

Bauarten solarer Klärschlamm-trocknungsanlagen

Markus Bux

1.	Verfahren und Verbreitung in Deutschland.....	949
2.	Wärmeeintrag.....	950
3.	Einsatzbereiche solarer Trocknungsanlagen	951
4.	Funktionale Komponenten und eingesetzte Baumaterialien	954
5.	Verfahrensführung sowie Misch- und Wendetechnik.....	956
6.	Weitergehende Behandlung von getrocknetem Klärschlamm	959
7.	Literatur.....	960

1. Verfahren und Verbreitung in Deutschland

Wachsender Druck auf die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung und steigende Kosten für Transport- und Verbrennung machen eine dezentrale Klärschlamm-trocknung immer attraktiver. Dies gilt sowohl aus volks- als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Mit zwischenzeitlich alleine in Deutschland mehr als 80 in Betrieb befindlichen Anlagen haben von dieser Entwicklung insbesondere solare (> 50 Anlagen) und solarunterstützte Trockner (> 30 Anlagen) profitiert. Solarunterstützte Trockner nutzen neben Solarenergie vor allem Niedertemperatur(ab)wärme. In Deutschland haben sich vor allem die Verfahren der Firmen Thermo-System (56 Anlagen), IST (> 13 Anlagen), Roediger Bioenergie (> 10 Anlagen) und Huber (> 6 Anlagen) etabliert. Tabelle 1 zeigt die derzeit wichtigsten deutschen Hersteller im Überblick.

Hersteller	Anlagen solar Anzahl	Anlagen mit Abwärme Anzahl	Anlagen gesamt	Kapazität gesamt (~) t TR/Jahr
Thermo-System	40	16	56	38.000
IST	13	0	13	4.000
Roediger Bioenergie	0	10	10	7.000
Huber	1	5	6	3.000
Summe	54	31	85	52.000

Tabelle 1:

In Betrieb befindliche solare und solarunterstützte (Fremdwärme-anteil > 25 % der Trocknungsleistung) Trocknungsanlagen in Deutschland. Unverbindliche Schätzung nach Firmeninformationen und eigenen Erhebungen.

Die größte Trocknungsanlage dieser Art in Deutschland ist eine solarunterstützte Anlage der OBK Oldenburg (Thermo-System) wo aktuell rund 40.000 t maschinell entwässerter Klärschlamm getrocknet werden. Die kleinste Anlage ist eine rein solare Trocknungsanlage für 1.000 EW in Renquishausen auf der Schwäbischen Alb (Thermo-System).

2. Wärmeeintrag

Generell ist zur Verdampfung bzw. Verdunstung von Wasser – unabhängig vom Verfahren – eine bestimmte Mindestmenge an thermischer Energie erforderlich [5]. Diese Energie wird bei einer rein solaren Trocknung durch Solarstrahlung, das Trocknungspotential der Umgebungsluft und den aeroben Abbau von organischer Schlammtrockensubstanz geliefert [6, 8]. Dementsprechend können bei rein solaren Anlagen in der BRD pro Quadratmeter Trocknungsfläche und Jahr je nach Anfangs- und End-TR-Gehalt, Standort, Schlammeigenschaften und Verfahren zwischen 0,5 und rund 1 t Wasser verdunstet werden [7].

Die Leistung fremdwärmeunterstützter Solartrockner kann wesentlich höher sein, da ein mehr oder weniger großer Anteil dieser Wärme aus einer Zusatzheizung stammt, Tabelle 2. Je nach Fremdwärmeeintrag besteht dabei ein fließender Übergang von solaren zu konventionellen bzw. maschinellen Trocknungsverfahren, die rein aus Fremdwärme gespeist werden. Mit steigendem Fremdwärmeeintrag und Temperaturniveau nehmen auch die zu erwartenden Emissionen zu. Die Verhältnisse in solarunterstützten Anlagen sind daher nicht ohne Weiteres mit rein solaren Anlagen gleichzusetzen.

