

## KOMMUNALER KLÄRSCHLAMM

### RELEVANZ DES ABFALLSTROMS

- Aus kommunalen Abwässern anfallende Schlämme verfügen über Stoffgehalte die düngende und bodenverbessernde Wirkung haben können, außerdem bilden der Energiegehalt und Substanzen wie bspw. Phosphor nutzbare Ressourcen. Wiederum sind andere Schlammkomponenten für Boden und Grundwasserkörper potenziell schädlich oder können pathogene Wirkung auf Organismen entfalten. Somit bedarf es bei der Nutzung des Klärschlammes besonderer Schutzmaßnahmen und Vorkehrungen. Teilweise können Behandlungsoptionen die auch auf Siedlungsabfälle angewandt werden bzw. mit Siedlungsabfällen kombinierte Verfahrensvarianten die Verwirklichung beider Zielstellungen unterstützen.
- Der Abfallstrom unterliegt speziellen Regelungen im Bereich der Europäischen Union.

### ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Bei dem durch die kommunale Abwasserbehandlung erzeugten Klärschlamm wird grundsätzlich wie folgt differenziert:

- *Primärschlamm* – ist der in den mechanischen Reinigungsstufen aufgrund physikalischer Vorgänge, z.B. über Sedimentierung entstehende Schlammanteil. Dieser stellt den Großteil des Gesamtschlammvolumens in Abwasserreinigungsanlagen dar. Der Feststoffanteil liegt bei etwa 2,5–3 %, der Rest sind wässrige Verbindungen.
- *Rücklaufschlamm* – ist ein im Prozess der biologischen Behandlung entstehender Schlammanteil. Grundsätzlich bildet er sich zusammen mit dem sogenannten Sekundär- oder Überschussschlamm aber stellt dabei die sich über Setzungsprozesse in der Zwischen- und Nachklärstufe abscheidende Biomassesuspension dar, welche nach Abzug aus den genannten Stufen wieder in die Belebungsbecken zurückgeführt und dort gegebenenfalls weiter metabolisiert bzw. vollständig umgesetzt wird.
- *Sekundär- oder Überschussschlamm* – ist jener Anteil des in der biologischen Abwasserbehandlungsstufe anfallenden Schlammes der nicht erneut dem biologischen Klärprozess zugeführt wird sondern in dessen Anschluss zurück bleibt. Dieser Schlamm enthält nur noch rund 0,5–1 % an Feststoffen, weshalb zur weiteren Aufbereitung i.d.R. eine Aufkonzentration bzw. Vermischung mit Primärschlamm erfolgt.

Primär- und Überschussschlamm bilden demzufolge jenes Klärschlammvolumen, welches nur noch aus Gründen der Nutzung oder Entsorgung einer weiteren Nachbehandlung unterzogen wird und damit Betrachtungsgegenstand der folgenden Darstellungen ist. Gelegentlich auch als *tertiärer Schlamm* bezeichnet ist es quantitativ und qualitativ auch die Schlammmenge, welche von Abwasserreinigungsanlagen nach durchgeführter Phosphorreduzierung (die bspw. durch Ausfällung mittels Eisen-/Aluminiumsalzen oder Kalkmilch erfolgt) im Sinne eines effizienten und sicheren Abfallmanagements zu handhaben ist. Dabei ist zu beachten, dass dieser Schlamm über Inhaltsstoffe wie Schwermetalle, pathogene Erreger und endokrin wirksame Substanzen verfügt, die aufgrund ihrer Umweltschädlichkeit besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Gleichzeitig soll ein Verlust an ebenfalls enthaltenen wertvollen Komponenten, wie bspw. Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumverbindungen als wichtigen Pflanzennährstoffen weitgehend vermieden und, soweit möglich, auch der Energiegehalt genutzt werden.

Dies lässt erkennen, dass Klärschlamm nicht nur als ein Abfall und Mehrstoffgemisch sondern auch als eine multipel nutzbare Ressource zu betrachten ist. Inhomogenität und teils sehr divergierende Gehalte an Inhaltsstoffen sind charakteristische Merkmale des Klärschlammes, hierdurch sind Angaben zu einer standardisierten oder Durchschnittszusammensetzung schwierig und nur mit höchstem Vorbehalt zu behandeln (siehe Tabelle 1 a+b+c).

Tabelle 1a: Orientierungswerte für die stofflichen Eigenschaften von kommunalen Klärschlamm

Grundeigenschaften	Einheit der Wiedergabe	ungefährer Wertebereich (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)
pH-Wert		7,7
Glühverlust	%	45–80
Nettoheizwert	MJ/kg Trockenrückstand (TR)	10–12

Tabelle 1b: Orientierungswerte für die stofflichen Eigenschaften von kommunalen Klärschlamm

Stoffgehalte des Klärschlammes die besonderen nährstofflichen Wert besitzen	ungefährer Wertebereich in g/kg Trockenmasse (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)
Phosphor (P)	2–55
Magnesium (Mg)	9–9,5
Kalzium (Ca)	70
Kalium (K)	2–3
Kobalt (Co)	6–7
Molybdän (Mo)	3,5–4

Der überwiegende Teil der organischen Substanz am Klärschlamm ist bakteriellen Ursprungs und dadurch chemisch unbedenklich und aus den Bestandteilen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel bestehend. Darüber hinaus gibt es aber auch kritische organische Verbindungen, die bedenklichsten sind dabei polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/F), halogenorganische sowie zinn-organische Verbindungen. Ebenfalls i.d.R. im Klärschlamm enthalten sind Tenside und polizyklisch-aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Die vorgenannten kritischen organischen Inhaltsstoffe haben ihren Ursprung meistens von ins Abwasser gelangten Haushaltsprodukten und -reinigern. Weitere Herkunftsquellen sind pharmazeutische Artikel sowie Holzschutzmittel und ölhaltige Substanzen. Schwermetallverbindungen im kommunalen Klärschlamm sind wiederum vor allem auf Freisetzungen und Abwaschungen von Straßen und Oberflächen anthropogen erzeugter Strukturen zurückführbar.

Tabelle 1c: Orientierungswerte für die stofflichen Eigenschaften von kommunalen Klärschlamm

Substanzen im Klärschlamm	meist in folgenden Konzentrationsbereichen pro kg Schlamm-trockenmasse vorliegend (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)						
	> 300 mg	> 100 – 300 mg	> 50 – 100 mg	5 – 50 mg	1 – < 5 mg	0.1 – < 1 mg	< 0.1 mg
Antimon (Sb)				x			
Arsen (As)				x			
Blei (Pb)			x				
Kadmium (Cd)					x		
Chrom (Cr)			x				
Kupfer (Cu)	x						
Mangan (Mn)	x						
Nickel (Ni)				x			
Selen (Se)					x		
Thallium (Th)						x	
Vanadium (V)				x			
Quecksilber					x		
Zink (Zn)		x					
Zinn (Sn)			x				
AOX	x						
PCDD/F							x
PAK						x	

Substanzen im Klärschlamm	meist in folgenden Konzentrationsbereichen pro kg Schlamm-trockenmasse vorliegend (Bezug nehmend auf Angaben verschiedener Quellen)						
	> 300 mg	> 100 – 300 mg	> 50 – 100 mg	5 – 50 mg	1 – < 5 mg	0,1 – < 1 mg	< 0,1 mg
DEHP				x			
polybromierte Diphenylether							x
polychlorierte Biphenyle (PCB)							x
Lineare Alkylbenzolsulfonsäuren (LAS)					x		

Pathogene Bestandteile und Keime verursacht durch die Präsenz von Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeiern sind weitere Inhaltsstoffe von Klärschlamm. Ihre Gefährlichkeit liegt in der gesundheitsgefährdenden Wirkung auf menschliche und tierische Organismen welche insbesondere durch Aufnahme über die Haut oder Nahrungskette hervorgerufen werden kann. Das ultimative Ziel der Behandlung und des weiteren Managements von Klärschlamm ist daher die potenziell schädlichen Bestandteile und deren Wirkungsspektrum zu minimieren und gleichzeitig weitestgehenden Nutzen aus der Ressource zu ziehen.

