

Freie wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung  
des Grades eines Diplom-Kaufmannes  
an der

**Technischen Universität Berlin**  
Fachbereich Wirtschaft und Management  
Institut für Betriebswirtschaftslehre  
Fachgebiet Investition und Finanzierung  
Prof. Dr. K. Serfling

# **KOSTENSTRUKTUR DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN KLÄR- SCHLAMMVERWERTUNG AM BEISPIEL BRANDENBURG**

eingereicht von

Sebastian Laiblin  
Hakenfelder Straße 14, 13587 Berlin  
+49 - 030 - 336 44 14  
Sebastian@Laiblin.de  
<http://www.laiblin.de/diplomarbeit>

Berlin, den 1. April 1999



---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1.	Ziel der Arbeit .....	1
1.2.	Vorgehensweise .....	1
1.3.	Begriffsdefinitionen.....	2
1.4.	Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland .....	4
1.5.	Klärschlamm Entsorgung im Land Brandenburg .....	5
<b>2.</b>	<b>Gesetzliche Rahmenbedingungen .....</b>	<b>9</b>
2.1.	Bundesrecht .....	9
2.1.1.	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz .....	9
2.1.2.	Bundes-Bodenschutzgesetz .....	10
2.1.3.	Düngemittelgesetz und Düngeverordnung.....	10
2.1.4.	Klärschlammverordnung .....	11
2.1.5.	Klärschlamm-Entschädigungsfondsverordnung .....	13
2.1.6.	Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen .....	14
2.2.	Landesrecht .....	15
2.2.1.	Brandenburgisches Abfallgesetz.....	16
2.2.2.	Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raum- ordnung für das Land Brandenburg zum Vollzug der Klärschlammverordnung .....	16
2.2.3.	Abfallwirtschaftsprogramm des Landes Brandenburg .....	17
<b>3.</b>	<b>Behandlung und Entsorgung kommunaler Klärschlämme .....</b>	<b>19</b>
3.1.	Klärschlammbehandlung .....	20
3.1.1.	Stabilisierung.....	20
3.1.2.	Entseuchung.....	21

---

3.1.3. Konditionierung.....	22
3.1.4. Eindickung .....	22
3.1.5. Entwässerung .....	23
3.1.6. Trocknung.....	25
3.2. Klärschlamm Entsorgungsverfahren.....	26
3.2.1. Landwirtschaftliche Verwertung.....	26
3.2.2. Kompostierung.....	27
3.2.3. Landschaftsbauliche Verwertung.....	28
3.2.4. Verbrennung.....	29
3.2.5. Deponierung.....	29
3.2.6. Andere Entsorgungswege .....	29
<b>4. Kosten der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung.....</b>	<b>32</b>
4.1. Kosten der Schlammbehandlung .....	32
4.1.1. Stabilisierungskosten .....	32
4.1.2. Entseuchungskosten .....	35
4.1.3. Konditionierungskosten .....	36
4.1.4. Eindickungskosten.....	36
4.1.5. Entwässerungskosten.....	37
4.1.6. Trocknungskosten .....	39
4.2. Lagerkosten.....	42
4.3. Transportkosten.....	43
4.4. Analysekosten .....	44
4.5. Ausbringungskosten .....	47
4.6. Zahlungen an die Landwirte.....	47
4.7. Düngewert des Klärschlammes .....	49
4.8. Kosten für den Entschädigungsfonds .....	50

---

4.9.	Abgabe an ein Entsorgungsunternehmen .....	50
4.10.	Gesamtkostenbetrachtung .....	51
4.11.	Kostenvergleich an Szenarien.....	59
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>62</b>
<b>6.</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>63</b>
<b>7.</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>64</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>66</b>

---

**Bildverzeichnis**

Bild 1	Dominante Prozeßketten der Schlammbehandlung und -beseitigung unter Berücksichtigung der TASI.....	19
Bild 2	Feststoffgehalte in Abhängigkeit vom Entwässerungsverfahren.....	24
Bild 3	Das Schlamm-Hof-Konzept, Geld- und Stoffströme (vereinfacht).....	30
Bild 4	Kosten der Klärschlammmentwässerung in Abhängigkeit vom erreichten Feststoffgehalt.....	38
Bild 5	Jahreszeitliche Schwankungen von Klärschlammangebot und -nachfrage.....	43
Bild 6	Kostenaufteilung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung.....	54

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1	Klärschlamm und Düngemittelausbringung.....	4
Tabelle 2	Klärschlammverbleib aus öffentlicher Abwasserbeseitigung in Deutschland 1995.....	5
Tabelle 3	Klärschlammverbleib aus öffentlicher Abwasserbeseitigung in Brandenburg 1995 - 1997, absolut und prozentual an der Jahresgesamtmenge.....	6
Tabelle 4	Herkunft der in Brandenburg aufgebrauchten Klärschlämme.....	7
Tabelle 5	Herkunft der in Brandenburg in den Jahren 1994 - 1997 ausgebrachten Klärschlammengen in t TS.....	8
Tabelle 6	Bodengrenzwerte für die Klärschlammaufbringung.....	12
Tabelle 7	Schlammgrenzwerte für die Klärschlammaufbringung.....	13
Tabelle 8	Klärschlammbeschaffenheit in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt.....	24
Tabelle 9	Spezifische Kosten der Schlammstabilisierung.....	33
Tabelle 10	spezifische Schlammfaulungskosten und Faulgaserträge bei verschiedenen Ausbaugrößen.....	35
Tabelle 11	Beispielrechnung zu spezifischen Trocknung.....	40
Tabelle 12	Trocknungskosten in Abhängigkeit vom Eingangstrockensubstanzgehalt und der Jahresbetriebszeit.....	40
Tabelle 13	Spezifischer Energiebedarf der thermischen Klärschlamm-trocknung.....	41
Tabelle 14	Preise der unterschiedlichen Boden- und Schlammanalysen bei verschiede- nen Untersuchungsinstituten.....	45
Tabelle 15	Beispielberechnung der Schlammanalysekosten.....	45
Tabelle 16	Wiederholungszeiträume und spezifische Kosten der Bodenuntersuchungen, in Abhängigkeit von der Vertragslaufzeit.....	46
Tabelle 17	Mögliche Kosteneinsparung durch Klärschlammeinsatz.....	49
Tabelle 18	Kostenaufstellung für landwirtschaftliche Verwertung in Abhängigkeit von der Entfernung, nach Angaben der ATV.....	52
Tabelle 19	Leistungs- und Kostenaufgliederung der landwirtschaftlichen Klärschlamm- mentsorgung.....	55
Tabelle 20	Übersicht der Schlammbehandlungskosten.....	58
Tabelle 21	Übersicht der Kosten der landwirtschaftlichen Entsorgung.....	59
Tabelle 22	Kostenvergleich der unterschiedlichen Szenarien.....	61

---

**Abkürzungsverzeichnis**

AbfKlärV	Abfall- und Klärschlammverordnung
ATV	Abwassertechnische Vereinigung, Hennef
BbgAbfG	Brandenburgisches Abfallgesetz
BbodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BDE	Bund der deutschen Entsorgungswirtschaft, Köln
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BUFZ	Brandenburgisches Umweltforschungszentrum, Alt Ruppin
DüngeMG	Düngemittelgesetz
DüngeV	Düngeverordnung
EW	Einwohnerwerte
KlärEV	Klärschlamm-Entschädigungsfondsverordnung
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LELF	Landesamt für Ernährung und Landwirtschaft Frankfurt (Oder)
LUA	Landesumweltamt Brandenburg
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MUNR	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung Brandenburg
PAK	Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
TASi	Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen
TR	Trockenrückstand
TS	Trockensubstanz

## **1. Einleitung**

Bei der Abwasserbehandlung in einer Kläranlage fallen Rechengut, Sandfanggut und Klärschlamm an. Diese Reststoffe sind nach § 5 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes schadlos zu entsorgen. Während Rechengut und Sandfanggut überwiegend deponiert oder zusammen mit Hausmüll verbrannt werden, kann Klärschlamm in der Landwirtschaft oder in der Rekultivierung, Verbrennung in Klärschlammverbrennungsanlagen, Kohlekraftwerken oder in Anlagen der Zement- oder Asphaltindustrie entsorgt werden.

Die genannten Entsorgungsmöglichkeiten unterscheiden sich vor allem hinsichtlich des technischen Aufwands und der Energiebilanz, was sich in den Kosten für die Entsorgungswege widerspiegelt. Außerdem müssen die gesetzlichen Bestimmungen beachtet werden, die die Entsorgung regeln und beschränken. So ist zum Beispiel nach der Technischen Anleitung Siedlungsabfall die Deponierung unbehandelter Klärschlämme ab dem Jahr 2005 nicht mehr zulässig. Nicht zuletzt stehen die Umweltauswirkungen der verschiedenen Verfahren auch im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Der Entsorgungspflichtige wird daher bei seiner Entscheidungsfindung auch Entwicklungen und Tendenzen in Politik und Gesellschaft beachten. Unter Berücksichtigung aller Vorgaben wird der Entscheidungsträger jedoch immer bestrebt sein, die Entsorgungskosten möglichst gering zu halten. Der Einsatz von Klärschlämmen in der Landwirtschaft gilt als kostengünstige Alternative, gleichwohl in der Literatur die Angaben über die genaue Höhe der Kosten stark schwanken.

### **1.1. Ziel der Arbeit**

In der vorliegenden Arbeit sollen die Kosten der landwirtschaftlichen Klärschlamm Entsorgung hinsichtlich ihrer Kostenstruktur untersucht werden. Die Kosten werden dabei für mögliche Prozeßstufen ermittelt, Einflußfaktoren festgestellt und gängige Berechnungsmethoden dargestellt.

Die in der Literatur und in Gesprächen mit Experten recherchierten Angaben zur Höhe der Kosten werden wiedergegeben und Entwicklungstendenzen aufgezeigt. Ziel ist es, Kostenintervalle zu bestimmen, die Klärschlammherzeugern als Orientierungs- oder Abschätzungshilfe zur Berechnung der Kosten der landwirtschaftlichen Verwertung dienen können. Die Untersuchung konzentriert sich auf die Situation im Land Brandenburg.

### **1.2. Vorgehensweise**

Im Rahmen dieser Arbeit soll zuerst ein Überblick über die rechtlichen Grundlagen der Klärschlamm Entsorgung in Deutschland und Brandenburg gegeben werden. An die folgende

Darstellung der unterschiedlichen Schlammbehandlungsverfahren schließt sich ein Überblick über die generell zur Verfügung stehenden Entsorgungswege an. Der Hauptteil der Untersuchung, die Betrachtung der Kosten der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, soll in einem getrennten Kapitel durchgeführt werden. Da die möglichen Prozeßschritte der Schlammbehandlung erheblichen Einfluß auf die entstehenden Kosten haben, wird jeder Prozeßschritt einzeln hinsichtlich seiner Kosten und Abhängigkeit von den anderen Schritten betrachtet. Anschließend werden die Kosten der Einzelschritte zusammengestellt und anhand dieser Zusammenstellung eine Kostenabschätzung für verschiedene Verwertungsszenarien berechnet. Eine Zusammenfassung und ein Ausblick auf die weitere Entwicklung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung sollen die Arbeit abschließen.

### 1.3. Begriffsdefinitionen

Gemäß § 2 Abs. 2 Klärschlammverordnung ist **Klärschlamm** der bei der Behandlung von Abwasser in Abwasserbehandlungsanlagen einschließlich zugehöriger Anlagen zur weitergehenden Abwasserreinigung anfallende Schlamm, auch wenn er entwässert, getrocknet oder in sonstiger Form behandelt ist.

In der DIN 4045 wird in Abhängigkeit von der Reinigungsstufe zwischen Primär-, Sekundär- und Tertiärschlamm unterschieden.

**Primärschlamm** wird auch mechanischer Schlamm genannt und wird durch Abwasserbehandlung der mechanischen Behandlungsstufe mit physikalischen Verfahren abgetrennt [35]. Der Schlamm geht leicht in Fäulnis über. Er ist aus seuchenhygienischen Gründen und wegen der zu erwartenden Geruchsbelästigung nicht zur direkten landwirtschaftlichen Verwertung geeignet. Aus diesem Grund besitzt er nur geringe Akzeptanz bei den Landwirten [22].

Der aus dem biologischen Verfahren gebildete Zuwachs an nicht zurückgeführtem, belebtem Schlamm wird **Sekundärschlamm** genannt [35]. Er ist Ergebnis von Stoffwechselprodukten der an der biologischen Reinigung beteiligten Mikroorganismen [29].

**Tertiärschlamm** ist der durch die Elimination von Abwasserinhaltsstoffen in der dritten Abwasserreinigungsstufe anfallende Schlamm. Vor allem entsteht er durch chemische Fällung, Flockung oder nachgeschaltete Abwasserfilterung [35;29].

Als weitere Schlammarten existieren:

**Rohschlamm** ist der Oberbegriff für unbehandelte Schlämme und wird auch Frischschlamm genannt. Primär-, Sekundär- und Tertiärschlamm sind Rohschlämme. [35]

Während des Faulungsprozesses entsteht **Faulschlamm**. Gut ausgefaulter Schlamm ist

schwarz und riecht erdig. Seine Entwässerungseigenschaften sind besser als die des Rohschlammes, da er weniger organische Trockensubstanz enthält. [29] Er könnte direkt in die landwirtschaftliche Verwertung verbracht werden, wird jedoch vor der Abgabe häufig noch weiter behandelt.

Eingedickter oder ausgefauter Schlamm mit Trockensubstanzgehalten bis etwa 20 % wird als **Dünnschlamm** bezeichnet. [29]

**Dickschlamm** ist der in der Entwässerung abgetrennte Rückstand aus heterogenen Schlammgemischen. Sein Trockensubstanzgehalt liegt zwischen 20 % und 40 %. [35;29]

**Schlammbehandlung** ist nach DIN 4045 die Aufbereitung von Schlamm zu dessen Verwertung oder Beseitigung, zum Beispiel durch Eindickung, Stabilisierung, Konditionierung, Entwässerung oder Trocknung [35].

Nach § 3 Abs. 7 KrW-/AbfG umfaßt der Oberbegriff der **Entsorgung** sowohl die Beseitigung als auch die Verwertung des Klärschlammes. Während zum Beispiel die Deponierung einen typischen Beseitigungsweg darstellt, ist der Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft als Verwertung anzusehen. Die Unterscheidung zwischen Beseitigung und Verwertung richtet sich gemäß § 4 Abs. 3 und 4 KrW-/AbfG nach dem Hauptzweck der durchgeführten Maßnahme.

Der Begriff der **landwirtschaftlichen oder landbaulichen Verwertung** von Klärschlamm ist abzugrenzen von der **landschaftsbaulichen** Verwertung. In Analogie zur Klärschlammverordnung ist unter der landwirtschaftlichen oder landbaulichen Verwertung die Aufbringung auf landwirtschaftliche oder gärtnerisch genutzte Böden zu verstehen. Klärschlammwendungen, wie zum Beispiel Rekultivierung oder Dammbau, werden unter dem Begriff **landschaftsbaulich** zusammengefaßt [33].

**Kosten** sind nach WÖHE [32] die bei der Erstellung der betrieblichen Leistung anfallenden, in Geld bewerteten Mengen an verbrauchten Produktionsfaktoren, in Geld bewertete Dienstleistungen Dritter und öffentliche Abgaben. Produktionsfaktoren sind zum Beispiel Betriebsmittel, Material oder menschliche Arbeit. Bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung sind Kosten beispielsweise die Aufwendungen im Zusammenhang mit Behandlung, Lagerung, Transport und Ausbringung des Klärschlammes sowie die Zahlungen an die Landwirte und den Entschädigungsfonds.

**Kostenarten** ist nach DIN 32 990 die Benennung für Kosten mit gleichen Merkmalen.

Üblicherweise werden Kostenarten nach der Art der verzehrten Kosten unterschieden. Typische Kostenarten sind zum Beispiel Personalkosten, Betriebsmittelkosten oder Materialkosten.

Als **Kostengruppe** wird die Zusammenfassung einzelner Kosten bezeichnet, die nach den Kriterien der Planung oder dem Ablauf eines Projektes im Rahmen der Kostenschätzung zusammengehören [45]. In dieser Untersuchung orientiert sich der Begriff der Kostengruppe an der Prozeßkette der Klärschlammbehandlung.