Tabelle 2: Wärmequellen, Übertragungsmedien, Wärmeeintrag und eingesetzte Energieträger bei der solaren und der solarunterstützten Trocknung von Klärschlamm

Ursprung	Wärmequelle	Übertragungsmedium	Ort des Wärmeeintrags	Verbrauch
Solare Strahlung	Sonne Umgebungsluft	Solarstrahlung Luft	Schlamm- oberfläche	(H ₂)
Bioenergie	Biolog. Abbau	Klärschlamm	Schlamm	(Organ. Substanz)
Abwärme	Kühlung z.B. BHKW Kompressor	Wasser Luft	Schlamm- oberfläche oder Fußboden	(Abwärme)
Heizung	Heizkessel Wärmepumpe	Wasser Wasser oder Luft	Schlamm- oberfläche oder Fußboden	Regelbrennstoffe el. Strom (20 – 30 %) (Umgebungswärme)

Ein höherer Fremdwärmeanteil verringert in der Regel die Witterungsabhängigkeit und den Flächenbedarf. Allerdings steigen die Energiekosten erheblich an, wenn keine kostenlose Abwärme zur Verfügung steht. Dabei ist zu beachten, dass der spezifische Wärmebedarf pro t Wasserverdampfung mit sinkendem Temperaturniveau zwangsläufig steigt, da die unter den gegebenen Verhältnissen physikalisch nicht vermeidbaren

Ausschleusungsverluste zunehmen. Eine Wärmerückgewinnung durch Abgaskondensation oder Wärmetauscher, wie sie bei mehrstufigen Hochtemperatur-trocknungsanlagen möglich ist, scheidet bei Niedertemperatur-trocknern aus technischen und wirtschaftlichen Gründen aus. Die aus der Literatur bekannten Daten für den thermischen Energiebedarf für Hochtemperatur-trocknungsanlagen lassen sich daher keinesfalls auf die solarunterstützte Niedertemperatur-trocknung übertragen.

Allerdings ergeben sich für Großanlagen interessante Möglichkeiten eine thermische sowie eine solare Trocknung unter Energierückgewinnung zu kombinieren. Der Brennstoffbedarf für den thermischen Trockner lässt sich so um bis zu 50 Prozent reduzieren (Thermo-System BlueDry-Verfahren).

3. Einsatzbereiche solarer Trocknungsanlagen

Bei kleinen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße zwischen 500 und maximal 15.000 EW muss vor der Trocknung nicht zwangsläufig eine maschinelle Entwässerung erfolgen. Je nach Randbedingungen kann auch bereits eine Eindickung oder eine Teilentwässerung sinnvoll bzw. ausreichend sein. Der Schlamm kann dann mit relativ wenig Aufwand in die Trocknungsanlagen gepumpt werden. Je nach Verfahrenskonzept und Hersteller wird der Schlamm dabei nach einer absätzigen oder kontinuierlichen Teilentwässerung getrocknet und dann laufend, regelmäßig oder nur einmal pro Jahr entnommen.

Sog. *Speichertrockner*, bei denen der getrocknete Schlamm nur ein- oder zweimal im Jahr aus der Trocknungsanlage entnommen werden muss, besitzen den Charme, dass die Entsorgung nur im Sommer stattfindet und entsprechend auch bei rein solaren Trocknungsanlagen immer hohe TR-Gehalte von über 90 Prozent erreicht werden können. Jahreszeitliche Witterungsschwankungen spielen aufgrund der Betriebsweise keine Rolle mehr. Zudem ist bei der Räumung immer genügend Schlamm für die Beladung großer und entsprechend kostengünstiger Transport-LKW verfügbar. Da Eintrag und Trocknung voll automatisiert sind, ist der Arbeitszeitbedarf auf ein Minimum reduziert. Dank des über das Jahr relativ gleichmäßigen Filtratwasseranfalls ist im Gegensatz zur mobilen Entwässerung kein Filtratwasserpufferspeicher erforderlich [7]. Bild 1 zeigt beispielhaft eine derartige Anlage in Frankenhart (BRD). Dort werden etwa 6.000 t Nassschlamm nach einer Teilentwässerung auf 15 bis 20 Prozent rein solar getrocknet. Der Schlamm wird dabei kontinuierlich per Schlammpumpe eingebracht, aber nur ein- bis zweimal jährlich mit über 90 Prozent TR entnommen. Die zu entsorgende Restschlammmenge wird auf unter 150 t pro Jahr reduziert.

