

Konzepte zur Entsorgung von Klärschlamm ¹

Dieter Schreff, Irschenberg und Eberhard Steinle, Weyarn

1 Aktuelle Situation der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung

Aus Gründen des vorbeugenden Umwelt-, Gesundheits- und Verbraucherschutzes setzt sich der Freistaat Bayern seit langem für ein Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ein (BERNHARD, 2006). Die Entwicklung der Entsorgung in Bayern, dargestellt in Bild 1, zeigt bereits jetzt den Trend zur Verbrennung des Klärschlammes. Im Vergleich dazu liegt im Bundesgebiet der Anteil der Klärschlammverbrennung etwas niedriger und bei der landwirtschaftlichen Entsorgung noch deutlich höher als in Bayern (DWA, 2003).

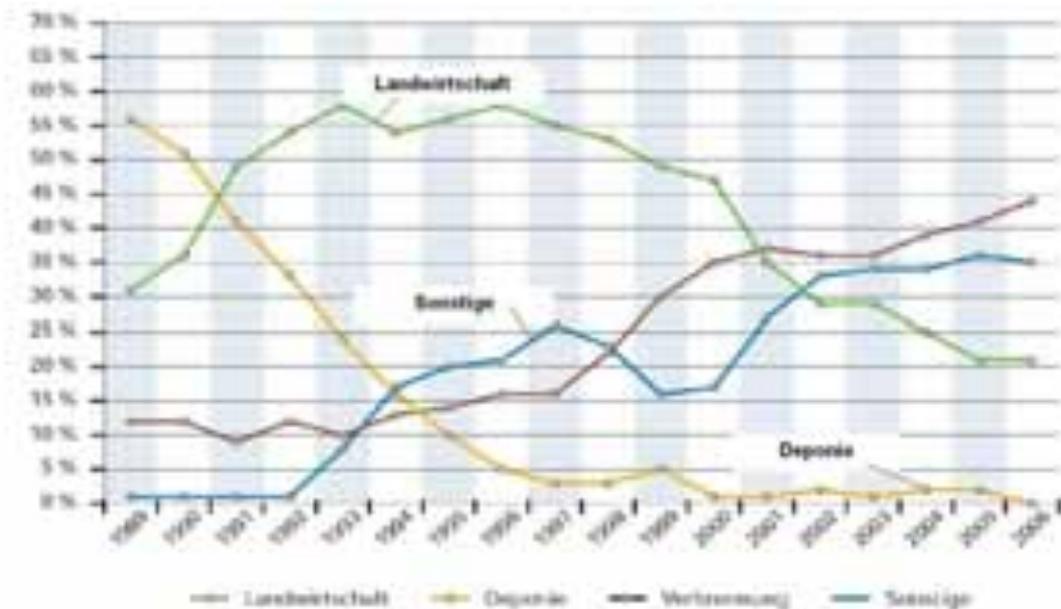


Bild 1 : Entwicklung der Klärschlamm Entsorgung und –verwertung in Bayern (Bayerisches LfU, 2008)

Mit der seit einigen Jahren angekündigten Novelle der AbfKlärV ist eine deutliche Verschärfung der rechtlichen Rahmenbedingungen für eine landwirtschaftliche und landbauliche Verwertung ist zu erwarten (Bergs, 2008). Wenn neben der Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten für organische Substanzen auch Hygieneanforderungen gestellt werden (Böhm, 2008), wird für kleine und mittlere Anlagen die landwirtschaftliche Verwertung praktisch unmöglich. Die dann notwendigen, weitergehenden verfahrenstechnischen Maßnahmen zur Hygienisierung sind zu aufwändig.

¹ Vortrag beim 38. Abwassertechnischen Seminar „Abwasseranlagen – Sanieren, Zentralisieren - Optimieren?, Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München, Band 200, 2010

2 Verbrennung von Klärschlamm als zukünftige Alternative?

Die Verbrennung - oder korrekter: energetische Verwertung bzw. thermische Behandlung zur Beseitigung - bedarf einer Vorbehandlung des Schlammes, um einen entsprechenden Heizwert und/oder ein akzeptables Transportvolumen zu erzielen. Bild 2 zeigt die verschiedenen Behandlungspfade und Verwertungsformen in vereinfachter Form:



Bild 2 : Übersicht über die Behandlungs- und Entsorgungswege von Klärschlamm

Wenn nun gemäß den Zielen des Freistaats Bayern die Entsorgung über Landwirtschaft und Landbau entfällt, ergeben sich für die meisten Betreiber von Kläranlagen eine Reihe von Konsequenzen. Im Folgenden sollen daher mögliche langfristige, konzeptionelle Ansätze für unterschiedliche Kläranlagenkategorien² dargestellt werden.