**RECHTS-GRUNDLAGEN BZW. REFERENZ-DOKUMENTE MIT GELTUNG FÜR EU**

Für die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ist der Rechtsrahmen für die Verwendung von Klärschlamm aus der Behandlung von Siedlungsabwässern auf landwirtschaftlich genutzten Böden oder sonstigen Flächen durch die Council Directive 86/278/EEC über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft gesetzt.

Die genannte Verordnung befindet sich seit geraumer Zeit in einem Prozess intensive Debatten und veränderter ordnungsrechtlicher Überlegungen. Dies erfolgt mit dem Ziel sowohl neuen Erkenntnissen, insbesondere zur Gefährlichkeit und zur Wirkungsspanne bestimmter Inhaltsstoffe, wie auch inzwischen vorhandenem Technologiefortschritt und verbesserten Analysemöglichkeiten zukünftig angemessene Beachtung zu geben. Vereinzelt haben Länder bereits damit begonnen, ihre nationalen Regeln und Konzeptionen für die Klärschlamm-entsorgung an diese neue Kenntnislage anzupassen, hierzu zählt auch Deutschland. Zu den dabei getroffenen Entscheidungen gehören u.a. die schrittweise Abkehr oder sogar Totalverbote der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm oder auch die zunehmend verpflichtende Rückgewinnung von Phosphor sowohl aus Abwasser als auch dem Klärschlamm oder dessen Behandlungsresten, wie bspw. der Verbrennungsgasche.

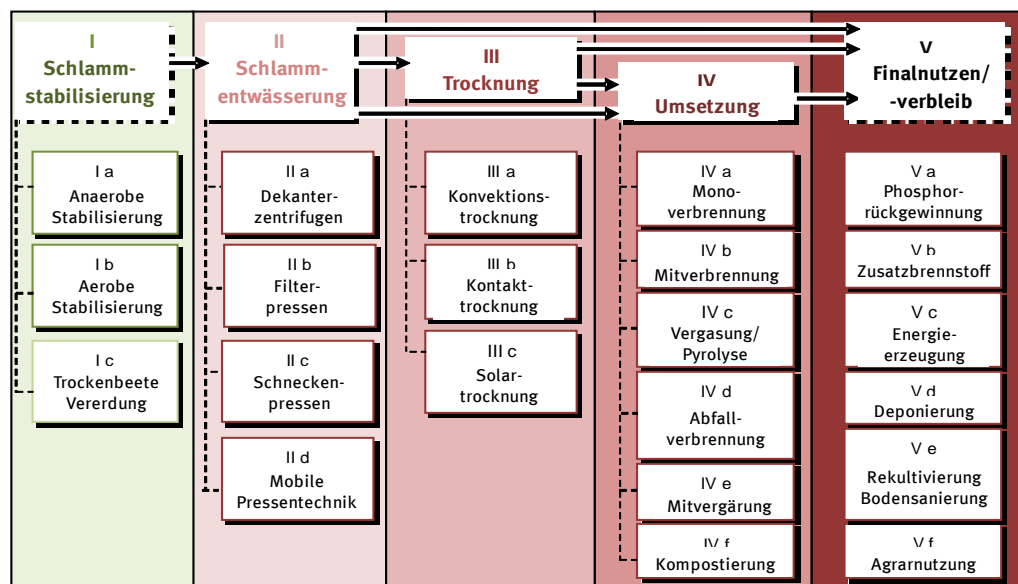
**WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM**

Durch eine Behandlung des Klärschlammes gilt es sicherzustellen, dass potenziell gefährliche Inhaltsstoffe auf ein unkritisches Niveau reduziert werden oder dafür eine Form der sicheren Entsorgung erfolgt wo aber die Nutzeffekte dieser Ressource weitestgehend zur Ausschöpfung gelangen sollen. Notwendige Grundschritte für eine effiziente Behandlung und anschließende Verwertung bzw. Entsorgung sind eine angemessene Eindickung, Stabilisierung sowie Entwässerung des Klärschlammes an den Kläranlagen. Eindickung und Entwässerung sind nach Maßgabe der nachfolgenden Behandlungsschritte vorzunehmen. Optimale Behandlungs- und Verwertungsergebnisse lassen sich insbesondere erzielen, wenn eine entsprechend angepasste Voraufbereitung des Schlammes durchgeführt wird.

Sowohl die stoffliche als auch die energetische Nutzung aber auch eine Ablagerung des Klärschlammes machen verschiedene Vor- bzw. Nachbehandlungsschritte notwendig. Zunächst aber kann und sollte der Anfall an Überschussschlamm in den Abwasserreinigungsanlagen durch optimale Verfahrensführung und mögliche Zusatzmaßnahmen zum Zwecke niedrigeren Behandlungs- und Kostenaufwandes minimiert werden.

Für die jeweiligen Behandlungsschritte existieren im Allgemeinen mehrere Verfahrensoptionen und Technologien die sich auch je nach Zielstellung teilweise ersetzen können oder miteinander verknüpft zur Anwendung gelangen. Eine grundsätzliche Übersicht hierzu gibt Abbildung 1.

Abbildung 1: Überblick zu den Hauptbehandlungstechniken u. -kombinationen für Klärschlamm



Für alle Behandlungsschritte sind die Betriebsführung, Schutz- und Überwachungsmaßnahmen, einschließlich analytischer Kontrollmessungen darauf auszurichten, dass Risiken durch gefährliche Bestandteile und Behandlungsprodukte minimiert bzw. ausgeschlossen werden. Dafür sind kritische Kontrollparameter und Richtwertdaten für jeden Prozess/jedes Produkt festzulegen und zu erfassen und bei der Betriebsführung entsprechend zu berücksichtigen bzw. zu deren Optimierung einzusetzen. Einen Überblick zur prozessspezifischen Relevanz verschiedener Parameter gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Relevanz verschiedener Parameter für Schlammbehandlungs/-entsorgungsprozesse

Parameter	Methode der Klärschlammbehandlung und -entsorgung												
	Sedimentierung	Stabilisierung				Eindickung	Entwässerung	Trocknung	Transport	Verbrennung	Kompostierung	Agrarische Nutzung	Deponierung
		aerob	anaerob	chemisch	thermal								
Temperatur		x	x			x	x		x	x			
Dichte					x		x	x					
Viskosität/Fließverhalten						x	x	x	x		x	x	
Absetz-/Eindickverhalten	x				x	x							
Feststoffkonzentration	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Glühverlust		x	x	x				x	x	x	x	x	
Vergärbarkeit			x										
pH-Wert		x	x	x			x			x	x		
flüchtige Säuren			x										
Fett-/Ölgehalt		x	x									x	
Schwermetallkonzentration			x						x	x	x	x	
Nährstoffkonzentration		x	x							x	x		
Partikelgröße	x				x	x							
Kapillardruck (CST)					x	x							
Spezifischer Widerstand					x	x							
Komprimierbarkeit						x							
Filtrier-/Zentrifugierbarkeit						x							
Kalorischer Wert									x				
Auslaugbarkeit												x	
Mikrobieller Zustand		x	x							x	x		

