

Kreislaufwirtschaft in der Praxis

Nr. 3

KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG BEHANDLUNG – VERWERTUNG – BESEITIGUNG



Impressum

Herausgeber: ENTSORGA gemeinnützige Gesellschaft mbH
zur Förderung der Abfallwirtschaft und der Städtereinigung,

Mitherausgeber: Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. (BDE)
Fach- und Arbeitgeberverband,
„Haus der Entsorgungswirtschaft“
Schönhauser Straße 3, 50968 Köln
Telefon: (02 21) 93 47 00-0

Verantwortlich für den Inhalt:
Frank-Rainer Billigmann, Geschäftsführer der ENTSORGA gGmbH
unter fachlicher Mitarbeit von
Dr. Bertram Kehres und Hanskarl Willms (Redaktion).

Gestaltung: Freund & Partner, Essen
Druck: Druckerei Kobs, Düsseldorf

Kennziffer: 150495

Vertrieb: ENTSORGA gGmbH, Postfach 51 05 45, 50941 Köln

Inhalt

	Seite
VORWORT	4
1. ENTSORGUNG VON KLÄRSCHLAMM	5
1.1 Aufkommen und Entsorgung von Klärschlamm	5
1.2 Entsorgungswege	6
1.3 Rechtsgrundlagen	7
2. TRANSPORT UND VERBRINGUNG	8
2.1 Transport von Klärschlamm	8
2.2 Export von Klärschlamm (EG)	8
3. BEHANDLUNG VON KLÄRSCHLAMM	11
3.1 Stabilisierung	11
3.2 Entwässerung	12
3.3 Hygienisierung	12
3.4 Nachbehandlung	12
3.5 Trocknung	13
3.6 Kompostierung	14
4. VERWERTUNG VON KLÄRSCHLAMM	15
4.1 Landwirtschaftliche Verwertung	15
4.2 Landschaftsbau und Rekultivierung	15
4.3 Veredelungsprodukte	16
5. VERBRENNUNG VON KLÄRSCHLAMM	18
5.1 Verbrennung in Klärschlammverbrennungsanlagen	18
5.2 Verbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen	18
5.3 Verbrennung in Industrieanlagen	18
5.4 Neue Verfahren der thermischen Behandlung	18
6. ABLAGERUNG VON KLÄRSCHLAMM	19
6.1 Mischdeponie	19
6.2 Monodeponie	20
7. KOSTEN DER KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG	21
8. PERSPEKTIVEN DER KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG	22
LITERATUR UND QUELLEN	24
1. Anhang 1: Liste der EU-Mitgliedsstaaten, Liste der EFTA-Staaten, Staaten für die der OECD-Beschluß gilt	25
2. Anhang 2: Zuordnungskriterien der TA Siedlungsabfall für die Ablagerung von Abfällen	26

Vorwort

Zu den erfreulichsten Beobachtungen, die man als engagierter Teilnehmer an der Umweltdebatte machen kann, zählt die Feststellung, daß sich ein steter Bewußtseinswandel in der Bevölkerung vollzieht. Immer mehr Menschen wenden sich immer intensiver den Fragen der ökologischen Zukunft unserer Gesellschaft zu. Dabei spielt die klare Erkenntnis zunehmend eine Rolle, daß unser heutiges Handeln die Welt von morgen ganz entscheidend prägen wird: Unsere Rücksichtslosigkeit heute produziert Konsequenzen für morgen, die irreversibel sein können, im positiven Falle noch mit viel Mühe ein Heilen gestatten.

Immerhin, das bedenkenlose „Ex und Hopp“, mit dem noch vor gar nicht so langer Zeit die Werbung den raschen und problemlosen Genuß verkündete, ist überwunden. Zumindest lassen entsprechende Erhebungen des Bundesumweltministeriums oder des Umweltbundesamtes solche Schlüsse zu. Die weit überwiegende Anzahl der Menschen ordnet der intakten Umwelt einen äußerst hohen Stellenwert zu.

Daß diese „theoretische“ Bewertung nicht immer konform geht mit dem „praktischen“ Handeln, dürfte in der Natur des Menschen liegen. Und diese Widersprüchlichkeit begegnet einem in vielen Fragen. Die Notwendigkeit des Baus neuer Deponien oder Müllverbrennungsanlagen wird akzeptiert, aber eben „bitte nicht vor meiner Haustür“. Oder: Recycling ist dringend geboten, aber aus dem Recycling hervorkommende Stoffe „bitte nicht für mich“.

Die „Sperrn“, die da offenbar vorliegen, hängen vielfach mit einer gewissen Furcht zusammen, die sich aus Unkenntnis nährt. Diese Ungewißheit richtet sich gegen die Inhaltsstoffe der Recyclate, gegen ihre chemisch-physikalischen Eigenschaften, gegen ihre Qualität oder gegen ihre Zusammensetzung. Die Beschaffenheit der Sekundärmaterialien weckt Zweifel, weil man zu wenig darüber weiß, wie denn diese Stoffe gesammelt, sortiert, aufbereitet und rückgeschleust werden, welchen Qualitätskontrollen sie unterliegen und welche Bedingungen erfüllt sein müssen, bevor sie wieder in den Verkehr gelangen. Daraus leitet sich ein Appell an die Verantwortlichen ab, mehr Aufklärungs- und Informationsanstrengungen zu unternehmen.

Es wird einer langen Überzeugungsarbeit bedürfen, um hier eine ausgewogenere Verhaltensweise zu erzielen. Dabei ist mit dem Bewußtseinswandel schon ein

wichtiger Schritt getan. Das Akzeptieren auch der nächsten Schritte kann vielleicht bald erzielt werden. Jedenfalls richten sich die Hoffnungen aller Beteiligten darauf.

Die Philosophie der Kreislaufführung von gebrauchten Stoffen besitzt ja eine innere Überzeugungskraft. Dem kann sich niemand auf Dauer entziehen, wenn er denn nicht böswillig sein will. Das gilt natürlich nicht nur für die Kreisläufe von Papier oder Metallschrott, sondern auch für nativ-organische Abfälle oder für den Klärschlamm.

Beim Klärschlamm sind die Vorbehalte für den Einsatz im Sinne der Kreislaufführung besonders ausgeprägt. Das hängt natürlich eng mit den Inhaltsstoffen zusammen, die bei einer reinen Inaugenscheinnahme gar nicht aufscheinen. Daß da etwas „verborgen“ sein könnte, läßt Anwender gelegentlich zögern. Man will ganz sicher sein, daß die Nutzung dieser Sekundär-Ressource keine Nachteile nach sich zieht.

Die hier vorgelegte Schrift hat den Zweck, an dieser Stelle anzusetzen, wo Informationen helfen können, Wissenslücken zu schließen und damit Zusammenhänge transparent zu machen. Vorurteile und unbegründete Zweifel lassen sich ausräumen, wenn man mehr um die Dinge weiß. Diese Hintergründe aufzuhellen, ist Ziel dieser Broschüre.

Sie soll helfen, die Debatte zu versachlichen – ohne dabei jemanden „überreden“ zu wollen. Sie will „überzeugen“. Deshalb ist die Gliederung sehr breit angelegt und mißt auch den Grundlagenfragen und den Verfahrensabläufen breiten Raum zu. Es soll Verständnis geweckt werden. Es soll Einsicht vermittelt werden. Es sollen Argumente geliefert werden, die sich auf Fakten stützen, damit man sich eine Meinung bilden kann.

Wenn Sie als Leser dieses Heftes aus der Reihe „Kreislaufwirtschaft in der Praxis“ mit uns in einen Dialog über Fragen aus diesem Problemkreis eintreten möchten, würden wir uns sehr freuen. Denn wir sind zum Dialog bereit.

Köln, im April 1995
Frank-Rainer Billigmann

1. Entsorgung von Klärschlamm

1.1 Aufkommen und Entsorgung von Klärschlamm

Klärschlamm entsteht bei der Reinigung kommunaler Abwässer in Kläranlagen.

Durch den weiteren Ausbau kanalisierter Abwassererfassung und entsprechender Kläranlagen ist das Klärschlammaufkommen in den vergangenen Jahren kontinuierlich angestiegen (Abb. 1).

Im wiedervereinten Deutschland sind 90 % der Wohnbevölkerung an das öffentliche Kanalnetz und 86 % an Kläranlagen angeschlossen^[9]. Während in den neuen Ländern und Ost-Berlin noch 25 % keinen Anschluß an Abwassersysteme haben, liegt diese Zahl für die alten Bundesländer bei nur 6 %.

3 % der Wohnbevölkerung entsorgen ihr Abwasser ausschließlich über sogenannte Kleinkläranlagen (z. B. Dreikammergruben mit Verrieselung)^[9]. Solche dezentralen Lösungen werden aus ökonomischen Gründen und zur Vermeidung von langen Anschlußkanälen auch in Zukunft in bestimmten Regionen bestehen bleiben.

Abwässer aus der Kanalisation und überwiegend auch Fäkalien und Fäkalschlämme aus Kleinkläranlagen, abflußlosen Gruben und mobilen Toilettenanlagen werden in annähernd 10.000 Kläranlagen behandelt. Die bestehenden Kläranlagen sind für ca. 160 Mio. Einwohnergleichwerte (EW) ausgerichtet.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt beträgt das Aufkommen an Klärschlamm in der Bundesrepublik Deutschland ca. 60 Mio. m³. Bei Wassergehalten um 95 % entspricht dies einer Trockenmasse von ca. 3 Mio. t.

Weiterhin steigende Mengen an Klärschlamm werden erwartet

- aufgrund des Ausbaus von Kanalnetzen und Kläranlagen insbesondere in den neuen Bundesländern
- aufgrund weitergehender Reinigungsvorgaben bezüglich der Elimination von Nährstoffen^[1]

Die Phosphatfällung (Abscheidung von Phosphat) führt bezogen auf die Trockensubstanz je nach Art der Fällmittel zu zusätzlichen Schlammengen von ca. 20 %.

Langfristig ist in der Bundesrepublik Deutschland von einem Schlammaufkommen von etwa 80 Mio. m³ p.a. bzw. 4 Mio.t Klärschlamm-trockenmasse auszugehen.

Die Umsetzung der Vorschriften des Wasserhaushaltsgesetzes hat in den vergangenen Jahren zu einer qualitativen Verbesserung der Klärschlämme geführt.

Der überwiegende Teil des Schlammaufkommens ist heute für die Verwertung grundsätzlich geeignet.

Abb. 1: Klärschlammaufkommen

Abb. 1: in Deutschland

(in Mio. m³)

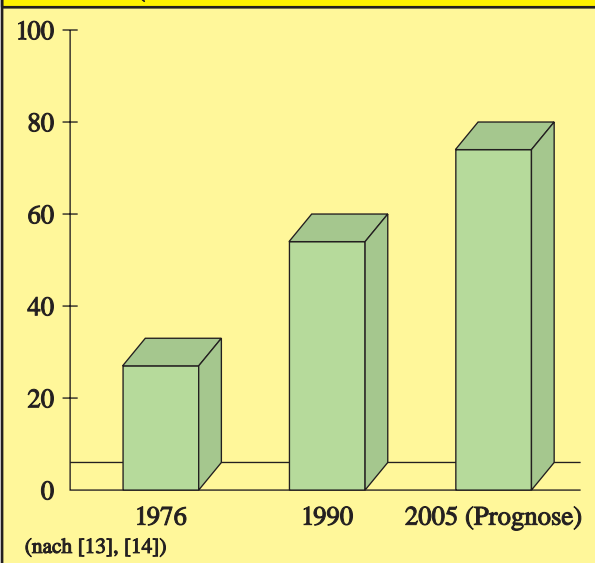
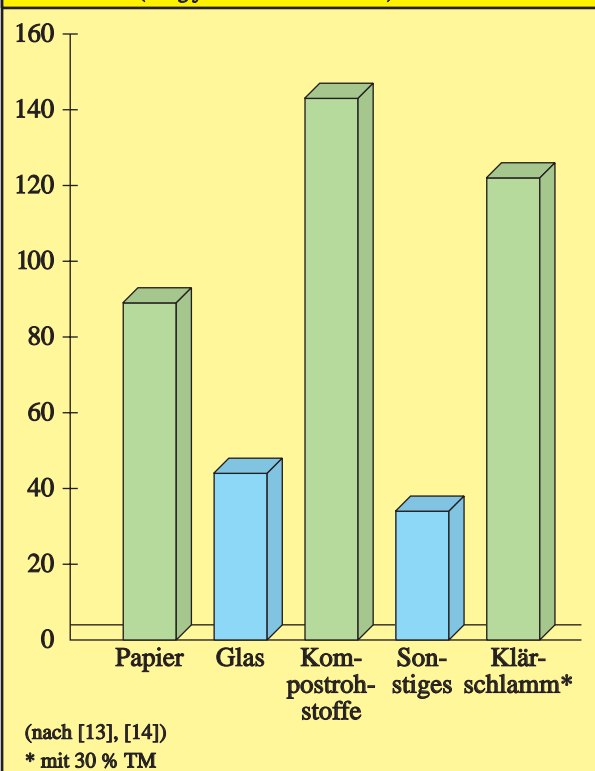


Abb. 2: Aufkommen an Hausmüll und Klärschlamm

(in kg je Einwohner und Jahr)



1.2 Entsorgungswege

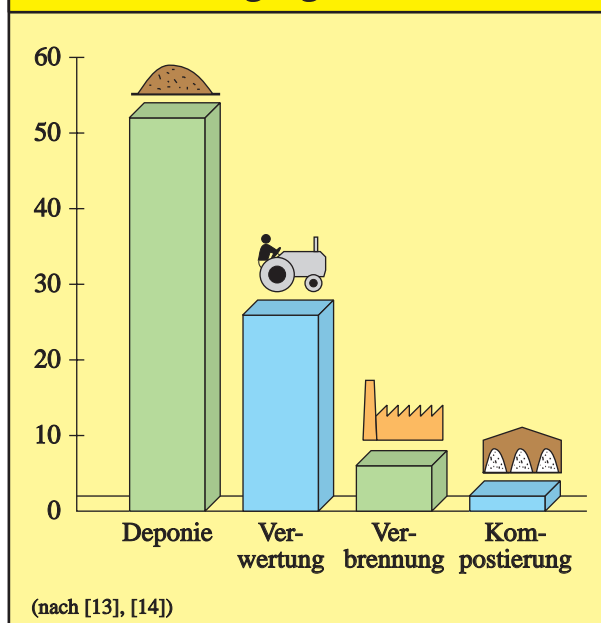
Die aktuelle Struktur der Klärschlamm Entsorgung ist in Abb. 3 veranschaulicht. Noch wird der größte Anteil deponiert.

