

Entwicklung und Bewertung von Szenarien zur Klärschlammentsorgung in Regionen – Klärschlammkonzept Region Trier

Gerd Kolisch, Yannick Taudien (Wuppertal), Helmut Berg, Ralf Pütz (Aachen), Harald Guggenmos (Schweich)

Kurzfassung

In vielen Regionen wird der aus der kommunalen Abwasserreinigung anfallende Klärschlamm weiterhin landwirtschaftlich verwertet. Aufgrund der veränderten gesetzlichen Rahmenbedingungen stellt sich für die Betreiber zunehmend die Frage der zukünftigen Entsorgungssicherheit. In dem Projekt *Klärschlammkonzept Region Trier* wurde ein konzeptioneller Ansatz für die thermische Verwertung des Klärschlammes in Regionen entwickelt. Anhand von unterschiedlichen Mengen-Szenarien, Standort-Varianten und Verfahrensansätzen wurde gezeigt, dass bei einer regionalen Kooperation die thermische Entsorgung in zentralen oder semizentralen Verbrennungsanlagen auch bei geringen Klärschlammmengen von bis zu 10.000 Mg TR/a eine wirtschaftliche Alternative zu der derzeitigen landwirtschaftlichen Verwertung darstellen kann.

Abstract

In many regions the sewage sludge produced by municipal wastewater treatment is still disposed in agriculture. Because of changing legal frame conditions, operators increasingly question the future safety of disposal. In the project *Sewage sludge concept Region Trier* a conceptual approach for thermal disposal of sewage sludge in regions was developed. By different mass scenarios, site variants and technological processes it was shown that thermal treatment in central or semi-central incineration plants even at little sludge quantities of about 10,000 Mg dry matter per year can be an economic alternative to current agricultural disposal.

1 Hintergrund

In der Bundesrepublik Deutschland fallen aus der kommunalen Abwasserreinigung rund 1,8 Mio. Tonnen Klärschlamm-trockenmasse pro Jahr an, die derzeit noch zu etwa 40 % stofflich verwertet werden [1]. Mit den aktuellen gesetzlichen Veränderungen gerät der rückläufige Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft weiter unter Druck. Die Düngegesetzgebung ([2], [3]) fordert niedrigere Nährstoffobergrenzen bei der Düngung, eine Begrenzung der Herbstdüngung und verlängerte Sperrzeiten für die Klärschlammausbringung. Die Düngemittelverordnung [4] begrenzt die Aufbringungsfracht an organischen Polymeren aus der Schlammentwässerung vorbehaltlich einer Evaluierung im Jahr 2019. Die Novelle der Klärschlammverordnung [5] fordert für größere Kläranlagen ein Phosphor-Recycling und

verbietet die bodenbezogene Verwertung der Klärschlämme nach Übergangsfristen. Zwangspunkte ergeben sich außerdem aus der Nährstoffkonkurrenz des Klärschlammes zu Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern, einem reduzierten Einsatz auf Flächen zur Nahrungsmittelerzeugung und der allgemein sinkenden gesellschaftlichen Akzeptanz für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung. Bei Betreibern kleinerer und mittlerer Kläranlagen besteht daher ein erhöhter Bedarf nach Lösungen für eine zukunftsfähige und wirtschaftliche Entsorgung des erzeugten Klärschlammes ([6], [7]). Aufgrund der vielfach nur geringen absoluten Klärschlammengen bietet sich ein gemeinsames Vorgehen auf Kreis- oder Landesebene an ([8], [9]). Die kommunalen Abwasserbetriebe in der Region Trier haben sich im Jahr 2015 für die Entwicklung eines solchen regionalen Klärschlammkonzepts zur Verwertung der anfallenden Klärschlämme mit dem Ziel einer langfristigen Planungssicherheit zusammengeschlossen.