Quelle: ISWA/EEA, 1997

<p>GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS- WEGE UND -STRATEGIEN</p>	<p>Da Klärschlamm durch mechanische und biologische Vorgänge bei der Abwasserreinigung entsteht, fällt er in erster Linie an den Abwasserreinigungsanlagen, also größtenteils kommunalen Kläranlagen an. Eine spezielle Sammlung bzw. Erfassung entfällt insoweit die Klärschlammbehandlung daher zunächst zumeist direkt am Entstehungsort, d.h. dem Anlagenstandort erfolgt.</p> <p>Gewisse Mengen an Abwasser- und Fäkalschlämmen werden jedoch unter Umständen bzw. in bestimmten Gegenden auch in häuslichen Sammelgruben, Tanks oder Kleinstkläranlagen erzeugt und bedürfen dann zur Weiterbehandlung einer Einsammlung und des Transportes zu geeigneten Anlagen. Hierzu werden spezielle Saugtankfahrzeuge eingesetzt die zur Aufnahme der häufig sehr flüssigen Schlämme über mitgeführte Pumpen und Saugrüssel und deren verlustfreien Transport in der Lage sind.</p>
<p>GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS- WEGE UND -STRATEGIEN</p>	<p>Die Behandlungsmethoden für Klärschlamm umfassen Prozesse zur Schlammeindickung, biologischen Stabilisierung, Entwässerung, Trocknung und stofflichen Umwandlung an deren Ende die Hygienisierung, Schadstoffimmobilisierung bzw. Mineralisierung der organischen Bestandteile steht. Es gilt hervorzuheben, dass jeder Prozessschritt und jede Verfahrensvariante mit spezifischen Vor- und Nachteilen verbunden ist (die sich auch auf die anschließenden Optionen zur Weiterbehandlung oder Verwertung erstrecken können) und deshalb kein Behandlungsweg als die ideale und stets vorzuziehende Lösung angesehen werden kann. Elementar wichtig ist, dass bei der Behandlungsentscheidung und Wahl an Entsorgungslösungen und Technik neben den umweltbezogenen und wirtschaftlichen Auswirkungen auch die jeweiligen lokalen Bedingungen und Bedürfnisse mit betrachtet und einbezogen werden.</p> <p><u>Schlammeindickung:</u></p> <p>Zweck der Eindickung ist die Reduzierung des Schlammvolumens durch einen ersten Entzug von Flüssigkeit. Eindicker können, wie im Fall von Sedimentationstanks, so gestaltet sein, dass die ungelösten Bestandteile auf den Grund absinken können und dort zu einer Aufkonzentration der Feststoffe führen. Bei anderen Auslegungsvarianten der Eindickung wird eine einfache mechanische Verdichtung des Schlammes herbeigeführt (bspw. durch das Passieren von Scheiben oder Schneckengängen) wodurch Flüssigstoff vom Gesamtmaterialfluss abgesplittet wird.</p> <p>Die Verringerung des Schlammvolumens ist vor allem aus Gesichtspunkten einer effizienteren Auslastung von Lager- und Transportkapazität sowie einer niedrigeren Behandlungsmenge wichtig. Nach der Eindickung kann eine weitere Behandlung des Rohschlammes im Regelfall nur unterbleiben, wenn dieser sofort unmittelbar in eine zur Frischschlammverbrennung ausgelegte Anlage übergeben wird.</p> <p><u>1. Stabilisierung:</u></p> <p>Die Klärschlammstabilisierung kann chemische, biologische und thermische Methoden einschließen. Stabilisierter Schlamm mit verringerten Schadstoffgehalten bietet eine deutlich erhöhte Sicherheit, auch was den breiteren Zugang zu unterschiedlichen Entsorgungsoptionen und die Abnahmebereitschaft anbelangt. Hauptziele der Stabilisierung sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- verringertes Reaktionspotenzial des Schlammes;</li> <li>- reduziertes Schlammgesamtvolumen und Feststoffabbau;</li> <li>- verbesserte Entwässerungseigenschaften;</li> <li>- mögliche Biogasgewinnung und -nutzung, allerdings zu Lasten einer Heizwertreduzierung beim stabilisierten Schlamm;</li> </ul> <p>Schaffung einer Zwischenspeichermöglichkeit und eines Pufferbereiches zur Vergleichmäßigung des Behandlungsprozesses.</p> <p>Für die verschiedenen Klärschlammverwertungsoptionen wird ein unterschiedliches Stabilisierungsniveau benötigt bzw. vorausgesetzt. Prinzipiell wird davon ausgegangen oder empfohlen, dass:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- eine Stabilisierung von Schlamm der thermischen Prozessen zugeführt oder biologischen Umwandlungsprozessen unterworfen wird nicht zwingend erforderlich ist (insoweit nicht aus Gründen von Transporten, Lagersicherheit oder Geruchsvermeidung diesbezüglich Forderungen gestellt werden).</li> </ul>

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS- WEGE UND -STRATEGIEN –FORTSETZUNG–

- für den landwirtschaftlichen Einsatz (unabhängig vom Feststoffgehalt im Moment der Verwertung) der Schlamm vollständig stabilisiert ist.
- für den landschaftsbaulichen Einsatz (bei geringerem Feststoffgehalt im Moment der Verwertung) der Schlamm vollständig stabilisiert ist.
- für den Einsatz entwässerten Schlammes zur Rekultivierung oder im Landschaftsbau wenigstens ein semistabilisierter Zustand herbeigeführt wurde.
- bei Notwendigkeit und Zulässigkeit der Deponierung von Klärschlamm als Minimalvoraussetzung eine Schlammmentwässerung oder auch -trocknung sowie eine partielle bis vollständige Stabilisierung (je nach vorhandener Technik) durchzuführen ist.

Die Stabilisierung durch Einsatz chemischer Hilfsstoffe, insbesondere Ätzkalk, gestattet zwar eine relative schnelle aber nicht zwingend durchgehende und dauerhafte Stabilisierung und hat damit nicht die gleiche Wirksamkeit wie sie mit biologischen Prozessen erzielbar ist. Bei den biologischen Stabilisierungsverfahren gilt es insbesondere eine Unterscheidung zwischen sauerstoffgestützten Prozessen (Aerobverfahren) und solchen unter weitestgehendem Sauerstoffabschluss (Anaerobverfahren) zu machen. Chemische oder thermisch gestützte Hydrolyse als vorgeschaltete oder prozessintegrierte Maßnahme beim Einsatz von Anaerobverfahren hilft eine höhere Biogasausbeute und ein besseres Stabilisierungsergebnis herbeizuführen. Dahingegen sind bei Absicht zur Schlammverbrennung Anaerobverfahren kontraproduktiv, da sie für eine Heizwertverringerung sorgen.