Als **Spezifische Kosten** werden die auf eine Einheit bezogenen Kosten bezeichnet [45]. Im Bereich der Klärschlammbehandlung beziehen sie sich in der Regel auf den Kubikmeter zu entsorgenden Klärschlamm oder auf die Tonne Trockensubstanz.

#### 1.4. Klärschlammbehandlung in der Bundesrepublik Deutschland

1995 fielen in den 10273 öffentlichen Kläranlagen der Bundesrepublik Deutschland ca. 3 Mio. t Trockensubstanz an (Tabelle 2). In die Landwirtschaft wurden die in Tabelle 1 angegebenen Mengen an Klärschlamm, Wirtschaftsdünger und Handelsdüngern verbracht. Wirtschaftsdünger sind in der Tierhaltung und im Pflanzenbau angefallene Stoffe, Handelsdünger hingegen sind industriell hergestellte Dünger [29]. Im Verhältnis zu Wirtschafts- und Handelsdüngern wurden nur geringe Mengen Klärschlamm ausgebracht. Dies liegt daran, daß der Landwirt vorrangig seinen eigenen Wirtschaftsdünger ausbringt und Handelsdünger genau abgestimmt nur zur Ergänzung einsetzt. Desweiteren basieren die geringen Anteile des Handelsdüngers darauf, daß dieser dem Landwirt in konzentrierter Form vorliegt und insofern einen weit höheren Massenanteil an Nährstoffen enthält als Wirtschaftsdünger oder Klärschlamm.

**Tabelle 1** Klärschlamm und Düngemittelausbringung

Jahr	Klärschlamm- ausbringung in Millionen t TS	Düngemittel in Millionen t	davon Wirt- schaftsdünger in Millionen t	davon Handelsdünger in Millionen t
1994	1,0	283,1	278,4	4,7
1995	1,2	281,6	276,9	4,7

**Quelle** Statistische Jahrbücher 1997 und 1998

In Tabelle 2 sind die Entsorgungswege der Gesamtklärschlammmenge 1995 im einzelnen dargestellt.

**Tabelle 2** Klärschlammverbleib aus öffentlicher Abwasserbeseitigung in Deutschland 1995

Abgabe direkt an	Menge in 1000 Tonnen Trockensubstanz	Prozentualer Anteil an der Gesamtmenge
Deponie	472	18 %
Landwirtschaft	851	32 %
sonstiger Landbau	213	8 %
Kompostierung	220	8 %
Verbrennung	271	10 %
Zwischenlagerung	145	5 %
Sonstiges	131	5 %
andere Abwasserbehandlungsanlagen	241	9 %
Gesamt	2941	100 %

**Quelle** Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Umwelt, Reihe 2.1, (1995)

Zwischen den Zahlen der Klärschlammausbringung aus Tabelle 1 und der Summe aus landwirtschaftlicher Verwertung und Kompostierung aus Tabelle 2 besteht eine Differenz von etwa 130.000 t TS. Diese Differenz begründet sich in Erfassungsproblemen (siehe auch Kapitel 1.5) und Mengenverschiebungen über verschiedene Jahre, die durch die Zwischenlagerung verursacht werden.

### 1.5. Klärschlammentsorgung im Land Brandenburg

Der steigende Anschlußgrad an das öffentliche Kanalisationsnetz, der Bau neuer Kläranlagen und die Modernisierung der vorhandenen Altanlagen haben im Bundesland Brandenburg zu steigenden Klärschlammmengen geführt. Die Zahlen für die Jahre 1995 bis 1997 sind in Tabelle 3 aufgeführt. Von 1995 bis 1997 stieg des Klärschlammaufkommen um mehr als 30 %. Bemerkenswert sind die starke Abnahme der Lagerung und die Steigerung der in die Landwirtschaft verbrachten Mengen Schlammes. Ziel der Landesregierung ist es den Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung auf über 50 % am Gesamtschlammaufkommen zu steigern. Diese Ziel wurde 1997 fast erreicht. Auch in Zukunft ist mit einer weiteren Zunahme des Gesamtklärschlammaufkommens in Brandenburg zu rechnen [27]. So geht SELTMANN [27] für das Bundesland Brandenburg von einer Steigerung des Anschlußgrades an das öffentliche Kanalisationsnetz von 1995 mit 60 % auf 80 % im Jahr 2010 aus. Diese Erhöhung würde eine Steigerung des Klärschlammaufkommens von ca. 38.000 t auf ca. 50.000 t bedeuten. Hinzu käme eine Steigerung der Verwertbarkeit in der Landwirtschaft von 50 % auf 80 % der anfallenden Schlämme. [27] In der Summe also mehr als eine Verdoppelung der absolut in der Landwirtschaft verwertbaren Menge innerhalb von 15

Jahren. In diesem Ausmaß ist dies für die alten Bundesländer nicht zu erwarten. Ein Anstieg der grundsätzlich für die Landwirtschaft verwendbaren Schlämme ist allerdings aufgrund der sinkenden Abwasserbelastungen trotzdem anzunehmen. Um diesen steigenden Mengen von Klärschlamm zu begegnen, sind verschiedene Maßnahmen zur Akzeptanzerhöhung und Imageverbesserung des Produktes Klärschlamm nötig.

Die in Tabelle 3 dargestellten Werte sind nur als Anhaltswerte zu begreifen, da nach Aussage des LUA [7] Inkonsistenzen in der Erhebung kaum zu vermeiden sind. Dies liegt daran, daß die Kläranlagenbetreiber lediglich verpflichtet sind die Mengen landwirtschaftlich verwerteten Schlammes bekanntzugeben. Diese Werte werden zentral im Brandenburger Klärschlammkataster erfaßt und später ausgewertet. Die Mengen für die anderen Entsorgungswege werden zwar erfragt, es kann jedoch aufgrund einer fehlenden Mitteilungspflicht keine Überprüfung vorgenommen werden. Auch kann es durch die Möglichkeiten der Lagerung und Kompostierung des Schlammes zu Doppelerhebungen über die Jahre kommen, die wiederum zu verzerrten Erhebungsdaten führen.

**Tabelle 3** Klärschlammverbleib aus öffentlicher Abwasserbeseitigung in Brandenburg 1995 - 1997, absolut und prozentual an der Jahresgesamtmenge

Entsorgungsweg	1995	1996	1997
Landwirtschaft	13884 (35 %)	16594 (40 %)	23283 (45 %)
Deponierung	4638 (12 %)	4978 (12 %)	5390 (10 %)
Lagerung	16235 (40 %)	10371 (25 %)	6931 (13 %)
Landschaftsbau	4499 (11 %)	8297 (20 %)	9090 (17 %)
Sonstiges	987 (3 %)	1245 (3 %)	7504 (14 %)
<b>Gesamtanfall</b>	<b>40243</b>	<b>41485</b>	<b>52198</b>

**Quelle** persönliche Anfrage beim LUA

Ein großer Anteil der in Brandenburg aufgebrauchten Klärschlämme stammt aus anderen Bundesländern. Tabelle 4 zeigt die Herkunft dieser „importierten“ Klärschlämme und die Anteile an der im Land Brandenburg aufgebrauchten Gesamtmenge. Bei der Aufstellung wurden Anteile kleiner 3 % nicht beachtet.

Etwas weniger als die Hälfte des landwirtschaftlich verbrachten Schlammes stammt aus Brandenburg. Ein beinahe ebenso großer Anteil wird aus den relativ weit entfernt liegenden alten Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen importiert. Trotz der hohen Transportkosten scheint die Entsorgung der „fremden“ Schlämme in Brandenburg wirtschaftlich zu sein.

**Tabelle 4** Herkunft der in Brandenburg aufgebrauchten Klärschlämme

Herkunftsland	prozentualer Anteil der in Brandenburg aufgebrauchten Klärschlämme
Brandenburg	46 %
Nordrhein-Westfalen	25 %
Niedersachsen	16 %
Sachsen-Anhalt	7 %
Hessen	3 %
Berlin	3 %

**Quelle** LELF (Hrsg.): Informationen aus dem Dezernat Pflanzenproduktion, Nr. 1/99: Bericht zur Klärschlammverwertung im Land Brandenburg im Zeitraum 1992 - 1997, Frankfurt/Oder (1999)

Über die Qualität der Importschlämme herrschen unterschiedliche Meinungen vor. Ein persönliches Gespräch beim LUA [1] ergab, daß in der Vergangenheit versucht wurde, industrielle Schlämme in Brandenburg aufzubringen. Auch seien die langen Transportwege ein Zeichen dafür, daß der Schlamm aufgrund seiner Qualität nicht ortsnäher zu verwerten war. Ein mit der landwirtschaftlichen Verwertung beschäftigtes Unternehmen [12] teilte hingegen mit, daß gerade die Schlämme aus den alten Länder von recht guter Qualität seien und sie keinerlei Vorbehalte gegenüber den importierten Schlämmen haben. Oftmals sei die Bezeichnung „Importschlamm“ auch nicht mit langen Transportwegen verbunden, da für Schlämme aus den benachbarten neuen Ländern bei landesgrenznaher Verwertung nur sehr kurze Transportstrecken vorlägen. Innerhalb Brandenburgs wären teilweise, erheblich längere Strecken zu bewältigen. [12]

Im Anhang 7 der Verwaltungsvorschrift des MUNR zum Vollzug der AbfKlärV in Brandenburg wird festgestellt, daß in der Vergangenheit die landwirtschaftliche Verwertung von landesfremden Klärschlamm teilweise mißbräuchlich genutzt wurde. Es wird darauf hingewiesen, daß außerbrandenburgische Schlämme häufig hohe Gehalte an PAK und MKW aufwiesen. Über einen erweiterten Untersuchungsumfang sollen künftig Schlämme aus eindeutig nicht kommunaler Herkunft von der landwirtschaftlichen Verwertung ausgeschlossen werden. Interessant erscheint in diesem Zusammenhang, daß mit dem Inkrafttreten der Verwaltungsvorschrift des MUNR zum Vollzug der AbfKlärV Anfang 1996 die importierten Mengen Schlammes aus den Ländern Bayern, Niedersachsen und Hessen drastisch zurückgingen. Die genauen Zahlen finden sich in Tabelle 5.

Da aber die neuen Bundesländer große Potentiale der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, insbesondere aufgrund ihrer Flächenausstattung und Besiedlungsdichte und des damit einhergehenden geringen „eigenen“ Klärschlammaufkommens, haben, werden auch in Zukunft Transporte aus den Ballungsgebieten der alten Bundesländer stattfinden.

**Tabelle 5** Herkunft der in Brandenburg in den Jahren 1994 - 1997 ausgebrachten Klärschlamm-mengen in t TS

Land	1994	1995	1996	1997
BB	6312	5355	9104	13836
NW	6938	6359	6483	7348
B	756	1511	191	799
BW	180	n.n.	1128	n.n.
BY	1264	3299	454	218
HE	258	2416	543	742
MV	n.n.	n.n.	n.n.	20
NS	n.n.	8976	5468	4642
SA	n.n.	n.n.	n.n.	2048
SN	n.n.	n.n.	416	n.n.
SH	629	891	n.n.	n.n.
<b>Summe</b>	<b>17011</b>	<b>28808</b>	<b>23786</b>	<b>29652</b>
n.n = nicht nachgewiesen				

**Quelle** **LELF** (Hrsg): Informationen aus dem Dezernat Pflanzenproduktion, Nr. 1/99: Bericht zur Klärschlammverwertung im Land Brandenburg im Zeitraum 1992 - 1997, Frankfurt/Oder (1999)

## **2. Gesetzliche Rahmenbedingungen**

Zahlreiche Gesetze, Verordnungen und Satzungen auf Bundes- und Landesebene beeinflussen die Klärschlammbehandlung und -entsorgung.

### **2.1. Bundesrecht**

Auf Bundesebene müssen beachtet werden:

- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
- Bundes-Bodenschutzgesetz
- Düngemittelgesetz
- Düngeverordnung
- Klärschlammverordnung
- Klärschlamm-Entschädigungsfondsverordnung
- Technischen Anleitung Siedlungsabfall

#### **2.1.1. Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz**

Zweck des KrW-/AbfG vom 27. September 1994 [39] ist nach § 1 KrW-/AbfG die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Nach § 2 Abs. 1 KrW-/AbfG gilt das Gesetz für die Vermeidung, Verwertung und die Beseitigung von Abfällen, es stellt insoweit auch eine Grundlage der Klärschlammverwertung dar.

Klärschlamm ist Abfall gemäß § 2 Abs. 1 KrW-/AbfG, da es sich um eine bewegliche Sache handelt, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß. Insbesondere handelt es sich bei Klärschlamm, der für die landwirtschaftliche Verbringung bereitgestellt wird, um Abfall zur Verwertung im Sinne dieses Gesetzes. § 4 Abs. 1 KrW-/AbfG legt den grundsätzlichen Vorrang der Vermeidung vor stofflicher und energetischer Verwertung fest. Stoffliche Verwertung nach § 4 Abs. 3 KrW-/AbfG bedeutet, daß unter Berücksichtigung der im einzelnen Abfall bestehenden Verunreinigungen der Hauptzweck der Maßnahme in der Nutzung des Abfalls und nicht in der Beseitigung des Schadstoffpotentials liegt. Die Verbringung in der Landwirtschaft stellt also nur dann eine stoffliche Verwertung dar, wenn die AbfKlärV dadurch erfüllt wird, daß der Düngeaspekt im Vordergrund der Ausbringung steht. Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm entspricht insoweit den Kreislaufwirtschaftsgrundsätzen, als daß Nährstoffe an die Natur zurückgegeben werden und so der ökologische Kreislauf geschlossen werden soll.

### **2.1.2. Bundes-Bodenschutzgesetz**

Das BBodSchG vom 17. März 1998 [38] dient dem Zweck, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen, schädliche Bodenveränderungen abzuwehren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Aus diesem Grund ist es auch für die Klärschlammaufbringung in der Landwirtschaft relevant. Das Gesetz findet Anwendung, soweit Einwirkungen auf den Boden nicht durch Vorschriften des KrW-/AbfG und der AbfKlärV geregelt werden.

Eigentümer und Besitzer der Böden sind nach § 4 BBodSchG verpflichtet, schädliche Einwirkungen auf den Boden zu verhindern und entsprechende Vorsorge zu betreiben. § 17 BBodSchG fordert vom Landwirt die Bodennutzung nach Grundsätzen der guten fachlichen Praxis. Besondere Erwähnung findet in § 17 Abs. 2 Satz 7 BBodSchG die Forderung, daß der standorttypische Humusgehalt des Bodens, insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz erhalten wird. Dies kann auch mit einer Klärschlammausbringung gewährleistet werden, grundsätzlich grenzt das BBodSchG allerdings die landwirtschaftliche Verwertung im Sinne einer Gefahrenabwehr weiter ein.

### **2.1.3. Düngemittelgesetz und Düngeverordnung**

Das DüngemG vom 15. November 1977 [36] regelt die Zulassung, Kennzeichnung, Anwendung und Überwachung jeglicher Düngemittel.

Klärschlamm ist nach § 2 Abs. 2a des DüngemG ein Sekundärrohstoffdünger, wenn er dazu bestimmt ist, unmittelbar oder mittelbar Nutzpflanzen zugeführt zu werden, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern.

Auch im DüngemG wird die gute fachliche Praxis gefordert. Nach § 1a DüngemG gehört zur guten fachlichen Praxis, daß die Düngung nach Art, Menge und Zeitpunkt auf den Bedarf der Pflanzen und des Bodens abgestimmt wird. Dabei sollen der im Boden verfügbare Nährstoffgehalt, der Anteil an organischer Substanz sowie die Standort- und Anbaubedingungen berücksichtigt werden.

Die DüngeV vom 26. Januar 1996 [47] soll durch einen pflanzenbedarfs- und standortgerechten Einsatz von Düngemitteln und die Vermeidung von Nährstoffverlusten langfristig die Nährstoffeinträge in Gewässer und andere Ökosysteme verringern helfen. Sie sorgt für Rechtssicherheit der Landwirte bei der Düngung.

