

Kosten und Wirtschaftlichkeit der Klärschlamm-trocknung

Ulrich Jacobs

1.	Thermische Trockner.....	962
2.	Solare Trockner	964
3.	Einsatzbereiche der Trocknungsverfahren	968
4.	Kosten und Wirtschaftlichkeit	968
5.	Umweltaspekte	973
6.	Resümee	974

Nachdem die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen und der Einsatz in der Rekultivierung aufgrund verschärfter Grenzwerte und erweiterter Qualitätskriterien zukünftig eher eingeschränkt zur Verfügung steht, müssen neue Wege der thermischen Verwertung geschaffen werden.

Die Verbrennung von mechanisch entwässerten und getrockneten Klärschlämmen erfolgt in entsprechenden Monoverbrennungsanlagen und auch in Kohlekraftwerken und in Zementwerken. Kohlekraftwerke können durch die Ausnutzung von freien Reserven in der Trocknungskapazität der Kohlemühlen auch mechanisch entwässerte Klärschlämme annehmen, Zementwerke können in ihren Brennern üblicherweise nur getrocknete Schlämme einsetzen. Die Steinkohlekraftwerke, die zur Mitverbrennung von Klärschlämmen zur Verfügung stehen, sind üblicherweise in der Mittellast eingesetzt. In diesem Lastbereich spielt der Einfluss der Windenergie eine starke Rolle. Wenn es an den Küsten windig ist, wird dort sehr viel Strom erzeugt und die Kohlekraftwerke werden in der Leistung reduziert. Dadurch reduziert sich auch die einsetzbare Klärschlammmenge, was auch dazu beiträgt, dass die bestehenden Kapazitäten zur Klärschlamm-(Mit)-Verbrennung von entwässerten Schlämmen in den Kraftwerken nur eingeschränkt nutzbar und weitestgehend ausgelastet sind.

Durch eine Trocknung der Klärschlämme können jedoch neue und langfristige sichere thermische Verwertungswege geschaffen werden. Getrockneter Klärschlamm kann als Ersatzbrennstoff in den verschiedensten Feuerungsanlagen eingesetzt werden.

Ein weiteres Argument für die Kombination Trocknung und Verbrennung ist, dass hiermit das Schlammaufkommen und die Schlammverwertung bzw. die Schlammbe-seitigung entkoppelbar sind.

Das durch die Trocknung von Klärschlämmen entstandene Endprodukt ist als Wertstoff variabel einsetzbar, unbegrenzt lagerfähig und benötigt deutlich weniger Transport- und Lagervolumen. Es ist als Ersatzbrennstoff einsetzbar in Zementwerken, in Kraftwerken und in verschiedenen industriellen Feuerungsanlagen.

1. Thermische Trockner

Es befindet sich eine Vielzahl von Trocknungstechniken- und Systemen im Markt, von denen zahlreiche Versionen mit mehr oder weniger Erfolg in den letzten Jahren realisiert wurden. Aufgrund der besonderen hohen Anforderungen an das zu trocknende Produkt und der dafür einzusetzenden Anlagentechnik haben sich jedoch nur wenige Systeme als für den Klärschlammeinsatz geeignet gezeigt.

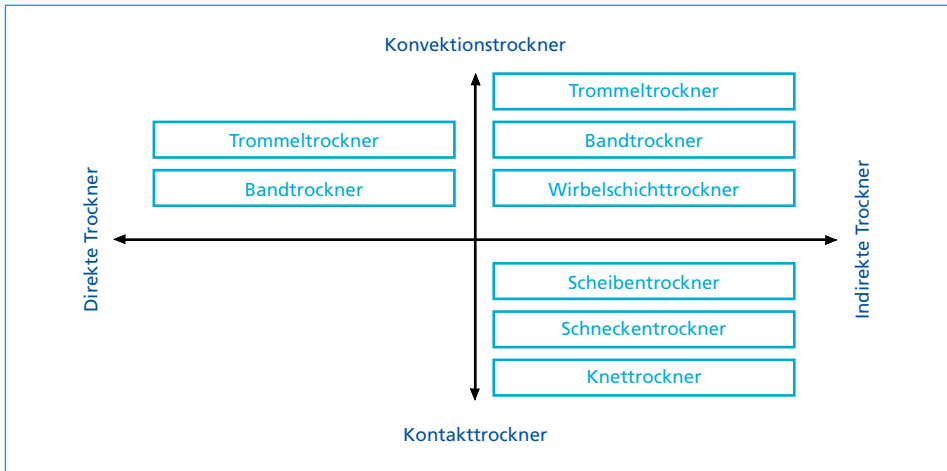


Bild 1: Thermische Trocknungsverfahren

Nach wie vor werden häufig Konvektionstrockner eingesetzt. Bei diesen Systemen wird die Trocknungsenergie mittels eines heißen Gasgemisches (Abgas bei direkter Trocknung bzw. Umluft bei indirekter Trocknung), auf den zu trocknenden Klärschlamm übertragen. Das verdampfte Wasser wird vom Heißgas aufgenommen und danach auskondensiert, das Abgas wird entsprechend der gesetzlichen Regelungen behandelt.

Die bekanntesten konvektiven Systeme sind: Trommeltrockner, Wirbelschichttrockner und Bandrockner. Das Wärmeträgermedium hat direkten Kontakt mit dem zu trocknenden Produkt. Um den Klärschlamm mit dem Trocknungsgas intensiv in Berührung zu bringen, benötigt man entweder verschiedene Zwangssysteme für die ständige Umwälzung des Trockengutes (Trommel- und Wirbelschichttrockner) oder eine große Oberfläche mit gleichmäßiger Schüttung (Bandrockner).