Tabelle 3: Wesentliche Merkmalsunterschiede der biologischen Stabilisierungsverfahren für Klärschlamm

	Anaerobverfahren	Aerobverfahren
Wesentliche Prozessmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organische Fracht und damit auch das Schlammvolumen werden durch biologischen Abbau unter Luftausschluss (anaerobe Vergärung) vermindert.</li> <li>• Diese Stabilisierungsmethode wird üblicherweise in Gärbehältern (bzw. Faultürmen) in einem mesophilen (30-38°C) oder auch thermophilen (49-57°C) Temperaturbereich vollzogen und beansprucht eine Zeit von 20-30 Tagen.</li> <li>• Methangas (bzw. Biogas) wird quasi als Nebenprodukt erzeugt und kann energetisch genutzt werden.</li> <li>• Die Koppelung der erzeugten Energie und Hitze, die bei der Verbrennung des Biogases freigesetzt wird, im Einsatz für eine Klärschlamm-trocknung bildet eine höchst effiziente und ökonomisch sinnvolle Lösung.</li> <li>• Zusätzlicher Effekt der Vergärung ist ein verbessertes Entwässerungsverhalten des Restschlammes.</li> <li>• Die spezifischen Investitionsbeträge bei klassischen eiförmigen Gärtürmen belaufen sich auf Größenordnungen zwischen 600-1000 EUR/m<sup>3</sup> Gärvolumen; der Personalausatz aufwand pro Anlage liegt bei etwa 8-10 Std./Monat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im Schlamm enthaltene Mikroorganismen werden durch Zugabe von Luftsauerstoff stimuliert und setzen dadurch die organischen Bestandteile zu humusartigen Produkten und Mineralstoffen um.</li> <li>• Mit verschiedenen Belüftungstechniken (z.B. Zentrifugalgebläse, Rotationsbürsten, Flügelrädern oder anderen Lüfter-aggregaten wie bspw. Membranbelüfter) ausgestattete und betriebene Aktivierungsbecken sorgen für optimale mikrobiologische Stimulierung und Aktivität.</li> <li>• Alternativmöglichkeiten für diese Art von forciertem Stabilisierungsprozess bestehen in der Schlammkompostierung (siehe Datenblatt „<u>Kompostierung</u>“) oder Klärschlamm-vererdung (bzw. durch Nutzung von speziell ausgelegten Schilfbeeten).</li> <li>• Das ungefähre Investitionsvolumen in eine Klärschlammvererdungsanlage liegt in Deutschland bei 60 EUR/m<sup>2</sup> Gesamtbehandlungsfläche (alle Nebeneinrichtungen und Begleitstrukturen inkludiert).</li> </ul>

Mittels Einsatzes einer Nitrifikationskaskade kann der Stabilisierungserfolg und die Verminderung von unerwünschten Stoffkonzentrationen zusätzlich unterstützt werden, hiervon profitiert besonders ein anschließendes aerobes Verfahren. Ebenfalls schon bei der Stabilisierungsstufe zu berücksichtigen ist die Anwendung von Optionen zur Phosphorrückgewinnung (siehe Datenblatt „Phosphorrückgewinnung“).

**II. Entwässerung:**

Die Reduzierung des Flüssigkeitsanteils am Klärschlamm trägt wesentlich zur Erhöhung der Behandlungseffizienz und vor allem zum wirtschaftlicheren Transport von Schlammmassen bei. Nach der Eindickung ist die Entwässerung technisch jener Schritt, der die Wasserfracht des Schlammes deutlich reduziert. Mit dem Prozess erhöht sich der Feststoffanteil am weiter zu handhabenden Schlamm, welcher nach Filtration als sogenannter Filterkuchen zurückbleibt. Die Flüssigkeitsabtrennung erfolgt dabei auf verschiedenen Wegen, bspw. über Textilgewebe in Filterpressen oder auch durch Einsatz von Dekanterzentrifugen, Scheiben- oder Schneckenpressen. Für den Einsatz des Schlammes in thermischen Anlagen ist vor allem der erhöhte Heizwert nach der Entwässerung von Bedeutung und kostenrelevant.

Mit mechanischen Schlammentwässerungsmethoden sind üblicherweise Feststoffkonzentrationen im Bereich zwischen 20 und 45 %, gemessen als Trockenrückstand (TR), erreichbar. Der mechanisch erzielbare Entwässerungsgrad hängt hauptsächlich von der eingesetzten Technik, Art und Zusammensetzung des Klärschlammes sowie einer möglicherweise hierzu durchgeführten Konditionierung des Schlammes ab. Entwässerungsergebnisse oberhalb von 10 % TR benötigen im Regelfall immer erst eine vorgeschaltete chemische Konditionierung durch Einsatz von Flockungsmitteln und -zusätzen. Hierdurch agglomerieren feinste suspendierte oder kolloidale Bestandteile im Schlammwasser zu größeren Makroflocken und sondern sich dadurch vom Wasseranteil ab.

Unterschieden werden anorganische Konditionierungs-/Flockungsmittel, dazu gehören vor allem Eisen- und Aluminiumsalze, Kalkmilch und auch Kohle. Dem stehen die organischen Flockungsmittel, vor allem in Form organischer Polymere gegenüber. Eisen- und Aluminiumsalze werden häufig auch im Zusammenhang mit der angestrebten Phosphatreduzierung eingesetzt. Die Reduzierung des Phosphatgehaltes im Anschluss an die Entwässerung erlaubt es den Trockenrückstand im Schlamm um weitere 5 % und mehr zu erhöhen. Allerdings steigt mit Einsatz dieser Salze auch der Anteil nicht brennbarer Substanz (speziell Asche) im entwässerten Schlamm. Organische Konditionierungs- bzw. Fällmittel sind daher die bessere Wahl, wenn eine thermische Verwendung des Schlammes angestrebt wird.

Der benötigte Energieaufwand um mit einem Entwässerungsaggregat den Trockenrückstand von Klärschlamm von 5 % auf 35 % zu bringen liegt im Mittel in einem Bereich von 3-5 kWh<sub>electr.</sub> pro kg H<sub>2</sub>O.

**III. Trocknung:**

Es existieren mehrere Gründe weshalb eine zusätzliche Trocknung des Klärschlammes nach erfolgter Entwässerung sinnvoll sein kann. Einige Hauptargumente von dieser Option Gebrauch zu machen sind folgende:

- die weiter zu behandelnde bzw. zu entsorgende Schlammmenge wird nochmals reduziert;
- der Heizwert des Schlammes steigt weiter an;
- ein zusätzlicher Stabilisierungs- und Hygienisierungseffekt wird erzielt;
- Lagerung und Transport vereinfachen sich und werden effizienter;
- Problematiken die beim Umgang mit halbflüssigen bzw. pastösen Substanzen entstehen (z.B. Entmischung, unkontrollierte Schadstoffausträge) werden minimiert sowie die Handhabbarkeit bei Anschlussverwertungen (z.B. bessere Dosierbarkeit) erhöht.

Die wesentlichsten Nachteile einer Trocknung sind erhöhter Kostenaufwand und der zusätzliche Energiebedarf. In der Tat werden sehr hohe Energiebeiträge benötigt, um durch Wärme Restwasser aus dem Schlamm zu verdampfen. Der benötigte Trocknungsgrad wird hierbei durch die beabsichtigte Anschlussnutzung des Schlammes bestimmt. Daher sind vor Einsatz der Trocknung Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Kosten-/Nutzenanalyse) unbedingt anzuraten.