2 Bestandsanalyse Region Trier

Die Region Trier liegt im Westen des Bundeslandes Rheinland-Pfalz (RLP) und erstreckt sich von der Mosel bis zur Landesgrenze zu Luxemburg. Mit einer Gesamtfläche von rund 4.900 km² hat die Region einen flächenmäßigen Anteil von 25 % bezogen auf das Bundesland RLP. Das Gebiet umfasst die vier Landkreise Vulkaneifel, Eifelkreis Bitburg-Prüm, Bernkastel-Wittlich und Trier-Saarburg sowie die kreisfreie Stadt Trier. Die Landkreise untergliedern sich in 26 Verbandsgemeinden (VG). In der Region Trier werden insgesamt 233 kommunale Kläranlagen mit einer summierten Ausbaugröße von 1,05 Mio. EW betrieben. Die auf die spezifische CSB-Fracht von 120 g CSB/(E*d) bezogene mittlere Anschlussgröße aller Kläranlagen beträgt 0,68 Mio. EW_{CSB120}. Auf die Größenklassen 1 bis 3 entfallen 208 Kläranlagen mit einer Reinigungskapazität von rund 317.000 EW. Die 25 Kläranlagen der GK4 und GK5 verfügen dementsprechend über eine Gesamtkapazität von 729.000 EW und decken knapp 70 % der Einwohnerwerte ab. Die größte Kläranlage der Region ist das Hauptklärwerk Trier mit derzeit 170.000 EW Ausbaugröße, die von den Stadtwerken Trier (SWT-AöR) betrieben wird.

Insgesamt fallen in der Region ca. 11.800 Mg Schlamm-trockenmasse (TR) pro Jahr an. Die spezifische Klärschlammmenge, bezogen auf die mittlere CSB-Anschlussbelastung, beträgt damit 47,5 g/E/d bzw. 17,4 kg/E/a. Die regionale Verteilung des Klärschlamm-anfalls ist sehr uneinheitlich. Auf die dichter besiedelte südliche Moselregion entfallen 78 % der Schlamm-anfalls mit dem Schwerpunkt der Stadt Trier (3.500 Mg TR/a), während die ländlich strukturierte nördliche Region nur 22 % des gesamten Schlamm-anfalls ausmacht. Der Klärschlamm wird mit rund 8.400 Mg TR/a (62 % der EW) in 23 Faulungsanlagen überwiegend separat anaerob stabilisiert. Der Schlamm von 123 Kläranlagen (rund 3.200 Mg TR/a, 33 % der EW) wird simultan aerob stabilisiert. Rund 200 Mg TR/a (5 % der EW) entfallen auf

sonstige Kläranlagen wie z.B. Tropfkörperanlagen und Teichanlagen. Der Klärschlamm wird mit 91 % überwiegend landwirtschaftlich verwertet. In einigen Teilregionen finden sich zudem Vererdungsanlagen (8%). Eine thermische Verwertung ist nur in Einzelfällen (1 %) aufgrund der Überschreitung von Grenzwerten erforderlich (Bild 1).