Ideal geeignet für alle Formen von Primär- und Sekundärenergiequellen ist der Bandrockner. Aufgrund seiner niedrigen Betriebstemperatur ist er in der Lage, Abwärme im Bereich von 100 bis 150 °C (Gase, Heißwasser oder Niederdruckdampf) entweder direkt oder als Sekundärenergiequelle zu nutzen.

Eine sehr interessante und besonders wirtschaftliche Alternative im Bereich der Kontaktrockner sind Scheibentrockner. Hier findet die Trocknung im direkten Kontakt mit den Heizflächen des Systems statt, dadurch sind diese Trockner extrem kompakt und energetisch besonders effektiv.

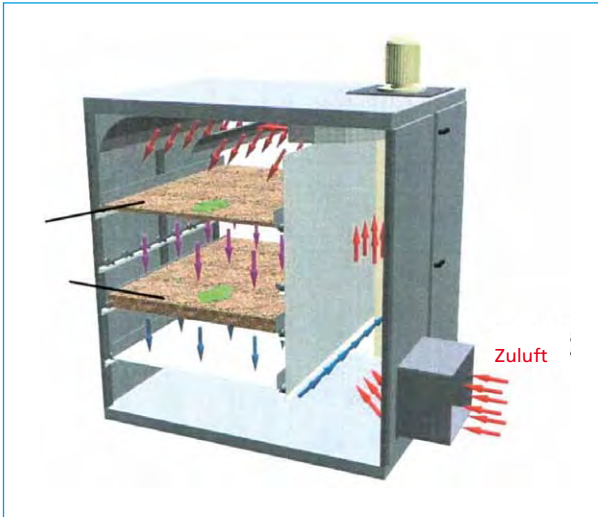


Bild 2:

Schematische Darstellung eines Bandrockners

Scheibentrockner arbeiten mit Dampf oder Thermalöl in einem Temperaturbereich von 150 bis 180 °C, (zur Beheizung kann daher sehr gut das Abgas eines BHKW verwendet werden). Sie eignen sich auch für den Einsatz in Kläranlagen, wenn Hochtemperatur-Abwärme oder Infrastruktur in Form eines Dampf- oder Thermalölsystems vorhanden ist, außerdem kann dort das aus der Faulung gewonnene Gas als Energiequelle genutzt werden.

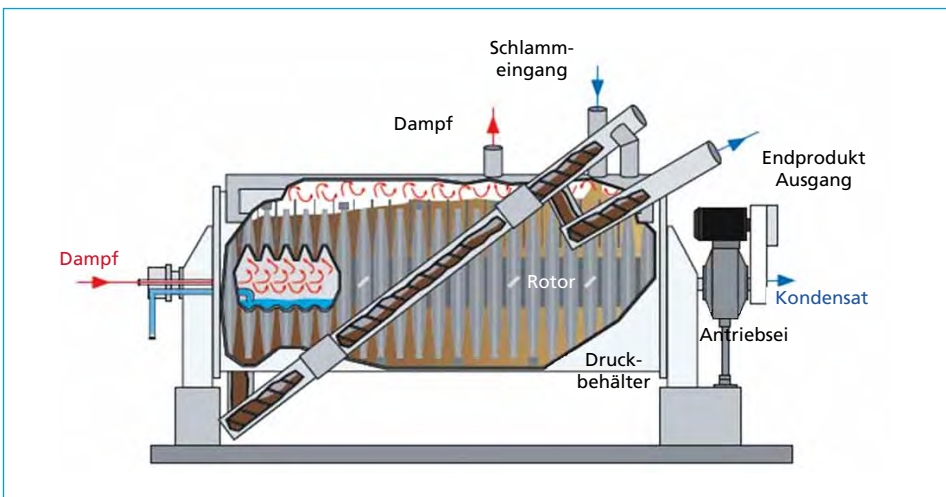


Bild 3: Schematische Darstellung eines Scheibentrockners

Durch die einfache Regelung sind Bandrockner und Scheibentrockner äußerst flexibel im Teillastbetrieb. Sowohl Trommel- als auch Wirbelschichtrockner sind in ihrem Regelbereich stärker eingeschränkt. Alle Systeme können indirekt beheizt werden, Trommel- und der Bandrockner können auch mit einer direkten Wärmeversorgung ausgerüstet werden.

Wirbelschichttrockner benötigen ebenfalls ein Energieträgermedium wie Mitteldruckdampf oder Thermalöl. Die Funktionsweisen von Band- und Scheibentrockner sind von weniger gut ausgebildetem Personal leichter zu verstehen und sie sind daher auch leichter zu betreiben. Ein *Quickstop* bzw. *Quickstart* ermöglicht den Betrieb für kurze Stillstände anzuhalten ohne den kompletten Prozess herunterzufahren.

Grundsätzlich hat der Scheibentrockner den geringsten Platzbedarf. Die erforderliche Fläche für den Trockner selbst steigt in etwa linear mit der Trocknungsleistung. Die Aufstellung auf einem Niveau ist gut möglich.

Trommel- und Wirbelschichttrockner werden in der Regel in mehreren Etagen gebaut. Das benötigte Bauvolumen bei diesen Trocknerarten steigt jedoch unterproportional mit der Trocknungsleistung.

Während Trommel- und Wirbelschichttrockner eine Halle benötigen kann der Bandtrockner ab etwa 3 t/h Wasserverdampfung in ein Gehäuse komplett aus Beton eingebaut werden. Lediglich die mechanischen Einbauten, die Lüfter und die Wärmetauscher sind Stahlteile, die in das Betonbauwerk integriert werden. Somit dient der Betonkörper des Trockners gleichzeitig als Einhausung und die Kosten für ein zusätzliches Gebäude können eingespart werden.

