

Trocknung kommunaler Klärschlämme in Deutschland

Teil 1: Grundlagen der Trocknung und Darstellung der wesentlichen Verfahren*)

Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 3.3.1 „Klärschlamm-Trocknungsanlagen“ im ATV-Fachauschuß 3.3 „Energetische Verwertung und thermische Behandlung“

Mitglieder der Arbeitsgruppe sind:

Prof. Dipl.-Ing. *Melsa*, Viersen (Sprecher)
 Dipl.-Ing. *Bäckler*, Viersen
 Dipl.-Ing. *Hanßen*, Hamburg
 Dipl.-Ing. *Husmann*, Bochum
 Dipl.-Ing. *Wessel*, Essen
 Prof. Dr.-Ing. *Witte*, St. Augustin

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkungen
2. Aufgabenstellung und Geltungsbereich
3. Begriffe, Definitionen
4. Theoretische, verfahrenstechnische und sicherheitstechnische Grundlagen der Klärschlamm-trocknung
 - 4.1 Wasserbindung
 - 4.2 Wärme- und Stoffübertragung bei der Klärschlamm-trocknung
 - 4.3 Trocknungsverlauf
 - 4.4 Rückführverhältnis bei der Volltrocknung mit Rückmischung
 - 4.5 Sicherheitstechnische Aspekte
5. Verfahrensbeschreibung von Klärschlamm-trocknungsanlagen
 - 5.1 Kontakt-trockner
 - 5.1.1 Scheibentrockner
 - 5.1.2 Dünnschicht-trockner
 - 5.1.3 Kombination Dünnschicht- und Scheibentrockner
 - 5.1.4 Rohrbündel-Drehrohr-trockner
 - 5.2 Konvektion-trockner
 - 5.2.1 Trommel-trockner
 - 5.2.2 Wirbelschicht-trockner
 - 5.2.3 CENTRIDRY-Verfahren
 - 5.2.4 Band-trockner
 - 5.2.5 Kaltluft-trockner
 - 5.2.6 Schachtriesel-trockner
 - 5.3 Strahlung-trockner
 - 5.3.1 BLUE-TEC – Verfahren
 - 5.3.2 Solar-/Ventilation-trockner
 - 5.4 Brüdenbehandlung
6. Literatur

*) Anregungen zum nachfolgenden Arbeitsbericht sind erwünscht. Richten Sie diese bitte an die ATV-Hauptgeschäftsstelle, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef

1. Vorbemerkungen

An der Ausarbeitung des Berichtes hat der Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum, durch Bearbeitung eines Forschungsvorhabens, das durch Mittel aus dem ATV-Forschungsfonds finanziell unterstützt wurde, mitgewirkt. Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind eine Grundlage dieses Arbeitsberichtes.

Die Fülle des Materials macht es notwendig, den Arbeitsbericht zu teilen. Der erste Teil befaßt sich mit den Grundlagen der Trocknung und Darstellung wesentlicher Trocknungsverfahren. Im zweiten Teil wird dann – unter anderem – auf die Ergebnisse der Befragung, die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführt wurde, eingegangen.

2. Aufgabenstellung und Geltungsbereich

Der vorliegende Arbeitsbericht wendet sich an Klärschlamm-entsorgungspflichtige sowie Anlagenplaner, -bauer und -betreiber. Er stellt wesentliche Erkenntnisse über den Stand der Klärschlamm-trocknungsanlagen zusammenfassend dar und ermöglicht sowohl einen grundsätzlichen Einstieg in das Thema als auch die weitergehende Systembetrachtung.

Beschrieben sind die Grundlagen zur Klärschlamm-trocknung sowie in Deutschland sich im Einsatz befindliche Trocknungsverfahren.

In einer Befragung von zunächst rd. 30 Betreibern von Trocknungsanlagen (das sind über ¾ der sich in Betrieb befindenden Anlagen) wurde der Sachstand der Trocknung kommunaler Klärschlämme vor Ort erhoben. Neben Bemessungsdaten und den praktischen Betriebsergebnissen erfaßte der Fragenkatalog auch Schwachstellen der Anlagen.

Aufgabe der Schlammbehandlung war und ist es, die bei der Abwasserreinigung anfallenden Schlämme für eine schadlose Entsorgung aufzubereiten. Dabei kommt der Grundoperation „Schlammwasserabtrennung“ eine besondere Bedeutung zu. Ihre anlagentechnische Umsetzung entscheidet maßgeblich über die wirtschaftlichen Bedingungen sowie die möglichen Entsorgungswege. Da der Gesetzgeber die Anforderungen an den zu entsorgenden Klärschlamm in den letzten Jahren deutlich verschärft hat, ist der Trocknung ein höheres Maß an Bedeutung zu-gewachsen.

Die Trocknung von Klärschlamm gewährleistet eine weitgehende Gewichts- und Volumenreduktion sowie die Erzeugung eines heizwertreichen Brennstoffes. Darüber hinaus kann – je nach gewähltem Trocknungsverfahren und Trocknungsgrad – auch ein lager- und transportfähiges Gut erzeugt werden. Damit ist – bei Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen – der Fächer der nachfolgenden Behandlungs- und Entsorgungsmöglichkeiten deutlich größer.

3. Begriffe, Definitionen

Für den Planer, Gutachter, die genehmigende Behörde, den Anlagenbauer und letztendlich auch den Betreiber einer Trocknungsanlage sind maschinen- und verfahrenstechnische Kenntnisse, rechtliche Aspekte, Aussagen zu den Inhaltsstoffen sowie Informationen von Bedeutung, die die Struktur, das spezielle Verhalten des zu trocknenden Gutes bezüglich Wasserbindungsvermögen und den Trocknungsvorgang selbst beschreiben.

Zum besseren Verständnis sind daher in diesem und im folgenden Kapitel einige Begriffe und Zusammenhänge kurz dargestellt. Für weitergehende Informationen wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

Klärschlamm-trocknungsanlagen dienen dem weitergehenden Wasserentzug aus einem in der Regel zuvor mechanisch ent-

wässerten Klärschlamm. Dabei unterscheidet man die Voll- von der Teiltrocknung.

Allgemein anerkannte Definitionen zu den beiden Begriffen liegen nicht vor. Im Rahmen dieses Berichtes haben es die Verfasser für zweckmäßig gehalten, immer von einer produktbezogenen Unterscheidung auszugehen.

Bei einer Volltrocknung hat das Fertigprodukt staub- bis granulartförmigen Charakter. In aller Regel sollte das Trocknungsverfahren aus Brand- und Explosionsschutzgründen sowie einer besseren Handhabbarkeit bei nachfolgenden Verwertungs-/Entsorgungsschritten geeignet sein, ein granulartförmiges Produkt zu erzeugen. Ein eher staubförmiges Produkt kann bei einer unmittelbar anschließenden Verbrennung akzeptiert werden. Im allgemeinen wird diese Vorgabe bei einem Trockenrückstand oberhalb von 85 % erzielt.

Eine Teiltrocknung liegt dann vor, wenn mit einem Trocknungsverfahren ein Trockenrückstand unterhalb dieses Wertes erreicht wird.

Ein Unterscheidungskriterium ist der Einsatz der Trockner bzw. Trocknungsanlagen zur

- ausschließlichen Teiltrocknung,
- von der Teiltrocknung bis zur Volltrocknung ohne Rückmischung von Trockengut,
- Volltrocknung mit Rückmischung von Trockengut.

Für Voll- und Teiltrocknung hat je nach erreichtem Feststoffgehalt die Leimphase eine hohe Bedeutung. Dies liegt daran, daß in einer Bandbreite zwischen etwa 40–50 % TR der Klärschlamm seine rheologische Verhaltensweise ändert. Innerhalb dieser Phase ist er eine „klebrige Masse“, deren Behandlung/Förderung besonders zu berücksichtigen ist. Oberhalb der Leimphase hat der Klärschlamm je nach Trocknungsaggregat in vielen Fällen eine mehr krümelige/klumpige Struktur.

Abbildung 3.1 zeigt die Arbeitsbereiche der zumeist für die Klärschlamm-trocknung eingesetzten Trocknertypen [1].

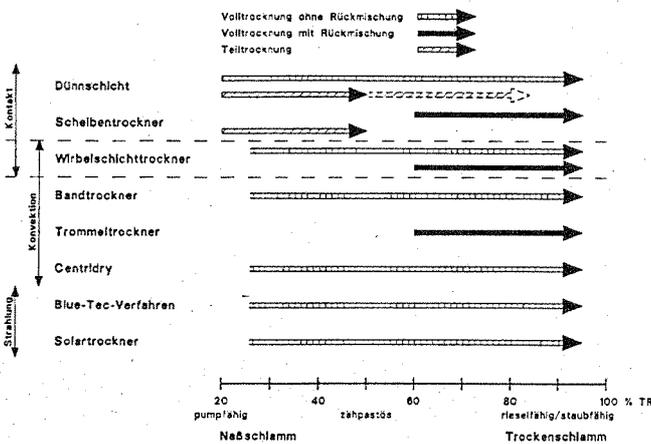


Abb. 3.1: Arbeitsbereiche der zur Klärschlamm-trocknung eingesetzten Trocknertypen

Verschiedene Trocknertypen sind nicht geeignet, den Klärschlamm über die Leimphase hinweg zu trocknen, daher wird vor Aufgabe in den Trockner feines Trockengut in den entwässerten Klärschlamm rückgemischt. Das Mischgut hat einen Trockenrückstand, der oberhalb der Leimphase liegt (siehe Kapitel 4).

Die Klärschlamm-trocknungsverfahren können auch nach der Art der Wärmeübertragung unterschieden werden in

- Konvektionstrocknung,
- Kontakt-trocknung,
- Strahlungstrocknung.

Bei der *Konvektionstrocknung* kommt der zu trocknende Klärschlamm unmittelbar mit dem Wärmeträger in Berührung.

Bei der *Kontakt-trocknung* erfolgt die Wärmeübertragung aus dem Wärmeträger über eine Kontaktfläche.

Bei der *Strahlungstrocknung* erfolgt die Wärmeübertragung ohne Wärmeträger mit Hilfe von elektromagnetischen Strahlen bzw. Infrarotstrahlen [2].

Da bisher im kommunalen Bereich fast ausschließlich Trocknungsanlagen nach den Prinzipien der Konvektions- bzw. Kontakt-trocknung realisiert worden sind, nimmt die Beschreibung dieser Art der Wärmeübertragung im weiteren einen größeren Raum ein.

Bei der Trocknung entstehen *Brüden*, die ein Gemisch aus Wasserdampf, Luft und aus dem Schlamm ausgetriebenen Gasen – bei der direkten Trocknung auch der Heißgase – darstellen.

Je nach Brüdenführung werden Trocknungssysteme wie folgt unterschieden. Bei der *direkten Trocknung* wird der Brüden mit dem Wärmeträger gemeinsam abgeführt. Bei der *indirekten Trocknung* wird der Brüdenstrom eigenständig ohne direkten Kontakt mit dem Wärmeträger aus dem Trockner abgeleitet.

Ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl des Trocknungssystems ist auch der *Wärmeträger*, der zur Klärschlamm-trocknung notwendig ist. Abbildung 3.2 zeigt hier eine Übersicht. Hauptunterscheidungskriterium ist dabei die Druckstufe – davon abhängig die Temperatur –, mit der das Trocknungsaggregat zu betreiben ist. *Dampf, Druckwasser und Thermoöl* sind aus physikalischen Gründen nur unter Druck einzusetzen. Für Thermoöl sind dabei nicht die hohen Druckstufen notwendig, wie dies bei Dampf bzw. Druckwasser erforderlich ist.