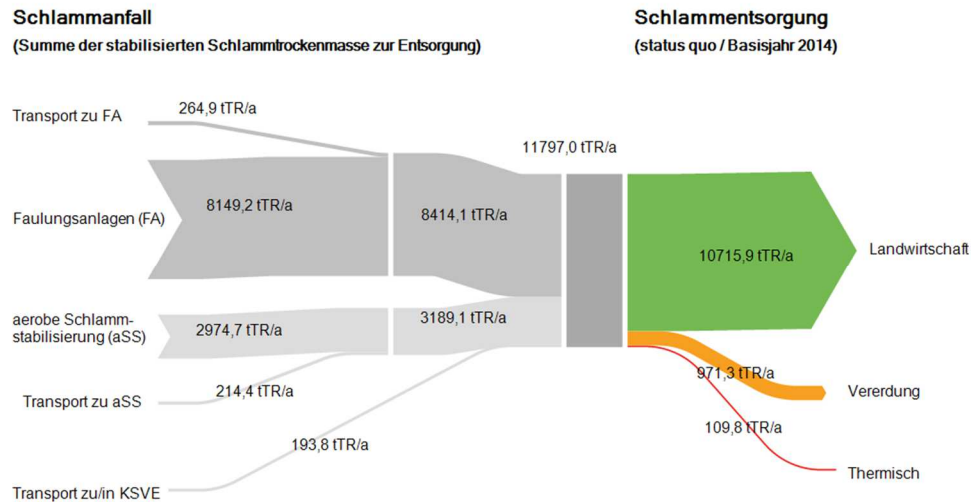


Bild 1: Schlammfall und –entsorgungswege in der Region Trier

3 Konzeptionelles Vorgehen

Für die Region wurde eine thermische Klärschlammverwertung als Alternative zu der heute überwiegend landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung untersucht. Ausgehend von den üblichen Behandlungsschritten des Klärschlammes (Stabilisierung-Entwässerung-Trocknung-thermische Verwertung) basiert das Klärschlammkonzept auf einem Aufbau mit drei Ebenen. Während die Stabilisierung der Schlämme auf allen Kläranlagen erfolgen kann, ist für die nachfolgenden Schritte aus wirtschaftlichen Gründen eine Konzentration erforderlich. Es wurden daher Schlammbehandlungszentren (SBC) an größeren Kläranlagenstandorten entwickelt, in denen der Schlamm aus allen Kläranlagen im Umkreis auf einen mittleren TR-Gehalt von 25 % entwässert wird. Die zu transportierende Klärschlammmenge wird hierdurch deutlich reduziert und es werden größere Entfernungen zum nächsten Behandlungsschritt möglich. Dieser umfasst die thermische Verwertung einschließlich einer vorgeschalteten Trocknung in einem oder mehreren Schlammverwertungszentren (SVC).

Es wurden zwei „Mengen-Szenarien“ unterschieden: eine thermische Verwertung für die Klärschlämme von Anlagen der Größenklassen 4 und 5 (9.500 Mg TR/a; 38.000 Mg OS/a) im Szenario 1 bzw. eine thermische Verwertung der gesamten Klärschlammmenge (GK 1-5, 12.000 Mg TR/a, 48.000 Mg OS/a) für das Szenario 2. Die gewählte Grenze weicht von den geforderten 50.000 EW aus der novellierten AbfKlärV ab [5]. In der betrachteten Region liegen jedoch 23 Anlagen in der Größenordnung von 10.000 – 50.000 EW, die zusammen 50% der Gesamtkapazität ausmachen. In der Konzeptentwicklung wurden je Szenario vier Varianten -

zentral, semizentral, dezentral und extern - zur Bildung der thermischen Verwertungszentren mit einer jeweils unterschiedlichen Anzahl an Anlagenstandorten verfolgt.

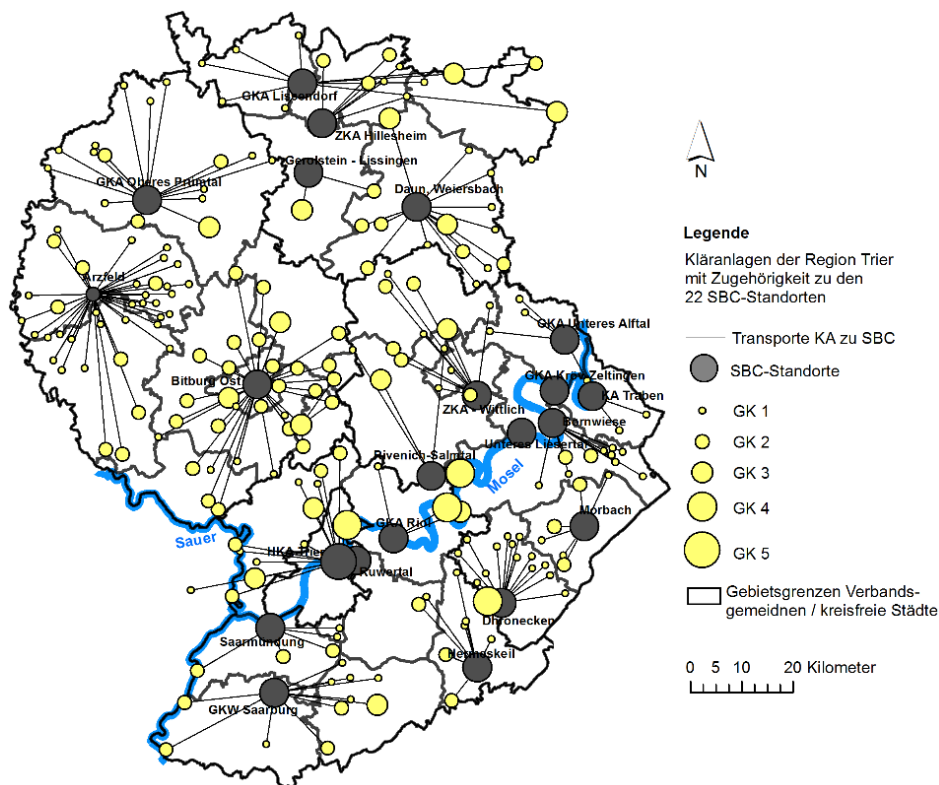



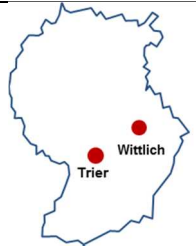
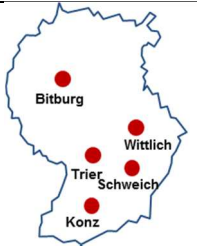
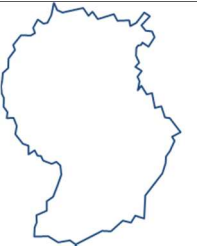
Bild 2: Lage der 22 SBC-Standorte mit den zugewiesenen Satellitenkläranlagen

