

Hinweise zur Erarbeitung von Konzepten für die Behandlung und Entsorgung von Klärschlamm

Zweiter Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5*)

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Arbeitsbericht werden im Hinblick auf die novellierte Klärschlammverordnung Hinweise für die Erstellung von Entsorgungskonzepten gegeben, unter Berücksichtigung von Organisationsform, Betriebsdaten, Platzbedarf, Verfahrens- und Anlagentechnik, Transport, Wirtschaftlichkeit sowie ökologischen und sozialen Aspekten.

Schlagwörter: Klärschlamm, Klärschlammverordnung, Entsorgung, Konzept, Organisationsform, Betriebsdaten, Verfahrenstechnik, Transport, Wirtschaftlichkeit, Ökologie

DOI: 10.3242/kae2019.01.003

Abstract

Information on developing concepts for sewage sludge treatment and disposal

Second working report by DWA Working group KEK-1.5

This work report provides information on drawing up waste management strategies in view of the revised German Sewage Sludge Ordinance. These strategies should take account of the organisational form, operating data, space requirements, process and plant technology, transportation, efficiency and ecological and social aspects.

Key words: sewage sludge, Sewage Sludge Ordinance, waste management, strategy, organisational form, operating data, process technology, transportation, efficiency, ecology

1 Allgemeines

Die im Jahr 2017 in Kraft getretene neue Klärschlammverordnung in Verbindung mit der Düngemittel- und der Düngeverordnung hat gravierende Auswirkungen auf die vor der Entsorgung des Klärschlammes erforderlichen Behandlungsverfahren. In der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5 „Übergreifende Fragestellungen der Klärschlammbehandlung und -entsorgung auf Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe“ wurden bzw. werden Arbeitsberichte zu folgenden Themen erarbeitet:

- Auswirkungen der neuen Klärschlammverordnung auf die Klärschlammbehandlung (KA 8/2018)
- Hinweise zur Erarbeitung von Konzepten für die Behandlung und Entsorgung von Klärschlamm
- Technische Hinweise zu bewährten Behandlungsverfahren
- Transportlogistik für Klärschlammbehandlung und -entsorgung
- Rechtliche Rahmenbedingungen der interkommunalen Zusammenarbeit und der Kooperation mit Dritten.

*) Mitglieder der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5 „Übergreifende Fragestellungen der Klärschlammbehandlung und -verwertung auf Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe“ sind: Dr.-Ing. Rolf Otte-Witte (Sprecher; Elze), Dipl.-Ing. Tim Boudewins (Bochum), Rechtsanwältin A Claudia Brandt (Bremen), Dr.-Ing. Günter Fehr (Hannover), Dipl.-Ing. Matthias Fink (Bad Camberg), Dipl.-Ing. Johann Flohr (Pforzheim), Dipl.-Ing. Ralf Hilmer (Hildesheim), Thomas Knoll (Schwandorf), Dr.-Ing. Julia B. Kopp (Lengede), Dipl.-Ing. Stefan Krieger (Kaiserslautern), Dipl.-Ing. agr. Thomas Langenohl (Rheinbach), Dipl.-Ing. Falko Lehrmann (Lünen), Dipl.-Ing. Stefan Rehfus (Neu Eichenberg), Dr.-Ing. Markus Roediger (Stuttgart), Dipl.-Ing. Hans-Walter Schneichel (Mainz), Dr.-Ing. Thomas Siekmann (Thür). – Kontakt in der DWA-Bundesgeschäftsstelle: Dipl.-Ing. Reinhard Reifentstahl, E-Mail: reifentstahl@dwa.de

Mit dem Ziel einer nachhaltigen Klärschlammbehandlung erfordern aktuelle rechtliche Änderungen des Abfall- und Düngerechts eine Überprüfung bzw. gegebenenfalls eine Änderung der bisherigen Klärschlammbehandlung und des Entsorgungspfades. Je nach Wahl des Entsorgungspfades sind unterschiedliche Anforderungen an die Qualität des Klärschlammes zu berücksichtigen. Entsorgungspfade, deren Wahl von rechtlichen, ökonomischen und ökologischen Entscheidungskriterien abhängt, können in bodenbezogene und thermische Optionen eingeteilt werden.

