-Extrakt zu lösen. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass in dem Rezyklat von EuPhoRe[®] kaum Apatit vorhanden ist.

Stellungnahme Fa. Thermo-System GmbH, Herr Ritterbusch, zu den unterschiedlichen Wachstumsergebnissen (Ritterbusch, 2020):

Die Kläranlagen und auch die „KlärschlammReformer“-Anlagen auf den Kläranlagen Grünstadt und Renningen wurden zum Zeitpunkt der Probenahme der Ascheproben unterschiedlich betrieben. Weiterhin unterscheiden sich die Reaktorgeometrien etwas.

Grünstadt

- Phosphatfällung erfolgt mit Duophos A (Aluminiumchlorid/Eisen-Lösung)
- Eisengehalt im Klärschlamm: 36 g/kgTS

Renningen

- Phosphatfällung erfolgt mit Eisen-III-Chlorid
- Eisengehalt im Klärschlamm: 63 g/kgTS

Eine Abschätzung der Verbrennungstemperatur durch Rückrechnung über die Brennkammertemperatur und die Energiebilanz erbringt zum Zeitpunkt der Probenahme auf der Anlage Renningen eine um 100-150 K erhöhte Prozesstemperatur gegenüber der Anlage in Grünstadt.

Bisher wurde der Betrieb der Anlagen noch nicht bezüglich der P-Verfügbarkeit optimiert. Hier zeigen die Ergebnisse sowohl bezüglich der Wahl des Fällmittels als auch der Optimierung der Prozessbedingungen interessante Ansätze auf.

Die Ergebnisse der Wachstumsversuche mit den beiden Klärschlamm-Reformer-Aschen lassen den Rückschluss zu, dass eine Phosphat-Fällung nur mit Eisensalzen (hier in Renningen Eisen-III-Chlorid) zu einer insgesamt schlechteren Phosphor-Verfügbarkeit führt. Die Ergebnisse mit der Asche aus Renningen mit einem Aluminium-Eisen-gefällten Schlamm sind deutlich besser. Weiterhin könnte die höhere Verbrennungstemperatur zu einer stärkeren Bindung des Phosphors in der Aschematrix führen. Die chemischen Analysen (Zitronensäure-Löslichkeit und Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit ließen hier keine Rückschlüsse zu. Die Asche aus Renningen wies eine etwas bessere Zitronensäure-Löslichkeit (71 % gegenüber 66,7 %), dafür aber eine etwas schlechtere Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit (76,3 % gegenüber 80,9 %) auf als die Asche aus Grünstadt. Eine Wasserlöslichkeit des Phosphates war bei beiden Aschen nicht gegeben.

4.4 Kriterienkatalog zur Entlassung der P-Rückgewinnungsprodukte aus dem Abfallrecht

Um eine freie Handelbarkeit des Rezyklats ohne die im Abfallrecht verankerte Pflicht zur Verbleibskontrolle zu erreichen, wird angestrebt, nach Konfektionierung des Düngemittels das Ende der Abfalleigenschaft zu erreichen. Laut Giesberts und Kleve (2008) sollte ein Kriterienkatalog zur Bestimmung des Endes der Abfalleigenschaft darauf fußen, dass dieses spiegelbildlich zur Begründung der Abfalleigenschaft aufzufassen ist. Entsprechend ist das Ende der Abfalleigenschaft erreicht, wenn diejenigen Aspekte, die ein Produkt am Ende des Lebensweges zu einem Abfall machen, nicht mehr zutreffen. Dies betrifft insbesondere den nach Kreislaufwirtschaftsgesetz in der Legaldefinition von Abfällen zentralen subjektiven und objektiven Entledigungswillen des Erzeugers (s. Tab. 4-3).

Tab. 4-3: Kriterienkatalog für die Entlassung des P-Rezyklats aus dem Abfallrecht

Spiegelbild des subjektiven Entledigungswillens	
• Absicht zur Produktverwendung	➤ Ziel Düngemittelerzeugung
• Bewusste Herstellung mit dem Ziel wirtschaftlicher Nutzung	➤ Dosierung hochwertiger Düngekalke, Einsatz in komplexem Prozess
Spiegelbild des objektiven Entledigungswillens	
• Schaffung sekundärer Ressourcen	➤ Substitution Rohphosphat durch KSA
• Wegfall abfallspezifischer Gefährlichkeit, produktäquivalente Gefährlichkeit	➤ Bei Einhaltung der DüMV-Grenzwerte Werte wie konventioneller P-Dünger
• Endprodukt kann direkt in Wirtschaftskreislauf entlassen werden	➤ Konfektionierung im Werk, Abgabe über Direkt-/Zwischenvermarktung
• Abgrenzung des Produkts vom Abfall	➤ P nach Prozess pflanzenverfügbar
• Produktwürdigung der Abnehmer	➤ Verknappungsgetriebene Nachfrage
• Lieferverträge / Qualitätsanforderungen der Abnehmer	➤ Entweder mit Direkt- oder Zwischenabnehmern

Aus diesem Kriterienkatalog heraus wird vorgeschlagen, die Entlassung aus dem Abfallrecht im Einvernehmen mit der zuständigen Genehmigungsbehörde sowohl auf die Inputqualität (Vergleichbarkeit Klärschlammasche mit marokkanischem Rohphosphat) als auch auf die Qualität des aus oder mit der Asche produzierten Düngemittels (Düngewirksamkeit, Nährstoffverfügbarkeit abzustellen; vgl. nachstehende Abb. 4-5). Dabei muss jedoch die Einhaltung der Grenzwerte der Düngemittelverordnung auch bez. des Parameters Nickel sichergestellt sein.

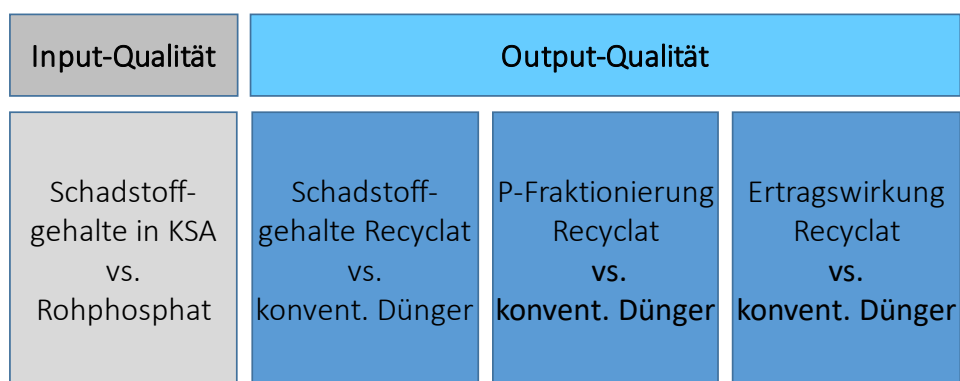


Abb. 4-5: Bemessung der Input- und Outputqualität bei der Erzeugung des P-Rezyklates im Rahmen der Entlassung aus dem Abfallrecht

5 Dialoge mit regionalen Akteuren aus Kommunen, Abwasserverbänden, Landwirtschaft, weiteren Lebensmittelproduzenten und Lebensmittelhandel

5.1 Dialogforen

Die verschiedenen Schritte der Machbarkeitsstudie sowie der anschließenden Umsetzung des ausgewählten Konzepts wurden in einem ersten Dialogforum am 06.02.2020 in Schlitz mit den regionalen Partnern (Akteuren) aus Kommunen und Abwasserverbänden diskutiert. Von besonderer Bedeutung für das geplante Projekt ist die offene Kommunikation der zu erwartenden technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen des geplanten P-Rückgewinnungskonzepts auf die Entsorgungskosten des Klärschlammes. Auf diesem ersten Dialogforum wurden die Inhalte und Ziele der Machbarkeitsstudie vorgestellt und intensiv diskutiert. Die Teilnehmerliste ist diesem Bericht angehängt.

Ein zweites geplantes Dialogforum mit verschiedenen relevanten Akteuren sowie den am Klärschlammverbund beteiligten Betreibern im Mai / Juni 2020 konnte aufgrund der Einschränkungen der Corona-Pandemie nicht mehr stattfinden.

Weitere Dialoge in Bezug auf die Verwertung des P-Rezyklats mit verschiedenen Marktteilnehmern und Multiplikatoren der regionalen Düngemittelindustrie, der regionalen Landwirtschaft, dem Bauernverband sowie dem Amt für den ländlichen Raum konnten im März 2020 noch direkt geführt werden.

Die geplanten Dialoge mit weiteren Lebensmittelproduzenten (Getreidemühlen) sowie dem regionalen Lebensmittel-Einzelhandel als Abnehmer regionaler landwirtschaftlicher Produkte wurden Pandemie-bedingt digital bzw. per Telefon geführt. Die Ergebnisse dieser Dialoge werden nachfolgend zusammengefasst

5.2 Dialoge mit Marktteilnehmern

5.2.1 Dialog mit der Düngemittelindustrie

Ein Hauptziel des Klärschlammverwertungsverbundes Schlitz ist die regionale Verwertung des aus dem Klärschlamm gewonnenen Phosphor-Rezyklats als Sekundär-Rohstoff in der Düngemittelindustrie.

Um die Einsatzmöglichkeiten des in Schlitz zukünftig produzierten Phosphor-Rezyklats als Sekundär-Rohstoff zu diskutieren, fand im März 2020 ein Dialog mit Vertretern der regionalen Düngemittelindustrie statt.

Als Ergebnis dieses Dialoges kann festgehalten werden:

- Es besteht ein Bedarf an eher mittel- bis langfristig pflanzenverfügbaren P-Rezyklaten. Der Mengenbedarf kann derzeit noch nicht festgelegt werden.
- Die eingesetzten P-Rezyklate aus kommunalem Klärschlamm müssen den Vorgaben des Düngemittelgesetzes entsprechen.

- Die eingesetzten Rezyklate müssen eine hohe Pflanzenverfügbarkeit aufweisen, die durch eine hohe Zitronensäurelöslichkeit und eine mittlere bis hohe Ammoniumcitrat-Löslichkeit charakterisiert wird.
- Das Genehmigungsverfahren zur Zulassung als Düngemittel muss deutlich vereinfacht werden.
- Die P-Rezyklate müssen sich physikalisch mit den aktuellen Produkten der Düngemittelindustrie verarbeiten und die Produkte integrieren lassen. Diese Anforderung wird aufgrund Inaugenscheinnahme einer bereitgestellten Probe nicht als kritisch gesehen. Dennoch sollten diesbezüglich noch Versuche durchgeführt werden.
- Die P-Rezyklate (Aschen) müssen vor dem Vermischen mit den aktuell genutzten Rohstoffen gemahlen werden, um eine hohe Pflanzenverfügbarkeit zu erzielen. Dies kann im Werk erfolgen.
- Das Endprodukt muss sich durch die Landwirte mit ihren vorhandenen Aggregaten gut ausbringen lassen. Dies muss erprobt werden.

Nach Auffassung des Unternehmens werden Produkte aus der Klärschlammaufbereitung dann kein Akzeptanzproblem haben, wenn die die gesetzlichen, stofflichen und physikalischen Anforderungen erfüllt sind. Im Vergleich zum herkömmlichen mineralischen Phosphat sollte der Einkaufspreis aber ca. 20 % geringer sein. Weiterhin müsste der Aufwand zur Produktaufbereitung vor Vermischung mit anderen Rohstoffen ausgeglichen werden.

5.2.2 Dialog mit dem Amt für den ländlichen Raum sowie dem Kreisbauernverband

Um die Akzeptanz für den Einsatz von Phosphor-Rezyklaten in der Landwirtschaft zu diskutieren, wurde am 12.03.2020 ein Dialog mit dem Amt für Wirtschaft und den ländlichen Raum und dem Kreisbauernverband Vogelsberg e.V. geführt.

Als Ergebnis dieses Dialoges kann festgehalten werden:

- Der Kreisbauernverband erwartet Vorbehalte bei der Verwendung von Düngemitteln, bei denen der Ursprung Klärschlamm bekannt und erkennbar ist. Es wurde darauf hingewiesen, dass verschiedene Abnehmer landwirtschaftlicher Produkte die Verwendung von Klärschlamm zu Dünge Zwecken ausschließen.
- Grundbedingung ist die Einhaltung sämtlicher rechtlicher Vorschriften sowie die Zulassung der Produkte als Düngemittel.
- Es wurde empfohlen, eine Zulassung eines Recycling-Düngers zu erwirken, in der die Herkunft Klärschlamm nicht mehr ersichtlich ist.
- Regionale Aspekte wie z.B. der Hinweis auf die Verwendung regional produzierter Düngemittel scheinen eine untergeordnete Rolle zu spielen. Es wurde zudem auf die Wettbewerbssituation insbesondere mit Wirtschaftsdüngern (Gülle, Gärreste aus Biogasanlagen) hingewiesen, deren Akzeptanz höher als die von Klärschlamm und Produkten aus Klärschlamm liegt.

- Sofern die Recycling-Produkte z.B. vom Bioland-Verband zur Verwendung in Bioland-Betrieben zugelassen werden, steht nach Auffassung des Kreisbauernverbandes einer Verwendung in der konventionellen Landwirtschaft nichts mehr im Weg.

Zu den oben dokumentierten Ergebnissen des Dialogs mit dem Kreisbauernverband werden noch folgende Aspekte ergänzt:

Neben der Ertragswirkung sind die Randbedingungen der Ausbringungstechnik zu beachten. In der modernen Landwirtschaft erfolgt die Düngung häufig mit Wurfstreuern. In der mittleren Leistungsklasse lassen sich damit Arbeitsbreiten von 18 bis 36 m realisieren. Um die Verteilung des Düngemittels mit den Wurfstreuern zu gewährleisten, müssen erforderlichen physikalischen Eigenschaften des Düngers (Kornoberfläche, Kornfestigkeit, Korngrößenspektrum usw.) erfüllt werden. Es ist also erforderlich, dass das Düngemittel entsprechend konfektioniert wird (Granulation). Hier sind entsprechende Aggregate am Markt erhältlich.

Bei Inaugenscheinnahme des Produktes aus den Verbrennungsversuchen fiel auf, dass das entsprechende Granulat den physikalischen Beanspruchung in einem Düngestreteller mit hoher Sicherheit nicht standhalten sondern zerfallen würde. Die Folgen wären einerseits Staubbildung und andererseits eine reduzierte Streubreite. Dies ist jedoch insofern unschädlich, als gem. Aussagen des Verfahrensanbieters der Output des Verbrennungs-Prozesses als Zwischenprodukt und nicht als fertiges Düngemittel anzusehen ist. Eine Weiterkonfektionierung zum Einsatz in einem Handelsdünger wird durch den Verfahrensanbieter favorisiert, was ggfs. auch andere Ausbringungstechniken erlaubt bzw. erfordert.

5.2.3 Dialog mit Lebensmittelproduzenten, Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft VGMS e.V., Getreidemühlen

Der Klärschlamm der Kläranlage Schlitz wird schon seit vielen Jahren thermisch entsorgt oder über Kompostierungsanlagen in Thüringen im Landschaftsbau verwertet. Eine landwirtschaftliche Verwertung in der Region erfolgt nicht, unter anderem auch, weil die örtliche Getreidemühle A. Schäfer Hehrmühle GmbH & Co. KG den Einsatz von Klärschlamm auf den landwirtschaftlichen Flächen, von denen das Getreide kommt, ausschließt.

Eine geplante Dialog-Konferenz mit verschiedenen regionalen und überregionalen Lebensmittelproduzenten konnte aufgrund der Corona-Einschränkungen nicht mehr stattfinden. Die Kontakte beschränkten sich daher auf Telefonate und E-Mail-Kontakte.

In einem Gespräch mit der Fa. A. Schäfer Hehrmühle GmbH & Co. KG, Frau Christiane Zöller, verantwortlich für Betriebsorganisation, am 15.05.2020 wurde diese klare Ablehnung für unbehandelten Klärschlamm bestätigt. Allerdings wurde eine deutliche Offenheit für Recycling-Düngeprodukte – auch aus Klärschlamm – geäußert, sofern diese Produkte rechtlich kein Klärschlamm mehr sind und die Zulassung nach dem deutschen und europäischen Düngemittelrecht besteht. Konkrete Aussagen sollten über den Berater der Hehrmühle kommen.

Über den Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft VGMS e.V. wurde zusätzlich der Dialog mit anderen Getreidemühlen gesucht. Der Verband hatte den Fragebogen an verschiedene Mitgliedsunternehmen verschickt. Antworten kamen von

- Cramer-Mühle, Schweinfurt, Herr Dietmar Öchsner, Prokurist Einkauf
- Saalemühle Alsleben GmbH und Dresdener Mühle, ZN der PMG Premium Mühlen Gruppe GmbH & Co. KG, Frau Konstanze Fritsch
- H. & J. Brüggem KG, (als Produzent von Müsli, Müsli-Riegel, Cornflakes), Lübeck, Herr Sven Sädler
- capricorn MS, Dienstleistungen Agrar und Mühlen, Leipzig, als Berater der Hehrmühle Schlitz, Herr Harald Fiebig,

Die Unternehmen legen einheitlich einen Schwerpunkt auf Regionalität und Nachhaltigkeit, die Fa. Brüggem zusätzlich noch zum Teil auf biologischen Anbau.

Die Vertreterin des Verbandes der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft VGMS e.V., Frau Katja Mieles, hatte zunächst angedeutet, dass sie sich vorstellen könnte, dass zertifizierte Recycling-Düngeprodukte, die aus Klärschlamm produziert wurden und nicht mehr als Klärschlamm bezeichnet werden müssen, bei den Mühlen akzeptiert würden, sofern sie als Düngemittel zugelassen sind (DüMV).

Alle Unternehmen gaben aber an, dass die Verwendung von Düngemitteln aus der Klärschlammverwertung für die von ihnen produzierten oder vermarkteten Lebensmittel oder Grundstoffe für die Lebensmittelproduktion Nachteile mit sich bringen würde. Dies gilt auch für Düngemittel, die aus Klärschlamm produziert wurden. Als Begründung wurde genannt, dass die Akzeptanz der Kunden sinken würde und die Endprodukte ggf. Schadstoffe enthalten könnten.

Die Cramer-Mühle sieht hingegen für die Verwendung von Düngemitteln, die aus Klärschlamm produziert wurden aber nicht mehr als Klärschlamm bezeichnet werden müssen, sondern als Düngemittel zugelassen sind (DüMV) zukünftig weder Nachteile noch Vorteile. Die Art der Düngung sowie die Herkunft der Düngemittel ist für das Unternehmen nicht relevant. Auch sieht das Unternehmen keine Akzeptanzprobleme, solange eine Zulassung gemäß DüMV vorliegt.

Die Saalemühle / Dresdener Mühlen, die Cramer Mühle sowie capricorn MS gaben an, dass das Einhalten der Kriterien der Düngemittelverordnung grundsätzlich ausreichend sei für die Qualitätsbewertung der Düngemittel durch den Landwirt. Fa. Brüggem hält das nicht für ausreichend und stellt fest, dass der Lebensmitteleinzelhandel überwiegend Forderungen stellt, die signifikant unter denen des Gesetzgebers liegen (hiermit ist gemeint, dass der Lebensmittelhandel schärfere Anforderungen stellt). Insofern sind die Werte der Düngeverordnung nicht notwendigerweise ausreichend.

Alle Unternehmen geben zudem an, dass die Art der Düngung der bei ihnen eingesetzten Produkte relevant sind für die Akzeptanz der Produkte. Als Qualitätskriterien bzw. Zertifikate werden genannt:

- Saalemühle / Dresdener Mühlen fordert eine genaue Angabe zu den eingesetzten Düngemitteln sowie Pflanzenschutzmitteln

- Brüggen gibt als Standards für die eingesetzten Produkte das Einhalten des EU Öko Label, Bioland-Kriterien, GMP+-Zertifizierung für die Sicherheit von Futtermitteln, QS-Prüfsystem als Qualitätssicherungssystem über alle Produktions- und Handelsstufen von Fleisch und Fleischwaren.
- Capricorn MS gibt ebenfalls das Erfordernis der Zertifizierung nach dem QS-Prüfsystem sowie GMP+ an.
- Die Cramer-Mühle gibt auf ihrer Homepage an, dass sie besonderen Wert auf die Zertifizierung nach IFS (International Featured Standards) und HACCP legt. IFS (International Featured Standard) bezeichnet eine Reihe von „Lebensmittel-, Produkt- und Servicestandards“, die gewährleisten sollen, dass „gemäß den mit den Kunden vereinbarten Spezifikationen ein konformes Produkt“ produziert wird „bzw. eine Dienstleistung“ erbracht wird. HACCP (englisch hazard analysis and critical control points, Gefahrenanalyse und kritische Kontrollpunkte, auch Gefahrenanalyse und kritische Lenkungspunkte) ist ein Qualitätswerkzeug, das für Produktion von und Umgang mit Lebensmitteln konzipiert wurde. Es ist auf präventive Maßnahmen ausgerichtet. Das Konzept dient der Vermeidung von Gefahren im Zusammenhang mit Lebensmitteln, die zu einer Erkrankung oder Verletzung von Konsumenten führen können. (WIKIPEDIA, aufgerufen am 13.09.2020)

Saalemühle / Dresdener Mühle, Brüggen sowie capricorn MS geben zudem an, dass auch zukünftig Produkte, die mit Düngemitteln aus der Klärschlammaufbereitung produziert werden, ein Akzeptanzproblem haben werden bzw. haben könnten. Als Begründung wird angegeben, dass Klärschlamm generell als nichtvereinbar mit der Reinheit von Lebensmitteln gesehen wird, die daraus gewonnen Produkte als "unrein" bis "ekelerregend" gelten. Getreide, Mehl und Backwaren würden damit negativer Bewertung ausgesetzt.

Die Saalemühle / Dresdener Mühle bringen es auf den Punkt „*Das Thema Klärschlamm ist bei unseren Kunden und den Verbrauchern „verbrannt“, ähnlich wie Glyphosat.*“ (Interview Saalemühle, 2020).

Auch der Hinweis auf ein „regionales Recyclingprodukt aus Klärschlamm“ wird uneinheitlich bewertet. Während für capricorn MS dieser Hinweis gegenüber dem Einsatz eines Import-Düngers aus Marokko oder Westsahara eher einen Nachteil bringen würde, könnte sich die Cramer-Mühle durchaus einen positiven Einfluss auf die Akzeptanz der Produkte vorstellen, sofern der Hinweis auf die Herkunft „Klärschlamm“ nicht gegeben ist.

5.2.4 Dialog mit Lebensmittelhandel, Fa. tegut ... gute Lebensmittel GmbH & Co. KG

Mit rund 290 Supermärkten in 6 Bundesländern vor allem aber in Hessen, Thüringen und Bayern und ca. 6.800 Mitarbeiter/-innen steht tegut... gute Lebensmittel GmbH & Co. KG als regionale Gruppe stellvertretend für den regionalen Lebensmittelhandel mit einem umfangreichen Produktsortiment. tegut ... mit Verwaltungssitz in Fulda orientiert sich lt. Homepage www.tegut.com an 7 Grundprinzipien:

- Natürlichkeit mit ca. 3.800 Produkten, die „im Einklang mit der Natur“ hergestellt werden, viele Produkte sind nach Kriterien des Bioland-Verbandes, Demeter oder Naturland hergestellt.
- Regionalität mit vielen Produzenten aus der Region
- Fairness gegenüber Mitarbeiter/-innen und Produzenten
- Transparenz in Bezug auf die Nachvollziehbarkeit der Produktionsketten
- Verantwortung gegenüber den Produzenten und den Mitarbeiter/-innen
- Entwicklung bei zukünftigen Märkten (Wachstum) und Produkten nur unter Berücksichtigung der Grundprinzipien
- Freude beim Einkaufen und dem Konsum der Produkte

tegut ... erscheint daher für den Absatz von Produkten, die mit einem regional erzeugten Phosphor-Rezyklats erzeugt wurden, interessant. Dies gilt insbesondere bez. der Grundprinzipien Regionalität und Natürlichkeit. Tegut ... wird damit als Schlüsselunternehmen bez. der Frage nach der Möglichkeit oder gar Förderlichkeit der Verwendung des Rezyklats in der Landwirtschaft gesehen.

Ein vorgesehener Dialog mit verschiedenen Handelsunternehmen konnte aufgrund der Corona-Einschränkungen nicht mehr stattfinden. Um die für den Handel relevanten Fragen zu diskutieren, wurde am 25.05.2020 ein Gespräch mit Herrn Guido Frölich geführt, der bei tegut... verantwortlich ist für die Qualitäts- und Lieferantentwicklung im Einkauf Obst und Gemüse, Nüsse, Eier.

Anders als der Mühlenverband, der gegenüber einer Düngung mit Sekundärphosphaten (nicht jedoch gegenüber einer Düngung Klärschlamm) aufgeschlossen ist, scheint eine Platzierung von Produkten, die mit Recycling-Phosphat aus Klärschlamm erzeugt wurden, insbesondere von Obst und Gemüse bei tegut... nicht unproblematisch.

Hintergrund ist, dass tegut... von allen Produzenten für frische/s Obst, Gemüse und Kartoffeln eine Zertifizierung nach GLOBALG.A.P. fordert. GLOBALG.A.P. kann bei tegut... nicht ersetzt werden und stellt die Basisanforderung für alle Produkte und Produzenten im Bereich Obst und Gemüse dar. Auch Bioland-, Demeter- oder Naturland-Betriebe als Lieferanten müssen dieser Zertifizierung entsprechen. GLOBALG.A.P. ist auch der Standard an dem sich MIGROS Zürich als Mutterkonzern der tegut ... GmbH orientiert. Dieser Standard schließt für das genannte Produktsegment den Einsatz von bearbeitetem/unbearbeitetem Klärschlamm aus. Insofern ist die Akzeptanz von Produkten bei tegut..., die mit Sekundärphosphat-Düngemitteln aus Klärschlamm produziert wurden, keine politische und keine reine wissenschaftliche Frage, sondern eine emotionale und Systemfrage. Hierbei wird jedoch grundsätzlich ein konservativer Risikoansatz zum Schutz des Kunden gewählt.

GLOBALG.A.P. wurde in 1997, als EUREPGAP, auf Initiative von Einzelhändlern, die der Euro-Retailer Produce Working Group angehörten, ins Leben gerufen, um den Sorgen der Verbraucher bez. Lebensmittelsicherheit und Umweltschäden Rechnung zu tragen sowie um die Gesundheit, Sicherheit und die sozialen Belange von Arbeitern und den Tierschutz zu berücksichtigen und ein Zertifizierungssystem zu etablieren. Die EUREPGAP Standards halfen Erzeugern, europaweite

Kriterien für Lebensmittelsicherheit, nachhaltige Produktionsmethoden, soziale Belange von Arbeitern, Tierschutz und verantwortlichen Umgang mit Wasser, Mischfutter sowie Saat- und Pflanzgut einzuhalten. Diese Kriterien sind mittlerweile als „GLOBALG.A.P.“ der weltweit führende Standard für die landwirtschaftliche Unternehmensführung, der die Bedürfnisse der Verbraucher auf die gute Agrarpraxis überträgt.

Die Zertifizierung von „GLOBALG.A.P.“ erfolgt mittlerweile für folgende Bereiche der landwirtschaftlichen Produktion

- Aquakultur
- Pflanzen
- Landwirtschaftliche Nutztiere
- Zertifizierung der Lieferkette
- Standard für Mischfutterherstellung
- Transport für landwirtschaftliche Nutztiere
- Standard für Vermehrungsmaterial

tegut... handelt kundenorientiert im gültigen Rechtsrahmen. Rein politische Auffassungen sind ohne Beziehung zum Rechtsrahmen oder Kundennachfrage nicht entscheidungsrelevant.

Dies gilt eben in diesem Kontext besonders auch in der politisch und wissenschaftlich begründeten Forderung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV, 2017/2020) zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm. „Nur weil der Einsatz von Rezyklaten über die Düngemittelverordnung legal ist, ist er noch lange nicht für unsere Produzenten und Lieferanten möglich“ (Frölich, 2020).

Bezüglich der Abgrenzbarkeit des am Markt zu platzierendem Sekundärphosphat-Düngemittel vom bearbeiteten/unbearbeiteten Klärschlamm erfolgte eine Kontaktaufnahme mit GLOBAL G.A.P., Dr. Friedrich Lüdeke (Senior Consultant). Dieser zeigte sich grundsätzlich offen gegenüber dem mit einem Sekundärphosphat-Düngemittel verbundenen Nachhaltigkeitsaspekt und signalisierte, die Frage in die entsprechenden internen Diskussionen einbringen zu wollen. Die Unterzeichner sagten zu für den weitergehende Informationsaustausch (z.B. in Form der Beteiligung an einer Videokonferenz) zur Verfügung zu stehen. Grundsätzlich ist aber davon auszugehen, dass die Befassung mit dem Thema Sekundärphosphat-Düngemittel bei GLOBALG.A.P ein längerer Prozess ist.