Die Schlammbehandlungszentren (SBC) wurden den einzelnen Abwasserbetrieben zugeordnet, nur in einzelnen Fällen wurden betriebsübergreifende Verbünde angesetzt. In der praktischen Umsetzung bleibt es den Verbandsgemeinden im Einzelfall freigestellt, andere Zuordnungen zu wählen, wenn sich aus verfahrenstechnischen oder organisatorischen Gründen eine Zusammenarbeit anbietet. Die flächendeckende Verteilung der Schlammbehandlungszentren ermöglicht kurze Transportwege von den Satellitenanlagen. Darüber hinaus werden personalintensive Prozesse konzentriert. Für die insgesamt 22 SBC-Standorte wurde die örtliche Situation bezüglich der Installation einer maschinellen Schlammentwässerung einschließlich der nachfolgenden Förder- und Lagertechnik aufgenommen und bewertet. Auf dieser Basis wurden die erforderlichen Investitionen sowie die resultierenden Betriebskosten abgeschätzt und Lageplanskizzen für die geplanten Anlagenstrukturen erarbeitet. Die Zusammenführung der Schlämme erfordert eine umfangreiche Transportlogistik, zu der neben Zwischenlagerung und Transport auch das betriebstechnische Management zwischen abgebender und annehmender Anlage gehört. Die Transportkosten von den Satellitenanlagen zu den SBC-Standorten wurden über eine aus Praxisdaten abgeleitete Kostenfunktion [10] berechnet. Die Entfernungskilometer wurden als reale Straßenkilometer mittels einer eigenprogrammierten Anwendung über die Schnittstelle

„Google Maps Distance Matrix API“ [11] aus den Koordinaten der Kläranlagenstandorte ermittelt.

Die Schlammverwertungscenter (SVC) dienen der zentralisierten thermischen Verwertung der entwässerten Klärschlämme. Für die thermische Verwertung wurden eine konventionelle Wirbelschichtverbrennung sowie die vier Verfahren Pyreg [12,13] RedOx [14] und SynGas [15,16] betrachtet. Die Wahl des Verfahrens hängt insbesondere von den potentiellen Standorten (Tabelle 1) ab. Hierbei kann zwischen zentralen, semizentralen, dezentralen und externen Lösungen unterschieden werden. Bei einer zentralen Lösung erfolgt die thermische Verwertung gebündelt an einem Standort, im Idealfall nahe dem schlammgewichteten regionalen Mittelpunkt, bei optimierten Transportkosten. Neben der Flächenverfügbarkeit sind besonders die verkehrstechnische Anbindung sowie die Genehmigungsfähigkeit zu berücksichtigen. Als potentieller Standort wurde das *Entsorgungs- und Verwertungszentrum Mertesdorf* (EVZ) identifiziert, das über eine ausreichende und planfestgestellte Entwicklungsfläche verfügt. Bei einer semizentralen Lösung wird die zu entsorgende Schlammmenge auf größere Kläranlagenstandorte aufgeteilt. Um die Transportkosten zu minimieren, werden Kläranlagen gewählt, bei denen bereits eine möglichst große Menge Klärschlamm gebündelt ist und die gleichzeitig über eine geeignete infrastrukturelle Anbindung verfügen. Hierfür wurden die Kläranlagen Trier und Wittlich ausgewählt, bei denen 67% (Sz. 1) bzw. 56% (Sz. 2) des Klärschlammes anfallen. Bei einer dezentralen Lösung wird der zu verwertende Klärschlamm auf mehrere Standorte in der Fläche verteilt. Dies hat den Vorteil sehr niedriger Transportentfernungen, es ist aber zwingend eine möglichst hohe Auslastung der einzelnen Standorte zu beachten. Bei einer externen Lösung wird eine Entsorgung über eine möglichst nah gelegene Verbrennungsanlage mit freien Kapazitäten gesucht. Für die Region Trier wurde die geplante Mono-SVA in Mainz [18] mit einer mittleren Transportentfernung von ca. 150 km (Trier – Mainz) identifiziert.