	Einsatz	Druck bar	Temp. °C
Rauchgas	Trommeltrockner	~ 1	≤ 850
Abgas aus BHKW	Wirbelschichttrockner	~ 1	≤ 350
Luft	Trommeltrockner Bandtrockner	~ 1	≤ 450 ≤ 160
Dampf	Dünnschichttrockner Scheibentrockner Wirbelschichttrockner	} 5 - 11 ≤ 20	} 150 - 180 ≤ 200
Druckwasser	Dünnschichttrockner Scheibentrockner Wirbelschichttrockner	wie Dampf	wie Dampf
Thermoöl	Dünnschichttrockner Scheibentrockner Wirbelschichttrockner	} 3 - 4 (< 6)	} ≤ 200 ≤ 250
Strahlung	Strahlungstrockner Infrarottrockner	~ 1	< 50

Abb. 3.2: Wärmemedien bei der Klärschlamm-trocknung

Bei Zusatzeneigeeinsatz finden im allgemeinen Heizöl, Erdgas oder Faulgas Verwendung. Die immissionsrechtlichen Regelungen wie *Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)* und seiner Verordnungen bzw. *Technische Anleitung Luft (TA Luft)* sind bei Errichtung und Betrieb der Wärmeerzeuger zu berücksichtigen.

Bei der *Kondensation* von Brüden sollte Wärme zurückgewonnen werden. Bei einem Standort auf der Kläranlage sind folgende Anwendungsfälle denkbar:

- Rohschlammerwärmung vor Eintritt in den Faulbehälter bei direkter Kondensation,
- thermische Konditionierung von Klärschlamm bei direkter Kondensation vor einer maschinellen Entwässerung (nur in Ausnahmefällen sinnvoll),

- Warmwasserbereitung bei indirekter Kondensation, z. B. zur Gebäude-/ Faulraumbeheizung.

Unabhängig von der Art der Brüdenbehandlung ist zu berücksichtigen, daß die – in der Regel – der Kläranlage zugeführten Brüdenkondensate aus einer Trocknung, die als eine zentrale Anlage besteht, eine *Rückbelastung* für die Abwasserreinigung darstellen bezüglich der Parameter

- CSB,
- BSB₅ (vernachlässigbar),
- NH₄-N,
- NO_x-N (vernachlässigbar),
- PO₄-P.

Man kann davon ausgehen, daß mit steigender Temperaturbelastung des Klärschlammes, d. h. mit

- höherer Temperatur des Trocknungsgases bzw. der Wärmetauscherflächen,
- im Gut sich einstellenden höheren Temperatur und
- längerer Verweilzeit des Gutes im Trockner, d. h. längerer Wärmeeinwirkzeit,

die Brüdenkondensatbelastung anwächst.

Der Einfluß der Rückbelastung durch die Brüdenkondensate auf die Abwasserreinigung ist bei Planung und Betrieb der Kläranlage in geeigneter Form – beispielsweise durch Pufferung und dosierte Einleitung in Zeiten geringerer Zulaufbelastung – zu berücksichtigen.

Der nicht-kondensierbare Brüdenanteil (Leckluft, Entlastung aus Kreislaufführung) ist zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen zu reinigen, z. B.

- thermisch durch z. B. Zugabe zur Verbrennungsluft im Wärmeerzeuger,
- biologisch durch Biofilter/Kompostfilter, Biowäscher,
- chemisch/physikalisch durch Absorption/Adsorption.

Zur Geruchs- und Staubfreihaltung wird in den Trocknungsanlagen häufig eine *Aspiration* von Anlagenteilen durchgeführt. Aggregate und Förderorgane werden so be- und entlüftet, daß sie im Unterdruck betrieben werden. Das Austreten von Staub und geruchsbeladener Luft sowie die Ablagerung von Staub innerhalb der Aggregate wird dadurch weitgehend unterbunden. Ferner kann die mögliche Kondensation von nachverdampfendem/nachverdunstendem Schlammwasser vermieden werden. Die Aspirationsluft wird im allgemeinen der Brüdenbehandlung zugeführt.

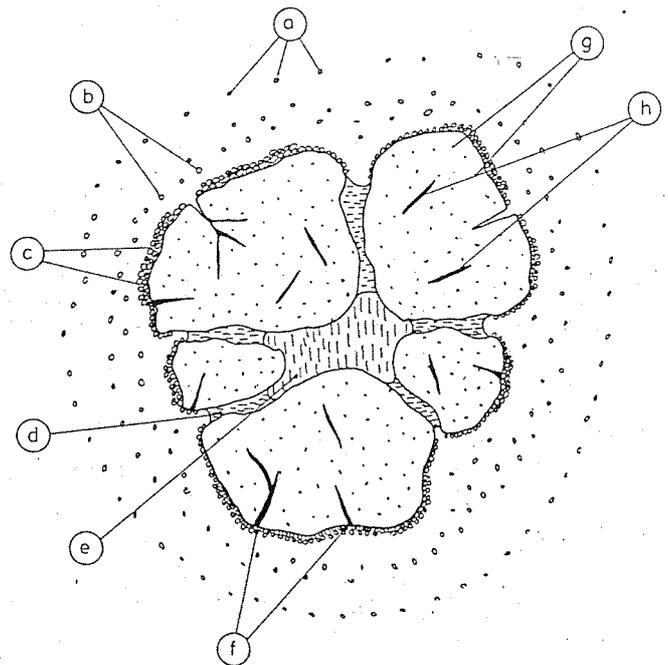
Als *Trägerluft* wird die gezielt in die Trocknungsanlage eingebrachte Luftmenge bezeichnet, die zur Brüdenableitung aus dem Trocknungsaggregat dient. *Leckluft*, *Falschluff*, *Fremdluft* hingegen tritt durch Undichtigkeiten in die im Unterdruck betriebenen Aggregate ein.

4. Theoretische, verfahrenstechnische und sicherheitstechnische Grundlagen der Klärschlamm-trocknung

4.1 Wasserbindung

Für die Klärschlamm-trocknung wie für alle anderen verfahrenstechnischen Grundoperationen, die sich mit dem Wasserentzug befassen, ist die Kenntnis der Bindungsmechanismen von Wasser an den Feststoff relevant.

Abbildung 4.1 beinhaltet ein Bild der allseits bekannten Klärschlammflocke, wobei die Darstellung verdeutlichen soll, daß Klärschlamm bei geringen Wassergehalten aufgrund der Kapillaren ein poriges Gut mit großer innerer und äußerer Oberfläche ist.



Zwischenraumwasser

a – freies Wasser zwischen den Schlammpflocken

Außenwasser

b – Adhäsionswasser

c – Adsorptionswasser (mono- bis polymolekulare Schichten)

d – Zwickelkapillarwasser

e – Kapillares Steigwasser

f – Mikrokapillarwasser

Innenwasser

g – Zellflüssigkeit, Hydratwasser

h – Innenkapillarwasser

Abb. 4.1: Wasserbindung an eine Schlammflocke

Diese Struktur führt zu einem ausgeprägten *hygroskopischen Verhalten*, das sich mittels sog. Sorptionsisothermen graphisch darstellen bzw. beschreiben läßt (Abbildung 4.2).

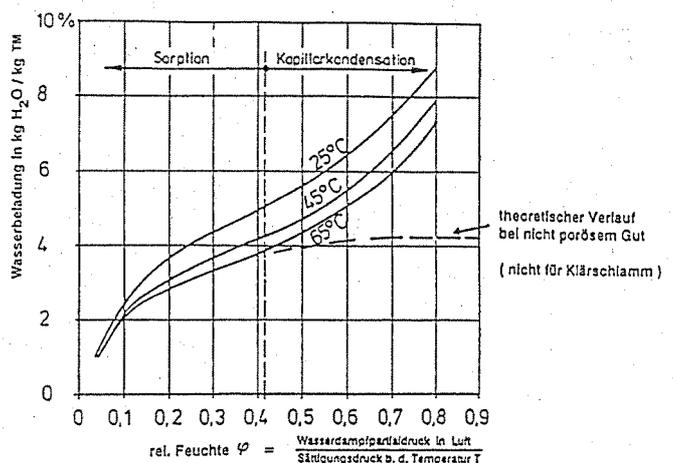


Abb. 4.2: Sorptionsisothermen für Klärschlamm

Diese *Sorptionsisothermen* geben den Gleichgewichtszustand zwischen der Gutfeuchte und dem Dampfdruck in der Umgebung des Gutes bei konstanter Temperatur an. Die Gutfeuchte wird als Wasserbeladung (Quotient aus Wassermenge im Gut und Trockenrückstand) angegeben, um im Gegensatz zur in der

Abwassertechnik üblichen Angabe von Wassergehalten für unterschiedliche Wassermengen bei wechselnden relativen Luftfeuchten eine konstante Bezugsgröße zu erhalten.

Die relative Luftfeuchte ist definiert als Wasserdampfpartialdruck in der Luft bei einer bestimmten Temperatur bezogen auf den Sättigungsgrad bei dieser Temperatur. Sie gibt somit die Relation zwischen der Wassermenge wieder, die dampfförmig in der Luft vorhanden ist und der maximal von der Luft bei einer bestimmten Temperatur aufnehmbaren Wassermenge.

Bei geringen relativen Luftfeuchten stellt sich eine nur geringe Wasserbeladung, hervorgerufen durch *adsorptive Bindung* von Wasser in monomolekularer Schicht, auf der Gutoberfläche ein. Wachsende Luftfeuchte führt zur Ausbildung einer polymolekularen Belegung bis schließlich nach vollständiger Belegung der Oberfläche bei einer weiteren Steigerung der Luftfeuchte durch sog. *Kapillarkondensation* ein deutlicher Anstieg der Wasserbeladung im porösen mit Kapillaren durchsetztem Gut auftritt.

Bei einem nichtporösen, kapillarlosen Feststoff würde sich nach der Adsorption von Wasser an der Oberfläche in mono- bis polymolekularen Schichten auch bei steigender Luftfeuchte keine höhere Wasserbeladung mehr einstellen, d.h. die Sorptionsisotherme würde sich asymptotisch einem Endwert nähern (gestrichelte Kurve in Abbildung 4.2).

Die Intensität der Wasserbindung an den Feststoff ist in erheblichem Maße abhängig von der Art der Wasserbindung.

Abbildung 4.3 zeigt die Bindungsenthalpie von Wasser an Klärschlamm in Abhängigkeit von der Gleichgewichtsbeladung. Neben der Energiezufuhr zur Wasserverdampfung erfordert die Bindungsenthalpie bei der Trocknung eine zusätzliche Energiezufuhr für die Lösung des sorptiv gebundenen Wassers von dem zu trocknenden Gut.