In Anlehnung an den DWA-Themenband T1/2015 [1] sind hinsichtlich der Klärschlammbehandlung folgende wesentliche Handlungsfelder zu nennen:

- Umstellung der Verfahrensführung auf anaerobe Schlammstabilisierung
- weitere Reduzierung des Wasseranteils im Schlamm, durch:
 - maschinelle Eindickung
 - Entwässerung
 - Trocknung
- Erweiterung Schlammspeicher bzw. Stapelbehälter

Hinsichtlich Klärschlammquantität und -qualität sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Durch Umstellung der Verfahrensführung auf anaerobe Schlammstabilisierung bzw. die Vorhaltung einer Vorklä- rung wird die Überschussschlammmenge durch einen vorgeschalteten Abzug von Primärschlamm reduziert; Primärschlamm lässt sich besser entwässern als Überschussschlamm.
- durch anaerobe Schlammstabilisierung erhöhter Feststoffabbau, jedoch höhere Schwermetallbelastung (mg/kg TM) des Schlamms
- höhere Schwermetallbelastung (mg/kg TM) durch Abbau von organischen Feststoffen im Rahmen der Entwässerung in Pflanzenbeeten

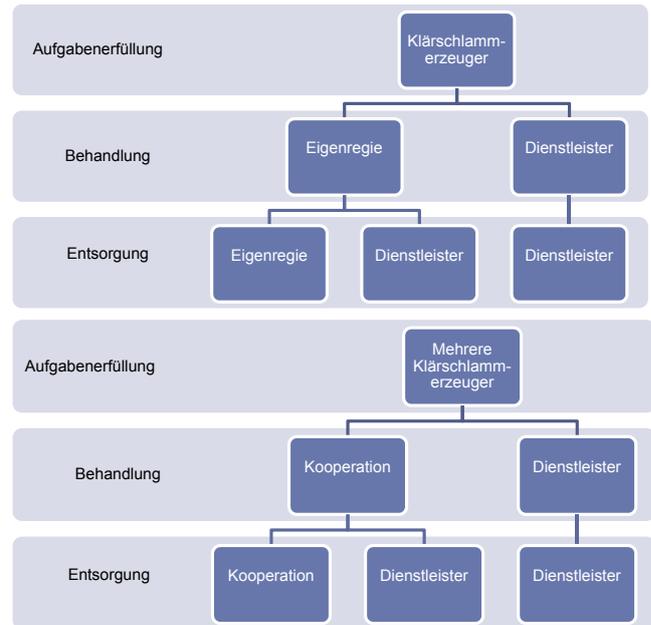


Abb. 1: Organisatorische Handlungsfelder – Klärschlammbehandlung und -entsorgung

- Auswirkung der Konditionierung (zum Beispiel Polymere, Kalk, Eisen) bei Vorentwässerung, Entwässerung und gegebenenfalls Nachbehandlung.

BESSER ALS FILTERN!

hydrograv
hydraulik • gravitatives trennen

hydrograv.com



Hydrograv adapt beseitigt Phosphor im Ablauf.

- Bekämpft partikulären Phosphor an seiner Ursache und macht den Bau neuer Nachklärbecken unnötig.
- Erzielt bis zu -30 % P_{ges} im Ablauf und -25 % CSB. Das definiert den Stand der Technik für die Nachklärbeckenausrüstung.
- Ohne jede Höherbelastung der Anlage durch Rückspülwasser.
- Gewässerschutz mit Klimavorsorge durch sehr geringen Energieverbrauch.
- Maximaler Rückhalt partikulärer Stoffe auch für die Verfahren der Spurenstoff-Elimination.
- Flexible Einlauf-Geometrie für eine deutlich erhöhte Belastbarkeit Ihrer Nachklärbecken!

Statt starrem Einlauf: eine smarte Maschine für Ihre Nachklärung. Hydrograv adapt steigert die Leistung Ihrer gesamten Kläranlage.



Preisträger 2017
Umweltfreundliche Technologien und Produktionsverfahren

2 Organisation

Für die Umsetzung einer nachhaltigen Behandlung und Entsorgung ist im Rahmen der Konzepterstellung – neben der Wahl des eigentlichen Entsorgungspfades – zu prüfen, inwieweit eine Umsetzung in Eigenregie, gemeinsam mit benachbarten Klärschlammherzeugern oder durch einen externen Dienstleister erfolgen soll.

Umsetzungsbeispiele für verschiedene Organisationsformen sind [2–4] zu entnehmen. Eine Übersicht gibt Abbildung 1.