Aufgrund der Vorgaben der TA Siedlungsabfall, die die Deponierung von Klärschlämmen langfristig nicht mehr zuläßt^[20], werden die Verwertung von Klärschlamm sowie die Verbrennung nicht verwertbarer Schlämme gegenüber der Deponierung an Stellenwert gewinnen.

Dies bedeutet, daß einerseits die Möglichkeiten der Verwertung – insbesondere die landwirtschaftliche Verwertung – ausgeschöpft werden. Andererseits müssen zur Behandlung nicht verwertbarer Schlämme die bestehenden Kapazitäten an Verbrennungsanlagen erweitert werden.

Nach dem Verwertungsgebot des Abfallgesetzes (§ 3, Abs.2 AbfG) sowie des neuen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (§ 4 Abs.1 Krw-/AbfG) hat die Verwertung von Klärschlamm Vorrang vor seiner sonstigen Entsorgung.

Abb. 3: Entsorgung von Klärschlamm



Das Verwertungsgebot bedeutet, daß die sonstige Entsorgung, also die Verbrennung und Deponierung nur dann zulässig sind, wenn die Möglichkeit der Verwertung nicht besteht.

Die Möglichkeit der Verwertung von Klärschlamm besteht, wenn

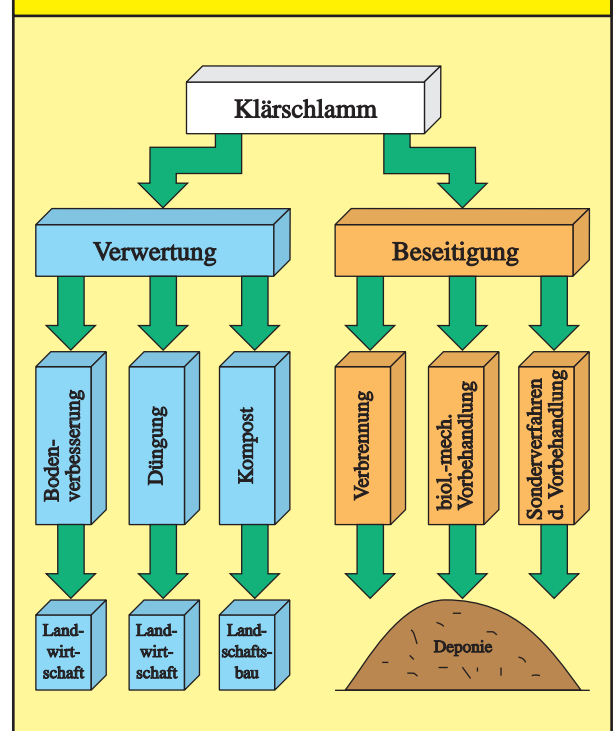
- sie technisch möglich ist,
- die Kosten im Vergleich zu anderen Verfahren nicht unzumutbar sind,
- Verwertungs Kapazitäten vorhanden sind oder insbesondere durch Beauftragung Dritter geschaffen werden können.

Die sonstige Entsorgung von Klärschlamm (Verbrennung/Deponierung) ist geboten, sofern

- Schlämme aufgrund erhöhter Schadstoffgehalte für die Verwertung nicht geeignet sind,
- Verwertungs Kapazitäten nicht vorhanden sind und auch durch Beauftragung privater Dritter nicht geschaffen werden können.

Mit Hinweis auf vorhandene Möglichkeiten der Verwertung muß die entsorgungspflichtige Körperschaft Klärschlamm von der Deponie ausschließen.

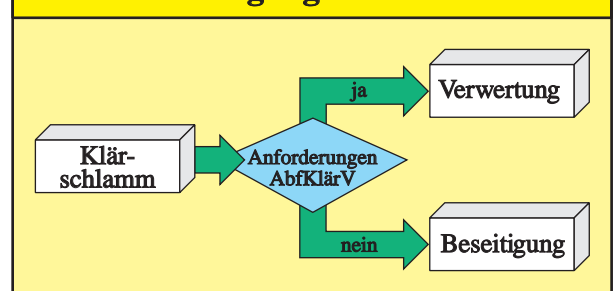
Abb. 4 Möglichkeiten der Verwertung und Beseitigung von Klärschlamm



Die Entscheidung, ob Klärschlamm stofflich verwertet werden kann, hängt nicht nur von den gegebenen oder zu erschließenden Möglichkeiten und Kapazitäten ab. Entscheidend ist, daß auch die Qualität der vorhandenen Schlämme gut ist, d. h. den in der Klärschlammverordnung genannten Vorsorge-Richtwerten genügt^[21].

Der Verwertung sollen nur Schlämme mit niedrigen Gehalten an Schadstoffen zugeführt werden. Genügen Schlämme den Anforderungen nicht, sind sie einer geordneten Entsorgung zuzuweisen.

Abb. 5 Bewertungskriterien für die Entsorgung von Klärschlamm



1.3 Rechtsgrundlagen

Rechtliche Grundlage der Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland ist das Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz – AbfG) vom 27.8.1986 sowie das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz -KrW/AbfG) vom 27.9.1994.

Das neue Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz wird am 6.10.1996 in Kraft treten und dann das bestehende Abfallgesetz endgültig ablösen. Insofern ist bis zu diesem Zeitpunkt für die Entsorgung von Klärschlamm das Abfallgesetz (AbfG) maßgeblich.

Für die Verbringung von Klärschlamm greift allerdings bereits heute das neue europäische Abfallrecht, auf welches hin das Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz ausgerichtet ist.

Das Abfallgesetz bestimmt im wesentlichen, daß Abfälle – auch Klärschlamm – vorrangig zu verwerten sind.

Die Bestimmungen des Abfallgesetzes bilden die Grundlage für weitere, auf spezielle Abfälle bezogene Rechtsgrundlagen. Für die Klärschlamm Entsorgung sind dies v.a.:

Die TA Siedlungsabfall (TASI)

Die TA Siedlungsabfall regelt als Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz insbesondere die Zuordnung von Abfällen zu Entsorgungsverfahren, die Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung sowie den Stand der Technik von Zwischenlagern, Behandlungsanlagen und Deponien.

Gemäß Ziffer 4.2.1 TA-Siedlungsabfall^[20] ist die Deponierung von Abfällen mit Anteilen an organischer Substanz (z. B. Klärschlamm) zu untersagen (Anhang 2). Die zuständige Behörde kann längstens bis zum 1.6.2005 Ausnahmen zulassen.

In Anbetracht von Restlaufzeiten bestehender Deponien sowie einem Planungsvorlauf für neue Deponien von rund 10 Jahren ist die zukünftige Konzeption der Klärschlamm Entsorgung im Rahmen von Abfallwirtschaftskonzepten bereits heute mehr als dringlich. Entsorgungspflichtige Körperschaften, die gebotene Entscheidungen und Entsorgungswege nicht rechtzeitig vorbereiten, handeln fahrlässig.

Die Klärschlammverordnung (AbfKlärV)

Die Klärschlammverordnung vom 15.4.1992 regelt die Verwertung von Klärschlämmen im Landbau. Sie enthält Anforderungen an Schlämme und Böden und regelt die Aufbringungsmengen innerhalb bestimmter Zeiträume. Die Klärschlammverordnung stellt darüberhinaus einen direkten Bezug zum Düngemittelrecht her.

EU-Verbringungsverordnung

Die Verordnung (EWG) Nr 259/93 des Rates vom 1. Februar 1993 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der Europäischen Gemeinschaft (EU-Verbringungsverordnung) trat am 9.2.1993 in Kraft. In dieser Verordnung sind die Anforderungen der Baseler Konvention umgesetzt sowie die OECD-Ratsentscheidung vom 30.3.1992 zur Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen, die zur Verwertung bestimmt sind.

Für den Export und Import von Klärschlamm aus oder nach Deutschland sind die Regelungen der EU-Verbringungsverordnung einschlägig. Die Verordnung bedarf im Gegensatz zu einer EG-Richtlinie nicht der Umsetzung in nationales Recht. Sie gilt seit dem 6. 5.1994 auch in Deutschland unmittelbar.

Das beim Export nach der Verordnung anzuwendende Notifizierungsverfahren ist in Kapitel 2.2 dargestellt sowie in unserer Schrift „Umweltschonende Entsorgung Nr. 8, Notifizierungsverfahren im Rahmen der EU-Verbringungsverordnung“ ausführlich erläutert. Klärschlamm ist in der „Gelben Liste des Anhangs II der EU-Verbringungsverordnung“ aufgeführt.

2. Transport und Verbringung

2.1 Transport von Klärschlamm

Nach geltender Rechtslage sind Klärschlämme zur Verwertung gemäß § 1, Absatz 1, Satz 2 AbfG Abfälle. Demzufolge muß der Transporteur im Besitz der Transportgenehmigung nach § 12 AbfG sein. Voraussetzung hierfür ist die Zuverlässigkeit sowie der Eignungsnachweis gegenüber den zuständigen Behörden (Bezirksregierung, Landratsamt).

Wird Klärschlamm weiterverarbeitet, handelt es sich um Wirtschaftsgut. Der Begriff „Weiterverarbeitung“ berücksichtigt hierbei die Anreicherung zum Substratgemisch mit > 51 % Zuschlagstoffen bzw. den direkten Einsatz als zugelassenes Düngemittel in der Landwirtschaft.

Für die Transportkette Erzeuger (kommunale Kläranlage) und Verwerter (Einbringung als Bodenverbesserungsstoff) sind nachfolgende Regelungen im Rahmen des Straßentransportes zu beachten:

- Transport nach § 12 AbfG als Abfalltransport bis zum Feldrand. Keiner Transportgenehmigung bedürfen die in § 3 Abs. 2 AbfG genannten Körperschaften (Entsorgungspflichtige) sowie die von diesen beauftragten Dritten.
- Zulassung des eingesetzten Transporteurs im Güternah- und -fernverkehr im Rahmen der Beförderung als Wirtschaftsgut. Im Bereich des Güternahverkehrs (Umkreis von 75 km Luftlinie vom Mittelpunkt des Standortes) des LKW bzw. Firmensitzes gelten die Regelungen des Güternahverkehrs^[22].
- Zulassung der BAG zum Transport in Werknah- und -fernverkehr.
- Vertragsgestaltung zwischen Abfallerzeuger und Transporteur (der den Klärschlamm übernimmt und anschließend an den Verwerter wieder veräußert) als Werksverkehr. Die Anlieferung zum Verwerter muß hierbei „franko“ erfolgen, d. h. Ware und Fracht werden dem Transporteur erstattet.

Die Durchführung der Transporte vom Entstehungsort Kläranlage zum Ort der Verwertung oder Entsorgung erfolgt entsprechend den Anforderungen der Verwertung (z. B. Ausbringungstechnik) oder Entsorgung:

- Transport in flüssiger Form:

Die Klärschlammübernahme erfolgt mit 3 bis 6 % Trockenstoffgehalt in Saugfahrzeugen, die ohne weiteren Umschlag direkt zur Ausbringungsfläche fahren. Die eingesetzten Zugfahrzeuge (i.d.R. Traktoren) ermöglichen aufgrund der Geschwindigkeit und Bauart ausschließlich die Ausbringung im ortsnahen Bereich.

Größere Transportentfernungen sind bei Naßschlamm aufgrund des hohen Wasseranteils von 94 - 97 % unwirtschaftlich, zumal i.d.R. ein weiterer Umschlag aus dem Saugfahrzeug in das Ausbringungsfahrzeug erforderlich wird.

- Transport in fester Form:

Grundsätzlich müssen zwei Arten des Feststoffes unterschieden werden:

- Entwässerter und mit Zuschlagstoffen (z. B. Branntkalk) nachverfestigter Klärschlamm: Trockengehalt > 30 %
- Entwässerter und getrockneter Klärschlamm: Trockengehalt > 60 %

Beim Transport von getrockneten Klärschlämmen können Brand- und Explosionsgefahr vermieden werden, wenn

- die Produkttemperatur < 70° C beträgt
- die Materialbeschaffenheit pelletförmig oder als grob abgesiebte Kornfraktion vorliegt

Die für die Selbstentzündung relevanten Teilchen < 0,1 mm sollen 1 Vol.% nicht überschreiten.