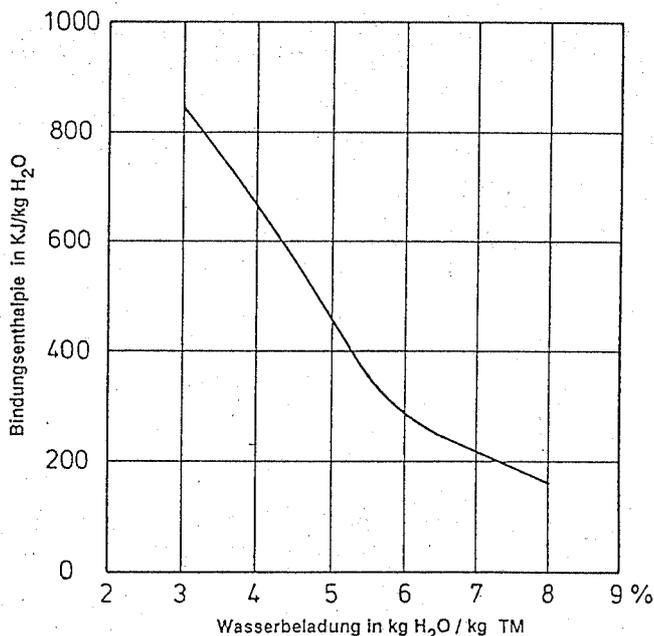


Abb. 4.3: Bindungsenthalpie von Wasser an Klärschlamm in Abhängigkeit von der Gleichgewichtsbeladung

Signifikant ist, daß bei geringen Wasserbeladungen, d.h. geringen Restfeuchten im Gut – hier liegt dann überwiegend Adsorption vor – eine zusätzliche Energiezufuhr notwendig ist, die rund 25 bis 30 % der Verdampfungswärme beträgt.

Mit zunehmender Wasserbeladung und steigendem Anteil der Kapillarkondensation an der Wasserbindung wird der Einfluß der Bindungsenthalpie vernachlässigbar.

Bei der Lagerung muß folgendes beachtet werden: Hochgetrockneter Klärschlamm ist aufgrund des hygroscopischen Ver-

haltens weitgehend unter geringen relativen Luftfeuchten bzw. unter reduziertem Luftaustausch/Luftzutritt zu lagern, damit nicht durch Adsorption von Wasser aus der Luft der bei der Trocknung erzielte geringe Wassergehalt wieder ansteigt.

4.2 Wärme- und Stoffübertragung bei der Klärschlamm-trocknung

Die Trocknungsverfahren lassen sich – wie zuvor bereits ausgeführt – nach der Art der Wärmeübertragung als Konvektions- bzw. Kontakt-trocknung klassifizieren (siehe Abbildung 4.4).

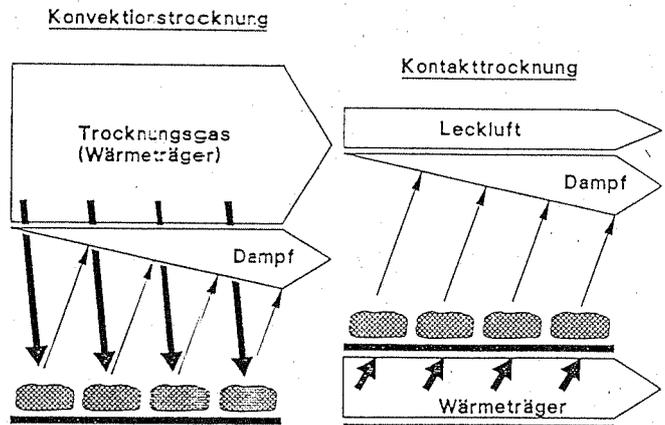


Abb. 4.4: Wärme- und Stoffübertragung bei der Klärschlamm-trocknung

Bei der *Konvektionstrocknung* um- bzw. überströmt ein Trocknungsgas (Rauchgas, heiße Luft, Brüdenstrom etc.) das zu trocknende Gut, dabei wird Wärme aus dem Trocknungsgas an das Gut übertragen. Wasser wird aus dem Gut verdampft und von dem Trocknungsgas aufgenommen und abgeführt. Das zu trocknende Gut steht in direktem Kontakt zum Wärmeträger.

Bei der *Kontakt-trocknung* wird das auf einer durch einen Wärmeträger (Thermoöl, Dampf etc.) beheizten Fläche (Wärmetauscherfläche) ruhende, zu trocknende Gut erwärmt, ohne in direkten Kontakt mit dem Wärmeträger zu treten (Indirekt-trocknung). Das verdampfte Wasser wird gemeinsam mit durch Undichtigkeiten in das System eintretender Leckluft bzw. durch eine gezielt zugeführte kleine Trägerluftmenge abgeführt.

Der prinzipbedingte Nachteil der großen einer Kondensation bzw. weiteren Behandlung zuzuführenden Brüdenmenge bei der direkten Konvektionstrocknung kann dadurch kompensiert werden, daß das Trocknungsgas im Kreislauf gefahren wird (Brüden-zirkulation) und nur ein Teilstrom, der etwa der Brüdenmenge bei der Kontakt-trocknung entspricht, abgezogen wird.

4.3 Trocknungsverlauf

Der Trocknungsverlauf ist modellhaft für die Konvektionstrocknung in Abbildung 4.5 dargestellt.

An der durch die Wärmezufuhr erhitzten Oberfläche des umströmten feuchten Gutes verdampft Wasser, d.h. der Verdampfungsspiegel befindet sich an der Gutoberfläche. Aus dem Gutinnern findet durch kapillare Feuchteleitung ein Wassertransport zur Gutoberfläche statt. In diesem sog. I. Trocknungsabschnitt bleibt die Trocknungsgeschwindigkeit (siehe auch Abbildung 4.6) konstant.

Reicht die kapillare Feuchteleitung bei sinkendem Wassergehalt im Gut nicht mehr aus, um die verdampfte Wassermenge an die Gutoberfläche nachzuliefern, so tritt am Knickpunkt KN I der Trocknungsverlaufskurve ein Abfall der Trocknungsgeschwindigkeit ein. Im nachfolgenden zweiten Trocknungsabschnitt wandert der Verdampfungsspiegel von der Gutoberfläche ins Innere. Der Trocknungsverlauf ist bestimmt durch die Wärmeleitung von der Oberfläche durch bereits getrocknetes Gut an den weiter ins

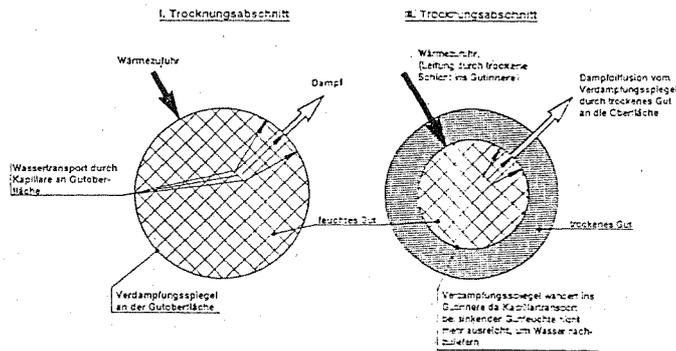


Abb. 4.5: Trocknungsverlauf – Konvektionstrocknung

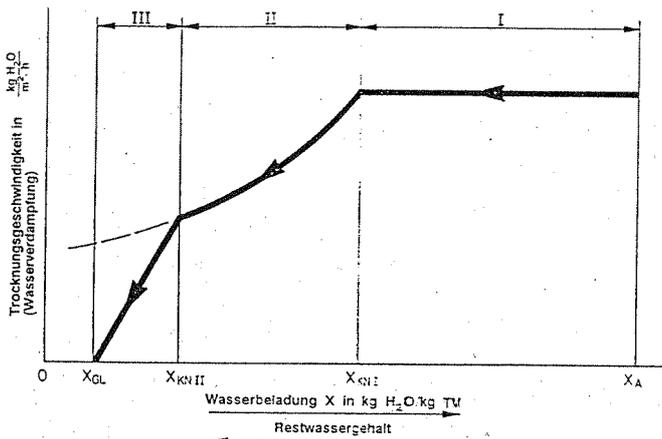


Abb. 4.6: Trocknungsverlauf (theoretisch) bei der Klärschlamm-trocknung

Gutinnere wandernden Verdampfungsspiegel sowie durch die Diffusion des verdampften Wassers vom Verdampfungsspiegel durch trockenes Gut an die Oberfläche. Die Trocknungsgeschwindigkeit geht dabei mit dem ins Gutinnere wandernden Verdampfungsspiegel zurück und strebt bei nicht hygroskopischen Gütern einer Endtrocknungsgeschwindigkeit zu (gestrichelter Kurvenverlauf in Abbildung 4.6).

Bei hygroskopischen Gütern, wie vollgetrocknetem Klärschlamm, ergibt sich im Trocknungsverlauf ein zweiter Knickpunkt KN II, wenn im Gut die maximale hygroskopische Wasserbelastung erreicht wird. In dem anschließenden III. Trocknungsabschnitt nimmt die Trocknungsgeschwindigkeit bei Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte X_{GL} , entsprechend dem Zustand des den Wasserdampf aufnehmenden Trocknungsgases (siehe Sorptionsisotherme, Abbildung 4.2), weiter bis auf Null ab. Der III. Abschnitt wird entscheidend vom Sorptionsverhalten beeinflusst.

Für die Kontakttrocknung ergeben sich bei der theoretischen Betrachtung des Trocknungsverlaufs gegenüber der Konvektionstrocknung zunächst ungünstigere Verhältnisse.

Der Verdampfungsspiegel liegt zu Beginn des Trocknungsvorgangs an der die Wärmetauscherfläche berührenden Gutoberfläche (siehe Abbildung 4.7). Das hat zur Folge, daß das verdampfte Wasser durch das feuchte Gut zur freien Gutoberfläche diffundieren muß. Neben einer Erhöhung des Transportwiderstands führt das auch zu einer Rückkondensation bereits verdampften Wassers an dem im Gegenstrom – durch Kapillarttransport – zum Verdampfungsspiegel fließenden Wasser.

Diese – bei rein theoretischer Betrachtungsweise – ungünstigeren Verhältnisse sind in der Praxis nicht nachvollziehbar, zumal bei der Kontakttrocknung von Klärschlamm das Gut nicht in einer ruhenden Schicht, sondern bei intensiver Durchmischung getrocknet wird, um fortlaufend neue Produktoberflächen mit den Wärmetauscherflächen in Berührung zu bringen.

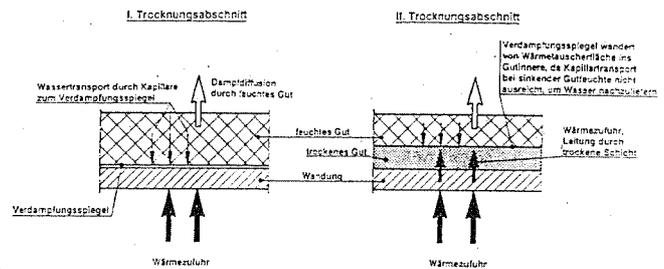


Abb. 4.7: Trocknungsverlauf – Kontakttrocknung

Hierbei kommt es, da immer andere Produktteile mit den Wärmetauscherflächen in Berührung gebracht werden ständig neue freie Oberflächen im Gut für die Dampfreisetzung entstehen, zu mit der Konvektionstrocknung vergleichbaren Ergebnissen.

Aus dem zuvor Dargestellten lassen sich unter maschinen- bzw. verfahrenstechnischen Kriterien folgende Schlüsse ziehen:

- Bei der Klärschlamm-trocknung auf geringe Restfeuchten (Größenordnung von 90–95 % TR) ist die Bindungsenthalpie des Schlammwassers bei der Wärmebilanzierung bzw. der Dimensionierung des Trockners zu berücksichtigen, ferner reduziert sich die Trocknungsgeschwindigkeit (II. und III. Trocknungsabschnitt). Daraus resultierend ist bei der Auslegung von Trocknern von einer deutlichen Reduzierung der Wasserverdampfungsleistung bei steigendem Endfeststoffgehalt auszugehen. Längere Aufenthaltszeiten und damit größere Trockner sind die Folge. Die grundsätzliche Abhängigkeit zwischen Feststoffgehalt und Wasserverdampfungsleistung ist in Abbildung 4.8 dargestellt.