Bei kontinuierlichen Systemen wird der Schlamm laufend eingebracht und auch laufend entnommen. Dies hat gegenüber Speichertrocknern den Nachteil, dass temporäre oder saisonale Schwankungen im Energieeintrag nicht ausgeglichen werden können und der TR-Gehalt entsprechend schwankt.

Ab einer Ausbaugröße von etwa 15.000 EW ist eine maschinelle Vollentwässerung (Siebbandpresse, Zentrifuge, Kammerfilterpresse, Schneckenpresse, o.ä.) für den Betrieb von solaren oder solar unterstützten Trocknungsanlagen generell sinnvoll. Die dadurch



Bild 1: Solarer Speichertrockner mit kontinuierlicher Beschickung für etwa 6.000 t Nassschlamm

erzielte Reduktion der erforderlichen Anlagengrundfläche wiegt die erforderliche Investition auf. Was die maximal realisierbare Ausbaugröße anbelangt, bestehen nach oben keine Einschränkungen, solange ausreichend Fläche verfügbar ist. Die bislang größte solare Trocknungsanlage der Welt läuft in Palma de Mallorca (600.000 EW), Bild 2.



Bild 2: Großanlage für 600.000 EW zur solaren Trocknung von Klärschlamm in Palma de Mallorca

Die bislang größte solarunterstützte Trocknungsanlage, die neben Solarenergie bis zu 7 MW an Abwärme aus einer Industrieanlage nutzt, ist seit einigen Jahren in Oldenburg in Betrieb (40.000 t/a, 6.000 m²). Der aus vielen kleineren Anlagen stammende Schlamm wird dort nach der Trocknung in einem Kohlekraftwerk verbrannt. Auch auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen befinden sich solarunterstützte Trocknungsanlagen verschiedener Hersteller im Einsatz, die dort kostengünstig verfügbare Abwärme nutzen (Thermo-System, Roediger Bioenergie, Huber).

Je nach Verfügbarkeit von Ab- oder Zusatzwärme, saisonalen Schlammstapelmöglichkeiten und den Anforderungen seitens der Abnehmer an das Endprodukt erfolgt in den meisten Solartrocknungsanlagen eine Trocknung auf End-TR-Gehalte zwischen 50 und 90 Prozent [7]. Der Zusammenhang zwischen TR-Gehalt vor und nach der Trocknung, Massenreduktion und Heizwert (ausgedrückt als Rohbraunkohleäquivalent) ist in Bild 3 dargestellt.

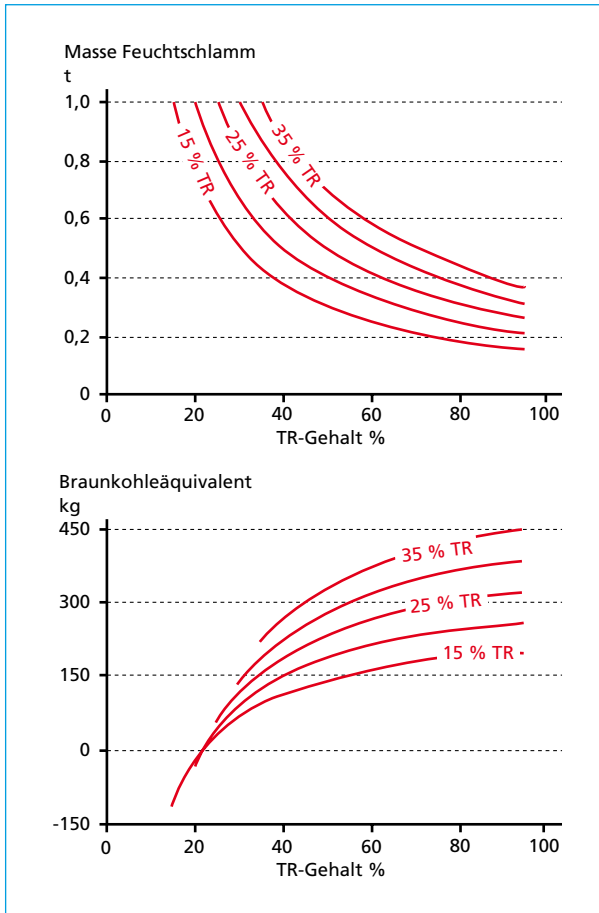


Bild 3:

Brennwertsteigerung und Massenreduktion durch solare Klärschlamm-trocknung am Beispiel von Klärschlamm aus der Klär-anlage Füssen bezogen auf 1 t feuchten Schlamm

Quelle: Bux, M.; Baumann, R.; Starcevic, R. u. N.: Solare Konvektionstrocknung von Klärschlamm. In: Wagner, W. (Hrsg.): Abwassertechnik & Gewässerschutz, Heidelberg: C. F. Müller Verlag, 2004

Wird beispielsweise eine Tonne Klärschlamm von 25 auf 75 Prozent TR getrocknet, nimmt die zu entsorgende Masse an Schlamm auf 0,33 t ab, während der Heizwert auf ein Rohbraunkohleäquivalent von etwa 310 kg steigt. Ab etwa 40 Prozent TR reicht der Heizwert des Schlammes aus, um die typischerweise auftretenden Ofenverluste zu decken und eine Verbrennung ohne Stützfeuerung durch andere Energieträger zu ermöglichen. Bei höheren TR-Gehalten wird ein Energieüberschuss erreicht, so dass Regelbrennstoff durch CO₂-neutralen Klärschlamm substituiert werden kann. Ob der Schlamm dabei auf 75 oder 90 Prozent getrocknet wird, spielt im Falle einer gegebenen Ausgangsmasse hinsichtlich des möglichen Energiegewinns jedoch nur eine

vergleichsweise geringe Rolle. Durch die solare Trocknung von 2.000 t entwässerten Schlammes von 25 auf 75 Prozent TR wird beispielsweise auf der KA Füssen die zu entsorgende Schlammmasse auf 667 t reduziert und dabei ein Brennstoff mit einem Rohbraunkohleäquivalent von 620 t erzeugt. Eine Trocknung derselben Menge auf 90 Prozent würde die Masse auf 556 t reduzieren und das Braunkohleäquivalent auf knapp 700 t erhöhen. Da der Flächenbedarf zur Erzielung sehr hoher TR-Gehalte aufgrund der stärkeren Wasserbindung überproportional ansteigt, lohnt eine Volltrocknung zumindest bei rein solaren Trocknungsanlagen häufig nicht.

Geht man von einer rein solaren Trocknung ohne Zusatzwärme aus, dann sind in Deutschland im Winter 50 bis 60 Prozent und im Sommer über 90 Prozent TR erreichbar. Im Falle von Speichertrocknern, einer Schlammzwischenpufferung oder dem Einsatz von Zusatzwärme können auch ganzjährig 90 Prozent TR erreicht werden. 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 abgeben werden kann, wird aus Gründen des einfacheren Handlings und der Wirtschaftlichkeit meist nur auf etwa 60 bis 75 Prozent 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, aber auch verschiedenen Mitverbrennungsanlagen angenommen. Daneben kann eine Nutzung in dezentralen Vergasungsanlagen interessant sein, da so ein Teil der erzeugten Wärme für die Trocknung genutzt werden kann.

4. Funktionale Komponenten und eingesetzte Baumaterialien

Alle solaren Trocknungsverfahren, die sich bislang am Markt etabliert haben, besitzen eine mit einer transparenten Eindeckung bedachte Gebäudekonstruktion aus verzinktem Stahl, die über einer befestigten Bodenplatte errichtet wird. In den Trocknungskammern sind Einrichtungen untergebracht, die den Schlamm wenden, mischen, verteilen und z.T. transportieren. Mehr oder weniger ausgefeilte Regelungs- und Belüftungseinrichtungen sorgen für ein möglichst günstiges Trocknungsklima.

Während sich als Baumaterial für die Gebäudekonstruktion verzinkter Stahl bewährt hat, ist für die schlammberührenden Komponenten die Verwendung von korrosionsfesten Edelstählen empfehlenswert. Dies gilt insbesondere, wenn die nachfolgend angegebenen, relativ langen Abschreibungszeiträume sicher erreicht werden sollen. Für die Erstellung von Bodenplatte und Aufkantung finden die gängigen Baustoffe wie Ortbeton, Betonfertigteile, Verbundsteine oder Asphalt Verwendung. Bei der Auswahl der transparenten Eindeckung sind neben den Kosten vor allen Dingen die Haltbarkeit und die Durchlässigkeit für Solarstrahlung (Transmission) wichtig. Mit zunehmendem Fremdwärmeanteil gewinnt aufgrund des höheren Temperaturniveaus der Trocknungsluft und dem damit einhergehenden Anstieg der Wärmeverluste auch die Wärmedurchlässigkeit der Eindeckung an Bedeutung. Tabelle 3 zeigt die Stoffwerte der praxisüblichen Eindeckungsmaterialien im Überblick.