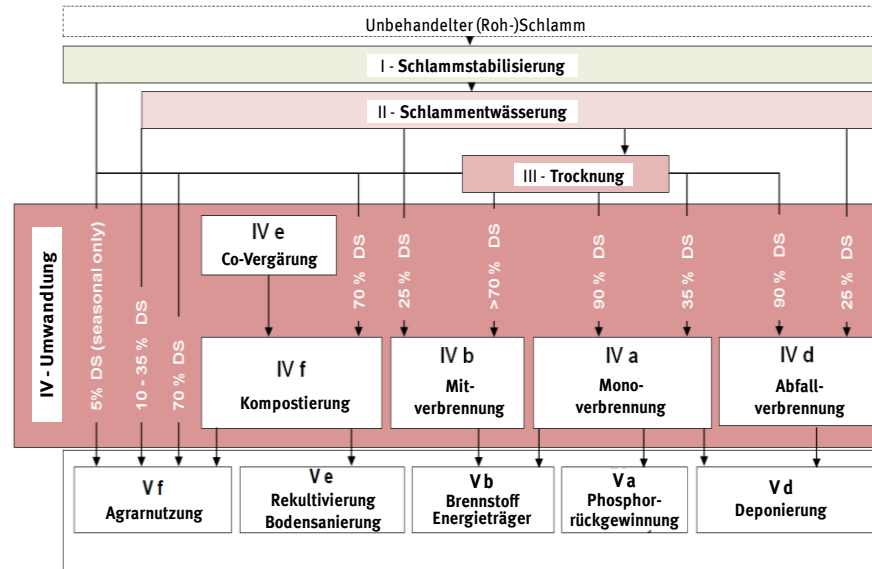
Eine kosteneffiziente Trocknung ist vor allem bei guter Verfügbarkeit von Überschusswärme aus anderen Prozessen oder der Nutzung von Solarenergie für den Trocknungsprozess machbar und insoweit das Trocknungsprodukt anschließend als Sekundärbrennstoff vermarktet bzw. eingesetzt wird. 35 % Trockenrückstand im Schlamm reichen i.d.R. bereits aus, um eine selbstgängige Verbrennung von Rohschlamm in geeigneten Anlagen zu realisieren. Der Gegenwert ist ein Minimum von etwa 45 bis 55 % Trockenrückstand bei bereits

<p>GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE AUFBEREITUNGS- WEGE UND -STRATEGIEN –FORTSETZUNG–</p>	<p>vergärem Schlamm, da der Anteil nach der Vergärung zurückbelassenen brennbaren organischen Materials niedriger ausfällt. Klärschlamm brennt außerdem ab einem kalorischen Gehalt von etwa 4.500 bis 5.000 kJ/kg selbstgänglich, durch Trocknung lässt sich dieser Wert auf bis zu 13.000 kJ/kg erhöhen; damit liegt der Heizwert eines getrockneten Schlammes in einer Größenordnung mit dem von trockenem Holz oder Braunkohle.</p> <p>Die Klärschlamm-trocknung wird in separaten oder dem Abwasserreinigungsprozess direkt angebundenen Anlagen durchgeführt. Grundsätzlich sind folgende Trocknungsmethoden am häufigsten im Einsatz, teils sogar auch in kombinierter Form in Anwendung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kontakt-trocknung (bspw. unter Verwendung von Dünnschicht-trockner, Scheibentrockner oder Zentrifugal-trockner);</li> <li>- Konvektions- oder Strahlungstrockner (bspw. Unter Verwendung von Band-trockner, Trommel-trockner, Wirbelschicht-trockner, Kaltluft-trockner);</li> <li>- Solartrocknung.</li> </ul> <p>Solartrocknung basiert auf der Erwärmung des Schlammes und seiner Trocknung mittels Solarstrahlung in gewächshausähnlichen Glashäusern (siehe Datenblatt „<u>Solartrocknung</u>“). Diese Trocknungsform für Klärschlamm erfährt zunehmende Nachfrage. Allerdings ist gegenüber anderen Trocknungsansätzen der Durchsatz an Schlamm in Solartrocknungsanlagen deutlich geringer, im Vergleich zu thermisch unterstützten Methoden sogar signifikant niedriger und der Platzbedarf bedeutend größer.</p> <p>Die Trocknung von Klärschlamm wird i.d.R. in folgenden Größenordnungen praktiziert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Teiltrocknung, bis etwa zu einem Anteil von 60–80 % TR;</li> <li>- Volltrocknung, bis etwa zu einem Anteil von 80–90 % TR.</li> </ul> <p>Um eingedickten bzw. entwässerten Schlamm von 25 % TR auf 90 % TR mit Hilfe von Kontakt- oder Konvektionstechniken zu trocknen wird ein ungefähre Energieinput von 70 bis 80 kWh<sub>therm</sub> pro kg verdunstetem H<sub>2</sub>O benötigt.</p> <p>Die Option der Teiltrocknung ist insbesondere dann von Interesse, wenn durch Anschlussverwendung des Schlammes in thermischen Reaktoren mit hoher Energieeffizienz (z.B. Wirbelschichtöfen; siehe Datenblatt „<u>Wirbelschichtverbrennung</u>“) die notwendige Resttrocknung des Substrates effektiver erfolgt. Eine Teiltrocknung sollte daher auch nur bis zu jenem Punkt erfolgen, ab welchem der Trocknungsgrad des Schlammes ausreicht, um einen positive Beitrag zur Gesamtenergiebilanz des Verbrennungsprozesses zu leisten.</p> <p>Getrockneter Schlamm hat die Merkmale eines Krümmelstoffs bzw. Granulats und ist damit abhängig von anderen Eigenschaftsmerkmalen und Zulassungen gut als Zusatzbrennstoff in Kraftwerksfeuerungen oder Zementöfen einsetzbar. Insbesondere für den Einsatz bei der Zementproduktion muss der Schlamm allerdings vollständig getrocknet sein, auch für die Verwendung in Kraftwerken ist dies von Vorteil aber nicht zwingend erforderlich. Oftmals haben Kohlekraftwerke einen vorgeschalteten Prozess zur Kohleaufmahlung in den der Klärschlamm zur abschließenden Trocknung mit eingebracht werden kann. Hierdurch wird es möglich Klärschlamm-suspensionen bereits mit Gehalten zwischen 20 und 35 % TR in die Kraftwerksverbrennung zu geben.</p> <p>Abfallverbrennungsanlagen (siehe Datenblatt „<u>Rostfeuerung</u>“) sind normalerweise in der Lage Klärschlamm im nur entwässerten, teil- oder auch vollgetrockneten Zustand einzusetzen. In Gegenden wo Abfälle mit höheren Heizwerten (9,000 kJ/kg und höher) anfallen und von diesen Anlagen verbrannt werden, ist es durchaus machbar, nur entwässerten Schlamm den anderen Verbrennungsabfällen zuzumischen. In der Praxis wird dies mit einer Zumischung in Höhe von maximal 10 Gewichts-% realisiert.</p>
<p>VERFÜGBARE MÖGLICHKEITEN UND -VERFAHREN DER STOFFLICHEN SOWIE ZUR ENERGETISCHE NUTZUNG</p>	<p>Es besteht ein relativ breites Spektrum an Möglichkeiten zur Aufbereitung bzw. Umwandlung des Klärschlammes zum Zwecke der Nutzung seiner wertvollen Inhaltsstoffe oder seines Energiegehaltes bzw. um auch potenziell gefährliche Komponenten zu neutralisieren oder weitestgehend deren schädliche Wirkungen auf die Umwelt zu unterbinden. Viele der in Frage kommenden Prozesse entsprechen Standardtechnologien die auch auf andere Abfallströme, darunter Siedlungsabfällen, zur Anwendung gebracht werden. Von einer Konversion oder Umwandlung des Klärschlammes im Zuge des Einsatzes dieser Technologien kann gesprochen werden, da mit deren Anwendung die ursprünglichen Eigenschaften des Klär-</p>



schlammes verloren gehen und bestimmte stoffliche Anteile einem neuen Verwendungszweck zugeführt werden. Um diese Nutzungsprozesse umsetzen und möglichst gefahrlos und effizient gestalten zu können sind schon erläuterte Vorbehandlungsschritte wie die Entwässerung und/oder Trocknung teils unbedingt notwendig, unter speziellen Umständen ist jedoch auch die relativ direkte Nutzung des einen oder anderen Verwertungs- bzw. Entsorgungsweges nach Durchführung einer einfachen Stabilisierung möglich. Den Überblick dazu gibt Abbildung 2.