Zwischenlagersilos sollten zweckmäßigerweise mit Explosionsklappen ausgerüstet sein, um die Gefahr der Selbstentzündung und Staubexplosion zu verhindern.

Neben den Nachweisregelungen gemäß AbfKlärV werden im Hinblick auf die zu beauftragenden Unternehmen weitergehende Vorgaben empfohlen:

- Abfalltransporteur (Einsammlungs- und Transportgenehmigung nach § 12 AbfG,
- Zulassung als Unternehmen für den Güternah- und -fernverkehr,
- Nachweis der Sach- und Fachkunde als Verwertungsunternehmen nach § 52 Krw/AbfG,
- Zertifizierung des Unternehmens nach DIN/ISO 9000 ff.

Nach geltendem Recht ist der Erzeuger von Klärschlamm (Kommune oder Gebietskörperschaft) Besitzer der Rückstände im Sinne der Klärschlammverordnung und des Abfallgesetzes.

Schon allein aus diesem Grund sollten in bezug auf die Kontrolle über den Verbleib von Klärschlamm sowie die Kontrolle der Verwertung vorzugsweise solche Unternehmen beauftragt werden, die entsprechende Leistungen in eigener Regie und im eigenen Hause erbringen.

2.2 Export von Klärschlamm (EG)

Seit 6. Mai 1994 ist für den Export von Klärschlamm aus der Bundesrepublik Deutschland die EU-Abfallverbringungsverordnung anzuwenden^[23].

Die Verbringung hat nach bestimmten Notifizierungsverfahren zu erfolgen. Anwendung und Umfang der Notifizierungsverfahren sind davon abhängig, ob es sich um die Verbringung von „Abfällen zur Beseitigung“ oder um die Verbringung von „Abfällen zur Verwertung“ handelt.

Im Grundsatz gilt das Prinzip der vorhergehenden Zustimmung des Empfängerstaates, wobei Verbringungen nach außerhalb der Europäischen Union strengeren Verfahren bis hin zu Verbringungsverboten unterliegen. Im einzelnen ergeben sich für die Verbringung von Klärschlamm folgende Regelungen:

Verbringung von Klärschlamm innerhalb der EU
a) zur Beseitigung:
Für Klärschlamm, der zur Beseitigung bestimmt ist, ist ein umfangreiches Notifizierungsverfahren durchzuführen. Es kommt in der Bedeutung einer Kombination aus dem bundesrechtlichen Entsorgungsnachweis und dem Begleitscheinverfahren gleich (Abb. 6). Die einzelnen EU-Staaten haben allerdings das Recht, die Verbringung von Klärschlamm teilweise oder ganz zu verbieten.
b) zur Verwertung:
Klärschlämme zur Verwertung unterliegen einem vereinfachten Notifizierungsverfahren gemäß der „Gelben Liste Abfälle“ der EU-Verbringungsverordnung (Abb. 7).

Verbringung von Klärschlamm außerhalb der EU
a) zur Beseitigung:
Die Ausfuhr von Klärschlamm zur Beseitigung ist generell verboten. Ausnahmeregelungen erstrecken sich auf die EFTA-Länder, sofern sie Vertragsparteien des Baseler Übereinkommens sind (Anlage 1), sich einverstanden erklären und ein umweltverträgliches Beseitigungsverfahren zur Verfügung steht. Das durchzuführende Notifizierungsverfahren entspricht im Grundsatz dem Verfahren der Verbringung innerhalb der EU. (Siehe Artikel 14 + 15 EU-Verbringungsverordnung.)
b) zur Verwertung:
Die Ausfuhr von Klärschlamm zur Verwertung ist nur in Länder gestattet, für die der OECD-Beschluß (Anlage 1) gilt, die Vertragsparteien des Baseler Übereinkommens sind oder mit denen die EU und ihre Mitgliedsstaaten entsprechende Übereinkünfte getroffen haben. In AKP-Länder besteht ein generelles Ausfuhrverbot. Eine Rücknahme von aufbereiteten Abfällen ist möglich. (Siehe Artikel 16 + 17 EU-Verbringungsverordnung.)

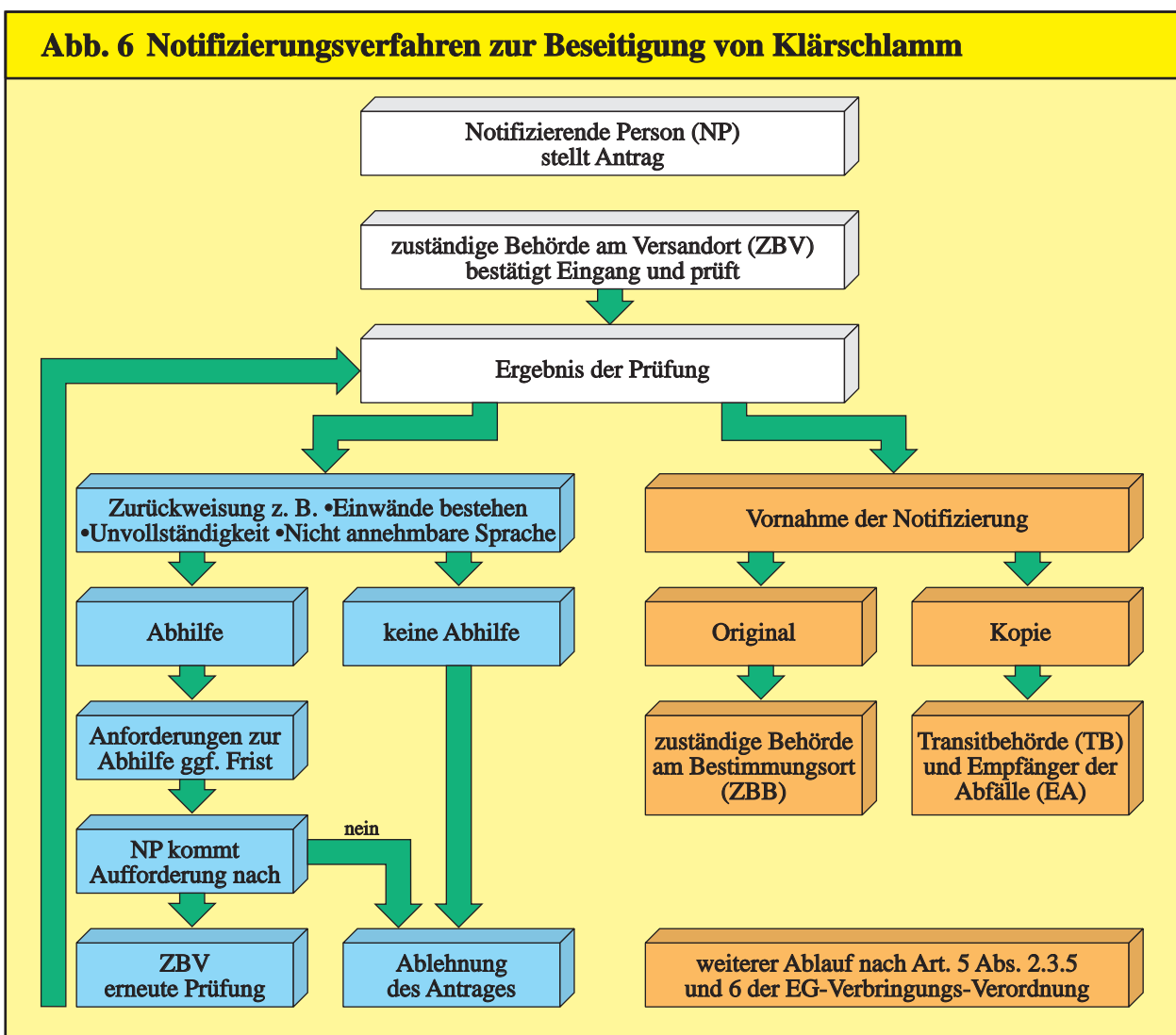
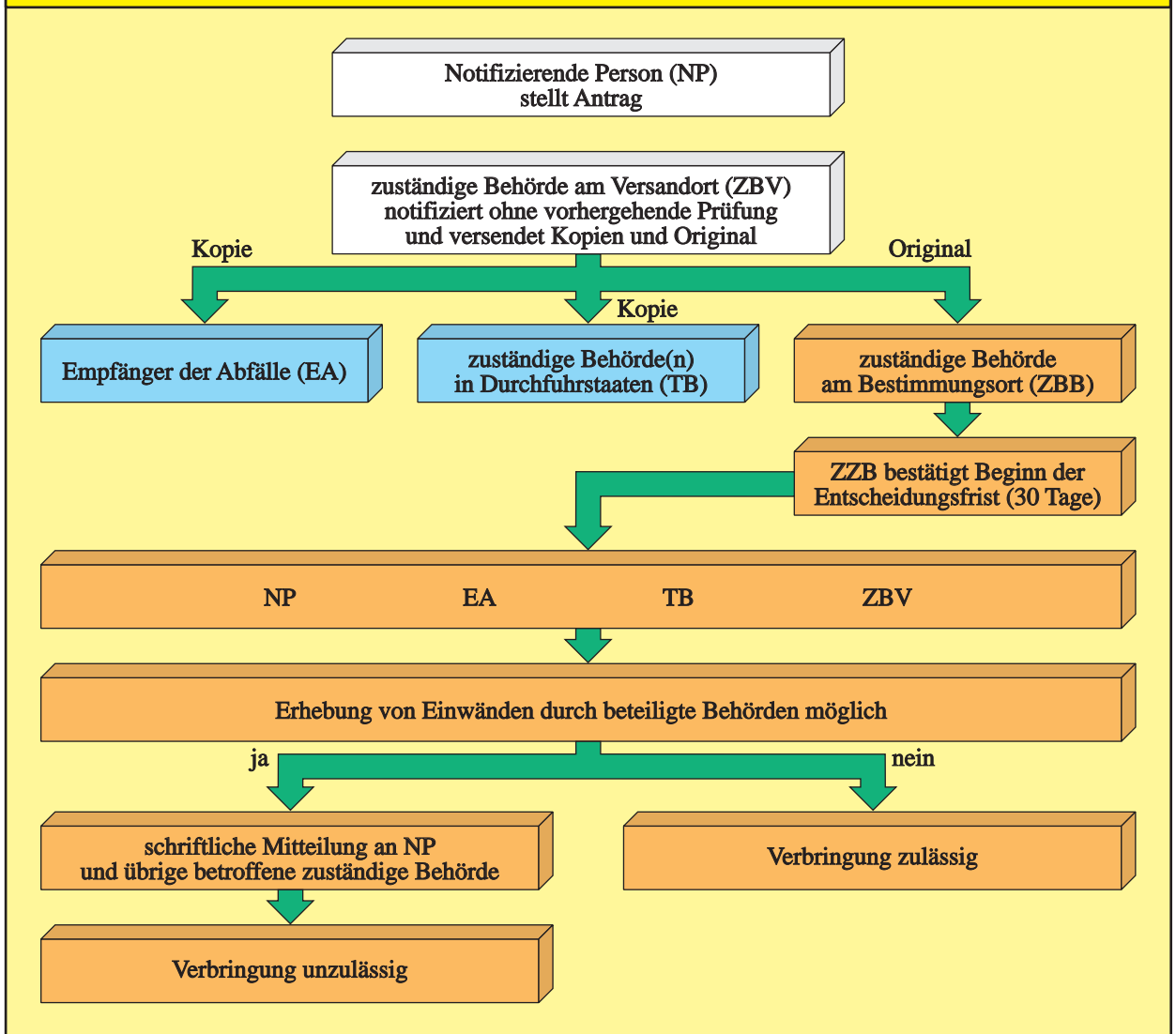


Abb. 7 Notifizierungsverfahren zur Verwertung von Klärschlamm



- NP Notifizierte Person
- ZVB zuständige Behörde am Versandort
- EA Empfänger der Abfälle
- TB zuständige Behörde(n) in Durchführstaaten
- ZBB zuständige Behörde am Bestimmungsort

3. Behandlung von Klärschlamm

Aufgabe der Klärschlammbehandlung ist es, die bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlämme so zu behandeln, daß die vorgesehene Verwertung oder Beseitigung entsprechend den Anforderungen erfolgt (Abb. 8).

Grundlegende Verfahren der Klärschlammbehandlung sind:

- die Stabilisierung,
- die Entwässerung,
- die Hygienisierung sowie
- die Trocknung.

3.1 Stabilisierung

Unbehandelter Rohschlamm aus der Abwasserreinigung geht aufgrund seines hohen Anteils an organischer Substanz leicht in Fäulnis über.

Grundlegende Aufgabe der Klärschlammbehandlung ist daher die biologische Stabilisierung, d. h. der gesteuerte Abbau organischer Anteile im Rohschlamm und die Vermeidung von Geruchsemissionen.

80 - 90 % der Klärschlämme werden biologisch stabilisiert (z. B. in Faultürmen). Ein chemisch-mechanisches Stabilisierungsverfahren ist die Konditionierung mit Kalk (z. B. Kalkmilch).