Tabelle 3: Stoffwerte und Erfahrungsgrößen für transparente Eindeckungen für solare Klärschlamm-trocknungsanlagen

Bezeichnung	Material	Gewicht g/m ²	Haltbarkeit a	Transmission ¹ %	U-Wert ² W/m ² K
Einscheibensicherheitsglas (4 mm)	Glas	10.000	> 30	91	6
Stegdoppelplatten (6 mm)	PC ⁴	1.300	15	82	3,6
Luftpolsterfolie (8 mm)	PE ³	410	10	82	3,2
PE-Doppelfolie (2 x 200 µm)	PE ³	370	5	80	4

¹ Transmission bei senkrechtem Lichteinfall nach DIN 5036

² U-Wert nach DIN 4108

³ PE: Polyethylen

⁴ PC: Polycarbonat

Für die tatsächlich auf die Schlammoberfläche treffende Solarstrahlung ist neben den Witterungsverhältnissen und dem verwendeten Bedachungsmaterial vor allem der Einfallswinkel der Strahlung auf die unterschiedlich geneigten Flächen einer Trocknungsanlage von Bedeutung. Die geografische Ausrichtung der Anlagenlängsachse spielt demgegenüber nur eine untergeordnete Rolle, solange alle Teilflächen transparent sind. Sind alle Stoffwerte, die Anlagegeometrie sowie die Standortkoordinaten bekannt, so kann die Gesamttransmission mit Hilfe von örtlichen Strahlungsdaten berechnet werden. Dies ist eine der wesentlichen Eingangsgrößen bei der Bemessungsrechnung für solare Trocknungsanlagen bzw. der Prognose der zu erwartenden Trocknungsleistung. Bild 4 zeigt beispielhaft den mittleren monatlichen Strahlungseinfall in eine typische solare Trocknungsanlage mit einer Dachneigung von 22 Grad in Abhängigkeit des Eindeckungsmaterials in Süddeutschland.

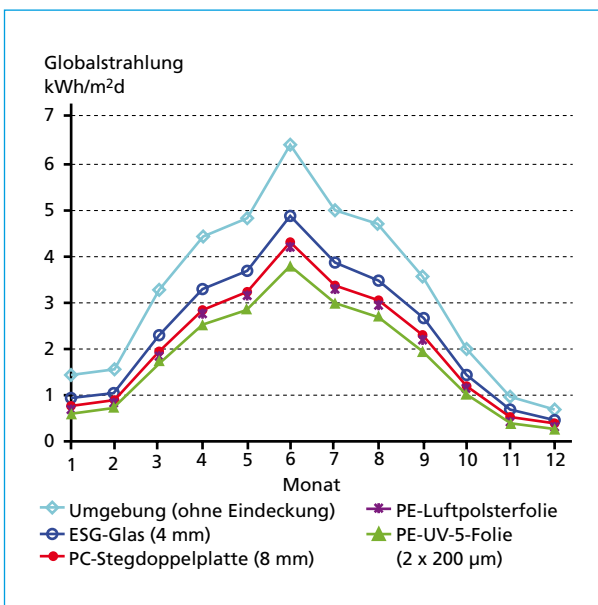


Bild 4:

Mittlerer täglicher Solarstrahlungseinfall pro Monat auf die Horizontale innerhalb und außerhalb einer solareren Klärschlamm-trocknungsanlage in Abhängigkeit des Eindeckungsmaterials (Jahr: 2003; Standort: Hohenheim)

5. Verfahrensführung sowie Misch- und Wendetechnik

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 20 mal pro Tag ist dabei sinnvoll und üblich. Noch häufigeres Wenden bringt gemäß Untersuchungsergebnissen der Universität Hohenheim bei kommunalen Klärschlämmen keine trocknungstechnischen Vorteile sondern erhöht in erster Linie den Energiebedarf. Auch kann eine zu intensive mechanische Bearbeitung des Schlammes aufgrund dessen thixotroper Eigenschaften zu einer Strukturverschlechterung und damit zu einer Reduktion der Trocknungsleistung führen.