Möglicherweise ist der o.g. Wechsel des Systemrahmens geeignet, die Abgrenzung des Sekundärphosphat-Düngemittel vom „Düngemittel aus Klärschlamm“ zu vollziehen.

Es erscheint daher unumgänglich, dass das aus Klärschlamm produzierte Rezyklat sowie die daraus produzierten Düngemittel im Zertifizierungsprozess von GLOBALG.A.P. Berücksichtigung finden und akzeptiert werden.

Der Erfolg des Einsatzes von Sekundärphosphat zur Düngung auch von Obst und Gemüse ist dann auch eine Frage des Marketings. Der Begriff „Klärschlamm“ ist dringend zu vermeiden. Daher erscheint es besonders wichtig, dass ein Phosphor-Rezyklat als Produkt unabhängig von seiner Herkunft zu platzieren ist.

Ein regionaler Ursprung des Sekundärphosphates ist für tegut... von untergeordneter Bedeutung.

Als Alternative zur Abgrenzung ist eine Produkteinschränkung und damit ein Ausschluss von Obst und Gemüse beim Einsatz von Phosphor-Rezyklaten aus Klärschlamm zu erwägen.

5.2.5 Stellungnahme und Akzeptanzkriterien des Bioland-Verbandes

Um die Auffassung des Bioland-Verbandes zum möglichen Einsatz von Phosphor-Rezyklaten in der Bioland-Landwirtschaft zu fixieren, wurde am 19.05.2020 ein Gespräch mit Frau Gwendolyn Manek, Geschäftsführerin, und Frau Ann-Kathrin Bessai, Pflanzenbau und Wissenstransfer, Bioland Beratung GmbH geführt. Die nachfolgenden Ausführungen geben eine schriftliche Stellungnahme (E-Mail Frau Ann-Kathrin Bessai vom 20.05.2020) der Bioland Beratung GmbH wieder.

Der ökologische Ackerbau hat einen großen Phosphor-Bedarf, der derzeit nicht aus nachhaltigen Quellen gedeckt werden kann. Jedes neue Düngemittel, das im Ökolandbau eingesetzt werden darf, muss zunächst sowohl in der EU-Düngemittelverordnung als auch in der EU-Ökoverordnung zugelassen sein.

Neben dieser rechtlichen Hürde, bestehen aus Sicht des Ökosektors einige Anforderungen an ein bio(land)-taugliches P-Rezyklat. Die im Rahmen eines der Projekte der Bioland Beratung GmbH erarbeiteten Kriterien, die ein P-Rezyklat für den Einsatz im Ökolandbau erfüllen muss, fasst der Abschlussbericht zum Projekt „nurec4you“ Kraus et. al., 2019 zusammen: https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-33651_01-Hauptbericht.pdf:

1. Nutzungseffizienz / Wirkung

Wenn der Düngemiteleininsatz aus externen Quellen unumgänglich ist, soll dieser Dünger mit einer hohen Effizienz (Fachbegriff: Suffizienz) wirken, d.h. er muss einerseits pflanzenverfügbar sein, andererseits sollten die Nährstoffverluste zwischen gedüngter Nährstoffmenge und durch die Pflanze aufgenommener Nährstoffmenge gering sein, sodass einerseits die eingesetzten Ressourcen effizient genutzt werden, andererseits mögliche Nährstoffeinträge in die Umwelt inklusive potentieller Folgeprobleme (z.B. Eutrophierung, Nitratbelastung) auf ein Minimum reduziert werden. Zur Abklärung der Wirkung von Struviten wurden im Rahmen des nurec4org Projektes Versuche durchgeführt (nurec4you-Projekt, Arbeitspaket 3).

2. Rechtliche Rahmenbedingungen

Kein Einsatz von Recyclingprodukten im Ökolandbau ohne Aufnahme in Positivliste und Überarbeitung der EU-Richtlinien.

Biolandwirte können P-Rezyklate erst dann einsetzen, wenn sie für den Ökolandbau zugelassen sind, nach derzeitiger Rechtslage wird die Biozertifizierung für sämtliche Flächen aberkannt, auf denen P-Rezyklate ausgebracht werden. Eine Zulassung auf EU-Ebene ist also erforderlich. (nurec4you-Projekt, Arbeitspaket 3)

Anhand der rechtlichen Rahmenbedingungen wird eine Zwickmühle deutlich: einerseits benötigen Bio-Landwirte Düngemittel, deren Wirksamkeit nachgewiesen ist, andererseits erlaubt die derzeitige Rechtslage es nicht, mit P-Rezyklaten Praxisversuche auf Biobetrieben durchzuführen und damit Wirksamkeit und Handhabung in der Praxis für die Praxis zu testen.

(Anmerkung der Unterzeichner: Das Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität, Prof. Steffens, hat Rezyklate im Feld geprüft. Dazu wurde die Öko-Kontrollbehörde informiert. Es handelte sich aber nur um Versuche auf kleinen Parzellen. In NRW starten kurzfristig Versuche im Rahmen eines EIP Projektes zur Prüfung von P-Rezyklaten im Öko Landbau. Das größte Problem derzeit scheint es, große Mengen an P-Rezyklaten für Feldversuche zu bekommen.)

3. Produktqualität / Schadstoffgehalte

Diese Aspekte sind entscheidend für die Düngemittelanwendung und Bewertung potentieller Gefährdungen für Mensch und Umwelt (eher lokal/Risikobewertung). Bzgl. der Risikobewertung der Rezyklate wird auf das nurec4you-Projekt, Arbeitspaket 4, verwiesen.

4. Ressourcen- / Energieverbrauch / Emissionen

Diese Aspekte sind entscheidend bzgl. Düngemittelproduktion (und -anwendung (Emissionen)) und potentieller Folgewirkungen auf Mensch und Umwelt (globale Aspekte). Ökobilanzen werden im nurec4you-Projekt, Arbeitspaket 4, angesprochen.

5. Preis/ Kosten

Die Kosten des Düngers spielen für Bio-Landwirte eine weniger entscheidende Rolle als für ihre konventionell arbeitenden Kollegen. Die Kosten können höher liegen, allerdings muss der Preis dadurch gerechtfertigt sein, dass die Rezyklate die oben genannten Kriterien erfüllen.

6. Transparenz

Es wurde immer wieder betont, dass der Wissensstand zu gering ist und die Transparenz bzgl. der gesamten Produktions- bzw. Wertschöpfungskette nicht ausreichend ist. Hier sind weitere Dialogprozesse notwendig, die im Rahmen des nurec4org Projektes angestoßen werden sollen.

5.3 Zusammenfassung Dialoge, Strategien zur Verwertung des P-Rezyklats in der Düngemittelindustrie, Rückführung des Sekundärrohstoffes in die regionale Landwirtschaft über regionale Düngemittelvermarkter

Das gewonnene P-Rezyklat soll regional in der Landwirtschaft verwertet werden. Hierfür ist eine Aufbereitung in ein durch die Landwirte handhabbares Düngemittel durchzuführen. Neben einer Granulation kann auch die Produktion eines Mehrkomponenten-Düngers erfolgen. Die Akzeptanz zum Einsatz von Recyclingprodukten aus Klärschlamm als Sekundär-Düngemittel in der regionalen Landwirtschaft wird wesentlich von folgenden Punkten abhängen:

- Das aus den P-Rezyklaten hergestellte Düngemittel muss zwingend die rechtlichen Anforderungen der nationalen Düngemittelverordnung (DüMV, 2019) sowie der europäischen Düngemittelverordnung erfüllen.
- Das aus den P-Rezyklaten hergestellte Düngemittel muss als Düngemittel bzw. als Grundstoff für die Düngemittelproduktion zugelassen werden.
- Der Ursprung Klärschlamm soll weitestgehend nicht erkennbar sein. Klärschlamm sowie Produkte aus Klärschlamm sind immer negativ besetzt.

- Eine hohe Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats im P-Rezyklat ist Grundvoraussetzung. Die Pflanzenverfügbarkeit der P-Rezyklate soll eher mittel- bis langfristig sein.
- Eine Konditionierung der P-Rezyklate bzw. der Düngeprodukte für den Einsatz mit herkömmlichen landwirtschaftlichen Maschinen ist erforderlich.
- Es erscheint unumgänglich, dass das aus Klärschlamm produzierte Rezyklat sowie die daraus produzierten Düngemittel im Zertifizierungsprozess von GLOBAL G.A.P., Bioland sowie weiteren Zertifizierungssystemen (GMP+ etc.) Berücksichtigung finden und akzeptiert werden.
- Die Kosten des P-Rezyklats können sich an den Kosten herkömmlicher mineralischer Düngemittel orientieren, sofern die o.g. Bedingungen erfüllt sind.
- Eine regionale Herkunft und der Einsatz in der Region erscheinen bei Düngemitteln von untergeordneter Bedeutung.
- Die Vermarktung der aus P-Rezyklaten hergestellten Düngemittel sollte über entsprechende Vermarktungsorganisationen (wie z.B. Raiffeisen, örtlicher Landhandel) erfolgen; eine Direktvermarktung sollte der Ausnahmefall bleiben.

Damit hängt der Erfolg der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm im regionalen Umfeld eher an Aspekten der Akzeptanz als an technischen Fragen.

Eine politische Diskussion dieser Aspekte sowie übergeordnete Initiativen zur Zulassung der Rezyklate sowie zur Zertifizierung bei verschiedenen Zertifizierungsagenturen ist unumgänglich.

6 Gesamtkonzept

6.1 Ziele des Klärschlammverwertungsverbundes Region Schlitz

Die vorrangigen Ziele des Klärschlammverwertungsverbundes Region Schlitz sind:

- eine hohe Entsorgungssicherheit für die beteiligten Kläranlagenbetreiber,
- stabile marktgerechte Entsorgungspreise für die beteiligten Kläranlagenbetreiber,
- eine weitgehende thermische Verwertung des organischen Anteils der Klärschlämme
- eine weitestgehende Phosphorrückgewinnung mit Rückgewinnungsquoten > 80 %
- eine Rückführung des Phosphor-Rezyklats in die regionale Landwirtschaft

Die nachfolgenden Szenarien orientieren sich an diesen Zielen.

6.2 Mögliche Szenarien für den Klärschlammverwertungsverbund Schlitz

Es wird empfohlen, die gesamte Verfahrenskette zur Klärschlammverwertung ab der Entwässerung an einen Anlagenbauer zu vergeben, um Schnittstellen zu vermeiden. Diese umfasst die folgenden Punkte:

- Annahme von entwässerten Schlämmen des Klärwerks (25-27 % TR)
- Annahme von entwässerten Schlämmen externer Kläranlagen (25-27 % TR)
- Realisierung Vorlagebunker
- Beschickung der Trocknungsanlage
- Trocknungsanlage, angepasst auf den für die Verbrennung erforderlichen TR-Gehalt, je nach Verbrennungstechnologie
- Verbrennungsanlage zur Bereitstellung eines Grundstoffs für die Nutzung als Düngemittel
- Rauchgasreinigung
- Entaschung
- Bereitstellung der Asche für die Düngemittelindustrie

Marktrecherchen haben 3 grundsätzlich geeignete Verfahrenskombinationen für die Klärschlammverbrennung auf der Kläranlage Schlitz mit kleinen Schlamm-mengen von ca. 1.500 – 1.600 t TR/a entsprechend ca. 175 – 190 kg TR/h ergeben, die auch großtechnisch bereits im Einsatz sind.

Diese 3 Verfahrenskombinationen werden in den nachfolgenden Szenarien 1 bis 3 erläutert und bewertet. Alle thermischen Verfahrenstechniken werden jeweils in Kombination mit einer vorgeschalteten Trocknung betrachtet. Die vorgeschlagenen Trocknungskonzepte sind in Kap. 3.2 dargestellt.

In allen Szenarien wird die Asche als Grundstoff für die regionale Düngemittelindustrie verwertet.

- Szenario 1: Kontakttrocknung bis auf ca. 50 % TM, reduktiv-oxidative thermochemische Umsetzung im Drehrohrofen, Phosphorverwertung durch Bereitstellung der Asche für die Düngemittelindustrie
- Szenario 2: Rührwerkstrocknung bis auf ca. 85 % TM, Drehrohrofen, Phosphorverwertung durch Bereitstellung der Asche für die Düngemittelindustrie
- Szenario 3: Kombination aus vorhandenem Solartrockner und Kontakttrockner (Dünnschicht-trockner), Verbrennung im Etagenofen, Phosphorverwertung durch Bereitstellung der Asche für die Düngemittelindustrie

Diese Verfahrensgruppen können auf der Fläche der vorhandenen kleinen Trocknungshalle sowie der östlich benachbarten Freifläche installiert werden.

Die große Solartrocknungshalle wird in Szenario 3 weiter als Baustein zur Klärschlamm-trocknung genutzt.

Bei den Szenarien 1 und 2, in denen die vorhandene Solartrocknung außer Betrieb genommen wird, kann die vorhandene große Trocknungshalle zukünftig für verschiedene Zwecke genutzt werden:

- Nutzung der Dachfläche für Photovoltaik-Anlagen
- Lagerfläche als Zwischenlager für angelieferte Klärschlämme, die nicht direkt in der Trocknung / Verbrennung verarbeitet werden können, auch als Zwischenlager für Betriebsunterbrechungen der Trocknung / Verbrennung
- Allgemeine Lagerfläche

Insgesamt stehen für die Klärschlammannahme und ggf. Mischung, Beschickung, Erweiterung der Trocknungsanlage, thermische Behandlung, Abluft- und Rauchgasreinigung sowie die Bereitstellung der Asche folgende Flächen zur Verfügung:

- vorhandene kleine Trocknungshalle: ca. 15 * 30 m = 450 m²
- Freifläche rechts neben der kleinen Halle: ca. 9 * 20 m = 180 m²

6.3 Erforderliche Anpassung der Klärschlamm-trocknungsanlage auf der Kläranlage Schlitz

In Kap. 3.2 wurde bereits erläutert, dass aufgrund der nur sehr begrenzt zur Verfügung stehenden Fläche auf der Kläranlage Schlitz die Verbrennungs- und Phosphor-Rückgewinnungsanlage nur auf der Fläche der kleineren der beiden Trocknungshallen sowie einer Freifläche rechts neben dieser Halle installiert werden kann. Damit reduziert sich die zukünftig zur Trocknung zur Verfügung stehende Fläche auf die größere der beiden Hallen mit 540 m². Diese Fläche reicht nicht aus, um die zukünftig im Klärschlammverbund anfallende Schlammmenge von ca. 5.414 t/a mit 25 – 27 % TR auf einen TR zur selbstgängigen Verbrennung von ca. 45 % TR zu bringen.

In dieser Halle ließe sich unter Nutzung von Abwärme aus der Klärgasverstromung sowie der Verbrennung lediglich ein Teilstrom des zukünftigen Klärschlammverbundes von ca. 2.900 t/a auf bis zu 75 % TR trocknen.

Die übrige Schlammmenge von ca. 2.500 t/a müsste mit anderen Trocknungstechnologien getrocknet werden. Infrage kommen hier Bandtrockner oder auch Kontaktrockner (Scheibentrockner, Dünnschichtrockner, Schneckenrockner).

Bekannt ist, dass bei der Trocknung im Bereich von ca. 45 – 60 % TR (abhängig vom oTR-Anteil und weiteren Schlamminhaltsstoffen) die sog. „Leimphase“ berücksichtigt werden muss. Der Schlamm zeigt hier insbesondere bei Förderung ein klebrig-viskoses Verhalten und ist schwer handhabbar. Die Leimphase ist bei Solartrocknern weniger ausgeprägt und auch bei Mischung weitgehend getrockneter Teilströme z.B. mit entwässertem Schlamm ist die Leimphase weniger ausgeprägt.

Die beiden Teilströme (aus Solartrockner und thermischem Kontaktrockner) müssten dann in einem Mischer mit entsprechenden Vorlagen weitestgehend vereinheitlicht werden, so dass die nachgeschaltete Verbrennung gleichmäßige Input-Bedingungen aufweist.

Dieses Trocknungskonzept mit Nutzung der vorhandenen Solartrocknung, Erweiterung der Solartrocknung mit zusätzlichen Heizregistern und zusätzlicher Neuinstallation eines thermischen Kontaktrockners für eine kleinere Klärschlammmenge wird nur im Szenario 2 favorisiert. Ob dieses Konzept tatsächlich sinnvoll ist, müsste im Rahmen einer detaillierten Entwurfsplanung überprüft werden.

Die Anbieter der Drehrohrofentechnik (Szenarien 1 und 2) haben davon abgeraten, die vorhandene Solar-Trocknungsanlage mit einer weiteren Trocknungstechnologie zu kombinieren. Folgende Gründe wurden genannt:

- Es müssen getrennte Beschickungs- und Austragsvorgänge berücksichtigt werden.
- Der Mischschlamm aus verschiedenen Trocknungstechnologien weist ungleichmäßige und wechselnde Eigenschaften wie Korngrößen etc. auf. Diese können zu Problemen in der Beschickung, im Betrieb der Verbrennung sowie im Ausbrand der Asche führen.
- Für beide Trocknungstechnologien müssten voraussichtlich getrennte Abluftbehandlungsanlagen realisiert werden.
- Der Betrieb verschiedener Trocknungstechnologien für Teilströme benötigt deutlich mehr Aufwand als der Betrieb nur einer Trocknung für die gesamte Schlammmenge.

In den Szenarien 1 und 2 wird daher für die gesamte entwässerte Klärschlammmenge von ca. 5.414 t/a eine Trocknungstechnologie eingesetzt, die genau an die noch festzulegende Verbrennungstechnologie angepasst wird.

6.4 Verfahrenstechnische Konzeptionen der verschiedenen Szenarien

6.4.1 Szenario 1: Trocknung bis ca. 50 %, Verbrennung im Drehrohrofen, Phosphor-Recycling als direkte Ascheverwertung in der Düngemittelindustrie

Im Szenario 1 wird davon ausgegangen, dass die gesamte Klärschlammmenge (5.414 t/a (Auslegung der Anlage auf 6.000 t/a) mit 27 % TS) zunächst auf 50 % TM getrocknet wird. Dies entspricht einer erforderlichen Wasserverdampfung von ca. 2.490 t/a entspr. ca. 310 kg/h (Auslegung 345 kg/h) (bei 8.000 h/a).

Aus dem nachgeschalteten Drehrohrofen zur thermischen Schlammbehandlung steht nach dem Massen- und Energiestromdiagramm eine Wärmemenge von ca. 460 kWh/h zur Verfügung

Bei Ansatz eines spezifischen Wärmebedarfs von ca. 850 – 900 kWh/h für eine Wasserverdampfungsleistung von 1 t/h ließe sich mit diesem Wärmeangebot ca. 500 bis 540 kg/h Wasser verdampfen.

Für die Auslegungsgröße der Anlage des Szenarios 1 mit 6.000 t/a ist zur Trocknung des Klärschlammes von 27 % TS auf 50 % TS (Wasserverdampfung 345 kg/h bei 8.000 h/a) ein Wärmeangebot von ca. 290 bis 310 kW/h erforderlich. Der Anbieter gibt eine benötigte thermische Energie von 311 kWh/h an.

Für das Konzept des Szenarios 1 ist also ein neuer Trockner erforderlich. Hier wird ein Kontakt-trockner (Dünnschicht-, Scheiben-, Schnecken-trockner) konzipiert, der mit der Abwärme des Drehrohrofens betrieben wird. Die Wasserverdampfungsleistung muss nur bei ca. 2.490 t/a liegen statt 3.690 t/a bei einer Volltrocknung bis ca. 85 % TM.

Die Asche wird als Grundstoff für die Düngemittelindustrie eingesetzt und bei Unterschreiten der Grenzwerte der Düngemittelverordnung direkt zur Herstellung eines Multi-Komponenten Düngers z.B. in der erdfeuchten Düngekalkkette verwendet.

Insgesamt erfordert das Konzept des Szenarios 1 folgende Maßnahmen und besteht aus den nachfolgend erläuterten Baugruppen:

- Rückbau der vorhandenen kleinen Trocknungshalle, um diesen Platz für die Aufstellung der neuen Anlagentechnik nutzbar zu machen
- Annahmehunker, ca. 150 m³ (in den Boden eingelassen) neben der Anlagentechnik
- Beschickung Trockner (Schnecken-trogförderung), Nutzung und Anpassung des vorhandenen pneumatischen Systems für die entwässerten Schlämme der Kläranlage Schlitz
- Trocknungsanlage, mit einer Wasserverdampfungsleistung von 2.490 t/a entspr. i.M. ca. 310 kg/h.
- Abluftwäsche und Biofilter in Außenaufstellung
- Vorlage und Beschickung für getrockneten Klärschlamm
- Drehrohrtechnik zur Klärschlammverbrennung, Verrohrung, Heizgasgebläse, Brennkammer, Combustor,
- Rauchgasreinigung (Multizyklon, Filtereinheiten),

- Warmwasserkessel
- Entaschung
- Rauchgasführung und Kamin
- Elektrotechnik, Steuerung und Messtechnik
- Stahlhalle für die Verbrennungstechnik ca. 8 * 18 m, ca. 10 m hoch

6.4.2 Szenario 2: Trocknung bis ca. 85 %, Verbrennung im Drehrohrofen, Phosphor-Recycling als direkte Ascheverwertung in der Düngemittelindustrie

In diesem Szenario wird ein Rührwerkstrockner mit Volltrocknung bis auf 85 % TS sowie ein Drehrohrofen eingesetzt, dessen Abwärme für die Trocknung des Klärschlammes im Trockner ausreicht und verwendet wird. Die vorhandene solare Trocknung wird ebenso nicht weiter verwendet.

Die Asche wird als Grundstoff für die Düngemittelindustrie eingesetzt und bei Unterschreiten der Grenzwerte der Düngemittelverordnung direkt zur Herstellung eines Multi-Komponenten Düngers z.B. in der erdfeuchten Düngekalkkette verwendet.

Insgesamt sind folgende Maßnahmen mit den nachfolgend erläuterten Baugruppen erforderlich:

- Rückbau der vorhandenen kleinen Trocknungshalle
- Annahmehunker, ca. 150 m³ (in den Boden eingelassen) neben der Anlagentechnik
- Beschickung Trockner (Schneckenrotorförderung), Nutzung und Anpassung des vorhandenen pneumatischen Systems für die entwässerten Schlämme der Kläranlage Schlitz
- Trocknungsanlage inkl. Eintragschnecke und Filtereinheit als Containeranlage, Trocknungsleistung ca. 3.690 t/a entspr. i.M. ca. 460 kg/h.
- Abluftwäsche und Biofilter
- Vorlage und Beschickung für getrockneten Klärschlamm
- Drehrohrkessel, Nachbrennkammer, Wärmeauskopplung 0,5 MWth,
- Rauchgasreinigung (Multizyklon, Filtereinheiten),
- Entaschung
- Rauchgasführung und Kamin
- Elektrotechnik, Steuerung und Messtechnik
- Stahlhalle ca. 15 * 10 m, 10 m hoch

6.4.3 Szenario 3: Nutzung der vorhandenen Solartrocknung für einen Teilstrom sowie eines weiteren Kontaktrockners, Verbrennung in einem Etagenofen, Phosphor-Recycling als direkte Ascheverwertung in der Düngemittelindustrie

Das Szenario 3 verwendet einen Etagen-Ofen als Verbrennungsanlage, der einen Input-TR von ca. 80 bis 90 % TR erfordert. Daher wird folgendes Trocknungskonzept vorgeschlagen:

- Aufrüstung der vorhandenen großen Solartrocknungshalle mit zusätzlichen Wärmetauschern
- Nutzung der zukünftigen zusätzlichen Abwärme der BHKW-Anlage (als Niedertemperatur-Wärme) für die solarthermische Trocknung
- Installation eines zusätzlichen Kontaktrockners (z.B. Dünnschicht- oder Scheibentrockner)
- zusätzliche Nutzung von Abwärme aus der Klärschlammverbrennung als Hochtemperatur-Wärme für die Beheizung des Kontaktrockners

Das Konzept verwendet also die vorhandene solare Trocknung teilweise weiter und ergänzt diese um einen zusätzlichen Kontaktrockner. Insgesamt erfordert es folgende Maßnahmen und besteht aus den nachfolgend erläuterten Baugruppen:

- Rückbau der vorhandenen kleinen Trocknungshalle, um diesen Platz für die Aufstellung der neuen Anlagentechnik zu nutzen
- Annahmehunker, ca. 150 m³ (in den Boden eingelassen) neben der Anlagentechnik
- Verteilung und Beschickung der entwässerten Schlämme auf die beiden Trocknungstechnologien Solartrockner und Kontaktrockner (Nutzung des vorhandenen pneumatischen Systems für die entwässerten Schlämme der Kläranlage Schlitz)
- Beschickung Kontaktrockner
- Kontaktrockner (voraussichtlich Dünnschichtrockner) für einen Durchsatz von ca. 3.500 t/a mit 27 % TS auf ca. 1.050 t/a mit 90 % TS
- Abluftwäsche und Biofilter
- Vorlage und Beschickung für getrockneten Klärschlamm, Mischeinrichtung für die beiden Teilströme der Trocknungsanlagen
- Etagen-Ofen, Wärmeauskopplung
- Rauchgasreinigung (Multizyklon, Filtereinheiten)
- Entaschung
- Rauchgasführung und Kamin
- Elektrotechnik, Steuerung und Messtechnik
- Stahlhalle ca. 15 * 10 m, 10 m hoch

6.5 Kostenvergleich der betrachteten Szenarien

6.5.1 Investitionen

Die Investitionen für die 3 betrachteten Szenarien wurden auf der Basis von Richtpreisangeboten von 3 Anbietern erstellt. Alle Richtpreisangebote beinhalten ausschließlich die Verfahrenstechnik (Beschickung mit entwässertem Klärschlamm, Trockner, Verbrennung, Ascheaustrag, Abluft- und Abgasreinigung, Fördertechnik). Die zusätzlich erforderlichen Infrastrukturmaßnahmen sowie Baumaßnahmen (Herrichten der Baufläche, Abbau der vorhandenen kleinen Trocknungshalle, Vorrats- und Beschickungsbunker für die angelieferten entwässerten Klärschlämme, Betriebsgebäude bzw. Stahlhalle für die Verfahrenstechnik) wurden abgeschätzt. Aufgrund ähnlicher erforderlicher Baugrößen bei allen drei Szenarien wurden keine Unterschiede in den abgeschätzten Kosten für die Bautechnik gemacht.

Auf eine detailliertere Entwurfsplanung auch der baulich erforderlichen Anlagen wurde in Abstimmung mit den Stadtwerken SchlitZ verzichtet. Gleiches gilt auch für eine detailliertere zeichnerische Darstellung (Lageplan, Anschichten, Schnitte, Aufstellungspläne für die Verfahrenstechnik), da hierfür eine deutlich detailliertere Zuarbeit der Verfahrensanbieter erforderlich gewesen wäre, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht erfolgte. Daher wurde ein pauschaler Sicherheitsaufschlag für die noch nicht vorhandene Projektplanungstiefe von 15 % der Investitionskosten angesetzt.

Zur Ermittlung der Gesamt-Kosten sowie für den Kostenvergleich, zur Ermittlung der Jahreskosten und der spezifischen Kosten (€/t) wurden folgende spezifische Kostenansätze verwendet:

Kapitalkosten:

- Basis sind Richtpreisangebote der Hersteller für die Verfahrenstechnik, Baukosten wurden abgeschätzt,
- Sicherheits-Aufschlag für nicht vorhandene Projektplanungstiefe 15 % der Investition
- Kosten für Planung, Gebühren pschl. 10 % der Investition (Genehmigungsplanung der Verfahrenstechnik in Kapitalkosten enthalten)
- Zinsen 1 %/a
- Nutzungsdauer
 - Maschinen- und EMSR-Technik: 15 Jahre, Annuitätenfaktor $a = 0,07212$
 - Bautechnik und Planung: 30 Jahre, Annuitätenfaktor $a = 0,03875$

6.5.2 Betriebskosten

Die Ansätze für die Betriebsmittel stammen z.T. ebenfalls aus den Richtpreisangeboten der 3 Anbieter, z.T. werden spezifische Ansätze z.B. für Reparatur, Wartung, Unterhalt, Versicherung, Personalbedarf auf Basis von Erfahrungswerten für alle Verfahren vergleichbar gewählt.

Feste Betriebskosten

- Reparatur / Wartung / Unterhalt: 1,5 %/a der Investitionen Bautechnik
3,0 %/a der Investitionen M+E-Technik
- Versicherung: 0,3 %/a der Investitionen
- Personalkosten: pauschal wird 1 zusätzliche Stelle angesetzt,
50.000 €/P*a
- Analysenkosten: pschl. 35.000 €/a

Variable Betriebskosten (spez. Kosten gelten für Bezug und Einspeisung)

- Elektr. Energie: 0,20 €/kWh
- Chemikalien Ansätze der Richtpreisangebote,
Marktpreise
- Reststoffentsorgung:
Rauchgasreinigungsrückstände 200,00 €/t
- Verwertung der Asche angesetzt Ertrag: 50,00 € pro t P₂O₅
P-Fracht in der Asche: 32,0 t P/a entspr. 73,2 t P₂O₅/a
Ertrag: 3.662 €/a

Weitere Kosten wie z.B. Managementkosten für die extern angenommenen Klärschlämme wurden zunächst nicht angesetzt.