Bei der Stabilisierung werden aber auch weitere Ziele verfolgt:

- Reduzierung der Schlammmenge,
- Verbesserung der Entwässerbarkeit,
- Reduzierung des Gehaltes an Krankheitserregern,
- Gewinnung von Biogas als Energieträger (anaerobe Stabilisierung).

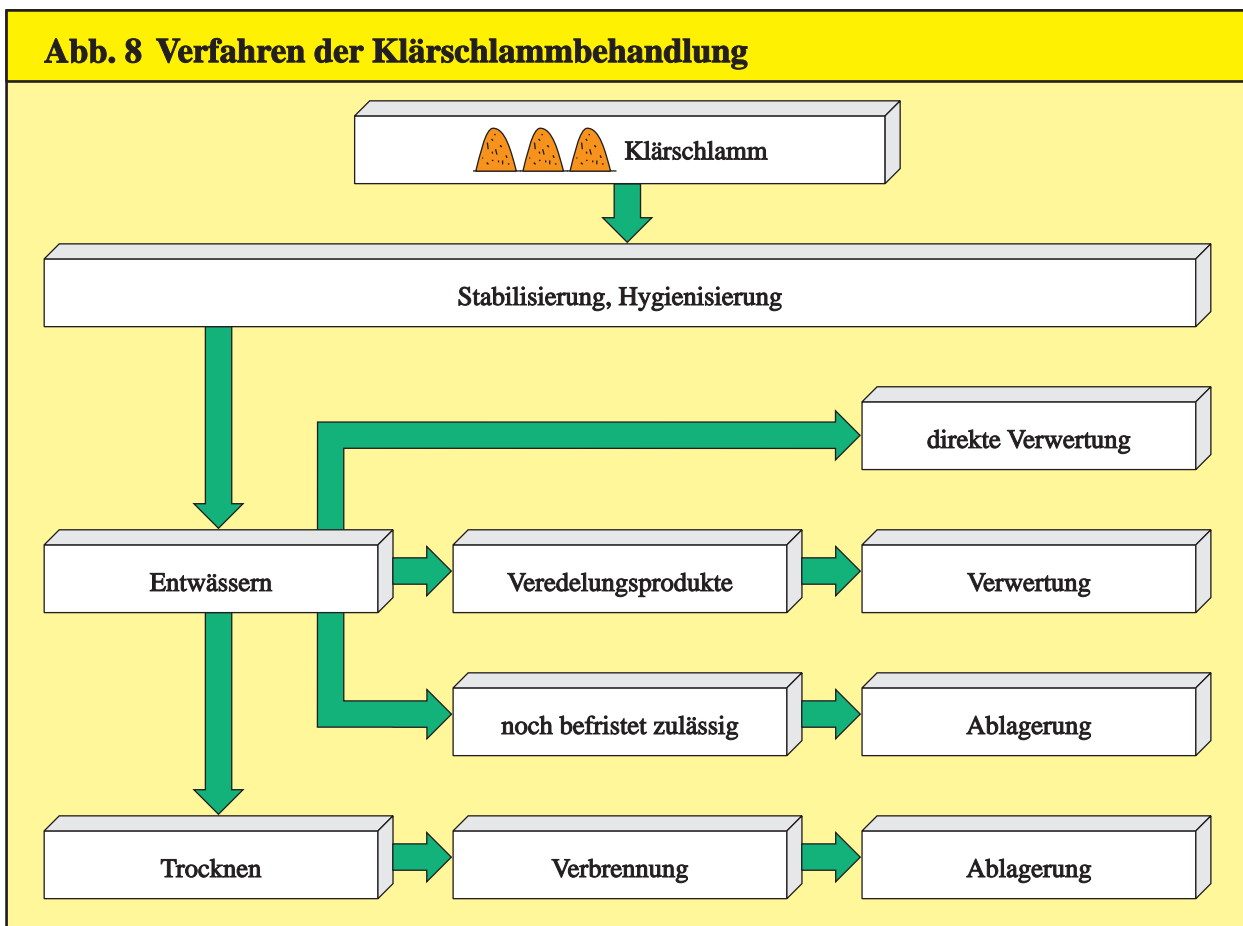
Der Grad der Stabilisierung ist von der Art der Weiterbehandlung abhängig.

Für die landbauliche Verwertung von Klärschlamm empfiehlt sich die biologische Stabilisierung.

Für die Deponierung von entwässertem Klärschlamm sind unterschiedliche Stabilisierungsgrade möglich.

Soll Klärschlamm verbrannt werden, ist keine vorausgehende biologische Stabilisierung erforderlich.

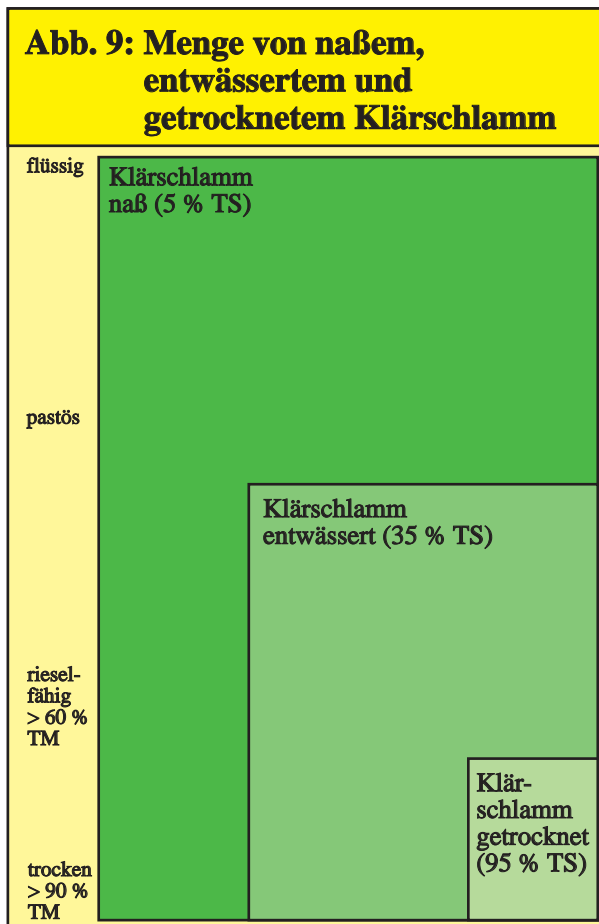
Abb. 8 Verfahren der Klärschlammbehandlung



3.2 Entwässerung

Klärschlämme weisen, je nach Art der Abwasserreinigung und Abwasserzusammensetzung, Wassergehalte zwischen ca. 93 - 97 % auf.

Der spezifisch hohe Wassergehalt von Klärschlamm bedeutet relativ große Mengen und Volumina. Alle Maßnahmen der Verwertung und Entsorgung erfordern daher i.d.R. zunächst die Entwässerung des Naßschlammes.



Der Prozess der Entwässerung besteht aus verschiedenen Teilschritten. Dies sind i.d.R.:

- Eindickung,
- Konditionierung,
- Entwässerung.

Bei der Eindickung wird mit Hilfe eines natürlichen Schwerefeldes (z. B. Absetzbecken, Trockenbeet) oder eines maschinell erzeugten Schwerefeldes (z. B. Zentrifuge) das nur durch geringe Kräfte gebundene Zwischenraumwasser abgetrennt.

Unter Konditionierung sind alle Verfahren zu verstehen, die zu einer Verbesserung der Eindickfähigkeit und der Entwässerbarkeit führen. Eine Konditionierung von Klärschlamm kann durch chemische und mechanische Prozesse erreicht werden.

Bei der Konditionierung mit anorganischen oder organischen Konditionierungsmitteln werden durch Änderung der elektrostatischen Ladung bzw. durch Bildung neuer Verbindungen Flocken gebildet und das Wasserbindevermögen reduziert.

Die eigentliche maschinelle Schlammmentwässerung erfolgt schließlich mittels Zentrifugen oder durch Filtration (Bandfilterpressen, Kammerfilterpressen).

Zentrifugen (Dekanter) zeichnen sich durch besonders hohe Flexibilität im Hinblick auf die Einsatzbereiche aus. Dies gilt für die verfügbaren Nennleistungen ebenso wie für den Bereich der entwässerungsfähigen Schlämme.

Bandfilterpressen (Siebbandpressen) entwässern den Schlamm über die Hintereinanderschaltung von Zonen unterschiedlichen Druckes und wechselnder Beanspruchung. Bedingt durch die Preßtechnik sind bestimmte Anforderungen an die Standfestigkeit und Kompressibilität der zu entwässernden Klärschlämme zu stellen. Entsprechend unterschiedlich können die Ergebnisse der Entwässerung sein.

In Kammerfilterpressen (Membranfilterpressen) wird der Klärschlamm meist chargenweise entwässert. Mit Kammerfilterpressen sind abgesehen von einer Nachbehandlung mit Branntkalk bei anderen Verfahren in der Regel die höchsten Trockensubstanzgehalte zu erzielen.

Eine Übersicht über erreichbare Ergebnisse bei der maschinellen Klärschlammmentwässerung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Konditionierungsverfahren kann der Tabelle 1 entnommen werden. Je nach Entsorgungspfad sind unterschiedliche Entwässerungsgrade anzustreben.

3.3 Hygienisierung

Die Hygienisierung von Klärschlamm hat das Ziel, Krankheitserreger durch geeignete Behandlungsmaßnahmen unschädlich zu machen. Für die Hygienisierung können eine Reihe unterschiedlicher Wirkungsmechanismen herangezogen werden: Erhitzung, pH-Wert-Änderung, Bestrahlung.

Verfahren, mit denen nach derzeitigem Kenntnisstand und jeweils definierten Prozeß- und Verfahrensbedingungen eine gesicherte Entseuchung im geforderten Umfang erreicht werden kann, sind

- Schlammpasteurisierung,
- aerob-thermophile Schlammstabilisierung, mit und ohne anschließende Faulung,
- Behandlung mit Kalkhydrat oder Branntkalk,
- Kompostierung nach dem Stand der Technik^[20].

Mit einer Langzeitlagerung, wie früher oft üblich, läßt sich nach dem derzeitigen Kenntnisstand keine gesicherte Entseuchung erreichen.

3.4 Nachbehandlung

Ist nach der Entwässerung der Zustand des Schlammes im Hinblick auf das angestrebte Ziel noch nicht ausreichend, so ist eine Nachbehandlung erforderlich. Nachbehandlungsschritte betreffen daher vor allem die Verbesserung der Deponierfähigkeit, des Energiegehaltes, des Düngewertes und des seuchenhygienischen Zustandes, aber auch der Transport- und Ausbringfähigkeit (Streufähigkeit).

Tabelle 1: Wirkungsgrade maschineller Klärschlamm entwässerung

Entwässerungs- aggregat	Zentrifugen, Bandfilterpressen		Kammerfilterpressen	
	TR (%) einschl. Konditio- nierungsmittel und Zuschlagsstoffe	bodenmechanische Deponierfähigkeit ¹⁾ erreichbar	TR (%) einschl. Konditio- nierungsmittel und Zuschlagsstoffe	bodenmechanische Deponierfähigkeit ¹⁾ erreichbar
Konditionierung mit Polymeren	22 - 30 ²⁾	i. d. R.: Nein	35 - 45	i. d. R.: Ja
Konditionierung mit Metallsalzen	unüblich	—	30 - 40	häufig: Ja
Konditionierung mit Metallsalzen und Kalkhydrat	unüblich	—	35 - 45	i. d. R.: Ja
Hochtermische Konditionierung	40 - 50	i. d. R.: Nein	> 50	i. d. R.: Nein
Konditionierung mit Polymeren und Feinkohle (für anschl. Verbrennung)	nach den Erfordernissen des Entsorgungs- zieles	—	nach den Erfordernissen des Entsorgungs- zieles	—
Konditionierung mit Polymeren und Nachbehandlung mit Branntkalt oder Zement	nach den Erfordernissen des Entsorgungs- zieles	Ja	—	—
Konditionierung mit Polymeren und Nachbehandlung mit Ballaststoffen	abhängig	i. d. R.: Nein	—	—

¹⁾ siehe Korrespondenz Abwasser 1986, Heft 11, Seite 1.071 ff.

²⁾ bei zusätzlicher niederthermischer Konditionierung 25 - 35 %

3.5 Trocknung

Ziel der Klärschlamm-trocknung ist die weitergehende Entwässerung von Klärschlamm auf Trockensubstanz-gehalte zwischen 65 und 90 %.

Der erforderliche Trockensubstanzgehalt richtet sich nach der geplanten Verwertung oder Beseitigung.

Entsorgungsweg	Trockensubstanzgehalt
Verbrennung in Groß- feuerungsanlagen	> 90 %
Brennstoffeinsatz in der Zementindustrie	> 80 %
Ablagerung in Mono- deponien	75 - 80 %

Die Trocknung von Naßschlamm ist wirtschaftlich nicht sinnvoll, da der erforderliche Energieeinsatz ein Vielfaches des Energieeinsatzes der Entwässerung beträgt. Durch maschinelle Vorentwässerung können Trockensubstanzgehalte von 30 - 40 % erreicht werden.

Die Trocknung von entwässertem Klärschlamm empfiehlt sich vorzugsweise dann, wenn eine thermische

Verwertung bzw. thermische Vorbehandlung vor der Ablagerung erfolgen soll.