~~Inbesondere wird dabei eine gestufte Betrachtung für kleine, mittlere und große Kläranlagen durchgeführt~~

Bild 2 zeigt die unterschiedlichen Möglichkeiten zur thermischen bzw. thermisch-stofflichen Verwertung als abschließende Klärschlammbehandlungsschritte mit sehr unterschiedlichen Anlagengrößen (siehe auch Bay. LfU, 2006) :

² Die hier gewählte Klassifizierung bezieht sich nicht auf die üblichen Größenklassen (z.B. Abwasserordnung), sondern orientiert sich an verfahrenstechnischen, organisatorischen und personellen Randbedingungen für die Klärschlamm Entsorgung.

- Mitverbrennung in Kraftwerken (vorzugsweise Kohlekraftwerke, aber auch Müllheizkraftwerke)
- Monoverbrennung (vorzugsweise in der Wirbelschicht, mit / ohne Trocknung)
- Verwertung des Schlammes als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie (ggf. auch Asphaltindustrie) nach Volltrocknung
- Vergasung / Niedertemperaturkonvertierung, etc. nach Volltrocknung.

Bei ordnungsgemäßer Anwendung dieser Verfahren kann davon ausgegangen werden, dass organische Schadstoffe zuverlässig zerstört werden. Anorganische Schadstoffe, wie z.B. Schwermetalle, verbleiben jedoch größtenteils in den Verbrennungsrückständen bzw. werden ~~in-durch die der~~ Rauchgasreinigung zurückgehalten. Daher sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass eine sorgfältige Vermeidung des Eintrags dieser Stoffe in das Abwasser in Anbetracht einer möglichen Weiterverwertung der anorganischen Rückstände (Aschen) auch bei thermischer Klärschlammbehandlung von großer Bedeutung bleiben wird (Petzet & Cornel, 2010).

3 Überlegungen zu einem Gesamtkonzept

Die Wirtschaftlichkeit und Zentralisierungserfordernis einer aufwändigen thermischen Behandlung/Verwertung stehen steigende Transportkosten (Kraftstoffpreise, Maut) sowie ökologische Aspekte (CO₂-Emissionen) gegenüber. Es ist offensichtlich, dass der verfahrenstechnische Aufwand einer thermischen Klärschlammbehandlung bzw. Klärschlammverbrennung wegen der Kostendegression und dem erforderlichen Betriebsaufwand nur bei sehr großen Kläranlagen zu rechtfertigen ist, auch wenn inzwischen Technologien für kleinere Einheiten entwickelt und erprobt werden (Umweltbundesamt Österreich, 2004). Aber auch diese „dezentralen“ Einheiten beginnen derzeit erst ab einer Ausbaugröße von etwa 250.000 EW. Einer Anlagengröße, die in Bayern beispielsweise nur an 17 Standorten überschritten wird (Bayer. LfU, 2008, eigene Auswertung). Bei veränderten Rahmenbedingungen (steigende Energiepreise, Technologieentwicklung, etc.) könnte sich die Rentabilitätsgrenze jedoch zukünftig nach unten verschieben.

Ein wesentlicher Aspekt einer zukünftigen Klärschlammbehandlung für die Vielzahl der kleinen und mittleren Anlagen wird daher der erforderliche Transport zur Weiterbehandlung bei größeren Einheiten werden. Maßgebliches Ziel einer zukünftigen Klärschlammbehandlung bei Anlagen der unteren Größenordnungen ist daher die Verringerung der zu transportierenden Schlammmenge. Dies kann primär durch Wasserentzug (Eindickung bzw. Entwässerung) erreicht werden ~~(Bild 1)~~. Durch den anaeroben Abbau der organischen Trockenmasse in einer Faulung kann zusätzlich eine Mengenreduzierung von etwa einem Drittel der Trockenmasse erreicht werden.

Bei großen Anlagen mit einer thermischen Behandlungseinheit ist lediglich der erforderliche Wasserentzug vor der Verbrennung unabdingbar; ein vorangehender Abbau organischer Trockenmasse kann wegen der Heizwertverminderung möglicherweise sogar kontraproduktiv sein.

Bei Beschränkung auf die thermische Verwertung und Entsorgung des Klärschlammes verändern sich die verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen für die vorausgehenden Behandlungsschritte:

- Die Stabilisierung des Klärschlammes, als notwendiges Kriterium bei landwirtschaftlicher Verwertung, wird – auch aus energetischen Überlegungen – nur noch soweit sinnvoll sein, wie damit bei kleineren Anlagen Transportmasse reduziert und Emissionen vermindert werden können.
- Die maschinelle Eindickung ~~und Entwässerung~~ des Klärschlammes wird für kleinere Anlagen zunehmend an Bedeutung gewinnen.
- Für mittlere und große Anlagen (ohne thermischen Behandlungsschritt) wird die Bedeutung einer optimierten Klärschlammmentwässerung zunehmen, um die zu entsorgende Schlammmenge zu minimieren.
- Eine dezentrale Trocknung des Klärschlammes ist nur dann sinnvoll, wenn kostenlose Abwärme zur Verfügung steht oder die Trocknung mit solarer Energie erfolgen kann (Flaschenverbrauch / Geruchsemissionen).
- Die Verfahrenstechnik der Abwasserbehandlung wird zunehmend auch hinsichtlich der Entwässerbarkeit der anfallenden Schlämme optimiert werden müssen (beispielsweise ist die biologische P-Elimination diesbezüglich kritisch zu betrachten).