6.5.3 Jahreskosten

Die Jahreskosten werden über eine statische Kostenberechnung mit den oben genannten Ansätzen als Summe aus Kapitalkosten, festen und variablen Betriebskosten ermittelt. Eine Projektkostenbarwertberechnung nach LAWA unter Annahme von unterschiedlichen Kostensteigerungen z.B. von Energiekosten und sonstigen Betriebskosten (z.B. Personalkosten) über den Betrachtungszeitraum ist in diesem Projektstadium nicht sinnvoll.

Die Kostenangaben der 3 betrachteten Szenarien sind aus Datenschutzgründen in der veröffentlichten Version dieser Studie nicht enthalten.

Grundsätzlich kann aber konstatiert werden, dass auch bei der hier betrachteten vergleichsweise kleinen zu verarbeitenden Klärschlammmenge von ca. 6.000 t/a (entwässerter Klärschlamm) marktübliche Klärschlammbehandlungskosten mit Bereitstellung der Asche für eine Verarbeitung in der Düngemittelindustrie erzielbar sind.

Die Kostenbetrachtungen haben voraussichtliche spezifische Behandlungskosten von ca. 105 - 130 €/t (netto zzgl. MwSt.) entwässerten Klärschlamm ergeben, die sich bei einer Landesmittelförderung von 50 % bezogen auf die Komponenten, die der Phosphorrückgewinnung zuzurechnen sind, auf ca. 90 - 105 €/t zzgl. MwSt. verringern ließen.

6.6 Rechtliche Anforderungen an die Errichtung eines Klärschlammzwischenlagers, einer Trocknung, Verbrennung und Phosphor-Rückgewinnung auf der Kläranlage Schlitz

6.6.1 Genehmigungsverfahren

Bei Realisierung der Phosphorrückgewinnung für einen Durchsatz von ca. 6.000 t/a entwässerten Schlamm für den Klärschlammverbund auf dem Klärwerk Schlitz werden für folgende Baugruppen Genehmigungen eingeholt werden müssen:

- Klärschlamm-Zwischenlager als Kurzzeitlager
- Klärschlamm-trocknung
- Klärschlammverbrennung mit Phosphor-Rückgewinnung
- Lager für Klärschlamm-asche als Kurzzeitlager

Das Genehmigungsverfahren wird für diese Baugruppen gemeinsam eingeholt.

Die Lagerung des entwässerten Klärschlamm als Vorlage für Trocknung und Verbrennung erfolgt lediglich für einige Tage bis max. 1 Monat, so dass Lagerkapazitäten für eine Größenordnung von max. 500 t vorgesehen werden sollten. Diese Größe ergibt sich aus dem geplanten Durchsatz von ca. 6.000 t/a entspr. i.M. 500 t/Mo.

Klärschlamm gilt nicht als gefährlicher Abfall, daher erfolgt die Genehmigung der Klärschlamm-Zwischenlager gemäß 4. BImSchV, Nr. 8.12.2, gemäß § 19 des BImSchG nach dem vereinfachten Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung

Da der Durchsatz der Trocknung von ca. 6.000 t/a entspr. ca. 16,5 t/d (< 50 t/h) liegt, der Durchsatz der Verbrennung ebenfalls bei einem Durchsatz von < 3 t/h, kann die gesamte Verfahrenskombination ebenfalls nach dem vereinfachten Genehmigungsverfahren (nach § 19 BImSchG) gemäß der 4. BImSchV (bei Klärschlamm-trocknung gemäß Pkt. 8.10.2.2, bei Verbrennungsanlagen gemäß Pkt. 8.1.1.4) ohne Öffentlichkeitsbeteiligung genehmigt werden.

Auch die Klärschlamm-asche wird nicht als gefährlicher Abfall angesehen, so dass auch die Kurzzeitlagerung der Asche vor Weitertransport zur Düngemittelproduktion oder Aufbereitung im Rahmen des vereinfachten Verfahrens genehmigt werden kann.

Nach der Festlegung auf eine Verfahrenskombination wird folgender Aktionsplan für den Genehmigungsprozess vorgeschlagen:

- Scoping-Termin beim RP Gießen (Antragskonferenz) unter Einbeziehung der Dezernate 41.3 - *Kommunales Abwasser, Gewässergüte*, 42.1 - *Industrielle Abfallwirtschaft und Abfallvermeidung*, 42.2 - *Kommunale Abfallwirtschaft / Abfallentsorgungsanlagen*, 43.2 - *Immissionsschutz II*, Festlegung des Untersuchungsumfanges für die Umweltprüfung sowie des Gegenstands, Umfangs und der Methoden der FFH-Verträglichkeitsprüfung
- Festlegung und Beauftragung externer Stellen zur gutachterlichen Stellungnahme/Gutachten
- Öffentliche Bekanntmachung gem. § 10 BImSchG im Amtsblatt für den Regierungsbezirk Gießen und in den Tageszeitungen

- Behördenbeteiligung gem. § 11 der 9. BImSchV
 - Vogelsbergkreis (Bauordnungsamt, Planungsamt, Brandschutz)
 - Regierungspräsidium Gießen
 - Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), nachrichtlich

Tab. 6-1: Zuordnung der relevanten Anlagen – sofern geplant und erforderlich – zu den Abschnitten der 4. BImSchV (Anh. 1); G: Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 10 BImSchG), V: Vereinfachtes Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 19 BImSchG), E: Anlage nach der Industrieemissions-Richtlinie.

Anlagen	Ziffer	Anlagenbeschreibung	Verfahren
KS-Lager	8.12.2	Anlagen zur zeitweiligen Lagerung von nicht gefährlichen Abfällen, auch soweit es sich um Schlämme handelt, mit einer Gesamtlagerkapazität ≥ 100 Tonnen	V
Verbrennung	8.1.1.4	Thermische Verfahren, insbesondere Entgasung, Plasmaverfahren, Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder eine Kombination dieser Verfahren mit einer Durchsatzkapazität von < 3 t/h an nicht gefährlichen Abfällen,	V
Aschelager	Ggf. 8.12.2	Anlagen zur zeitweiligen Lagerung von nicht gefährlichen, auch soweit es sich um Schlämme handelt, ...mit einer Gesamtlagerkapazität von ≥ 100 Tonnen	V
P-Rückgewinnung	entfällt	Anlagen zur chemischen Behandlung, ..., nicht gefährlicher Abfälle mit einer Durchsatzkapazität an Einsatzstoffen ... - entfällt bei den betrachteten Szenarien	

Mit Ausnahme von wasserrechtlichen Erlaubnissen und Bewilligungen schließt die immissionschutzrechtliche Genehmigung andere die Anlage betreffende behördliche Entscheidungen ein, insbesondere die Baugenehmigung nach der hessischen Bauordnung (HBO). Die Genehmigungskosten ergeben sich aus der Höhe der Gesamtinvestition (bis 50 Mio. €) zu 1,2 % der Investitionssumme. Die Dauer des Genehmigungsverfahrens beträgt laut Gesetz bis zu sieben Monate ab Vollständigkeit der Antragsunterlagen.

6.6.2 Inverkehrbringung des P-Rezyklates und Entlassung aus dem Abfallrecht

Das Inverkehrbringen von Düngemitteln ist sowohl nach der europäischem Recht (EG-Düngemittelverordnung) als auch nach nationalem Recht (Düngegesetz, Düngemittelverordnung - DüMV) möglich. Das Dezernat Landwirtschaft, Fischerei des RP Kassel stellte am 15.07.2019 auf Anfrage der Unterzeichner in einer mit dem RP Gießen abgestimmten Stellungnahme fest, dass Klärschlämme, Aschen aus der Verbrennung von KS sowie teilweise deren P-Rezyklate bereits jetzt zulässige Düngemittel nach Düngemittelverordnung DüMV seien, sofern sie deren Anforderungen in der Zusammensetzung und Schadlosigkeit erfüllen. Sie verlieren ihre Abfalleigenschaften mit der ordnungsgemäßen Aufbringung auf den Boden.

Da aber die Asche derzeit nach den Analysen in Tab. 3-7 sowie den theoretisch errechneten Konzentrationen der „virtuellen Asche“ in Tab. 2-6 im Parameter Nickel nicht den Grenzwerten der DüMV entspricht, kann sie in dieser Form nicht direkt als zulässiges Düngemittel nach DüMV betrachtet werden. Sie bleibt also rechtlich ein Abfall mit entsprechenden Nährstoffgehalten von ca. 11 % P₂O₅.

Sofern im Klärschlammverbund Schlitz durch Maßnahmen zur Kontrolle der Klärschlamm-Input-Qualität insbesondere die Nickel-Konzentrationen in der Asche reduziert werden könnte, kann auch der Ansatz verfolgt werden, die Entlassung aus dem Abfallrecht sowohl auf die Inputqualität (Vergleichbarkeit von KS-Aschen mit marokkanischem Rohphosphat) als auch auf die Outputqualität (Düngewirksamkeit, Nährstoffverfügbarkeit, Einhaltung der Grenzwerte der Düngemittelverordnung) abzustellen. Eine entsprechende Argumentationslinie war bereits in der Vergangenheit (Entlassung des Rezyklats RecoPhos P38 aus dem Regime des Abfallrechts) unter Beteiligung von Prof. Dr. Weigand in Sachsen-Anhalt erfolgreich.

Es ist dann anzustreben, nach Konfektionierung des Düngemittels das Ende der Abfalleigenschaft gem. § 5 Kreislaufwirtschaftsgesetz zu erreichen. Neben positiven Marketingaspekten würde damit eine freie Handelbarkeit des Produkts (Wegfall der Verbleibskontrolle) erreicht. Wichtige Kriterien dazu sind die Absicht zur Produktverwendung, die bewusste Herstellung mit dem Ziel wirtschaftlicher Nutzung, die Schaffung sekundärer Ressourcen, der prozessbedingte Wegfall abfallspezifischer Gefährlichkeit bzw. die produktäquivalente Gefährlichkeit, die Eignung zur direkten Entlassung in den Wirtschaftskreislauf, die Abgrenzung des Produkts vom Abfall, die Produktwürdigung der Abnehmer (z.B. im Rahmen von Lieferverträgen). Das RP Kassel hält eine hessenweite – besser noch bundesweite – Bewertung und Entscheidung der Frage nach dem Ende der Abfalleigenschaft für wünschenswert.

7 Erarbeitung eines Realisierungsvorschlags

7.1 Kriterien zur Auswahl des Verfahrens der Klärschlammbehandlung durch Trocknung, Verbrennung und Phosphor-Rückgewinnung

7.1.1 Kriterium Kostenvergleich

Anhand der im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführten Kostenbetrachtungen mit der Genauigkeit von Richtpreisangeboten (Kostenschätzungen) sollten Konkretisierungen im Dialog mit den Verfahrensanbietern erfolgen. Eine detaillierte losweise Ausschreibung in die Lose Bautechnik, Maschinenteknik, E-MSR-Technik erscheint nicht zielführend, da die Technologien zu verschieden sind und allenfalls in einer funktionalen Leistungsbeschreibung zu beschreiben sind. Ein wettbewerblicher Dialog wäre hier ggf. förderlich.

Zu konkretisieren sind hierbei u.a.

- Verfahrenstechnik in Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden (Emissionsschutz)
- Ggf. erforderliche Dosierung von Additiven zur Schwermetallvolatilisierung
- Aufstellungsplan mit Einbindung des Bestandes (Solartrocknung, Klärschlammmentwässerung, Fördertechnik, Anlieferung externer Schlämme)
- Gründung
- Erforderliche Maßnahmen zum Rückbau der vorhandenen Bautechnik (v.a. Hallen)
- Anbindung an die vorhandene Leittechnik der Kläranlage
- Anfall und Rückbelastung von Prozesswässern (Brüdenkondensaten)
- Logistik auf dem Gelände des Klärwerks zur Annahme und Lagerung externer Schlämme, Hilfsstoffe, Chemikalien, Asche zur Weiterverarbeitung, Rauchgasreinigungsrückstände
- Transportkosten, Entsorgungskosten
- Kosten für Betriebsmittel

Anhand dieser Angaben sind die Investitionen, Betriebskosten und auch die spezifischen Kosten pro t Klärschlamm auch für einen längeren Betrachtungszeitraum zu ermitteln.

7.1.2 Kriterium Einhaltung der Grenzwerte der Düngemittelverordnung

Die für die Erstellung der Machbarkeitsstudie vorliegenden Klärschlammanalysen führen rechnerisch in der zukünftigen Asche insbesondere bei dem Parameter Nickel zu Konzentrationen, die über dem Grenzwert der Düngemittelverordnung, Anlage 2, Tabelle 1.4 liegen. Dies gilt insbesondere für die „virtuelle Asche“, die sich bei Verarbeitung der zukünftig anzuliefernden Klärschlamm ergeben könnte.

Da die Einhaltung der Grenzwerte der Düngemittelverordnung nicht nur für das in Verkehr gebrachte Düngemittel, sondern auch für die Ausgangsstoffe gilt, muss hierauf besonderes Augenmerk gelegt werden.

Berücksichtigt man zudem noch die EU-Düngemittelverordnung, werden auch zulässigen Höchstwerte für Kupfer (Cu) und Zink (Zn) überschritten.

Die Versuche zur Verbrennung im Drehrohrofen unter reduktiv-oxidativen Bedingungen haben ergeben, dass bei Zudosierung von Chloriden Schwermetalle mit unterschiedlichen Wirkungsgraden volatilisiert werden und so der Ni-Wert und insbesondere auch die Cu- und Zn-Konzentrationen in der Asche reduziert werden. Während die Zn-Konzentrationen sicher unterhalb der zukünftigen EU-DüMV-Grenzwerte sinken, bleiben die Cu-Konzentrationen zwar deutlich unter dem deutschen Grenzwert der DüMV, aber nur knapp unter dem EU-Grenzwert. Bei Nickel werden Konzentrationen erreicht, die sehr knapp über dem Grenzwert der DüMV, aber unter dem Grenzwert der EU-DüMV liegen.

Es erscheint damit erforderlich, ein Verfahren zu wählen, in dem eine signifikante Volatilisierung der Schwermetalle realisiert wird. Weiterhin erscheint es erforderlich, die Ursache der Schwermetall-Kontaminationen zu identifizieren und ggf. einzelne Schlämme nicht anzunehmen.

Die Versuche mit dem Verfahren der EuPhoRe[®] GmbH haben gezeigt, dass eine Volatilisierung von Schwermetallen möglich ist. Es bleibt unter Berücksichtigung der Schutzrechte abzuklären, ob die Zugabe von Additiven nur bei dem Verfahren der EuPhoRe[®] GmbH zu diesem positiven Effekt führt, oder ob die beiden anderen betrachteten Verfahren bei Additivierung ähnliche Reduzierungen erbringen.

Weiterhin ist festzustellen, dass in den Versuchen mit dem Verfahren der EuPhoRe[®] GmbH der Nickelgehalt im Vergleich zu anderen Schwermetallen nur mit einem geringeren Prozentsatz (ca. 12-20 % gegenüber der Ausgangskonzentration, allerdings nicht signifikant zusammenhängend mit der Dosierung von Chlorid-Donatoren) reduziert werden konnte (siehe Tab. 3-8).

Daher sollte verifiziert werden, ob ggf. andere Additive zu vergleichbaren Volatilisierungen führen als die Dosierung von Chlorid-Additiven nach dem EuPhoRe[®]-Verfahren.

7.1.3 Kriterium Pflanzenverfügbarkeit und Förderfähigkeit

Aufbauend auf die Förderung dieser Machbarkeitsstudie durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz HMUKLV ist es angeraten, vor Entscheidung der Stadt SchlitZ zur Umsetzung eines der hier diskutierten Konzepte einen Antrag auf (Teil)-Finanzierung von Investitionen des Phosphor-Recyclings aus Klärschlamm zunächst auch beim HMUKLV zu stellen.

Das HMUKLV hat in Aussicht gestellt, erste Konzepte zur Phosphor-Rückgewinnung mit bis zu 50 % der Kosten für die Phosphor-Rückgewinnung zu fördern. Eine Förderung ausschließlich von Klärschlammverbrennungsanlagen wurde ausgeschlossen.

Aus Sicht der Autoren dieser Studie ist bei den hier betrachteten Szenarien zur thermischen Klärschlammbehandlung die Phosphorrückgewinnung ein integraler Bestandteil und lässt sich nicht von der Verbrennungstechnik trennen.

Insbesondere wurde nachgewiesen, dass die betrachteten thermischen Verfahren ein Produkt erzeugen, das eine hohe Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors aufweist. Die dazu mit realen

Phosphor-Rezyklaten aus Klärschlammaschen wurden vom Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Prof. Dr. Steffens, durchgeführt (siehe Kap. 4.3). Die Rezyklate / Klärschlammaschen stammten sowohl aus Versuchen mit einem Drehtrommelreaktor ohne und mit Zugabe von Chlorid-Additiven (nach dem EuPhoRe[®]-Verfahren) als auch aus thermischen Klärschlammbehandlungsanlagen, die nach dem Thermo-System Verfahren Klärschlamm-Reformer betrieben wurden (siehe Tab 3-7, Tab. 3-9 und Tab. 3-10).

Die chemischen Analysen der Aschen haben ergeben, dass die Zitronensäure- und Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit im Drehtrommel-Reaktor durch die Zugabe von Chlorid-Additiven etwas verbessert wird, bei den Aschen aus dem Klärschlamm-Reformer ohne Zugabe von Additiven aber bereits in vergleichbarer Größenordnung wie bei den Aschen aus dem Drehtrommelreaktor mit Additiven liegt (Zitronensäurelöslichkeit ca. 60 – 70 % des Gesamt-Phosphats, Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeit ca. 70 – 80 % des Gesamt-Phosphats). Die Zugabe von Additiven bewirkte gegenüber den Aschen ohne Chlorid-Additivierung eine deutliche Reduzierung der Schwermetallkonzentrationen bei Arsen und Blei, aber keine signifikante Reduzierung bei dem kritischen Parameter Nickel.

Die Versuche zur Pflanzenverfügbarkeit zeigten sowohl in dem HGoTECH-Substrat ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 8) als auch in dem Boden/Sandgemisch ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 6,5) eine deutliche Wirkung auf das Wachstum und die P-Aufnahme von Weidelgras. Die Wirkung ist besser als die von Rohphosphat, insbesondere auf dem HGoTECH-Substrat. Die Zugabe von MgCl_2 bzw. Poly-Chlorid, welches zu 50% aus HCl und 50% aus MgCl_2 besteht, verringert die apparente Düngereffizienz in dem HGoTECH-Substrat, wogegen diese in dem Boden/Sandgemisch ansteigt. Hier ist also keine eindeutige Verbesserung der Zudosierung von Chlorid-Additiven zu erkennen. Ferner geben die in dem HGoTECH-Substrat erzielten Ergebnisse einen Hinweis darauf, dass die aus dem Klärwerk Schlitz stammenden Klärschlamm-Rezyklate aus Sicht der Pflanzenernährung durchaus einem Kalkdüngemittel als P-Quelle zugemischt werden könnten. Die Wirkung dieser Kalk/P-Rezyklat-Gemische sollte, bevor diese in den Handel gehen, zuvor in einem Pflanzenversuch mit dem HGoTECH-Substrat geprüft werden.

Damit ist nachgewiesen, dass die hier betrachteten thermischen Verfahren (Drehrohr-Kessel mit und ohne Chlorid-Additivierung und Etagenofen) als Verfahren zur Phosphorrückgewinnung und Bereitstellung eines Grundstoffes für die Düngemittelindustrie berücksichtigt werden müssen, sofern es gelingt, die geogene Nickelbelastung des Klärschlamm / der Klärschlammasche zu reduzieren.

Unter diesen Bedingungen sollte eine Förderung durch das Land Hessen angestrebt werden.

7.1.4 Kriterium Platzbedarf

Der Platzbedarf der betrachteten Szenarien ist vergleichbar (siehe Abb. 7-1). In allen 3 Szenarien wird die vorhandene kleine Trocknungshalle sowie der östlich angrenzende Bereich bis zur Überflutungsgrenze als Fläche für eine neue Trocknungsanlage, die thermische Klärschlammbehandlung sowie die Abluft- und Rauchgasreinigung benötigt.

Der sich daraus ergebene Platz ist ausreichend für die Errichtung der erforderlichen baulichen und verfahrenstechnischen Anlagen.

Auf eine detailliertere bauliche Planung wird nach Abstimmung mit den Stadtwerken SchlitZ in dieser Machbarkeitsstudie verzichtet.

7.1.5 Kriterium Genehmigungsumfang

Der genaue Umfang und die Dauer des Genehmigungsverfahrens ist abhängig von der tatsächlich realisierten Technologie zur Klärschlammbehandlung und Phosphor-Rückgewinnung (siehe auch Kap 6.6).

Es kann aber festgehalten werden, dass der zeitliche und inhaltliche Ablauf zur Erlangung der erforderlichen Genehmigungen für Bau und Betrieb der Anlagen unabhängig von den hier betrachteten Szenarien ist. Daher ist dieses Kriterium für die Entscheidungsfindung irrelevant.

7.1.6 Kriterium Ausfallrisiko bez. Erfüllung P-Recyclingpflicht

Der Betreiber der Verbund-Klärschlammbehandlungsanlage – hier Stadtwerke SchlitZ – tritt in die Pflicht ein, den Nachweis über „die geplanten und eingeleiteten Maßnahmen zur Sicherstellung der ... durchzuführenden Phosphorrückgewinnung, zur Aufbringung der Einbringung von Klärschlamm auf oder in Böden oder zur sonstigen Klärschlamm Entsorgung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes vorzulegen“ (siehe Artikel 4, § 3a AbfKlärV 2017).

Das Risiko einer Betriebsunterbrechung oder des Ausfalls der neu zu errichtenden Klärschlammbehandlungsanlage muss rechtlich hinsichtlich der Auswirkungen auf die Entsorgung des eigenen und der angenommenen Fremdschlämme bewertet werden.

In Bezug auf die betrachteten Szenarien bestehen hier keine Unterschiede.

7.1.7 Kriterium Erfordernis zum Aufbau von Vertriebsstrukturen

Ob am Standort SchlitZ ein konkretes Produkt, ein Zwischenprodukt oder ein Endprodukt aus dem Klärschlamm hergestellt wird, beeinflusst das Erfordernis eigene Vertriebsstrukturen aufzubauen. Wenn dies nötig wird, bestehen die Alternativen die Produktionsmenge an den Landhandel abzugeben bzw. in die Direktvermarktung zu gehen. Dies lässt sich sicherlich darstellen, wäre aber für die Stadtwerke SchlitZ ein vollkommen neues Geschäftsfeld. Auch ist es im Zusammenhang mit der Produktakzeptanz ggfs. von Vorteil, wenn dieses durch die Landwirte über die ihnen bislang vertrauten Vertriebswege zugänglich gemacht wird.

Es wird hier vorgeschlagen, die Asche der Verbrennung direkt der Düngemittelindustrie zur Verfügung zu stellen und somit keine eigene Verwertung mit eigenen Vertriebsstrukturen aufzubauen.

In Bezug auf die betrachteten Szenarien bestehen hier keine Unterschiede.

7.1.8 Kriterium Erfüllungsgrad des Regionalitätsanspruchs der P-Rückgewinnung

Bei Verwertung der Asche in der regionalen Düngemittelindustrie wäre der Anspruch auf eine regionale Verwertung ohne große Entsorgungs- bzw. Verwertungswege gegeben.

In Bezug auf die betrachteten Szenarien bestehen hier keine Unterschiede.

7.1.9 Kriterium technologischer Reifegrad

Der technologische Reifegrad beeinflusst das Risikoempfinden des Investors in seiner Entscheidung für eine Technologie. Hierzu ist festzuhalten, dass für die einzelnen Verfahrenstechniken der 3 betrachteten Szenarien großtechnische Referenzanlagen existieren. Dies gilt sowohl für die Trocknungstechnologien als auch für die Verbrennungstechnologien.

Alle Anbieter verfügen jedoch bisher noch nicht über eine größere Anzahl von Referenzanlagen.

7.2 Empfehlung für die Ableitung eines Realisierungsvorschlags

Auf der Basis der o.g. Kriterien, insbesondere der deutlichen Kostenunterschiede der drei betrachteten Szenarien wird vorgeschlagen, eine Anlage zur thermischen Verwertung und Bereitstellung einer P-haltigen Asche nach dem Drehrohr-Verfahren zu realisieren. Die produzierte Klärschlammasche kann – bei Einhaltung der gültigen Grenz- bzw. Höchstwerte – direkt in der regionalen Düngemittelindustrie verwertet werden und dort in einem Mischdünger für die Landwirtschaft verarbeitet werden.

Um unabhängig von jahreszeitlichen Schwankungen in der Trocknungskapazität der vorhandenen solaren Trocknungsanlage zu werden, wird vorgeschlagen, eine an die Drehrohr-Verbrennungsanlage angepasste Trocknungsanlage mit Nutzung der bei der Verbrennung entstehenden Abwärme zu installieren. Möglich ist hier entweder die Installation eines Hochtemperatur-Schneckenrockners oder eines Rührwerkstrockners, der mit niedrigeren Temperaturen arbeitet.

Da die gesamte Verfahrenskette beginnend mit der Bereitstellung des entwässerten Schlammes bis hin zur Bereitstellung der Asche für die Düngemittelindustrie in die Hand eines Anbieters gelegt werden sollte und keine Aufteilung in einzelne Lose erfolgen sollte, ist es auch unerheblich, ob das zu realisierende Konzept eine Teiltrocknung bis ca. 45-50 % TM oder eine Volltrocknung bis ca. 85-90 % enthält.

Die Anlagentechnik kann auf der Fläche der bestehenden zweiten Trocknungshalle sowie auf der östlich daran anschließenden Fläche installiert werden.

Die Kostenbetrachtungen haben voraussichtliche spezifische Behandlungskosten von ca. 105 - 130 €/t (netto zzgl. MwSt.) entwässerten Klärschlamm ergeben, die sich bei einer Landesmittelförderung von 50 % bezogen auf die Komponenten, die der Phosphorrückgewinnung zuzurechnen sind, auf ca. 90 - 105 €/t zzgl. MwSt. verringern ließen.

Eine detaillierte Kostenbetrachtung ist in dieser veröffentlichten Version der Machbarkeitsstudie nicht enthalten.