Interkommunale Kooperationen und die Beteiligung von Dritten können helfen, die Klärschlammbehandlung wirtschaftlich und mit gebündeltem Know-how zu betreiben. Die Beantwortung der folgenden Fragen ermöglicht einen ersten Eindruck, was eine solche Kooperation tatsächlich leisten kann:

- In welcher Form sind Kooperationen gewünscht, politisch gewollt und finden diese gesellschaftliche Akzeptanz?
- Wie soll die Teilhabe unter den Kooperationspartnern festgelegt werden, wie die Verantwortlichkeiten?
- Wie sollen die Partnerschaften rechtlich abgesichert werden?
- Welche Investitionen sind notwendig?
- Ist die erforderliche Qualifikation des Personals gegeben?

Wer Kooperationen sucht und Entsorgungswege erschließen möchte, benötigt rechtliches, wirtschaftliches und technisches Wissen. Deshalb ist es im Einzelfall ratsam, entsprechende Fachleute einzubinden.

3 Einzugsgebiet

Die Kenntnis des Einzugsgebiets der Abwasserbehandlungsanlage ist notwendig, um die in § 15 AbfKlärV 2017 angesprochenen Aspekte, beispielsweise zur Mitbehandlung von Abwasser aus der industriellen Kartoffelverarbeitung, beantworten zu können. Auskunft darüber gibt das Indirekteinleiterverzeichnis bzw. das Abwasserkataster, in dem Abwassermenge und -beschaffenheit der an den Standorten der Unternehmen anfallenden Teilströme genannt sind.

Das Indirekteinleiterverzeichnis ist ein wichtiges Instrument, falls Einleiter für eine etwaige Herkunft von Schadstoffen ermittelt werden müssen.

Ferner können industrielle Einleiter, wie zum Beispiel Molkereien oder Schlachthöfe, die Qualität und Zusammensetzung des Klärschlammes beeinflussen, sodass stets eine dezidierte Prüfung des Kläranlageneinzugsgebiets zu erfolgen hat. In diesem Kontext gilt es auch zu bewerten, ob Belastungen nur temporär oder ganzjährig vorliegen (Saisonbetrieb wie zum Beispiel Weinbau und/oder Tourismus).

Relevante Parameter für eine bodenbezogene Verwertung sind im ersten Arbeitsbericht genannt. Darüber hinausgehend sind auch unterschiedliche Anforderungen von Verbrennungsanlagen von Bedeutung.

4 Kläranlage

Im Sinne der AbfKlärV 2017 ist die genehmigte Ausbaugröße der Kläranlage relevant. Unter Berücksichtigung demographischer, wirtschaftlicher und politischer Entwicklungen sowie aktueller Planungen ist es deshalb ratsam, die genehmigte mit

der vorhandenen bzw. mit der unter Berücksichtigung von Prognosen zu erwartenden Anschlussgröße abzugleichen.

Ob die Kläranlage als Sammelpunkt oder als Standort für die Errichtung von Klärschlammbehandlungsanlagen genutzt werden kann, muss vor dem Hintergrund ihrer Mitbehandlungskapazität betrieblich bewertet werden. Folgende Kriterien sind zu prüfen:

- Ausbau- und tatsächliche Anschlussgröße der Kläranlage bzw. die Mitbehandlungskapazität für anfallende Schlammwässer, insbesondere im Hinblick auf die Stickstoffelimination [1, 5]
- Möglichkeiten zum Umfüllen und Lagern von Hilfs- und Zuschlagsstoffen (zum Beispiel Konditionierungsmittel) [6]
- ausreichendes und qualifiziertes Personal [7]
- Platzreserven für Speicher zur Schlammannahme und für Schlammwasser sowie ausreichende Zwischenlager für entwässerte Schlämme
- Zugänglichkeit, Zufahrts- und Anfahrtswege
- Lage der Kläranlage (Emissionen/Akzeptanz/§ 35 BauGB)
- Genehmigungsfähigkeit.

Aufgrund der Komplexität einer Prüfung der Genehmigungsfähigkeit bzw. einer Identifizierung der zu berücksichtigenden rechtlichen Vorgaben (zum Beispiel BImSchG, Wasserrecht) ist eine externe Beratung sowie eine intensive Abstimmung mit den zuständigen Behörden empfehlenswert.