Ist eine landwirtschaftliche Verwertung vorgesehen, ist die Trocknung aus Kostengründen i.d.R. nicht zu empfehlen¹⁰⁾.

Im Hinblick auf die Deponierung ist festzuhalten, daß die Trocknung keine geeignete Maßnahme zur Reduzierung der organischen Substanz gemäß den Anforderungen der TA Siedlungsabfall darstellt.

Bei den Trocknungsverfahren ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen Direkt- und Indirekttrocknen.

Bei Direkttrocknern wird die erforderliche Trocknungsenergie von den Verbrennungsgasen im direkten Kontakt an den Schlamm übertragen. Zu diesen Trocknern gehören z. B. Bandtrockner, Etagentrockner, Trommeltrockner, Wirbelschichttrockner u.a..

Indirekte Trocknungssysteme (Kontakttrockner) übertragen die Wärmeenergie der Verbrennungsgase über Heizflächen und einen zwischengeschalteten Wärmeträger an den Schlamm. Verbrennungsgase und Trocknerabluft (Brüden) werden getrennt abgezogen. Zu den indirekten Trocknern gehören z. B. Schneckenrockner, Scheibentrockner, Dünnschichttrockner.

Eine kritische Phase des Trocknungsvorganges ist in der sogenannten „Leimphase“ bei Trockensubstanzgehalten von 40 - 60 % gegeben. Durch Rückmischung mit

getrocknetem Material wird diese Phase i.d.R. überbrückt und gleichzeitig der Staubanteil des verwendeten Trockengutes gebunden.

Bei Trockensubstanzgehalten > 60 % ist Klärschlamm riesel-, schütt- und streufähig. Im Bereich zwischen 60 - 85 % Trockensubstanzgehalt neigt Klärschlamm bei längerer Lagerung zur Verpilzung und Schimmelbildung. Über 90 % Trockensubstanzgehalt sind diese biologischen Vorgänge nicht mehr zu erwarten.

Je nach Trocknungsverfahren sind erhebliche Unterschiede in den Trockenprodukten festzustellen. Dies betrifft neben dem Trockensubstanzgehalt insbesondere die Kornverteilung.

Staubförmiges Trockenmaterial hat den geringsten und das in Würstchenform den größten Raumbedarf^[11]. Trockenschlamm kann daher einen drei- bis vierfachen Dichteunterschied aufweisen, wodurch sich ein sehr unterschiedlicher Raumbedarf ergibt. Für eine anpassungsfähige Logistik eignet sich i.d.R. ein homogenes Granulat mit > 90 % TM und geringem Staubanteil am besten.

Am Ende des Trocknungsprozesses fällt stets ein Gemisch aus Rauchgasen und Wasserdampf an, das einen mehr oder weniger großen Teil des getrockneten Produkts in Form kleiner Partikel und zumeist organischer Dämpfe mitführt^[3]. Das Kondensat ist abhängig von den eingesetzten Trocknungsverfahren. In der Größenordnung sind die in Tab. 3 aufgeführten Kondensatinhaltsstoffe zu erwarten:

Tabelle 3: Kennzeichnung von Kondensat bei der Klärschlamm-trocknung	
Kondensatinhaltsstoffe	mg/l
CSB	180 - 5.000
BSB ₅	35 - 1.000
NH ₄	100 - 1.000
pH-Wert	>10

Wesentlicher Kostenfaktor bei der Trocknung ist der Energiebedarf. In der Größenordnung entsteht bei der Klärschlamm-trocknung je Tonne abgetrennten Wassers ein

- Energiebedarf von 3.000 - 3.5000 MJ
- Strombedarf von 60 - 100 kWh

Für den Betrieb einer Anlage zur Klärschlamm-trocknung sind i.d.R. folgende genehmigungsrechtlichen Aspekte zu beachten:

- Betrieb innerhalb einer genehmigten Abwasserbehandlungsanlage:

In diesem Falle ist für den Betrieb der Trocknungsanlage keine Genehmigung nach der 17. Bundesimmissionsschutzverordnung erforderlich. Der Betrieb stellt lediglich eine Erweiterung der Abwasserbehandlungsanlage dar, so daß vom Betreiber lediglich eine Aufstellungsgenehmigung nach Baurecht für die Trocknungsanlage einzuholen ist. Hierbei ist der Nachweis freier Kapazitäten zur Mitbehandlung der anfallenden Abluftkonzentrate (Brüden) beizufügen. Darüberhin-

aus ist nachzuweisen, daß die Abluftwerte des Trockners die Grenzwerte nach TA Luft einhalten. Schließlich dürfen nur die in der Kläranlage selbst anfallenden Schlämme behandelt werden.

- Betrieb außerhalb einer genehmigten Abwasserbehandlungsanlage:

Trocknungsanlagen sind gemäß Bundesimmissionsschutzgesetz zu genehmigen. Dabei ist der Nachweis der gesicherten Behandlung der entstehenden Abluftkonzentrate (Brüden) zu erbringen. Hiernach genehmigte Trocknungsanlagen können Schlämme aus unterschiedlichen Abwasserbehandlungsanlagen annehmen und behandeln.

3.6 Kompostierung

Die Kompostierung von Klärschlamm hat verschiedene Ziele: biologische Stabilisation, Geruchsverbesserung, Hygienisierung, Homogenisierung und Lagerfähigkeit. Insgesamt soll die Handhabung von Klärschlamm so verbessert werden, daß er auch außerhalb der Landwirtschaft vielseitig verwertbar wird.

So kann Klärschlammkompost z. B. für verschiedenste Anwendungszwecke im Landschaftsbau eingesetzt werden. Die Kompostierung von Klärschlamm verbessert hier die Absatz- und Verwertungsmöglichkeiten erheblich.

Um eine Klärschlammkompostierung erfolgreich durchführen zu können, müssen bestimmte Grundvoraussetzungen erfüllt sein. Dazu gehört, daß der Klärschlamm entwässert ist. Da entwässertes Klärschlamm allein aber nicht die für die aerobe Rotte erforderlichen Eigenschaften aufweist, muß er i.d.R. zusammen mit anderen Stoffen kompostiert werden. Als mögliche Mischkomponenten sind zu nennen: Rinde, Holzfasern und Häcksel, Papier u.a..

Anlagen zur Kompostierung von Klärschlamm werden in Abhängigkeit vom Anlagendurchsatz nach Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) oder nach Baurecht genehmigt:

- Anlagendurchsatz > 10 t/Stunde entsprechend 87.600 t p.a. Genehmigung nach § 10 BImSchG
- Anlagendurchsatz > 0,75t/Stunde entsprechend 6.570 t p.a. Genehmigung nach § 19 BImSchG
- Anlagendurchsatz < 0,75t/Stunde entsprechend 6.570 t p.a. Genehmigung nach Baurecht

Die Anwendung von Klärschlammkompost in der Landwirtschaft unterliegt den Regelungen der Klärschlammverordnung (AbfKlärV).

Soweit die zuständige Behörde eine Verwendung in Bereichen zuläßt, die nicht der Klärschlammverordnung unterliegen (z. B. Rekultivierung, Landschaftsbau) sollen auch dort die entsprechenden qualitativen Anforderungen an das Produkt eingehalten werden (Ziffer 5.2.7 TA Siedlungsabfall).

4. Verwertung von Klärschlamm

Für die stoffliche Verwertung von Klärschlamm sprechen seine wertgebenden Inhaltsstoffe (Tabelle 4).

Als wertgebende Inhaltsstoffe von Klärschlamm gelten:

- die organische Substanz (Humus),
- Pflanzennährstoffe (Stickstoff, Phosphat, Kalium, Magnesium, Spurennährstoffe),
- basisch wirksame Stoffe (Kalk).

Von praktischer Bedeutung für die stoffliche Verwertung sind

- Die landwirtschaftliche Klärschlammnutzung^[24],
- die Kompostierung zur Herstellung von Bodenverbesserungsmitteln für die Rekultivierung und den Landschaftsbau,
- die Herstellung von Veredelungsprodukten aus Klärschlamm (z. B. organisch-mineralischer Mischdünger).

Weiterhin von Interesse kann künftig die Möglichkeit sein, Verbrennungsrückstände unter bestimmten Bedingungen in der Baustoffindustrie einzusetzen.

4.1 Landwirtschaftliche Verwertung

Die stoffliche Verwertung von Klärschlamm im Ackerbau unterliegt der Klärschlammverordnung. Diese enthält Anforderungen an die Rahmenbedingungen einer Verwertung, insbesondere an notwendige Boden- und Klärschlammuntersuchungen, hierbei einzuhaltende Grenzwerte, zulässige Aufbringungshöchstmengen sowie organisatorische Maßnahmen zur Anmeldung und Dokumentation der Handlungen.

Je nach Art der Schlammbehandlung und des Düngungszieles erfolgt die Ausbringung von Klärschlamm in flüssiger, entwässerter oder getrockneter Form. Weiterhin ist eine Verwertung von Klärschlammkompost möglich.

Um eine ordnungsgemäße Klärschlammverwertung im Ackerbau sicherzustellen, sind entsprechende Organisationsformen und Dienstleistungen erforderlich. Die Praxis der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung wird in dieser Schriftenreihe – Kreislaufwirtschaft in der Praxis Nr. 2 – ausführlich vorgestellt^[24].

4.2 Landschaftsbau und Rekultivierung

Wie kaum ein anderer Bereich ist der Landschaftsbau auf den Einsatz organischer Stoffe angewiesen.

Für Vegetationsflächen müssen Böden hergestellt, verbessert oder nach Baumaßnahmen regeneriert werden. Landschaftsschäden sind im Zuge von Rekultivierungen vegetationstechnisch auszugleichen.

Bei der Verbesserung von Bodeneigenschaften, oftmals sogar der Schaffung von Vegetationsfähigkeit, werden mit dem Einsatz organischer Stoffe die verschiedensten Ziele verfolgt. Bodenphysikalische Aufgaben und die biologische Aktivierung des Bodens stehen im Vordergrund.

Als Bodenverbesserungsmittel mit hohen Anteilen an organischer Substanz eignet sich Klärschlamm in verschiedenen Aufbereitungsformen für den Einsatz im Landschaftsbau und der Rekultivierung.

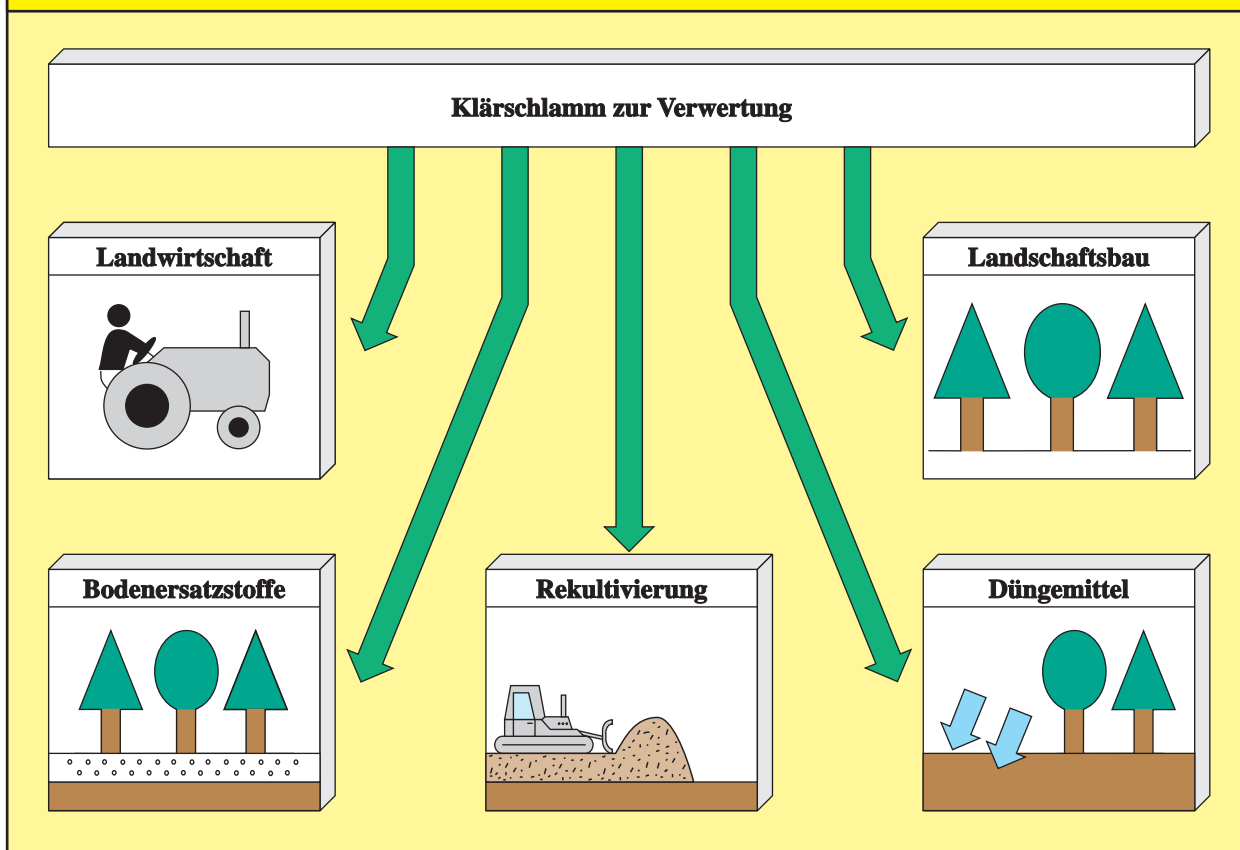
Bei Vorhaben der Rekultivierung kommt i.d.R. entwässerter Klärschlamm in Mischung mit anderen Zuschlagstoffen zum Einsatz. Klärschlammkomposte sind für Zwecke der Bodenverbesserung besonders geeignet, da sie einen wesentlichen Anteil an stabiler organischer Substanz aufweisen.