Je nach Bauart der Wendemaschine kann entweder nur maschinell vollentwässerter Schlamm zwischen 20 und 35 oder auch teilentwässerter Schlamm mit einem TR-Gehalt zwischen 2 und 15 Prozent getrocknet bzw. bearbeitet werden. Grund dafür ist die leimartige und stark klebrige Konsistenz, die sich bei vielen teilentwässerten Schlämmen einstellt, sobald diese mechanisch bearbeitet werden.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die am deutschen Markt verbreiteten Wendeverfahren der einzelnen Hersteller.

Tabelle 4: Übersicht der für die solare und solar unterstützte Trocknung eingesetzten Wendeeinrichtungen und deren Funktion

Hersteller/Verfahren	Wendeeinrichtung			Betrieb
	Bezeichnung	Bauart	Funktionen	
Thermo-System	El. Schwein	Wenderoboter	w, m, v	b, sk
	SchlammManager	Wendebücke	w, m, v, f	
IST	Wendewolf	Schubwender	w, m, f	k
Huber	n.b.	Schaufelwender	w, m, f	k
Roediger Bioenergie	EDZ-Verfahren	kettengezogene Egge	w, m, f	k

w: wenden; m: mischen; v: verteilen; f: fördern und räumen; b: Batch-Betrieb; k: kontinuierlicher Betrieb; sk: semikontinuierlicher Betrieb (kontinuierliche Befüllung, Batch-weise Räumung).

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

Je nach Verfahren und Betriebsweise wird der Schlamm von den Wendeeinrichtungen 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 herstellerspezifisch zwischen 5 und 40 cm. Auch die Trocknungs- bzw. Durchlaufdauer ist unterschiedlich. Da bei höherer spezifischer Beladung (dickere Schicht) auf der gleichen Grundfläche mehr Wasser entzogen werden muss, um einen bestimmten TR-Gehalt zu erreichen, ist die Durchlauf- oder Zyklusdauer für die Leistung einer Anlage aber nicht relevant. Eine höhere Schichtstärke geht einher mit einer längeren Aufenthaltsdauer. Sollen unterschiedliche Standorte oder Anlagenkonzepte verglichen werden, so ist die Angabe der Trocknungsleistung in Tonnen Wasserentzug pro Fläche und Jahr oder des Jahresdurchsatzes an Schlamm entsprechend wesentlich aussagekräftiger als die Verweildauer im Trockner. Bild 5 zeigt die Verfahrenskennzeichen der wichtigsten am Markt verfügbaren Wendeeinrichtungen schematisch.