Über die o.g. technischen Konsequenzen hinaus ergeben sich zukünftig auch Herausforderungen logistischer und administrativer Art :

- Die Erstellung lokaler und (über)regionaler Konzepte zur Klärschlammbehandlung/-entsorgung unter Berücksichtigung der jeweiligen Erfordernisse und Möglichkeiten ist Grundvoraussetzung für eine wirtschaftliche Entsorgung.
- Der Aufbau eines optimierten Transportsystems mit LKW oder Leitungstransport bei geringen Entfernungen (Hofmann et al., 2010) stufenweise zu zentralen Einheiten, wird erforderlich.
- Eine Anpassung der Infrastruktur (Annahmestationen) und der Schlammbehandlungskapazitäten bei mittleren und größeren Anlagen müsste in den nächsten Jahren zügig erfolgen.
- Dies gilt auch für die erforderliche Infrastruktur zum Schlammweitertransport bei kleineren Anlagen (z.B. Verladestation, Stapelvolumen für Schlamm und Filtratwasser, Strom, Brauchwasser etc.).

Letztendlich muss diese regionale Schlamm Entsorgungsstruktur auch organisatorisch bewältigt werden. Hier bietet sich die Gründung von kommunalen Zweckverbänden an.

Alternativ werden in kurzer Zeit private Unternehmen einen Teil der Transportorganisation und –logistik übernehmen und bestimmen.

4 Konsequenzen für verschiedene Kläranlagenkategorien

4.1 Regionale Entsorgungsnetze

Im Folgenden werden beispielhaft für verschiedene Kläranlagengrößen die Klärschlammbehandlungsoptionen dargestellt, wenn keine Verwertung des Klärschlammes in der Landwirtschaft und beim Landschaftsbau mehr erfolgt. Hierbei sind insbesondere auch die Einflüsse der Schlammbehandlung auf die Abwasserbehandlung durch Prozesswässer zu beachten. Bei der hier gewählten qualitativen Größeneinteilung sind die Grenzen fließend und unterliegen selbstredend den jeweiligen lokalen und (über)regionalen Bedingungen.

Bild 3 verdeutlicht in einfacher Form den Aufbau eines derartigen, regionalen Entsorgungskonzeptes mit Beschränkung auf drei Hierarchiestufen. Während bei kleineren Anlagen der Nassschlammtransport und ggf. eine mobile maschinelle Schlammwässerung (SEW) in Abhängigkeit der Entfernung in Betracht zu ziehen ist, ist eine weitgehende Entwässerung bei mittleren Kläranlagen obligatorisch. Außerdem ist zu entscheiden, ob in direkter Nachbarschaft zu einer Verbrennung eine Schlammstabilisierung unbedingt erforderlich ist.