Tabelle 1: Standortauswahl für die thermische Verwertung der Klärschlämme

Zentral	Semizentral	Dezentral	Extern
			

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzbare Fläche nahe dem schlammgewichteten Mittelpunkt ▪ Möglichkeit der Aschedeponierung ▪ Verkehrsanbindung ▪ Synergien bei Nutzung vorh. Infrastruktur und Abwärme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kläranlagen mit großer Schlammmenge ▪ Lage und Anbindung ▪ Potentielle Freiflächen ▪ Synergien bei Einbindung in Energie/Wärme-Verteilung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kläranlagenstandorte mit unterschiedlicher Staffelung der Verbrennungskapazität ▪ Auswahl und Dimensionierung für möglichst hohe Auslastung je Standort ▪ Minimierung Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nächstgelegene vorhandene bzw. geplante Mono-SVA ▪ Freie Kapazitäten ▪ Langfristige Kooperation möglich
---	--	--	---

4 Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten für die thermischen Verwertungsanlagen wurden für die Mono-Verbrennung über Betreiberangaben, Planungs- und Literaturdaten abgeschätzt. Für die alternativen Verfahren wurden Richtpreisangebote herangezogen, die um Baunebenkosten und Kosten für die Infrastruktur zur Schlammannahme ergänzt wurden. Dieses Vorgehen ist durch die geringe Anzahl der bisher im technischen Maßstab realisierten alternativen Anlagen begründet, bedeutet allerdings eine geringere Kostensicherheit im Vergleich zu der konventionellen Monoverbrennung. Die Betriebskosten aller Verfahren wurden anhand umfassender Stoff- und Energiebilanzen berechnet. Neben Energie-, Wartungs- und Betriebsmittelkosten wurde auch die Entsorgung der Reststoffe berücksichtigt. Eine mögliche Vergütung bei direkter Abnahme der phosphathaltigen Reststoffe wurde mangels belastbarer Aussagen zur Abnahmegarantie und möglicher Preise nicht angesetzt. Für die Verfahren RedOx und Pyreg wurde jedoch ergänzend untersucht, welche Gesamtkosten sich ohne die zusätzlichen Kosten einer Reststoffentsorgung ergeben. In den Betriebskosten sind keine Aufwendungen für ein weitergehendes Phosphor-Recycling enthalten. Die aktuell in der Diskussion befindlichen Verfahren sind derzeit noch nicht technisch ausgereift und somit einer realistische Bewertung nicht zugänglich.

Für die Schlammwässerung an den 22 SBC-Standorten inklusive der Transportkosten für die Anlieferung der zugeordneten peripheren Klärschlämme wurden Brutto-Gesamtkosten in Höhe von 1,9 Mio. €/a (Sz. 1) bzw. 2,6 Mio. €/a (Sz 2) berechnet. Für die Schlammwässerung an den SBC-Standorten bestätigte sich der zu erwartende Zusammenhang von steigenden spezifischen Kosten bei abnehmenden Schlammtonnagen mit einem Mittelwert von 169 €/Mg TR brutto. Die Gesamtkosten für den Transport des entwässerten Klärschlammes sowie für den Bau und den Betrieb der Anlagen zur thermischen Verwertung inklusive der Kosten der vorgelagerten SBC-Standorte betragen je nach Szenario und Variante 2,6 bis 4,8 Mio. Euro pro Jahr (brutto). Bezogen auf die Klärschlamm-trockenmasse ergeben sich spezifische Gesamtkosten von 490 bis 615 €/tTR. Die Mitverbrennung in der externen Mono-Verbrennung (Mainz) ist aufgrund der hohen

Transportaufwendungen unwirtschaftlich. Vorteile weisen dagegen die Varianten auf, die eine semizentrale oder zentrale thermische Verwertung an ein oder zwei Standorten vorsehen.

Der Vergleich der Szenarien 1 (nur thermische Verwertung für Kläranlagen > 10.000 EW, für übrige weiterhin landwirtschaftliche Verwertung) und 2 (thermische Verwertung für alle Kläranlagen) zeigte, dass die spezifischen Entsorgungskosten nur unwesentlich voneinander abweichen. Die Vorteile der zentralisierten Verwertung, die sich bei größerer Schlammmenge durch eine bessere Auslastung ergeben, werden im Sz. 1 durch die anteilig geringfügig günstigere landwirtschaftliche Verwertung der restlichen Schlämme ausgeglichen. Die mittelfristige Umsetzung des Sz. 2 mit einer vollständigen thermischen Verwertung der Klärschlämme wäre daher unter rein wirtschaftlicher Betrachtung zu bevorzugen. Die Entsorgungskosten des Sz. 2 in Höhe von 490 bis 550 €/Mg TR (Bild 3) liegen über den mittleren spezifischen Kosten der heute dominierenden landwirtschaftlichen Verwertung in Höhe von 459 €/Mg TR.