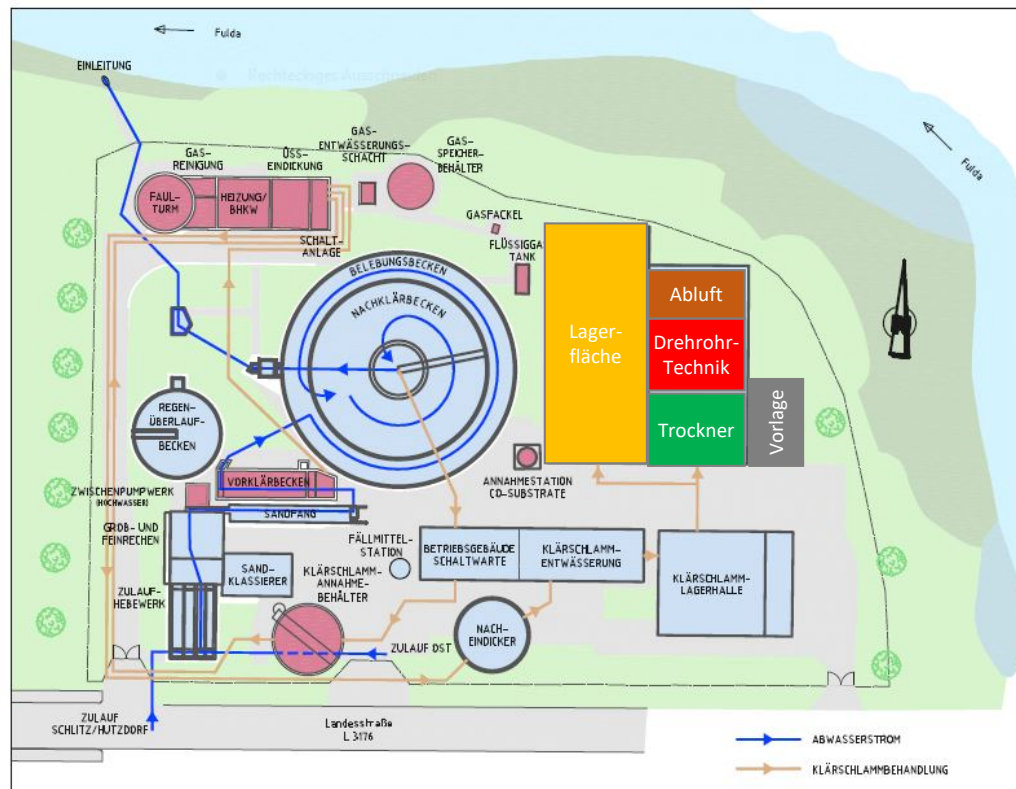


Abb. 7-1: Aufstellungsvorschlag Vorlagebunker, Klärschlamm-trocknung, Abluftbehandlung und Drehrohröfen

Für den weiteren Entscheidungs- und Planungsprozess werden folgende Schritte empfohlen:

1. Exakte Festlegung der zukünftigen Partner unter Berücksichtigung der Schadstoffgehalte, insbesondere Nickel, mit Festlegung der anzuliefernden Schlamm-mengen und -zusammensetzung
2. umfangreiche Patentrecherche zum Thema „Volatilisierung von Schwermetallen durch Zugabe von Additiven“
3. Rechtliche Überprüfung der Verwertung der Asche als Grundstoff für die Düngemittel-industrie, insbesondere vor dem Hintergrund des erhöhten Nickelgehalts
4. Abstimmung und Fixierung zur Abnahme der Asche als Grundstoff in der Düngemittel-industrie
5. Einleitung des Genehmigungsverfahrens, Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde zu den vorzulegenden Unterlagen
6. Klare Definition der Übergabeschnittstellen Input Trocknungsanlage
7. Aufstellung eines Kriterienkataloges zur Wertung schlüsselfertiger Angebote (Wertungs-matrix)

8. Schlüsselfertige Ausschreibung der gesamten Verfahrens- und Bautechnik, um Schnittstellen zu minimieren als nichtoffenes Verfahren, ggf. Verhandlungsverfahren, mit Garantieabfrage der Betriebsmittelverbräuche sowie Garantie der Unterschreitung der Grenzwerte der DüMV
9. Einbeziehung eines Betreiber- oder Betriebsführungsvertrages, ggf. mit verlängertem Probebetrieb, um einerseits die Verfahrenstechnik optimal einstellen zu können und um das Betriebspersonal der Kläranlage optimal zu schulen

8 Literatur

Abanades S, Flamant G, Gagnepain B, Gauthier D: Fate of heavy metals during municipal solid waste incineration. Waste Manage Res. 20 (2002) 55–68

AbfKlärV, Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung - AbfKlärV) vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 137 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

Adam, Christian, Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm, in Holm, O., Thomé-Kozmiensky, E., Quicker, P., Kopp-Assenmacher, S. (Hrsg.) Verwertung von Klärschlamm, Thomé-Kozmiensky-Verlag GmbH, Neuruppin, 2018, ISBN 978-3-944310-43-5

ATV-DVWK (Hrsg.) Merkblatt M 379 Klärschlamm-trocknung, Hennef, 2004, ISBN 3-924063-36-2

Bittermann P: Folgeentwicklungen der Ammoniak-synthese. Die Mutter der Verfahrenstechnik. Online abrufbar unter: Chemietechnik, <http://www.chemietechnik.de/folgeentwicklungen-der-ammoniak-synthese/> (2013) [Zugriff am 27.11.2017]

Chang M, Jen C, Wu H: Investigation on the emission factors and removal efficiencies of heavy metals from MSW incinerators in Taiwan. Waste Manage Res 21(2003) 218–224

Conrad Y, Karpf, R: Kennwerte zur Bewertung von Trockensorptionsverfahren auf Kalkbasis. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Energie aus Abfall. Bd 11, Neuruppin: TK-Verlag, (2014), S. 633 – 648.

DPP Deutsche Phosphorplattform, Verfahrenskennblätter: <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/verfahrenskennblaetter-zu-methoden-der-phosphorrueckgewinnung/>, abgerufen am 28.08.2018

DüMV (2019), Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV) Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Oktober 2019 (BGBl. I S. 1414) geändert worden ist

DWA (2019) Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) , Merkblatt M 379 „Klärschlamm-trocknung“ (Entwurf), Hennef, 2019

DWA (2016a) Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Verfahren und Trends in der Thermischen Klärschlammbehandlung – Teil 1, Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.4 „Neue Technologien zur Schlammbehandlung“, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2016 (63) Nr. 7, Hennef, 2016a

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), Verfahren und Trends in der Thermischen Klärschlammbehandlung – Teil 2, Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.4 „Neue Technologien zur Schlammbehandlung“, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2016 (63) Nr. 8, Hennef, 2016b

EuPhoRe® GmbH (2020), Firmeninformationen, persönliche Information

- Fink M: Wirk- und Reaktionsprinzipien zur Abscheidung von Schadstoffen in der Abgasreinigung, persönliche Mitteilung 2019
- Franck J, Schröder L, 2015: Zukunftsfähigkeit kleiner Klärschlamm-verbrennungsanlagen. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Energie aus Abfall. Bd. 12, Neuruppin: TK Verlag, S. 457 – 475.
- Fritz W, Kern H: Reinigung von Abgasen. Würzburg (1990): Vogel-Verlag.
- Frölich, Guido, 2020: Video-Interview im Rahmen der Machbarkeitsstudie, geführt am 25.05.2020
- Giesberts, L.; Kleve, G.: Einmal Abfall – nicht immer Abfall: Das Ende der Abfallei-genschaft. Deutsches Verwaltungsblatt (DVBL) – Abhandlungen, 2008, 678–688.
- Hartmann H, Hofmann H, Nussbaumer T: Direkte thermo-chemische Umwandlung. In: Energie aus Biomasse. Berlin: Springer-Verlag,(2016), S. 815 – 1058.
- Heindl, A., Gröbl, Th., Görlich, M., Graf, M.: Thermische Behandlung von Klärschlamm, Teil 1: Rechtliche Vorschriften, Eigenschaften und Trocknung von Klärschlamm, in KA Korrespondenz Abwasser – Abfall, 67. Jahrgang, Nr. 4, 2020, S. 286- 294
- IBU-tec advanced materials AG, Weimar, Firmeninformationen, aufgerufen zuletzt am 10.03.2020
https://www.ibu-tec.de/anlagen/drehrohrofen/?gclid=Cj0KCQjw0pfzBRCOARIsANi0g0vUeqHVq6ir_Ooacm2DmawRoP7NYZbTI3_d8lwgf2i2Rr7oRfYlKflaAmJqEALw_wcB
- Ipsen C.: Mitverbrennung von Biobrennstoffen in zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen. Verfahrenstechnik, Umweltschutz, Wirtschaftlichkeit. Dissertation zur Erlagungen des akademischen Grades Doktor der Wissenschaften (Dr. rer. pol.). Zentrum für nachhaltige Entwicklung an der Europa-Universität Flensburg. (2016) Online abrufbar unter: ZHB Flensburg, <https://www.zhb-flensburg.de/fileadmin/content/spezial-einrichtungen/zhb/dokumente/dissertationen/ipsen/ipsen-christoph-2017-.pdf> [Zugriff am 17.12.2018].
- Karpf, R. (2006): Neueste Entwicklungen bei der trockenen und quasitrockenen AGR. Regensburger Fachtagung, 13./14. Juni 2006. ete.a GmbH Ingenieurbüro für Energie- und Umweltengineering & Beratung, Lich. Online abrufbar unter: http://www.ete-a.de/img/Vortraege/16_Neueste_Entwicklungen_bei_der_trockenen_und_quastrockenen_AGR.pdf [Zugriff am 17.12.2018]
- Kraus, F., Zamzow, M., Hoffmann, C., Bessai, A.-K., Fischinger, S., Muskulus, A., Kabbe, C., (2019), Einsatzmöglichkeiten für Nährstoffzyklate im Ökolandbau (nurec4org), Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) AZ 33651/01, https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-33651_01-Hauptbericht.pdf
- Lind T, Valmari T, Kauppinen E, Sfiris G, Nilson K, Meanhaut, W: Volatilization of the heavy metals during circulating fluidized bed combustion of forest residue. Environ. Sci. Technol. 33 (1999), 496-502.
- Löschau M: Reinigung von Abgasen. Neuruppin: TK-Verlag (2014).
- Marani D, Braguglia CM, Mininni G, Maccioni F: Behaviour of Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, and Zn in sewage sludge incineration by fluidised bed furnace. Waste Management 23 (2003) 117–124

Meyer, U., Energetische Aspekte der thermischen Behandlung von Klärschlamm, Vortrag 12. ZAF-Seminar "Klärschlammbehandlung und Entsorgung - Erfahrungen und Perspektiven", Braunschweig, 18./19. Sept. 1997, Veröffentlichungen des Zentrums für Abfallforschung der TU Braunschweig, Heft 12, 77/97.

Obernberger I: Stand der Entwicklung der Verbrennungstechnik. VDI-Bericht 1319. Düsseldorf: VDI-Verlag, (1997), S. 47 – 80. Online abrufbar unter: BIOS-Bioenergiesysteme GmbH, <http://bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Obernberger-StandVerbrennungstechnik-1997-05-20.pdf> [Zugriff 24.11.2017]

Ritterbusch, S: Dezentrale Klärschlammverwertung mit dem KlärschlammReformer, in Holm, O. et. al. (Hrsg.), Verwertung von Klärschlamm 2, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Neuruppin, ISBN 978-3-944310-49-7, 2019

Roskosch, A.; Heidecke, P.: Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2018.

Sijstermans, L.F.J., Energie- und Emissionsmaßnahmen der KSWA SNB Moerdijk 1997-2019, Vortrag auf den DWA-Klärschlammtagen, 21.-23.05.2019, Würzburg, DWA (Hrsg.), Hennef, 2019
Statista (2019),
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/> [Zugriff 18.05.2019]

Thermo-System GmbH (2020), Firmeninformationen, persönliche Information

Thomé-Kozmiensky K. J., Verbrennung in Wirbelschichtreaktoren. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Energie aus Abfall. Bd. 10, Neuruppin: TK Verlag, (2013)S. 3 – 94

Tomalla, M., Überblick über Trocknungsverfahren, Trocknerbauarten, Betriebserfahrungen mitthermischen Trocknungsanlagen, VDI Fachkonferenz „Klärschlammbehandlung, Rotenburg, 17.10.2017

Vater W: Thermische Verfahren. In: Hennef, Ernst & Sohn (Hrsg.). Klärschlamm. Bd. 4, Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaft GmbH, (1996), S. 405 – 471

Weigand H, Bertau M, Hübner W, Bohndick F, Bruckert A: RecoPhos: Full-scale fertilizer production from sewage sludge ash. Waste Manage. 33 (2013), 540-544.

Weigand H, Bertau M: Von der Klärschlammmasche zum Phosphordünger - RecoPhos P38 im Spannungsfeld von Abfall, Düngemittel- und Bodenschutzrecht. In: Kausch P, Bertau, M., Gutzmeyer, J; Matschullat, J (Hrsg.) Strategische Rohstoffe — Risikovorsorge, Springer, Berlin, 2013.

Wiesgickl, S., Thermisches Klärschlammverwertungskonzept am Standort Halle-Lochau, Vortrag auf den DWA-Klärschlammtagen, 21.-23.05.2019, Würzburg, DWA (Hrsg.), Hennef, 2019

Xu M, Yan R, Zheng C, Qiao Y, Han J, Sheng C: Status of trace element emission in a coal combustion process: a review. Fuel Processing Technology 85 (2003) 215– 237

Zepke, F., persönliche Information, EuPhoRe® GmbH, 2019

9 Anhang

9.1 Teilnehmerliste 1. Dialogforum Phosphor am 06.02.2020

Nr.	Vorname, Name, Titel	Behörde, Firma	Funktion	Unterschrift
1	Prof. Dr.-Ing. Ulf Theilen	THM Gießen		
2	Prof. Dr. Harald Weigand	THM Gießen		
3	Dipl.-Ing. Frank Jahn	Stadtwerke Schlitz	Technischer Betriebsleiter	
4	Florian Kraft	Stadtwerke Schlitz	Abwassermeister	
5	Ralf Pietsch	Stadtwerke Schlitz	Fachkraft Abwasser	
6	Heino Wahl	Stadtwerke Schlitz	Fachkraft Abwasser	
7	Holger Diehl	HMUKLV	Referatsleiter	
8	Anja Püchner	Amt für den ländlichen Raum VBK	Amtsleitung	
9	Philipp Jung	Amt für den ländlichen Raum VBK		
10	Thomas Rohrbach	Gemeinde Niederaula	Bürgermeister	
11	Heiko Reuber	Gemeinde Niederaula	Bauamtsleiter	
12	Dr. Olaf Dahlmann	ZV Bad Salzschlirf / Wartenberg	Bürgermeister Wartenberg	
13	Abdel Soukarnou	ZV Bad Salzschlirf / Wartenberg	Bauamtsleiter Bad Salzschlirf	
14	Hans-Peter Möller	Stadt Lauterbach	Bauamtsleiter	
15	Hakki Orhan	Stadt Lauterbach	Bauamt	
16	Dr.-Ing. Sebastian Tews	Ingenieurbüro	Geschäftsführer	
17	Herr Schäfer	Gemeinde Flieden	Bauamt	
18	David Altheide	Gemeinde Rasdorf	Bauamt	
19	Sören Dietz	Gemeinde Haunetal	Bauamtsleiter	
20	Josef Herr	Gemeinde Eiterfeld	Fachkraft Abwasser	

Nr.	Vorname, Name, Titel	Behörde, Firma	Funktion	Unterschrift
21	Dieter Schäfer	Gemeinde Lautertal	Bürgermeister	
22	Dipl.-Ing. Roland Hilfenhaus	RhönEnergie Effizienz + Service GmbH Fulda	Leiter Infrastruktur	
23	Torsten Rudolph	RhönEnergie Effizienz + Service GmbH Fulda		
24	Jan von Treek	RhönEnergie Effizienz + Service GmbH Fulda	Leiter Anlagenservice	
25	Joachim Adams	Abwasserverband Fulda	Geschäftsführer	
26	Stefanie Becker	Kreisbauernverband Vogelsberg e. V.	Geschäftsführerin	
27	Herr Maaß	Zementwerke Otterbein, Großenlöd.		
28	Herr Ahrens	Zementwerke Otterbein, Großenlöd.		
29	Herr Scholten	Zementwerke Otterbein, Großenlöd.	Betriebsleitung	
30	Herr Stürz	Raiffeisen Vogelsberg GmbH	Geschäftsführer	
31	Guido Frölich	tegut... gute Lebensmittel		
32	Petra Häfner	PG Häfner-Oefner Langenselbold	Geschäftsführerin	
33	Ulf Schirmer	PG Häfner-Oefner Langenselbold	Leiter Abteilung Planung Kläranlagen	
34	Helge Schwenk	THM Gießen	Wissenschaftl. Mitarbeiter	

9.2 Versuchsbericht des Instituts für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen über die Phosphor-Pflanzenverfügbarkeit von verschiedenen Phosphor-Rezyklaten im Rahmen der Machbarkeitsstudie



Institut für Pflanzenernährung«E4»

☒ Inst. für Pflanzenernährung • Heinrich-Buff-Ring 26-32 • D-35392 Gießen

Prof. Dr.
Diedrich Steffens
IFZ für Umweltsicherung
Heinrich-Buff-Ring 26-32
35392 Gießen
Tel.: 0641 / 99 - 39165
Fax.: 0641 / 99 - 39169
diedrich.steffens@ernaehrung.uni-giessen.de

16.07.2020

Versuchsbericht über die Phosphor-Pflanzenverfügbarkeit von verschiedenen Phosphor-Rezyklaten im Rahmen der Machbarkeitsstudie:

„Entwicklung eines regionalen Konzeptes zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm oder Klärschlammasche auf dem Klärwerk Schlitz“

1 Einleitung und Problemstellung

Infolge der Novellierung der Klärschlammverordnung ist eine Phosphor (P)-Rückgewinnung während oder nach einer Abwasserreinigung verordnet worden, da die direkte Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft in manchen Bundesländern untersagt ist. Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in verschiedenen Rezyklaten aus Klärschlammen zu untersuchen. Diese verschiedenen Rezyklate wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie „Entwicklung eines regionalen Konzeptes zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm oder Klärschlammasche auf dem Klärwerk Schlitz“ aus einem Klärschlamm vom Klärwerk aus Schlitz sowie aus Klärschlamm aus Grünstadt und Renningen hergestellt. Bei dem aus Grünstadt stammendem Rezyklat handelt es sich um eine Asche aus Klärschlamm, der einer Phosphatfällung mit Duophos A (Aluminiumchlorid/Eisenlösung) unterzogen wurde. Ein weiteres Rezyklat wurde aus einem Klärschlamm aus Renningen hergestellt, wobei in dem Klärwerk die Phosphatfällung mit Eisen-III-Chlorid erfolgt.

Ziel der hier vorliegenden Studie ist es, die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in den verschiedenen Rezyklaten aus Klärschlamm zu untersuchen. Die Studie wurde mit Welschem Weidelgras, welches auf

einem künstlichen Substrat der Firma HGoTECH sowie auf einem Boden/Sandgemisch angebaut wurde, durchgeführt.

2 Material und Methoden

Wichtige Kenngrößen zur Charakterisierung der chemischen Verfügbarkeit der Klärschlammrezyklate sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Gesamt-Phosphat-Konzentrationen sowie die absoluten und relativen P-Konzentrationen in 2%iger Zitronensäure und Neutral-ammoniumcitrat-Lösung sowie die Gesamt-Eisen-Konzentration in den Rezyklaten aus Klärschlamm.

	Gesamt-P	In 2%iger Zitronensäure lösliches P	In Neutral-ammoniumcitrat lösliches P	Eisen-Konzentration
Rezyklat	% P in der Originalsubstanz			g Fe kg ⁻¹
ohne Additiv, Asche EuPhoRe® Schlitz	6,50 (= 100%)	3,14 (= 48,3%)	4,45 (= 68,5%)	101,0
+ 2,25% MgCl ₂ , Asche EuPhoRe® KA Schlitz	6,63 (= 100%)	4,67 (= 70,4%)	5,41 (= 81,6%)	101,0
+2,25 Poly-Chlorid, Asche EuPhoRe® KA Schlitz	6,63 (=100%)	3,97 (= 59,9%)	4,49 (= 67,7%)	101,0
Klärschlamm KA Schlitz	2,05 (=100%)	1,65 (= 80,5%)	2,27 (= 110,7%)	39,6
GRU/AS ¹	7,03 (= 100%)	4,67 (=66,4%)	5,67 (= 80,7%)	74,0
REN/AS ²	5,67 (= 100%)	5,67 (= 100%)	4,32 (= 76,2%)	121,0

¹ Asche von Klärschlamm der Kläranlage Grünstadt

² Asche von Klärschlamm der Kläranlage Renningen

Die Gesamt-P-Konzentration der Rezyklate schwankt zwischen 6,50 und 5,67% in der Originalsubstanz, wobei die Gesamt-P-Konzentration in dem getrocknetem Klärschlamm aus Schlitz bei 2,05% lag. Dieser Klärschlamm wurde dann in einem Modell-Drehofen und mit Zugabe von Additiven zu P-Rezyklaten aus Klärschlamm verbrannt. Zugabe von 2,25% MgCl₂-Lösung in den Verbrennungsprozess erhöht deutlich die Extrahierbarkeit von Phosphor in 2% Zitronensäure und Neutral-ammoniumcitratlösung, wogegen in der Variante mit Zugabe von 2,25% Polychlorid eine Abnahme in den genannten Extraktionslösungen zu verzeichnen ist. Ferner fällt auf, dass die Extrahierbarkeit von Phosphor mit Ausnahme des Rezyklates aus

Renningen, welches interessanterweise die höchste Eisen-Konzentration aufweist, in Neutral-ammoniumcitratlösung höher ist als in 2% Zitronensäure.

Für den Gefäßversuch wurden alle Rezyklate zunächst mit einer Schlagkreuzmühle von Ika zerkleinert, um dann weiter mit einer Kugelmühle weiter zerkleinert zu werden. Anschließend wurden diese gemahlene Aschen auf < 0,063 mm ab gesiebt.

Der durchgeführte Gefäßversuch umfasste die nachstehenden Varianten:

- P0, Kontrolle, keine P-Düngung
- P-Düngung in Form von Rohphosphat (Hyperphos)
- P-Düngung in Form von $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, entspricht der P-Form in Super- und Tripelsuperphosphat
- P-Düngung in Form des Klärschlammes Schlitz
- P-Düngung in Form der Asche aus der Klärschlammverbrennung „ohne Additiv“ aus Schlitz
- P-Düngung in Form der Asche aus der Klärschlammverbrennung „mit 2,25% MgCl_2 “ aus Schlitz
- P-Düngung in Form der Asche aus der Klärschlammverbrennung „mit 2,25% Poly-Chlorid“ aus Schlitz
- P-Düngung in Form der Asche aus der Klärschlammverbrennung aus Grünstadt
- P-Düngung in Form der Asche aus der Klärschlammverbrennung aus Renningen

Die Überprüfung der Pflanzenverfügbarkeit von P in den Prüfprodukten erfolgte mit Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum* L., cv. Zebu) in einem Gefäßversuch mit einem Boden/Sandgemisch und einem Kultursubstrat von der Firma HGoTECH. Dazu wurden am 28.02.2020 36 kleine Mitscherlichgefäße mit 6 kg eines Boden/Sandgemisches gefüllt, so dass jede Variante in vierfacher Wiederholung angelegt wurde. Der Versuchsboden war ein nährstoffarmer Unterboden (40 – 100 cm Tiefe) einer Braunerde aus Löß mit einem pH-Wert von 5,4 (CaCl_2) sowie 44,2% Sand, 34,6% Schluff und 21,2% Ton. Dieser Boden wurde, um eine geringe P-Versorgung zu erzielen mit Quarzsand im Verhältnis 1:1 gemischt, so dass 6 kg Boden/Sandgemisch (3 kg Boden und 3 kg Sand) in die Gefäße gefüllt wurden. Die Zugabe der P-Düngemittel und der Prüfprodukte erfolgte in einer Höhe von 0,45 g P/Gefäß. Diese Menge entspricht einer P-Konzentration von 75 mg P/kg Boden. Alle anderen Nährstoffe (N, K, Mg, S, Cl, Cu, Mn, Mo, Zn) wurden in ausreichender Menge in das Boden/Sand-Gemenge eingemischt. Ferner wurden 3 g CaCO_3 /Gefäß gedüngt, um den pH-Wert auf 6,5 anzuheben.

Am gleichen Tag erfolgte auch die Befüllung der entsprechenden Gefäße mit dem Kultursubstrat von HGoTECH. Die eigentliche Zugabe der Prüfprodukte sowie der anderen Nährstoffe wurde von der Firma HGoTECH in Bonn durchgeführt. Da das Kultursubstrat ein anderes spezifisches Gewicht als das Boden/Sandgemisch aufweist, wurden die kleinen Mitscherlichgefäße mit 5 kg Substrat gefüllt. Hier betrug die P-Düngung ebenfalls 75 mg P/kg Substrat, so dass die gedüngte P-Menge bei 0,375 g P/Gefäß lag. Nach dem Befüllen der Gefäße wurde das in den Gefäßen befindliche Boden/Sandgemisch auf 60% der Wasserhaltekapazität mit deionisiertem Wasser angefeuchtet. Das Kultursubstrat war feucht genug. Die Gefäße wurden dann in begehbare Klimakammern gestellt, wobei die Temperatur konstant auf 20°C gestellt wurde.

Es sei erwähnt, dass der Ausgangs-Klärschlamm aus Schlitz nur zu dem Boden/Sandgemisch gedüngt wurde.

Am 10.03.2020 wurden 1 g Weidelgras Samen pro Gefäß ausgesät, welches am 16.03.2020 aufblühte. Die weitere Anzucht der Pflanzen erfolgte bei 24°C für 16 Stunden Licht bei 15°C während der Nachtphase. Am 24.03.2020 erfolgte die vorsichtige Entnahme von Bodenproben aus jedem Gefäß mit einem kleinen Bohrstock. Diese Bodenproben wurden für weitere Analysen bei 40°C getrocknet, gemörsert und auf < 2 mm abgeseibt.

Das Weidelgras wurde am 08.04.2020, 24.04.2020 und am 11.05.2020 geschnitten. Nach dem 1. und 2. Schnitt wurde das Weidelgras mit 0,5 g N (NH_4NO_3) und 0,5 g K (K_2SO_4) pro Gefäß in flüssiger Form zum schnellen Wiederaustrieb gedüngt. Nach dem letzten Schnitt wurden die Gefäße in der Kammer abgedeckt und am 03.06.2020 wurden erneut Bodenproben aus den Gefäßen gezogen. Die Aufarbeitung der Bodenproben erfolgte auf die gleiche Art und Weise wie oben berichtet wurde, wobei aber die Wurzelreste ausgelesen wurden.

2.1 Analysen

Nach dem Schneiden der Weidelgrassprosse wurden diese zur Erfassung der Frischmasse gewogen und für die Erfassung der Sprosstrockenmasse bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach der Rückwaage wurden die Pflanzen sehr fein gemahlen. In der feingemahlene Sprossmasse erfolgte die Bestimmung der P-Konzentration nach trockener Veraschung mit der P-Gelb-Methode.

In den Bodenproben wurde der pH-Wert mit der 0,01 M CaCl_2 Methode im Verhältnis 1:2,5 analysiert. Mit der sogenannten CAL-Methode wurde das pflanzenverfügbare P im Boden/Sandgemisch und Kultursubstrat analysiert.

3 Ergebnisse

Infolge der P-Düngung stieg das CAL-extrahierbare Boden-P an, wobei der stärkste Anstieg in der TSP-Variante zu verzeichnen war. Die Prüfprodukte wirken alle besser als das Rohphosphat auf das CAL-extrahierbare Boden-P, s. Abb. 1.

Interessanterweise weisen das Boden/Sandgemisch und das HGoTECH-Substrat in der P0-Variante vergleichbare CAL-extrahierbare P-Konzentrationen auf. Zugabe von P führt, mit Ausnahme der Rohphosphat-Variante zu einer deutlichen Zunahme an CAL-extrahierbarem P. Düngung von mit MgCl_2 bzw. Poly-Chlorid behandeltem Klärschlamm während der Verbrennung führt zu einem stärkeren Anstieg an CAL-extrahierbarem P als in der Variante „Ohne Additiv“. Im Prinzip sind die Konzentrationen an CAL-extrahierbarem P zwischen dem Boden/Sandgemisch und dem HGoTECH-Substrat fast gleich. Nach dem 3. Weidelgrasschnitt fallen die CAL-P Konzentrationen in fast allen Varianten ab, wobei aber die stärkere Abnahme in dem Boden/Sandgemisch zu beobachten ist. Anscheinend puffert das HGoTECH-Substrat etwas besser als das Boden/Sandgemisch.