Die DüngeV bezieht sich ausgehend von den Vorgaben des § 1a DüngemG grundsätzlich auf alle landwirtschaftlich genutzten Flächen. Nach § 2 Abs. 1 DüngeV müssen Düngemittel

so ausgebracht werden, daß die in ihnen enthaltenen Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend für ihr Wachstum ausgenutzt werden können. Die Nährstoffe in Sekundärrohstoffdüngern liegen meist nicht in den Verhältnissen vor, die dem ermittelten Düngbedarf entsprechen. Eine genaue Dosierung der Nährstoffe, wie sie mit dem Einsatz von Mineraldüngern erreicht wird, ist mit Sekundärrohstoffdüngern nicht möglich. Mit ihrer Ausbringung sind somit größere Risiken für eventuelle Umweltbelastungen durch Nährstoffverluste und damit verbundene Einträge in Gewässer durch Auswaschung oder oberflächlichen Abtrag verbunden. Gemäß § 3 DüngV ist beim Ausbringen stickstoffhaltiger flüssiger Sekundärrohstoffdünger die Ammoniakverflüchtigung, insbesondere durch bodennahe Ausbringung, soweit wie möglich zu vermeiden. Hierbei sind neben Vegetationsstand und Witterung vor allem Temperatur und Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen. Auf unbestelltem Ackerland sind flüssige Sekundärrohstoffdünger unverzüglich einzuarbeiten. Ebenso darf flüssiger Sekundärrohstoffdünger nach § 3 Abs. 4 DüngV in der Zeit vom 15. November bis 15. Januar grundsätzlich nicht ausgebracht werden. § 6 DüngV bestimmt eine Aufzeichnungs- und eine mindestens neunjährige Aufbewahrungspflicht für die nach § 4 DüngV und § 5 DüngV vorgeschriebenen Bodenuntersuchungen und Düngedarfsrechnungen, sowie den Angaben über die verwendeten Schätz- und Berechnungsverfahren.

#### **2.1.4. Klärschlammverordnung**

Die Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 [40] und die Verwaltungsvorschriften der Bundesländer zum Vollzug der AbfKlärV bilden die wesentlichen Regelungsinstrumente für die Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen, die Klärschlamm oder Klärschlammgemische zum Aufbringen auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden abgeben sowie für diejenigen, die Klärschlamm auf die Böden aufbringen.

Auf Dauergrünland und forstwirtschaftlichen Flächen besteht ein grundsätzliches Aufbringungsverbot nach § 4 Abs. 4 und 5 AbfKlärV. Die Ausbringung von Rohschlamm ist gemäß § 4 Abs. 1 AbfKlärV verboten. Ebenso ist die Aufbringung von Schlämmen verboten, die nicht aus Abwasserbehandlungsanlagen zur Behandlung von Haushaltsabwässern und kommunalen Abwässern stammen. Der § 4 Abs. 1 AbfKlärV enthält jedoch eine Öffnungsklausel gegenüber Schlämmen von Abwässern mit ähnlich geringer Belastung.

Die AbfKlärV schreibt Boden- und Schlammuntersuchungen vor. Die Bodenuntersuchung auf Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink hat der Klärschlammabgeber (!) nach § 3 Abs. 3 AbfKlärV vor der erstmaligen Aufbringung auf den betreffenden Boden und dann im Abstand von 10 Jahren durchzuführen und zu bezahlen. Bei einem

Überschreiten der geltenden Bodengrenzwerte kann von behördlicher Seite eine kürzere Zeitspanne für die Wiederholungsuntersuchung angeordnet werden. Klärschlamm darf nach § 3 Abs. 4 AbfKlärV nur aufgebracht werden, wenn der Boden auf den pH-Wert, den Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat, Kalium und Magnesium untersucht worden ist. Nach § 3 Abs. 5 AbfKlärV darf Klärschlamm zum Aufbringen auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden nur abgegeben oder dort aufgebracht werden, wenn vor der ersten Aufbringung und dann in Abständen von längstens sechs Monaten Schlammproben untersucht werden auf: Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink, halogenorganische Verbindungen (AOX), Phosphat, Kalium und Magnesium. Auch hier kann von behördlicher Seite das Untersuchungsintervall bis auf zwei Monate verkürzt oder eine Ausweitung auf andere als die genannten Schadstoffe vorgenommen werden. Zusätzlich hat nach § 3 Abs. 6 AbfKlärV der Schlammabgeber, vor der ersten Aufbringung und dann im Abstand von zwei Jahren, den Schlamm auf polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) untersuchen zu lassen.

Ein Verbot der Klärschlammausbringung besteht nach § 4 Abs. 8 AbfKlärV für Böden, deren Schwermetallbelastung über den in Tabelle 6 angegebenen Werten liegt.

**Tabelle 6** Bodengrenzwerte für die Klärschlammaufbringung

Schwermetall	Grenzwert [mg je kg Trockenmasse]
Blei	100
Cadmium	1,5
Chrom	100
Kupfer	60
Nickel	50
Quecksilber	1
Zink	200

**Quelle** § 4 Abs. 8 der Abfall- und Klärschlammverordnung

Ein Verbot der Klärschlammausbringung besteht außerdem nach § 4 Abs. 12 für Schlämme deren Schwermetallbelastung über den in Tabelle 7 angegebenen Werten liegt.

**Tabelle 7** Schlammgrenzwerte für die Klärschlammaufbringung

Schwermetall	Grenzwert [mg je kg Trockenmasse]
Blei	900
Cadmium	10
Chrom	900
Kupfer	800
Nickel	200
Quecksilber	8
Zink	2500

**Quelle** § 4 Abs. 12 der Abfall- und Klärschlammverordnung

Weitere Schlammgrenzwerte bestehen für PCB, PCDD, PCDF und AOX.

Für Klärschlammkompost gelten Grenzwerte, die die Hälfte der zulässigen Grenzwerte für Klärschlamm betragen. Die Klärschlammverordnung regelt auch die absoluten Aufbringungsmengen. Innerhalb von drei Jahren dürfen nach § 6 Abs. 1 AbfKlärV nicht mehr als 5 t TS Klärschlamm, beziehungsweise 10 t TS Klärschlammkompost, auf einen Hektar Ackerfläche aufgebracht werden.

### **2.1.5. Klärschlamm-Entschädigungsfondsverordnung**

Am 1. Januar 1999 ist die KlärEV vom 20. Mai 1998 [46] in Kraft getreten. Sie regelt die Bildung und Ausgestaltung des Fonds sowie die Beitragsordnung und die Entschädigungsleistungen. Der Fonds ist ein nicht rechtsfähiges Sondervermögen des Bundes und wird von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung verwaltet. Die Fondsmittel bestehen aus den Beiträgen der Klärschlammabgeber. Gemäß § 4 KlärEV beträgt der Beitragssatz 20 DM pro in die Landwirtschaft abgegebener Tonne Trockensubstanz. Die Beiträge sind jährlich zu leisten. Die Beitragspflicht ruht, sobald die Fondsmittel 125 Millionen DM erreicht haben. Dies wird im Bundesanzeiger bekannt gemacht. Die Beitragspflicht lebt wieder auf, wenn die finanzielle Ausstattung des Fonds 100 Millionen DM unterschreitet. Sollten die Fondsmittel erschöpft sein, so sind alle Hersteller von Klärschlamm, die seit Inkrafttreten der Verordnung Klärschlamm zur landwirtschaftlichen Verwertung abgegeben haben zum Nachschuß verpflichtet. Der Nachschuß darf insgesamt 250 Millionen DM nicht überschreiten.

Die Höhe der Nachschußpflicht bestimmt sich nach den Gesamtmengen der einzelnen Klärschlammabgeber, dabei werden die vor einem Ruhen des Fonds und nach einem

Wiederaufleben geleisteten Zahlungen angerechnet. Das bedeutet, daß pro t TS Klärschlamm maximal 20 DM gezahlt werden. Die Nachschußpflicht erstreckt sich letztlich nur auf die Schlammengen, die während eines Ruhens des Fonds abgegeben wurden. Eventuelle Ansprüche des Landwirts gegen den Fonds begründen sich aus dem Klärschlammaufbringungsvertrag zwischen Landwirt und Klärschlammabgeber, in dem der Abgeber sich verpflichtet, dem Landwirt die Leistungen des Entschädigungsfonds zu verschaffen, also seine entsprechenden Beiträge an den Fonds zu leisten. [10]. Pro Sachschadensfall hat der Landwirt einen Selbstbehalt von 1.125 DM zu tragen. Der Entschädigungshöchstbetrag für Sach-, Personen- und sich daraus ergebende Folgeschäden beträgt 5 Millionen DM. Mit der Befriedigung eines Anspruchs gehen die Forderungen des Geschädigten gegen sonstige Ersatzpflichtige gemäß § 12 KlärEV auf den Klärschlammmentschädigungsfonds über.

#### **2.1.6. Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen**

Die TASI vom 14. Mai 1993 [43] bestimmt die Anforderungen an die Verwertung, Behandlung und sonstige Entsorgung von Siedlungsabfällen nach dem Stand der Technik. Ziele der TASI sind:

- nicht vermiedene Abfälle soweit wie möglich zu verwerten
- den Schadstoffgehalt der Abfälle so gering wie möglich zu halten
- eine umweltverträgliche Behandlung und Ablagerung der nicht verwertbaren Abfälle sicherzustellen

Eine Ablagerung soll so geschehen, daß die Entsorgungsprobleme von heute nicht auf künftige Generationen verlagert werden.

Neben Begriffsbestimmungen und Zuordnungskriterien für Verwertung und Ablagerung enthält die TASI allgemeine Anforderungen an die stoffliche Verwertung und Schadstoffentfrachtung. Die TASI gibt vor, daß soweit die zuständige Behörde eine Verwendung von Klärschlamm in Bereichen zuläßt, die nicht der Klärschlammverordnung unterliegen (zum Beispiel zur Rekultivierung oder Landschaftsgestaltung) die Anforderungen der Klärschlammverordnung an die Klärschlämme eingehalten werden sollen. Außerdem sollen nach der Verwendung die Bodenwerte der Klärschlammverordnung nicht überschritten werden. Nach Punkt 5.4.2 TASI ist durch anaerobe Behandlung biologisch abbaubarer organischer Abfälle ein möglichst schneller und weitgehender Abbau von Kohlenstoffverbindungen anzustreben. Der anfallende Schlamm ist vorrangig zu verwerten. Der Punkt 5.2.7 verweist

auf die Klärschlammverordnung und erweitert den Anwendungsbereich der Klärschlammverordnung. Sollte Klärschlamm in Bereichen verwendet werden, die nicht der Klärschlammverordnung unterliegen (z. B. zur Rekultivierung oder Landschaftsgestaltung), so sollen zum Boden- und Grundwasserschutz die Anforderungen der AbfKlärV an den Schlamm eingehalten werden. Nach den Verwendungen sollen im Anwendungsbereich der Maßnahme die Bodenwerte der Klärschlammverordnung nicht überschritten werden.

Zusätzlich werden diverse Anforderungen an die Kompostierung und deren Anlagen geregelt. Desweiteren sind in Punkt 6 TASI Anforderungen an die Organisation und das Personal von Abfallentsorgungsanlagen sowie an die Information und Dokumentation vorgegeben. Nach besonderen Anforderungen an Zwischenlager und Behandlungsanlagen werden in Punkt 10 die Anforderungen an Deponien und in Punkt 11 an Altanlagen genannt. Anhang B der TASI geht auf die Zuordnungskriterien für Deponien ein, zum Beispiel Festigkeit, organischer Anteil und Eluatkriterien. So wird für die unterschiedlichen Deponieklassen ein maximaler Glühverlust von 3 % beziehungsweise 5 % vorgeschrieben. Dieser wird von nicht thermisch behandeltem Klärschlamm regelmäßig nicht eingehalten. Das bedeutet, daß eine Schlammablagerung ohne eine entsprechende Behandlung nicht mehr gestattet ist. Punkt 12 TASI enthält jedoch eine Übergangsregelung, nach der die zuständige Behörde bei Klärschlamm und anderen organischen Abfällen für den Zeitraum bis 1. Juni 2005 Ausnahmen von der Zuordnung zulassen kann, wenn absehbar ist, daß der Abfall aus Gründen mangelnder Behandlungskapazität die Zuordnungskriterien nicht erfüllen kann. Spätestens ab dem 1. Juni 1999 soll bei Altdeponien und bei Deponien der Klasse II der Gehalt an nativ-organischen Bestandteilen in den Abfällen reduziert werden.

## **2.2. Landesrecht**

Auf der Landesebene in Brandenburg müssen beachtet werden:

- Brandenburgisches Abfallgesetz
- Verwaltungsvorschrift des MUNR für das Land Brandenburg zum Vollzug der AbfKlärV
- Abfallwirtschaftsprogramm des Landes Brandenburg

### **2.2.1. Brandenburgisches Abfallgesetz**

Das BbgAbfG vom 6. Juni 1997 zielt auf die Förderung einer abfallarmen Kreislaufwirtschaft und die Sicherung der umweltverträglichen Abfallbeseitigung ab. Ziele des BbgAbfG im Sinne der Kreislaufwirtschaft sind insbesondere:

- die Vermeidung von Abfällen und die Vermeidung und Verringerung von Schadstoffen in Abfällen
- die schadlose und möglichst hochwertige Verwertung nicht vermeidbarer Abfälle
- die Beseitigung nicht verwertbarer Abfälle möglichst in der Nähe ihres Entstehungsortes
- eine Schonung der natürlichen Ressourcen

Das BbgAbfG regelt außerdem die Zuständigkeiten der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger und die Entsorgung herrenloser Abfälle. § 6 BbgAbfG bestimmt, daß von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern kommunale Abfallwirtschaftskonzepte zu erstellen sind. Dabei haben die Entsorgungsträger die Festlegungen eines bestehenden Abfallwirtschaftsplanes zu beachten. Das Abfallwirtschaftskonzept gibt einen Überblick über den Stand der öffentlichen Abfallentsorgung und dient als Planungsinstrument der kommunalen Abfallwirtschaft. Nach § 7 Abs. 1 BbgAbfG haben die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger jährlich eine Abfallbilanz über Art, Menge und Herkunftsbereiche der von ihnen entsorgten Abfälle sowie über deren Verwertung oder Beseitigung zu erstellen. In die Abfallbilanz ist ein Vergleich mit den im kommunalen Abfallwirtschaftskonzept festgelegten Zielen aufzunehmen. Desweiteren enthält das BbgAbfG unter anderem Ausführungen zu Befugnissen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, zu Abfallwirtschaftsplanung, Abfallbeseitigungsanlagen, Altlasten und Datenschutz.

### **2.2.2. Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung für das Land Brandenburg zum Vollzug der Klärschlammverordnung**

Die Verwaltungsvorschrift vom 26. Mai 1996 [48] legt die genauen Auslegungen der AbfKlärV für die Klärschlammverwertung in Brandenburg fest. Nach einem allgemeinen Teil bestimmt die Vorschrift die Zuständigkeiten für die Klärschlammaufbringung, Klärschlammabgabe und die beteiligten Behörden. Im folgenden wird unter Punkt 4 der Verwaltungsvorschrift festgelegt, daß die Labore für Schlamm- und Bodenanalyse gemäß § 3 Abs. 2, 5 und 6 AbfKlärV von der zuständigen Behörde festgelegt werden. In einem weiteren Abschnitt der Verwaltungsvorschrift werden einzelne Paragraphen der AbfKlärV konkretisiert. In Anhang 1 der Verwaltungsvorschrift wird ein Musterlieferschein gemäß

§ 7 AbfKlärV vorgeschlagen. Eine Richtlinie im Anhang 7 der Verwaltungsvorschrift regelt, wie mit Klärschlämmen zu verfahren ist, die außerhalb Brandenburgs angefallen, aber für eine Verwertung in Brandenburg vorgesehen sind („Importschlämme“). Für die Importschlämme wird ein erweiterter Untersuchungsumfang bestimmt, der:

- den Untersuchungsabstand für die Schlammanalyse auf zwei Monate herabsetzt
- zusätzlich zu den untersuchten Schwermetallen eine Untersuchung auf Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) verlangt. Es gilt ein Richtwert von 20 mg PAK pro Kilogramm Trockenmasse

Dieser Untersuchungsumfang gilt für Klärschlämme, die erstmals oder in Abständen von über 18 Monaten wieder in Brandenburg zum Einsatz gelangen sollen. Der Untersuchungsabstand von zwei Monaten bezieht sich nur auf Schwermetalle und PAK. Die Festlegung gilt für einen Zeitraum von drei aufeinanderfolgenden Untersuchungen. Diese müssen jedoch mindestens vier Wochen auseinanderliegen. Danach kann die zuständige Behörde den verkürzten Untersuchungsabstand aussetzen, wenn sich zeigt, daß keine weitere Veranlassung zu besonderer Vorsorge besteht.