5 Betriebsdaten zu Schlammanfall und -zusammensetzung

Welche Inhaltsstoffe der erzeugte Klärschlamm wann und in welcher Menge aufweist, geht aus den regelmäßig gesammelten Betriebsdaten bzw. entsprechenden Analysen hervor. Bei Bedarf können die Daten durch ein verstärktes Monitoring und/oder durch weitere Betriebsdaten, die für die Projektierung technischer Anlagen und die Prüfung möglicher Entsorgungswege wichtig sind, ergänzt werden.

Maßgebliche Betriebsdaten sind die folgenden:

- Schlammanfall [Mg Trockenmasse (TM), Mg Originalsubstanz (OS)]
- Schwankungsfaktoren zu Schlammanfall und -qualität
- vorhandene/geplante Betriebszeiten der Anlagen-/Verfahrenstechnik (pro Woche/Monat)
- Analysedaten entsprechend gesetzlichen Vorgaben sowie Anforderungen potenzieller Abnehmer, die hinsichtlich Umfang, Häufigkeit und Grenzwertvorgaben stark variieren können
- P-Gehalt des Klärschlammes (nach letztem Behandlungsschritt; vor Entsorgung); Analytik nach Anlage 2 zu § 32 Abs. 2 und 3 der AbfKlärV 2017
- N-Gehalt des anfallenden Schlammwassers
- Kenntnis der Klärschlammkennwerte [8–10]
- Art der P-Elimination und eingesetztes Fällmittel (Fe, Al)
- Kalkeinsatz (ist bei der thermischen Behandlung in der Regel nicht gewünscht).

6 Flächenverfügbarkeit und Schlamm-speicherkapazität

Flächen für geplante Anlagen zur Schlammbehandlung oder -zwischenlagerung können beispielsweise vorhandene Kläranlagenstandorte oder im Eigentum des Betreibers befindliche Freiflächen sein. In Abhängigkeit von der Lage der Fläche und der zu verarbeitenden Menge variiert die Genehmigungsfähigkeit.

Die Verfügbarkeit von Flächen, deren Lage und Erreichbarkeit sowie Entfernungen zu den Aufkommensschwerpunkten (Vorbehandlungsstationen, Kläranlagen, Satellitenanlagen) haben maßgeblichen Einfluss auf transportlogistische Aufwendungen und müssen bei der Wahl des Entsorgungspfades berücksichtigt werden.

Die Schlamm-speicher- bzw. -lagerkapazität gewinnt künftig an Bedeutung. Hinsichtlich einer bodenbezogenen Verwertung ist dies durch längere Sperrfristen begründet (siehe erster Arbeitsbericht), mit Blick auf eine thermische (Vor-)Behandlung werden hierdurch die Transportzyklen beeinflusst. Auch Revisions- und Ausfallzeiten können durch ausreichende Speicher- bzw. Lagerkapazität überbrückt werden.

7 Transportlogistik

Die Transportlogistik ist vor allem im ländlichen Raum mit vielen Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe wesentlich. Zu-

dem ist zu beachten, dass die Betriebszeit von Einrichtungen zur Schlamm-entwässerung von der Transportlogistik und die Transportlogistik wiederum von den Vorgaben der jeweiligen Entsorger abhängt. Die Thematik ist komplex; deshalb wird es hierzu einen eigenständigen Arbeitsbericht geben. Folgende Aspekte sind zu betrachten:

- Ist die biologische Schlammstabilität gegeben, um eine Geruchsemission auszuschließen?
- Sind Speicher- und Lagerkapazitäten auf den Standorten vorhanden?
- Wie wird beladen? (ein Haufwerkspunkt oder viele? Ladehöhe?)
- Wie wird gewogen? Wo wird gewogen?
- Wie wird das Kleben des Klärschlamm am Transportfahrzeug verhindert (unter anderem Stroh, Gel)?
- Wann wird beladen (morgens, mittags, abends)? Personal vorhanden?
- Wann wird der Schlamm transportiert bzw. einem anderen Behandlungsstandort angedient?
- Muss die Fracht vor Frost geschützt werden? Womit ist bei Frost zu rechnen?
- Ab welcher Anfallmenge bietet der Transport in Sattelzügen Vorteile gegenüber dem Transport in Mulden oder Containern?