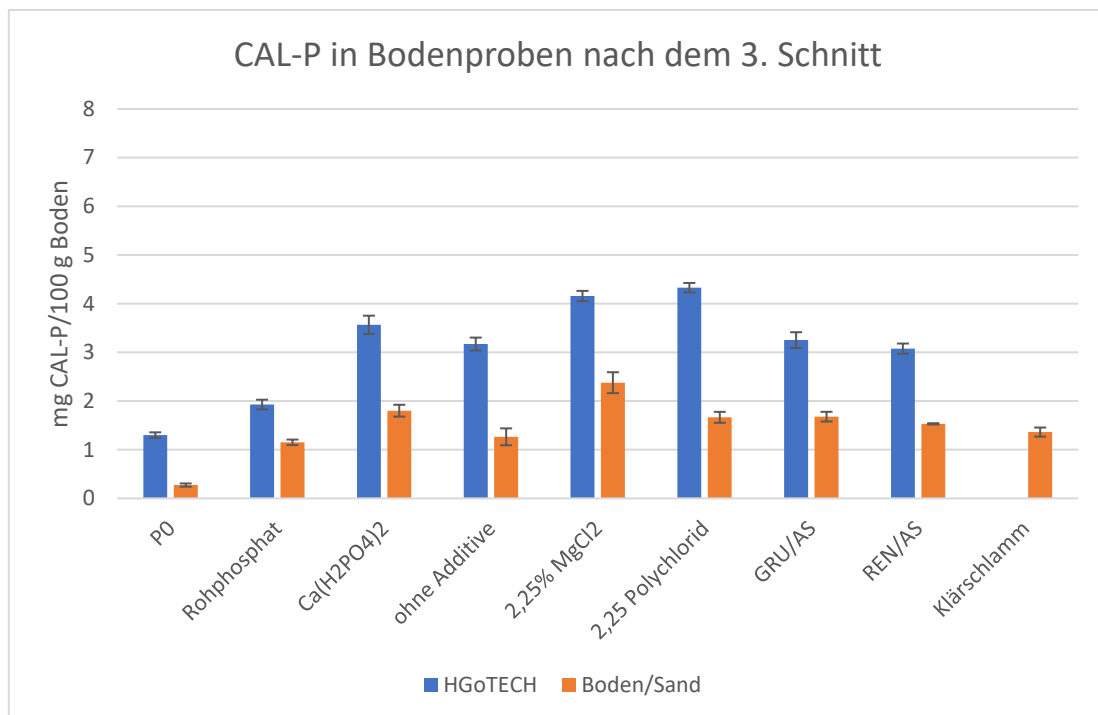
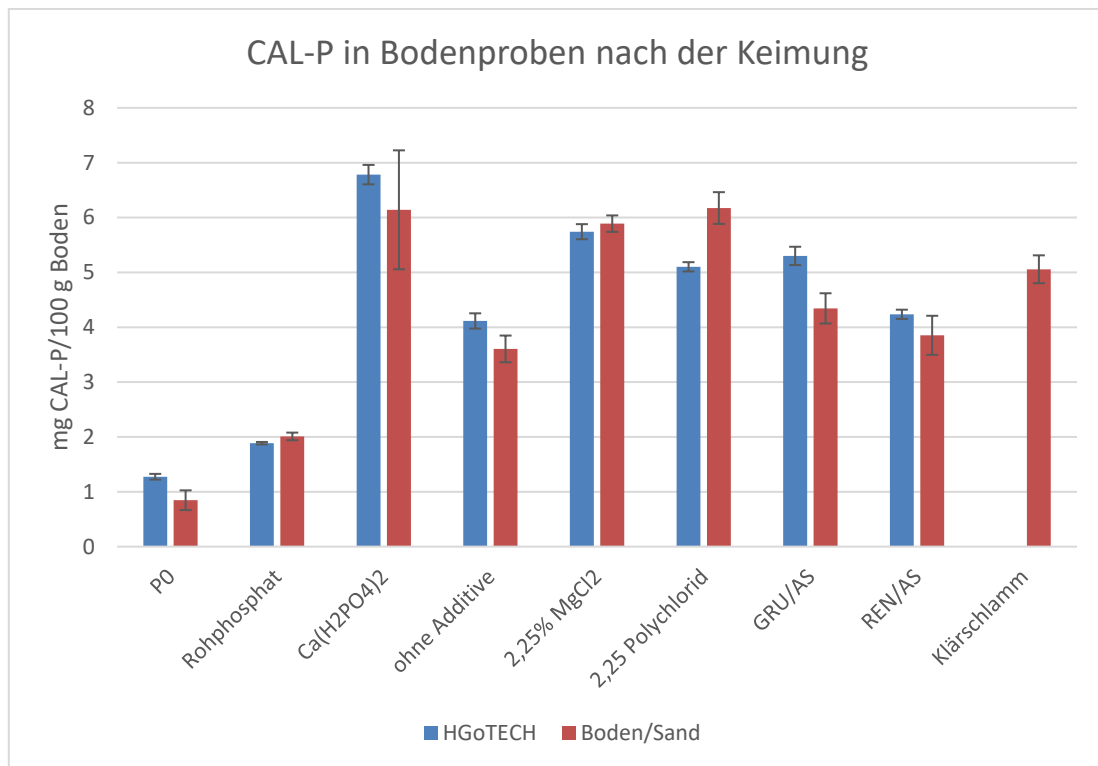


Abbildung 1: Einfluss einer P-Düngung (75 mg P/kg Boden) in Form verschiedener Produkte auf das CAL extrahierbare Boden-P nach der Keimung sowie nach dem 3. Schnitt von Weidelgrass in dem HGoTECH-Substrat und in dem Boden/Sandgemisch. Dargestellt sind die Mittelwerte von vier biologischen Wiederholungen und der Fehler des Mittelwertes.

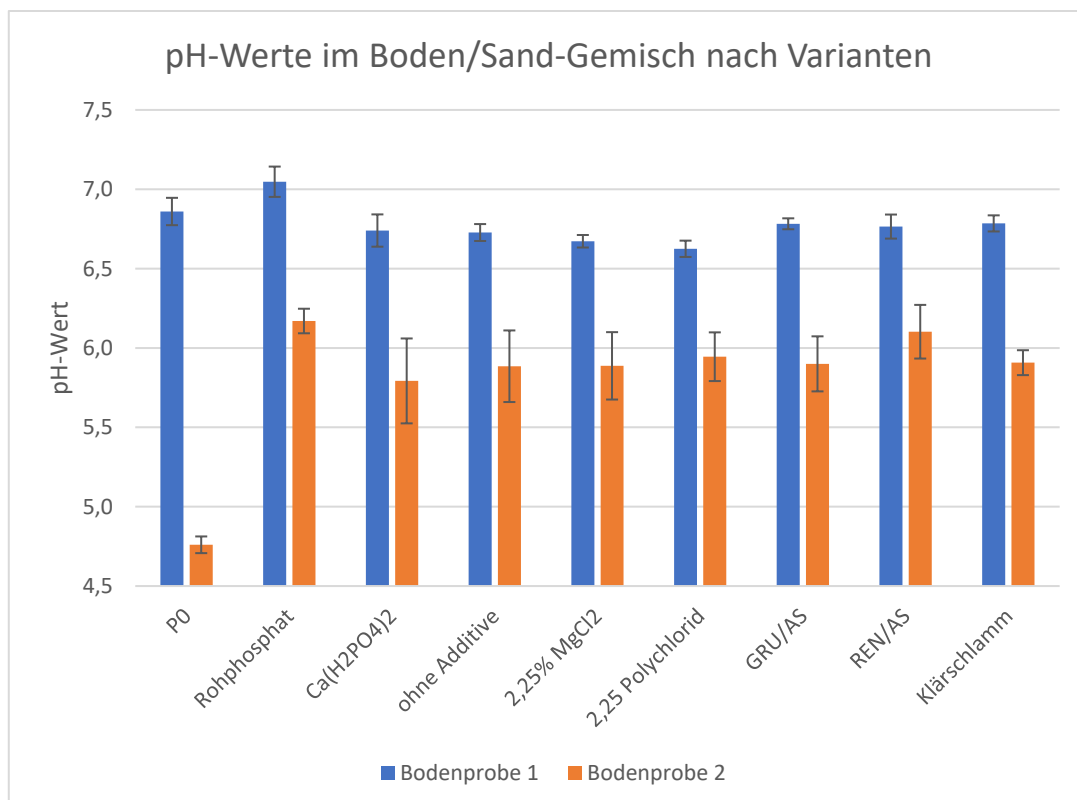
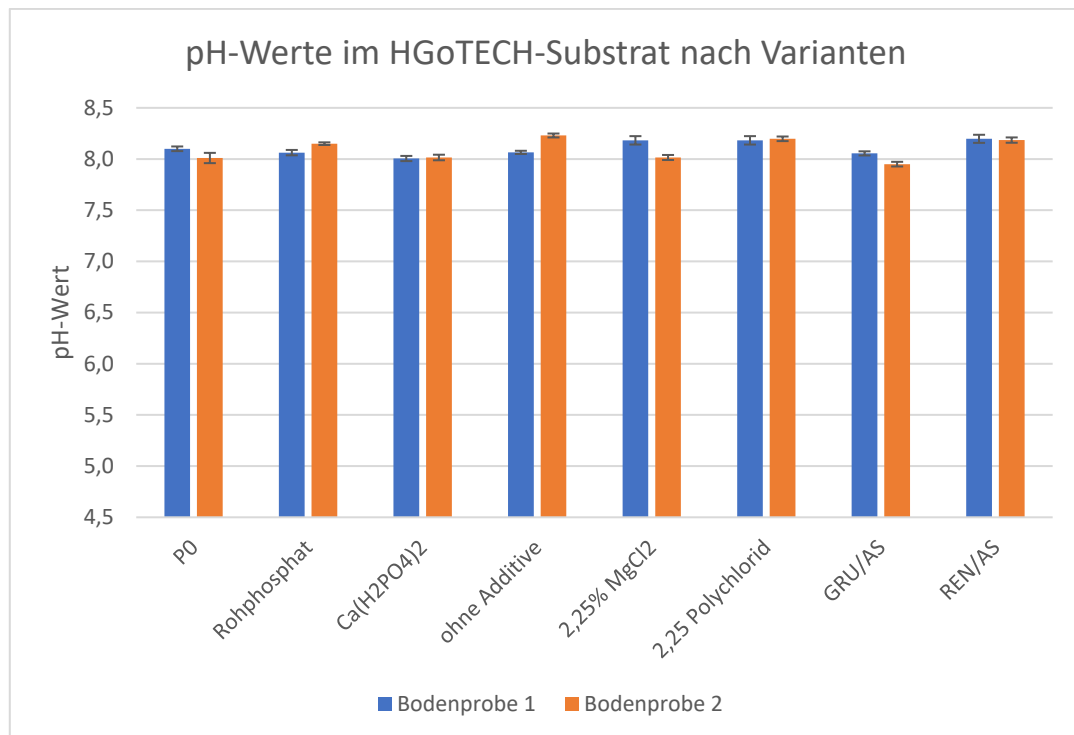


Abbildung 2: Einfluss einer P-Düngung (75 mg P/kg Boden) in Form verschiedener Produkte auf die pH-Werte (CaCl₂) nach der Keimung (Bodenprobe 1) sowie nach dem 3. Schnitt von Weidelgras (Bodenprobe 2) in dem HGoTECH-Substrat und in dem Boden/Sandgemisch. (Mittelwerte von vier biologischen Wiederholungen, Fehler des Mittelwertes).

Die pH-Werte in den Varianten des HGoTECH-Substrats lagen im Durchschnitt bei pH 8, wobei in diesem Substrat keine Abnahme nach dem Wachstum von Weidelgras zu beobachten ist. Anders sind die pH-Werte in dem Boden/Sandgemisch. Hier liegen die pH-Werte zwischen pH 6,5 und 7,0, um dann auf einen pH-Wert zwischen pH 6,1 und 5,5 abzufallen. Auffällig ist der sehr starke pH-Wert Abfall in der PO-Variante auf dem Boden/Sandgemisch. Demzufolge ist festzuhalten, dass das HGoTECH-Substrat eine größere Protonen-Pufferung aufweist als das Boden/Sandgemisch.

In der Tabelle 2 sind die absoluten und relativen Trockenmasseerträge von Weidelgras von den drei Schnitten dargestellt. Auffallend ist, dass die Trockenmasseerträge vom ersten Schnitt auf dem HGoTECH-Substrat geringer ausfallen als auf dem Boden/Sandgemisch. Dieser Unterschied dürfte auf eine dem HGoTECH-Substrat nicht richtig angepasste Bewässerung der Pflanzen sowie auf der geringeren Substratmenge pro Gefäß beruhen. In den darauffolgenden Schnitten sind die Unterschiede nicht so gravierend. Infolge der P-Düngung in Form der verschiedenen Rezyklate sowie P-Dünger stiegen die Erträge deutlich an. Das Rohphosphat zeigte auf dem HGoTECH-Substrat, wie es bereits im CAL-extrahierbaren P zu erkennen ist, keine Wirkung auf den Ertrag von Weidelgras, da bei einem pH-Wert von 8 kaum P aus einem Rohphosphat freigesetzt wird. Anders verhalten sich die gedüngten Rezyklate auf den Weidelgrasertrag. Sowohl auf dem HGoTECH-Substrat als auch auf dem Boden/Sandgemisch stieg der absolute Sprosstrockenmasseertrag von Weidelgras bei jedem Schnitt im Vergleich zur PO-Variante deutlich an.

In der Abbildung 3 ist die Summe der Trockenmasseerträge von den drei Weidelgrasschnitten dargestellt. Wie nicht anders zu erwarten ist, wird auf dem HGoTECH-Substrat und dem Boden/Sandgemisch der höchste Ertrag in der $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -Variante erzielt, wobei die Erträge auf dem Boden/Sandgemisch höher ausfallen als auf dem HGoTECH-Substrat. Dieser Befund dürfte auf die geringere Einwaage von Substrat in die Mitscherlichgefäße der „HGoTECH-Varianten“ zurückzuführen sein. Eine andere Ursache könnte auch der höhere pH-Wert des HGoTECH-Substrates sein. Auf der anderen Seite ist aber zu berücksichtigen, dass sich die unterschiedliche Löslichkeit des in den Rezyklaten gebundenen P besser in den auf dem HGoTECH-Substrat erzielten Erträgen widerspiegelt als auf dem Boden/Sandgemisch. Dieses wird auch bei Betrachtung der in der Abbildung 4 dargestellten relativen Trockenmasseerträge sichtbar. Auf dem HGoTECH-Substrat nimmt der relative Ertrag mit Ausnahme der Renningen-Variante von Schnitt zu Schnitt ab. In dieser P-Düngungsvariante nimmt die relative Ertragswirksamkeit, wie auch in den Varianten des Boden/Sandgemisches, zu.

In der Abbildung 5 sind die P-Konzentrationen im Weidelgras in Abhängigkeit von P-Düngung, P-Form, Schnitt sowie Substrat dargestellt. Durch die P-Düngung steigen die P-Konzentrationen in allen gedüngten Varianten im Vergleich zur PO-Variante an. Auf dem HGoTECH-Substrat sind die P-Konzentrationen im ersten Weidelgras höher als auf dem Boden/Sandgemisch. Dieses kann mit einem Konzentrationseffekt erklärt werden, da die Sprosstrockenmasse auf dem HGoTECH-Substrat geringer ist als auf dem Boden/Sandgemisch.

Tabelle 2: Einfluss einer Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat, Boden/Sand-Gemisch) in Form von Rohphosphat (Hyperphos), $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ und verschiedenen Klärschlamm-Recycling Produkten auf die Spross trockenmasse (g TM/Gefäß) von Welschem Weidelgras, Mittelwerte von 4 Wiederholungen, \pm Fehler des Mittelwerts.

1. Schnitt

Variante	HGoTEC	Relativ	Boden/Sand	Relativ
PO, Kontrolle	1,15 \pm 0,07	= 15,8%	4,59 \pm 0,47	= 31,4%
Rohphosphat	0,77 \pm 0,13	= 10,5%	8,37 \pm 0,27	= 57,3%
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	7,30 \pm 0,25	= 100%	14,61 \pm 0,33	= 100,0%
KS ohne Additive	6,19 \pm 0,16	= 84,8%	12,97 \pm 0,27	= 88,8%
KS plus 2,25% MgCl_2	6,59 \pm 0,40	= 90,3%	12,98 \pm 0,54	= 88,7%
KS plus 2,25% Polychlorid	4,38 \pm 0,19	= 60,0%	13,10 \pm 0,17	= 89,7%
GRU/AS	7,64 \pm 0,31	= 104,7%	12,95 \pm 0,19	= 88,6%
REN/AS	4,56 \pm 0,25	= 62,5%	10,03 \pm 1,28	= 68,7%
Klärschlamm	Kein Anbau		13,38	= 91,6%

2. Schnitt

Variante	HGoTEC	Relativ	Boden/Sand	Relativ
PO, Kontrolle	1,61 \pm 0,21	= 7,4%	3,76 \pm 0,18	= 21,0%
Rohphosphat	0,92 \pm 0,08	= 5,9%	11,39 \pm 0,27	= 63,6%
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	15,64 \pm 0,58	= 100%	17,9 \pm 0,55	= 100,0%
KS ohne Additive	13,73 \pm 0,38	= 87,8%	16,30 \pm 0,29	= 91,1%
KS plus 2,25% MgCl_2	12,33 \pm 0,43	= 78,8%	17,22 \pm 0,38	= 96,2%
KS plus 2,25% Polychlorid	11,33 \pm 0,19	= 72,4%	17,73 \pm 0,46	= 99,1%
GRU/AS	15,64 \pm 0,32	= 100,0%	16,45 \pm 0,50	= 91,9%
REN/AS	10,74 \pm 0,77	= 68,7%	14,49 \pm 0,34	= 80,9%
Klärschlamm	Kein Anbau		13,71	= 76,6%

3.. Schnitt

Variante	HGoTEC	Relativ	Boden/Sand	Relativ
PO, Kontrolle	0,76 \pm 0,13	= 3,9%	4,87 \pm 0,49	= 24,1%
Rohphosphat	0,43 \pm 0,05	= 2,2%	17,57 \pm 0,61	= 86,9%
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	19,73 \pm 0,64	= 100%	20,22 \pm 0,84	= 100,0%
KS ohne Additive	16,75 \pm 0,29	= 84,9%	19,56 \pm 0,34	= 96,7%
KS plus 2,25% MgCl_2	14,72 \pm 0,46	= 74,6%	19,98 \pm 0,50	= 98,9%
KS plus 2,25% Polychlorid	14,91 \pm 0,42	= 75,6%	19,52 \pm 0,27	= 96,6%
GRU/AS	18,19 \pm 0,32	= 92,2%	18,85 \pm 0,27	= 93,2%
REN/AS	15,47 \pm 0,68	= 78,4%	19,14 \pm 0,07	= 94,7%
Klärschlamm	Kein Anbau		18,17	= 89,9%

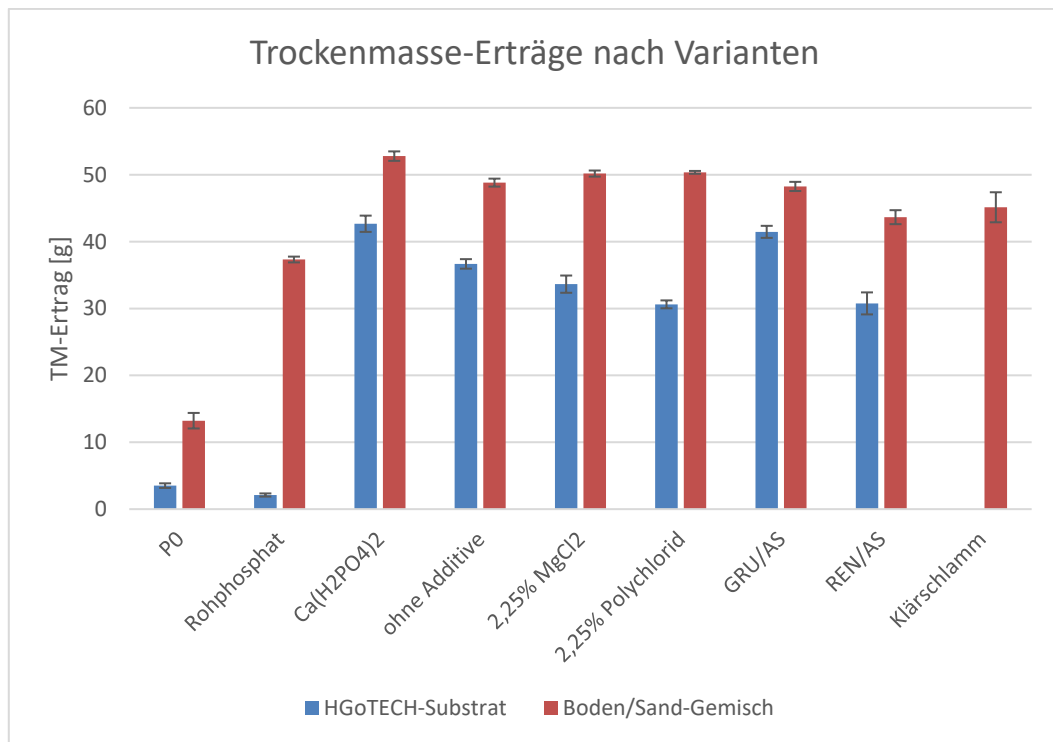


Abbildung 3: Einfluss einer Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat, Boden/Sand-Gemisch) in Form von Rohphosphat (Hyperphos), Ca(H₂PO₄)₂ und verschiedenen Klärschlamm-Recycling Produkten auf die in drei Schnitten erzielte Sprosstrockenmasse (g TM/Gefäß) von Welschem Weidelgras, Mittelwerte von 4 Wiederholungen, ± Fehler des Mittelwerts.

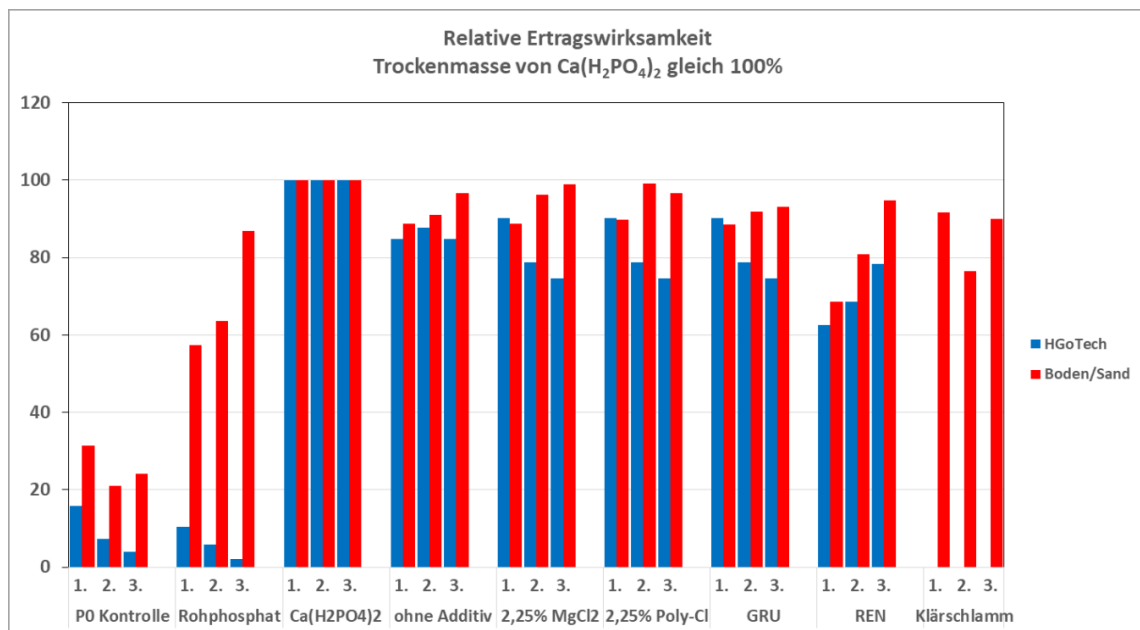


Abbildung 4: Einfluss einer Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat, Boden/Sand-Gemisch) in Form von Rohphosphat (Hyperphos), Ca(H₂PO₄)₂ und verschiedenen Klärschlamm-Recycling Produkten auf die relative Sprosstrockenmasse im 1., 2. und 3. Schnitt von Welschem Weidelgras. GRU: Grünstadt, REN: Renningen

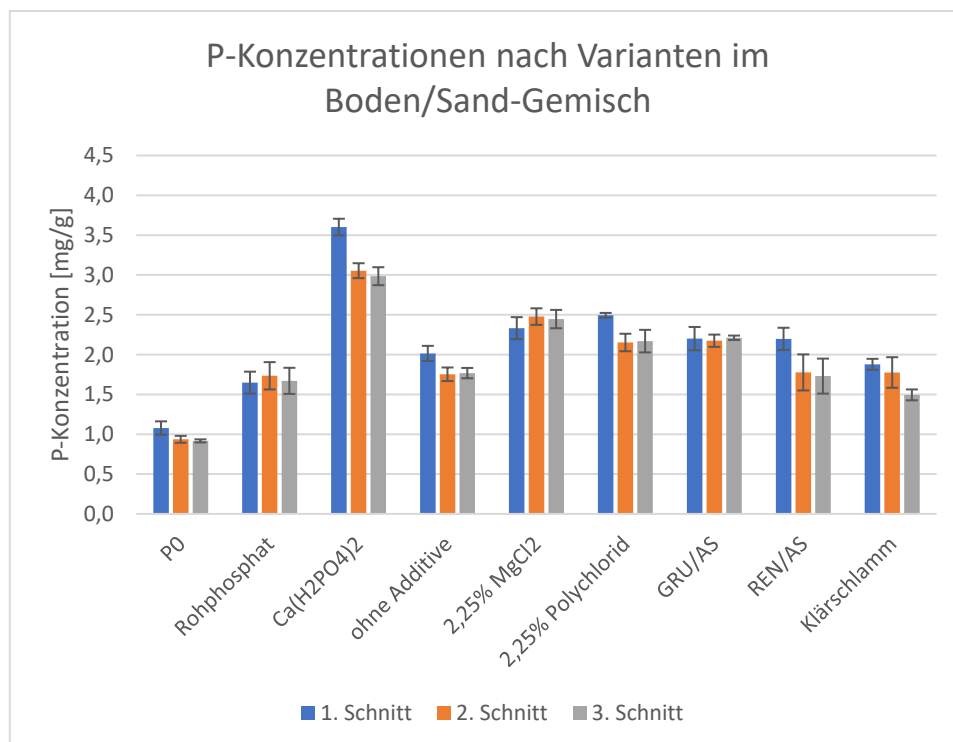
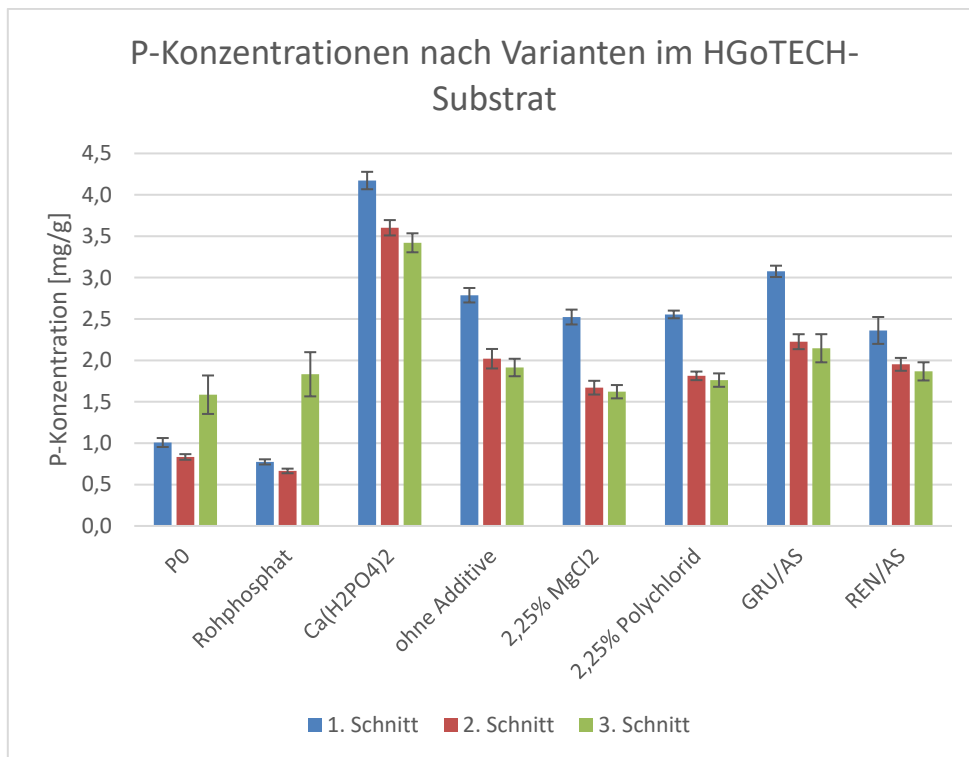


Abbildung 5: Einfluss einer Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat, Boden/Sand-Gemisch) in Form von Rohphosphat (Hyperphos), Ca(H₂PO₄)₂ und verschiedenen Klärschlamm-Recycling Produkten auf die P-Konzentration im Spross von Welschem Weidelgras, Mittelwerte von 4 Wiederholungen, ± Fehler des Mittelwerts.

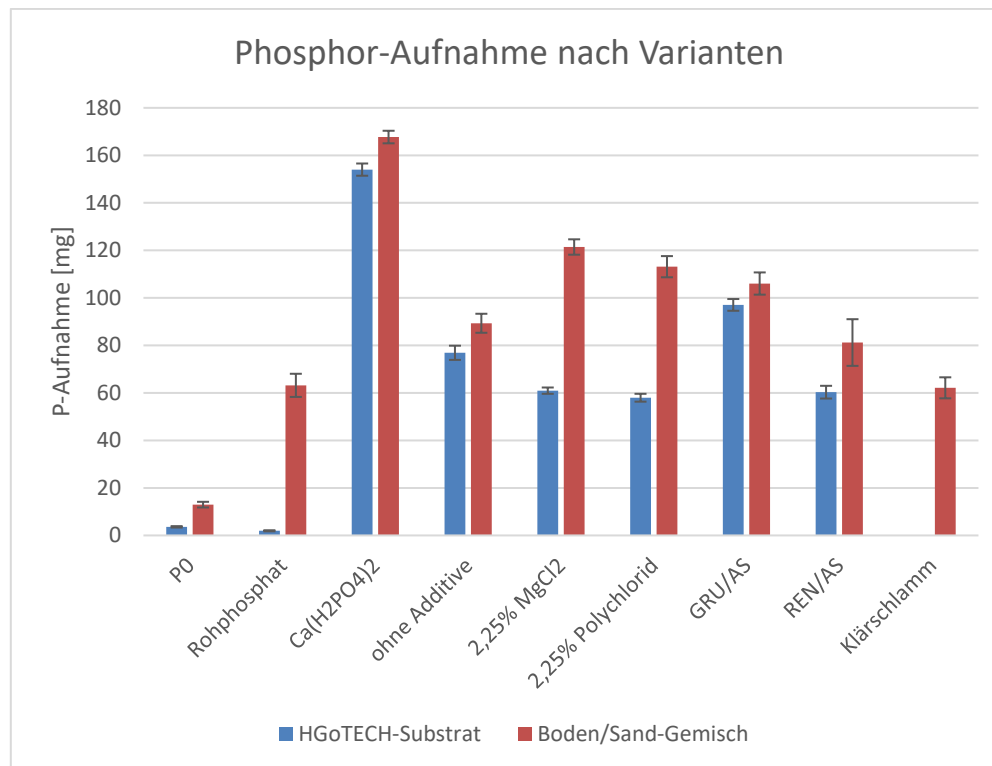


Abbildung 6: Einfluss einer Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat, Boden/Sand-Gemisch) in Form von Rohphosphat (Hyperphos), Ca(H₂PO₄)₂ und verschiedenen Klärschlamm-Recycling Produkten auf die Gesamt- P-Aufnahme (Summe von drei Schnitten) von Welschem Weidelgrasspross in mg P/Gefäß, Mittelwerte von 4 Wiederholungen, ± Fehler des Mittelwerts.