### **2.2.3. Abfallwirtschaftsprogramm des Landes Brandenburg**

Die Aufgabe des Abfallwirtschaftsprogrammes ist es, Prioritäten und Leitlinien für das abfallwirtschaftliche Handeln zu bestimmen [42]. Das Abfallwirtschaftsprogramm hat keine rechtliche Verbindlichkeit. Es zeigt jedoch die Ziele und Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Kreislauf- und Abfallwirtschaft im Land Brandenburg auf. Zielstellung der Abfallwirtschaft in Brandenburg ist es insbesondere:

- Abfälle zu vermeiden und Schadstoffe zu reduzieren
- die hochwertige Verwertung und gemeinwohlverträgliche Beseitigung zu sichern
- den notwendigen Umweltstandard der Entsorgungsanlagen durchzusetzen
- die Kosten zu begrenzen

Nach einem Überblick über die rechtlichen Grundlagen und Zielstellungen behandelt das Abfallwirtschaftsprogramm Stand, Strategien und Prognosen der Entsorgung von Siedlungs- und Sonderabfällen. Zum Klärschlamm werden folgende Festlegungen getroffen:

Die stoffliche Verwertung von Klärschlamm hat in Brandenburg gemäß TAsi und AbfKlärV Vorrang vor anderen Entsorgungswegen. Die Verbringung von Klärschlamm auf Deponien ist entsprechend den Anforderungen des Punktes 12.1 TAsi ab dem 1. Juni 1999 einzustellen.

---

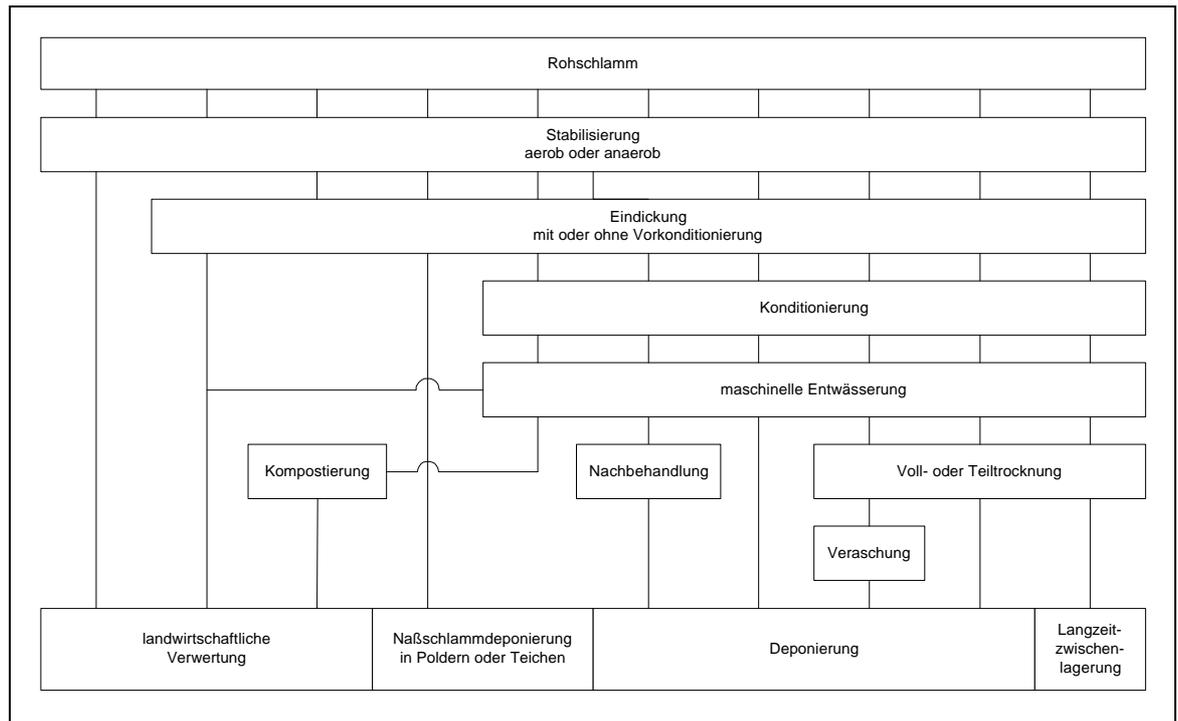
Als Ziel der Klärschlammverwertung wird verfolgt, alle landwirtschaftlich verwertbaren Schlämme auch in der Landwirtschaft einzusetzen. Dies bedeutet einen angestrebten Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung von mehr als 50 %, der zur Zeit aber deutlich unterschritten wird. Als Begründung für den geringen Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung werden die großen Mengen außerbrandenburgischer Klärschlämme genannt.

Die Kläranlagenbetreiber sollen, um Transportwege gering zu halten, nur solche Dritte mit einer Schlammentsorgung beauftragen, die eine ortsnahe Verwertung gewährleisten können. Die Restmenge an nicht landwirtschaftlich und landschaftsbaulich zu verwertenden Klärschlämmen soll nach Möglichkeit vor der Deponierung zusammen mit den nicht verwertbaren Siedlungsabfällen aerob behandelt werden.

Belastete Klärschlämme sollen im Rahmen der Behandlungskapazitäten thermisch behandelt werden. Bis zur Schaffung ausreichender Kapazitäten in Brandenburg ist eine Mitbehandlung mit den nicht verwertbaren Siedlungsabfällen in den mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen vorzusehen.

### 3. Behandlung und Entsorgung kommunaler Klärschlämme

Eine geordnete Klärschlamm Entsorgung kann auf verschiedene Weisen gesichert werden. Je nachdem, wie die einzelnen Komponenten der Behandlung und Entsorgung miteinander kombiniert werden, ergeben sich unterschiedlichen Verfahrensketten, deren wichtigste Ausgestaltungen in Bild 1 dargestellt sind.



**Bild 1** Dominante Prozessketten der Schlammbehandlung und -beseitigung unter Berücksichtigung der TASI

**Quelle** Leschber, R.; Loll, U.. In: ATV (Hrsg.): ATV-Handbuch Klärschlamm. 4. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn Verlag (1996) (bearbeitet)

Die Verfahrensketten lassen sich grundsätzlich in drei Abschnitte unterteilen:

- Klärschlammvorbehandlung mit den Bestandteilen Entseuchung, Stabilisierung, Eindickung
- weitere Schlammaufbereitung und -behandlung wie Konditionierung, Entwässerung, Trocknung
- Klärschlamm Entsorgung in der Landwirtschaft (=Landbau), durch Kompostierung, auf der Deponie oder in der Verbrennung

### **3.1. Klärschlammbehandlung**

Klärschlammbehandlung ist die Aufbereitung von Schlamm zu dessen Entsorgung [35]. Als Beispiele nennt DIN 4045 Eindickung, Stabilisierung, Hygienisierung, Konditionierung, Entwässerung und Trocknung.

Aufgabe der Schlammbehandlung ist es, die bei der Abwasserreinigung anfallenden Schlämme derart aufzubereiten, daß sie optimal für die folgenden Prozeßschritte vorbereitet werden und letztendlich schadlos entsorgt werden können. [18] Die Notwendigkeit der Anwendung und konkrete technische Realisierung der Behandlungsschritte ist vom Entsorgungsweg abhängig, so ist zum Beispiel die maschinelle Entwässerung Voraussetzung für die meisten Entsorgungswege.

#### **3.1.1. Stabilisierung**

Ziel der Stabilisierung ist es, die geruchsbildenden Inhaltsstoffe und die organischen Schlammfeststoffe zu verringern [29]. Die Stabilisierung dient desweiteren dazu, die Effizienz und Betriebssicherheit der nachfolgenden Schritte zu verbessern [25]. So werden zum Beispiel pathogene Keime teilweise abgetötet, die Schlamm-trockenmasse um etwa 35 % verringert und die Entwässerungseigenschaften des Schlammes optimiert [29].

Die Stabilisierung kann:

- biologisch aerob
- biologisch anaerob
- chemisch

durchgeführt werden [25].

Die aerobe Stabilisierung findet in kleineren Anlage in Belebungsbecken statt, wo Mikroorganismen unter Sauerstoffzugabe die organischen Substanzen des Schlammes abbauen.

Durch anaerobe Stabilisierung, auch Faulung genannt, wird die organische Substanz durch Mikroorganismen in Faulbehältern unter Sauerstoffabschluß abgebaut.

Die chemische Stabilisierung geschieht vorzugsweise durch Vermischen mit kalkhaltigen Zuschlagsstoffen und beruht darauf, daß durch die Erhöhung des pH-Wertes auf über 10 jede biologische Aktivität unterbunden wird.

Eine Kalkung kann vor allem dann sinnvoll sein, wenn der Schlamm landwirtschaftlich verwertet werden soll. Neben dem Entseuchungseffekt wirkt sich eine Kalkzufuhr positiv auf den Boden aus. Oftmals wird eine Kalkung zusätzlich zur biologischen Stabilisierung durchgeführt. [25]

Durch die Vorteile, die eine Schlammstabilisierung für die weiteren Behandlungsschritte der Entsorgungskette aufweist, ist die Stabilisierung in fast allen Fällen der Schlammentsorgung günstig, in einigen sogar Voraussetzung.

### 3.1.2. Entseuchung

Ziel der Entseuchung ist, Krankheitserreger abzutöten oder an ihrer Vermehrung zu hindern. Dies soll so geschehen, daß die Erreger nicht mehr infektiös wirken. Da bei der Entseuchung nicht alle Mikroorganismen abgetötet werden, kann nicht von einer Sterilisierung gesprochen werden. [29]

Möglichkeiten der Entseuchung bestehen in einer [21]:

- Hitzeeinwirkung, zum Beispiel durch eine Kompostierung oder Fremderhitzung
- pH-Wert-Verschiebung, zum Beispiel durch Branntkalkzugabe oder Kalkhydratzugabe im Rahmen der Konditionierung
- ionisierender Bestrahlung

Von der novellierten Klärschlammverordnung wird für landwirtschaftlich zu verbringende Schlämme die Entseuchung nicht mehr bindend gefordert. Es besteht somit eine Gleichstellung von Klärschlamm und Wirtschaftsdünger, der, sofern er tierischer Herkunft ist, ebenso wie Klärschlamm pathogene Keime enthalten kann. [18] Dennoch wird die Entseuchung von Abnehmern und Nutzern der Schlämme positiv bewertet. Insofern stellt die Entseuchung für den Schlamm eine qualitätssteigernde Maßnahme dar. [18] Besonders der Primärschlamm ist aufgrund der in ihm enthaltenen pathogenen Organismen und Parasiten-eier seuchenhygienisch bedenklich, daher wird eine Verwertung nicht stabilisierter Primärschlämme in der Landwirtschaft vermieden. [18] Auch durch eine Faulung kann ein entseuchender Effekt erreicht werden, da in der Faulung organische Bestandteile durch Methanbakterien abgebaut werden. Die üblichen Aufenthaltszeiten in der Faulung reichen jedoch nicht zu einer vollständigen Entseuchung, so daß der Klärschlamm belastet bleibt, wenn nicht weitere Maßnahmen zur Entseuchung vorgenommen werden. [29] Die Kläranlagenbetreiber werden bemüht sein, die Entseuchung so gut wie möglich in die anderen Schritte der Schlammbehandlung einzubeziehen und so die Entseuchung als Nebeneffekt zu erlangen. Es fallen bei dieser Integration in den Behandlungsprozeß, außer geringer Mehrkosten durch einen angepaßten Behandlungsverlauf, keine weiteren Kosten an. Denkbar wäre hier die sorgfältige Faulung mit einer angeschlossenen Kalkhydrat-Konditionierung. Dies wird zum Beispiel in einer Kläranlage im LK Barnim praktiziert [20].

### 3.1.3. Konditionierung

Zweck der Konditionierung ist es, die Eindickfähigkeit sowie die Entwässerungsfähigkeit des Schlammes zu verbessern.

Die Konditionierung bewirkt eine Lockerung der Bindung des Schlammwassers an die Feststoffe, so können in der Entwässerung höhere Trockensubstanzgehalte erreicht werden.

Es existieren drei Formen der Konditionierung [21]:

- chemisch
- mechanisch
- thermisch

Bei der chemischen Konditionierung werden organische oder anorganische Fällungsmittel verwandt. Diese führen zu einer verminderten Wasserbindfähigkeit und damit zu einer Flockenbildung des Schlammes. [21]

Bei der mechanischen Konditionierung werden dem Schlamm mechanisch wirkende Filtrierhilfsmittel, wie zum Beispiel Asche, beigegeben. [21]

Die thermische Konditionierung basiert auf einer Erwärmung oder auch Abkühlung des Schlammes, diese bewirkt eine Verhaltensänderung im Entwässerungsprozeß. [21]

Die verbesserte Entwässerungsfähigkeit des Klärschlammes führt nach der Entwässerung zu geringeren Restschlammengen. Diese Volumenreduktion wirkt sich positiv auf die nachfolgenden Behandlungs- und Entsorgungsschritte aus. So führt der geringere Wassergehalt zum Beispiel zu verringerten Trocknungskosten. Andererseits muß bemerkt werden, daß die bei chemischer und mechanischer Konditionierung zugegebenen Stoffe die zu entsorgende Trockensubstanzmenge und insofern auch das Volumen erhöhen. Es ist abzuwägen, ob die erzielten Vorteile der Konditionierung den Nachteil der Mengenerhöhung übersteigen.

### 3.1.4. Eindickung

Der Stabilisierung vor- und nachgeschaltet kann eine Eindickung des Schlammes sein. Sie dient dem Ziel, mit geringem Aufwand Wasser aus dem Schlamm abzutrennen. Die Eindickung der Schlammsuspension wird mit Hilfe der Schwerkraft vorgenommen. Bei diesem Vorgang wird ein Großteil des Zwischen- oder Hohlraumwassers abgetrennt. Zu erreichende Trockensubstanzgehalte liegen zwischen 4 % und 7 % TR [29].

Als Verfahren der Eindickung stehen zur Verfügung [29]:

- Sedimentation in Trichter- oder Flachbecken
- Filtration
- Flotation durch Druckentspannung

Die Eindickung stellt eine einfache Möglichkeit dar, den Schlamm vorzuentwässern. Es können durch eine der Entwässerung vorgeschaltete Eindickung teilweise erhebliche Mengen an Konditionierungsmitteln gespart werden [20].

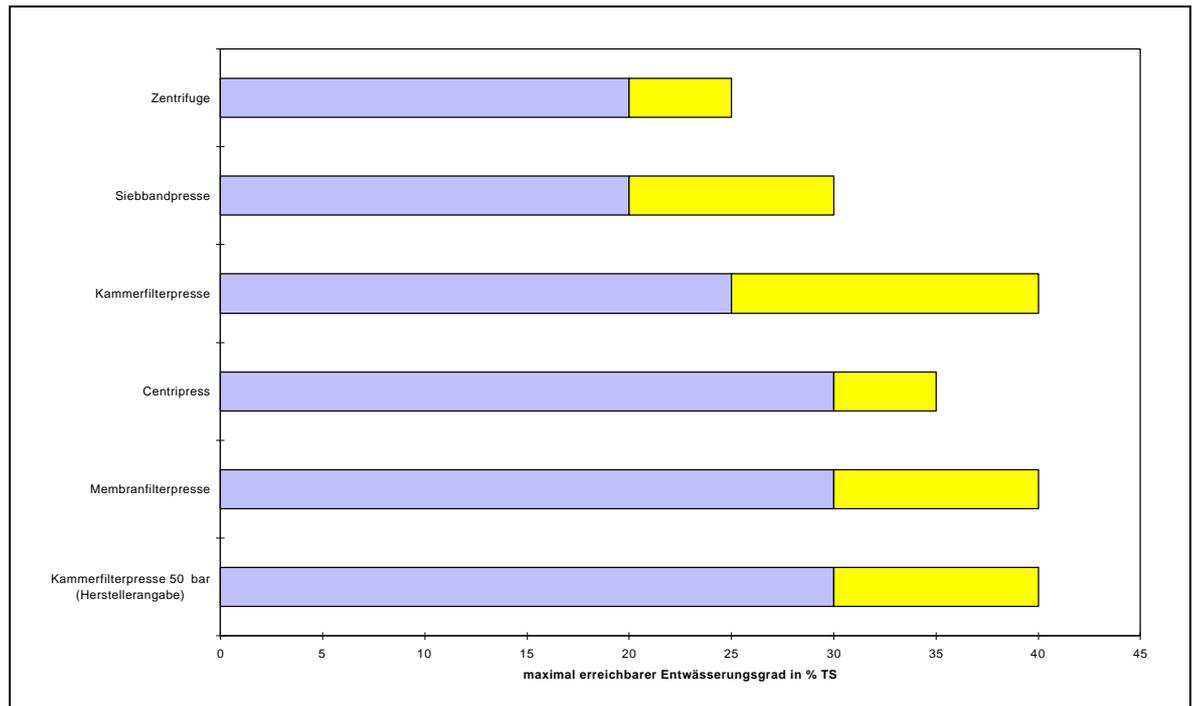
### **3.1.5. Entwässerung**

Das Ziel der Entwässerung ist, den Wassergehalt des Schlammes so weit wie möglich zu senken. Zur Auswahl stehen natürliche und mechanische Entwässerungsverfahren.