Die neue HUBER Schneckenpresse Q-PRESS®

Schlamm-entwässerung mit geringsten Betriebskosten

- Maximale Entwässerung bis zum TR(A)
- Bei minimalem Stromverbrauch
- Einfachste Wartung durch optional teilbare Siebkörbe
- Vollautomatischer Betrieb bei geringem Bedienungsaufwand
- Optional flockmittel- und wassersparende Schlammkonditionierung



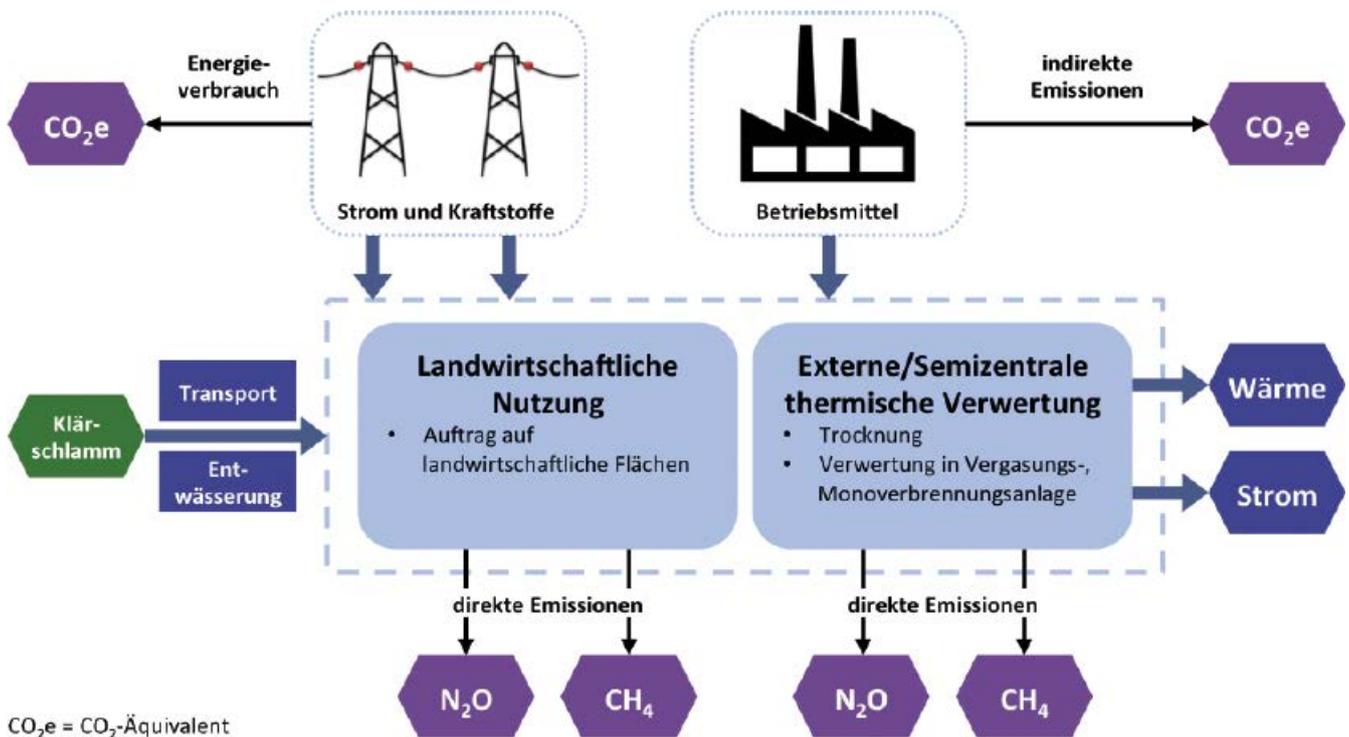


Abb. 2: Ganzheitliche Betrachtung der Emissionen [4]

8 Verfahrens- und Anlagentechnik

Die maßgebliche Verfahrenskette zur Klärschlammbehandlung umfasst folgende Verfahrensstufen:

- Kläranlage(n)
- Sammelpunkte, Satellitenanlagen
- Vorbehandlungsstationen
- Entsorgungs- bzw. P-Rückgewinnungstechnik

Diese Zusammenstellung lässt sich am Beispiel einer thermischen Vorbehandlung samt P-Rückgewinnung gemäß der folgenden Stichpunkte feiner untergliedern:

- Speicherung von Nassschlamm
- Klärschlammmentwässerung
- Speicherung von entwässertem Klärschlamm
- Bewirtschaftung von Schlammwasser
- Klärschlammtransport
- Wärmeerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung
- Trocknung
- Lagerung von Trockengut
- thermische Behandlung
- Lagerung von Klärschlammmasche
- P-Rückgewinnung
- Lagerung von Produkten der P-Rückgewinnung.