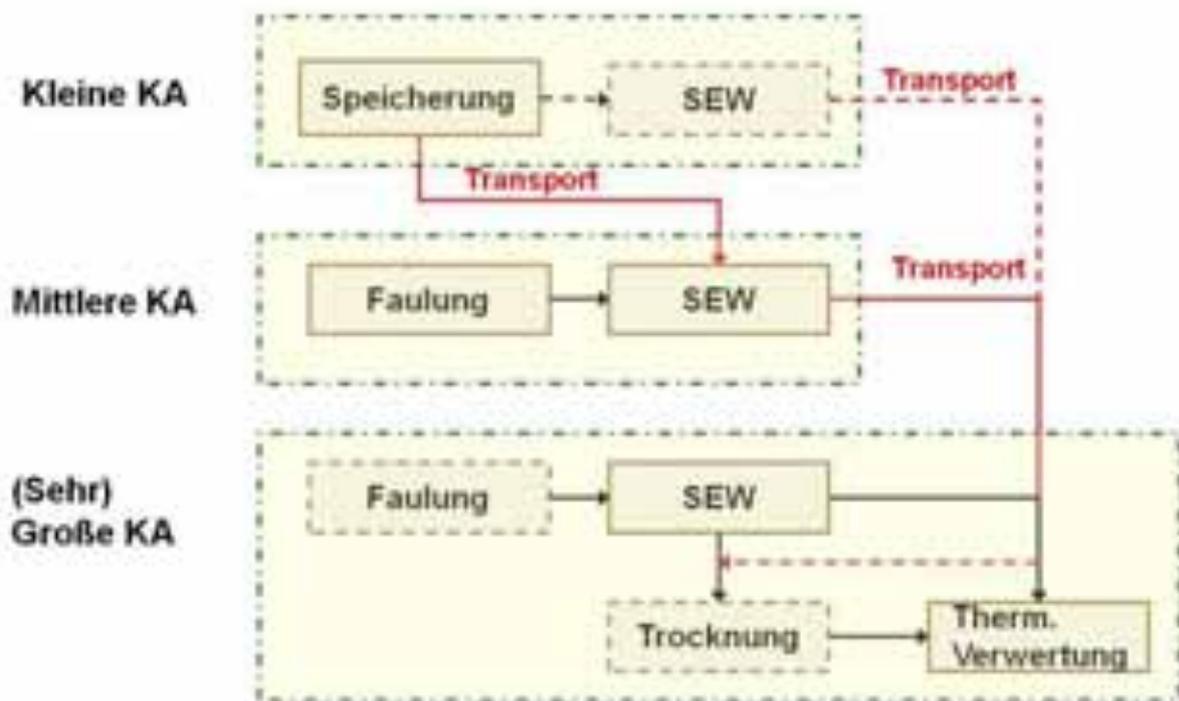


Bild 3 : Aufbau und Struktur eines regionalen Entsorgungskonzeptes

4.2 Schlammbehandlungspfad kleiner Kläranlagen

Bild 4 zeigt ein detaillierteres Blockschema für kleinere Kläranlagen. Hier dominieren derzeit Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (mit hohem Energieeinsatz) und die Schlammstorage in Stapelbehältern.

In Einzelfällen kann auch die mobile Entwässerung genutzt werden, wobei dann ausreichend Schlammstapelvolumen und eine Filtratspeicherung (!) erforderlich ist. Um Stapelvolumen zu verringern und Belastungsspitzen aus Filtrat zu minimieren, ist es auch denkbar, eine einfache maschinelle Überschussschlammeindickung (MÜSE) mit Dickschlamm Speicher zu installieren.

Für Anlagen über 5.000 EW wird es zukünftig möglicherweise schon interessant, kleine stationäre Entwässerungsaggregate einzusetzen. Die Industrie bietet entsprechende Aggregate bereits an.

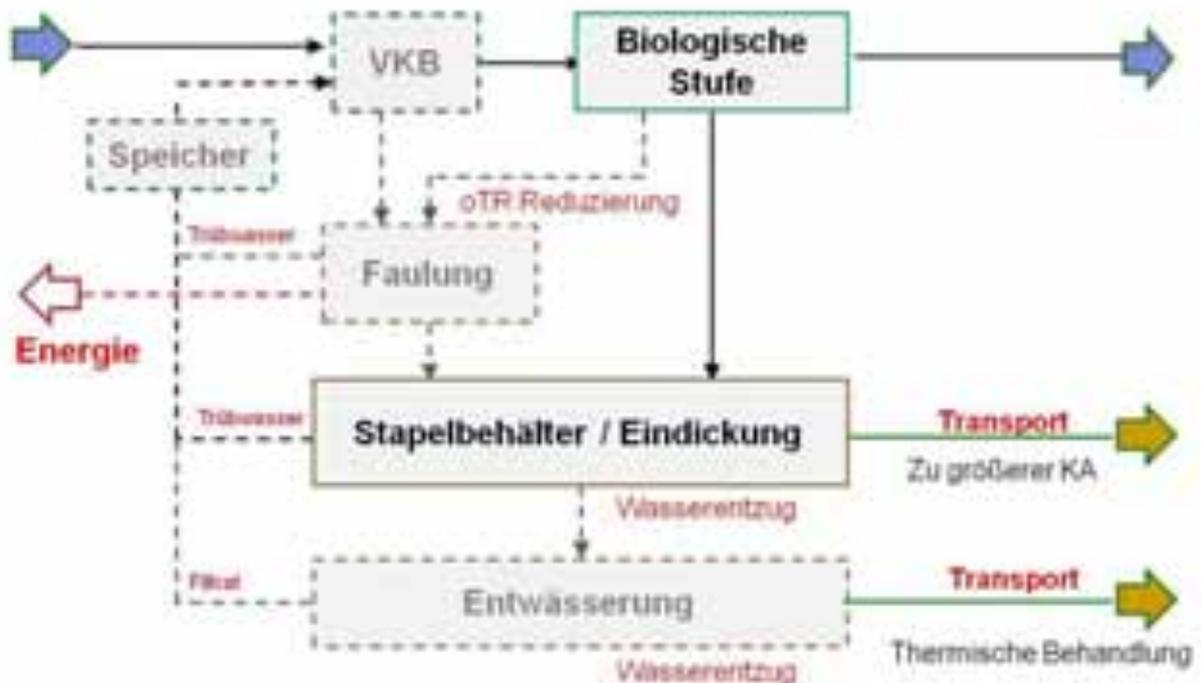


Bild 4: Beispielhafte Darstellung der zukünftigen Schlammbehandlung bei kleineren Kläranlagen

~~In Einzelfällen kann auch die mobile Entwässerung genutzt werden, wobei dann ausreichend Schlammstapelvolumen und eine Filtratspeicherung (!) erforderlich ist. Um Stapelvolumen zu verringern und Belastungsspitzen aus Filtrat zu minimieren, ist es auch denkbar, eine einfache maschinelle Überschussschlammeindickung (mit Dick-schlamm-speicher) zu installieren.~~