Tabelle 1: Bewertung der betrachteten thermischen Trocknungssysteme

	Trommeltrockner	Wirbelschichttrockner	Bandtrockner	Scheibentrockner
Investitionskosten	–	–	+	+
Schlamm eintrag	–	–	–(+)	+
el. Energiebedarf	–	–	0	+
Wartung/Verschleiß	–	–	+	+
Abwärmenutzung	--	0	+	0
Platzbedarf	0	0	+	++

2. Solare Trockner

Generell ist zur Verdampfung bzw. Verdunstung von Wasser – unabhängig vom Verfahren – eine bestimmte Mindestmenge an thermischer Energie erforderlich. Diese Energie wird bei einer rein solaren Trocknung durch Solarstrahlung, das Trocknungspotential der Umgebungsluft oder den aeroben Abbau von organischer Schlamm-trockensubstanz geliefert.

Dementsprechend können bei rein solaren Anlagen in Deutschland pro Quadratmeter Trocknungsfläche und Jahr je nach Anfangs- und End-TR-Gehalt, Standort und Verfahren zwischen 0,5 und rund 1 t Wasser verdunstet werden.

Die Leistung fremdwärmeunterstützter Solartrockner kann wesentlich höher sein, da bei den Letztgenannten ein mehr oder weniger großer Anteil dieser Wärme aus einer Zusatzheizung stammt.

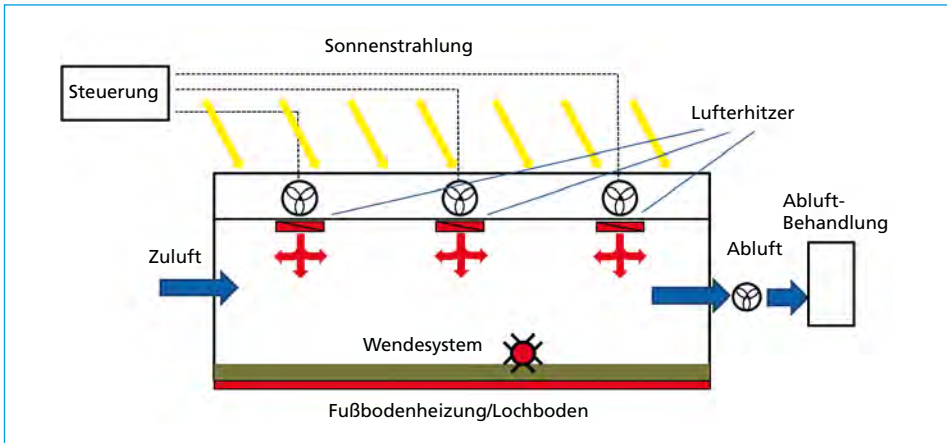


Bild 4: Schematische Darstellung eines (Abwärme-unterstützten) Solartrockners

Ein höherer Fremdwärmeanteil reduziert generell die Witterungsabhängigkeit und den Flächenbedarf. Allerdings sollte dafür auf jeden Fall kostenlose Abwärme zur Verfügung stehen. In der folgenden Darstellung sind die monatlichen Wärmeangebote aus der Globalstrahlung (vorne in gelb) und der verfügbaren Abwärme aus dem BHKW einer Biogasanlage (hinten in rot) dargestellt.

Je nach Fremdwärmeeintrag besteht dabei ein fließender Übergang von solaren zu konventionellen bzw. maschinellen Trocknungsverfahren, die rein aus Fremdwärme gespeist werden. Auch in Bezug auf die zu erwartenden Emissionen sind die Verhältnisse nicht ohne weiteres mit rein solaren Anlagen gleichzusetzen.

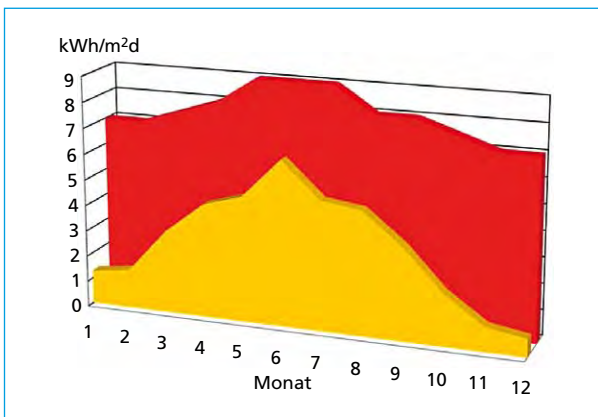


Bild 5:

Wärmequellen der solaren Trocknung

Die bislang größte solarunterstützte Trocknungsanlage in Deutschland, die neben Solar-energie bis zu 3,5 MW Abwärme aus einer Industrieanlage nutzt, wird in der Nähe von Oldenburg betrieben (30.000 t/a, 6.000 m², Thermo-System). Darüber hinaus befinden sich solarunterstützte Trocknungsanlagen verschiedener Hersteller auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen im Einsatz, die dort kostengünstig verfügbare Abwärme nutzen.

Je nach Verfügbarkeit von Ab- oder Zusatzwärme, saisonalen Schlamm-Stapelmöglichkeiten und den Anforderungen seitens der Abnehmer an das Endprodukt erfolgt in den meisten Solartrocknungsanlagen eine Trocknung auf End-TS-Gehalte zwischen 50 und 90 %.