Das Erfordernis entsprechender Strategien bzw. Anlagen wird durch den gewählten Entsorgungspfad definiert.

9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bilden die Grundlage für fundierte Entscheidungsfindungen. Für Kläranlagen kleiner

und mittlerer Größe ($\leq 50\,000$ EW) ist kein bestimmter Entsorgungspfad vorgegeben (vgl. Kap. 1), deshalb ist eine vergleichende monetäre Gegenüberstellung der Alternativen unter Berücksichtigung der Entsorgungssicherheit angezeigt.

Bei Kostenannahmen bzw. -schätzungen im Rahmen von Studien bzw. Vorplanungen ist die Annahme spezifischer Kostenansätze hilfreich. Mit zunehmender Planungstiefe empfiehlt es sich, die Kosten exakter abzubilden. Die folgenden Kostengruppen beeinflussen maßgeblich die Wirtschaftlichkeit der Klärschlammbehandlung:

Investitionen

- Konzepterstellung und Bedarfsplanung
- Grunderwerb, Vertragsgestaltung, Öffentlichkeitsbeteiligung
- Planung, Genehmigungsverfahren, externe Gutachten
- Projektsteuerung, Bauleitung
- Kläranlagenerweiterung und -anpassung (zum Beispiel Schlammstillen, Schlammwasserspeicher und Schlammwasserbehandlung, zentrale oder dezentrale Schlammmentwässerung)
- Erfordernis einer Vorbehandlung auf den Satellitenanlagen (zum Beispiel Eindickung, Faulung, Entwässerung, Trocknung)
- Erfordernis zentraler Behandlungs- und Entsorgungseinrichtungen (zum Beispiel Eindickung, Faulung, Entwässerung, Trocknung, Verbrennung) unter Berücksichtigung einer geforderten P-Rückgewinnung
- Erfordernis zusätzlicher Einrichtungen (zum Beispiel ständiger Arbeitsplatz, Betriebsgebäude, Sanitäre Einrichtungen, Labor, Lager).

Laufende Kosten

- Berechnung der internen Gebühren/Einnahmen und Gebührenüberwachung, Geschäftsführung
- Ausschreibung von Dienstleistungen für Transport und Klärschlammübernahme
- Qualitätssicherung, Güteüberwachung, behördliche Überwachung
- Dokumentation der Entsorgung
- Transportkosten, auch zur Vorbehandlungsstation, Sammelpunkten und Satellitenanlagen
- Vorbehandlung, Annahme, Zwischenlagerung, Schlamm-eindickung und -entwässerung, Bewirtschaftung von Schlammwasser
- Weitertransport zur Entsorgung (einschließlich Verladung)
- Personal (einschließlich Qualifizierung und Fortbildung)
- Konditionierungsmittel, Strom, andere Betriebsmittel.

10 Ökologische Aspekte

Angesichts eines sich wandelnden Klimas werden häufig auch Aussagen zu Auswirkungen von Entsorgungsstrategien auf die Umwelt bzw. die Ökologie erwartet. Hierfür gibt es verschiedene Ansätze, beispielsweise die Methodik des Carbon Footprints (Abbildung 2; vgl. [11]).

Sowohl bei der bodenbezogenen Verwertung als auch bei der thermischen Behandlung des Klärschlammes entstehen Emissionen, die in der Carbon Footprint Analysis (CFA) berücksichtigt werden müssen. Hierzu gehören indirekte Emissionen, wie zum Beispiel durch transportlogistische Aufwendungen, Entwässerung und Trocknung der Klärschlämme sowie die direkten, durch ihre Entsorgung entstehenden Emissionen. Gutschriften für die Erzeugung von Düngemittel und für etwaige Energieüberschüsse können gegengerechnet werden. CH₄- und N₂O-Emissionen werden in CO₂-Äquivalente umgerechnet [12].

11 Soziale Aspekte

Bei einer ganzheitlichen Bewertung von Entsorgungskonzepten sind neben ökonomischen und ökologischen auch soziale Kriterien zu berücksichtigen. Dies kann am Beispiel der Wahl eines Entsorgungsstandorts bei Umsetzung einer interkommunalen Kooperation festgemacht werden. Zum Beispiel können Baumaßnahmen oder eine zusätzliche Verkehrsbelastung Widerstand bei den Anwohnern erzeugen.