Aus der P-Konzentration im Spross und dem Trockenmasseertrag wird die P-Aufnahme von der oberirdischen Biomasse des Weidelgrases berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in der Abbildung 6 dargestellt. Durch die P-Düngung steigt die P-Aufnahme von Weidelgras in den gedüngten Varianten an. Die Ausnahme ist, wie bereits bei den Trockenmasseerträgen gezeigt wurde, die Rohphosphat-Variante auf dem HGoTECH-Substrat, da durch den pH-Wert von acht kein P aus einem Rohphosphat freigesetzt wird. Fällt der pH-Wert dagegen auf ca. 6,2, dann kann auf dem Boden/Sandgemisch das Weidelgras P aus dem Rohphosphat nutzen. Es fällt auf, dass die P-Aufnahme in der Ca(H₂PO₄)₂ – Variante, in der Variante „Ohne Additive“ sowie in der Variante „Grünstadt“ im HGoTECH-Substrat und Boden/Sandgemisch auf etwa gleichem Niveau liegen. In den Varianten „2,25% MgCl₂“, „2,25% Poly-Chlorid“ und „Renningen“ nehmen die Pflanzen auf dem Boden/Sandgemisch deutlich mehr P auf als im HGoTECH-Substrat. Dieser Befund verdeutlicht, dass ein Teil des in diesen Klärschlammaschen gebundenen P in schwerlöslicher Form gebunden ist. Diese schwerlösliche P-Form ist aber in dem Boden/Sandgemisch besser pflanzenverfügbar als in dem HGoTECH-Substrat, da die pH-Werte in dem Boden/Sandgemisch während des Versuchs auf 6 bzw. unter 6 gefallen sind. Auf dem HGoTECH-Substrat bleiben die pH-Werte aufgrund einer starken Pufferung stabil.

Aus der gedüngten P-Menge und der P-Aufnahme von Weidelgras kann die apparente Ausnutzung des gedüngten P berechnet werden. Die Ergebnisse dieser Berechnung werden in der Abbildung 7 gezeigt.

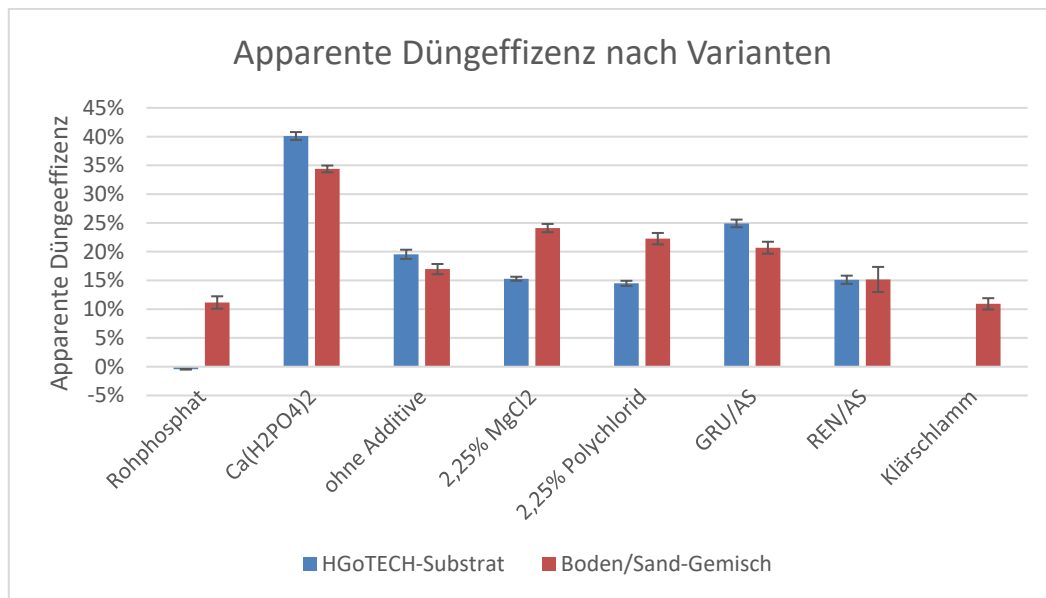


Abbildung 7: Einfluss einer Phosphor-Düngung (75 mg P/kg Substrat, Boden/Sand-Gemisch) in Form von Rohphosphat (Hyperphos), Ca(H₂PO₄)₂ und verschiedenen Klärschlamm-Recycling Produkten auf die apparente P-Düngereffizienz, Mittelwerte von 4 Wiederholungen, ± Fehler des Mittelwerts.

Die Berechnung der apparenten P-Düngereffizienz (aPDE) erfolgte mit nachstehender Formel:

$$aPDE \text{ in } \% = (P\text{-Düngermenge}) - (P\text{-Aufnahme in der Variante} - P\text{-Aufnahme in der } P_0\text{-Variante}) / 100.$$

Im HGoTECH-Substrat hat das Rohphosphat keine Wirkung, wogegen im Boden/Sandgemisch das Rohphosphat und überraschenderweise auch der Ausgangsklärschlamm aus Schlitz eine apparente Düngereffizienz von 11%. In beiden Substraten erzielt Ca(H₂PO₄)₂ mit 40 bzw. 34% die höchste Effizienz. Durch die Zugabe von MgCl₂ bzw. Poly-Chlorid, welches zu 50% aus HCl und 50% aus MgCl₂ besteht, verringert sich die apparente Düngereffizienz in dem HGoTECH-Substrat, wogegen diese in dem Boden/Sandgemisch ansteigt. Dieser Befund dürfte mit dem pH-Werte der beiden Substrate erklärt werden. Eine andere Erklärung könnten die in den Rezyklaten vorkommenden P-haltigen Mineralien geben. Zu diesem Zeitpunkt liegen die Mineralphasen in den Rezyklaten noch nicht vor. Es sei aber erwähnt, dass die Zugabe von MgCl₂ bzw. Poly-Chlorid zur Abreicherung der Schwermetalle aus den Klärschlämmen während des Verbrennungsprozesses erfolgt.

4 Fazit

Die in dieser Studie geprüften Rezyklate haben sowohl in dem HGoTECH-Substrat (pH_{CaCl₂} 8) als auch in dem Boden/Sandgemisch (pH_{CaCl₂} 6,5) eine deutliche Wirkung auf das Wachstum und die P-Aufnahme von Weidelgras. Die Wirkung ist besser als die von Rohphosphat, insbesondere auf dem HGoTECH-Substrat. Zugabe von MgCl₂ bzw. Poly-Chlorid, welches zu 50% aus HCl und 50% aus MgCl₂ besteht, verringert die apparente Düngereffizienz in dem HGoTECH-Substrat, wogegen diese in dem Boden/Sandgemisch ansteigt. Ferner geben die in dem HGoTECH-Substrat erzielten Ergebnisse einen Hinweis darauf, dass die aus dem Klärwerk Schlitz stammenden Klärschlamm-Rezyklate durchaus einem Kalkdüngemittel als P-Quelle zugemischt werden können. Die Wirkung dieser Kalk/P-Rezyklat-Gemische sollte, bevor diese in den Handel gehen, zuvor in einem Pflanzenversuch mit dem HGoTECH-Substrat geprüft werden.

9.3 Stellungnahme zur organisatorischen und juristischen Einbindung des Phosphor-Recyclings in die bestehende und zukünftige Kooperation, AX Rechtsanwälte Neckargemünd

AX PROJECTS GMBH

Uferstraße 16
69151 Neckargemünd
Tel.: 06223 8662262
Fax: 06223/8688614
www.ax-projects.de

Ax Projects GmbH, Uferstraße 16, 69151 Neckargemünd
per E-Mail: frank.jahn@stadtwerke-schlitz.de

Dr. jur. Thomas Ax,
Maîtrise en Droit International Public
(Paris X-Nanterre)
Inscrit au barreau de Paris

Burgenstadt Schlitz

Herrn
Dipl.-Ing. Frank Jahn
Technischer Betriebsleiter
An der Kirche 4
36110 Schlitz

Neckargemünd, den 24.09.2020
Az.: AP 18-20 MS

Kläranlage Schlitz der Stadtwerke Schlitz

Sehr geehrter Herr Dipl.-Ing. Jahn,

A

Wir gehen von dem folgenden Sachverhalt aus:

I

In der Kläranlage Schlitz-Hutzdorf der Stadtwerke Schlitz werden bereits seit 2015 Schlämme externer Kläranlagen zur weiteren Behandlung und energetischer Verwertung im Faulbehälter angenommen. Dieser Klärschlamm Entsorgungsverbund startete zunächst mit den Gemeinden Niederaula und Burghaun und wurde in den vergangenen Jahren mit Verträgen mit dem Zweckverband Gruppenklärwerk Bad Salzschlirf-Wartenberg sowie vor kurzem dem Zweckverband Gruppenklärwerk Hosenfeld-Großenlüder weiter ausgebaut.

Die konkrete Zusammensetzung des Verbundes bestimmt über die tatsächlich zu handhabende Klärschlammmenge sowie deren Qualität. Beide Aspekte zusammen wirken hinein in die komplette Prozesskette und in die sich dann ergebende Kostenstruktur unter Berücksichtigung von Transport, Trocknung, Handhabung der Brüden, thermische Behandlung, Verarbeitung der Asche sowie die Genehmigungskosten.

II.1

Der Verbund soll auch zukünftig ergänzt werden, sofern die Kapazitäten der Verfahrensstufen der Kläranlage Schlitz dies erlauben.

II.2

Die Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung ist rechtlich verankert. Das Ende der boden-bezogenen Klärschlammverwertung ist für einen Großteil des hier betrachteten Klärschlammes terminiert. Unter der Prämisse, dass die sich ergebenden Aufgaben schwerlich von den einzelnen Kläranlagen im Rahmen solitärer

Geschäftsführer: Dr. Thomas Ax, Maîtrise en Droit International Public (Paris X-Nanterre)
Inscrit au barreau de Paris (Rechtsanwalt)

Bankverbindung: Volksbank Marl-Recklinghausen
IBAN: DE86 4266 1008 0111 9206 00, BIC: GENODEM1MRL
Amtsgericht Mannheim, HRB 729977
USt-ID: DE324718037

Lösungen gelöst werden können, sollte an dem Verbundkonzept und der Interkommunalen Zusammenarbeit festgehalten werden.

B

Mögliche rechtliche Begutachtungsthemen

I.1

Thema

Fortführung der bestehenden Kooperationen mit anderen Kommunen und Verbänden, hierbei insbesondere von Kommunen, die lt. AbfklärV nicht dem Phosphorrecycling direkt unterworfen sind.

1

Hier wird zu klären sein, ob und welche Maßgaben bezogen auf deren Abschluss hier einzuhalten waren und ob diese Maßgaben eingehalten worden sind und ggf. welche rechtlichen Schlussfolgerungen daraus zu ziehen sind oder nicht zu ziehen sind, dass die entsprechenden Maßgaben nicht eingehalten worden sind.

Hier wird zu klären sein, ob und welche Maßgaben bezogen auf deren Fortführung einzuhalten sind.

1.1

Hier ist denkbar, dass bestandskräftig gewordene Vereinbarungen auf Grundlage von Verlängerungsklauseln schlicht fortgeführt werden.

Hier ist denkbar, dass Verlängerungsklauseln nicht sukzessive (bspw. Jahr für Jahr) aktiviert werden, sondern im Vorgriff auf eine beabsichtigte längerfristige Zusammenarbeit bspw. einmal für mehrere Jahre.

Für die Bewertung bei Verlängerungen von Dienstleistungsaufträgen sind im Oberschwellenbereich nunmehr die gesetzlichen Vorgaben in § 132 GWB einschlägig. Ergänzend wird auf verweisende bzw. modifizierende Regelungen für soziale und andere Dienstleistungen (§ 130 Abs. 2 GWB), für den Sektorenbereich (§ 142 GWB) und bei Konzessionen (§ 154 Nr. 3 GWB) hingewiesen.

Die durch Rechtsprechung entwickelte Rechtsauslegung im Oberschwellenbereich wurde im Wesentlichen durch die nationalen Regelungen in § 132 GWB fortgeführt, teilweise aber auch fortentwickelt. Ziel ist weiterhin, eine Umgehung des Wettbewerbs zu verhindern. § 132 GWB enthält erstmals klare Vorgaben, wann Auftragsänderungen (auch Laufzeitverlängerungen) während der Vertragslaufzeit wesentlich sind und ein neues Vergabeverfahren erfordern und wann nicht. Dabei vom Gesetzgeber eingeräumte Auslegungsspielräume bleiben bei der Prüfung unangetastet, sofern eine nachvollziehbare Dokumentation erfolgt.

Bei der Prüfung, ob eine wesentliche Änderung ein neues Vergabeverfahren erfordert, gelten zwei Grundregeln:

(1) Immer dann, wenn sich die Vertragsparteien eigens über die Verlängerung des laufenden Vertrags neu einigen müssen, kommt dies der Vergabe eines neuen Auftrags gleich und es entsteht prinzipiell die Ausschreibungspflicht.

(2) Die Nichtausübung eines Kündigungsrechts stellt keinen vergaberechtlich relevanten Vorgang dar, wenn mit der Kündigung nur ein bestehendes Auftragsverhältnis verkürzt würde.

Zur Vermeidung unnötiger Prüfungsschritte kann im konkreten Anwendungsfall folgende Prüfungsreihenfolge gewählt werden:

(1) Ist die de-minimis-Grenze nach § 132 Abs. 3 GWB überschritten? Dies ist der Fall, wenn der Wert der Änderung (§ 3 VgV) den entsprechenden Schwellenwert nach § 106 GWB übersteigt oder mehr als 10 Prozent des ursprünglichen Auftragswerts beträgt. Bei mehreren aufeinander folgenden Änderungen ist der Gesamtwert der Änderungen maßgeblich. Bei einer Indexierung gilt der höhere Preis als Referenzwert (§ 132 Abs. 4 GWB). Ist diese Grenze nicht überschritten, ist die Änderung ohne Neuausschreibung vergaberechtlich zulässig, sofern sich der Gesamtcharakter des Auftrags nicht ändert. Sofern die de-minimis-Grenze überschritten wird, ist der zweite Prüfungsschritt vorzunehmen.

(2) Liegt einer der Rechtfertigungsgründe des § 132 Abs. 2 S. 1 Nr. 1-4 GWB vor? Dann kann selbst eine wesentliche Änderung ohne Ausschreibung vorgenommen werden, sofern sich der Gesamtcharakter des Auftrags nicht ändert. Bei der Verlängerung von Dienstleistungsaufträgen kommt hier insbesondere der Rechtfertigungsgrund nach § 132 Abs. 2 Nr. 1 GWB in Betracht, wonach eine Änderung dann zulässig ist, wenn in den ursprünglichen Vergabeunterlagen klare, präzise formulierte Überprüfungsklauseln oder Optionen zur Laufzeit enthalten sind, die Angaben zu Art, Umfang und Voraussetzungen für eine Änderung des Vertrags enthalten und beim Zuschlag verbindlich berücksichtigt wurden. Die Wahrnehmung einer solchen Option, die beim Abschluss des ursprünglichen Vertrags vergaberechtlich berücksichtigt ist, muss nicht erneut dem Vergaberecht unterworfen werden. Eine später verabredete Vertragsverlängerung aber auch Verlängerungsoptionen, die dauerhaft genutzt werden und auf Dauer einen Wettbewerb verhindern, können nicht als Rechtfertigungsgrund gewertet werden und sind somit grundsätzlich dem Vergaberecht zu unterstellen und dem dritten Prüfungsschritt zu unterziehen.

(3) Die Wesentlichkeitsprüfung nach § 132 Abs. 1 GWB kommt somit nur für Vertragsverlängerungen in Betracht, die weder unter § 132 Abs. 2 GWB (Rechtfertigungsgrund) noch unter § 132 Abs. 3 GWB (de-minimis-Grenze) fallen. Wesentliche Änderungen im Sinne dieser Vorschrift erfordern ein neues Vergabeverfahren. In § 132 Abs. 1 Satz 3 Nr. 1-4 GWB werden explizit Fallkonstellationen benannt, bei denen eine wesentliche Änderung vorliegt, ohne dass diese Fälle als abschließend zu verstehen sind. Dabei können für die Fallkonstellation der Vertragsverlängerung, insbesondere die Einführung von geänderten Bedingungen, die abweichende Verfahrensergebnisse ermöglichen, Änderungen des wirtschaftlichen Gleichgewichts zugunsten des Auftragnehmers oder eine erhebliche Ausweitung des Umfangs einschlägig sein. In anderen Fallkonstellationen hat eine offene Wesentlichkeitsprüfung nach § 132 Abs. 1 S. 2 GWB im Einzelfall zu erfolgen.

Sofern nach den vorstehenden Prüfungsschritten eine wesentliche, unzulässige (vergaberechtlich fehlerhafte) Vertragsverlängerung vorliegt, so stellt dies eine rechtlich angreifbare de-facto-Vergabe dar. Mögliche Rechtsfolgen sind einmal die Kündigung (§ 133 Abs. 1 Nr. 1 GWB) sowie die Unwirksamkeit des Folgevertrags (§ 135 Abs. 1 Nr. 2 GWB).

1.2

Denkbar ist, dass die Zusammenarbeit auf der Grundlage von Vereinbarungen die wegen einer Befristung an sich nicht fortgeführt werden können trotzdem fortgeführt wird.

Zu klären sind vergabe- und gebührenrechtliche Schlussfolgerungen plus Risikobetrachtungen.

1.2.1

Handelt es sich zusätzlich um eine Vergabe nach GWB: Nachprüfung ist noch 6 Monate nach Vertragsschluss möglich, aber unwahrscheinlich und nicht Erfolg versprechend.

Eine Fristverkürzung auf 30 Tage gibt es nur bei einer zu vermeidenden (weil unnötig Aufmerksamkeit erzeugenden) Bekanntmachung des Vertragsschlusses.

Schadensersatzansprüche übergangener Bieter sind schon, weil es solche nicht gibt, nicht zu gewärtigen.

Im Übrigen gilt Folgendes: Wegen der regelmäßig gegebenen Unmöglichkeit, ein Vergabeverfahren fiktiv ablaufen zu lassen – es lässt sich schon nicht darlegen, wer zu welchen Bedingungen mitgeboten hätte – ist die danach erforderliche Darlegung, im Falle einer Ausschreibung das wirtschaftlichste Angebot abgegeben und den Zuschlag erhalten zu haben, nicht möglich. Zutreffend weist auch Boesen (Vergaberecht, 1. Aufl., § 126 GWB Rn. 82 f), der von der prinzipiell gegebenen Möglichkeit von Schadensersatzansprüchen in solchen Fällen ausgeht, auf die praktischen Probleme hin: "Dieser Nachweis wird in der Praxis aus verschiedenen Gründen nicht zu führen sein. Der Anspruchsteller, der an dem Vergabeverfahren nicht teilgenommen hat, müsste aufgrund einer nachträglichen Kalkulation ein Angebot erstellen, das als das günstigste angesehen werden müsste. Da der Anspruchsteller den Auftrag aber tatsächlich nicht ausführen muss, besteht die Gefahr, dass er im Schadensersatzprozess ein Angebot erstellt, welches er in einem Vergabeverfahren, in dem er mit einer Auftragserteilung rechnen muss, so nicht vorgelegt hätte. Es fände dann praktisch ein "Preiswettbewerb im Schadensersatzprozess" statt. Abgesehen davon müsste das Gericht zu dem Ergebnis kommen, dass ein erst nachträglich erstelltes Angebot in einem Wertungsverfahren, unter Beachtung des gerichtlich nur eingeschränkt überprüfbaren Bewertungsspielraums der Vergabestelle, als das wirtschaftlich günstigste Angebot befunden worden wäre. Abgesehen von der Tatsache, dass das Gericht nicht seine eigene Wertung an die des Auftraggebers setzen darf, scheitert eine solche Feststellung schon an dem Grund, dass bei ordnungsgemäßer (europaweiter) Ausschreibung eine unbestimmte Vielzahl zusätzlicher Angebote eingegangen wäre, die dem Gericht nicht vorliegen und von diesem auch nicht berücksichtigt werden können. Die Wertung der Angebote ist somit ein unvertretbarer Vorgang, der gerichtlich nicht nachvollzogen werden kann. Dies hat zur Konsequenz, dass Schadensersatzansprüchen von Unternehmen, die am Vergabeverfahren nicht beteiligt waren, aus praktischen Gründen selten Erfolg beschieden sein wird."

1.2.2

Eine unterbliebene Ausschreibung muss sich nicht auf die Gebührenfähigkeit auswirken. Fremdleistungsentgelte müssen unter dem Strich angemessen sein und der Beweis hierfür geführt werden können.

Vgl. dazu z.B. statt vieler:

Niedersächsisches OVG · Urteil vom 17. Juli 2012 · Az. 9 LB 187/09:

„Der Wirksamkeit dieses Vertrages steht entgegen der Auffassung der Klägerin nicht entgegen, dass dem Vertragsschluss kein Vergabeverfahren vorausgegangen ist. Unabhängig davon, ob es sich dabei um ein sogenanntes In-house-Geschäft handelt, für das keine Ausschreibungspflicht nach Maßgabe des Vergaberechts besteht, weil die Beklagte alleinige Gesellschafterin der Stadtwerke Osnabrück AG ist, oder ob die Voraussetzungen hierfür wegen der weiteren Geschäftsbereiche der Stadtwerke Osnabrück AG und ihrer Tätigkeit nicht nur für den öffentlichen Auftraggeber nicht vorliegen (hierzu Schulte/Wiesemann in Driehaus, a. a. O., § 6 Rn. 131 a), würde eine unterbliebene Ausschreibung die Gebührenfähigkeit der Betriebsführungskosten nicht hindern, weil ein Verstoß gegen Vergabevorschriften grundsätzlich nicht zur Nichtigkeit des Vertrages führen würde (vgl. hierzu das Senatsurteil vom 22.06.2009, a. a. O. und vom 24.06.1998 – 9 L 2504/96 -; ebenso Brüning in Driehaus, a. a. O., § 6 Rn. 196 zu § 6 und Lichtenfeld, Rn. 738 a). Denn

bei der Prüfung der Erforderlichkeit von Kosten ist zu beachten, dass dem öffentlichen Entsorgungsträger bei der Bestimmung der Organisationsform und des angestrebten Entsorgungsniveaus ein durch gesetzliche Vorgaben begrenzter Ermessensspielraum verbleibt, der auch die Entscheidung über die Fragen umfasst, welche Kosten angemessen und auf die Gebührenschuldner umzulegen sind. Der vom Erforderlichkeitsprinzip gesteckte Rahmen ist erst überschritten, wenn das Fremdleistungsentgelt außer Verhältnis zu den vom Dritten erbrachten Leistungen steht. Ist danach eine Ausschreibung in rechtswidriger Weise unterblieben, ist die Angemessenheit eines Fremdleistungsentgelts anhand des Preisrechts zu beurteilen und wäre bei dessen Einhaltung das Entgelt weder unangemessen noch sachlich nicht mehr vertretbar. Als geforderter Nachweis für die Erforderlichkeit der in Ansatz gebrachten Betriebsführungskosten dient nach der Senatsrechtsprechung insbesondere die Preisermittlung unter Beachtung des Preisprüfungsrechts entsprechend der Verordnung PR Nr. 30/53 über die Preise bei öffentlichen Aufträgen (in der hier einschlägigen Änderungsfassung durch Art. 289 Abs. 5 vom 25. November 2003, BGBl I S. 2304) in Verbindung mit den Leitsätzen für die Preisermittlung aufgrund von Selbstkosten – LSP – als Anlage zur Verordnung PR Nr. 30/53. Werden die für die Betriebsführung vereinbarten Preise auf der Grundlage des Preisprüfungsrechts berechnet, sind sie in der Gebührenkalkulation regelmäßig als angemessen und erforderlich zu akzeptieren (vgl. die Senatsurteile vom 22.06.2009, a. a. O., vom 22.01.1999 – 9 L 1803/99 -, KStZ 99, 190 und vom 24.06.1998 – 9 L 2504/96 – a. a. O.; Lichtenfeld in Driehaus, a. a. O., § 6 Rn. 738 a und Brüning, Rn. 197 b; Rosenzweig/Freese, a. a. O., § 5 Rn. 84).“

1.2.1

Unterstellt man, dass es sich insoweit um einen öffentlichen Auftrag handelt, ist zu klären ob und mit welcher Begründung eine Verhandlungsvergabe bzw. ein Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter möglich d.h. zulässig und zu empfehlen ist.

Für den Bereich EG-Vergabeverfahren gilt:

Die Vergabe erfolgt im offenen Verfahren, im nicht offenen Verfahren, im Verhandlungsverfahren, im wettbewerblichen Dialog oder in der Innovationspartnerschaft. Dem öffentlichen Auftraggeber stehen das offene Verfahren und das nicht offene Verfahren, das stets einen Teilnahmewettbewerb erfordert, nach seiner Wahl zur Verfügung. Die anderen Verfahrensarten stehen nur zur Verfügung, soweit dies gestattet ist.

So kann der öffentliche Auftraggeber Aufträge im Verhandlungsverfahren ohne Teilnahmewettbewerb an ein Unternehmen vergeben, ohne dass Wettbewerb erzeugt werden müsste, wenn

- 1) zum Zeitpunkt der Aufforderung zur Abgabe von Angeboten der Auftrag nur von einem bestimmten Unternehmen erbracht oder bereitgestellt werden kann, weil aus technischen Gründen kein Wettbewerb vorhanden ist oder
- 2) wegen des Schutzes von ausschließlichen Rechten, insbesondere von gewerblichen Schutzrechten oder
- 3) wenn zusätzliche Lieferleistungen des ursprünglichen Auftragnehmers beschafft werden sollen, die entweder zur teilweisen Erneuerung oder Erweiterung bereits erbrachter Leistungen bestimmt sind, und ein Wechsel des Unternehmens dazu führen würde, dass der öffentliche Auftraggeber eine Leistung mit unterschiedlichen technischen Merkmalen kaufen müsste und dies eine technische Unvereinbarkeit oder unverhältnismäßige technische Schwierigkeiten bei Gebrauch und Wartung mit sich bringen würde; die Laufzeit dieser öffentlichen Aufträge darf in der Regel drei Jahre nicht überschreiten.

Das gilt entsprechend im Bereich nationale Vergabeverfahren:

Der Auftraggeber kann Aufträge im Wege der Verhandlungsvergabe ohne Teilnahmewettbewerb an nur ein Unternehmen vergeben, wenn

1 die Leistung nur von einem bestimmten Unternehmen erbracht oder bereitgestellt werden kann oder

2 Leistungen des ursprünglichen Auftragnehmers beschafft werden sollen,

a) die zur teilweisen Erneuerung oder Erweiterung bereits erbrachter Leistungen bestimmt sind,

b) bei denen ein Wechsel des Unternehmens dazu führen würde, dass der Auftraggeber eine Leistung mit unterschiedlichen technischen Merkmalen kaufen müsste und

c) bei denen dieser Wechsel eine technische Unvereinbarkeit oder unverhältnismäßige technische Schwierigkeiten bei Gebrauch und Wartung mit sich bringen würde.

1.2.2

Zuvor ist zu klären, ob es sich bei der bestehenden Kooperation und der nunmehr beabsichtigten Fortführung der Kooperation überhaupt um einen öffentlichen Auftrag handelt. Hier kann sich ergeben, dass es sich bei der bestehenden Kooperation nicht um einen öffentlichen Auftrag handelt und demzufolge die Frage, ob und mit welcher Begründung eine Verhandlungsvergabe bzw. ein Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter möglich d.h. zulässig und zu empfehlen ist, gar nicht zu erörtern ist.

Öffentlich-öffentliche Kooperationen sind nicht grundsätzlich vom Vergaberecht ausgenommen. Vergabefrei sind sie nur, wenn – im Ausnahmefall – die Grundsätze der interkommunalen Zusammenarbeit greifen. Verträge sind von der Anwendung des Vergaberechts ausgenommen, wenn folgende Voraussetzungen kumulativ erfüllt sind:

Mit dem maßgeblichen Vertrag wird eine Zusammenarbeit ausschließlich zwischen den öffentlichen Einrichtungen (Gebietskörperschaften) bei der Wahrnehmung einer ihnen allen obliegenden öffentlichen Aufgabe vereinbart. Die Zusammenarbeit und ihre Umsetzung werden nur durch Überlegungen und Erfordernisse bestimmt, die mit der Verfolgung von im öffentlichen Interesse liegenden Zielen zusammenhängen. Der Grundsatz der Gleichbehandlung der Interessen muss gewährleistet sein, sodass kein privates Unternehmen einen Wettbewerbsverstoß ausgesetzt ist.