Bei der Rekultivierung werden in der Regel einmalige hohe Klärschlammgaben mit dem Ziel der nachhaltigen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und der Bodenstruktur aufgebracht. Im Vordergrund stehen Bergbaufolgeflächen, Haldenrekultivierung, Rekultivierung von Deponien, Altlastensanierungen u.a..

Tabelle 4: Wertgebende Inhaltsstoffe von Klärschlamm

Parameter	Einheit	Schlamm flüssig	Schlamm entwässert	Schlamm aufgekalkt
Trockensubstanz	(%)	5	30	38
Stickstoff N	% TS	4,4	2,7	1,6
Phosphat P ₂ O ₅	% TS	5,2	4,7	3,1
Kalium K ₂ O	% TS	0,5	0,2	0,2
Magnesium Mg	% TS	0,7	0,7	0,7
Kalk CaO	% TS	7,7	16	38
organ. Substanz	% TS	50	50	25

Abb. 10: Möglichkeiten der Verwertung von Klärschlamm



4.3 Veredelungsprodukte

Neben der direkten Verwertung in der Landwirtschaft können durch Weiterbehandlung und Zusatz von Mischkomponenten verschiedene Veredelungsprodukte für spezifische Anwendungszwecke hergestellt werden. Hierzu gehören u.a.:

- organisch-mineralische Mischdünger (Sekundärrohstoffdünger),
- kulturfähige Böden.

Die Möglichkeiten der stofflichen Verwertung von Klärschlamm können durch die Herstellung von Veredelungsprodukten z.T. erheblich erweitert werden.

Die Herstellung organisch-mineralischer Mischdünger richtet sich nach § 1, Abs. 3 der Düngemittelverordnung. Die Düngemittelverordnung bestimmt, welchen Anforderungen organisch-mineralischer Mischdünger aus Klärschlamm genügen muß. Das Inverkehrbringen organisch-mineralischer Mischdünger unterliegt dem Düngemittelrecht. Die Klärschlammverordnung ist nur für den eingesetzten Klärschlamm maßgeblich. Der Sicherheitsstandard (Schadstoffgrenzwerte) ist bei der Zulassung des Düngemitteltyps berücksichtigt (Tabelle 5). Organisch-mineralische Mischdünger mit Klärschlamm bestehen i.d.R. aus verschiedenen Mischkomponenten, wie z. B. Rindenumus (als Kohlenstoffträger), mineralischen Düngemitteln (zur Erhöhung der Nährstoffkonzentration), Klärschlamm (organische Substanz und Nährstoffe).

Der Düngewert einer Tonne organisch-mineralischen Mischdüngers liegt zwischen 50 und 100 DM. Der Wert der organischen Substanz ist im Betrag nicht enthalten.

Berücksichtigt werden müssen aber gegenüber Mineraldünger vergleichsweise höhere Kosten für Transport und Ausbringung.

Tabelle 5: Anforderungen der Düngemittelverordnung an organisch-mineralische Mischdünger

Parameter	Anforderung	OMD ¹⁾
organische Substanz OS	mind. 25 %	50 - 70 %
Gesamtphosphat P ₂ O ₅	mind. 1 %	2 - 4 %
wasserlösliches Kaliumoxid K ₂ O	mind. 1 %	1 - 2 %
Gesamtstickstoff N	mind. 1 %	1,9 - 3,5 %
Blei Pb	< 200 mg/kg	
Nickel Ni	< 30 mg/kg	
Cadmium Cd	< 4 mg/kg	
Quecksilber Hg	< 4 mg/kg	
Kupfer Cu	< 200 mg/kg	
Zink Zn	< 750 mg/kg	

¹⁾organisch-mineralischer Mischdünger (häufige Werte)

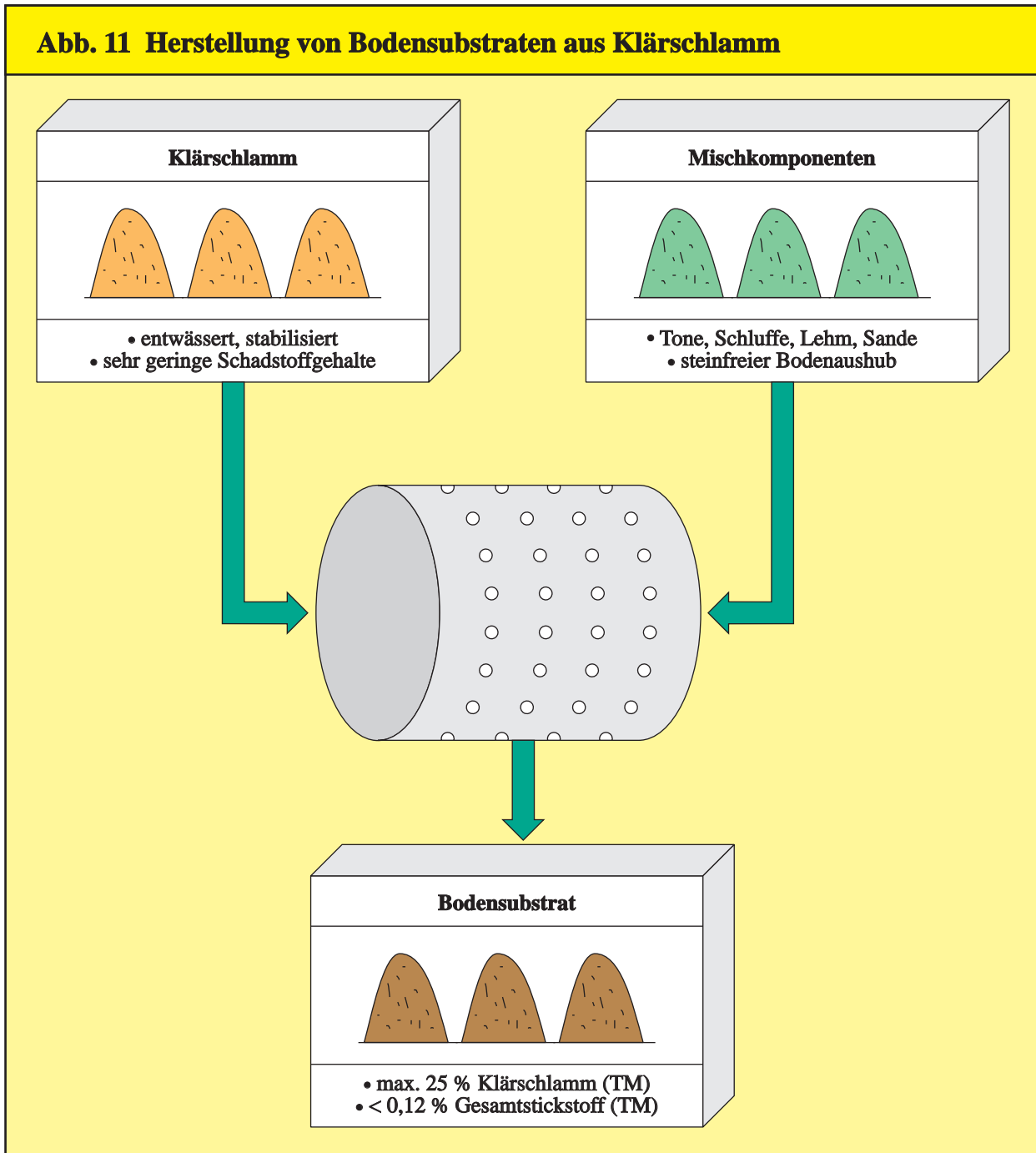
Ein weiteres Produkt, in dem der entwässerte Klärschlamm (21 - 30 % TS) Verwendung findet, ist der sogenannte kulturfähige Boden.

Nach einem bestimmten Verfahren werden Quarzsande, Tone, Schluff und Lehm mit dem Klärschlamm intensiv vermischt. Das Fertigprodukt dient in der Praxis als Oberbodenersatz. Es wird in erster Linie im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen eingesetzt.

Die Anforderungen an das Produkt bezüglich geringer Schadstoffgehalte sind sehr hoch.

Sowohl der zu verwendende Klärschlamm als auch das fertige Bodensubstrat sollen bestimmte Konzentrationen an Schwermetallen, die wesentlich unter den Grenzwerten der Klärschlammverordnung liegen, nicht überschreiten. Darüber hinaus soll der Gesamtstickstoffgehalt im Substrat nicht höher liegen als 0,12 % TM.

Abb. 11 Herstellung von Bodensubstraten aus Klärschlamm



5. Verbrennung von Klärschlamm

Anlagen zur Klärschlammverbrennung müssen den Anforderungen der Verordnung über Anlagen zum Verbrennen von Abfall und ähnlichen Stoffen nach § 7 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) genügen^[12]. Dies gilt ebenso für die anteilige Mitverbrennung von Klärschlamm in Feuerungsanlagen.

Bei der thermischen Behandlung von Klärschlamm gibt es technisch verschiedene Möglichkeiten:

- Verbrennung in Klärschlammverbrennungsanlagen (Wirbelschichtofen, Etagenofen, Etagenwirbelofen),
- Gemeinsame Verbrennung von Müll und Klärschlamm (mit integrierter oder separater Vortrocknung des Schlammes),
- Verbrennung in Industrieanlagen (Steinkohlekraftwerke, Braunkohlekraftwerke, Zementdrehrohren),
- Versuchsverfahren (Schwelbrennverfahren, Niedertemperaturkonvertierung, Pyrolyse-Verfahren).

Wenn Klärschlamm verbrannt wird und der Verbrennungsvorgang ohne Stützfeuerung ablaufen soll, darf der Wassergehalt höchstens 50 % betragen. Auf > 90 % TM getrockneter Klärschlamm hat einen ähnlichen Energiegehalt wie Braunkohle (9 - 13 MJ/kg)^[11].

Bei rund 40 % Glühverlust (organische Substanz) in der Trockenmasse des Klärschlammes verbleiben bei der Verbrennung von 1 t entwässertem Schlamm (mit 30 % TS) rund 120 kg Asche.

5.1 Verbrennung in Klärschlammverbrennungsanlagen

Nach über 20jähriger Erfahrung kann davon ausgegangen werden, daß mit den angebotenen Anlagen umweltfreundliche und betriebssichere Entsorgungstechniken zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, daß organische Inhaltsstoffe auf dem Weg der Verbrennung so gut wie vollständig in Kohlendioxid umgesetzt, die Emissionsgrenzwerte der 17. Bundesimmissionsschutzverordnung eingehalten und verbleibende mineralische Bestandteile des Klärschlammes nach den Vorgaben der TA Siedlungsabfall abgelagert werden können.

5.2 Verbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen

Die gemeinsame Verbrennung von Müll und Klärschlamm ist aufgrund der Inhomogenität des Müll-Klärschlammgemisches schwieriger als die Verbrennung in anderen Anlagen. Verbrannt wird i.d.R. entwässertes oder getrockneter Klärschlamm.

Wird eine in Betrieb befindliche Hausmüllverbrennungsanlage (MVA) für die Verbrennung von Klärschlamm nachgerüstet, so ist diese Maßnahme im allgemeinen eine wesentliche Änderung der Anlage und bedarf der Zulassung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz. Die nachträgliche Zulassung entfällt, wenn der Genehmigungsbefehl Klärschlamm als zulässige Abfallart enthält.

5.3 Verbrennung in Industrieanlagen

Die Mitbehandlung von Klärschlamm in industriellen Feuerungsanlagen bedarf grundsätzlich der Genehmigung nach § 7 BImSchG.

Bei den industriellen Feuerungsanlagen sind v.a. die Kohlekraftwerke für die Mitverbrennung von Klärschlamm geeignet.

Die Verbrennung von Klärschlamm in Steinkohlekraftwerken mit Schmelzfeuerung hat den Vorteil, daß statt Asche ein gesintertes Granulat erzeugt wird, in welches Schwermetalle eingebunden werden. Das so gewonnene Granulat kann leicht deponiert oder verwertet werden. Die zulässigen Schwermetallemissionen der 17. BImSchV werden bezogen auf das gesamte Gasvolumen eingehalten. Voraussetzung für dieses Verfahren ist eine Klärschlamm-trocknung auf ca. 90 % TM.

Die gemeinsame Verbrennung von Braunkohle und Klärschlamm ist technisch möglich und erprobt. Da Braunkohle aufgrund ihres Wassergehaltes von 55 - 60 % vor der Verfeuerung getrocknet werden muß, ist die Verwertung von mechanisch entwässertem Klärschlamm möglich. Er wird gemeinsam mit der Rohkohle getrocknet und vermahlen. Im Gegensatz zu Steinkohlekraftwerken ist die Menge an Klärschlamm, die mitverbrannt werden kann, auf deutlich unter 10 % begrenzt^[12].