~~Für Anlagen über 5.000 EW ist es möglicherweise schon interessant, kleine stationäre Entwässerungsaggregate einzusetzen. Die Industrie bietet entsprechende Aggregate bereits an.~~

Eine einfach aufgebaute Klärschlammfaulung mit Klärgasverwertung in einem BHKW ist erst ab 10.000 EW in Betracht zu ziehen, und dann auch nur wenn eine ganzjährige Auslastung und entsprechend qualifiziertes Personal vorhanden ist (Schreff, 2009). In Anbetracht der steigenden Energiepreise kann sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze auch weiter nach unten verschieben. Dieser Schritt kann sowohl in Hinblick auf Energieeffizienz als auch bezüglich des Schlammanfalls vorteilhaft sein. Es ist aber dabei zu beachten, dass Zentrat bzw. Filtrat aus der maschinellen Faulschlamm-entwässerung mit Stickstoff hochbelastet ist und daher entsprechende Speichermöglichkeiten für die Bewirtschaftung vorzusehen sind. Die Kombination von Faulung mit einer mobilen Schlamm-entwässerung ist daher unbedingt zu vermeiden.

Nur für sehr kleine Anlagen im ländlichen Raum (z.B. analog Größenklassen 1 AbwV, mit Abwasserteichen o.ä.) können naturnahe Kombinationsverfahren zur Eindickung/Entwässerung (z.B. Vererdungsbeete) als Alternative für die Stapelung und den Nassschlammtransport in Betracht gezogen werden. Allerdings wird die eigentliche Entsorgungsaufgabe dabei nur zeitlich verlagert.

4.3 Schlammbehandlung bei mittleren und großen Kläranlagen

Den Schlammbehandlungspfad bei mittleren bis großen Kläranlagen zeigt Bild 5. Hier ist eine Faulung aus energetischen Gründen meist vorhanden. Die Annahme von Fremdschlämmen aus der Region könnte zu einer zukünftigen Aufgabe werden. Diese können – je nach Vorbehandlung - entweder zur Faulung oder zur maschinellen Entwässerung bzw. auch zur Trocknung gebracht werden. Bei zunehmender Mitbehandlung von flüssigen Fremdschlämmen kann es erforderlich werden, die aus der Schlammbehandlung anfallenden Prozesswässer nicht nur zu speichern, sondern diese einer getrennten Behandlung im Teilstrom zu unterziehen, um die erforderliche Stickstoffelimination sicherzustellen (Schreff, 2004).

In dieser Kategorie, die eine sehr große Bandbreite von etwa 10.000 bis etwa 200.000 EW umfassen kann, ist eine anaerobe Stabilisierung zur Minimierung der zu entsorgenden Trockensubstanz und zur lokalen Nutzung des entstehenden Faulgases zur Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll. Die maschinelle Entwässerung des Schlammes ist bei allen diesen Anlagen dann natürlich zwingend erforderlich. Die Bedeutung leistungsfähiger Entwässerungsmaschinen mit hohem Entwässerungsgrad wird zunehmen.