1.2

Thema

Juristische Einbindung des Phosphor-Recyclings in die bestehende Kooperation mit anderen Kommunen und Verbänden, hierbei insbesondere von Kommunen, die dem Phosphorrecycling nicht direkt unterworfen sind.

2.1

Zu klären ist bezogen auf Bestandsvereinbarungen ob es sich bei den beabsichtigten Modifikationen um rechtlich relevante Leistungserweiterungen und/oder –änderungen handelt.

2.2

Zu klären ist bezogen auf Bestandsvereinbarungen welche Implikationen sich ergeben aus der beabsichtigten unterstellt: Leistungserweiterung und -änderung.

Hier kann es sich um eine unwesentliche oder wesentliche Vertragsänderung mit oder ohne vergaberechtliche Relevanz handeln.

2.2.1

Unterstellt man, dass es sich insoweit um einen öffentlichen Auftrag handelt, ist zu klären ob und mit welcher Begründung die Vertragsänderung für unwesentlich gehalten werden kann und demzufolge Neuausschreibung bzw. Verzicht auf eine Neuausschreibung als lediglich Verhandlungsvergabe bzw. Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter nicht zu erörtern sind.

2.2.2

Unterstellt man, dass es sich insoweit um einen öffentlichen Auftrag handelt, ist zu klären ob und mit welcher Begründung die angenommen wesentliche Vertragsänderung ohne Neuausschreibung als lediglich Verhandlungsvergabe bzw. Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter möglich d.h. zulässig und zu empfehlen ist.

Unterstellt man, dass es sich insoweit um einen öffentlichen Auftrag handelt, ist zu klären ob und mit welcher Begründung eine Verhandlungsvergabe bzw. ein Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter möglich d.h. zulässig und zu empfehlen ist.

Für den Bereich EG-Vergabeverfahren gilt:

Die Vergabe erfolgt im offenen Verfahren, im nicht offenen Verfahren, im Verhandlungsverfahren, im wettbewerblichen Dialog oder in der Innovationspartnerschaft. Dem öffentlichen Auftraggeber stehen das offene Verfahren und das nicht offene Verfahren, das stets einen Teilnahmewettbewerb erfordert, nach seiner Wahl zur Verfügung. Die anderen Verfahrensarten stehen nur zur Verfügung, soweit dies gestattet ist.

So kann der öffentliche Auftraggeber Aufträge im Verhandlungsverfahren ohne Teilnahmewettbewerb an ein Unternehmen vergeben, ohne dass Wettbewerb erzeugt werden müsste, wenn

- 1) zum Zeitpunkt der Aufforderung zur Abgabe von Angeboten der Auftrag nur von einem bestimmten Unternehmen erbracht oder bereitgestellt werden kann, weil aus technischen Gründen kein Wettbewerb vorhanden ist oder
- 2) wegen des Schutzes von ausschließlichen Rechten, insbesondere von gewerblichen Schutzrechten oder
- 3) wenn zusätzliche Lieferleistungen des ursprünglichen Auftragnehmers beschafft werden sollen, die entweder zur teilweisen Erneuerung oder Erweiterung bereits erbrachter Leistungen bestimmt sind, und ein Wechsel des Unternehmens dazu führen würde, dass der öffentliche Auftraggeber eine Leistung mit unterschiedlichen technischen Merkmalen kaufen müsste und dies eine technische Unvereinbarkeit oder unverhältnismäßige technische Schwierigkeiten bei Gebrauch und Wartung mit sich bringen würde; die Laufzeit dieser öffentlichen Aufträge darf in der Regel drei Jahre nicht überschreiten.

Das gilt entsprechend im Bereich nationale Vergabeverfahren:

Der Auftraggeber kann Aufträge im Wege der Verhandlungsvergabe ohne Teilnahmewettbewerb an nur ein Unternehmen vergeben, wenn

1 die Leistung nur von einem bestimmten Unternehmen erbracht oder bereitgestellt werden kann oder

2 Leistungen des ursprünglichen Auftragnehmers beschafft werden sollen,

- a) die zur teilweisen Erneuerung oder Erweiterung bereits erbrachter Leistungen bestimmt sind,
- b) bei denen ein Wechsel des Unternehmens dazu führen würde, dass der Auftraggeber eine Leistung mit unterschiedlichen technischen Merkmalen kaufen müsste und
- c) bei denen dieser Wechsel eine technische Unvereinbarkeit oder unverhältnismäßige technische Schwierigkeiten bei Gebrauch und Wartung mit sich bringen würde.

2.2.3

Zuvor ist zu klären, ob es sich bei der bestehenden Kooperation und der nunmehr beabsichtigten Fortführung der Kooperation überhaupt um einen öffentlichen Auftrag handelt. Hier kann sich ergeben, dass es sich bei der bestehenden Kooperation nicht um einen öffentlichen Auftrag handelt und demzufolge die Frage, ob und mit welcher Begründung eine Verhandlungsvergabe bzw. ein Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter möglich d.h. zulässig und zu empfehlen ist, gar nicht zu erörtern ist.

II

Thema

Entwicklung weiterer Kooperationen mit anderen Kommunen und Verbänden

Hier wird zu klären sein, ob und welche Maßgaben bezogen auf deren Abschluss hier einzuhalten sind und wie d.h. mit welchem Aufwand diese Maßgaben einzuhalten sind.

1

Unterstellt man, dass es sich insoweit um einen öffentlichen Auftrag handelt, ist zu klären ob und mit welcher Begründung eine Verhandlungsvergabe bzw. ein Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter möglich d.h. zulässig und zu empfehlen ist.

2

Zuvor ist zu klären, ob es sich bei der bestehenden Kooperation und der nunmehr beabsichtigten Erweiterung der Kooperation um weitere Partner überhaupt um einen öffentlichen Auftrag handelt. Hier kann sich ergeben, dass es sich bei der bestehenden Kooperation bzw. hier der der nunmehr beabsichtigten Erweiterung der Kooperation um weitere Partner nicht um einen öffentlichen Auftrag handelt und demzufolge die Frage, ob und mit welcher Begründung eine Verhandlungsvergabe bzw. ein Verhandlungsverfahren nur mit einem Bieter möglich d.h. zulässig und zu empfehlen ist, gar nicht (zumindest nicht vorrangig) zu erörtern ist.

Öffentlich-öffentliche Kooperationen sind nicht grundsätzlich vom Vergaberecht ausgenommen. Vergabefrei sind sie nur, wenn – im Ausnahmefall – die Grundsätze der interkommunalen Zusammenarbeit greifen. Verträge sind von der Anwendung des Vergaberechts ausgenommen, wenn folgende Voraussetzungen kumulativ erfüllt sind:

Mit dem maßgeblichen Vertrag wird eine Zusammenarbeit ausschließlich zwischen den öffentlichen Einrichtungen (Gebietskörperschaften) bei der Wahrnehmung einer ihnen allen obliegenden öffentlichen Aufgabe vereinbart. Die Zusammenarbeit und ihre Umsetzung werden nur durch Überlegungen und Erfordernisse bestimmt, die mit der Verfolgung von im öffentlichen Interesse liegenden Zielen zusammenhängen. Der Grundsatz der Gleichbehandlung der Interessen muss gewährleistet sein, sodass kein privates Unternehmen einen Wettbewerbsverstoß ausgesetzt ist.

III

Thema

Beratung bei der Ausgestaltung der Dienstleistungsverträge mit potentiellen Fremdschlammlieferanten
Erste Überlegungen.

Hier ist zu entwickeln ein Dienstleistungsvertrag, der auf gegenseitige Akzeptanz stößt, gleichwohl aber wechselseitige Interessen berücksichtigt und angemessen abbildet.

KLÄRSCHLAMMENTSORGUNGSVERTRAG (Entwurf)

Zwischen

...

(Auftraggeber, nachfolgend AG genannt)

und

...

(Auftragnehmer, nachfolgend AN genannt)

über die Klärschlammentsorgung für die Kläranlage ...

1 Vertragsbestandteile

Als Vertragsbestandteile gelten

- das Angebot des AN, inklusive Entsorgungskonzept, Eignungsnachweise AN, Eignungsnachweise UnterAN,
- die Vorschriften der VOL/B und
- die Vorschriften des BGB.

2 Vertragsgegenstand

(1) Vertragsgegenstand ist die Klärschlamm Entsorgung für die Kläranlage des AG durch den AN unter Berücksichtigung der nachfolgenden Rahmenbedingungen und Zugrundelegung des von dem AN vor Vertragsschluss beschriebenen Entsorgungskonzeptes

Der AN erbringt die Entsorgungsleistung gemäß dem von ihm beschriebenen Entsorgungskonzept.

Der AN hat sein Entsorgungskonzept vor Vertragsschluss beschrieben.

- Beschreibung von Übernahme, Transport, Verwiegung, ggfs. Zwischenlagerung/Umschlag
- Verbrennungsstandort, Betreiber
- Anlagenkapazität und Laufzeit
- Beschreibung des technischen Verfahrens
- Nachweis erforderlicher Genehmigungen
- Redundanzen Wartung, Ausfallsicherheit

Der AN erbringt die Entsorgungsleistung zu den im Angebot genannten Annahmebedingungen (Qualitäten, Grenzwerte) der Entsorgungsanlage.

Der Klärschlamm des AG genügt den im Angebot genannten Annahmebedingungen (Qualitäten, Grenzwerte) der Entsorgungsanlage

Der AN sind die ...

Der AN hat folgende Angaben gemacht:

1) Allgemeine Angaben des Bieters (jeweils als Eigenerklärung ausreichend): Angabe zur Teilnahme als Einzelbieter oder Bietergemeinschaft

Abgabe einer Bietergemeinschaftserklärung

2) Aktueller Handelsregisterauszug, nicht älter als 6 Monate

3) Eigenerklärung über das Nichtvorliegen von Ausschlussgründen gemäß §§ 123, 124 GWB

Der AN hat seine Eignung vor Vertragsschluss nachgewiesen.

Der AN erfüllt die für die ordnungsgemäße Ausführung des öffentlichen Auftrags festgelegten Eignungskriterien.

- 1) Referenzen von mindestens einem vergleichbaren Projekt zum Auftragsbereich "Thermische Verwertung" der vergangenen 3 Jahre (Angaben zum AG, Auftragsgegenstand, Auftragsvolumen und zum Ausführungszeitraum, selbst erbrachter Leistungsumfang, Verwertungsmengen und Verwertungswege).
- 2) Referenzen von mindestens einem vergleichbaren Projekt zum Auftragsbereich "Aschebearbeitung" der vergangenen 3 Jahre (Angaben zum AG, Auftragsgegenstand, Auftragsvolumen und zum Ausführungszeitraum, selbst erbrachter Leistungsumfang (Verwertungsmengen und Verwertungswege).
- 3) Referenzen von mindestens einem vergleichbarem Projekt zum Auftragsbereich "Transportdienstleistungen" im Bereich Entsorgung der vergangenen 3 Jahre (Angaben zum AG, Auftragsgegenstand, Auftragsvolumen und zum Ausführungszeitraum, selbst erbrachter Leistungsumfang, Verwertungsmengen und Verwertungswege).
- 4) Eigenerklärung, aus der die aktuelle Beschäftigtenzahl des Unternehmens ersichtlich ist
- 5) Eigenerklärung zur Mitgliedschaft bei der Berufsgenossenschaft.
- 6) Zertifizierung als Entsorgungsfachbetrieb (Einreichen des Nachweises)
- 7) Nachweis über eine Transportgenehmigung für Klärschlämme.
- 8) Eigenerklärung zur Anzahl geeigneter Fahrzeuge und Mitarbeiter für die Durchführung von Transporten zum Ausschreibungsgegenstand.

Der AN hat die Eignung der von ihm eingesetzten UnterAN in gleicher Weise wie für den AN nachgewiesen. Eignungsleihenachweise und Verpflichtungserklärung liegen vor.

Die von dem AN eingesetzten UnterAN erfüllen in gleicher Weise die für die ordnungsgemäße Ausführung des öffentlichen Auftrags festgelegten Eignungskriterien.

Es liegt kein Ausschlussgrund nach den §§ 123, 124 GWB vor.

3 Art und Umfang der Leistungen

(1) Der AN verpflichtet sich gegenüber dem AG zur Erbringung einer vollständigen Klärschlamm-entsorgungsdienstleistung bestehend aus Verladung, Transport, Verwiegung und thermischer Verwertung des Klärschlammes als Mitverbrennung in seiner Anlage ... in

Zu der vollständigen Klärschlamm-entsorgungsdienstleistung gehören alle insbesondere mit der Verladung, dem Transport, der Verwiegung und der thermischen Verwertung des Klärschlammes verbundenen logistischen Arbeiten und die damit verbundenen Genehmigungen sowie die lückenlose Dokumentation insbesondere

- die Einholung aller behördlichen Genehmigungen für Verladung, Transport, Zwischenlagerung und die thermische Verwertung des Klärschlammes,
- die lückenlose Dokumentation und der jährliche Nachweis der verwerteten Klärschlamm-mengen unter Angabe der Verwertungsstelle/n inkl. Verwertung der Reststoffe (z.B. Aschen),
- die Einhaltung der gesetzlichen und behördlichen Vorschriften,
- die Nennung der Nachunternehmer und

– die Angabe der Verwertungsstelle/en.

(2) Der AN verpflichtet sich, die Leistungen in Eigenverantwortung sach-, frist- und fachgerecht mit der Sorgfalt eines ordentlichen Kaufmannes und auf eigenes Risiko sowie eigene Gefahr zu erbringen. Er verpflichtet sich, für die Dauer der Beauftragung die im Vergabeverfahren nachgewiesene Eignung aufrechtzuerhalten. Der AN hat zur Sicherstellung einer ordnungsgemäßen und umweltgerechten Leistungserbringung die notwendigen organisatorischen und personellen und technischen Voraussetzungen zu schaffen und rechtzeitig vor Leistungsbeginn alle notwendigen organisatorischen und technischen Vorbereitungen zur Ausführung der geschuldeten Leistung abzuschließen. Der AN verpflichtet sich, die Leistungen entsprechend den einschlägigen Vorschriften ordnungsgemäß, ohne vermeidbare Belästigungen der Anwohner und des Verkehrs durchzuführen. Der AN ist auch dann zur Leistung verpflichtet, wenn die tatsächliche Menge des zu entsorgenden Klärschlammes die angegebenen Mengenangaben unterschreitet oder überschreitet.

(3) Der AN verpflichtet sich gegenüber dem AG zur Einhaltung der geltenden maßgeblichen Rechtsvorschriften. Es gelten die maßgeblichen Rechtsvorschriften der Europäischen Gemeinschaft, des Bundes, der Länder sowie die jeweils allgemein anerkannten Regeln der Technik in der jeweils gültigen Fassung insbesondere:

Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG),

Klärschlammverordnung (AbfKlärV) – Novelle 2017,

Vorgaben zur Phosphorrückgewinnung,

EU-Klärschlammrichtlinie,

HELCOM Recommendation,

Düngerecht,

Düngeverordnung (DüV),

Düngemittelverordnung (DüMV),

EU Düngerecht,

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft),

Deponieverordnung (DepV).

Neben den allgemein verbindlichen Vorschriften sind teilweise über die gesetzlichen Vorgaben hinausgehende Anforderungen einzuhalten, die nachstehend beschrieben werden. Mehrkosten hierfür werden nicht gesondert vergütet und sind in die Preise einzukalkulieren.

4 UnterAN (Nachunternehmer)

(1) Der AN darf UnterAN mit der Erfüllung der ihm obliegenden Leistungen beauftragen, soweit dies wettbewerbsrechtlich zulässig ist.

(2) Soweit UnterAN nicht bereits im Angebot benannt wurden, darf die Beauftragung nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des AGs erfolgen. Die UnterAN müssen in gleicher Weise wie der AN geeignet sein, d. h. die für die ordnungsgemäße Ausführung des öffentlichen Auftrags festgelegten Eignungskriterien erfüllen und es darf kein Ausschlussgrund nach den

§§ 123, 124 GWB vorliegen. Unteraufträge darf der AN auch nach schriftlicher Zustimmung des AGs nur erteilen, wenn der UnterAN den Abschluss einer Haftpflichtversicherung zu den in § 16 genannten Konditionen nachweist.

(3) Der UnterAN hat sich zu verpflichten, bei der Erbringung der ihm übertragenen Leistungen die Pflichten des ANs aus diesem Vertrag zu beachten. Der AN stellt dem UnterAN die Leistungsbeschreibung und die Besonderen Vertragsbedingungen zur Verfügung.

(4) Der Antrag des ANs auf Erteilung der Zustimmung hat schriftlich unter der Angabe von Art und Umfang der betroffenen Leistungen, Name, Anschrift und Berufsgenossenschaft (einschließlich Mitgliedsnummer) des vorgesehenen UnterANs sowie unter Beifügung einer Nachunternehmererklärung und so rechtzeitig zu erfolgen, dass dem AG eine Überprüfung der Angaben und Nachweise möglich ist (d. h. Zugang der vollständigen Unterlagen beim AG mindestens vier Wochen vor beabsichtigter Übertragung). Auf Verlangen des AGs hat der AN weitere Eignungsnachweise des UnterANs vorzulegen.

(5) Der AN verfährt bei der Übertragung der Leistungen an UnterAN nach wettbewerblichen Gesichtspunkten und berücksichtigt kleinere und mittlere Unternehmen. Mit den UnterANn dürfen keine ungünstigeren Bedingungen – insbesondere hinsichtlich der Zahlungsweise und Sicherheitsleistungen – vereinbart werden als sie zwischen den Vertragsparteien gelten. Ausnahmen stellen grundsätzliche Konzernvorgaben dar. Auf Verlangen muss der AN dem UnterAN den AG benennen. Der AN hat bei der Einholung von Angeboten die Vorgaben des § 97 Abs. 4 Satz 1 bis 2 GWB zu beachten, insbesondere mittelständische Interessen vornehmlich zu berücksichtigen.

(6) Soweit der AN UnterAN für die Erfüllung der ihm obliegenden Leistungen einsetzt, hat er schuldhaftes Handeln des UnterANs in gleichem Umfang wie sein eigenes Verschulden zu vertreten. Der AN ist verpflichtet, dem UnterAN die Pflichten aufzuerlegen, die auch für den AN selber gelten.

(7) Der AN hat zur Gewährleistung der ordnungsgemäßen Leistungserbringung durch den UnterAN das Handeln des UnterANs zu überwachen. Der AN hat insbesondere zu gewährleisten, dass die im Allgemeinen sowie im Besonderen Teil dieses Entsorgungsvertrages sowie in der Leistungsbeschreibung genannten Pflichten auch bei der Leistungserbringung durch den UnterAN und den Betrieb des UnterANs eingehalten werden.

(8) Der AN muss sicherstellen, dass der UnterAN die ihm übertragenen Leistungen nicht weiter vergibt, es sei denn, der AG hat zuvor schriftlich zugestimmt. Abs. 1 bis 7 gelten entsprechend.

5 Übertragung von Rechten und Pflichten

(1) Zur Übertragung von Rechten und Pflichten und zur Abtretung von Forderungen aus diesem Vertrag bedürfen die Vertragspartner jeweils der vorherigen schriftlichen Zustimmung des anderen Vertragspartners. Dies gilt auch für den Fall der Gesamtrechtsnachfolge.

(2) Die erfolgte Übertragung nach Abs. 1 hat der übertragende Vertragspartner dem anderen Vertragspartner schriftlich mitzuteilen. Der übertragende Vertragspartner haftet für die Erfüllung des Vertrages bis zu dieser Mitteilung.

(3) Bei Übergang der öffentlich-rechtlichen Entsorgungspflicht (Rechts- oder Funktionsnachfolge) ist der AG gegenüber dem AN berechtigt, seine Rechte und Pflichten aus diesem Vertrag ohne Weiteres ganz oder teilweise auf den dann Entsorgungspflichtigen zu übertragen. Der AN

ist von einem Übergang der Entsorgungspflicht zu unterrichten und stimmt der Übertragung von Rechten und Pflichten aus diesem Vertrag schon jetzt zu.

6 Leistungen und Pflichten des AGs

- (1) Der AG benennt bei Vertragsabschluss eine bevollmächtigte Kontaktperson, deren Aussagen und Anweisungen für den AN verbindlich sind.
- (2) Der AG veranlasst und bezahlt die für die Entsorgung notwendigen Analysen.
- (3) Der AG informiert den AN rechtzeitig über geplante Revisionsarbeiten und Störungen im Anlagenbetrieb.
- (4) Die Zufahrtswege auf der Klaranlage sind für den Schwerlastverkehr geeignet und werden vom AG freigehalten.

7 Leistungen und Pflichten des ANs

- (1) Der AN ist dazu verpflichtet, sämtlichen auf der Kläranlage gelagerten Klärschlamm in geeignete Fahrzeuge zu verladen, abzutransportieren und einer ordnungsgemäßen Verwertung zuzuführen.
- (2) Ein Anspruch des AN auf Übernahme aller auf der Kläranlage anfallenden Klärschlammes besteht nicht.
- (3) Ist die Leistungserbringung infolge von Betriebsstörungen, Streiks, betriebsnotwendigen Arbeiten, behördlichen Verfügungen oder höherer Gewalt vorübergehend eingeschränkt oder unterbrochen, informiert der AN unverzüglich den AG und führt mit ihm eine Abstimmung über die Entsorgung herbei. Die Leistungen sind sobald wie möglich – spätestens innerhalb einer Woche nach Wegfall des Hindernisses – nachzuholen.
- (4) Der AN verpflichtet sich, jegliche Leistungsstörungen und -hindernisse unverzüglich auszuräumen, soweit er diese zu vertreten hat. Er hat insbesondere bei Ausfall von Transportfahrzeugen Ersatzfahrzeuge auf eigene Kosten einzusetzen und die sonstigen Betriebsstörungen umgehend zu beseitigen. Ist die Verwertung des Klärschlammes in der benannten Verwertungsanlage nicht möglich, hat der AN für eine anderweitige zulässige Verwertung Sorge zu tragen. Der reibungslose Ablauf der Klärschlamm Entsorgung darf in solchen Fällen nicht gefährdet werden. Weisungen des AGs zur Beseitigung des Leistungshindernisses oder der Leistungsstörung sind uneingeschränkt umzusetzen. Auch wenn der AN das Leistungshindernis oder die Leistungsstörung nicht zu vertreten hat, hat er den AG unverzüglich über das Vorliegen eines Leistungshindernisses oder einer Leistungsstörung zu unterrichten.
- (5) Bei Leistungshindernissen, die von keiner der Vertragsparteien zu vertreten sind, besteht ein Anspruch auf Anpassung der Vergütung nur nach Maßgabe von § 313 BGB bei Störung der Geschäftsgrundlage.

8 Besondere Vertragsbedingungen des Landes Hessen zur Einhaltung des HVTG

Der AN verpflichtet sich wie folgt:

Ich/wir nehme/n zur Kenntnis, dass ich/wir gemäß § 4 Abs. 1 HVTG die für mich/uns geltenden gesetzlichen, aufgrund eines Gesetzes festgesetzten und unmittelbar geltenden tarifvertraglichen Leistungen zu gewähren habe/n. Ich/wir nehme/n weiterhin zur Kenntnis, dass bei Vorliegen von Anhaltspunkten dafür, dass gegen diese Regelung verstoßen wird, auf Anforderung dem öffentlichen Auftraggeber oder dem Besteller die Einhaltung dieser Verpflichtung nachzuweisen ist.

Ich/wir verpflichte/n mich/uns, gemäß § 4 Abs. 2 HVTG meinen/unseren Beschäftigten bei der Ausführung der Leistung diejenigen Arbeitsbedingungen einschließlich des Entgelts zu gewähren, die nach Art und Höhe mindestens den Vorgaben desjenigen Tarifvertrags entsprechen, an den mein/unser Unternehmen aufgrund des AEntG gebunden ist.

Ich/wir verpflichte/n mich/uns, gemäß § 4 Abs. 3 und § 6 HVTG meinen/unseren Beschäftigten bei der Ausführung der Leistung ein Entgelt zu zahlen, das den Vorgaben des MiLoG entspricht. Im Falle der Auftragsausführung durch Nachunternehmer oder Verleihunternehmen sind im Angebot, soweit diese bereits bei Angebotsabgabe bekannt sind, spätestens jedoch vor Beginn der Ausführung der Leistung durch das Nachunternehmen oder Verleihunternehmen die entsprechenden Erklärungen in Textform abzugeben und vorzulegen.

– Die Erklärung kann entfallen, soweit sie bereits in einem Präqualifizierungsregister hinterlegt ist.

– Die Einhaltung der nach Bundesrecht oder aufgrund von Bundesrecht für mich/uns geltenden Regelungen von besonders festgesetzten Mindestentgelten (Mindestlohn) als Mindeststandard im Angebot entfällt, soweit nach § 4 HVTG Tariftreue gefordert werden kann und die danach maßgebliche tarifliche Regelung für die Beschäftigten günstiger ist als die für sie nach Bundesrecht geltenden Bestimmungen.

Ich/wir erkläre/n, dass ich/wir nicht wegen eines Verstoßes gegen § 21 MiLoG (Bußgeldvorschriften) mit einer Geldbuße von wenigstens 2.500 Euro belegt worden bin/sind und damit nicht die Voraussetzungen für einen Ausschluss von der Auftragsvergabe nach § 19 Abs. 1 und 3 MiLoG vorliegen.

Ich/wir verpflichte/n mich/uns für den Fall der Ausführung vertraglich übernommener Leistungen durch Nachunternehmen, die Erfüllung der Verpflichtungen nach den §§ 4 und 6 HVTG durch die Nachunternehmen sicherzustellen und dem öffentlichen Auftraggeber Tariftreue- und sonstige Verpflichtungs- sowie Mindestlohnklärungen der Nachunternehmen nach Auftragserteilung, spätestens vor Beginn der Ausführung der Leistung durch das Nachunternehmen, vorzulegen. Gleiches gilt, wenn ich/wir oder ein beauftragtes Nachunternehmen zur Ausführung des Auftrags Arbeitskräfte eines Verleihunternehmens einsetze(n)/einsetzt. Diese Verpflichtung gilt entsprechend auch für alle weiteren Nachunternehmen und Verleihunternehmen.

9 Möglichkeiten der Verwertung

(1) Der vereinbarte Preis ändert sich bei einem Wechsel der benannten Verwertungsanlage bzw. der benannten Verwertungsanlagen nicht.

(2) Der AN wird von seiner Entsorgungspflicht befreit, insofern die im Annahmebedingungen (Qualitäten, Grenzwerte) der Verwertungsanlage durch den AN nicht eingehalten werden. Der AN wird dem AG nach Möglichkeit eine alternative Verwertungsmöglichkeit anbieten. Die Vertragsparteien werden hierzu einvernehmlich einen gesonderten Einheitspreis vereinbaren.

10 Eigentumsübergang und Veränderung des Klärschlammes

Die Vertragspartner sind sich einig, dass das Eigentum am Klärschlamm mit der Übergabe bei der Abfuhr (Verladung) auf den AN übergeht. Der AN trägt ab dem Zeitpunkt der Übergabe die Verantwortung für den Klärschlamm, insbesondere für dessen ordnungsgemäßen Abtransport und die fachgerechte Verwertung. Für Veränderungen des Klärschlammes nach erfolgter Übergabe bestehen keine Ansprüche gegenüber dem AG.

11 Organisation, Logistik

(1) Vertragsgegenstand ist die Klärschlamm Entsorgung für die Kläranlage des AG durch den AN unter Berücksichtigung der nachfolgenden Rahmenbedingungen und Zugrundelegung des von dem AN vor Vertragsschluss beschriebenen Entsorgungskonzeptes

- 1: Klärschlammmenge in Tonnen pro Jahr und deren Trockensubstanz (TS in %)
- 2: Hilfsmittel und Mengen zur Klärschlamm eindickung bzw. Behandlung genutzt
- 3: Entwässerungsaggregat
- 4: Lagermöglichkeit am Standort
- 5: Sammelkapazitäten am Standort - Abfahrzyklus
- 6: Beschränkungen für Transportfahrzeuge
- 7: Beladungsmöglichkeiten (Fahrzeuge) am Standort vorhanden
- 8: Beschränkungen für den Abtransport
- 9: Angaben zu Container des AN

12 Zwischenlagerung

(1) Falls eine Annahme des Schlammes zur geplanten Verwertung vorübergehend nicht möglich sein sollte, ist der Schlamm ordnungsgemäß zwischenzulagern. Dies darf nur auf genehmigten Zwischenlagern erfolgen. Die Kosten hierfür trägt der AN.

(2) Eine eventuell erforderliche Zwischenlagerung aus beliebigen Gründen entbindet den AN nicht von seiner Pflicht, den Klärschlamm auf der Kläranlage regelmäßig, bzw. nach Aufforderung abzuholen.