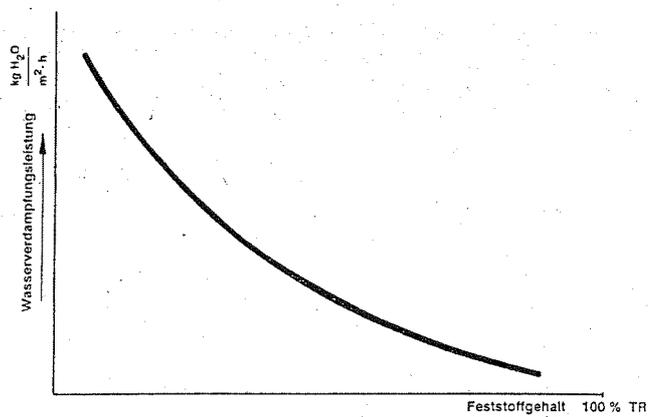


Abb. 4.8: Abnahme der Wasserverdampfungsleistung bei steigendem Feststoffgehalt

- Unter Beachtung der physikalischen Vorgänge wie Dampfdiffusion, Wärmeleitung durch bereits trockenes Material etc. ist speziell bei der Trocknung auf geringe Restfeuchten (II. und III. Trocknungsabschnitt) darauf zu achten, daß für einen guten Wärme- und Stoffaustausch der Klärschlamm ein lockeres Gefüge mit großer Oberfläche, d.h. Granulatstruktur besitzt. Unter dem Aspekt eines einheitlichen Trocknungsergebnisses sollten die einzelnen Partikel näherungsweise gleiche Größe aufweisen. Speziell bei Kontakttrocknern ist auf ausreichende Umwälzung des Gutes zu achten.

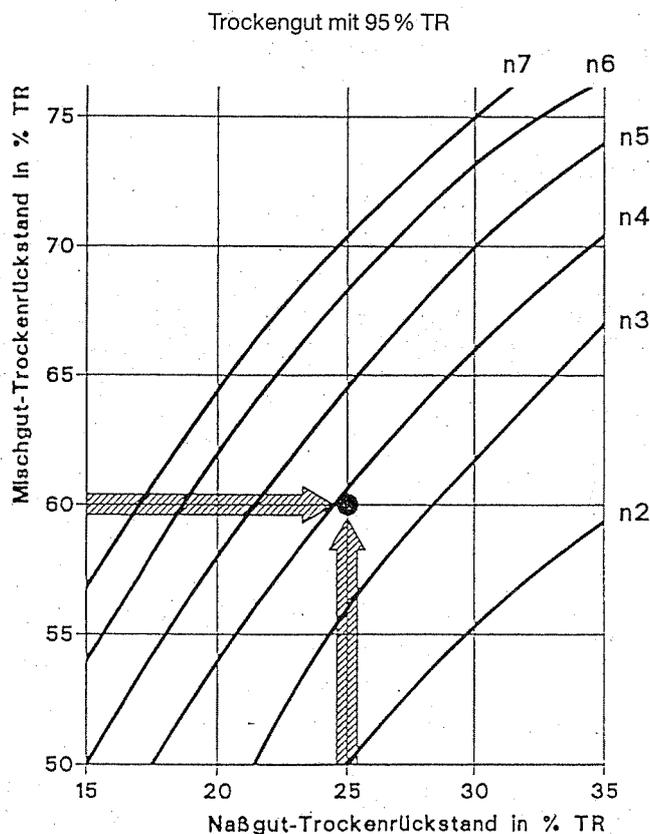
4.4 Rückführverhältnis bei der Volltrocknung mit Rückmischung

Nach der maschinellen Entwässerung auf rd. 20 bis 35 % TR hat der Klärschlamm eine Konsistenz, die einen unmittelbaren Einsatz, z. B. in einem Scheiben- oder Trommeltrockner und mit Einschränkung auch in einem Wirbelschicht-trockner bei der Volltrocknung praktisch nicht ermöglicht.

Zudem durchläuft der Klärschlamm bei weiterem Wasserentzug die „Leimphase“. Hier ergeben sich bei vielen Trocknern beträchtliche Förderprobleme mit dem dann pastösen, klebrigen Klärschlamm.

Um dennoch mit den vorgestellten Aggregaten Klärschlamm auf geringere Restfeuchten zu trocknen, ohne diesen Bereich durchfahren zu müssen, wird in der Regel vor Eintritt in den Trockner durch Rückmischung von bereits vollgetrocknetem Gut zu dem entwässerten Schlamm in speziellen Mischeinrichtungen ein Feststoffgehalt oberhalb der Leimphase eingestellt.

Wählt man den Quotient aus der Trockenmasse des vollgetrockneten Gutes und der Trockenmasse des entwässerten Schlamms als Rückführverhältnis, dann ergibt sich leicht aufgrund der Randbedingungen, wie in Abbildung 4.9 dargestellt, ein Rückführverhältnis von 6 bis 8, d.h. die sechs- bis achtfache Menge des eigentlichen Feststoffdurchsatzes. Bezeichnet man als Rückführverhältnis dagegen den Quotienten aus der Klärschlammmenge (Input) zur zurückgeführten Menge (mit 95% TR) ergibt sich für das Beispiel in Abbildung 4.9 über die Mengenbetrachtung ein Rückführverhältnis von 1. Für weitere Betrachtungen wird die erstgenannte Definition zugrundegelegt.



$$\text{Rückführverhältnis } n = \frac{\text{Trockengut}}{\text{Naßgut}} \text{ in } \frac{\text{kg TM}}{\text{kg TM}}$$

Beispiel: - Naßgut nach Entwässerung $\approx 25\%$ TR
 - im Mischgut für Trockenbetrieb erforderlich 60% TR
 - es ergibt sich ein Rückführverhältnis von $n \approx 4$

Abb. 4.9: Rückführverhältnis n bei der Volltrocknung von Klärschlamm mit Rückmischung

Die auf den ersten Blick nachteilig erscheinende Rückführung bietet jedoch auch erhebliche Vorteile:

- Durch Rückmischung unterschiedlicher Trockengutmengen können Schwankungen des Entwässerungsergebnisses aufgefangen werden.

- Bei Rückmischung in speziellen Mischaggregaten läßt sich im Idealfall ein Granulat mit hoher Abriebfestigkeit, großer äußerer Oberfläche und engem Kornspektrum erzeugen, um somit gute Voraussetzungen auf der Gutseite für die Trocknungsvorgänge selbst, als auch für die Qualität des Trockengutes zu schaffen.
- Der bei der Volltrocknung unvermeidbar entstehende Staub, der in der Regel sicherheitstechnisch bedenklich ist, kann durch Rückmischung optimal wieder ins Gut eingebunden werden.

4.5 Sicherheitstechnische Aspekte

Vollgetrockneter Klärschlamm mit seinen relativ hohen organischen Bestandteilen stellt einen näherungsweise mit Braun- bzw. Steinkohle vergleichbaren Brennstoff und damit verbunden, ähnlichem Gefahrenpotential dar.

Zur sicheren Handhabung dieses brennbaren Stoffs, vor allem der bei der Trocknung je nach Verfahren in mehr oder weniger großem Umfang entstehenden Stäube, ist eine umfassende Kenntnis der gefährlichen Eigenschaften nötig. Die sicherheitstechnischen Kenngrößen, die diese Eigenschaften beschreiben, werden in speziell festgelegten Prüfverfahren bestimmt, wobei in der Regel zwischen dem abgelagerten, ruhenden Material bzw. Staub und dem aufgewirbelten Staub unterschieden wird [3].

Für die Charakterisierung von ruhendem Gut sind – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – folgende Größen maßgebend:

- das *Brennverhalten* nach Zündung mit einer Fremdzündquelle (z.B. Funken). Der Reaktionsablauf wird durch eine Bewertungszahl BZ 1 bis BZ 6 beschrieben.
- die *Deflagration*. Sie beschreibt die mögliche fortschreitende Zersetzung eines Stoffes auch unter Abwesenheit von Luft-sauerstoff verbunden mit einem entsprechenden Temperaturanstieg und möglicher Gasfreisetzung nach einer Fremdzündung.
- die *Glimmtemperatur*. Sie ist die niedrigste, konstant gehaltene Oberflächentemperatur (z.B. Wärmetauscherfläche), bei der abgelagertes Material zum Glimmen, Glühen oder Brennen kommt.
- die *Selbstentzündungstemperatur*. Hierunter versteht man die Umgebungs- bzw. Lagertemperatur, bei der die Selbstentzündung eines brennbaren Stoffs nach vorausgegangener Selbsterwärmung stattfindet. Die Selbstentzündung wird ferner beeinflusst von der Art der Lagerung, Struktur/Kornverteilung des Gutes und der Lagerzeit. Abbildung 4.10 [3] stellt den Zusammenhang zwischen Selbstentzündungstemperatur und Lagermenge für eine zylindrische Klärschlammstaubschüttung dar. Bei einer Umgebungs-/ Lagertemperatur von rd. 80°C ist demnach bei einer Lagermenge von nur ca. 1 m^3 bei ausreichender Lagerzeit mit einer Selbstentzündung zu rechnen!

Das Gefährdungspotential eines aufgewirbelten, in Luft schwebenden brennbaren Staubes wird charakterisiert durch:

- den *maximalen Explosionsdruck* und den *maximalen zeitlichen Druckanstieg* bei einer Staubexplosion mit beliebiger Staubkonzentration in einem geschlossenen Behälter. Diese beiden Größen beschreiben die Explosionsheftigkeit (K_{st} -Wert). Wesentliche Einflußparameter sind Kornverteilung und mittlere Korngröße des brennbaren Staubs.
- die *untere Explosionsgrenze*, die angibt, unterhalb welcher Staubkonzentration eine selbständige Explosionsfortpflanzung im Staub/Luftgemisch nicht mehr möglich ist.
- die *Mindestzündenergie*, d.h. der niedrigste Wert der kapazitiv gespeicherten elektrischen Energie, bei der eine Entladung über eine Funkenstrecke das zündwilligste Staub-/Luftgemisch zündet.

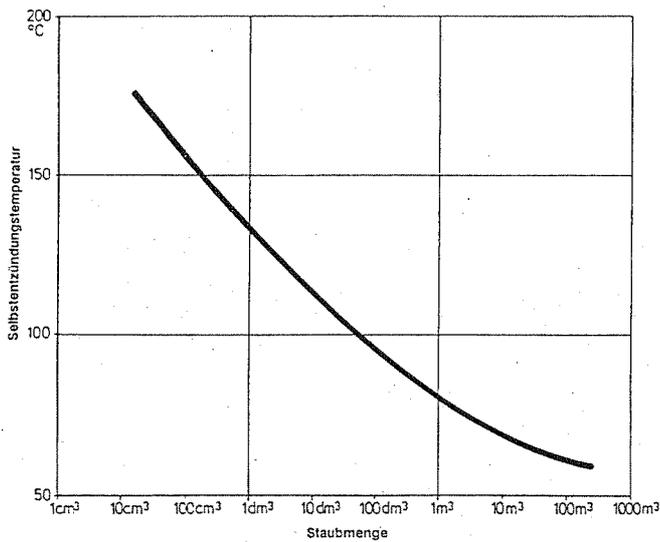


Abb. 4.10: Selbstentzündungstemperatur zylindrischer Klärschlammstaubschüttungen

- die Zündungstemperatur, die die niedrigste Temperatur angibt, bei der aufgewirbelter Staub an einer heißen Fläche gerade noch entzündet wird.