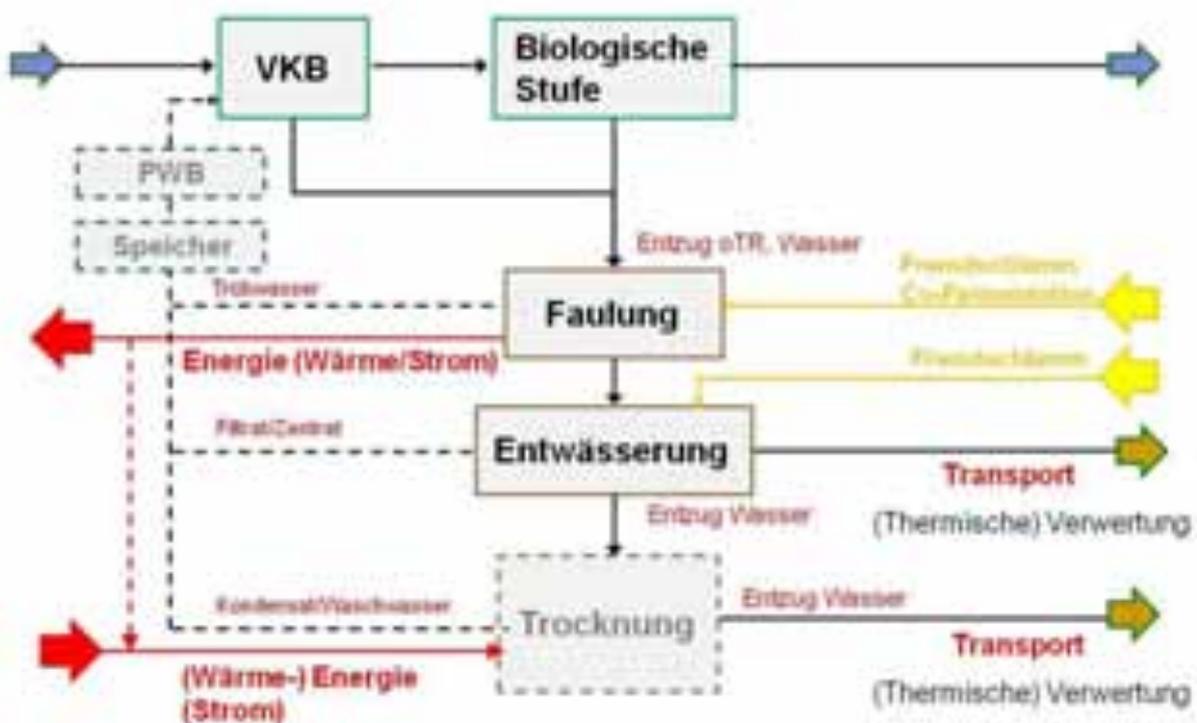


Bild 5 : Beispielhafte Darstellung des Schlammfades in mittleren bis großen Kläranlagen

Die Trocknung ist bei diesen Anlagen unter der Berücksichtigung der weiteren Entsorgung und des Energiebedarfs kritisch auf ihre Wirtschaftlichkeit zu überprüfen. Bild 5 beinhaltet die optional mögliche Nutzung des Faulgases oder der BHKW-Abwärme zur Trocknung. Allerdings wird dies in vielen Fällen nur unter Verzicht einer vollständigen Verwertung des Gases zur Stromerzeugung möglich sein. In Einzelfällen kann die Wirtschaftlichkeit einer Trocknung nachgewiesen werden, insbesondere wenn ausreichend Abwärme verfügbar ist und das Trockengut zu günstigen Preisen als Sekundärbrennstoff verwertet werden kann (z.B. Zementindustrie). Eine [unvoreingenommene](#), unabhängige Kostenvergleichsrechnung im Rahmen eines Gesamtkonzeptes ist vor Realisierung einer Trocknungsanlage dringend anzuraten.

4.4 Schlammbehandlungspfad bei sehr großen Kläranlagen mit thermischer Behandlungsstufe

Eine beispielhafte Darstellung des Schlammpfades bei sehr großen Kläranlagen mit thermischer Behandlungsstufe (mind. größer als 250.000 EW) zeigt Bild 6. Wie bereits erwähnt, ist bei einer Verbrennung am Standort der Kläranlage eine anaerobe Stabilisierung mit Faulgasgewinnung nicht notwendigerweise vorzusehen. Wie die Erfahrungen einiger Monoverbrennungsanlagen zeigen (Hiller, 2006), kann die weitgehend selbstgängige Klärschlammverbrennung ohne Faulung wirtschaftlich sein und Vorteile bieten. Andere Beispiele in Bayern (Klärwerk München I, KVA) dagegen wählen den Weg über die Faulung und Faulgasnutzung. Beide Verfahren haben sich gut bewährt. Letztlich ist dies auch eine Frage der historischen Entwicklung einer Anlage.