Zur natürlichen Entwässerung steht die Anwendung von Trockenbeeten und Schlammplätzen oder Schlammteichen zur Verfügung. Durch diese Verfahren kann durch Schwerkrafteinwirkung und Verdunstungseffekte ein Trockensubstanzgehalt von 25 - 35 % erreicht werden. [21, 29]

Die mechanischen Verfahren arbeiten großteils mit Hilfe von Über- und Unterdruck nach dem Prinzip der Filtration. [21] Zur Verfügung stehen Aggregate wie Zentrifuge, Bandfilterpresse und Kammerfilterpresse. Die Entwässerungsleistung hängt vom verwendeten Verfahren sowie von den Schlammeigenschaften und Menge und Art der Konditionierungsmittel ab. [21]

Es können in Abhängigkeit vom Entwässerungsverfahren Feststoffgehalte von bis zu 40 % erzielt werden. Die erreichbaren Feststoffgehalte sind in Bild 2 in Intervallen dargestellt, in denen der maximal erreichbare Entwässerungsgrad liegt.



**Bild 2** Feststoffgehalte in Abhängigkeit vom Entwässerungsverfahren

**Quelle** Eitner, R.; Dauber, S.; Tränkler, J.. In: Gallenkemper, B.; Dohmann, M. (Hrsg.): Klärschlamm Entsorgung (Grundlagen und ausgewählte Verfahren). Bonn: Economica Verlag, (1994), S. 49 (bearbeitet)

Die Konsistenz und das Volumen des Schlammes werden vom Wassergehalt bestimmt, dieser ist eine wichtige Eigenschaft des Schlammes. [29] In Tabelle 8 ist die Beschaffenheit von Schlämmen mit unterschiedlichen Trockensubstanzgehalten aufgeführt.

**Tabelle 8** Klärschlamm beschaffenheit in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt

Gehalt an Trockensubstanz	Beschaffenheit des Schlammes
< 15 - 20 %	flüssig bis breiartig, pumpfähig
≈ 20 - 35 %	stichfest, schmierend
≈ 35 - 60 %	krümelig-fest, nicht schmierend
≈ 60 - 85 %	streufähig, fest
> 85 %	staubförmig

**Quelle** Eitner, R.; Dauber, S.; Tränkler, J.. In: Gallenkemper, B.; Dohmann, M. (Hrsg.): Klärschlamm Entsorgung (Grundlagen und ausgewählte Verfahren). Bonn: Economica Verlag, (1994), S. 19 (bearbeitet)

Ob eine Entwässerung notwendig und sinnvoll ist, hängt vom weiteren Behandlungs- und Entsorgungsweg ab. Für den Fall, daß der Schlamm nicht landwirtschaftlich verwertet werden kann, ist eine Entwässerung des Schlammes unumgänglich [21], aber auch bei

landwirtschaftlicher Verwertung kann die Entwässerung Vorteile bringen. Beispielsweise muß bei der Aufbringung entwässerten Schlammes, aufgrund seines geringeren Volumens, nicht so oft nachgeladen werden.

### 3.1.6. Trocknung

Ziel der Trocknung ist es, den Wassergehalt im Schlamm nach Eindickung und Entwässerung noch weiter zu senken. Dies führt auch zu einer Volumenreduzierung des Klärschlammes, die den Schlamm besser handhabbar macht. Desweiteren wird durch den Wasserentzug der Heizwert erhöht. Durch die Volumen- und damit absolute Gewichtssenkung können in erheblichem Maße Transportkosten eingespart werden [29]. Der Trocknung ist regelmäßig eine Entwässerung vorgeschaltet. Mit der Schlamm-trocknung ist es möglich, einen Entwässerungsgrad von bis zu 95 % TR zu erreichen. Ein Trockensubstanzgehalt von mindestens 90 % ist Voraussetzung für eine thermische Behandlung der Schlämme in Steinkohlekraftwerken und Zementwerken sowie in Asphaltmischanlagen [21]. Die Trocknung geschieht stets auf thermischem Wege, wobei folgenden Ausgestaltungen zur Verfügung stehen,

- direkte Trocknung, bei der das Heizmedium in direkten Kontakt mit dem Trockengut kommt
- indirekte Trocknung, bei der die Wärmeübertragung über eine Kontaktfläche geschieht  
Als Wärmeträger dienen hier üblicherweise Dampf, Heißwasser oder Thermoöle. [21]

Die Frage, ob Klärschlamm in getrockneter Form besser landwirtschaftlich verwertet werden kann als lediglich entwässert oder sogar Naßschlamm ist umstritten. So hält ROSSWURM [26] wegen nachfolgender Argumente eine Ausbringung getrockneten Schlammes für nicht sinnvoll. Von den Landwirten werden entwässerte, aufgekalkte Klärschlämme eindeutig bevorzugt. Mit Abstrichen trifft dies auch für flüssige Schlämme zu. Auch getrocknete Schlämme können beim Landwirt nur gegen Bezahlung abgesetzt werden. Ein zusätzliches Problem stelle die Selbstentzündlichkeit des getrockneten Schlammes dar. ROSSWURM [26] kommt zu dem Ergebnis, daß eine Trocknung vor landwirtschaftlicher Verwertung weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll ist und daher kein getrockneter, sondern nur entwässert Schlamm in die Landwirtschaft verbracht werden sollte. Demgegenüber stehen die Argumente von KASSNER et al. [13], die angeben, getrockneter Klärschlamm sei bei den Landwirten aufgrund seiner äußeren Ähnlichkeit zu Mineraldünger und ähnlicher Handhabbarkeit beliebter. Sie weisen auf ein auch bei entwässertem Schlamm vorhandenes Explosionsrisiko durch Methanbildung hin. Die schlechtere Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe des getrockneten Schlammes wird nicht als Mangel betrachtet, da mit

dieser Depotwirkung gerechnet werden könne. Abschließend kommen KASSNER et al. [13] zu dem Schluß, daß die Trocknung des Schlammes für die landwirtschaftliche Verwertung meistens sinnvoll ist, auch um sich weitere Entsorgungswege offenzuhalten.

Aus Gesprächen und Korrespondenz mit verschiedenen Kläranlagenbetreibern in Brandenburg war zu erfahren, daß - zumindest bei diesen Kläranlagen - nur entwässerter Klärschlamm in die Landwirtschaft abgegeben wird.

### **3.2. Klärschlammentsorgungsverfahren**

Nach § 3 Abs. 7 KrW-/AbfG umfaßt die Entsorgung sowohl die Verwertung als auch die Beseitigung des Klärschlammes. Während zum Beispiel die Deponierung einen typischen Beseitigungsweg darstellt, ist der Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft als Verwertung anzusehen. Die Unterscheidung zwischen Beseitigung und Verwertung richtet sich gemäß § 4 Abs. 3 und 4 KrW-/AbfG nach dem Hauptzweck der durchgeführten Maßnahme. Für die Klärschlammentsorgung stehen verschiedene Verfahrenswege zur Verfügung. Es existieren die Möglichkeiten der:

- landwirtschaftlichen Verwertung
- Kompostierung
- landschaftsbauliche Verwertung
- Mono- und Mitverbrennung, Entgasung, Vergasung sowie Kombinationen aus diesen Verfahren
- Deponierung

Im folgenden werden einzelne Entsorgungswege vorgestellt und bewertet.

#### **3.2.1. Landwirtschaftliche Verwertung**

Unter landwirtschaftlicher Verwertung des Schlammes soll im folgenden die Ausbringung des unkompostierten Klärschlammes verstanden werden. Klärschlamm kann in der Landwirtschaft als Dünger genutzt werden. Die Ausbringungstechnik hängt von der Behandlung des Schlammes ab. So können flüssige Schlämme genau wie Gülle ausgebracht werden. Stichfeste und getrocknete Schlämme werden mit Miststreuern verteilt. Aufgrund der geringen Verteilgenauigkeit dieser Geräte werden jedoch in zunehmenden Maße Spezialstreuer verwendet. Desweiteren besteht die Möglichkeit getrocknete Schlämme mit Kalkstreuern aufzubringen. [29]

Gründe, die für eine landwirtschaftliche Verwertung sprechen, sind zum einen die von gesetzgeberischer Seite vorgegeben Bestimmungen, zum anderen ökologische und ökonomische

mische Überlegungen. Dennoch ist die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen umstritten. Kritikpunkte an der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung bestehen im Bereich von Haftungsfragen und der im Klärschlamm vorhandenen Schadstofffrachten. Schäden können dem Landwirt zum Beispiel dadurch entstehen, daß durch sich im Zeitablauf verschärfende Grenzwerte seine Böden für bestimmte Nutzungen nicht mehr zugelassen sind. Die im Klärschlamm enthaltenen Schadstoffe führen zu Problemen mit Nachbarn, Verpächtern landwirtschaftlicher Nutzflächen und den Abnehmern der erzeugten Produkte [22]. Mit Umsetzung der Indirekteinleiterverordnung hat sich der Schadstoffeintrag ins kommunale Abwasser verringert. Als Folge davon hat sich die Klärschlammqualität deutlich verbessert, [29] so daß langfristig mit einer steigenden Akzeptanz zu rechnen ist. Die landwirtschaftliche Verwertung wird dem Kreislaufgedanken gerecht und gilt als eine preisgünstige Alternative [9]. Klärschlamm steht bei Ausbringung in der Landwirtschaft sowohl von seiner Zusammensetzung als auch seinem Anfall her in Konkurrenz zu anderen natürlichen Sekundärrohstoffdüngern zum Beispiel der Gülle. Der Landwirt wird zuerst seine eigenen Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdünger auf seinem Boden verwerten, bevor er Klärschlamm zur Verwertung annimmt [29].

### **3.2.2. Kompostierung**

Kompostierung wird der Prozeß des biologischen Ab- und Umbaus organischer Verbindungen unter aeroben Bedingungen genannt. Hauptprodukte dieses Prozesses sind Wasser, Kohlendioxid und Kompost. [29] Prinzipiell sind solche Schlämme zur Kompostierung geeignet, deren Trockensubstanzgehalt vor der Kompostierung über 40 % liegt. Es können jedoch auch flüssige Schlämme kompostiert werden, dies erfordert einen hohen Zusatz von relativ trockenen Zuschlagstoffen, die in der Lage sind, den Wasserüberschuß aufzunehmen. [24] Es existieren zwei Rotteformen:

- einfache Mietenrottung
- gesteuerte Rotte im Reaktor

Während die Mietenkompostierung eine Rottezeit von mindestens sechs Monaten erfordert, kommen Reaktoren im allgemeinen mit einer Rottezeit von etwa 10 - 14 Tagen aus. Allerdings muß sich dann eine Nachrotte anschließen, in der das vorgerottete Material entsprechend homogenisiert wird. [24]

Der fertige Kompost kann als Bodenverbesserer eingesetzt werden. Er besitzt aber nur begrenzt düngende Wirkung. In einer landwirtschaftlichen Anwendung ist er aufwendiger aufzubringen als unkompostierter Klärschlamm, dafür aber universeller einsetzbar, zum

Beispiel in der Rekultivierung. [29] Vorteile der Kompostierung bestehen in der Stabilisierung des Schlammes durch den Kompostierungsprozeß sowie dessen gleichzeitige Entwässerung, aufgrund derer die Kompostierung auch biologische Trocknung genannt wird. Ein weiterer Vorteil ist die bessere Lagerfähigkeit des Kompostes gegenüber unbehandeltem Klärschlamm in der Zeit landwirtschaftlicher Ausbringungssperfristen. [29]

Nachteil der Kompostierung zur landwirtschaftlichen Verwendung sind die höheren Kosten des Verfahrens im Vergleich zur direkten Ausbringung des Schlammes.

### **3.2.3. Landschaftsbauliche Verwertung**

Als Landschaftsbau wird die planvolle Gestaltung, Sicherung oder Wiederherstellung von Landschaften oder auch Landschaftsteilen mit biologischen und technischen Mitteln bezeichnet [29]. Im Landschaftsbau und in der Rekultivierung kann Klärschlammkompost aufgrund seiner hygienisierten und erdartigen Konsistenz eingesetzt werden als:

- kulturfähiges Bodensubstrat
- Bodenhilfsstoff
- Düngemittel

Als kulturfähiges Bodensubstrat werden Produkte bezeichnet, die durch Vermengung von mineralischen Bestandteilen wie zum Beispiel Bodenaushub oder Tonmineralen mit Klärschlamm oder Klärschlammkompost entstehen. [18] Bodenhilfsstoffe sollen nährstoffarm sein, sich aber positiv auf die Bodenstruktur, die Bodenchemie und die Bodenbiologie auswirken. Klärschlammkompost kann als Bodenhilfsstoff angesehen werden, wenn sein Nährstoffgehalt den von Düngemitteln deutlich unterschreitet. Die Anforderungen des Düngemittelrechts schreiben jedoch keine Nährstoffgehalte vor, sondern beschränken sich auf die Deklaration des Kompostes als Bodenhilfsstoff. Bodenhilfsstoffe und Düngemittel unterliegen der Düngeverordnung. [18] Typische Anwendungsgebiete des Schlammkompostes im Landschaftsbau sind Böschungsbegrenzungen, Lärmschutzwälle und Randstreifen oder die Abdeckung von Halden, Deponien und Altlastenflächen. Auf Großflächen kann der Kompost in der Rekultivierung von Kippböden und Bergbaufolgelandschaften verwendet werden. [18]

### 3.2.4. Verbrennung

Als Verbrennung wird die in einem Feuerraum stattfindende Mineralisierung der Schlammbestandteile bezeichnet [21]. Grundsätzlich ist zwischen Monoverbrennung des Schlammes und Mitverbrennung, zum Beispiel in einer Müllverbrennungsanlage, zu unterscheiden. Eine Entsorgung über eine Mitverbrennung bringt den Vorteil, daß vorhandene technische Anlagen genutzt werden. Zu bedenken bleibt, daß die Anlagenkapazität bezüglich des Hauptverbrennungsgutes bei höheren Mitverbrennungsanteilen gesenkt wird. [21] Ein Vorteil der Verbrennung des Schlammes liegt darin, daß die zu beseitigende Restmenge nur noch 35 - 45 % der Eingangsmenge beträgt [21]. Zusätzlich ist die Schlammasche inert und geruchlos. Die in der Trockenmasse enthaltene Wärmeenergie kann zur Deckung des Energiebedarfs für die Verdampfung des Schlammwassers und die Erwärmung der Verbrennungsluft genutzt werden. [18] Als Nachteil der Verbrennung wird oft die Schadstoffemission in die Luft benannt, dieses Gegenargument verliert aber mit Blick auf die immer weiter verbesserte Abgasreinigungstechnik an Bedeutung. (Einhaltung des § 5 17. BImSchV)

### 3.2.5. Deponierung

Eine Deponie ist gemäß Punkt 2.2.1 TASI eine Abfallentsorgungsanlage, in der Abfälle zeitlich unbegrenzt oberirdisch abgelagert werden. Durch Gesetzesverschärfungen verliert die Schlammdeponierung immer weiter an Bedeutung, so ist zum Beispiel die Deponierung von Klärschlämmen im Land Brandenburg ab dem 1. Juni 1999 völlig einzustellen. Wegen seiner Eigenschaften kann Klärschlamm schlecht deponiert werden. Desweiteren sind die Vorschriften über Beschaffenheit des Klärschlammes hinsichtlich Vorbehandlung und maximalen Glühverlusten einzuhalten. [29] Problematisch ist auch die mit der Deponierung einhergehende Altlastenbildung, die nach den Grundsätzen der TASI zu vermeiden ist.