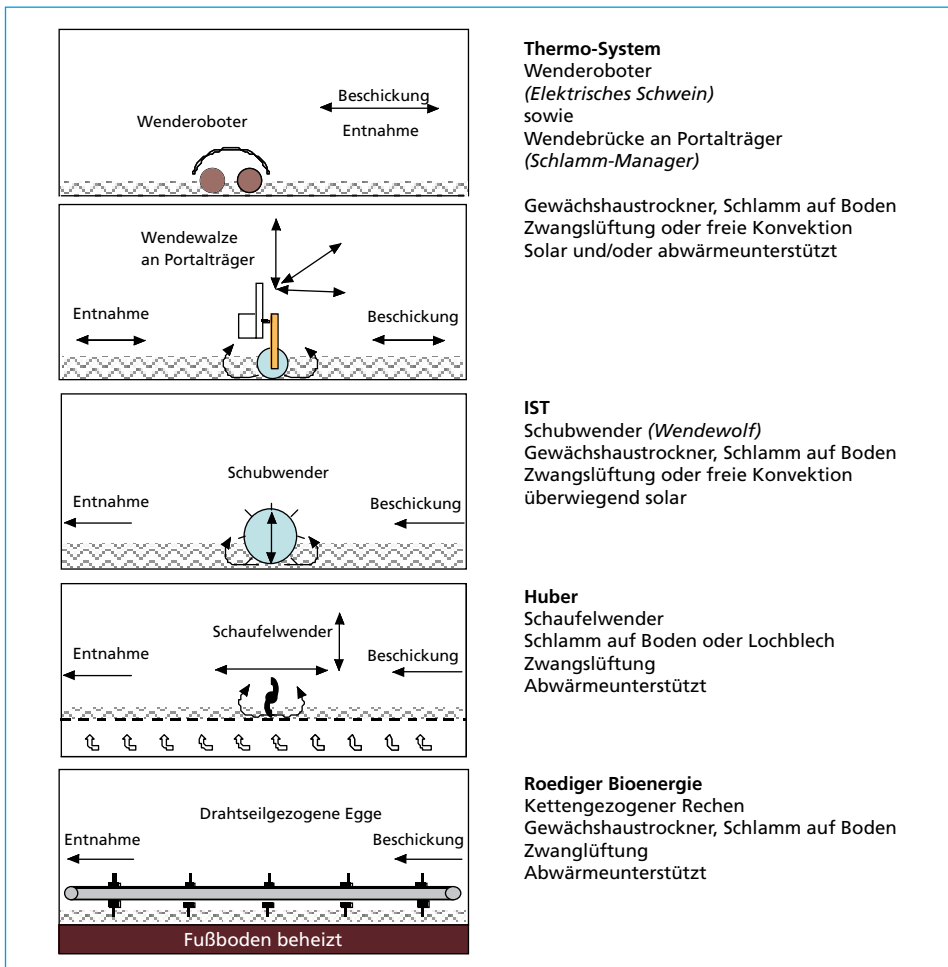


Bild 5: Hersteller und charakteristische Merkmale der aktuell am Markt vertretenen Verfahren zur solaren Konvektionstrocknung von Klärschlamm

Während insbesondere bei Anlagen die mit hohem Fremdwärmeinsatz betriebenen werden geringe flächenspezifische Beladungsmengen sinnvoll sein können, um kurze Durchlaufzeiten zu erreichen und die Emissionen zu begrenzen, können bei einem Batch-Betrieb, semikontinuierlichem Betrieb oder einem kontinuierlichen Betrieb mit hohem Solaranteil 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 geringer, wenn der Trockner gleichzeitig als Schlammpuffer dienen kann.

Bild 6 zeigt beispielhaft eine Wendemaschine für kontinuierlichen Betrieb (Schlamm-Manager). Austrag und Eintrag können dabei seitlich, auf derselben oder der gegenüberliegenden Hallenseite angeordnet werden.



Bild 6:

Solare Trocknungsanlage mit SchlammManager zum Wenden, Mischen und Transportieren des Schlammes

In Bezug auf den Schlamm eintrag und austrag 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 [vgl. 5] 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 mit offenen Giebeln oder gesteuerten Lüftungsclappen bis hin zu einer vollautomatisch gesteuerten Zwangslüftung mit getrennten Ventilatoren für Umluft und Zuluft. Bild 7 zeigt eine schematische Einteilung der Verfahren nach praxisüblicher Belüftungsweise sowie Ab- bzw. Zusatzwärmenutzungsmöglichkeiten.

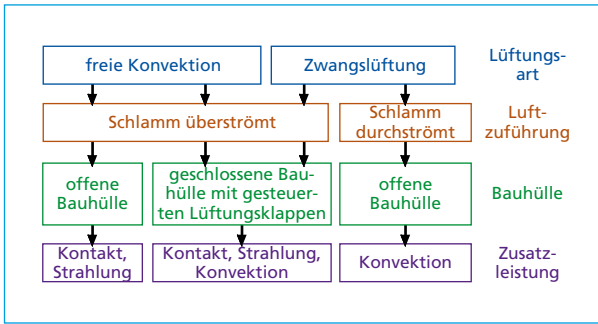


Bild 7:

Luftaustausch, Luftführung und Zusatzwärmenutzung bei der solaren Trocknung von Klärschlamm

6. Weitergehende Behandlung von getrocknetem Klärschlamm

Im Anschluss an eine Trocknung verbleibt der getrocknete Schlamm, der entsorgt bzw. möglichst sinnvoll verwertet werden muss. Dafür stehen grundsätzlich alle derzeit zulässigen Verwertungswege offen, wobei sich angesichts des mit feuchter Rohbraunkohle vergleichbaren Heizwertes insbesondere eine thermische Verwertung anbietet. Wie bei nachwachsenden Rohstoffen kann hier CO_2 -neutral Wärme oder el. Strom erzeugt werden. Auch bei der Aufstellung einer energetischen Gesamtbilanz unter Berücksichtigung des Herstellungsaufwandes der Trocknungsanlage, des el. Energiebedarfs sowie des Transportaufwandes für die Restschlamm entsorgung schneidet die solare Trocknung im Gegensatz zu konventionellen Trocknungsanlagen mit einem erheblichen Energieüberschuss ab [6].