Abbildung 2: Für die Endverwertung von Klärschlamm eingesetzte Verfahren und Anforderungsübersicht



Damit die in einem Land zur Endverwertung von Klärschlamm bereitstehenden Kapazitäten bestmöglich in Anspruch genommen und ausgelastet werden können, empfiehlt es sich für die Kläranlagenbetreiber und Behandlungseinrichtungen Lagermöglichkeiten zu schaffen oder Zugang zu solchen herzustellen. Eine Lagerkapazität für die Anfallmenge eines Jahres gilt dabei als optimal, im Minimum sollte die Lagerkapazität jedoch für den Anfall eines Viertel- besser eines Halbjahres ausreichen.

**IV a-c. Thermale Umwandlung und Verwertungsverfahren:**

Thermale Umwandlung von Klärschlamm gilt als die Methode der sichersten Zerstörung bzw. Unschädlichmachung eines Großteils der potenziell gefährlichen Schlamminhaltstoffe und muss, da zunehmend Gründe gegen die Fortsetzung anderer Optionen (vor allem die Deponierung und landwirtschaftliche Verwertung) sprechen, als die zukünftig am meisten in Betracht kommende Entsorgungslösung für Klärschlamm angesehen werden. Allerdings zählt die Verbrennung von Klärschlamm im Vergleich zu den bisherigen Alternativlösungen für dessen Entsorgung noch zu den teuersten Varianten. Bei der Klärschlammverbrennung sind besondere Prozessbedingungen zu beachten. Einige hervorstechende Faktoren, die es bei der thermischen Verwertung zu beachten gilt, sind:

- die Schlammzusammensetzung (u.a. Schlamm welcher Herkunft u. Behandlungsstufe),
- der Trockenrückstand und somit auch der Heizwert (beide haben typischerweise einen relativ breiten Varianzbereich, sind aber von besonderer Bedeutung bei der Verbrennung)
- der Stabilisierungsgrad (zwecks besonderer Vorkehrungen bei Lagerung und Aufgabe),
- die Stabilisierungsart (fanden Vergärungsprozesse statt oder eher nicht),
- die eingesetzten Arten und Gehalte an Konditionierungsmitteln.

**Monoverbrennung** ist eine speziell auf den Materialstrom Klärschlamm angepasste und vor allem auf das Ziel der effizienten Nutzung des Energiegehaltes bei gleichzeitig nachhaltiger Zerstörung bzw. Isolierung von Schadstoffkomponenten ausgerichtete Verbrennungsart. Der-artige Installationen sind bisher insbesondere unmittelbar an Kläranlagenstandorten errichtet worden und bringen dem Anlagenbetreiber den Vorteil, dass beide Prozesse, Klärschlammbehandlung und -entsorgung, optimal aufeinander abgestimmt und dabei

VERFÜGBARE  
MÖGLICHKEITEN  
UND -VERFAHREN  
DER STOFFLICHEN  
SOWIE ZUR  
ENERGETISCHE  
NUTZUNG  
–FORTSETZUNG–

Synergien genutzt werden können, sowie eine weitgehende Unabhängigkeit von anderen Anlagen und Entsorgungskapazitäten besteht. Ein besonderer Nutzeffekt entsteht insbesondere dadurch, dass die bei der Verbrennung erzeugte Energie und Wärme ideal für den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage eingesetzt werden kann und somit sogar eine Energieautarkie möglich ist. Die zur Monoverbrennung eingesetzten Technologien und Verbrennungsaggregate können unterschiedlicher Art sein und dabei spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Nachfolgend wird dazu eine Übersicht in Form der Tabelle 4 gegeben.

Tabelle 4: Überblick zu den hauptsächlich für die Klärschlammmonoverbrennung eingesetzten Techniken

	Wirbelschichtofen	Etagenofen	Etagenwirbler	Schmelzyklon
Grundmerkmale	keine beweglichen Teile daher relativ wartungsarm	kommt ohne Vortrocknungsphase aus, komplexerer Aufbau mit beweglichen Teilen und gekühlten Hohlringen	kommt ohne Vortrocknungsphase aus, bewegliche Hohlringe, geringes Wirbelbettvolumen	keine beweglichen Teile daher relativ wartungsarm, kein Materialeinsatz für ein Wirbelbett
Betriebsverhalten	schnelles An- und Herunterfahren dank kurzer Aufheiz- und Abkühlzyklen, stoßweise betreibbar	Längere Aufheiz- u. Anfahrzeiten, kontinuierliches Betriebsregime	mittlere Aufheiz- u. Abkühlzeiten,	ähnlich dem Wirbelschichtofen, sehr flexibel hinsichtlich des Brennstoffmixes
Verbrennungsverlauf	Bedarf an Luftüberschuss gering, Totalausbrand findet oberhalb des Bettes statt	Totalausbrand schwieriger kontrollierbar, unempfindlicher hinsichtlich Schwankungen bei Brennstoffzufuhr und Korngrößen	sehr geringer Bedarf an Luftüberschuss, Ausbrand gut regulierbar, erfolgt größtenteils im Bett, eher unempfindlich bei schwankender Schlammqualität	sehr variabel in der Luftregulierung und den Zufuhrorten, kurze Verweilzeiten
Abgasstaub	hoch	gering	hoch	hoch
Ascheaustrag	über Abgasstrom und durch Wechsel des Sandbettes	über die unterste Kesseletage	über Abgasstrom und durch Wechsel des Sandbettes	über Abgasstrom, Grobpartikel am Kesselboden
Verbrennungsreste	Asche Wirbelbettmaterial	Asche	Asche Wirbelbettmaterial	Asche, manchmal mit Grobpartikeln

Stark wachsende Verwendung hat in jüngerer Vergangenheit die stationäre Wirbelschichttechnik (siehe Datenblatt „Wirbelschichtverbrennung“) gefunden, sie ist damit die gegenwärtig bevorzugte Technologie für die Monoverbrennung von Klärschlamm. Mit der Monoverbrennung von Klärschlamm eröffnet sich die Möglichkeit zur Rückgewinnung von Phosphor (siehe Datenblatt „Phosphorrückgewinnung“) über die Asche des verbrannten Schlammes.

Die **Mitverbrennung** in Kraftwerksanlagen und Industrieöfen gewinnt gleichfalls zunehmend an Bedeutung bei der Verwertung von Klärschlamm. Klärschlamm kann sowohl in Zementöfen und Brennöfen von Kalkwerken, aber auch gut in Kohlekraftwerken als Zusatzbrennstoff mitverbrannt werden (siehe Datenblatt „Industrielle Mitverbrennung“).

Unter der Maßgabe, dass der zum Einsatz kommende Schlamm ausreichend aufbereitet wurde (siehe dazu die Ausführungen im Abschnitt Trocknung), haben die meisten der genannten Verbrennungsanlagen an sich wenig Probleme das Material anzunehmen, dem Verbrennungsprozess zuzuführen und darin zu verbrennen, anderenfalls bestehen relativ einfache und bewährte Ansätze die Anlagen anzupassen und derartige Probleme zu lösen. Bei der Zementproduktion eingesetzter Klärschlamm kann nicht nur einen Teil der benötigten fossilen Brennstoffe ersetzen sondern liefert aufgrund seiner mineralischen Bestandteile

VERFÜGBARE  
MÖGLICHKEITEN  
UND -VERFAHREN  
DER STOFFLICHEN  
SOWIE ZUR  
ENERGETISCHE  
NUTZUNG  
–FORTSETZUNG–

zugleich auch einen Teil des Rohstoffinputs in Form von Sand und Eisenmineral. In Zementöfen und Brennöfen der Kalkindustrie wird Kalkschlamm daher auch in der Größenordnung von etwa 15 % der Feuerwärmeleistung als Zusatzbrennstoff zugeführt. Neben Klärschlamm finden auch andere Abfallstoffe der Abwasseraufbereitung Verwendung in diesen Verbrennungseinrichtungen, dazu zählen Schwimm- und Blähschlamm, Siebfangmaterial und Fettabscheiderinhalte.