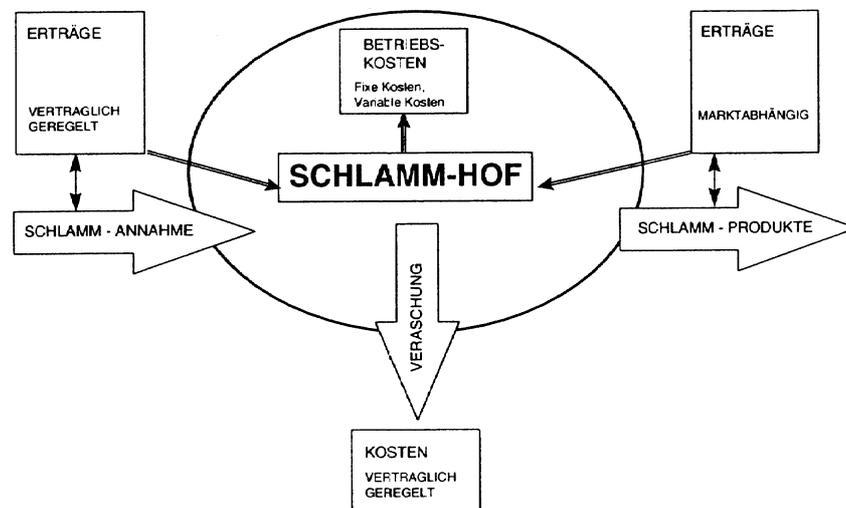
### 3.2.6. Andere Entsorgungswege

Neben den besprochenen „klassischen“ Entsorgungswegen bestehen weitere „alternative“ Möglichkeiten der Entsorgung, zum Beispiel:

- Tonziegelpressung unter Beigabe von Klärschlamm [24]
- Herstellung von Gittersteinen aus Klärschlamm [24]
- Zimmerpflanzendüngung nach der Verarbeitung zu sogenannten „Dügesticks“

Diese Möglichkeiten befinden sich jedoch zum einen noch in der Erprobung, zum anderen bieten sie als Nischenprodukte nur begrenzte Abnahmekapazitäten. Fraglich bleibt, wie es

sich mit der Kundenakzeptanz solcher Produkte verhält. Es ist zu erwarten, daß noch große Überzeugungsarbeit zu leisten ist, um diese Verwertungswege marktfähig zu machen. Ein weiteres Entsorgungskonzept stellt das von HAURI/DIEBOLD [11] vorgeschlagene Modell des regionalen Schlamm-Hofes dar. Idee des Schlamm-Hofes ist, daß Schlamm aus unterschiedlichen regionalen Kläranlagen auf dem Schlamm-Hof gesammelt und dort weiterbehandelt und weitervermarktet wird (Bild 3). Der von den Kläranlagen gelieferte Schlamm wird soweit wie möglich zu marktfähigen Produkten verarbeitet. Diese Schlammprodukte werden an die Agrarwirtschaft, die Bauwirtschaft oder an die Düngerindustrie abgegeben. Schlamm, der nicht abgegeben werden kann, soll thermisch verwertet werden. [11]



**Bild 3** Das Schlamm-Hof-Konzept, Geld- und Stoffströme (vereinfacht)

**Quelle** Hauri, H.; Diebold, P.H.: Regionaler Schlammhof - Die langfristige Strategie für eine effiziente Klärschlammverarbeitung mit Kosteneinsparungen. In: Korrespondenz Abwasser (1998), Nr. 7, S. 1314 - 1320 (bearbeitet)

Eine Qualitätskontrolle findet bereits bei der Anlieferung der Schlämme auf dem Schlamm-Hof statt. So kann gewährleistet werden, daß jeder Schlamm seiner Qualität entsprechend weiterverwertet wird. Dies sorgt sowohl für eine erhöhte Qualität der Schlammprodukte, als auch für eine erhöhte Flexibilität im Umgang mit den Schlämmen, die einer einzelnen Kläranlage so kaum zugänglich sein dürfte. [11] Die entstehenden Erträge werden zur Betriebskostendeckung des Schlamm-Hofes eingesetzt. Eventuell entstehende Gewinne werden unter den beteiligten Schlammproduzenten nach vertraglich geregeltem Modus aufgeteilt.

Durch diese zentrale Strategie der Klärschlammbehandlung und -vermarktung entstehen

---

Vorteile, wie beispielsweise [11]:

- Verwertung und Entsorgung der Klärschlämme einer Region in kontrollierbaren und nachvollziehbaren Verfahren
- Entlastung der Betriebsorganisation von Klärwerken in bezug auf den Absatz und die Konzentration auf das Kerngeschäft Abwasserreinigung
- Geringere Investitionskosten in den Klärwerken
- starke Marktposition durch zentrales, professionelles Marketing

Dadurch können im Vergleich zum bisherigen Entsorgungskonzept erhebliche Kosteneinsparungen realisiert werden. Auf diesem Weg könnte auch ein weiterer Kostenanstieg für die Bürger im Bereich der Abwasserentsorgung unterbunden werden. Nachteilig ist der erhöhte Transportaufwand sowie die mit Einführung des Konzeptes schlechtere Auslastung der bestehenden Schlammbehandlungsanlagen der einzelnen Kläranlagen. Das Konzept müßte also so umgesetzt werden, daß Neuinvestitionen in den Kläranlagen vermieden werden und das Geld sofort in die Ausstattung des Schlamm-Hofes fließt. [11] Trotz der insgesamt positiven Bilanz des Konzeptes Schlamm-Hof wurde es bisher nicht in die Praxis umgesetzt. Ob sich das Konzept in der Zukunft durchsetzen kann, muß sich noch zeigen. [11]

#### **4. Kosten der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung**

Für die einzelnen Entsorgungswege entstehen unterschiedliche Kosten. Diese setzen sich aus verschiedenen Kostengruppen zusammen. Für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung sind dies die Kostengruppen der Behandlung, Lagerung, Transport, Boden- und Klärschlammuntersuchung, Ausbringung und Zahlungen an die Landwirte und den Klärschlammmentschädigungsfonds. Diese Kostengruppen existieren nicht nur bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, auch bei anderen Entsorgungsverfahren fallen diese Kosten teilweise an. Andererseits entstehen auch Erträge aus einzelnen Verfahren, so zum Beispiel durch Wärmegewinnung in der Verbrennung, Faulgasnutzung oder den Düngewert des Klärschlammes. Um einen Kostenvergleich der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung mit anderen Entsorgungswegen zu ermöglichen, ist es nicht ausreichend die Kosten der Verfahren in ihrer Gesamtheit zu betrachten. Vielmehr sind die einzelnen Kostenbestandteile sowie eventuell entstehende Erträge und Abhängigkeiten zwischen den Prozessschritten in den Entsorgungswegen einander gegenüberzustellen. Dies soll im folgenden für die landwirtschaftlich Klärschlammverwertung geschehen.

##### **4.1. Kosten der Schlammbehandlung**

Die Kosten der Schlammbehandlung fallen je nach Art und Durchführung der Behandlungsmaßnahme an für Stabilisierung, Entseuchung, Konditionierung, Eindickung, Entwässerung und Trocknung. Die Entscheidung, welche Behandlungsschritte durchgeführt werden, wird durch den späteren Entsorgungsweg bestimmt, wobei die Art der Behandlung erhebliche Auswirkung auf die Kosten der nachfolgenden Schritte haben kann. Die Kosten der Schlammbehandlung sind allgemein stark von der verwendeten Technik, der Anlagengröße und dem Auslastungsgrad der Anlage abhängig.

##### **4.1.1. Stabilisierungskosten**

Stabilisierungskosten bestehen insbesondere aus Investitionskosten, Personalkosten, Energiekosten, Instandhaltungskosten und Kosten für die Rückbelastung [4]. Die genauen Kosten der Stabilisierung hängen grundsätzlich davon ab, ob aerob oder anaerob stabilisiert wird. Prinzipiell wird mit steigender Anlagengröße die Schlammfäulung - im Vergleich zur aeroben Stabilisierung - kostengünstiger [3]. Die Entscheidung darüber wird anhand einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. DICHTL [3] gibt hierzu an, daß die Grenz-Anlagengröße, ab der der Einsatz einer Fäulung zu empfehlen ist, sich nach Literaturanga-

ben im Bereich zwischen 10.000 und 250.000 EW befindet. DICHTL [3] betont, diese Spanne zeige, daß es auf die Art und Weise der Betrachtung ankomme, da solch ein großes Intervall nicht nur durch örtliche Bedingungen begründet werden könne. DICHTL [3] mahnt die teilweise unvollständige Betrachtungsweise in der Literatur an und verweist dabei insbesondere auf die Kosten die Rückbelastung und die Einsparungen durch geringere Entsorgungskosten für stabilisierte Schlämme. DICHTL [3] kommt zu dem Schluß, daß eine Faulung sich in ökonomischer Hinsicht bei nahezu jeder Anlagengröße rentiert.

Werden aerobe und anaerobe Stabilisierung hinsichtlich ihrer Investitionskosten verglichen, so fallen diese bei der aeroben Stabilisierung deutlich geringer aus. Grund dafür sind die relativ großen erforderlichen Behältervolumina der anaeroben Stabilisierung [3]. Zur Berechnung der Investitionskosten werden von DICHTL [3] Richtpreise für die anaerobe Stabilisierung in Höhe von 1000 DM pro m<sup>3</sup> Behältervolumen für größere Anlagen sowie 2000 DM pro m<sup>3</sup> Behältervolumen für kleinere Anlagen angegeben. Diese Kosten verstehen sich inklusive Ausrüstung. Demgegenüber steht aber ein schlechterer Stabilisierungsgrad der aeroben Stabilisierung sowie hohe spezifische Kosten für einen Lufteintrag im Bereich von 10 bis 12 kWh/m<sup>3</sup>. DICHTL [6] gibt spezifische Faulungskosten (aerob) ohne Rückbelastung in Höhe von 100 - 450 DM an. DICHTL [4] errechnet am Beispiel einer Kläranlage mit 300.000 EW (entsprechend 10.000 t TS/a bei 90 g TS/EW\*d) spezifische Stabilisierungskosten (anaerob) von 230 DM. (Tabelle 9)

**Tabelle 9** Spezifische Kosten der Schlammstabilisierung

Kostenart	Kosten pro t TS
Investitionskosten	109 DM
Instandhaltung	11 DM
Personalkosten (4 Personen)	40 DM
Betriebskosten	10 DM
<b>Σ = spezifische Schlammfaulungskosten</b>	<b>Σ = 170DM</b>
<b>spezifische Rückbelastungskosten</b>	<b>116 DM</b>
<b>spezifischer Faulgasgewinn</b>	<b>-56 DM</b>
<b>spezifische Gesamt-Stabilisierungskosten</b>	<b><u>230 DM</u></b>

**Quelle**

Dichtl, N: Stellenwert und Kosten der Schlammstabilisierung. In: Korrespondenz Abwasser (1997), Nr. 10, S. 1740 - 1750

Die spezifische Faulungskosten betragen 170 DM. Dieser Betrag versteht sich als Summe aus Investitionskosten, Personalkosten und Betriebskosten der kompletten Anlage inklusive der zwingend erforderlichen Ausrüstung.

Die jährlichen Investitionskostenanteile errechnet DICHTL mit einem Zinssatz von 7 % p.a., einer Laufzeit von 30 Jahren (Bau) und 15 Jahren (Maschinen und Energietechnik) und einer Investitionssumme 6,8 Mio. DM (Bau) von 4,9 Mio. DM (Maschinen- und Energietechnik) unter Zuhilfenahme der Annuitätenmethode nach folgender Formel:

$$a = K * \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

a	Annuität	i	Zinssatz
K	Kapitalwert	n	Laufzeit

Die Instandhaltungskosten sind hier mit etwas über 10 % der Investitionssumme vergleichsweise hoch kalkuliert; an anderen Stellen in der Literatur (zum Beispiel bei ROEDIGER [25]) finden sich Werte im Bereich von 2 - 5 % der Investitionssumme.

Die Personalkosten stützen sich auf die Annahme, daß jeder der vier Angestellten Kosten in Höhe von 100.000 DM/a verursache. ROEDIGER [25] hingegen nimmt mit 80.000 DM/a etwas geringere Kosten pro Arbeitsstelle an. Die bei der Stabilisierung entstehende Rückbelastung wird von DICHTL [4] mit 116 DM pro t TS berechnet, dem liegt die Annahme spezifischer Kosten von 10 DM/kg N zugrunde. Den durch Faulgasnutzung entstandenen Ertrag beziffert DICHTL [4] auf 56 DM pro t TS Schlamm, wobei er von Energiekosten von 0,04 DM/kWh ausgeht. Ähnliche Kosten werden von ROEDIGER [25] angeführt. Für die Faulung gibt er spezifische Faulungskosten und spezifischen Faulgasertrag an, die bei 10 Tagen Aufenthaltszeit in der Faulung bei den in Tabelle 10 genannten Werten liegen.

Kosten für die Rückbelastung werden von ROEDIGER nicht betrachtet. Nimmt man Rückbelastungskosten in Höhe von 116 DM pro t TS an, so ergeben sich spezifische Gesamtstabilisierungskosten (anaerob) im Bereich von 140 - 460 DM pro t TS in Abhängigkeit vom Ausbaugrad. Es fällt auf, daß die Kosten der Faulung mit steigender Ausbaugröße stark sinken. Ein deutlicher Kostenvorteil der aeroben Stabilisierung gegenüber der Faulung ist nach den verwerteten Literaturangaben in keinem Fall erkennbar. Die aerobe Stabilisierung bietet sich daher aufgrund der geringen Investitionskosten nur für Kleinanlagen an. Genaue Kostenangaben sind von den örtlichen Gegebenheiten, den weiteren Behandlungs-

stufen aber auch insbesondere der Ausbaugröße und dem Durchsatz der Kläranlage abhängig.

**Tabelle 10** spezifische Schlammfäulungskosten und Faulgaserträge bei verschiedenen Ausbaugrößen

Ausbaugröße in EW	20000 EW $\cong$ 650 t TS/a	100000 EW $\cong$ 3300 t TS/a	500000 EW $\cong$ 16400 t TS/a
spezifische Schlammfäulungskosten (ohne Rückbelastung)	450 DM	240 DM	130 DM
spezifischer Faulgasgewinn (Strompreis 0,20 DM/kWh)	-105 DM	-105 DM	-105 DM

**Quelle** Roediger, M.: Fäulung und Trocknung zur Verminderung der Kosten und Erhöhung der Sicherheit bei der Entsorgung von Klärschlämmen. In: Korrespondenz Abwasser (1994), Nr. 4 S. 256 - 261

Abschließend ist zu bemerken, daß die anaerobe Stabilisierung im Vergleich zur aeroben Variante, wegen ihres weiteren Abbaus organischer Substanz, zu weit geringeren zu entsorgenden Schlammengen führt. Dies bedeutet einen grundsätzlichen Kostenvorteil der anaeroben vor der aeroben Stabilisierung in den nachfolgenden Verfahrensschritten einschließlich der Entsorgung.

#### 4.1.2. Entseuchungskosten

Die Kosten der Entseuchung sind, da die Entseuchung nicht mehr gesetzlich vorgeschrieben ist, Kosten, die durch die freiwillige Entscheidung des Kläranlagenbetreibers, seinen Schlamm zu entseuchen, verursacht werden. Sie stellen Kosten der Qualitätsverbesserung des Schlammes dar. Zur Entseuchung des Klärschlammes stehen verschiedene Verfahrenstechniken zur Verfügung. Die spezifischen Entseuchungskosten der unterschiedlichen Verfahren hängen ab von der Anlagengröße, der Verfahrensführung, dem Energieverbrauch, dem Bedarf an Verbrauchsmaterialien, dem Personalbedarf und dem Durchsatz der Anlage [13]. Anlagentypen mit höheren Investitionskosten sind meist durch niedrigere Betriebskosten gekennzeichnet, so daß sie durch ihren hohen Fixkostenanteil auf konstant hohe Durchsätze hin geplant werden sollten [14]. Die Entseuchung wird von den Anlagenbetreibern oft in die anderen Behandlungsschritte integriert, zum Beispiel in Stabilisierung und Konditionierung. Einzelnen zurechenbare Kosten für die Entseuchung fallen so nicht an, da die Entseuchung durch die restliche Behandlung überflüssig wird.