Abbildung 4.11 faßt die an einem – in einer Technikumsanlage getrockneten – Faulschlamm bestimmten sicherheitstechnischen Kennzahlen zusammen.

Probe	Endprodukt aufgemahlen	abgesiebt ≤ 1 mm	abgesiebt > 1 mm	aufgewirbelter Staub	abgelagerter Staub
Medianwert [µm]	60	115	2300		
Brennbarkeit BZ	BZ 3		BZ 3		BZ 3
Glimmtemperatur t_G [°C]	260		260		260
Staubexplosionsfähigkeit	ST 1			ST 1	
max. Explosionsüberdruck P_{max}	6,5	5,9	3,1	6,5	
Druckanstieggeschwindigkeit K_{ST} [bar · m · s ⁻¹]	79,0	41,0	6,0	79,0	
untere Explosionsgrenze Ex_u [g · m ⁻³]	250	750	250	
Zündtemperatur T_z [°C]	450			450	

Abb. 4.11: Beispielhafte sicherheitstechnische Kennzahlen von getrocknetem Klärschlamm, BZ = Bewertungszahl, ST = Staubexplosionsklasse

Zur Gewährleistung eines gesicherten Betriebes sind in Abhängigkeit vom entsprechenden Gefahrenpotential Schutzmaßnahmen gegen das Entstehen bzw. die Auswirkungen von Bränden und Staubexplosionen vorzusehen.

Dabei sind sowohl vorbeugende als auch konstruktive Maßnahmen allein sowie in Kombination zu nennen:

Vorbeugender Explosions- und Brandschutz

Es sollte folgendes vermieden werden:

- explosionsfähige Staub-/Luftgemische z.B. durch Inertisierung,
- wirksame Zündquellen,
- hohe Guttemperaturen,

- zu lange Lagerzeiten/große Lagervolumina sowie
- Staubentstehung.

Konstruktiver Brand- und Explosionsschutz

- Brandunterdrückung, Vorhaltung von Löscheinrichtungen
- explosionsfeste Bauweise für den maximalen Explosionsdruck
- explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung
- explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsdruck in Verbindung mit Explosionsunterdrückung
- explosionstechnische Entkoppelung bzw. Explosionsabbruch

Auch der Zwischenstapelung von Naß- bzw. entwässertem sowie teilgetrocknetem Schlamm ist unter dem Aspekt einer möglichen Methanausgasung besonderes Augenmerk zu widmen.

Ebenfalls ist der Be- und Entlüftung und der Notleitungsführung über Dachhöhe besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Anordnung von Meßgeräten kann sinnvoll sein.

Nähere Details siehe: DRESCHER, KAPP [9]

5. Verfahrensbeschreibung von Klärschlamm-trocknungsanlagen

Bei der nachfolgenden Beschreibung wird auf grundsätzlich notwendige periphere Anlagenteile wie z. B. Klärschlammzwischenpufferung, -zuführung, nicht eingegangen. Ebenso werden Aussagen zur Temperatur im Produkt/Trockengut, zum An- und Abfahrverhalten, zu Steuerungsparametern sowie zur Notabschaltung im wesentlichen im zweiten Teil des Arbeitsberichtes gemacht. Zur notwendigen Brüdenbehandlung sind Aussagen in einem gesonderten Kapitel zusammengefaßt.

Verfahrenstechnisch, physikalisch lassen sich sowohl Roh- als auch Faulschlämme in allen nachfolgenden Trocknungsanlagen behandeln. Der Einsatz von Rohschlamm verbietet sich allerdings aus emisionstechnischer Sicht bei Anlagen, deren Brüden ohne Kondensation/Behandlung direkt der Außenluft zugeführt werden. Darüber hinaus ist die Trocknung von Rohschlamm – insbesondere seine Teiltrocknung – in der Regel nur dann sinnvoll, wenn dieses Trockengut direkt einer im örtlichen Verbund bestehenden Verbrennungsanlage zugeleitet wird.

5.1 Kontakttrockner

5.1.1 Scheibentrockner

Scheibentrocknungsanlagen sind – abhängig von ihrer Bauform – in der Lage, Klärschlamm sowohl teil- als auch vollzutrocknen. Eine Volltrocknung wird dabei durch ein dem Trockner vorgeschaltetes Mischaggregat ermöglicht. Hier wird ein Teil des bereits getrockneten Produktes dem entwässerten Klärschlamm beigemischt und somit die Überwindung der Leimphase außerhalb des Trockners erreicht. Als Sonderbauformen kommen auch Anlagen zur Volltrocknung zum Einsatz, bei denen die Rückmischung im Eintragsbereich des Trockners erfolgt.

Das Trocknungsaggregat besteht aus einem Stator und einem innenliegenden Rotor. Der Rotor setzt sich aus einer Hohlwelle mit aufgeschweißten, hohlen Scheiben zusammen. Diese werden vom Heizmedium, entweder von Sattedampf bis ca. 10 bar oder Thermoöl, durchströmt und geben die Wärme an den entwässerten Klärschlamm ab. Als Verfahrensvariante kann noch zusätzlich der Stator beheizt werden. Da sich in Scheibentrocknern permanent große Klärschlammengen mit unterschiedlichen Trocknungsgraden befinden, ist ein schnelles Abfahren der Anlage nicht möglich, zumal die beheizten Scheiben noch über ein großes Wärmepotential verfügen. Hierdurch besteht vor allem

bei einer plötzlichen Außerbetriebnahme und einem nachfolgenden längeren Stillstand die Gefahr, daß es zu Anbackungen von Klärschlamm an den Scheiben kommen kann. Für An- und Abfahrvorgänge sind daher mehrere Stunden einzukalkulieren, so daß Scheibentrocknungsanlagen am günstigsten kontinuierlich betrieben werden sollten.

Durch den geringen Abstand der Scheiben ist es möglich, eine große Heizflächendichte – bezogen auf das Trocknervolumen – zu erzeugen. Dies bewirkt, daß Scheibentrockner sehr kompakt gebaut werden können. Es ergeben sich spezifische Verdampferleistungen bei

- Volltrocknungsanlagen von ca. 7 bis 10 kg H₂O/(m² · h) und
- Teiltrocknungsanlagen von größer als 11 kg H₂O/(m² · h).

Aufgrund der langsamen Drehung des Rotors (Umfangsgeschwindigkeit ca. 1 m/s) wird der Klärschlamm gut durchmischt und ständig eine neue Grenzfläche für die Trocknung erzeugt. Bei der Auslegung des Antriebs ist besonders den Anforderungen des Anfahrzustandes zu genügen.

Zusätzlich sind auf den Rotorscheiben Transportpaddel angebracht, durch die der Klärschlamm axial im Trockner gefördert wird. Der freiwerdende Brüden wird über den im oberen Bereich des Stators angebrachten Brüdenabzug aus dem Trockner ausgezogen. Der Querschnitt beeinflußt dabei maßgebend die Austragsgeschwindigkeit, die für den Austrag von Staub bemessen sein muß.

Die Scheiben des Trockners unterliegen hohen Verschleiß- und Korrosionsbeanspruchungen, denen – durch geeignete Materialwahl bzw. entsprechende Verschleißreserven – Rechnung getragen werden muß. Besonders beanspruchte Bereiche können zusätzlich aufgepanzert werden. Der Rotor weist ein nicht unerhebliches Gewicht auf, so daß Wechselbiegespannungen mit berücksichtigt werden müssen.

Der Trocknungsgrad des Produktes wird in der Regel über die eingetragene Schlammmenge, welche sich proportional zum Füllstand des Schlammes im Trockner verhält, und das Verhältnis an rückgemischtem Trockengut eingestellt. Zur Kontrolle des Füllstands werden entweder Druckmeßdosen oder Gammastrahler eingesetzt. Erfahrene Anlagenbetreiber nutzen zusätzlich die Stromaufnahme des Antriebsmotors der Scheiben als Indiz für eine nicht ausreichende Rückmischung. Bei Annäherung an die Leimphase steigt aufgrund des erhöhten Widerstandes die Stromaufnahme steil an. [4, 6]

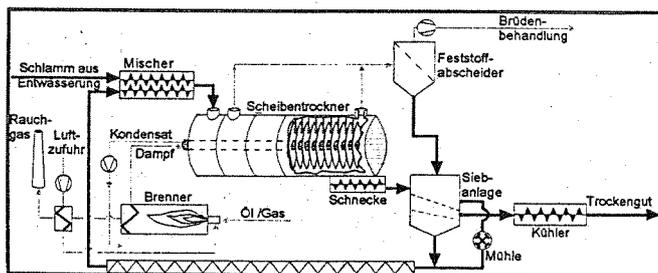


Abb. 5.1: Prinzipielles Verfahrensfliessbild einer Scheibentrocknungsanlage zur Volltrocknung

5.1.2 Dünnschichttrockner

Dünnschichttrockner bestehen aus einem horizontalen Stator mit doppelwandigem Zylinder und einem innenliegenden Rotor. Über den Doppelmantel des Zylinders wird dem Trockner die Wärmeenergie in Form von Satttdampf oder Thermoöl zugeführt. Wird der Trockner mit Thermoöl beheizt, wird in den Doppelzylinder zur Vergleichmäßigung des Energieeintrages eine Leitspirale eingesetzt.

Der innenliegende Rotor mit seinen aufgeschweißten Verteil- und Transportelementen hat die Aufgabe, den entwässerten Klärschlamm in einer 5 bis 15 mm dicken Schicht auf den inneren Umfang des Stators aufzubauen und abzustreifen. Auf diese Weise wird eine ständige Kontaktgrenzflächenenerneuerung gewährleistet.

Die Ausbildung des Rotors sorgt für einen spiralförmigen Transport des Trockengutes entlang der Heizflächen bis hin zur Austragsseite. Durch die freischwingenden Flügelklappen des Rotors wird eine kontinuierliche Durchmischung und Zerschlagung der in der Leimphase sich eventuell bildenden Agglomerate erreicht. Der Rotor kann durch Veränderung an den Paddeln (Rotorausbau) an unterschiedliche Schlämme angepaßt werden. Aufgrund der ständigen Oberflächenenerneuerung und geringen Schlammengen im Trockner sowie kontinuierlichen Durchmischung und der damit verbundenen selbstreinigenden Wirkung kann die kritische Leimphase problemlos durchfahren werden, ohne daß der Klärschlamm an den Heizflächen verklebt.

Der Rotor kann mit sehr unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten von 7 bis 75 U/min gefahren werden, wobei sich bei hohen Drehzahlen die ohnehin schon starke mechanische Beanspruchung der Statorinnenseite sowie der Paddel weiter erhöht. Der entwässerte Klärschlamm wird von oben in den Trockner eingetragen. Der Schlamm wird durch den Trockner gefördert und als Produkt an der Trocknerunterseite abgezogen. Dieses wird dann über Förderschnecken z. B. in Container verladen.