Tabelle 2: Übliche Wärmequellen, Übertragungsmedien, Wärmeeintrag und Energieträger bei der solaren bzw. Abwärme-unterstützten Trocknung

Ursprung	Wärmequelle	Übertragungs-Medium	Wärmeeintrag	Verbrauch
Solar	Sonne Umgebung biologischer Abbau	Solarstrahlung Luft Klärschlamm	Schlamm (Oberfläche) Luft Schlamm	H ₂ H ₂ Organische Substanz
Abwärme	BHKW: Motorkühlung Abgas, Abdampf	Wasser Luft	Luft Fußboden	Abwärme

Dabei ist allerdings zu beachten, dass der spezifische Energiebedarf für den Wasserentzug und damit auch die Trocknungsdauer mit steigendem TR-Gehalt überproportional zunehmen. Eine Volltrocknung ist deshalb aus energetischer und ökonomischer Sicht nur unter bestimmten Randbedingungen sinnvoll. Sofern teilgetrockneter Schlamm zu vertretbaren Kosten abgegeben werden kann, wird aus Gründen des einfacheren Handlings und der Wirtschaftlichkeit meist nur auf etwa 60 bis 75 % TR getrocknet. In diesem Fall kann der Schlamm problemlos mit offenen LKW transportiert und auf eine aufwendige Silozug-Verladeeinrichtung verzichtet werden. Teilgetrocknete Schlämme werden vielfach von Monoverbrennungsanlagen und Mitverbrennungsanlagen angenommen.

Je nach trocknungsflächenspezifischer Beladungsmenge, TR-Anfangs- und -Endgehalt, Witterung und Fremdwärmeeintrag kann der Trocknungsprozess bzw. die Durchlaufdauer durch den Trockner mehrere Tage bis mehrere Wochen dauern. Der während dieser Zeit zur Aufrechterhaltung einer möglichst hohen Trocknungsleistung sowie der Vermeidung von durch anaerobe Abbauprozesse bedingten Geruchsemissionen erforderliche Wendeprozess ist bei allen solaren Trocknungsverfahren, die sich bislang am Markt etablieren konnten, mechanisiert bzw. automatisiert. Eine witterungs- und schlammfeuchteabhängige Steuerung der Wendehäufigkeit von bis zu 24 mal pro Tag ist dabei sinnvoll und üblich. Noch häufigeres Wenden bringt dabei keine Vorteile sondern erhöht in erster Linie den Energiebedarf.

Als Wendemaschinen werden verschiedene Systeme eingesetzt: die ganze Breite einer Halle überspannende Schub- oder Schaufelwender (IST, Huber), eine an einem Portalträger laufende Wendebrücke (Thermo-System: Schlamm-Manager), ein im Verhältnis zur bearbeiteten Fläche sehr kleiner, frei in der Halle beweglicher Spezialroboter (Thermo-System: Elektrisches Schwein), als auch kettengezogene Rechen (Roediger Bioenergie).

Tabelle 3: Überblick über die Wendeverfahren der einzelnen Hersteller

Hersteller	Wendeeinrichtung			Betrieb
Thermo-System	El. Schwein	Wenderoboter	wenden, mischen verteilen	Batch-Betrieb
	Schlamm Manager	Wendebrücke	wenden, mischen verteilen, fördern und fördern	Batch-Betrieb kontinuierlich
IST	Wendewolf	Schubwender	wenden, mischen fördern	kontinuierlich
Huber	Huber	Schaufelwender	wenden, mischen fördern	kontinuierlich
Roediger Bioenergie	EDZ-Verfahren	kettengezogene Egge	wenden, mischen fördern	kontinuierlich

Je nach Verfahren und Betriebsweise wird der Schlamm von den Wendeaagregaten während der Trocknung dabei kontinuierlich durch den Trockner gefördert, oder unter Anpassung von Wendehäufigkeit und Trocknungsklima an den TR-Gehalt im Batch-Verfahren getrocknet. Zum Teil wird der Schlamm auch über mehrere Monate hinweg kontinuierlich in eine Kammer eingetragen und nur ein bis zweimal pro Jahr geräumt (Speichertrockner, Thermo-System).

Die während der Trocknung eingestellte Schichtstärke des Schlammes im Trockner variiert Standort-, Verfahrens- und Hersteller-spezifisch zwischen 5 und 40 cm. Auch die Trocknungs- bzw. Durchlaufdauer ist unterschiedlich.

Da bei höherer spezifischer Beladung mehr Wasser entzogen werden muss, um einen bestimmten TR-Gehalt zu erreichen, ist dies für die Leistung einer Anlage aber nicht relevant. Sollen unterschiedliche Standorte oder Anlagen verglichen werden ist die Angabe der Trocknungsleistung in Tonnen Wasserentzug pro Fläche oder des Jahresdurchsatzes an Schlamm entsprechend wesentlich aussagekräftiger als die Verweildauer im Trockner.

Insbesondere bei kontinuierlich mit hohem Fremdwärmeeinsatz betriebenen Verfahren sind geringe flächenspezifische Beladungsmengen sinnvoll, um kurze Durchlaufzeiten zu erreichen. Bei einem Batch-Betrieb, semi-kontinuierlichem Betrieb oder einem kontinuierlichen Betrieb mit hohem Solaranteil können jedoch hohe Füllmengen und entsprechend längere Zykluszeiten sinnvoll sein, da dadurch die Anzahl der jährlichen Zyklen und somit der Arbeitsanfall sinkt. Ferner ist der technische Aufwand für die Zwischenlagerung und Verladung des Schlammes wesentlich einfacher, wenn der Trockner gleichzeitig als Schlamm-puffer dienen kann.