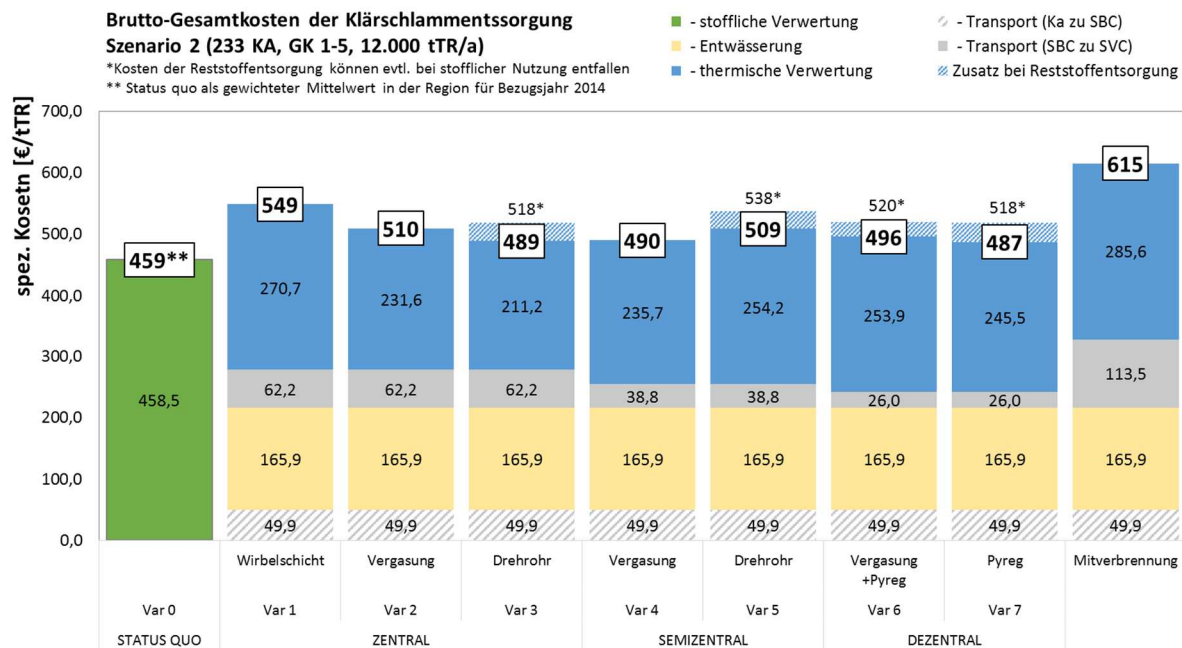


Bild 3: Kosten der thermischen Entsorgung (Sz. 2, 12.000 Mg TR/a)

4 Gesamtbewertung

Die untersuchten Optionen der regionalen Klärschlammverwertung wurden neben der Wirtschaftlichkeit anhand fünf weiterer nicht-monetärer Kriterien bewertet. Es erfolgte jeweils eine vereinfachte dreistufige Unterteilung mit Punktevergabe sowie eine anschließende prozentuale Wichtung mit Fokus auf Wirtschaftlichkeit und Entsorgungssicherheit. In der Gesamtbetrachtung (Bild 4) ergeben sich hiernach Vorteile für die zentrale und die semizentrale Lösung.

Bewertungs-kriterien	Wichtung [%]	Landw.	thermische Verwertung							
		Var 0	ZENTRAL			SEMIZENTRAL		DEZENTRAL		EXTERN
			Var 1 Wirbel- schicht	Var 2 Vergasung	Var 3 Drehrohr	Var 4 Vergasung mit Strom	Var 5 Drehrohr	Var 6 Vergasung +Pyreg	Var 7 Pyreg	Var 8 Mitverbren- nung
Punkte										
Entsorgungssicherheit	35	1	3	3	3	3	3	2	2	3
Wirtschaftlichkeit	35	3	1	2	3	3	2	3	3	1
Stromerzeugung	10	1	3	1	1	3	1	1	1	3
P-Recycling	10	3	1	1	3	1	3	2	2	1
CO2-Bilanz	5	3	2	2	2	2	2	1	2	2
Soziale Nachhaltigkeit	5	1	2	2	2	2	2	3	3	1
Gewichtete Punkte										
Entsorgungssicherheit	35	0,4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	1,1
Wirtschaftlichkeit	35	1,1	0,4	0,7	1,1	1,1	0,7	1,1	1,1	0,4
Stromerzeugung	10	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3
P-Recycling	10	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1
CO2-Bilanz	5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Soziale Nachhaltigkeit	5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Gesamtbewertung		2,00	2,00	2,20	2,70	2,70	2,40	2,30	2,30	2,00
Rang		8.	8.	7.	1.	1.	4.	5.	5.	8.