Eine Nutzwertanalyse zusätzlich zur wirtschaftlichen und ökologischen Analyse kann hilfreich sein.

Schließlich setzt eine Entscheidung den politischen Willen voraus, sodass eine frühzeitige Beteiligung aller Entscheidungsträger und der Öffentlichkeit angezeigt ist.

Darüber hinaus ist ein Erfahrungsaustausch in den DWA-Netzwerken hilfreich.

Korrekturhinweis

Korrekturhinweis zum ersten Arbeitsbericht „Auswirkungen der neuen Klärschlammverordnung auf die Klärschlamm-

sorgung“, *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2018, 65, (8), 703–709:

- In der Tabelle 3, Spalte 5, 1. Zeile ist das Zeichen „≥“ durch „≤“ zu ersetzen. In der gleichen Spalte, Zeile 2 wurde auf den Hinweis verzichtet, dass die Klärschlammuntersuchung maximal monatlich durchzuführen ist, weil die Schlammmenge von 250 t TM bei Kläranlagen ≤ 50 000 EW in einem Monat nicht erreicht wird. Ergänzend dazu ist anzumerken, dass die Untersuchungshäufigkeit ab einer Schlammmenge von über 750 t TM/a für alle Größenklassen identisch ist.
- In Tabelle 7 ist der Hinweis 3) wie folgt zu verstehen: Entsprechend der abfallrechtlichen Ewigkeitshaftung nach § 22 KrWG behält der Klärschlammherzeuger die Verantwortung über die Durchführung der Phosphorrückgewinnung. Er hat zudem nach AbfklärV 2017 sicherzustellen und ein Register darüber zu führen, das er der zuständigen Behörde zu übermitteln hat, dass der Betreiber der Klärschlammverbrennungsanlage die Asche oder den kohlenstoffhaltigen Rückstand einer Phosphorrückgewinnung oder einer stoffliche Verwertung – gegebenenfalls nach einer Langzeitlagerung – zugeführt hat (Artikel 5 § 3e und § 34 der Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverordnung vom 27. September 2017).

Literatur

[1] DWA (Hrsg.): DWA-Themen T1/2015 – *Schlammfäulung oder gemeinsame aerobe Stabilisierung bei Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe*, Hennef, 2015

[2] Jakob, J.; Linder, A.; Siekmann, K.: Zentralisierte Lösung mit zweistufiger Kompaktfäulung, *Umwelt Magazin Sonderdruck* 2013, 12

[3] Siekmann, T.: Umsetzung eines energieeffizienten Klärschlammverwertungsverfahrens auf der Kläranlage Linz-Unkel, 18. Energietag Rheinland-Pfalz, 24. September 2015, Bingen

[4] Siekmann, T.; Miethig, S.; Schneider, J.; Jakob, J.: Klärschlammverwertungskonzept für ländliche Regionen – am Beispiel des Rhein-Hunsrück-Kreises, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2016, 63, (12), 1068–1075

[5] Arbeitsblatt DWA-A 131: *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*, Hennef, 2016

[6] Merkblatt DWA-M 350: *Aufbereitung von synthetischen polymeren Flockungsmitteln zur Klärschlammkonditionierung*, Hennef, 2014

[7] Merkblatt DWA-M 271: *Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlagen*, Hennef, 2017

[8] Merkblatt DWA-M 381: *Eindickung von Klärschlamm*, Hennef, 2007

[9] Merkblatt DWA-M 383: *Kennwerte der Klärschlammwässerung*, Hennef, 2008

[10] Merkblatt DWA-M 366: *Maschinelle Schlammwässerung*, Hennef, 2013

[11] Treibhausgasemissionen bei der Abwasserreinigung – Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-6.7 „Treibhausgasemissionen bei der Abwasserreinigung“, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2017, 64 (9), 779–788

[12] Bolle, F.-W.; Pinnekamp, J.: Carbon Footprint – ein universelles Werkzeug zur Bewertung und Auslegung von Wasser- und Abwassersystemen, Vortrag auf dem IWW-Innovationstag „Wasser und Energie: Effizienz ist mehr als Stromsparen“, 5. Juli 2011, Mülheim an der Ruhr KA