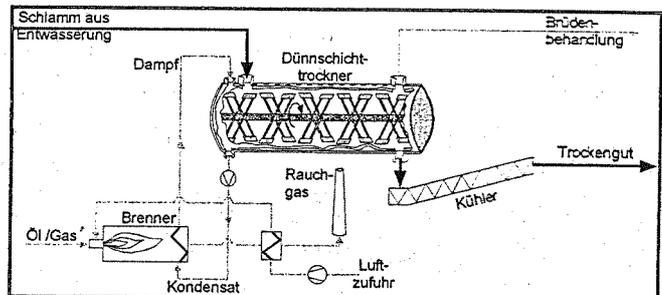


Abb. 5.2: Prinzipielles Verfahrensfliessbild einer Dünnschichttrocknungsanlage

Grundsätzlich ist mit einem Dünnschichttrockner sowohl eine Teil- als auch eine Volltrocknung möglich. Bei einem Betrieb mit höheren Trocknungsgraden weit oberhalb der Leimphase erfolgt die Verdampfung nicht mehr in einer dünnen Schicht, sondern in einer Art Schüttgutrocknung, bei der sich die Kontaktflächen deutlich verkleinern. Hieraus resultiert ein geringerer Wärmeübergang, so daß größere Heizflächen erforderlich werden. Bei Trocknungsgraden von bis zu ca. 65% TR ist mit einer spezifischen Verdampfungsleistung von 25 bis 35 kg (H₂O)/(m² · h) zu rechnen. Bei höheren Trocknungsgraden sind die notwendigen Verdampfungsleistungen als wirtschaftlich kritisch zu betrachten. Das An- und Abfahren kann problemlos jeweils in ca. 1 Stunde ausgeführt werden, da sich nur relativ geringe Klärschlammengen im Trockner befinden.

Maßgeblich für den Trocknungsgrad bei Dünnschichttrocknern ist der Trockenrückstand des zugeführten Schlammes und die eingetragene Schlammmenge. Die Umdrehungszahl der Paddel beeinflusst die Produktstruktur und wird in der Regel während des Betriebes nicht geändert. Da Dünnschichttrockner vorrangig zur Teiltrocknung eingesetzt werden, können leichte Schwankungen des zu erzielenden Trockenrückstandes akzeptiert werden, so daß nach einmaliger Einstellung der Betriebsparameter eine weitere Steuerung nicht unbedingt erforderlich ist. [4, 6, 8]

5.1.3 Kombination Dünnschicht- und Scheibentrockner

Kombinationen von Dünnschicht- und Scheibentrocknern werden ausschließlich zur Volltrocknung eingesetzt. Hierbei wird zunächst der Vorteil des problemlosen Durchfahrens der Leim-

phase bei Dünnschichttrocknern genutzt. Der Trocknungsprozeß wird dann bei einem Trockenrückstand von ca. 55 bis 60% unterbrochen, da ab hier Dünnschichttrockner unwirtschaftlich arbeiten. Der ausgetragene, teilgetrocknete Schlamm wird direkt einem Scheibentrockner zur Volltrocknung zugeführt. Der Nachteil der Ausführung von zwei Trocknungsaggregaten wird durch die eingesparte Rückmischung kompensiert, da so der Scheibentrockner bei gleicher Durchsatzleistung deutlich kleiner dimensioniert werden kann. Die Peripherie entspricht dabei den Einzelverfahren.

5.1.4 Rohrbündel-Drehrohr Trockner

Bei Rohrbündel-Drehrohr Trocknern wird ein im Inneren des Trockners befindliches starres Rohrbündel mittels Satttdampf aufgeheizt. Der Klärschlamm wird durch den rotierenden Mantel ständig durchmischt und auf die Rohrbündel aufgeworfen. Als Produkt fällt dabei nach einer Siebung und Feinstaubabtrennung ein staubarmes Granulat mit einem Trockenrückstand von ca. 90 bis 95% an. Rohrbündel-Drehrohr Trockner können abhängig von den gewünschten Anforderungen mit Wasserverdampfungsleistungen von 100 bis zu 8000 kg (H₂O)/h bemessen werden. Wie bei allen Kontakt Trocknern fallen auch hier nur geringe Brüdenmengen an, die z. B. über eine Quenche kondensiert werden. Ein geregeltes An- und Abfahren der Anlage dauert jeweils ca. 1 Stunde. Aufgrund der Anlagentechnik ist eine Rückmischung vorzusehen. Jüngste Erfahrungen an einer ausgeführten Anlage deuten darauf hin, daß ein Betrieb ohne Rückmischung möglich sein kann.

5.2 Konvektionstrockner

5.2.1 Trommeltrockner

Trommeltrocknungsanlagen werden ausschließlich zur Volltrocknung eingesetzt. Da ein Durchfahren der Leimphase im Trockner nicht möglich ist, muß diesem ein Mischaggregat vorgeschaltet werden. Hier wird der entwässerte Klärschlamm mit dem bereits getrockneten Produkt gemischt, so daß der Klärschlamm im Eingangsbereich des Trockners einen Trockenrückstand oberhalb der Leimphase aufweist. Ferner sorgt der Mischer für eine Vorgranulierung, die letztendlich für die Produktqualität maßgebend ist.

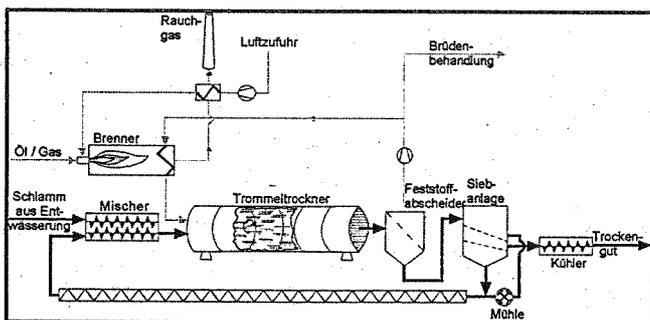


Abb. 5.3: Prinzipielles Verfahrensfliessbild einer Trommeltrocknungsanlage (indirekte Trocknung)

Die eigentliche Trocknung findet in einer ständig rotierenden ein- bis dreizügigen Trommel statt. Der Transport durch die Trommel geschieht je nach Typ mit dem Heißgasstrom, durch Leitbleche in Verbindung mit dem Füllgrad der Trommel oder durch eine geneigte Trommelstellung.

Über einen Feststoffabscheider (Schlauchfilter oder Zyklon) wird das Prozeßgas vom getrockneten Klärschlamm getrennt, der dann einer Siebanlage zugeführt wird. Das Grobkorn wird in einer Mühle zerkleinert und mit dem abgesiebten Feingut dem Mischer zugeführt. Das Trockengut wird direkt aus der Siebung abgezogen und fällt in einem Kornspektrum entsprechend der Siebauswahl an.

Der Wärmeeintrag in den Trockner kann auf zwei Arten geschehen: entweder wird ein Heißgasstrom mittels Wärmetauscher auf ca. 400 bis 450°C erhitzt und dann im Kreislauf geführt oder das Brennerabgas direkt in den Trockner eingetragen (direkte Trocknung). Die bei dem Prozeß anfallende Aspirationsluft wird ebenfalls direkt in den Brenner eingespeist.

Die Steuerung des Prozesses erfolgt vorrangig über das Temperaturprofil des Schlammes. Bei konstantem Schlamm eintrag wird die Austrittstemperatur des Luft-Brüden gemisches gemessen, wobei auftretende Veränderungen sich proportional zum Trockenrückstand im Trockneraustrag verhalten. Als Stellgröße wird die über den Brenner eingetragene Wärmeleistung herangezogen. Das vorgeschaltete Mischaggregat ist maßgeblich für die sich einstellende Granulatstruktur verantwortlich. [5]

5.2.2 Wirbelschichttrockner

Wirbelschichttrockner sind eine Kombination aus Kontakt- und Konvektionstrockner. Der Wirbelschichttrockner ist der einzige Apparat, bei dem der Trockner – abgesehen vom externen Gebläse – keinerlei bewegte Teile aufweist. Das Prinzip der Wirbelschichttrocknung basiert auf dem Einblasen von Wirbelluft/-gas, bis sich eine stationäre Wirbelschicht ausgebildet hat. Die Partikel werden dabei in Schwebelage gehalten und intensiv durchmischt. Bei der Ausbildung einer stationären Wirbelschicht verändert sich das physikalische Verhalten des Systems. Charakteristisch sind

- der weitgehend konstante Temperaturverlauf über den Querschnitt,
- das fluidähnliche Verhalten der Partikel in der Wirbelschicht,
- der konstante Druckverlust bei variierenden Strömungsgeschwindigkeiten (bei Vernachlässigung des Düsenboden-druckverlustes), und
- der verbesserte Wärme- und Stofftransport durch kombinierte Kontakt- (an den in der Wirbelschicht befindlichen Dampfrohren) und Konvektionstrocknung durch die aufgewärmte Wirbelluft/-gas.

Insbesondere der zuletzt genannte Punkt wird bei Anlagen zur Klärschlamm-trocknung zur Senkung des Energieverbrauchs genutzt, so daß sich sehr kompakte Bauweisen ergeben.

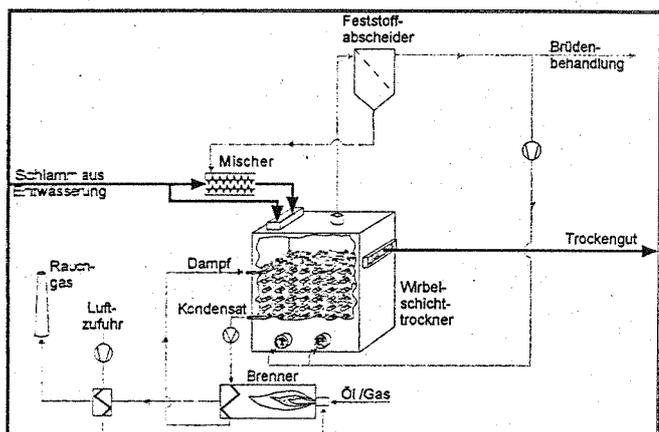


Abb. 5.4: Prinzipielles Verfahrensfliessbild einer Wirbelschichttrocknungsanlage

Wirbelschichttrocknungsanlagen werden zur Volltrocknung eingesetzt. Das über einen Düsenboden im unteren Trocknerbereich eingetragene Gas dient vorrangig zur Erzeugung der Wirbelschicht und zum Abtransport des freiwerdenden Brüdens. Ein Austrag von bereits getrocknetem Klärschlamm mit dem Gasstrom wird durch eine wirbelschichtfreie Zone (Freeboard) im oberen Bereich des Trockners verhindert, wo der mitgerissene Klärschlamm aufgrund der Gravitation wieder ins Fließbett zu-

rückfällt. Feinere Staubpartikel werden in einem nachgeschalteten Zyklon abgeschieden und der Naßschlammzugabe mittels eines Mischers zugeführt. Dieser Schritt dient jedoch nicht dazu, die Überwindung der Leimphase aus dem Trockner heraus zu verlagern. Verbackungen innerhalb des Trockners sind nicht möglich, da der von oben eingebrachte Naßschlamm direkt ins Fließbett fällt und dort sehr schnell eine stabile Oberfläche bildet. Das Kreislaufgas wird einem Kondensator zugeführt und über ein Gebläse wieder in den Trockner eingebracht. Aufgrund dieser Konzeption fallen nur geringe Abgasmengen an, die dann im weiteren, z. B. über einen Biofilter geführt werden können.