Bild 4: Kriterien und Bewertung der Entsorgungsoptionen

- Eine langfristige Entsorgungssicherheit ist im Falle der direkten Verwertung in der Landwirtschaft aufgrund der geänderten Rahmenbedingungen nicht mehr gegeben. Bei einer thermischen Verwertung sind zentrale Standorte gegenüber einer dezentralen Aufteilung mit vielen Betriebspunkten zu bevorzugen.
- Die Wirtschaftlichkeit der Varianten wurde aufgrund der Unsicherheiten in der Kostenermittlung nur in eindeutigen Fällen negativ bewertet. So ist die externe Lösung in dem hier betrachteten Fall durch die hohen Transportkosten unwirtschaftlich. Auch der Bau einer eigenen Wirbelschichtanlage wird negativ bewertet. Eine höhere Kostensicherheit kann für die betrachteten Verfahrensansätze nur im Rahmen detaillierter Planungsarbeiten erreicht werden.
- Die im Klärschlamm enthaltene Energie kann bei einigen Verfahrensansätzen zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt werden. Diese Option entfällt bei einer landwirtschaftlichen Nutzung. Am ehesten eignen sich zentrale Anlagen größerer Bauart oder semizentrale Vergasungsanlagen mit ausreichend Wärme für eine Klärschlamm-trocknung zur Eigenstromerzeugung.
- Für die Nutzung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors ist die direkte stoffliche Verwertung grundsätzlich als günstigster Weg zu beurteilen. Zentral-/semizentrale Standorte könnten eine regionale Lagerung des im Schlamm gebundenen Phosphors für eine zukünftige Aufbereitung ermöglichen. Das Potential eines stofflich nutzbaren Restproduktes bieten jedoch nur die Verfahren Pyreg und RedOx.

- In der CO₂-Bilanz ergibt die landwirtschaftliche Verwertung durch die Substitution von Mineraldünger einen negativen Bilanzwert, während die thermische Verwertung zu Überschüssen von bis zu 5.000 t CO_{2eq}/a führt. Dies entspricht einem spezifischen CO₂-Anfall von rund 10 kg CO_{2eq}/(E*a) inklusive der zugehörigen Transportaufwendungen (vgl.a. [6]). Der bundesdeutsche pro-Kopf-Ausstoß beträgt zum Vergleich ca. 8.930 kg CO_{2eq}/(E*a) [17] und wird durch die thermische Verwertung nur gering erhöht.
- Die soziale Nachhaltigkeit im Sinne einer regionalen Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen wird zugunsten der dezentralen regionalen Ansätze gewertet.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Konzeptstudie für die Region Trier zeigt, dass eine thermische Entsorgung wirtschaftlich möglich ist. Aufgrund der höheren Planungssicherheit und des geringfügigen Unterschieds in den Jahreskosten ist mittelfristig eine thermische Verwertung der in der Region anfallenden Klärschlämme der bisherigen landwirtschaftlichen Verwertung vorzuziehen. Bei den regional niedrigen Klärschlamm-mengen von bis zu 10.000 Mg TR/a könnten alternative thermische Verfahren wirtschaftliche Vorteile gegenüber einer Wirbelschichtverbrennung aufweisen. Die hier durchgeführte Kostenbetrachtung stellt allerdings nur eine Momentaufnahme der aktuellen Entsorgungssituation in der Region dar. Die infolge des novellierten Düngerechts veränderte Entsorgungssituation erhöht so den Druck auf die thermische Verwertung und ist aktuell mit deutlichen Kostensteigerungen sowohl bei der Verwertung in der Landwirtschaft als auch in der Thermik verbunden [19]. Dies ist bei der künftigen Weiterentwicklung des Konzepts zu berücksichtigen. In einer Folgestudie im Auftrag der kommunalen Abwasserbetriebe werden die Standortfrage und die verfahrenstechnische Gestaltung einer möglichen thermischen Verwertungsanlage vertiefend untersucht. Parallel hierzu werden durch den Städte- und Gemeindebund im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Rheinland-Pfalz Organisationsformen für eine regionale thermische Klärschlammverwertung erarbeitet.