In Bezug auf den Schlamm-ein- und -austag werden von allen Herstellern serienmäßig oder optional weitreichende Mechanisierungslösungen angeboten. Aufgrund der im Vergleich zu thermischen Trocknungsanlagen vielfach geringen jährlich zu behandelnden Schlammmenge erscheint es aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten allerdings sinnvoll, den Grad der Mechanisierung unter Berücksichtigung der tatsächlich

einzusparenden Arbeitszeit kritisch zu bewerten. Der im Vergleich zu konventionellen Trocknungsanlagen bestehende Vorteil der technischen Einfachheit sowie der wesentlich geringeren Betriebs- und Wartungskosten relativiert sich im Falle einer Vollmechanisierung erheblich.

Hinsichtlich der Steuerung des Luftaustausches, der zum Abtransport des Wasserdampfes erforderlich ist, finden sich je nach Hersteller unterschiedliche Konzepte. Diese reichen von einem Betrieb mit freier Konvektion durch offene Giebeln oder gesteuerte Lüftungsklappen, bis hin zu einer vollautomatisch geregelten Zwangslüftung mit getrennten Ventilatoren für Umluft und Zuluft.

3. Einsatzbereiche der Trocknungsverfahren

Alle vorgestellten Trocknungssysteme haben ihre idealen Einsatzbereiche, die sich teilweise überlappen. Grundsätzlich ist festzustellen, dass der Einsatz von Primärenergie zur Beheizung von Trocknungsanlagen aus ökologischer und auch aus ökonomischer Sicht grundsätzlich nicht anzustreben ist.

- Reine Solartrockner sind aufgrund der spezifisch hohen Investitionskosten und der saisonal eingeschränkten Trocknungsleistung nur sinnvoll einsetzbar, wenn keine Abwärmequellen zur Verfügung stehen und wenn große Entfernungen zur nachgeschalteten Verbrennungsanlage überbrückt werden müssen.
- Bei kleinen bis mittleren Verdampfungsleistungen und dem Vorhandensein von Abwärme besitzen alle Abwärme-unterstützten Solartrockner wesentliche Vorteile. Gerade bei kleineren Anlagen sind auch die einfache Bedienung, der problemlose vollautomatische Betrieb und der sehr geringe Wartungsaufwand ein weiterer spezifischer Vorteil.
- Bei mittleren Verdampfungsleistungen, schwankenden Schlammeigenschaften, hohen Anforderungen an das Trockenprodukt (z.B. Volltrocknung >90 % TS), einem Temperaturniveau der Abwärmequelle von >120 °C und vorhandener Infrastruktur für die Brüdenbehandlung können Bandtrockner und bei höherem Temperaturniveau (>250 °C) auch Scheibentrockner eingesetzt werden.
- Bei hohen Verdampfungsleistungen, genügend Personalkapazität, ausreichenden Platzverhältnissen und zur Trocknung von Schlämmen in Industrieanlagen kann der (allerdings sehr teure) Wirbelschichttrockner seine Stärken zur Geltung bringen.
- Trommeltrockner sind kompakte und zuverlässige Systeme mit hoher Verfügbarkeit. Allerdings benötigen sie am Trommeleingang sehr hohe Trocknungslufttemperaturen und sind daher nur mit Primärenergie oder hochwertiger Prozesswärme zu betreiben.

4. Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die wesentlichen Einflussfaktoren bei den Kosten aller Trocknungsverfahren sind:

- Thermische Energie,
- Elektrische Energie,
- Kapitaldienst.

Die Vorgaben für einen möglichst kostengünstigen und wirtschaftlichen Betrieb einer Klärschlamm-trocknungsanlage müssen in jeden Anwendungsfall standortspezifisch optimiert werden.

Thermische Trockner benötigen auf jeden Fall eine thermische Energiequelle, die sinnvollerweise ein Temperaturniveau $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufweist. Es sind auch bereits Anlagen mit deutlich niedrigeren Trocknungslufttemperaturen bzw. Kaltlufttrockner realisiert worden, technisch sinnvoll ist das jedoch nicht. Diese Systeme benötigen extrem große Luftmengen und der Aufwand für das Handling bzw. die Reinigung dieser Luftmengen ist extrem hoch.

Wenn kostengünstige bzw. kostenlose Abwärme mit einem Temperaturniveau ab $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu Verfügung steht, bietet der thermischen Trockner wirtschaftliche Vorteile. Der spezifische Wärmebedarf ist bei diesen üblicherweise kompakt gestalteten Systemen niedrig und auch die Investitions-Kosten für eine solche Anlage sind günstig. Wenn jedoch Kosten für diese qualitativ hochwertige Wärme berechnet, beeinflusst das die Wirtschaftlichkeit eines solchen Systems gleich in hohem Maße.

Selbst ein außerordentlich günstiger Wärmepreis von 10 Euro pro Megawattstunde führt bei der thermischen Trocknung zu einem Anstieg der Betriebskosten in Höhe von etwa 28 Euro pro Tonne TS.

Abwärme auf einem niedrigen Temperaturniveau ist üblicherweise wesentlich günstiger zu bekommen und mit diesem Energieeinsatz können sinnvoll abwärme-unterstützte Solartrockner betrieben werden. Für diese spezifische Form der Wärmeversorgung bieten sich beispielsweise landwirtschaftliche Biogasanlagen an, es können aber auch Abwärmeströme aus anderen Industrieanlagen genutzt werden. Beispielhaft sei hier noch einmal auf die größte deutsche Anlage ihrer Art in der Nähe von Oldenburg genannt, in der ansonsten nicht nutzbare Abwärme aus dem Kondensat des Dampfkreislaufs einer Tiermehlanlage eingesetzt wird.