(3) Es ist sicherzustellen, dass bei der Zwischenlagerung eine Vermischung des Klärschlammes mit artfremden Stoffen ausgeschlossen ist.

13 Vergütung

(1) Der AN erhält vom AG eine Vergütung für die nachgewiesenen und erbrachten Leistungen. Die Vergütung richtet sich nach dem vereinbarten Einheitspreis ... Euro zzgl. MwSt./Tonne (Hier ist ein Euro-Betrag einzutragen). Mit der Vergütung sind alle Leistungen und Kosten des AN im Rahmen des Vertrages abgegolten. Mit in die Kalkulation einbezogen worden sind sämtliche Kosten der für die Erbringung der Leistungen erforderlichen Unterlagen, Gebühren oder Nachweise. Eine Ortsbesichtigung der Kläranlage vor Abgabe eines Angebotes hat stattgefunden. Die Ortsbesichtigung ist in eigener Verantwortung des AN durchgeführt worden. Angebotsfehler aufgrund nicht durchgeführter oder unvollständiger Ortsbesichtigungen gehen zu Lasten des AN.

(2) Beide Vertragsparteien haben Anspruch auf eine angemessene Anpassung der Vergütung, wenn für vergleichbare Leistungen in einem wettbewerblichen Vergabeverfahren deutlich niedrigere oder deutlich höhere Entsorgungsentgelte beauftragt werden könnten. Die Anpassung der Vergütung kann von den Parteien erstmalig mit Wirkung zum 01.01.20... per Mitteilung an die jeweils andere Vertragspartei verlangt werden. Die Mitteilung muss erkennen lassen, um welchen Prozentsatz die Vergütung verändert werden soll. Dass für vergleichbare Leistungen in einem wettbewerblichen Vergabeverfahren deutlich niedrigere oder deutlich höhere Vergütungen beauftragt werden könnten, muss auf geeignete Weise nachgewiesen werden. Die Voraussetzungen der Anpassung werden von der Vertragspartei, die die Anpassung verlangt, schriftlich belegt und erläutert. Das Preisanpassungsbegehren ist bis zum 30.06. eines Kalenderjahres für das Folgejahr schriftlich anzuzeigen.

(3) Die Preisvereinbarung dieses Vertrags unterliegt den Bestimmungender jeweils geltenden Fassung der Verordnung PR Nr. 30/53 über die Preise bei öffentlichen Aufträgen und ggf. einer Preisprüfung. Die in diesem Auftrag vereinbarten Preise gelten als Marktpreise im Sinne der o. a. Verordnung, soweit nicht in dem Auftrag ausdrücklich ein anderer Preistyp angegeben ist. Der AN ist verpflichtet, der zuständigen Preisbehörde auf Verlangen nachzuweisen, dass es sich um einen Marktpreis handelt. Kann aufgrund der Preisprüfung ein Marktpreis nicht festgestellt werden, gilt der vereinbarte Preis als Selbstkostenpreis im Sinne der entsprechenden Preisverordnung. Der AN ist in diesem Fall verpflichtet, in Zusammenarbeit mit der Preisbehörde nach den Vorschriften der LSP-Leitsätze für die Preisermittlung aufgrund von Selbstkosten einen Selbstkostenfestpreis, Selbstkostenrichtpreis oder Selbstkostenerstattungspreis zu ermitteln und abzurechnen. Bei der Abrechnung zu Selbstkosten wird zur Abgeltung des kalkulatorischen Gewinns ein Satz für höchstens 5 v. H. der Netto-Selbstkosten als angemessen betrachtet. Eine Verzinsung des betriebsnotwendigen Kapitals von 6,5 v. H. darf nicht überschritten werden.

(4) Der AN berechnet für die angebotenen und beauftragten vertragsgemäßen Leistungen den o.g. Einheitspreis pro t entwässerten Klärschlammes plus Mehrwertsteuer auf der Grundlage der Verwiegung. Rechnungen sind digital (z.B. PDF o.ä. Format) beim AG unter ... einzureichen. Sämtliche Abrechnungsdetails müssen daraus hervorgehen. Die fällige Zahlung wird unverzüglich, spätestens 30 Kalendertage nach Zugang der prüffähigen Rechnung (Rechnung nach UStG zzgl. Wiegeschein) ausgeführt. Die prüffähigen Rechnungen sind auf den Zahlungspflichtigen auszustellen. Aktenzeichen sind auf dem Antwortschreiben, der Versandanzeige sowie den Rechnungen anzugeben.

(5) Rechnungen können grundsätzlich dann vom AN an den AG gestellt werden, wenn Leistungen zur Entsorgung vollständig erbracht wurden. Dies ist mit Rechnungsstellung entsprechend

zu dokumentieren, z.B. durch Original-Wiegenoten und entsprechende Original-Übernahme- bzw. Original-Begleitscheine. Die Zahlung an den AN erfolgt nur nach nachgewiesener und akzeptierter Leistung. Abschlagszahlungen für die Erbringung von Teilleistungen sind nicht vorgesehen. Die Rechnungsstellung erfolgt monatlich. Für nicht ordnungsgemäß erbrachte Leistungen erfolgt keine Zahlung vom Auftraggeber an den AN. Nicht ordnungsgemäße Leistungen liegen z. B. vor, wenn

– keine Genehmigungen für eine Verbrennung vorliegen oder

– andere als die angebotenen und vereinbarten Verbrennungswege genutzt werden

oder

– nicht die erforderlichen Nachweise (z.B. Übernahmescheine oder Wiegenoten) vorliegen.

(6) Der AN ist verpflichtet, bezüglich der Zahlungsfristen als auch der Gewährung von Zahlungen entsprechend gegenüber seinen Nachunternehmern und Verleihunternehmen zu verfahren, soweit die Konzernvorgaben dieses zulassen.

(7) Der AG ist berechtigt, zur Erfüllung der sich aus dem Vertrag ergebenden Verpflichtungen Zahlungen unmittelbar an die Gläubiger des ANs (Lieferant, Nachunternehmer, Verleihunternehmen) zu leisten, soweit diese an der Ausführung der vertraglichen Leistung des ANs aufgrund eines mit diesem abgeschlossenen Vertrages beteiligt sind, diese wegen Zahlungsverzugs des ANs die Fortsetzung ihrer Leistung zu Recht zu verweigern und die Direktzahlung die Fortsetzung der Leistungen sicherstellen soll. Erklärt sich der AN auf Verlangen des AGs innerhalb einer von diesem gesetzten angemessenen Frist nicht darüber, ob und inwieweit er die Forderung seines Gläubigers anerkennt und legt er bei Nichtanerkennung keinen entsprechenden Nachweis vor, so gelten die Voraussetzungen für die Direktzahlung als anerkannt. Entsprechendes gilt bei Teilleistungen.

(8) Der Anspruch auf Verzugszinsen des ANs (§§ 286, 288 BGB) ist nicht einschränkbar oder abdingbar. Dies gilt auch für die Ansprüche auf Verzugszinsen in den Rechtsverhältnissen zwischen AN und den Nachunternehmern, Verleihunternehmen sowie Lieferanten.

14 Unfallverhütung

(1) Auf dem Kläranlagengelände gilt die StVO. Die vorhandenen Verkehrs- und Bedienungsflächen sind freizuhalten. Es wird auf die besondere Unfallgefahr auf Abwasseranlagen verwiesen. Das eingesetzte Personal hat entsprechende Vorsicht walten zu lassen und sich innerhalb der Anlage nur bei notwendigen Arbeiten zu bewegen. Das Abwasser beinhaltet gesundheitsgefährdende Stoffe. Die Hygienevorschriften sind vom AN strikt einzuhalten. Vor jeder Mahlzeit bzw. nach Arbeitsende ist eine gründliche Säuberung der Hände erforderlich. Für das Einhalten der Unfallverhütungsvorschriften und die Benutzung der persönlichen Schutzausrüstung ist allein der AN verantwortlich. Die persönliche Schutzausrüstung ist den jeweiligen Arbeitserfordernissen anzupassen. Das Waschen und Pflegen der Fahrzeuge ist auf dem Klärwerksgelände nicht zulässig.

Die Nichteinhaltung vorgenannter Vorschriften trotz zweimaliger schriftlicher Ermahnung kann zur Folge haben, dass die entsprechende Person von der Anlage verwiesen wird, ohne dass daraus der AN irgendwelche Forderungen ableiten kann.

Der tägliche Klärwerksbetrieb ist durch den AN zu beachten. Der AN hat darauf Rücksicht zu nehmen und sich kooperativ zu verhalten.

(2) Innerhalb der Klärwerksgelände besteht absolutes Rauschmittel- und Rauchverbot. Zuwiderhandelnde Personen werden sofort von der Anlage verwiesen. Neben den Bestimmungen der für die im Zusammenhang mit den Leistungen zuständigen Berufsgenossenschaften oder des zuständigen Unfallversicherungsträgers gelten für alle Arbeiten das staatliche Arbeits- und Gesundheitsschutzrecht. Bei den Transporten und der Ausbringung können die Beschäftigten im Rahmen ihrer Tätigkeiten in Kontakt mit Klärschlamm kommen. Es ist daher die „Verordnung zum Sicherheits- und Gesundheitsschutz für Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen“ (BioStoffV) zu beachten.

Bei Unfällen mit Personenschaden oder Brandfällen ist neben dem Rettungsdienst (Tel. 112) auch ein Verantwortlicher des AG (ggf. telefonisch) sofort zu unterrichten, damit bei Bedarf die entsprechenden Tore geöffnet, Zufahrten freigemacht und erforderliche betriebstechnische Maßnahmen getroffen werden können.

(3) Neben den Bestimmungen der für die im Zusammenhang mit der Ausführung der Leistung zuständigen Berufsgenossenschaft oder des zuständigen Unfallversicherungsträgers gelten für alle Arbeiten in Abwasserbeseitigungsanlagen die Sicherheitsregeln der zuständigen Unfallversicherungsträger.

(4) Der AN hat alle ihm nach dem Gesetz und den gültigen Unfallverhütungsvorschriften obliegenden oder ihm durch diesen Auftrag übertragenen Maßnahmen unter voller eigener Verantwortung auszuführen oder diese zu veranlassen. Er haftet für sämtliche aus der Unterlassung solcher Maßnahmen erwachsende Schäden.

15 Haftung

(1) Der AN übernimmt die Haftung für alle Arbeiten im Zusammenhang mit den ihm übertragenen Leistungen, die durch ihn selbst oder von ihm beauftragter Nachunternehmer durchgeführt werden. Er hat den AG für alle hierbei entstehenden Schäden und Ersatzansprüche Dritter in vollem Umfang freizustellen.

(2) Für Schäden, die durch die Tätigkeit des AN oder von ihm beauftragter Nachunternehmern am Eigentum des AG oder am Eigentum Dritter verursacht werden, haftet der AN, sofern er nicht den Beweis antritt, den Schaden weder verursacht noch verschuldet zu haben.

(3) Sämtliche Schäden und Ansprüche Dritter, die im Zusammenhang mit der Durchführung des Auftrages stehen, sind dem AG sofort anzuzeigen. Der AN ist zur vollständigen Aufklärung verpflichtet. Er hat alle geforderten Angaben zu machen und auf Verlangen des AG Einsicht in seine Bücher und Aufzeichnungen zu gewähren.

(4) Bei Verstößen haftet der AN zivil-, ordnungs- und strafrechtlich.

(5) Der AG und der AN haften im Falle des Verschuldens nur für Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit.

16 Versicherungen

(1) Zur Absicherung der mit dem Auftrag in Zusammenhang stehenden Risiken ist der AN verpflichtet, folgende Versicherungen nachzuweisen:

- Betriebsunterbrechungsversicherung, insbesondere im Hinblick auf die Sicherstellung der ordnungsgemäßen Klärschlammverwertung,
- Allgemeine Haftpflichtversicherung, inklusive Umwelthaftung, die insbesondere Forderungen Dritter aus vom AN verschuldeten Schäden (z.B. Gewässerschäden, Bodenverunreinigungen) nach Transport einschließt.

(2) Die Haftungssummen dieser Versicherungen müssen mindestens betragen:

- Für Personenschäden pro Schadensfall: 5.000.000,- €
- Für Umweltschäden pro Schadensfall: 2.000.000,- €
- Für Sach-/Vermögensschäden pro Schadensfall 300.000,- €

(3) Der AN hat jede seinen Versicherungsschutz betreffende Änderung dem AG unverzüglich schriftlich anzuzeigen. Eine Zuwiderhandlung berechtigt den AG zu einer außerordentlichen Kündigung. Hierdurch dem AG entstehende Mehrkosten für den Transport und die Verwertung des Klärschlammes für die Restlaufzeit des Vertrages sind durch den AN zu ersetzen.

17 Höhere Gewalt

(1) Beim Eintreten von höherer Gewalt benachrichtigt der betroffene Vertragspartner den anderen unverzüglich fernmündlich und schriftlich von dem Vorfall. Hierbei ist dem anderen Vertragspartner das Ereignis sowie die Auswirkungen auf die vertraglich vereinbarten Pflichten nachvollziehbar darzulegen. Der betroffene Vertragspartner hat die dadurch bedingte Verzögerung oder Unmöglichkeit nicht zu vertreten.

(2) Als höhere Gewalt im Sinne der Vertragsbestimmungen gelten alle unvorhersehbaren Ereignisse oder solche Ereignisse, die, selbst wenn sie vorhersehbar waren, außerhalb des Einflussvermögens der Vertragspartner liegen und deren Auswirkungen auf die Vertragserfüllung durch zumutbare Bemühungen des betroffenen Vertragspartners nicht verhindert werden können. Hierzu zählen militärische Konflikte, Ausschreitungen, Überschwemmungen, Unwetter und alle sonstigen Fälle, bei denen ein Gericht einen Fall von höherer Gewalt annimmt.

18 Loyalitätsklausel

(1) Beim Abschluss dieses Vertrages können nicht alle für das Vertragsverhältnis wesentlichen Umstände, die sich hinsichtlich der Errichtung und des Betriebes der Verwertungsanlagen, der Kapazitätsauslastung sowie aus der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung oder aus Änderungen der gesetzlichen Bestimmungen ergeben können, vorausgesehen und entsprechend geregelt werden.

(2) Die Vertragspartner sind sich darüber einig, dass für ihre Zusammenarbeit die Grundsätze kaufmännischer Loyalität zu gelten haben. Sie sichern sich gegenseitig zu, die Vertragsvereinbarungen in diesem Sinne zu erfüllen und gegebenenfalls künftigen Änderungen der Verhält-

nisse unter Heranziehung der allgemeinen Grundsätze von Treu und Glauben Rechnung zu tragen.

19 Salvatorische Klausel

(1) Sollte eine Bestimmung dieses Vertrages unwirksam sein oder werden, so wird die Rechtsgültigkeit der übrigen Bestimmungen hiervon nicht berührt. Anstelle von unwirksamen oder undurchführbaren Bestimmungen oder zur Ausfüllung einer Regelungslücke soll eine angemessene Regelung gelten, die – soweit rechtlich möglich – dem am nächsten kommt, was die Vertragspartner gewollt haben oder nach dem Sinn und Zweck des Vertrages gewollt hätten, sofern sie bei Abschluss des Vertrages oder bei einer späteren Aufnahme einer entsprechenden Bestimmung die nicht berücksichtigten Aspekte bedacht hätten.

(2) In Zweifelsfällen ist für die Auslegung dieses Vertrages der in den gesamten Vergabeunterlagen zum Ausdruck kommende Wille des AGs ausschlaggebend. Als Widerspruch gilt nicht, wenn in den Vergabeunterlagen oder in diesem Vertrag jeweils Nebenpflichten einer Vertragspartei begründet werden, die im jeweils anderen Dokument fehlen.

20 Vertragslaufzeit

Ausführungsbeginn ist Ausführungsende ist

21 Außerordentliche Kündigung

(1) Der Vertrag kann ganz oder teilweise ohne Einhaltung einer Kündigungsfrist aus wichtigem Grund gekündigt werden. Ein wichtiger Grund liegt insbesondere vor für

den AG,

a) wenn der AN seinen Verpflichtungen trotz zweimaliger Abmahnung seitens des AGs, bezogen auf die gleiche Art der Pflichtverletzung, schuldhaft nicht nachkommt. Die Abmahnungen haben schriftlich zu erfolgen; zwischen ihnen muss jeweils ein Zeitraum von mindestens 2 Wochen liegen;

b) wenn der AN ohne Einholung einer vorherigen schriftlichen Zustimmung einen UnterAN beauftragt;

c) wenn die Voraussetzungen nach § 8 Nr. 2 VOL/B vorliegen;

d) wenn dem AN schwere Verfehlungen nachgewiesen werden, insbesondere Straftaten und Ordnungswidrigkeiten im Zusammenhang mit illegaler Beschäftigung, Steuerhinterziehung oder andere im Geschäftsverkehr begangene Straftaten wie Betrug, Untreue oder Urkundenfälschung;

e) wenn der AN oder seine UnterAN vorsätzlich, grob fahrlässig oder mehrfach gegen die Pflichten aus § 7 Abs. 2 dieses Entsorgungsvertrages verstößt;

f) wenn der AN vorsätzlich oder grob fahrlässig unrichtige Erklärungen im Angebot abgegeben hat.

g) wenn der AN mit der Zahlung von Verwertungserlösen mehr als zwei Wochen in Verzug ist.

den AN,

a) wenn der AG seinen Verpflichtungen trotz zweimaliger Abmahnung seitens des ANs, bezogen auf die gleiche Art der Pflichtverletzung, schuldhaft nicht nachkommt. Die Abmahnungen haben schriftlich zu erfolgen; zwischen ihnen muss jeweils ein Zeitraum von mindestens 2 Wochen liegen;

b) falls der AG mit der ihm obliegenden Zahlungsverpflichtung trotz zweifacher Mahnung länger als einen Monat in Verzug ist. Einer Abmahnung bedarf es nur, wenn diese ausdrücklich erwähnt wird.

(2) Abweichend von § 8 Nr. 1 VOL/B gilt Folgendes: Der AG kann den Vertrag kündigen,

wenn vom AN oder zulässigerweise vom AG oder einem anderen Gläubiger das Insolvenzverfahren bzw. ein vergleichbares gesetzliches Verfahren beantragt ist. Das Kündigungsrecht besteht in diesem Fall nur bis zur Eröffnung des Insolvenzverfahrens oder eines vergleichbaren Verfahrens,

wenn die beantragte Eröffnung eines Insolvenzverfahrens über das Vermögen des ANs mangels Masse abgelehnt wird.

Im Übrigen bleibt § 8 VOL/B unberührt.

(3) Die Kündigung hat schriftlich per Einschreiben/Rückschein oder gegen Empfangsbekanntnis zu erfolgen.

(4) Kündigt der AG den Vertrag aus wichtigem Grund, kann er die Kündigung mit sofortiger Wirkung aussprechen oder einen späteren Zeitpunkt für die Vertragsbeendigung bestimmen.

(5) Kündigt der AG den Entsorgungsvertrag aus einem Grund, den der AN zu vertreten hat, ist der AN dem AG zum Ersatz des durch die Kündigung entstandenen Schadens insbesondere zur Erstattung der Kosten, die dem AG durch die erforderlich werdende erneute Vergabe der Leistung entstehen, sowie zur Erstattung der erforderlichen Entsorgungsmehrkosten verpflichtet, die dem AG bis zum Ende der Vertragslaufzeit nach § 20 entstehen.

(6) Absatz (5) gilt umgekehrt auch im Verhältnis AN – AG.

22 Gerichtsstand und Schriftformerfordernis

Für Streitigkeiten aus diesem Vertrag ist der Gerichtsstand

Änderungen und Ergänzungen dieses Vertrages bedürfen der Schriftform.

23 Vertraulichkeit; Umgang mit Unterlagen

(1) Die Vertragspartner verpflichten sich, über alle im Zusammenhang mit der Durchführung dieses Vertrages bekannt gewordenen oder bekannt werdenden geschäftlichen und betrieblichen bzw. dienstlichen Belange des jeweils anderen Vertragspartners auch über das Ende dieses Vertrages hinaus striktes Stillschweigen zu bewahren und derartige Kenntnisse nur zur Durchführung dieses Vertrages zu verwenden und Dritten ohne die schriftliche Zustimmung des jeweils anderen Vertragspartners nicht zugänglich zu machen.

Dies gilt nicht für erforderliche Auskünfte gegenüber den Überwachungsbehörden sowie gegenüber sonstigen Behörden, denen gegenüber der AG und/oder der AN zur Auskunft verpflichtet sind.

(2) Die Vertragspartner werden die ihnen übergebenen Geschäfts- und Betriebsunterlagen während der Vertragsdauer sorgfältig verwahren, vor Einsichtnahme Dritter schützen und auf Verlangen nach dem Ende dieses Vertrages zurückgeben. Dies gilt auch für die von den Vertragspartnern zur Erfüllung dieses Vertrages bzw. im Zuge seiner Erfüllung angefertigten Unterlagen.

(3) Der AG darf die vom AN übergebenen Unterlagen veröffentlichen, vervielfältigen oder zu planerischen Zwecken verwenden, es sei denn, es handelt sich dabei um Unterlagen, die Betriebs- oder Geschäftsgeheimnisse betreffen. Diese entsprechenden Unterlagen hat der AN zu kennzeichnen.

(4) Der AN darf Veröffentlichungen über die Leistungen nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des AGs vornehmen.

Datum:

Unterschrift:

(Hier ist Datum einzutragen und zu unterschreiben)

Verpflichtungserklärung zu Tariftreue und Mindestentgelt bei öffentlichen Aufträgen nach dem Hessischen Vergabe- und Tariftreugesetz (HVTG) vom 19. Dezember 2014, GVBl. S. 354

Nachfolgende Erklärung ist zu unterschreiben und mit dem Angebot abzugeben.

Ich/Wir erkläre/n:

Ich/wir nehme/n zur Kenntnis, dass ich/wir gemäß § 4 Abs. 1 HVTG die für mich/uns geltenden gesetzlichen, aufgrund eines Gesetzes festgesetzten und unmittelbar geltenden tarifvertraglichen Leistungen zu gewähren habe/n. Ich/wir nehme/n weiterhin zur Kenntnis, dass bei Vorliegen von Anhaltspunkten dafür, dass gegen diese Regelung verstoßen wird, auf Anforderung dem öffentlichen Auftraggeber oder dem Besteller die Einhaltung dieser Verpflichtung nachzuweisen ist.

Ich/wir verpflichte/n mich/uns, gemäß § 4 Abs. 2 HVTG meinen/unseren Beschäftigten bei der Ausführung der Leistung diejenigen Arbeitsbedingungen einschließlich des Entgelts zu gewähren, die nach Art und Höhe mindestens den Vorgaben desjenigen Tarifvertrags entsprechen, an den mein/unser Unternehmen aufgrund des AEntG gebunden ist.

Ich/wir verpflichte/n mich/uns, gemäß § 4 Abs. 3 und § 6 HVTG meinen/unseren Beschäftigten bei der Ausführung der Leistung ein Entgelt zu zahlen, das den Vorgaben des MiLoG entspricht. Im Falle der Auftragsausführung durch Nachunternehmer oder Verleihunternehmen sind im Angebot, soweit diese bereits bei Angebotsabgabe bekannt sind, spätestens jedoch vor Beginn der Ausführung der Leistung durch das Nachunternehmen oder Verleihunternehmen die entsprechenden Erklärungen in Textform abzugeben und vorzulegen.

– Die Erklärung kann entfallen, soweit sie bereits in einem Präqualifizierungsregister hinterlegt ist.

– Die Einhaltung der nach Bundesrecht oder aufgrund von Bundesrecht für mich/uns geltenden Regelungen von besonders festgesetzten Mindestentgelten (Mindestlohn) als Mindeststandard im Angebot entfällt, soweit nach § 4 HVTG Tariftreue gefordert werden kann und die danach maßgebliche tarifliche Regelung für die Beschäftigten günstiger ist als die für sie nach Bundesrecht geltenden Bestimmungen.

Ich/wir erkläre/n, dass ich/wir nicht wegen eines Verstoßes gegen § 21 MiLoG (Bußgeldvorschriften) mit einer Geldbuße von wenigstens 2.500 Euro belegt worden bin/sind und damit nicht die Voraussetzungen für einen Ausschluss von der Auftragsvergabe nach § 19 Abs. 1 und 3 MiLoG vorliegen.

Ich/wir verpflichte/n mich/uns für den Fall der Ausführung vertraglich übernommener Leistungen durch Nachunternehmen, die Erfüllung der Verpflichtungen nach den §§ 4 und 6 HVTG durch die Nachunternehmen sicherzustellen und dem öffentlichen Auftraggeber Tariftreue- und sonstige Verpflichtungs- sowie Mindestlohnklärungen der Nachunternehmen nach Auftragserteilung, spätestens vor Beginn der Ausführung der Leistung durch das Nachunternehmen, vorzulegen. Gleiches gilt, wenn ich/wir oder ein beauftragtes Nachunternehmen zur Ausführung des Auftrags Arbeitskräfte eines Verleihunternehmens einsetze(n)/einsetzt. Diese Verpflichtung gilt entsprechend auch für alle weiteren Nachunternehmen und Verleihunternehmen.

Datum:

Unterschrift:

(Hier ist Datum einzutragen und zu unterschreiben)

IV

Thema

Rechtssichere Ausgestaltung einer Umlage für die entstehenden Kosten der P-Rückgewinnung

Erste Überlegungen.

Eine P-Rückgewinnung auf Kläranlagen ist derzeit gemäß des Kommunalabgabengesetzes (KAG) nicht gebührenfähig, da diese nicht direkt mit dem Auftrag der Abwasserreinigung einhergeht. Hier müsste demnach eine Änderung des KAG erfolgen. Sollte dies geschehen und eine P-Rückgewinnung im Rahmen der Abwasserreinigung verpflichtend werden, wären auch in der Übergangsfrist sämtliche Kosten umlagefähig. Die derzeit bekannten Kosten von unter 10 Cent/m³ Abwasser werden als durchaus zumutbar) aber auch als nennenswert (häufig ca. 10 % Kostenerhöhung der Abwasserreinigung) angesehen. Es ist zu beachten, dass mancherorts nicht nur die Kosten der P-Rückgewinnung getragen werden müssen, sondern Zusatzkosten für eine Mitverbrennung (statt landwirtschaftlicher Verwertung) bzw. – ohne vorherige P-Rückgewinnung – die höheren Kosten für eine Monoverbrennung getragen werden müssen.

Gegen die Einführung eines Finanzierungsmodells, das Kläranlagenbetreiber verpflichtet, Umlagen zur Förderung der P-Rückgewinnung zu zahlen, bestehen keine grundsätzlichen rechtlichen Bedenken. Bei einem

solchen Umlagemodell würden die Maßnahmen der P-Rückgewinnung im Einzelfall mit den Mitteln der Umlage gefördert werden können. Bei der Einführung einer gleichzeitigen Einführung einer Pflicht zur Durchführung einer P-Rückgewinnung würde ein solches Umlagemodell allerdings leerlaufen. Im Falle der Einführung einer Umlage sollte diese alle Kläranlagengrößen umfassen. Eine Umsetzungspflicht der P-Rückgewinnung sollte nur für die Kläranlagen der GK 5 festgeschrieben werden. Sollte jedoch eine Kläranlage der GK 1 – 4 Maßnahmen zur P-Rückgewinnung durchführen wollen, muss auch dieser Kläranlage eine Förderung aus der Abgabe gewährt werden. Eine Staffelung der Bezuschussung von Investitionskosten für die P-Rückgewinnung wäre möglich. Solange noch keine Umsetzungspflicht besteht (d.h. während der im Verordnungsentwurf vorgesehenen Übergangsfrist), könnten bspw. in den ersten zwei oder drei Jahren die gesamten Investitionskosten aus der Umlage gefördert werden und in den darauffolgenden Jahren nur noch reduzierte Prozentsätze. An dem Umlagemodell können auch Betreiber von Kläranlagen beteiligt werden, für die aufgrund ihrer geringen Größe die Einführung einer Pflicht zur P-Rückgewinnung nicht empfohlen wird, sofern diesen Kläranlagenbetreibern die Möglichkeit eingeräumt wird, durch freiwillige Maßnahmen der P-Rückgewinnung Mittel aus der Umlage zu erhalten. Eine Beteiligung aller Kläranlagenbetreiber an dem Umlagemodell würde vermeiden, dass bei der zu erwartenden Weitergabe der Kosten an die Abwassererzeuger nur diejenigen Abwassererzeuger die Einführung der P-Rückgewinnung zu finanzieren hätten, die zufällig an eine Kläranlage angeschlossen sind, in der – freiwillig oder aufgrund einer Rechtspflicht – Maßnahmen zur P-Rückgewinnung durchgeführt werden.

Mit freundlichen Grüßen

AX Projects GmbH



Dr. jur. Thomas Ax, Maîtrise en Droit International Public (Paris X-Nanterre)

Inscrit au barreau de Paris (Rechtsanwalt)

Geschäftsführer