#### **4.1.3. Konditionierungskosten**

Konditionierungskosten sind die Kosten, die für eine der Entwässerung vorgeschaltete Konditionierung anfallen und vom Konditionierungsverfahren abhängen.

Die Kosten der chemischen Konditionierung bestehen hauptsächlich aus den Kosten für die Konditionierungsmittel, die Kosten der mechanischen Konditionierung aus den Kosten für die Filtrationshilfsmittel und die der physikalischen hauptsächlich aus Energiekosten für die Erwärmung oder Abkühlung des Schlammes.

Unter Umständen kann für die physikalische Konditionierung auch Abwärme aus anderen Aggregaten der Kläranlage, wie zum Beispiel der Wärme aus einer Biogasnutzung, verwendet werden. Die hierbei in Anspruch genommenen Leistungen sind der Konditionierung im Zuge der innerbetrieblichen Leistungsverrechnung zuzuordnen und zu den Kosten der Konditionierung zu addieren. Kostensenkend auswirken kann sich die Anwendung eines Eindickers vor der Konditionierung oder vor der Faulung, da durch die Eindickung der Wassergehalt gesenkt wird und so eine geringere Menge an Konditionierungsmitteln benötigt wird.

Je höher der Feststoffgehalt liegt, der mit der Entwässerung erreicht werden soll, desto sorgfältiger muß die Konditionierung auf den Entwässerungsprozeß abgestimmt sein.

Eine verstärkte Konditionierung kann sich auf die weitere Entsorgung kostensenkend auswirken, da durch die verbesserten Entwässerungseigenschaften der erreichbare Trockensubstanzgehalt in der Entwässerung erhöht wird. Dadurch sinkt das zu entsorgende Restschlammvolumen. Andererseits muß bemerkt werden, daß eine chemische Konditionierung auf der Zugabe von Konditionierungsmitteln basiert, die ihrerseits das Restschlammvolumen erhöhen. Es kommt also darauf an, das richtige Verhältnis von Konditionierungs- und Entwässerungsgrad zu finden. Bei der Schlammabgabe an ein Entsorgungsunternehmen ist zu beachten, ob der Preis sich auf das zu entsorgende Volumen oder auf den Trockenrückstand bezieht. Denkbar ist auch ein vertraglich festgesetzter Trockensubstanzgehalt von dem ein Abweichen grundsätzlich nicht möglich ist.

#### **4.1.4. Eindickungskosten**

Die für die Eindickung entstehenden Kosten bestehen aus Investitionskosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie Energiekosten. Da die Eindickung ein einfach durchzuführendes, mechanisches Verfahren darstellt, ist mit verhältnismäßig geringen Kosten zu rechnen. Genau Kostenwerte für die Bestandteile oder Gesamtkosten der Eindickung sind in der

Literatur nicht zu finden. Dies könnte an der, im Verhältnis zu den restlichen Kosten der Behandlungskette, geringen Bedeutung der Eindickungskosten liegen. Vielfach wird die Eindickung nicht als getrenntes Verfahren betrachtet. Die Entwässerung wird oft mehr als Vorbereitungsstufe des Entwässerungsprozesses verstanden.

#### **4.1.5. Entwässerungskosten**

Entwässerungskosten sind die Kosten, die für alle mit der Entwässerung in Zusammenhang stehenden Aufwendungen entstehen. Dies sind insbesondere Personalkosten, Energiekosten und Investitionskosten. Die Entwässerungskosten sind abhängig vom Eingangsfeststoffgehalt, vom Ausgangsfeststoffgehalt, von den Entwässerungseigenschaften, der Konditionierung und dem verwendeten Entwässerungsaggregat [8]. Je größer die Differenz von Eingangs- und Ausgangsfeststoffgehalt ist und je höher der angestrebte Ausgangsfeststoffgehalt absolut liegt, desto höher sind die anfallenden Kosten des Entwässerungsprozesses. Der Eingangsfeststoffgehalt hängt von den vorhergehenden Behandlungsstufen ab. Unterschiede können sich hier zum Beispiel durch die Benutzung eines Voreindickers ergeben.

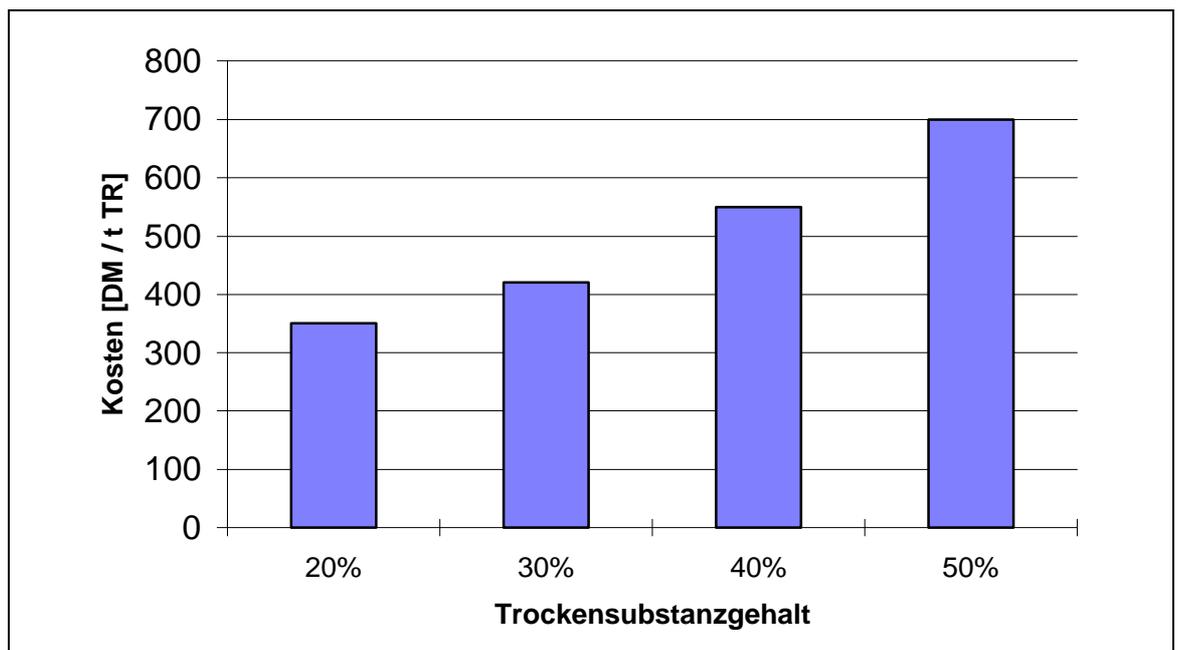
Die Entwässerungseigenschaften sind je nach Schlamm unterschiedlich. Sie hängen unter anderem von Art und Grad der Stabilisierung ab. Grundsätzlich gilt für die biologische Stabilisierung, daß der Schlamm um so besser zu entwässern ist, je länger und gründlicher er stabilisiert wurde. Je besser die Entwässerungseigenschaften nach der Stabilisierung schon sind, desto weniger Konditionierungsmittel müssen eingesetzt werden. [29] Ein optimal vorbereiteter Schlamm ist im Ausmaß der erreichbaren Feststoffabscheidung nur noch vom möglichen Preßdruck und der zugehörigen Wirkzeit im Entwässerungsaggregat abhängig [29].

Der angestrebte Trockensubstanzgehalt ist eine wichtige Eigenschaft für die verwendete Aufbringungstechnik in der Landwirtschaft und muß daher mit dem späteren Abnehmer im vorhinein abgestimmt werden. Hinsichtlich des Transportvolumens, wie auch des zu transportierenden Gewichtes, ist die Entwässerung auch ein wichtiger Einflußfaktor für die Transportkosten. Es sollen im folgenden einige Zahlen aus der Literatur verglichen werden. Nach DICHTL [5] liegen die Entwässerungskosten bei:

- Kammerfilterpressen bei 180 - 450 DM pro t TS
- Zentrifugen 100 - 250 DM pro t TS
- mobilen Zentrifugen 400 - 600 DM pro t TS

An anderer Stelle gibt DICHTL Entwässerungskosten von 400 - 600 DM pro t TS für Klein-

und Kleinstanlagen oder mobile Anlagen an. Werte von 200 DM oder darunter sind DICHTL zufolge nur für Großanlagen zu erreichen. Im Mittel kann von einem Wert von ca. 300 DM pro t TS ausgegangen werden. [4] EITNER et al. geben die Kosten der Entwässerung in Abhängigkeit vom erreichten Feststoffgehalt an (Bild 4). Sie gehen dabei von einem Anfangsfeststoffgehalt von 5 % TR nach statischer Eindickung aus. Die Kosten beinhalten alle Investitions- und Betriebskosten inklusive Abschreibungs-, Lohn-, Versicherungs- und sonstiger Nebenkosten. [8]



**Bild 4** Kosten der Klärschlammmentwässerung in Abhängigkeit vom erreichten Feststoffgehalt

**Quelle** Eitner, R.; Dauber, S.; Tränkler, J.. In: Gallenkemper, B.; Dohmann, M. (Hrsg.): Klärschlamm Entsorgung (: Grundlagen und ausgewählte Verfahren). Bonn: Economica Verlag, (1994), S. 49

Wie in Bild 4 zu erkennen ist, steigen mit zunehmendem Entwässerungsgrad die Kosten der Entwässerung exponentiell an. Durch diese steigenden Grenzentwässerungskosten wird ab einem Entwässerungsgrad von etwa 40 % TR die thermische Trocknung ökonomisch konkurrenzfähig. [8]

Eine Anfrage an den Wasser- und Abwasserverband Havelland [30] ergab für die Entwässerung von Frischschlamm mit 2,5 % Trockensubstanzgehalt auf 23 % Trockensubstanzgehalt Kosten von 11 DM je m<sup>3</sup> entwässerten Frischschlammes. Die ist der Preis den ein beauftragter Unternehmer für die Entwässerung mit einem mobilen Aggregat verlangte.

#### 4.1.6. Trocknungskosten

Die für die Trocknung des Klärschlammes entstehenden Kosten setzen sich hauptsächlich aus den Investitionskosten, Personalkosten, Energiekosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten zusammen [29]. Die Kosten der Trocknung sind vom Eingangstrockensubstanzgehalt des Schlammes, dem angestrebten Ausgangstrockensubstanzgehalt und der verwendeten Technik abhängig. Eingangs- und Ausgangsfeststoffgehalt bestimmen, wie schon in der Entwässerung, maßgeblich den möglichen Schlammumsatz des Trockners. Je höher entwässert der Inputschlamm ist, desto höher ist auch der Umsatz. Folglich sind die spezifischen Kosten pro Tonne Schlammumsatz geringer, da die anfallenden Betriebskosten auf eine größere Menge Schlammes umgerechnet werden. [29] Ebenso können die spezifischen Behandlungskosten durch eine Erhöhung der Betriebszeit gesenkt werden, da auch so der Umsatz einer Anlage erhöht werden kann und ein geringerer Anteil spezifischer Kapitalkosten auf die einzelne Tonne Trockensubstanz entfällt.

THOMÉ-KOZMIENSKY [29] führt einen Kostenvergleich anhand einer Beispielrechnung durch. In Tabelle 11 sind die ermittelten Zahlen unter der Annahme von 6000 h/a Betriebszeit und Eingangs- und Ausgangsfeststoffgehalten von 25 % TR und 90 % TR dargestellt.

Hauptkostenfaktor dieser Trocknungsanlage sind die Kapitalkosten, gefolgt von Personal- und Brennstoffkosten. Die hohen Brennstoffkosten basieren auf der für die Wasserverdampfung benötigten Energie, die von außen zugeführt werden muß. Einer eventuell durchzuführenden Wärmerückgewinnung und der Nutzung der zurückgewonnenen Energie kommt daher besondere Bedeutung zu. Obgleich der Energiebedarf durch eine Rückgewinnung der Wärme stark gesenkt werden kann stellt das Vorhandensein eines billigen Energieträgers, wie zum Beispiel Stromerzeugung aus Faulgas oder die dabei entstehende Abwärme, einen entscheidenden Wirtschaftlichkeitsfaktor dar.

**Tabelle 11** Beispielrechnung zu spezifischen Trocknungskosten

<b>Spezifische Investitionskosten</b>	211 DM pro t TS	
Elektroenergie [0,22 DM/kWh]	42 DM pro t TS	
Brennstoff (Erdgas) [0,55 DM/Nm <sup>3</sup> ]	151 DM pro t TS	
Betriebswasser [0,15 DM/m <sup>3</sup> ]	25 DM pro t TS	
Personalkosten [65 DM/h]	188 DM pro t TS	
Wartungs-/Instandhaltungskosten (3 % der Investitionssumme)	58 DM pro t TS	
<b>Spezifische Betriebskosten</b>	Σ =	464 DM pro t TS
<b>Spezifische Behandlungskosten</b>	<b>675 DM pro t TS</b>	
<b>Annahmen:</b>	Zinssatz :	7,00 %
	Laufzeit:	15 Jahre
	⇒ Annuität:	10,89 %
	Gesamtinvestition:	4.000.000 DM
	Input-Schlamm mit:	25 % TR
	Output-Schlamm mit:	90 % TR
	Betriebszeit:	6000 h/a
	Durchsatz:	2100 t TR/a

**Quelle** Thomé-Kozmiensky, K.J.: Klärschlamm Entsorgung. Neuruppin: TK Verlag Thomé-Kozmiensky (1998), S. 441 (bearbeitet)

THOMÉ-KOZMIENSKY [29] gibt die Kosten auch für andere Eingangstrockensubstanzgehalte und eine Betriebszeit von 8000 h/a an. Diese Zahlen sind in Tabelle 12 für die oben besprochene Anlage genannt.

**Tabelle 12** Trocknungskosten in Abhängigkeit vom Eingangstrockensubstanzgehalt und der Jahresbetriebszeit

Eingangstrockensubstanzgehalt	Kosten bei einer Betriebszeit von 6000 h/a	Kosten bei einer Betriebszeit von 8000 h/a
25 %	675 DM pro t TS	658 DM pro t TS
28 %	575 DM pro t TS	561 DM pro t TS
30 %	519 DM pro t TS	506 DM pro t TS

**Quelle** Thomé-Kozmiensky, K.J.: Klärschlamm Entsorgung. Neuruppin: TK Verlag Thomé-Kozmiensky (1998), S. 441 (bearbeitet)

Die Energiekosten pro t TS betragen bei THOMÉ-KOZMIENSKY abhängig vom Eingangstrockensubstanzgehalt 149 DM - 194 DM.

OTTE-WITTE [23] gibt die in Tabelle 13 dargestellten Energiekosten in Abhängigkeit von der benutzten Trocknungstechnik an.

**Tabelle 13** Spezifischer Energiebedarf der thermischen Klärschlamm-trocknung

Trocknungsverfahren	Thermischer Energiebedarf MJ/t Wasser	Elektrischer Energiebedarf kWh/t Wasser	Gesamtenergiekosten DM/t Wasser (A)	spezifische Kosten DM/t TS (B)
<b>Theoretische Enthalpie (C)</b>	2744		27,44	79,28
<b>Konvektionstrockner mit Heißgaserzeuger (übliche Technologie)</b>	3200 - 3500	50 - 80	41 - 49,40	118 - 143
<b>Konvektionstrockner mit Heißgaserzeuger (optimierte Technologie)</b>	2426 - 3000	100 - 156	42,26 - 58,08	122 - 168
<b>Luftbandtrockner im Umluftbetrieb</b>	3000 - 3500	70	42,60 - 47,60	123 - 138
<b>Kontaktstrockner dampfbeheizt</b>	2700 (D)	100	45,00	130
<b>Kontaktstrockner über Thermoöl beheizt</b>	3000 (E)	100	48,00	139
<b>Kontaktstrockner mit Brückenkompensation (Wärmepumpe, <math>\Delta T=25^\circ \text{C}</math>)</b>	0 (F)	260 - 300	46,80 - 54,00	135 - 156
<b>Wirbelschichtstrockner heißdampfbeheizt</b>	2730 - 3000 (D) 3200 - 3450 (E)	73 73	40,44 - 42,60 45,14 - 47,64	117 - 123 131 - 138

(A) thermische Energie berechnet mit 0,036 DM/kWh bzw. 0,01 DM/MJ  
elektrische Energie berechnet mit 0,18 DM/kWh bzw. 0,05 DM/MJ  
(B) bei Trocknung von 25 % auf 90 %  
(C) ohne Wärmerückgewinnung,  
Trockenguttemperatur  $T=100^\circ \text{C}$ ,  
Abgastemperatur  $T=150^\circ \text{C}$   
(D) primär  
(E) inklusive Wirkungsgrad des Dampf- bzw. Thermoölerhitzers  
(F) erforderlich nur für Anfahrbetrieb

**Quelle** Otte-Witte, R.: Klärschlamm-trocknung. In: Entsorgungspraxis Spezial, (1990), Nr. 4, S. 43 - 51

Die von OTTE-WITTE [23] ermittelten spezifischen Energiekosten betragen unabhängig von der benutzten Technik im Mittel 130 DM/t TS, weil sich die verschiedenen Verfahren sich hinsichtlich des Energiebedarfs nur geringfügig unterscheiden. Auch liegen die Kosten in einem ähnlichen Bereich wie die von THOMÉ-KOZMIENSKY [29] genannten Energiekosten. Als Entscheidungskriterium bei der Verfahrensauswahl sind die Energiekosten daher kaum geeignet.