Der spezifische Wärmebedarf einer abwärmegestützten Solartrocknung liegt deutlich über dem der thermischen Trocknung, die Systeme haben einen höheren Flächenbedarf und auch die Investitionskosten liegen üblicherweise höher. Trotzdem kann ein solches Gesamtpaket aufgrund der Nutzung kostenloser Niedertemperatur-Wärme eine sehr wirtschaftliche Lösung darstellen. Durch die Unabhängigkeit von der Solarstrahlung ist eine Trocknung ganzjährig möglich und damit hat die abwärmegestützte Solartrocknung auch in Bezug auf die Verfügbarkeit den gleichen Stellenwert wie die thermische Trocknung.

Die deutlich höhere Effizienz der abwärmegestützten Solartrocknung im Vergleich zur reinen Solartrocknung zeigen die Kurven in Bild 6. Durch den Einsatz von Abwärme lässt sich die spezifische Flächen-Leistung einer Trocknungsanlage verdoppeln.

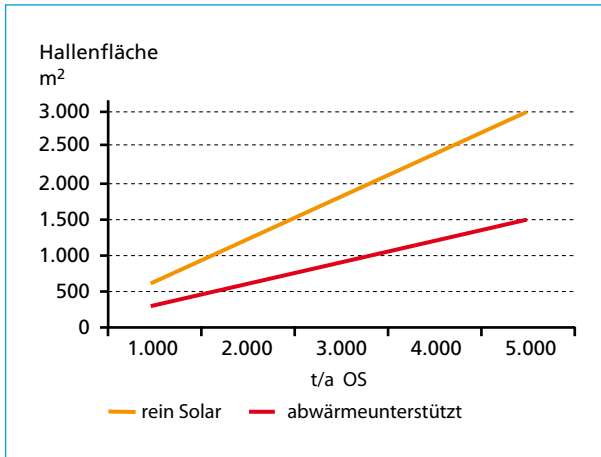


Bild 6:

Spezifische Trocknungsleistung
Solartrocknung

Wenn an einem Standort absolut keine Wärme zur Verfügung steht und wenn die Entfernung zur thermischen Verwertungsanlage so groß ist, dass ein Transport von großen Wassermengen im Schlamm unwirtschaftlich ist, kann die solare Trocknung sinnvoll eingesetzt werden. Hierbei fallen allerdings besonders bei den kleinen Anlagen aufgrund der geringen Verfügbarkeit und der damit verbundenen geringen Trocknungsleistung bei gleichzeitig sehr hohen Investitionskosten, die spezifisch höchsten Trocknungskosten an.

Der Bedarf an elektrischer Energie liegt bei den thermischen Trocknern und bei den abwärmegestützten Systemen mit 60 bis 80 kWh/t H₂O Verdunstung bzw. Verdampfung in einer vergleichbaren Größenordnung. Der Strombedarf der reinen Solartrocknung liegt bei etwa 30 kWh/t H₂O Verdunstung deutlich niedriger.

Folgend sind in Bild 7 die Kostenstrukturen der Klärschlamm-trocknung für die unterschiedlichen Systeme und variierend für verschiedenen Anlagengrößen und einer nachgeschalteten Verbrennung schematisch dargestellt.

Als Vergleichsgrößen sind die Kosten für Mitverbrennung in einem Kraftwerk, (bestehend aus den Transportkosten bei einer Entfernung zum Kraftwerk von etwa 150 km und dem Annahmepreis am Kraftwerk in Höhe von etwa 40,- EUR/t OS) und die Kosten für die Verbrennung in einer auf bzw. an der Kläranlage befindlichen Monoverbrennungsanlage dargestellt.

Zu den jeweiligen Trocknungskosten sind ebenfalls die Transport- und Verbrennungskosten für die nach der Trocknung deutlich kleineren Mengen berücksichtigt. Außerdem ist zugrundegelegt, dass getrocknete Klärschlämme üblicherweise mit niedrigeren Zuzahlungen (etwa 20,- bis 25,- EUR/t) bei den Mitverbrennern angenommen werden. Die Märkte für den Ersatzbrennstoff getrockneter Klärschlamm entwickeln sich sehr gut. Zementwerke außerhalb der Bundesrepublik bieten aktuell noch günstigere Konditionen, teilweise wird kostenfrei angenommen, in Einzelfällen gibt es schon geringe Zuzahlungen der Betreiber.