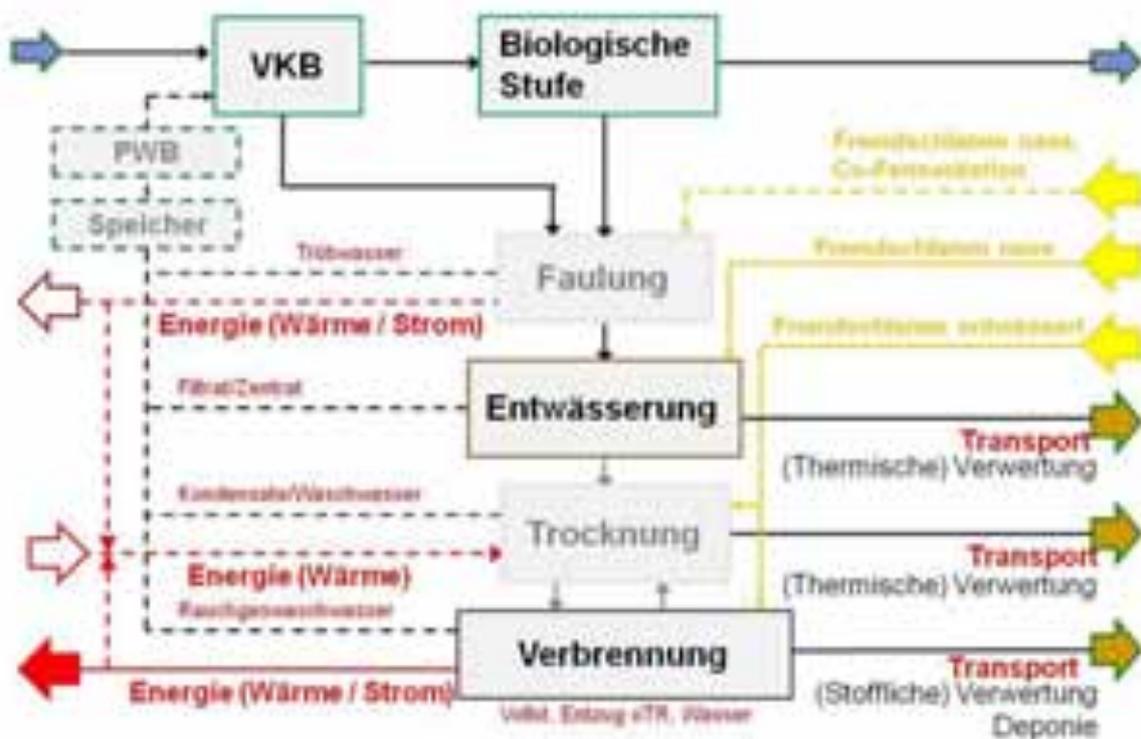


Bild 6 : Beispielhafte Darstellung des Schlammpfades bei sehr großen Kläranlagen mit thermischer Behandlungsstufe

Im Bild 6 wird die Kopplung der Energieströme aus Faulung und Verbrennung mit einer thermischen Vortrocknung vor der Verbrennung dargestellt. Die aus der Verbrennung resultierenden Wärme kann zur Trocknung direkt am Standort genutzt werden und es ist möglich, aus der Abhitze der Verbrennung über eine (Dampf-)Turbine Strom zu erzeugen.

Im Rahmen eines regionalen Entsorgungskonzeptes sollten diese sehr großen Anlagen neben flüssigen Fremdschlämmen kleinerer Kläranlagen auch entwässerte Schlämme aus anderen Klärwerken aufnehmen können. Geeignete Annahmestationen sind vorzusehen.

Es wäre langfristig wünschenswert, wenn zukünftige Verbrennungskapazitäten an den Standorten der großen Kläranlagen errichtet werden könnten um die Kosten des Transports großer Mengen entwässerten Schlammes zu vermeiden. Wenn alle Kläranlagen > 300.000 EW in Bayern mit einer thermischen Behandlung oder Verbrennung ausgerüstet wären, müsste der Hauptanteil des Gesamtklärschlammaufkommens in Bayern nicht mehr zu Verbrennungsanlagen transportiert werden.

Ebenso wie bei den mittleren Kläranlagen ist bei Fremdschlammannahme darauf zu achten, dass durch die Rückbelastungen der Schlammbehandlung (Filtrate, Kondensate und Waschwässer) keine Stickstoffüberlastung der Abwasserreinigung erfolgt. Gegebenenfalls ist eine separate Prozesswasserbehandlung erforderlich, wie dies in verschiedenen größeren Anlagen bereits verwirklicht ist. [Durch den Einsatz der Deammonifikation als energie günstiger Prozess zur Stickstoffelimination kann dies zumindest energieneutral erfolgen \(Literaturstelle ?Grömping, 2009\).](#) Bei Anlieferung vorwiegend entwässerter Schlämme ist die Rückbelastung jedoch verhältnismäßig gering.

5 Zusammenfassung

Unter Annahme des Szenario „Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung“ ergeben sich Folgen für die Verfahrenstechnik der Abwasser- und Klärschlammbehandlung sowie die Organisation der Klärschlamm Entsorgung. Für die vielen sehr kleinen, kleinen und mittleren Kläranlagen wird es unumgänglich, sich im Rahmen von regionalen Lösungen zu organisieren, um geeignete Vorbehandlungsschritte durchführen und verfügbare Transportvarianten optimal nutzen zu können. Bei kurzen Transportwegen zur nächsten Verbrennungsanlage erübrigen sich derartige Überlegungen.

Mittlere und größere Kläranlagen müssen sich darauf einstellen, vermehrt Fremdschlämme aus kleinen Kläranlagen zur Weiterbehandlung zu übernehmen. Hierbei sind im Rahmen der regionalen Konzepte sowohl die verfügbaren Kapazitäten und die hierfür erforderliche Infrastruktur in die Überlegungen mit einzubeziehen. Die Auswirkungen auf die Abwasserbehandlung sind zu beachten (u.a. Prozesswasserbehandlung).

Die Betreiber vorhandener Klärschlammverbrennungsanlagen werden sich ebenfalls auf eine steigende Nachfrage kleinerer und mittlerer Kläranlagen zur Fremdschlamm-anlieferung vorbereiten müssen. Bei der Installation neuer, zusätzlicher Verbrennungskapazitäten ist auf den regionalen Bedarf und die Verkehrssituation zu achten.

Aus verfahrenstechnischer Sicht wird sich der Schwerpunkt der Schlammvorbehandlung von der weitgehenden Stabilisierung auf die Massen- und Volumenverringering vor dem Transport zu einer weiteren Behandlungsstufe verschieben.