Der Wärmeeintrag in den Trockner erfolgt über Rohrschlangen im Fließbett. Diese wirken ähnlich wie Tauchsieder und werden entweder mit Satttdampf oder Thermoöl beschickt. Durch die kurze Kontaktzeit des Klärschlammes mit den Heizstäben können diese auf höherem Temperaturniveau betrieben werden. Anbackungen und übermäßiger Verschleiß an den Heizschlangen sind nicht zu erwarten, da die Wirbelschicht bei mäßigen Partikelgeschwindigkeiten für eine permanente Selbstreinigung sorgt.

Der entwässerte Schlamm wird durch die Wirbelschicht strukturiert und mit einem Korndurchmesser von ca. 1 bis 5 mm als Produkt seitlich aus dem Trockner ausgetragen. Da das Produkt staubfrei anfällt, kann es direkt ohne eine weitere Siebung in ein Silo gefördert werden.

Wirbelschichttrockner lassen sich gut über die Temperatur im Fließbett steuern. Auch ist ein gesteuertes An- und Abfahren schnell und einfach möglich. Hierzu wird zunächst die Beheizung, dann die Naßschlammzugabe abgestellt. Im Falle einer Notabschaltung treten durch das niedrige Temperaturniveau keine kritischen Betriebszustände auf. Der Trockner kann später ohne weitere Maßnahmen direkt wieder angefahren werden.

Wirbelschichttrockner werden bei einem vorgegebenen Wärmeeintrag über die eingetragene Schlammmenge so geregelt, daß sich eine Temperatur von 85°C in der Wirbelschicht einstellt. Hieraus ergibt sich im Produkt ein Trockenrückstand von 95%. [4, 6, 7]

5.2.3 CENTRIDRY-Verfahren

Beim CENTRIDRY-Verfahren wird Entwässerung und Trocknung in einem Aggregat durchgeführt. Der eingetragene Dünnschlamm kann direkt auf einen Trockenrückstand von 50 bis 95% gebracht werden. Auf diese Weise ist keine Vorentwässerung des Schlammes erforderlich. Da das Verfahren jedoch empfindlich auf Schwankungen des Trockenrückstandes im Eintrag reagiert, muß der Dünnschlamm zur Vergleichmäßigung über ein Homogenisierungsbecken dem Trockner zugeführt werden. Die Trocknung des Klärschlammes erfolgt aufgrund der unten beschriebenen Konzeption direkt über die Leimphase hinaus. Anlagen, die nach dem CENTRIDRY-Verfahren arbeiten, können demzufolge sehr kompakt gebaut werden.

Der vergleichmäßigte Dünnschlamm wird durch eine im Inneren des Trockners installierte Zentrifuge zunächst entwässert. Das dabei anfallende Zentrat wird direkt aus dem Prozeß ausgeschleust und gemeinsam mit dem Brüdenkondensat der Kläranlage zugeführt. Der entwässerte Klärschlamm wird am Feststoffabwurf durch ein Prallblech in feinkörniges Gut überführt und dem Heißgasstrom ausgesetzt. Das Heißgas wird entgegen der axialen Förderichtung der Zentrifuge eingesaugt und verläßt gemeinsam mit dem getrockneten Klärschlamm im Eintragsbereich des Dünnschlammes den Trockner. Die Trocknung erfolgt innerhalb weniger Sekunden. Die erforderliche Wärmemenge wird über Brenngase dem Kreislauf zugeführt. Durch den Kreislaufbetrieb des Trocknungsgases mit entsprechendem Feuchtegrad aus der Wasserverdampfung und den zugeführten Brenngasen wird eine Inertisierung erreicht.

Der ausgetragene Brüden wird über einen Zyklon mit Zellrad-schleuse geführt, in dem der getrocknete Klärschlamm vom Gasstrom getrennt wird. Das anfallende Produkt weist ein relativ weites Kornspektrum auf. Der Brüden wird im weiteren von einem Gebläse angesaugt und der Brüdenbehandlung zugeführt. Das Abgas aus der Brüdenbehandlung kann in die Brennkammer abgegeben werden.

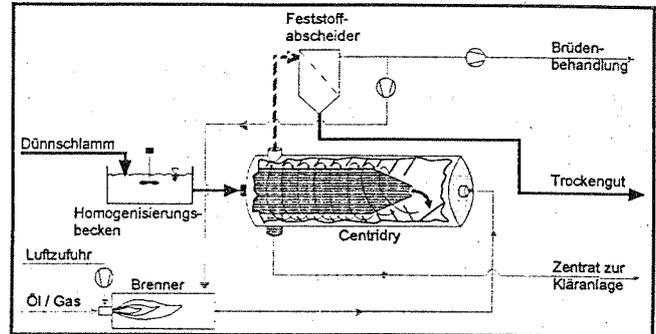


Abb. 5.5: Prinzipielles Verfahrensfliessbild einer CENTRIDRY-Trocknungsanlage (direkte Trocknung)

Zur Steuerung werden Druck, Temperatur, Durchfluß, Füllstand und Drehzahl der Zentrifuge herangezogen. Da sich zu keinem Zeitpunkt große Schlammengen im System befinden, ist ein schnelles An- und Abfahren der Anlage problemlos möglich.

Für einen stabilen Betrieb der Trocknung ist ein möglichst konstanter Trockenrückstand im Trockner eintrag wünschenswert. Bei auftretenden Schwankungen kann z. B. über eine TS-Sonde die Eintragsmenge geregelt werden. Da die Kontaktzeiten zwischen dem Heißgasvolumenstrom und dem zu trocknenden Klärschlamm sehr kurz sind, hat eine Erhöhung der Heißgasmenge kaum einen Einfluß auf die Trocknerleistung, jedoch kann über eine Veränderung des Temperaturniveaus Einfluß auf den Trocknungsgrad genommen werden.

5.2.4 Bandtrockner

Bandtrockner sind in der Lage, entwässerten Klärschlamm direkt durch die Leimphase auf einen Trockenrückstand von größer als 90% zu trocknen. Unbedingt notwendig ist hierzu die Vorschaltung einer Pelletierung, da bereits hier letztendlich die Kornstruktur eingestellt wird. Dazu wird der Klärschlamm durch eine Lochmatrize gepreßt und dann direkt auf das Trocknerband ausgeworfen. Es ist erforderlich, daß der Klärschlamm eine ausreichende Standfestigkeit aufweist, damit er auf dem Band eine möglichst gleichmäßige Haufwerksstruktur ausbildet. Zur Trocknung wird der Klärschlamm auf einem gelochtem, aus VA-Stahl bestehendem Förderband durch die Trocknerkammern transportiert und dabei von unten mit Heißgas beaufschlagt. Da der Klärschlamm in den Trocknerkammern keiner mechanischen Beanspruchung unterliegt, besteht zum einen nicht die Gefahr des Anbackens, zum anderen kann über die Pelletierung ein gewünschtes Kornspektrum eingestellt werden.

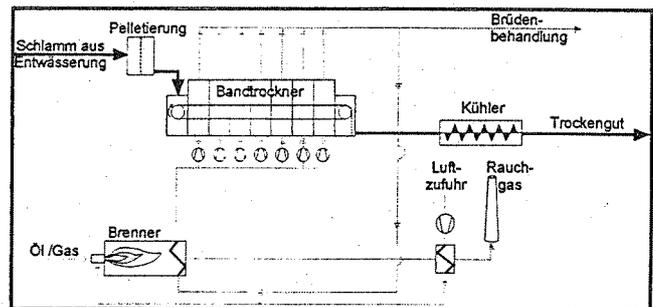


Abb. 5.6: Prinzipielles Verfahrensfliessbild einer Bandtrocknungsanlage (indirekte Trocknung)

Das Heißgas wird über mehrere Gebläse von unten in die einzelnen Kammern eingebracht und gemeinsam mit dem Brüden im oberen Bereich des Trockners wieder abgezogen. Das Trocknungsgas wird im Kreislauf geführt, während ein Teilstrom aus dem Prozeß ausgeschleust und behandelt wird. Da das Heißgas höhere Temperaturen aufweist, erfolgt die Trocknung auf einem entsprechenden Temperaturniveau von ca. 120 bis 130°C. Lokale Überhitzungen werden durch die gleichmäßige Haufwerkschüttung mit definierter Höhe vermieden. Das Endprodukt fällt, abhängig von der eingestellten Pelletierung, in länglicher Form mit einem Durchmesser von ca. 3 bis 5 mm an.

Bei Bandtrocknern stehen drei Eingriffsmöglichkeiten zur Steuerung der Trocknung zur Verfügung. Dies sind die eingetragene Schlammmenge, die Fördergeschwindigkeit des Bandes und die zugeführte Wärmeenergie. Aus der Schlammmenge und der Fördergeschwindigkeit ergibt sich die Schichthöhe auf dem Band. Die einzelnen Gebläse je Kammer regeln die zugeführte Heißgasmenge, so daß sich ein definiertes Temperaturniveau in jeder Kammer einstellt. [4, 5, 7]

5.2.5 Kaltlufttrockner

Für die Trocknung im Kaltlufttrockner ist eine Vorentwässerung notwendig. Ferner muß das entwässerte Gut zerkleinert werden.

Das zu trocknende Gut wird kontinuierlich auf ein Siebband aufgegeben, so daß sich eine 3 bis 5 cm hohe, lockere Schüttung einstellt. Diese verbleibt ca. 1 bis 1,5 Stunden im Trockner und wird kontinuierlich mit großen Luftmengen aus der Umgebung beaufschlagt. Abhängig von der jeweiligen Bauform ist es möglich, einen Klärschlammvolumenstrom von 2–8 m³/h auf einen Trockenrückstand von 70 bis 90% zu trocknen. Da das Prinzip des Kaltlufttrockners ausschließlich auf dem natürlichen Trocknungspotential der Umgebungsluft basiert, sind große Luftmengen erforderlich, um das beschriebene Ergebnis zu erreichen. Darüber hinaus ergeben sich bei einer Lufttemperatur kleiner als 10°C und einer relativen Feuchtigkeit größer als 80% sehr ungünstige Verhältnisse, so daß eine Vorerwärmung der Umgebungsluft notwendig wird.

5.2.6 Schachtrieselrockner

Schachtrieselrockner werden derzeit ausschließlich in Kombination mit einer nachgeschalteten Klärschlammverbrennung betrieben. Der entwässerte und pelletierte Klärschlamm wird von oben dem Trocknungsaggregat zugegeben. Das Heißgas tritt über viele neben- und übereinander angeordnete Heißgaskanäle in den Trockner ein. Diese Kanäle weisen einen dachförmigen Querschnitt auf, so daß sich die Pellets auf ihrer Abwärtsbewegung durch den Trockner permanent drehen und gegeneinander verschieben. Das Heißgas durchströmt den Schlamm im Gegenstrom und nimmt dabei den freiwerdenden Brüden auf, die dann auf herkömmliche Art weiter behandelt werden können. Im Trockner stellt sich eine Temperatur von weniger als 100°C ein, so daß Klärschlamm schonend getrocknet wird. Das anfallende Produkt mit einem Trockenrückstand von ca. 90 bis 95% wird im unteren Bereich des Trockners über eine Zellradschleuse abgezogen.