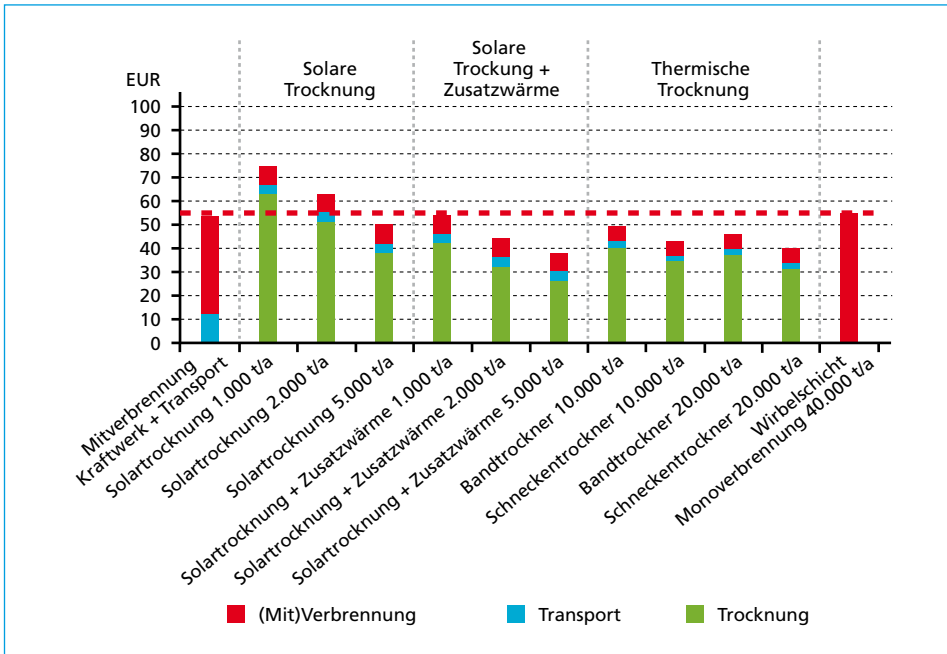


Bild 7: Kostenstrukturen der Klärschlamm-trocknung und -verbrennung

Die aufgeführten Beispiele zeigen deutlich, dass die mit Abwärme betriebenen Systeme klare Kostenvorteile aufweisen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Abwärme von bestehenden Biogasanlagen bzw. Biomassekraftwerken nur sehr günstig einsetzbar ist, da der Betreiber der Wärmequelle durch den über das EEG garantierten KWK Bonus eine höhere Strompreisvergütung generiert. Nach der letzten Novellierung des EEG wird als Grundlage für eine Vergütung nach EEG eine mindestens 60 %ige Nutzung der Wärme gefordert, damit ergeben sich auch bei Neuanlagen weitere neue und günstige Kombinationsmöglichkeiten.

Bild 8 zeigt die Zusammenstellung der resultierenden Kosten für die beschriebenen thermischen Verwertungsverfahren für kommunale Klärschlämme. Auch hier sind die Kosten für die Mitverbrennung im Kraftwerk als Referenzgröße dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass die Trocknung der Klärschlämme neben den bereits erwähnten logistischen Vorteilen auch im Vergleich mit den bestehenden Systemen günstigere Verwertungskosten erreichen kann.

Die aufgeführten Kostenvergleiche basieren auf der Auswertung von mehr als 50 Angeboten verschiedener Systemanbieter und auf Fallbeispielen aus dem gesamten Bundesgebiet. Da der Markt der thermischen Klärschlammbehandlung durch die deutliche Häufung von Mitverbrennungskapazitäten in der geografischen Mitte der Republik beeinflusst wird, gibt es, verursacht durch die größeren Transportentfernungen, in Richtung Süden bzw. Norden deutliche Preisanstiege.

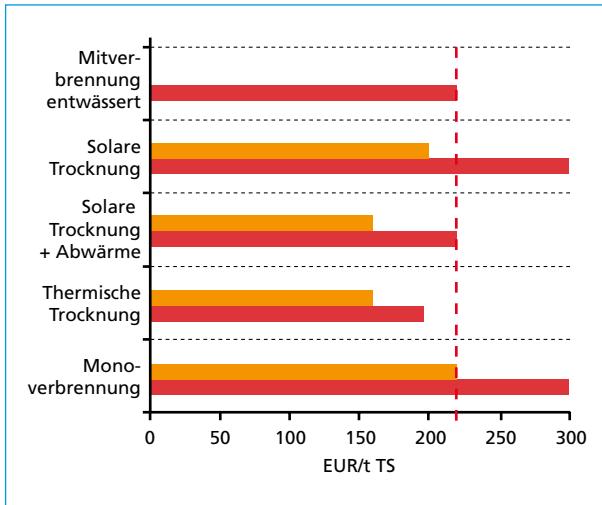


Bild 8:

Resultierende Kosten Trocknung und Verbrennung

Die Kosten können daher im Einzelfall regional deutliche Unterschiede aufweisen, liegen nach unserer Erfahrung aber üblicherweise in der dargestellten Bandbreite.

Im Vergleich zu den aktuell immer noch sehr niedrigen Kosten der landwirtschaftlichen bzw. landbaulichen Verwertung kommunaler Klärschlämme, liegen die Aufwendungen für die thermischen Verfahren, verursacht durch den größeren technischen Aufwand, auf einem höheren Preisniveau.

Die höheren Kosten und der damit verbundene Anstieg der Abwassergebühren werden öffentlichen Diskussionen häufig als Argument gegen die thermische Verwertung von Klärschlämmen aufgeführt.

In der folgenden Betrachtung wurden die Kosten der verschiedenen Verfahren verglichen und in Relation zu den durchschnittlichen Abwassergebühren dargestellt. Dabei wurden die statistischen Durchschnittswerte zu Grunde gelegt:

- Abwasseranfall = $55 \text{ m}^3/\text{EW a}$
- Abwassergebühr = $2,20 \text{ EUR}/\text{m}^3$
- Klärschlammanfall = $20 \text{ kg TS}/\text{EW a}$

Der durchschnittliche Anteil der Kosten für die Klärschlammverwertung liegt danach, je nach Verwertungsverfahren, bei 2,3 bis 4,1 % der Abwassergebühren. Die maximalen Mehrkosten für die thermische Verwertung liegen bei 2,20 EUR pro Einwohner und Jahr.

Langfristig ist davon auszugehen, dass durch die angestrebten qualitativen Änderungen und Verbesserungen im Bereich der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung auch hier höhere Kosten anfallen, so dass sich zukünftig alle Verfahren auf einem annähernd gleichen Preisniveau bewegen.