Bei konventionellen Kohlekraftwerksanlagen liegt der übliche Anteil zugeführten Klärschlamm emissionsbedingt derzeit bei etwa 5 % der Brennstoffmasse. Feinkohleeinblasung oder Wirbelschichtfeuerung sind hierbei die gängigen Verfahren. Da bei Rohschlamm die Risiken und Schwierigkeiten im Umgang und insbesondere der Zwischenlagerung steigen, nehmen Kraftwerke i.d.R. nur stabilisierten Klärschlamm zur Verbrennung an. Eine vergleichende Betrachtung der Mitverbrennungsverfahren in Kraftwerksanlagen zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5: Wesentliche Merkmalsunterschiede der Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken

	Brennstoffeigenschaften	Verbrennungsprozess	Klärschlammmitverbrennung
Steinkohlekraftwerk	Wassergehalt der Kohle: 7–11%, Heizwert: 27–30 MJ/kg	Feinkohleeinblasung, Zyklonschmelzofen bzw. Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung	Geringe Trocknungskapazität der Kohleaufmahlung limitiert den Einsatzanteil an Klärschlamm
Braunkohlekraftwerk	Wassergehalt der Kohle: 46–60 %, Heizwert: 8,5–12,5 MJ/kg	Feinkohleeinblasung, Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung	Schwermetallgehalte begrenzen Einsatzanteil an Klärschlamm

Als wesentlicher Nachteil der industriellen Mitverbrennung ergibt sich der Ausschluss der Möglichkeit zur Rückgewinnung von Phosphor (siehe Datenblatt „Phosphorrückgewinnung“).

Neben den genannten Hauptverfahrenswegen zur thermischen Nutzung von Klärschlamm konnten sich, anders als beim Rest der Siedlungsabfallströme, speziell für diesen Stoffstrom auch einige Alternativverfahren aus dem Bereich der Pyrolyse- bzw. Vergasungstechnik bereits etwas etablieren. Dazu gehört bspw. das PYREG®-Verfahren. Das dies besser als in anderen Bereichen gelungen ist hat vor allem mit der deutlich homogeneren Substratbeschaffenheit des Klärschlammes im Vergleich zu den Gemischen anderer Festabfallströme zu tun. Dennoch ist die Marktdurchdringung im Allgemeinen relativ gering geblieben und zeigt noch keinen Trend zum Durchbruch.

IV e-f. Biologische Umwandlung und Folgenutzung von Klärschlamm:

Die **Biogasproduktion aus Klärschlamm** ist grundsätzlich durch die im Behandlungsabschnitt dieses Datenblattes bereits skizzierten biologischen Verfahren der Stabilisierung bekannt. Als alternativer Weg kann Frischschlamm auch mit geeigneten Abfällen aus der Sammlung bioabbaubarer Abfallstoffe vermischt und in sogenannten Co-Vergärungsverfahren gezielt zur Biogasproduktion eingesetzt werden. Durch einen optimalen Mix mit anderen vergärbaren Substanzen wie Küchen- oder Essensabfällen lassen sich mit angepasster Betriebsführung in modernen Vergärungsaggregaten der Ertrag an Biogas signifikant steigern und zwar deutlich über jenen, den Klärschlamm oder genannte biologische Abfälle bei einer normalen Vergärung (siehe Datenblatt „Vergärung“) allein hervorbringen würden. Gereinigt und aufbereitet zu Gas mit Erdgasqualität kann das erzeugte Biogas vielfältig verwendet werden, u.a. um Fahrzeuge zu betreiben, elektrische Energie herzustellen oder auch Wärme zu produzieren, die sowohl im Heizungswärmenetz als auch bei der Prozessführung in den Kläranlagen oder der Trocknung von Klärschlamm Verwendung finden kann.

VERFÜGBARE  
MÖGLICHKEITEN  
UND -VERFAHREN  
DER STOFFLICHEN  
SOWIE ZUR  
ENERGETISCHEN  
NUTZUNG  
-FORTSETZUNG-

Abbildung 3: Kernstück einer Co-Vergärungsanlage für Klärschlamm mit Bioabfällen (Bildquelle: INTECUS)



Eine **landwirtschaftliche oder landschaftsbauliche Verwertung** kommt nur für vollständig stabilisierten und hinsichtlich seiner Zusammensetzung als unbedenklich eingestuft, dazu entsprechend aufbereiteten, gründlich untersuchten und zertifizierten Klärschlamm in Betracht. Meist verfügen die Länder über Anweisungen und Zulässigkeitswerte, welche den Einsatz reglementieren. Ferner besteht auch die Möglichkeit, Schlamm geeigneter Qualität einer Kompostierung zuzuführen, bei der für eine ausreichende Hygienisierung und Unschädlichmachung pathogener Keime gesorgt wird (siehe Datenblatt „Kompostierung“). Hierbei werden der Klärschlamm oder auch Reste aus der Klärschlammvergärung in dem Maße zu anderen kompostierbaren Inputstoffen hinzugegeben, dass alle bestehenden Sicherheits- und Qualitätswerte für das finale Kompostprodukt verlässlich eingehalten werden. Ein solcher zertifizierter Kompost stellt einen stabilisierten organischen Düngestoff mit mittleren Nährstoffgehalten dar. Hierdurch lassen sich in Gebieten mit mangelnder Humusversorgung die Bodeneigenschaften verbessern, mit der Kompostierung erhöht sich auch die gleichmäßige Abgabe und Verfügbarkeit der Nährstoffgehalte an die Pflanzen. Um auch nur eine potenzielle Übertragung gefährlicher Komponenten grundsätzlich zu verhindern besteht ein grundsätzlicher Ausschluss von Klärschlamm von Böden für den biodynamischen Anbau, sowie auf Böden die unmittelbar Nahrungsmittel liefern, also Land zur Futtergras-, Frucht- oder Gemüseproduktion.

Die Produktqualität, Umwelt- und Hygienesicherheit von Klärschlammdüngeprodukten hat oberste Priorität, daher sind hierfür interne und externe Überwachungsmechanismen einzurichten und wann immer möglich, sollte sich der Erzeuger solcher Produkte einem Gütesicherungs- bzw. Produktüberwachungssystem anschließen. Zu einem solchen System gehören bspw. regelmäßige laboranalytische Prüfungen, soweit diese nicht ohnehin verpflichtend sind, und eine entsprechende Zertifizierung.

Klärschlamm in Prozesse der mechanisch-biologischen Behandlung (MBA) von Siedlungsabfällen (siehe Datenblatt „Mechanisch-biologische Abfallbehandlung“) einzubringen macht nur Sinn, wenn eine Vergärung der biologischen Fraktion Teil dieser Prozesse ist oder wo ein Stabilat erzeugt wird, welches anschließend in thermischen Verfahren als Zusatzbrennstoff Verwendung findet. Exklusiv auf Klärschlamm ausgerichtete MBA wären eine unwirtschaftliche Lösung und sind daher nicht üblich.