Auch in Zementdrehöfen ist die Mitverbrennung von Klärschlamm technisch grundsätzlich möglich und erprobt. Klärschlamm kann in Mengen bis ca. 5 % der Klinkerproduktion zugegeben werden. Zum Einsatz kommt getrockneter Schlamm mit möglichst hohem TS-Gehalt.

5.4 Neue Verfahren der thermischen Behandlung

Weitere Entwicklungen thermischer Behandlungsverfahren sind das Schwelbrennverfahren, die Niedertemperatur-Konvertierung, das Cormin-Verfahren sowie die Pyrolysetechnik. Diese Verfahren sind teilweise noch in der Pilotphase.

6. Ablagerung von Klärschlamm

Zur Zeit werden ca. $\frac{2}{3}$ der Klärschlämme mit oder ohne vorhergehender Verbrennung in Mischdeponien, Monodeponien und im Ausnahmefall auch in Sonderabfalldeponien abgelagert.

Eine Entsorgungssicherheit für den Kläranlagenbetreiber ist nur dann in ausreichendem Maße vorhanden, wenn jederzeit entsprechend dem Schlammanfall ausreichend Deponievolumen verfügbar ist.

Bei Planungszeiträumen von 8 - 10 Jahren bis zur Inbetriebnahme von neuen Deponien oder Deponieteilen, kann eine Klärschlamm Entsorgung nur dann als gesichert angesehen werden, wenn entsprechende Deponieaufzeiten noch vorhanden sind und wenn die Ablagerung von Klärschlamm noch zulässig ist.

Wenn die Restlaufzeit einer Deponie den Zeitraum von 8 - 10 Jahren unterschreitet, sind sofort Maßnahmen zur Sicherung der Klärschlamm Entsorgung anzustreben^[4].

Gemäß den Anforderungen der 3. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz vom 14.5.1993 (TA Siedlungsabfall) dürfen nach Übergangszeiträumen von längstens 12 Jahren Schlämme nur noch abgelagert werden, wenn die Zuordnungskriterien des Anhanges B der TA Siedlungsabfall eingehalten werden (Anhang 2). Der Anteil an organischer Substanz – gemessen als Glüh-

verlust bzw. TOC – darf bei der Deponieklasse I 5 Gew.% bzw. 3 Gew. % und bei der Deponieklasse II 3 Gew.% bzw. 1 Gew. % nicht überschreiten. Damit ist die Deponierung von Klärschlamm künftig praktisch nur noch nach der thermischen Vorbehandlung möglich.

Als Alternativen zur thermischen Vorbehandlung von der Ablagerung gelten unter Vorbehalt des Nachweises der Eignung:

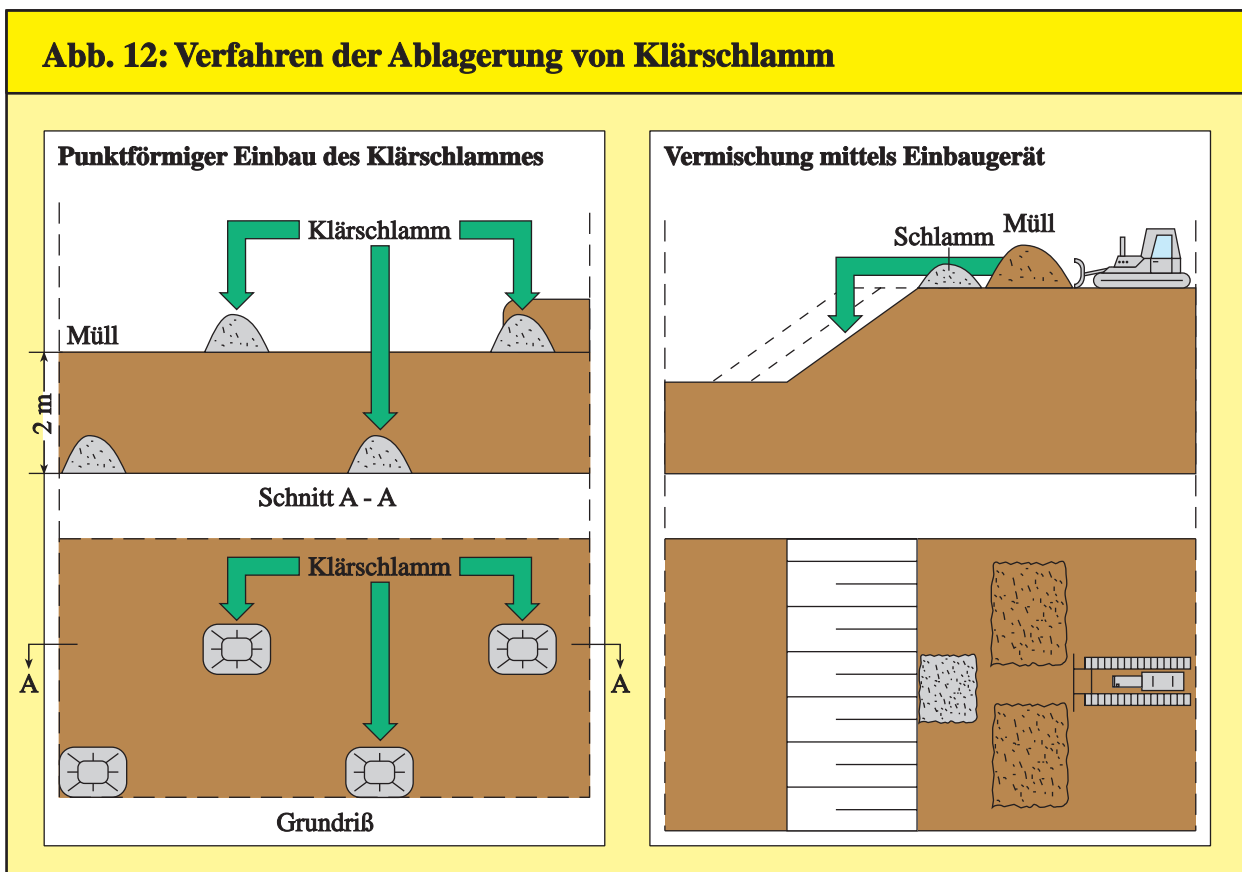
- die biologisch-mechanische Vorbehandlung (i.d.R. gemeinsam mit dem nicht verwertbaren Restmüll),
- die Ablagerung in Monodeponien.

6.1 Mischdeponie

Die Ablagerung von Klärschlamm gemeinsam mit Hausmüll ist das z. Zt. überwiegend praktizierte Verfahren. Bei der Technik der Ablagerung ist sowohl der punktförmige Einbau in Deponien, als auch der Einbau von Müll-Klärschlammgemischen üblich (Abb. 12).

Technische Regelwerke enthalten Anforderungen hinsichtlich der Beschaffenheit der Schlämme sowie der Technik ihres Einbaus in Deponien^[5].

Abb. 12: Verfahren der Ablagerung von Klärschlamm



Die derzeit gültigen Anforderungen an zu deponierende Klärschlämme werden im Merkblatt der LAGA „Die geordnete Ablagerung von Abfällen, Stand 1. September 1979“ beschrieben^[6]. Das Merkblatt nennt folgende Anforderungen an die Beschaffenheit zu deponierender Schlämme:

„Für die Ablagerungen kommen in erster Linie ausgefalte und aerob stabilisierte Schlämme in Betracht; Rohschlämme können dann abgelagert werden, wenn geeignete Maßnahmen zur Geruchsbindung z. B. bei deren Entwässerung getroffen werden. Eine vorherige Schlammygienisierung ist in der Regel nicht erforderlich. Schlämme mit Wassergehalten bis zu 65 % sind nach derzeitigem Kenntnisstand uneingeschränkt ablagefähig. Der Zeitpunkt der Schlammanlieferung ist in Abhängigkeit von Art und Menge der Schlämme im Einvernehmen mit dem für die Deponie Verantwortlichen festzulegen und mit der Anlieferung von festen Abfällen zu koordinieren.“

Die auf dem Wassergehalt des Schlammes basierende Anforderung an die Standfestigkeit der Klärschlämme hat sich in zunehmendem Maße als ungenügend herausgestellt. Daher wurde in der Vergangenheit verstärkt an der Festlegung neuer Deponiekriterien gearbeitet^[7]. Inzwischen ist die Flügelscherfestigkeit als Kriterium für die Ablagerung anerkannt. Zum Erreichen einer ausreichenden Flügelscherfestigkeit ist ggf. eine Nachbehandlung von Klärschlamm erforderlich.

6.2 Monodeponie

Die Ablagerung von Klärschlamm in Monodeponien kann sowohl in flüssiger als auch in verfestigter Form erfolgen. Die Ablagerung in flüssigem, ausgefaltetem Zustand ist eine kostengünstige und technisch zumeist einfache Lösung für seine abschließende Entsorgung. Die Errichtung von Haldendeponien für entwässerten Klärschlamm ist aus Gründen der Standsicherheit allerdings problematisch.

Es besteht jedoch ein Defizit an langzeitlichen Daten für dieses Verfahren. Erste Untersuchungen weisen darauf hin, daß nach ca. 50 Jahren nach Beendigung des Deponierungsvorganges die Konzentrationen der Sickerwasserinhaltsstoffe ein so niedriges Niveau erreicht haben, daß ein Verschuß der Deponie vorgenommen werden kann^[8].

Monodeponien können dann vorteilhaft sein, wenn entsprechende Möglichkeiten vor Ort vorhanden sind. Die Monodeponie kann insbesondere auch dann von Interesse sein, wenn qualitativ hochwertiger Schlamm für eine spätere Verwertung ohne Risiken für die Umwelt aufbewahrt werden soll. In diesen Zusammenhang sind auch verschiedene Vererdungsverfahren zu nennen.

7. Kosten der Klärschlamm Entsorgung

Die Kosten der Klärschlamm Entsorgung werden von einer Vielzahl zu berücksichtigender Parameter beeinflusst und bestimmt.

Je nach gewähltem Entsorgungsverfahren fällt Klärschlamm in einer bestimmten Qualität und Menge an, der zu einem bestimmten Preis entsorgt werden muß.

Setzt man voraus, daß Klärschlamm entsprechend dem Stand der Technik in entwässerter Form mit > 30% Trockensubstanz verwertet oder weiterbehandelt und abgelagert werden soll, ergeben sich je nach Entsorgungsweg verschiedene Kosten:

- Die Entwässerung von Klärschlamm auf TS-Gehalte um 35 % kostet 15 - 30 DM/t Naßschlamm.
- Die landwirtschaftliche Verwertung von entwässertem Klärschlamm beläuft sich auf 120 - 150 DM/t bzw., 360 - 450 DM/t Trockenmasse.
- bei der Trocknung von 30 % TS auf 95 % TS werden Kosten zwischen 600 - 1.200 DM/t Trockenmasse angegeben. Bei der weitergehenden Entsorgung des Trockengutes sind die Kosten der Verwertung (z. B. landwirtschaftliche Verwertung) oder der Beseitigung (Verbrennung und/oder Ablagerung) zu kalkulieren.
- Die thermische Behandlung von Klärschlamm verursacht in Abhängigkeit vom Trocknungsgrad und der Anlagentechnik Kosten in Höhe von 300 bis 600 DM/t.
- Die Kosten der Ablagerung (Deponierung) sind sehr unterschiedlich. Ausgehend von bekannten Annahmepreisen kann von Kosten in der Größenordnung von 100 - 500 DM/t entwässerter Klärschlamm ausgegangen werden.
- Die Kompostierung von entwässertem Klärschlamm beansprucht rund 150 - 300 DM/t.

8. Perspektiven der Klärschlammentsorgung

Die zukünftige Entsorgung von Klärschlamm wird geprägt sein durch die Anforderungen der TA Siedlungsabfall.