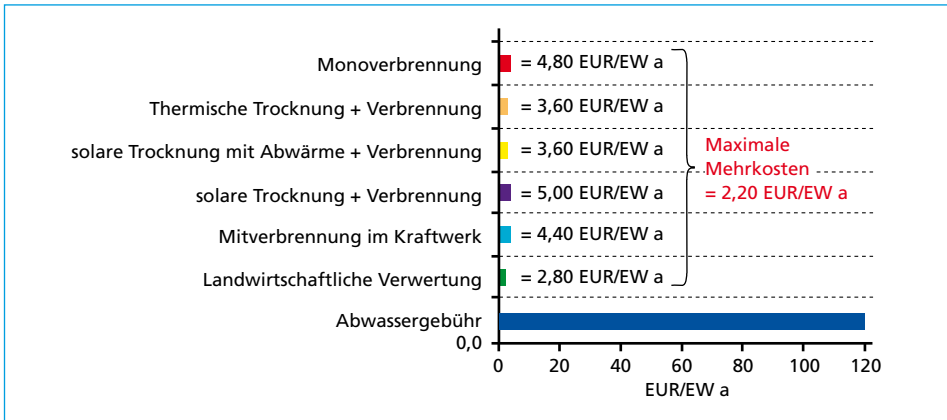


Bild 9: Einfluss der Klärschlammverwertung auf die Abwasserkosten

5. Umweltaspekte

Die Klärschlamm-trocknung bietet, wenn zur Wärmeversorgung der Trockner anstelle von Primärenergie Abwärme im Niedertemperaturbereich eingesetzt wird, neben den ökonomischen auch ökologische Vorteile.

Klärschlämme sind als nichtfossile Brennstoffe CO₂-frei zu verbrennen und können in getrockneter Form als Substitut für fossile Energieträger eingesetzt werden. In Bild 10 sind die CO₂ Äquivalente verschiedener thermischer Verfahren in kg/EW a angegeben,

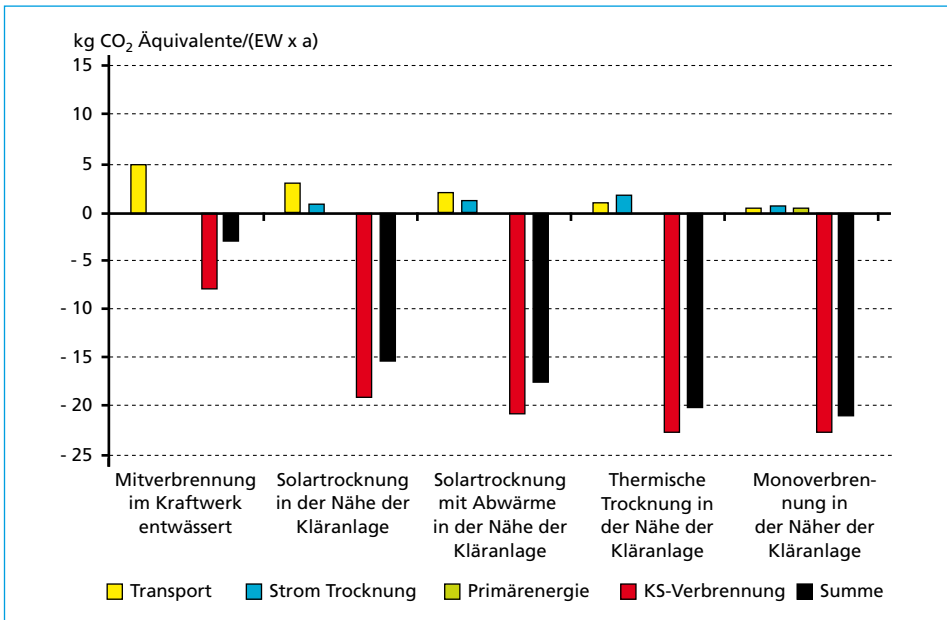


Bild 10: CO₂ Äquivalente der thermischen Klärschlammbehandlung

wobei als Basiswert wiederum der statistische spezifische Klärschlammanfall von 20 kg TS/EW a diene.

Dabei wurde der Einsatz fossiler Energieträger für Transport und Trocknung als Aufwand (positive Zahlen) und der Energiegewinn aus der Verbrennung als Einsparung (negative Zahlen) von CO₂ Äquivalenten gerechnet. Der rechts außen stehende (grüne) Balken der jeweiligen Darstellung zeigt die spezifische Summe der bewerteten Verfahren an.

Aufgrund des geringen Heizwerts von entwässertem Klärschlamm ist hier die Mitverbrennung entwässerter Schlämme im Kraftwerk das ungünstigste Verfahren. Neben den verschiedenen Trocknungsvarianten (hier sind auch Transporte und der Einsatz elektrischer Energie notwendig) erreicht die Monoverbrennung auf oder in der Nähe der Kläranlage die höchsten Werte.

6. Resümee

Abschließend lässt sich feststellen, dass die Klärschlamm-trocknung einen wesentlichen und sinnvollen Beitrag für die Verwertung kommunaler Klärschlämme leisten kann. Die Auswahl des geeigneten Trocknungsverfahrens sollte immer abhängig von den lokalen Gegebenheiten erfolgen, erprobte und geeignete Techniken stehen für jeden Anwendungsfall zur Verfügung.

Vor der Entscheidung für einen bestimmten Anbieter sollte man Referenzanlagen begutachten und die spezifischen Erfahrungen der Betreiber mit in die Entscheidungsfindung einfließen lassen.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 10

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-92-4

ISBN 978-3-935317-92-4 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M., Ina Böhme

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.