MÖGLICHKEITEN  
DER  
ENDBESEITIGUNG

Eine **Verbrennung von Klärschlamm mit anderen (Rest-)Abfällen** kann erfolgen und dient dann üblicherweise allein dem Zweck der sicheren Zerstörung potenziell gefährlicher Inhaltsstoffe und Mineralisierung des organischen Anteils, um dadurch die Menge an Reststoffen auf ein Minimum zu reduzieren. Idealerweise ist der Prozess dabei mit der Rückgewinnung von Energie gekoppelt. Dafür geeignet sind Massenverbrennungsanlagen für Siedlungsabfall, in Deutschland auch Müllheizkraftwerke genannt, ausgestattet mit Standardkesseltechnologie wie der Rostfeuerung (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“) sowie Abgasreinigungs- und Überwachungstechnik.

Wo es zur Einbringung von Klärschlamm in den Müllverbrennungsprozess kommt, bildet vor allem die Art und Weise der Aufgabe des Materials einen wesentlichen Unterschied zu anderen thermischen Prozessen. Verbunden damit können auch größere Investitionen sein,

bspw. in geeignete Eindüsanlagen bzw. zusätzliche Zwischenlager und Überwachungstechnik. Im Falle größerer Anfallmengen und fehlender Zwischenpuffer besteht eine mögliche Lösung darin, ausreichend entwässerten, strukturreichen Klärschlamm mittels Ausbring- oder Verteilapparat (Riesel- oder Streueinrichtung) kontinuierlich über den Müll im Aufgabebunker auszubringen und unterzumischen. Sprayeindüsung über dem Verbrennungsbett (zumeist im Bereich der Ausbrandzone) kann bei manchen Müllverbrennungsanlagen (vor allem solchen die mit heizwertreichen Abfallfraktionen hantieren) von Vorteil sein, indem die Feuchte des Schlammes als zusätzliches Mittel zur Steuerung des Temperaturregimes (Abkühlung von Spitzen) und der primären Stickoxidbildung genutzt wird. Um das schwierige Prozessmanagement bei der Aufgabe von Klärschlamm in Müllheizkraftwerken gut beherrschen zu können wird der Anteil am Verbrennungsinput in der Rostfeuerung auf max. ~10% begrenzt. Eine Abgasreinigung gehört unbedingt zum Prozess der Abfallverbrennung, um die bei den thermischen Reaktionen entstehenden gefährlichen Verbindungen zu binden oder aus dem Emissionsstrom abzufiltern. Besonderer Aufmerksamkeit im Abgasstrom der Klärschlammverbrennung bedürfen die Stickoxide und quecksilberhaltigen Gasfrachten (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“).

Die **Deponierung von Klärschlamm** ist generell keine zu befürwortende Option, da nicht nur nutzbares Potenzial komplett verloren geht sondern der Schlamm zusätzliche Feuchte und organische Fracht in den Deponiekörper einbringt und damit das Potenzial an Deponieausgasungen und Sickerwasserentstehung anheben. Soweit unvermeidbar oder erforderlich hat die Klärschlammdeponierung über technisch gut gesicherte und unter Anwendung moderner Schutz- und Betriebsstandards betriebene Siedlungsabfalldeponien (siehe Datenblatt „Siedlungsabfalldeponie“) zu erfolgen. Dies sollte aber nur eine zeitweise und keine grundsätzliche Entsorgungslösung darstellen. Auch für die Aschen aus der Klärschlammverbrennung sind Deponien mit den notwendigen Standards und Sicherungseinrichtungen zu nutzen. Als Aufwendungen aus dem Gesamtprozess der Klärschlamm Entsorgung ergeben sich, bezogen auf die Situation und das Preisniveau in Deutschland, folgende ungefähre Kostendimensionen (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Kosten verschiedener Optionen der Klärschlamm Entsorgung im Größenordnungsvergleich (basierend auf Referenzangaben unterschiedlicher Quellen zur Klärschlamm Entsorgung in Deutschland [siehe Quelle (1)])

Entsorgungsweg	Preisniveau der Entsorgung EUR/t Nassschlamm (Stand 2011/12)		Zustand des Klärschlammes
	Min.	Max.	
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	80	130	getrocknet, >85% TR
Mitverbrennung Zementofen	90	100	getrocknet, >85% TR
Monoverbrennung	80	120	mechanisch entwässert, 20–45 TS
kombiniert mit Müllverbrennung	80	100	mechanisch entwässert, 20–45 TS
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	75	100	mechanisch entwässert, 20–45 TS
Mitverbrennung Braunkohlekraftwerk	50	75	mechanisch entwässert, 20–45 TS
Nutzung bei der Rekultivierung	30	45	mechanisch entwässert, 20–45 TS
agrарische Nutzung überregional	33	45	mechanisch entwässert, 20–45 TS
agrарische Nutzung regional	25	30	mechanisch entwässert, 20–45 TS

<p>REFERENZEN UND DIENSTLEISTER BZW. HERSTELLER</p> <p><i>(wichtiger Hinweis: die Aufzählung von Firmen in dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)</i></p>	<p>Anbieter geeigneter Technologien für die Klärschlammbehandlung sind mit in den Datenblättern angeführt, auf die im Zusammenhang mit speziellen Behandlungsansätzen verwiesen wird. Einblicke über die besten Arrangements an eingesetzter Technik und daran anknüpfender Entsorgungsoptionen, die maßgeblichen Betriebserfahrungen und Prozessparameter liefern jedoch Anlagenbesichtigungen und der Austausch mit Praxisanwendern.</p> <p>Zu den hierfür zu empfehlenden Anlagen gehören in Deutschland:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zur Klärschlammstabilisierung: KW Blümeltal/Stadt Pirmasens, Rheinland-Pfalz</li> <li>- zur Trocknung mit Wärmetauschertechnik: KW Weissach, Baden-Württemberg</li> <li>- zur Solartrocknung: KW Penzing Weil, Freistaat Bayern</li> <li>- zur Monoverbrennung mit Etagenöfen : KW Sindlingen, Hessen</li> <li>- zur Monoverbrennung mit zirkulierender Wirbelschicht: KW Steinhäule, Freistaat Bayern</li> <li>- zur Mitverbrennung in Zementöfen: Cemex Betrieb Rüdersdorf, Brandenburg</li> <li>- zur Schlammvergasung: KW Balingen und KW Mannheim, Baden-Württemberg</li> <li>- zur Co-Vergärung von Klärschlamm: KW Radeberg und Dresden-Kaditz, Freistaat Sachsen</li> <li>- zur Phosphorrückgewinnung: KW Berlin-Waßmannsdorf, Brandenburg</li> </ul>
<p>DOKUMENTE UND KOMPETENZ- STELLEN DIE FÜR WEITERE AUSKÜNFTEN ZU BESTEN PRAKTIKEN EMP- FOHLEN WERDEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [1] Studie “Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland”. publiziert 2012; einsehbar unter: <a href="http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klaerschlamm Entsorgung in-bundesrepublik">http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klaerschlamm Entsorgung in-bundesrepublik</a></li> <li>• EC: Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen vom August 2006, einsehbar unter: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_abfallbehandlung_vv.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_abfallbehandlung_vv.pdf</a></li> <li>• EC: BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung. vom Juli 2005, einsehbar unter: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_abfallverbrennungsanlagen_vv.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_abfallverbrennungsanlagen_vv.pdf</a></li> <li>• German Association for Water, Waste water and Waste – DWA <a href="http://www.dwa.de">www.dwa.de</a></li> <li>• Technical Committee ISO/TC 275 Sludge recovery, recycling, treatment and disposal within the International Organization for Standardization (ISO) <a href="http://www.iso.org">www.iso.org</a></li> </ul>