Nachteilig an der derzeit meist praktizierten, zentralen Mitverbrennung in Kohlekraft- oder Zementwerken ist neben dem Transportaufwand allerdings der Verlust des in der Asche enthaltenen Phosphates. Im Falle einer Monoverbrennung/Behandlung kann dieses aufgrund der relativ hohen Konzentration in der Asche jedoch fast vollständig wiedergewonnen werden. Angesichts endlicher Phosphatressourcen einerseits sowie der hohen Bedeutung als nicht substituierbarer und lebenswichtiger Bestandteil unserer Nahrung andererseits, ist eine Wiedergewinnung unabhängig von jeder berechtigten Kostendiskussion langfristig unvermeidbar.

Während sowohl die zentrale Mit- als auch Mono-Verbrennung technisch ausgereift und in der Praxis erprobt sind, sind dezentral einsetzbare thermische Verwertungslösungen für mittlere bis kleine Anlagen nach wie vor rar und befinden sich vielfach noch im Versuchsstadium. Neben der Unabhängigkeit vom Entsorgungsmarkt sind derartige Lösungen gerade für solare Trocknungsanlagen besonders attraktiv, weil sie die Chance bieten, die im Winter fehlende Solarenergie durch Wärme aus der thermischen Klärschlammverwertung zu substituieren. Dies erlaubt eine spürbare Reduktion der erforderlichen Anlagenfläche. Eine derartige Anlage zur thermischen Behandlung des solargetrockneten Schlammes einer Kläranlage mit einer Ausbaugröße von etwa 40.000 EW befindet sich derzeit in Grünstadt im Bau (KlärschlammReformer™, Thermo-System).

7. Literatur

- [1] Anonym: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes. KTBL-Schrift 404. (Hrsg.): Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2002
- [2] Anonym: Gute Qualität und sichere Erträge. Wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden? Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2002
- [3] Anonym: Klärschlamm Entsorgung. Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 2002
- [4] Anonym: Draft discussion document for the ad hoc meeting on biowastes and sludges. Brüssel (Belgien), 2003
- [5] Melsa, A.; Bäckler G.; Hanßen H.; et al.: Trocknung kommunaler Klärschlämme in Deutschland. Teil 2. Korrespondenz Abwasser 46, 1999, Nr. 9, S. 1.445-1.456
- [6] Bux, M.; Baumann R.: Wirtschaftlichkeit und CO₂-Bilanz der solaren Trocknung von mechanisch entwässertem Klärschlamm. KA Abwasser, Abfall 50, 2003, Nr. 9, S. 1.169-1.177
- [7] Bux, M.; Baumann, R.: Solare Trocknung von Klärschlamm. Verbreitung, Leistung und Kosten. KA Abwasser, Abfall 50, 2003, Nr. 6, S. 732-739
- [8] Bux, M.; Baumann, J. Pinnekamp, J., et al.: Solare Trocknung von Flüssigschlamm in kleinen Kläranlagen. KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 49, 2002, Nr. 3, S. 341-344
- [9] Kopp, J.: Wasseranteile in Klärschlammuspensionen – Messmethode und Praxisrelevanz. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig, 2001
- [10] Bux, M.; Baumann, R.; Starcevic, R. u. N: Solare Konvektionstrocknung von Klärschlamm. In: Wagner, W. (Hrsg.): Abwassertechnik & Gewässerschutz. Heidelberg: C. F. Müller Verlag, 2004
- [11] Anonym: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Kulturbuchverlag Berlin, Berlin, 1998
- [12] Staß, F.: Jahrbuch Erneuerbare Energien. Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg. Bieberstein-Fachbuchverlag, Radebeul, 2003
- [13] Anonym: Heizungssysteme im Vergleich. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen 2005. www.landwirtschaftskammer.de

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.