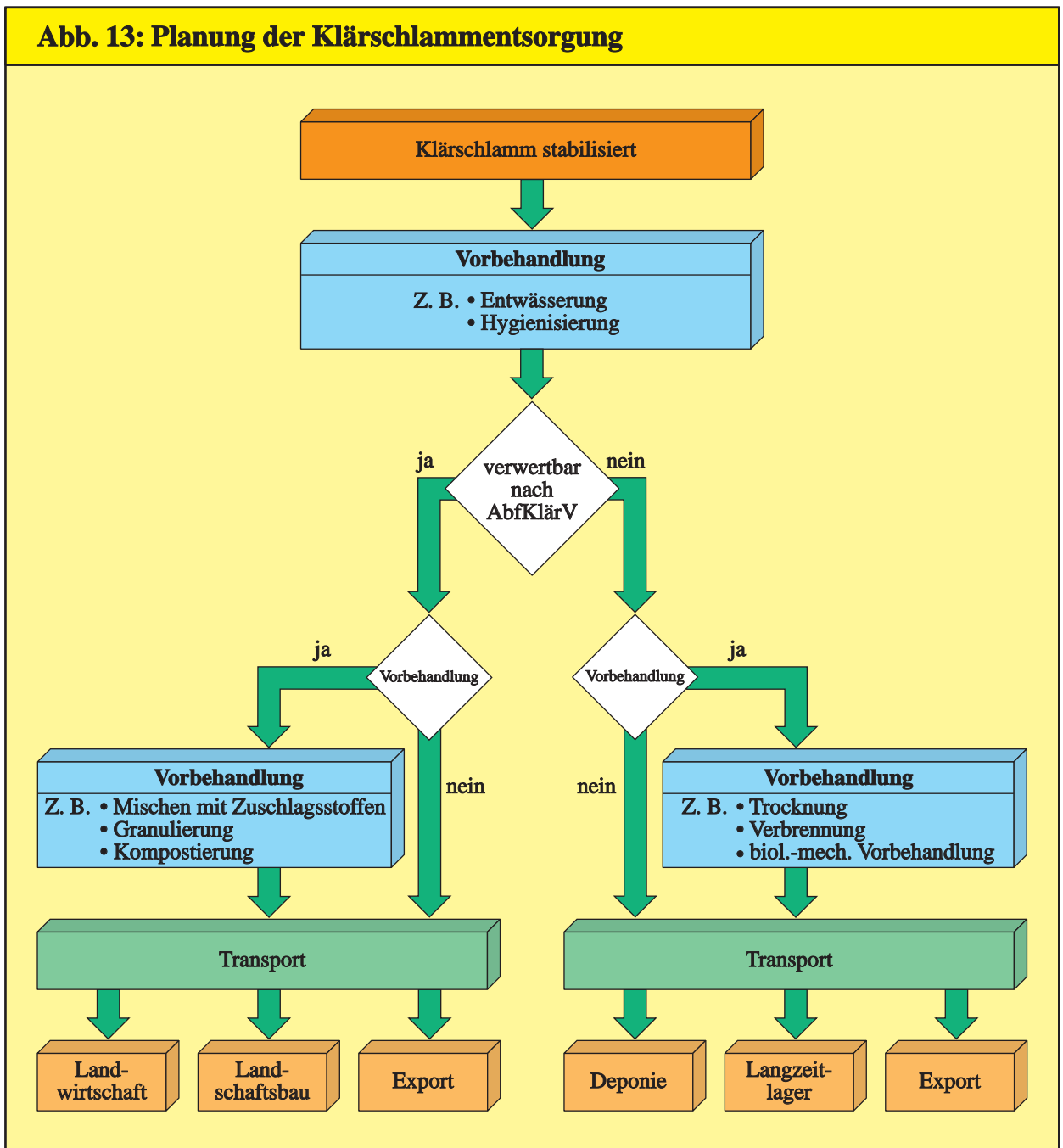
Die TA Siedlungsabfall enthält sowohl Zuordnungskriterien für die stoffliche Verwertung, als auch Zuordnungskriterien für die Ablagerung.

Entsprechend der gesetzlichen Hierarchie der Entsorgung hat die stoffliche Verwertung Vorrang vor der Ablagerung.

Qualitativ geeignete Klärschlämme sollen der landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt, oder im Bereich des Landschaftsbaus eingesetzt werden. Für die Verwertung ungeeignete Schlämme sind nach Maßgabe der TA Siedlungsabfall abzulagern.

Die Ablagerung von Klärschlamm setzt ihre thermische Behandlung voraus und diese wiederum i.d.R. die Trocknung der Schlämme vor der Verbrennung.

Abb. 13: Planung der Klärschlammentsorgung



Die entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften sind gehalten, für die Klärschlamm Entsorgung langfristige Konzepte zu erstellen und umzusetzen.

Die Notwendigkeit zur Aufstellung von Entsorgungskonzepten ergibt sich nicht nur aus rechtlichen Geboten, sie ist auch durch begrenzte Laufzeiten und Entsorgungskapazitäten einerseits sowie lange Planungs- und Realisierungszeiträume andererseits dringend erforderlich. In einigen Bundesländern sind Anweisungen an die Verwaltungen und Betreiber ergangen, fehlende Konzepte zu erarbeiten.

Bei der Aufstellung von Entsorgungskonzepten handelt es sich um eine Ingenieuraufgabe, die von den Aufsichtsbehörden, aber auch von den Kläranlagenbetreibern häufig nicht in Eigenleistung erbracht werden können.

Entsorgungskonzepte sollten ausgehend von einer Bestandsaufnahme der aktuellen Entsorgungsmöglichkeiten und der Prognose für das zukünftige Klärschlamm aufkommen die Realisierungsmöglichkeiten sämtlicher

Entsorgungspfade in der Reihenfolge ihrer Priorität gemäß Abfallgesetz beinhalten (Abb. 13).

Dabei sollten für jeden Entsorgungspfad zunächst eine Machbarkeitsstudie, d.h. eine Quantifizierung der absetzbaren Klärschlammengen in diesem Pfad und bei positiver Aussage ein Umsetzungsvorschlag erarbeitet werden. Wenn diese Zahlen vorliegen, kann über die endgültige Festlegung des Entsorgungsweges unter den Aspekten Entsorgungssicherheit, Umweltauswirkungen und Kosten entschieden werden.

Zielsetzung jedes Konzeptes sollte es sein, die anfallenden Klärschlämme im eigenen Einzugsbereich vorzubehandeln, zu verwerten oder zu entsorgen.

Der Export in andere Entsorgungsräume, sei es in benachbarte Landkreise, andere Bundesländer oder ins Ausland, muß kritisch geprüft werden, um zu vermeiden, daß Probleme nur räumlich verlagert und die Entsorgungspflichtigen später zur Rechenschaft gezogen werden.

Literatur und Quellen

- [1] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Allgemeinen Rahmenverwaltungsverfahren über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer vom 27.08.1991, in BGBl 1991, Nr. 26, S. 686
- [2] Möller, U.: Schlammensorgung im Lichte neuer Forderungen, in KA 36/89, S. 482 - 491
- [3] Möller, U.: Klärschlamm-trocknung als Aufbereitungsmaßnahme für eine Entsorgung bzw. Verwertung von Klärschlamm, in: Abwassertechnik 1/91
- [4] Friesecke, G.: Zukünftige Voraussetzungen für die Klärschlammensorgung auf Deponien, Vortrag ATV-Seminar „Klärschlammensorgung“, Esslingen 1991.
- [5] Abwassertechnische Vereinigung (ATV): Klärschlamm-einbau in Deponien, ATV-Arbeitsblatt 301
- [6] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Die geordnete Ablagerung von Abfällen (Deponie Merkblatt, Stand 1. September 1979), Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung, Hrsg.: Kumpf, W.; Maaß, K.; Straub, H.: Schmidt-Verlag, Bielefeld
- [7] Möller, U. e. a.: Neudefinition der Deponierfähigkeit von Abwasserschlamm, Korrespondenz Abwasser, 11/84, S. 928 - 933
- [8] Bever, G.: Klärschlamm Monodeponie, Sonderdruck der Universität der Bundeswehr München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwesen
- [9] Abwassertechnische Vereinigung (ATV): Presseinformation Nr. 22/1994 vom 19.9.1994. Basierend auf den Erhebungen des statistischen Bundesamtes von 1991.
- [10] Roßwurm, R.: Trocknung von Klärschlamm zweckmäßig? Korrespondenz Abwasser, 8/94, S. 1356-1358.
- [11] Kassner, W.; Kurrle, J.: Qualitätskriterien für getrockneten Klärschlamm. Korrespondenz Abwasser, 4/93, S. 474 - 480.
- [12] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Alternativen der Klärschlammensorgung, Bericht Nr. 17 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall zur 34. Umweltministerkonferenz, 1991, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- [13] Statistisches Bundesamt: Stand der öffentlichen Abwasserbeseitigung 1991. Vorläufige Ergebnisse des statistischen Bundesamtes. In: Korrespondenz Abwasser, 8/94, S. 1375-1376.
- [14] Bundesumweltministerium: Bericht gemäß Artikel 17 der EG-Richtlinie 26/278/EWG über die Klärschlammverwertung in der Bundesrepublik Deutschland. Berichtszeitraum 1986-1990.
- [15] Thormann, A.: Klärschlammmenge und Beseitigung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Korrespondenz Abwasser, 7/77, S. 212 ff.
- [16] Wuttke, J.: Prognose der Hausmüllverwertung in Deutschland. In: Mengenstrukturen beim Sonderabfallaufkommen, ENTSORGA Congress von 27.10.1994 in Köln, KölnMesse.
- [17] Landesamt für Wasser und Abfall (LWA-NW): Fachtechnische Anforderungen an die Herstellung von kulturfähigem Boden unter Verwendung kommunaler Klärschlämme. Jahresbericht des LWA 1991.
- [18] Bundesregierung: Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall), Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, vom 14. Mai 1993. Bundesanzeiger vom 29.5.1993, Nr. 99a.
- [19] Keding, M. Dr.: Maßnahmen zur Entwicklung und Sicherung der landbaulichen Klärschlammverwertung. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Nr. 21, Hrsg: Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Universität Bochum. 1990.
- [20] TA Siedlungsabfall. Kommentar unter Berücksichtigung der aktuellen Gesetzeslage. 294 Seiten, Verlag Friedhelm Merz, Bonn.
- [21] Bundesregierung: Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15.4.1992, BGBl. Teil I Nr. 21, S. 912-934.
- [22] Bundesregierung: Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) in der Fassung und Bekanntmachung vom 10.3.1983, BGBl. Teil I, S. 256 ff.
- [23] Rat der Europäischen Gemeinschaft: Verordnung (EWG) Nr. 259/93 des Rates vom 1.2.1993 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der Europäischen Gemeinschaft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 30/1 vom 6.2.1993.
- [24] Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft (BDE): Kreislaufwirtschaft in der Praxis Nr. 2, Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung, 2. Auflage, 1995.

Anhang I

Liste der EU Mitgliedstaaten

Belgien
Dänemark
Deutschland
Finnland
Frankreich
Griechenland
Großbritannien
Irland
Italien
Luxemburg
Niederlande
Österreich
Portugal
Schweden
Spanien

Liste der EFTA-Staaten

Island
Norwegen
Schweiz

Staaten für die der OECD-Beschluß gilt

Australien
Belgien
Dänemark
Deutschland
Finnland
Frankreich
Griechenland
Großbritannien
Irland
Island
Italien
Japan
Kanada
Luxemburg
Neuseeland
Niederlande
Norwegen
Österreich
Portugal
Schweden
Schweiz
Spanien
Türkei
USA

Anhang II

Nr.	Parameter	Zuordnungswerte Deponieklasse I	Zuordnungswerte Deponieklasse II
1.	Festigkeit¹⁾		
1.01	Flügelscherfestigkeit	≥ 25 kN/m ²	≥ 25 kN/m ²
1.02	Axiale Verformung	≤ 20 %	≤ 20 %
1.03	Einaxiale Druckfestigkeit	≥ 50 kN/m ²	≥ 50 kN/m ²
2.	Organischer Anteil des Trockenrückstandes des Orgiginalsubstanz²⁾		
2.01	bestimmt als Glühverlust	≤ 3 Masse-%	≤ 5 Masse-% ³⁾
2.02	bestimmt als TOC	≤ 1 Masse-%	≤ 3 Masse-% ³⁾
3.	Extrahierbare lipophile Stoffe		
	der Originalsubstanz	≤ 0,4 Masse-%	≤ 0,8 Masse-% ³⁾
4.	Eluatkriterien		
4.01	ph-Wert	5,5 - 13,0	5,5 - 13,0
4.02	Leitfähigkeit	≤ 10000 µS/cm	≤ 50000 µS/cm
4.03	TOC	≤ 20 mg/l	≤ 100 mg/l
4.04	Phenole	≤ 0,2 mg/l	≤ 50 mg/l
4.05	Arsen	≤ 0,2 mg/l	≤ 0,5 mg/l
4.06	Blei	≤ 0,2 mg/l	≤ 1 mg/l
4.07	Cadmium	≤ 0,05 mg/l	≤ 0,1 mg/l
4.08	Chrom-VI	≤ 0,05 mg/l	≤ 0,1 mg/l
4.09	Kupfer	≤ 1 mg/l	≤ 5 mg/l
4.10	Nickel	≤ 0,2 mg/l	≤ 1 mg/l
4.11	Quecksilber	≤ 0,005 mg/l	≤ 0,02 mg/l
4.12	Zink	≤ 2mg/l	≤ 5 mg/l
4.13	Fluorid	≤ 5 mg/l	≤ 25 mg/l
4.14	Ammonium-N	≤ 4 mg/l	≤ 200 mg/l
4.15	Cyanide, leicht freisetzbar	≤ 0,1 mg/l	≤ 0,5 mg/l
4.16	AOX	≤ 0,3 mg/l	≤ 1,5 mg/l
4.17	Wasserlöslicher Anteil Abdampfrückstand	≤ 3 Masse-%	≤ 6 Masse-% ³⁾

¹⁾ 1.02 kann gemeinsam mit 1.03 gleichwertig zu 1.01 angewandt werden. Die Festigkeit ist entsprechend den statischen Erfordernissen für die Deponiestabilität jeweils gesondert festzulegen. 1.02 in Verbindung mit 1.03 darf dabei insbesondere bei kohäsiven, feinkörnigen Abfällen nicht unterschritten werden.

²⁾ 2.01 kann gleichwertig zu 2.02 angewandt werden; Anforderung gilt nicht für verunreinigten Bodenhaushub, der auf einer Monodeponie abgelagert wird.

³⁾ Gilt nicht für Aschen und Stäube aus nichtgenehmigungsbedürftigen Kohlefeuerungsanlagen nach dem BImSchG.