5.3 Strahlungstrockner

5.3.1 BLUE-TEC-Verfahren

Strahlungstrockner arbeiten nach dem Prinzip der Wärmeübertragung mittels infraroter Strahlung. Der entwässerte Klärschlamm wird pelletiert und auf ein langsam laufendes Förderband ausgeworfen. Dies erfolgt ähnlich wie beim Bandtrockner jedoch mit geschlossenem Band. Der Klärschlamm durchläuft die Verdampfungskammer und erreicht am Austrag einen Trockenrückstand von ca. 80 bis 95%. Direkt über der Verdampfungskammer befindet sich die Verbrennungskammer. Die

Trennwand zwischen beiden Kammern wird derart erhitzt, daß sie über Wärmestrahlung die Energie an den zu trocknenden Klärschlamm abgibt. Über die Verdampfungskammer wird nur ein geringer Gasstrom im Kreislauf geführt, so daß zum einen das Produkt staubfrei anfällt, da es keiner mechanischen Beanspruchung unterliegt, zum anderen der zu kondensierende Brüden volumensstrom relativ gering ist. Die Verweilzeit im Trockner beträgt abhängig von der eingestellten Geschwindigkeit des Förderbandes zwischen 10 und 15 Minuten.

5.3.2 Solar-/Ventilationstrockner

Die sogenannten Solar-/Ventilationstrocknungsanlagen unterscheiden sich zwar im verfahrenstechnischen Ansatz, stimmen aber in der Praxis weitgehend überein.

Eine zum Untergrund abgedichtete Fläche wird zum Beispiel durch eine Gewächshauskonstruktion mittels hochtransparenter Folien bzw. Glas abgedeckt. In dem dadurch gebildeten Raum läuft der Trocknungsprozeß ab. Durch die Sonneneinstrahlung wird je nach Witterung die Raumtemperatur aufgeheizt und damit die Wasseraufnahme der vorhandenen Luft erhöht. Über in der Regel nach oben führende Abluftschächte wird diese Luft nach außen abgegeben. Die Regelung kann mittels Öffnen und Schließen von Luken erfolgen. Der Luftaustausch kann durch den Einsatz von Ventilatoren verbessert werden.

Die Trocknungszeit ist im wesentlichen abhängig von der Lufttemperatur in der Trocknungsanlage, der Wassersättigung der Außenluft sowie der Luftaustauschrate innerhalb der Anlage.

Um den Klärschlamm zur Förderung des Trocknungsprozesses innerhalb der Anlage umzusetzen, kann eine sich auf Schienen fortbewegende Walze mit spiralförmig angebrachten Schaufeln zum Einsatz kommen. Alternativ kann man Förderbänder einsetzen, die in verschiedenen Ebenen angeordnet sind und durch mehrmals täglichen Betrieb eine Umsetzung bzw. Durchmischung erreichen.

Solar-/Ventilationstrockner können Trockenrückstände von mehr als 85% erzielen.

5.4 Brüdenbehandlung

Die Brüdenbehandlung richtet sich im wesentlichen nach dem vorgeschalteten Trocknungsverfahren. Bei Konvektionstrocknern wird das Produkt gemeinsam mit dem Brüden aus dem Prozeß ausgeschleust und muß vor der Kondensation abgetrennt werden. Hier kommen Zyklone oder Staubfilter zum Einsatz, wobei darauf zu achten ist, daß der Taupunkt in den Apparaten nicht unterschritten wird. Bei Kontaktrocknern ist eine Entstaubung nicht unbedingt notwendig, da der Großteil des getrockneten Klärschlammes bereits im Trockner von dem Brüden getrennt wird. Werden dennoch Zyklone oder Staubfilter eingesetzt, so liegt der Hauptgrund dafür in der Verringerung der Rückbelastung für die Kläranlage.

Man unterscheidet in direkte und indirekte Brüdenkondensation.

Bei der direkten Brüdenkondensation wird der Brüden mittels Sprühkondensatoren, die mit Brauchwasser oder dem Ablauf der Kläranlage betrieben werden, niedergeschlagen. Neben der direkten besteht auch die Möglichkeit der indirekten Brüdenbehandlung durch den Einsatz von luftbeaufschlagten Wärmetauschern oder solchen mit geschlossenem Kühlwasserkreislauf. In beiden Fällen ist jedoch eine vorgeschaltete Brüdenentstaubung zwingend, da es ansonsten zu Ablagerungen im Kondensator kommt.

Der anfallende Brüden wird der Kläranlage wieder zugeführt, während der Abgasvolumenstrom aus dem Kondensator entweder im Brenner desodoriert oder über einen Biofilter an die Umgebung abgegeben wird.

Da der Brüden noch über ein relativ hohes Wärmepotential verfügt, sollte über Wärmerückgewinnung eine Nutzung der Energie für die indirekte Faulraumbeheizung oder Schlammerwärmung vor der Entwässerung vorgesehen werden.

Literatur

- [1] Melsa, A.; Wessel, M.:
Zusammenspiel von Klärschlamm-Entwässerung und -trocknung vor einer Verbrennung
25. Essener Tagung 1992, GWA Band 135, Aachen 1993
- [2] N. N.:
Anlagen zur thermischen Klärschlamm-trocknung
VDMA 244 37, Beuth Verlag, Berlin
- [3] Bartknecht, W.:
Stand der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Staubexplosion
VDI Bildungswerk, Seminar
„Sichere Handhabung brennbarer Stäube“, 1990
- [4] Sixt, H.:
Betriebliche und sicherheitstechnische Gesichtspunkte unterschiedlicher Trocknungsverfahren, 12. Bochumer Workshop, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 28, 1994
- [5] Born, R.:
Thermische Klärschlammbehandlung – Trocknung und Verbrennung, Hochschulreihe Darmstadt: Institut WAR, Band 66, 1992

- [6] Otte-Witte, R.:
Verfahren zur Schlamm-trocknung – Verfahrensgegenüberstellung, 7. Bochumer Workshop, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 17, 1989
- [7] Hruschka, H.:
Die Klärschlamm-trocknung – eine kritische Standortbestimmung anhand praktischer Ergebnisse, Hochschulreihe München: Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Band 110, 1991
- [8] Franke, M.; Günther, H.-D.:
Klärschlamm-trocknung für 20000 EGW – ein voller Erfolg, Korrespondenz Abwasser, Heft 9, S. 1492, 1993
- [9] Drescher, D. Kapp, H.:
Restgasentwicklung von Klärschlämmen, Korrespondenz Abwasser, Jg. 41 1994, H. 8, S. 1282

Der zweite Teil des Arbeitsberichtes wird in Kürze an dieser Stelle veröffentlicht und – unter anderem – Aussagen zu den folgenden Aspekten enthalten:

- Darstellung der Vor- und Nachteile einzelner Trocknungsverfahren,
- Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit,
- Einschätzung der Emissionen und der Rückbelastung,
- Darstellung von Möglichkeiten zur Energieoptimierung,
- Zusammenstellung der Genehmigungsanforderungen für Trocknungsanlagen sowie
- Hinweise für potentielle Betreiber bei der Verfahrensauswahl.

Klärschlammverbrennung – Beseitigung oder Verwertung?

Diskussionspapier der ad-hoc-Arbeitsgruppe „Thermische Entsorgung von Klärschlamm“

Auf Initiative des ATV Hauptausschusses 3 – Schlämme/Feste Abfälle – wurde eine Arbeitsgruppe gegründet, die die Frage beantworten soll, ob die Verbrennung von kommunalem Klärschlamm eine thermische Behandlung zur Beseitigung ist oder eine energetische Verwertung sein kann.

In der ad-hoc-Arbeitsgruppe fanden sich zusammen:

Prof. Dipl.-Ing. Melsa, Niersverband (Sprecher)
Dr.-Ing. Baumgart, Emschergenossenschaft
Dipl.-Ing. Hanßen, Stadtentw. Hamburg
Dipl.-Ing. Johnke, Umweltbundesamt
Dipl.-Ing. Kuhlmann, Stadt Düsseldorf
Dr. Lambert, Rheinbraun AG
Dipl.-Ing. Linssen, Niersverband
Dipl.-Ing. Lungwitz, Berliner Wasserbetriebe
Dr.-Ing. Thomas, Rheinbraun AG
Dipl.-Ing. Wessel, Ruhrverband
Prof. Dr. Werther, TU Hamburg-Harburg

1. Einleitung

Verschiedentlich wird im Zusammenhang mit dem im Oktober 1996 in Kraft getretenen Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG) [1] die Diskussion um die energetische Verwertung bzw. thermische Behandlung zur Beseitigung von Klärschlamm geführt. Es ist festzustellen, daß das Thema nicht einheitlich beurteilt wird.

Diese Feststellung ist auch für das Meinungsbild der o. a. Arbeitsgruppe zu treffen, wie z. B. ein deutlicher Standpunkt im nachfolgenden Auszug eines kürzlich veröffentlichten Artikels [14] zeigt:

„Klärschlämme aus der kommunalen bzw. industriellen Abwasserreinigung sind grundsätzlich kein nachwachsender Rohstoff im Sinne der gebräuchlichen Definition. Da sie nicht direkt im Zusammenhang mit der Produktion oder Verarbeitung eines nachwachsenden Rohstoffes (z. B. pflanzlichen Stoffen, Biomasse) entstehen und auch nicht als unmittelbare Abfälle eines solchen nachwachsenden Rohstoffes anfallen.

Klärschlamm enthält zwar erhebliche organische Bestandteile u. a. pflanzlichen Ursprungs, diese fallen allerdings in der Regel nach einer bereits erfolgten stofflichen und energetischen Nutzung an. Sie sind nicht als Abfall eines nachwachsenden Rohstoffes einzustufen, sondern als Rückstand aus der Nutzung eines Nahrungsmittelproduktes. Darüber hinaus schließen insbesondere kommunale Klärschlämme auch mineralische bzw. anorganische Anteile mit ein, die bezogen auf die Trockensubstanz bis zu 50 % ausmachen können.

Klärschlämme fallen bei der Reinigung von kommunalem und industriellem Abwasser an, das wegen seiner Schadstoffbelastung nicht direkt eingeleitet werden darf oder anderweitig nicht direkt genutzt werden kann. Sie sind in diesem Sinne ein im Klärwerksbetrieb anfallender Abfall aus dem verunreinigten Abwasser.

Können von Klärschlämmen die Anforderungen der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) nicht erfüllt werden, sind diese aufgrund der Verunreinigungen zu beseitigen, d. h. gemäß TA Siedlungsabfall hat vor der Ablagerung eine Behandlung zu erfolgen (bisher i. d. R. thermische Behandlung in Klärschlamm-Verbrennungsanlagen gemäß 17. BImSchV). Die Einhaltung bzw. Nicht-Einhaltung der Kriterien nach § 6 Abs. 2 Nr. 1-4 KrW-/AbfG ist für diese Art belasteter Klärschlämme unerheblich, da der Hauptzweck aufgrund der Schadstoffproblematik bei der Beseitigung liegt.

Solange der Vorrang der umweltverträglicheren Entsorgungsart aufgrund der in § 5 (5) KrW-/AbfG festgelegten Kriterien, ggf. auch unter Berücksichtigung des § 6 Abs. 2 KrW-/AbfG in einer auf Klärschlamm bezogenen Verordnung zur Abgrenzung der stofflichen oder energetischen Verwertung nicht bestimmt ist, erfüllen Klärschlämme, die zwar die Anforderungen an die stoffliche Verwertung einhalten, aber nicht stofflich verwertet werden