Das Projekt wurde durch die Ministerien für Umwelt und Wirtschaft des Landes Rheinland-Pfalz als eines von zwei Pilotprojekten des Landes öffentlich gefördert.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt.
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen/TabellenKlaerschlammverwertungsart.html>
- [2] Düngegesetz (DünG) vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136) zuletzt geändert am 05.05.2017 (BGBl. I S. 1068)
- [3] Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I, S. 1305)

- [4] Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DümV) vom 5. Dezember 2012 zuletzt geändert am 26. Mai (BGBl. I, S. 1305, 1348)
- [5] Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung (Klärschlammverordnung – AbfKlärV), vom 27. September 2017, Inkrafttreten am 03. Oktober 2017 (BGBl. I, Nr. 65, S. 3465 – 3512)
- [6] Siekmann, T., Miethig, S., Schneider, J., Jakob, J.: Klärschlammverwertungskonzept für ländliche Regionen – am Beispiel des Rhein-Hunsrück-Kreises. Korrespondenz Abwasser, (63), H. 12, S. 1068-1075 (2016)
- [7] Sander, M.: Praxisbeispiele – Zentrale und dezentrale Schlammbehandlung beim Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband. In: Tagungsband 10. KlärschlammTage, Würzburg, S. 56-62. DWA, Hennef (2017)
- [8] Jacobs, U.: Praxisbeispiel interkommunaler Zusammenarbeit – Klärschlamm-Kooperation Mecklenburg-Vorpommern GmbH. In: Tagungsband 10. KlärschlammTage, Würzburg, S. 34-36. DWA, Hennef (2017)
- [9] Hilmer, R.: Norddeutsches Netzwerk Klärschlamm. In: Tagungsband 10. KlärschlammTage, Würzburg, S. 46-51. DWA, Hennef (2017)
- [10] Zukunftsfähige Behandlung und Entsorgung von Klärschlamm in Mecklenburg-Vorpommern. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz MV und Ministerium für Wirtschaft, Bau und Tourismus MV, Schwerin (2013)
- [11] Google. Google Maps Distance Matrix API. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/distancematrix/> (2017)
- [12] Vollerthun, T. & Hasselbach R.: Betrieb einer dezentralen Klärschlamm-mineralisierungsanlage. Beitrag auf den 10. DWA Klärschlammtagen in Würzburg (2017)
- [13] Gerber, H.: Das innovative Pyreg-Verfahren: Klärschlamm dezentral verwerten und Phosphordünger gewinnen. Kongress Abwasser und Praxis, Offenburg, (2015)
- [14] DPP, Deutsche Phosphor Plattform – Bericht über den Besuch bei der EuPhoRe GmbH. URL: <http://www.deutsche-phosphor-plattform.de/dpp-vor-ort-euphore/> (2017)
- [15] Keßelheim, T.: Energetische Klärschlammverwertung im Klärwerk Koblenz mit dem KOPF-Verfahren. Beitrag auf den 10. DWA Klärschlammtagen in Würzburg (2017)
- [16] Mey, S.: Stand der Klärschlammvergasung in Deutschland. Beitrag auf dem 17. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium (2016):
- [17] Statista GmbH. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167877/umfrage/co-emissionen-nach-laendern-je-einwohner/> (zuletzt abgerufen am 06.10.2017)
- [18] Hochgürtel H.: Herausforderung der Klärschlammverbrennung. Beitrag im Rahmen der 2. Fachtagung Klärschlamm in Meisenheim (2017)
- [19] Langenohl, T.: Organisation der Klärschlamm Entsorgung in der (kommunalen) Umsetzung. Beitrag im Rahmen der 2. Fachtagung Klärschlamm in Meisenheim (2017)

Autoren

Dr.-Ing. Gerd Kolisch, Dipl.-Ing. Yannick Taudien

Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH

Untere Lichtenplatzer Str. 100

42289 Wuppertal

E-Mail: kol@wupperverband.de

Dipl.-Ing. Helmut Berg, Dipl.-Ing. Ralf Pütz
Ingenieurbüro H. Berg & Partner GmbH
Gewerbepark Brand 48
52078 Aachen

Dipl.-Ing. Harald Guggenmos
VGW Schweich
Brückenstraße 26
54338 Schweich