Bei Kläranlagen, die eine eigene Verbrennung besitzen, ist eine Klärschlammstabilisierung mit damit einhergehender Verminderung des Heizwertes der Schlamm-trockenmasse nicht unbedingt erforderlich. Hier ist im Einzelfall zu prüfen, ob nicht eine direkte Verbrennung des entwässerten Rohschlammes zu einer günstigeren Energiebilanz führt. Geruchsemissionen aus der Rohschlammbehandlung müssen dann aber sicher vermieden werden können.

Bei kleineren und mittleren Anlagen mit entsprechenden Flächen ist der Einsatz einfach ausgeführter Solartrocknungsanlagen (ohne Zusatzbeheizung) im Einzelfall zu prüfen.

Die technische Klärschlamm-trocknung wird als dezentrale Verfahrenstechnik nur dort wirtschaftlich einsetzbar sein, wenn dies mit autarker Wärmeversorgung möglich ist. Aus betrieblichen Gründen kommt dies aber nur für größere Kläranlagen in Frage. Dazu ist in den meisten Fällen die Annahme vom Fremdschlamm und Co-Substraten (Ziel: Erhöhung der Eigenstromversorgung in BHKW) oder alternativ die kostenneutrale Abwärmeverwertung einer benachbarten Biogasanlage oder eines Biomassekraftwerks notwendig. Voraussetzung ist dann die Verwertung der getrockneten Klärschlamm-pellets („Wertstoff“) in einem Zementwerk als Sekundärbrennstoff oder die Anlieferung zu einer externen Klärschlamm-Monoverbrennung mit dem langfristigen Ziel einer nachfolgenden Verwertung der Aschen oder einer P-Rückgewinnung.

Insbesondere vor dem Hintergrund der Entsorgungssicherheit als kommunale Aufgabe wäre die hier beschriebene, hierarchische Struktur sinnvoll. Fraglich ist die politische Durchsetzbarkeit solcher Lösungen vor dem Hintergrund der jeweiligen lokalen bzw. überregionalen Situation. In diesem Zusammenhang wird die Notwendigkeit einer überregionalen Koordination sichtbar. Die Übernahme einer ~~Eine~~ derartigen Lenkungs-funktion von Seiten der Landesregierungen zu übernehmen, erscheint sinnvoll. erscheint daher nicht unsinnig.

6 Literatur

Bernhard, O. (2006): Klärschlamm-entsorgung am Beispiel des Freistaates Bayern, in : Pinnekamp/Friedrich (Hrsg.) : Klärschlamm-entsorgung : eine Bestandsaufnahme, FiW Verlag, Aachen, April 2006

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008: Neue Entsorgungswege für den bayerischen Klärschlamm – technische Möglichkeiten und Erfahrungsberichte -, LfU, Augsburg, 2006

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008) : Gewässerschutz in Bayern, Abwasseranlagen, Lagebericht 2006, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2008
- DWA (2003) : Stand der Klärschlammbehandlung und –entsorgung in Deutschland, Ergebnisse der DWA-Klärschlammhebung 2003, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef, Oktober 2005
- Bergs, C-G. (2008) : Voraussichtliche Hauptpunkte der (novellierten) Klärschlammverordnung, 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, GWA Nr. 211, Aachen 2008
- Böhm, R. (2008) : Sind Hygieneanforderungen an Klärschlamm bei seiner stofflichen Nutzung zeitgemäß und notwendig ?, 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, GWA Nr. 211, Aachen 2008
- Umweltbundesamt GmbH (2004) : Dezentrale Klärschlammverbrennung, von I.Kügler, A. Öhlinger, B. Walter, BE 260, Umweltbundesamt GmbH, Wien 2004
- Hiller G. (2006) : Klärschlamm-Mono-Verbrennung in der Wirbelschicht beim Zweckverband „Klärwerk Steinhäule“, Neu Ulm, in : Bayerisches Landesamt für Umwelt : Neue Entsorgungswege für den bayerischen Klärschlamm – technische Möglichkeiten und Erfahrungsberichte -, LfU, Augsburg, 2006
- Schreff, D. (2004): Prozesswasserbehandlung mit dem SBR-Verfahren - Betriebserfahrungen auf der Zentralkläranlage Ingolstadt. 8. VDMA-Tagung „Innovative Anlagen zur biol. Abwasser- und Schlammbehandlung“, Frankfurt/M., November 2004
- Petzet & Cornel (2010) Neue Wege des Phosphorrecyclings aus Klärschlammaschen, KA 2010 (57) Nr. 4, S. 357ff.
- Hofmann, Klinger, Maier, Wacker und Butz (2010) Alternative Klärschlammbehandlung – Ergebnisse einer Fallstudie für das untere Fils- und Körschtal, KA 2010 (57) Nr. 5, S. 452ff.
- Schreff (2009) Wirtschaftliche Überlegungen zum Einsatz der Faulung, 5. Frankfurter Abwassersymposium, TAH (2009)
- [Grömping \(2009\) Stickstoffrückbelastung – Stand der Technik 2009, Tagungsband zur 7. Aachener Tagung, Hannover 2009](#)