THOMÉ-KOZMIENSKY [29] gibt abhängig vom Verfahren folgende spezifischen Trocknungskosten pro t TS an, die sich aus Angebotspreisen ermittelten:

- 250 DM - 430 DM pro t TS für die Trommeltrocknung,
- 320 DM - 500 DM pro t TS für die zweistufige Kontaktstrocknung,
- 380 DM - 580 DM pro t TS für die Wirbelschichtstrocknung.

Diese Zahlen beziehen sich auf Eingangstrockensubstanzgehalte von 25 % - 30 % TR und einer Trocknung auf 90 % TR.

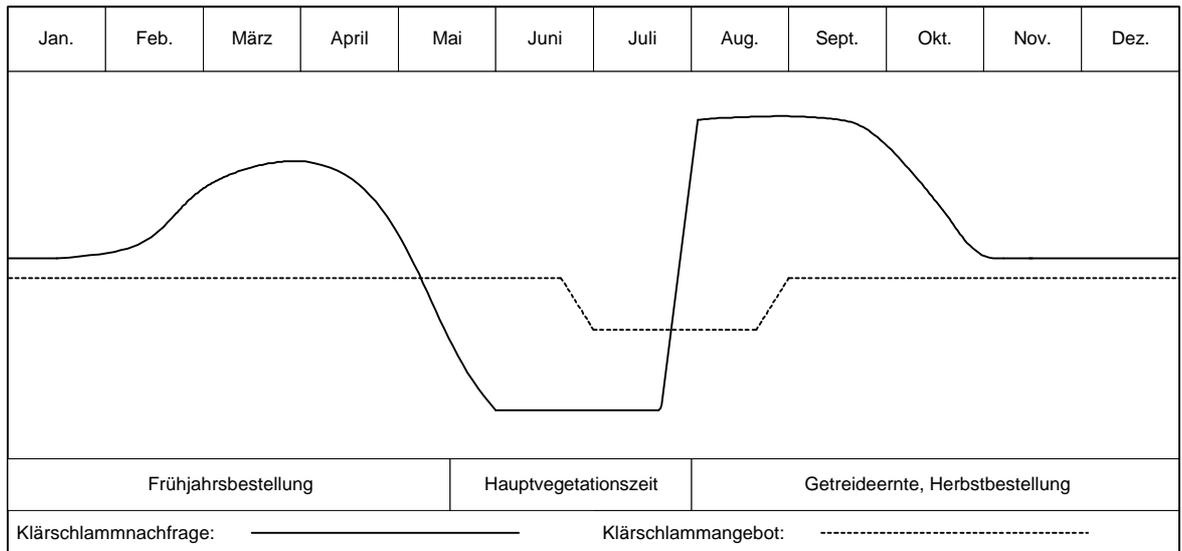
Die spezifischen Kosten einer Anlage reichen nicht zu einer umfassenden Bewertung der Anlage aus. Die Wahl eines Trocknungsverfahrens ist vielmehr in Abhängigkeit von der konkreten Entsorgungskette zu treffen. Die zur Auswahl stehenden Verfahren sind hinsichtlich der folgenden Kriterien zu bewerten. [29]

- verfahrenstechnische Kriterien, zum Beispiel Flexibilität des Durchsatzes
- ökologische Kriterien, zum Beispiel Schwermetallbelastung der Abluft
- wirtschaftliche Kriterien, zum Beispiel Höhe der Betriebskosten.

Auf Grundlage der Bewertung dieser Kriterien kann dann eine situationsentsprechende, beste Lösung bestimmt werden.

#### **4.2. Lagerkosten**

Lagerkosten entstehen, weil der relativ kontinuierliche Prozeß der Klärschlammstehung nicht mit dem diskontinuierlich ablaufenden Düngeprozeß der Landwirtschaft übereinstimmt [19]. Der Zusammenhang von Klärschlammangebot und -nachfrage in Abhängigkeit von der Jahreszeit ist in Bild 5 dargestellt. Die jahreszeitlichen Unterschiede von Klärschlammangebot und -nachfrage können durch eine Zwischenlagerung nivelliert werden. Das Klärschlammangebot ist über das Jahr gesehen beinahe konstant, lediglich in den Sommermonaten besteht ein etwas geringerer Schlammanfall. Die Klärschlammnachfrage hingegen ist vom landwirtschaftlichen Betriebsablauf abhängig. Der Landwirt kann den Schlamm nicht während der Vegetationsperiode aufbringen. Eine Ausbringung des Schlammes und die zugehörige Einarbeitung in den Boden kann vor der Bestellung oder in Ruheperioden geschehen. Dabei muß die Anbauplanung für die folgenden Perioden beachtet werden und anhand dessen die Entscheidung darüber getroffen werden, in welchen Mengen und zu welchen Zeitpunkten der Schlamm verwertet wird. Auch das von der DüngeV vorgeschriebene Ausbringungsverbot für flüssige Schlämme in bestimmten Zeiten ist zu beachten und erfordert in dem entsprechenden Zeitraum Lagerkapazitäten. In bestimmten Fällen können, bei kontinuierlichem Schlammabtransport durch ein Entsorgungsunternehmen, die Lagerkosten Teil eines vereinbarten Festpreises sein. Inwieweit die Kosten dann auch anfallen, hängt von den Gegebenheiten des Unternehmens ab, das möglicherweise während der Perioden, in denen eine Klärschlammausbringung nicht möglich ist, den Schlamm in anderer Weise entsorgt. Denkbar wäre eine Kompostierung und die Ausbringung des Klärschlammkompostes zu einem späteren Zeitpunkt.



**Bild 5** Jahreszeitliche Schwankungen von Klärschlammangebot und -nachfrage

**Quelle** Linszen, K.; Kugel, G.: Praktische Durchführung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, dargestellt am Beispiel des Niersverbandes. In: LUFA Bonn (Hrsg.): Klärschlamm und Landwirtschaft, (1988), S. 79 - 104

### 4.3. Transportkosten

Die Transportkosten berechnen sich aus entfernungsunabhängigen sowie entfernungsabhängigen Kosten. Der entfernungsunabhängige Kostenanteil wird durch grundsätzlich anfallende Leistungen wie zum Beispiel Ladetätigkeiten sowie Bereitstellungskosten und Anfahrtswege erzeugt. Der entfernungsabhängige Anteil hingegen ist in bestimmten Intervallen linear von der Transportentfernung abhängig. Er wird neben der Entfernung vor allem von Faktoren wie dem Ausbaugrad der Strecke und der voraussichtlichen Transportdauer bestimmt. Die Transportkosten werden generell eher durch das Volumen des zu transportierenden Gutes und weniger durch das Gewicht bestimmt.

Die Transportkosten stehen in einem direkten Verhältnis zu den Entwässerungskosten. Mit dem Entwässerungsgrad steigen die Entwässerungskosten, die Transportkosten aber sinken, da ein geringeres Schlammvolumen zu transportieren ist. Die Transportkosten des Schlammes sind gegen dessen Entwässerungskosten abzuwägen. Ein kostenoptimaler Entwässerungsgrad hinsichtlich der Transportkostenerwartung kann zum Beispiel mit Hilfe der linearen Optimierung ermittelt werden. Grundsätzlich wird jedoch bei zunehmender Entfernung angestrebt werden, das Transportvolumen durch Entwässern des Schlammes zu verringern.

Es finden sich in der Literatur verschiedene Angaben zu den Transportkosten in Abhängig-

keit von der Entfernung. KEDING [14] gibt beispielsweise Kosten von 0,53 DM pro Kilometer und 4,44 DM für den Fixkostenanteil pro t TS an, unter der Annahme eines LKW mit einem 6 m<sup>3</sup> Tank und einer Be- und Entladezeit von jeweils 10 Minuten bei einem Stundenlohn von 80 DM sowie einer durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit von 25 Stundenkilometern. [14] Es ist zu erkennen, daß KEDINGS Zahlen nur für regionale Entfernungen berechnet sind, da bei einem überregionalen Transport die Durchschnittsgeschwindigkeit weit über 25 Stundenkilometer liegen dürfte.

Etwas andere Kosten gibt die ATV an. Die von der ATV angegebenen Kosten betragen 23 DM bei einer Entfernung von 20 Kilometern und bis zu 65 DM bei einer Entfernung von 600 Kilometern. Ein entfernungsunabhängiger Anteil von 21,55 DM und Kosten pro Kilometer von 0,0724 DM pro m<sup>3</sup> können herausgerechnet werden. Diese Zahlen sind nur als Anhaltswerte zu verwenden, da, wie schon angesprochen, keine Konstanz des Quotienten von Kilometerkosten und Entfernung unterstellt werden kann. Auch kann davon ausgegangen werden, daß auf längeren Entfernungen eher größere LKW zum Einsatz kommen, während kürzere Entfernungen eher mit kleineren LKW durchgeführt werden, wodurch die Kosten pro Kubikmeter erheblich voneinander abweichen.

#### **4.4. Analysekosten**

Kosten für Bodenuntersuchungen und Klärschlammanalysen entstehen im Rahmen der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Untersuchungen und Zeiträume. Die spezifischen Analysekosten sind damit abhängig vom Preis der Analyse bei einem zugelassenen Institut, dem Abstand zwischen den Untersuchungen und der Aufbringungsmenge. Die Boden und Schlammuntersuchungen dienen, zusätzlich zu ihrer gesetzlichen Überprüfung, auch als Grundlage bei der Erstellung des Aufbringungs- und Düngesplanes sowie der Aufstellung der Düngebilanz. Die Kosten bewegen sich nach Literaturangaben im Bereich von etwa 10 DM/t TS bis 40 DM/t TS für Boden- und Schlammanalyse [9, 31].

Anfragen bei drei vom MUNR bestimmten Untersuchungsstellen, ergaben die in Tabelle 14 dargestellten Kosten für die einzelnen Untersuchungen.

**Tabelle 14** Preise der unterschiedlichen Boden- und Schlammanalysen bei verschiedenen Untersuchungsinstituten

Untersuchung nach:	Abstand der Untersuchungen	Agrolab	AUA	DBI-AUA	Ø-Kosten
§ 3 Abs. 5 AbfKlärV (Schlamm auf Schadstoffe, Nährstoffe, pH-Wert)	6 Monate	380 DM	300 DM	325 DM	335 DM
§ 3 Abs. 5+6 AbfKlärV (Schlamm auf Schadstoffe, Nährstoffe, pH-Wert & PCB, PCDF, PCDD)	2 Jahre	1.600 DM	1.100 DM	1.000 DM	1.230 DM
Anhang 7 VV des MUNR (nur importierte Schlämme, auf PAK und MKW)	2 Monate	150 DM	100 DM	100 DM	315 DM
§ 3 Abs. 2+4 AbfKlärV (Boden auf Schadstoffe, Nährstoffe, pH-Wert)	10 Jahre	120 DM	90 DM	140 DM	115 DM
§ 3 Abs. 4 AbfKlärV (Boden auf Nährstoffe und pH-Wert)	einmalig	25 DM	---	40 DM	30 DM

**Quelle** Agrolab, AUA., DBI-AUA

Die Kosten der Boden- und Klärschlammanalyse entstehen erstmals vor der Aufbringung und dann wieder nach den in Tabelle 14 wiedergegebenen Zeiträumen. Die Kosten der Schlammmuntersuchungen fallen unabhängig von der Zahl der Flächen an. So haben sie nach einer grundsätzlichen Entscheidung für die landwirtschaftliche Verbringung Fixkostencharakter. Sie sind auf die Gesamtmenge ausgebrachten Schlammes umzurechnen. Eine Kläranlage mit 300.000 EW (entsprechend etwa 10.000 t TS Schlamm, vgl. Kapitel 4.1.5) hätte so Schlammanalysekosten in Höhe von 0,11 DM pro t TS, wenn sie zu 100 % in die Landwirtschaft abgibt. Die zugrundeliegende Rechnung ist in Tabelle 15 dargestellt

**Tabelle 15** Beispielerrechnung der Schlammanalysekosten

Schlammuntersuchung nach:	Untersuchungsabstände	Untersuchungskosten	Zahl der Untersuchungen	Kosten summiert über 10 Jahre
§ 3 Abs. 5 AbfKlärV	6 Monate	335 DM	15 (A)	5.025 DM
§ 3 Abs. 5+6 AbfKlärV	2 Jahre	1.230 DM	5	6.150 DM
spezifische Schlammanalysekosten pro Tonne Klärschlamm:				Σ=11.175 DM (11.175 DM / (10 * 10.000 t TS)) = 0,11 DM/t TS
(A) (20-5) = 15 Untersuchungen, da alle 2 Jahre Untersuchung nach § 3 Abs. 5 in Untersuchung nach § 3 Abs. 5+6 enthalten !				

Die spezifischen Schlammanalysekosten erscheinen sehr niedrig, sind aber plausibel, da tatsächlich sehr große Mengen Schlammes mit verhältnismäßig geringem analytischen Aufwand abgedeckt werden.

Die entstehenden Bodenuntersuchungskosten können hingegen nur auf die entsprechend auf den Boden aufgebrachten Klärschlammengen umgerechnet, und somit ein spezifischer Analysepreis pro t TS ermittelt werden.

Von jedem einheitlich bewirtschafteten Grundstück ist nach Anhang 2 Abs. 1 AbfKlärV bei einer Größe bis zu einem Hektar mindestens eine Durchschnittsprobe zu entnehmen. Auf größeren Grundstücken sind Proben aus Teilen von circa einem Hektar zu nehmen, während bei einheitlicher Bodenbeschaffenheit und gleicher Bewirtschaftung aus Teilen bis zu drei Hektar eine Durchschnittsprobe ausreichend ist.

Es sollen anhand einer Beispielrechnung in Tabelle 16 die Analysekosten pro t TS Klärschlammes bestimmt werden. Dabei wird angenommen, daß jeweils zu Beginn von drei Jahren fünf Tonnen Schlamm in einer Ausbringung aufgebracht werden und pro Hektar eine Durchschnittsprobe genommen wird. Die Kosten können von den errechneten Kosten abweichen, wenn die erwähnte Möglichkeit genutzt wird, eine Probe auf drei Hektar zu entnehmen oder weniger als fünf Tonnen auf einen Hektar aufgebracht werden. Als Kosten der Untersuchungen werden die obig aufgeführten Durchschnittswerte verwendet.

**Tabelle 16** Wiederholungszeiträume und spezifische Kosten der Bodenuntersuchungen, in Abhängigkeit von der Vertragslaufzeit

Art der Untersuchung	Abstand der Untersuchungen	Kosten pro Untersuchung und Hektar	Kosten pro t TS bei einmaliger Aufbringung (=5 t TS)	Kosten pro t TS bei zweimaliger Aufbringung (=10 t TS)	Kosten pro t TS bei dreimaliger Aufbringung (=15 t TS)
Bodenuntersuchung nach § 3 Abs. 2+4 AbfKlärV	10 Jahre	115 DM	23 DM	12 DM	8 DM

Zu den Kosten der Analysen sind die Kosten der Probennahme zu addieren.

Der errechnete Preis pro t TS ist abhängig von der Nutzungsdauer der Flächen. Es ergibt sich also ein Kostenvorteil bei langfristiger Nutzung großer Flächen, da hierfür bei einmaliger Bodenuntersuchung über die Jahre hinweg große Mengen an Schlamm verbracht werden können. Dennoch sind nur etwa 20 % der abgeschlossenen Verträge, zumindest in Nordwestbrandenburg, Verträge über mehr als einmalige Aufbringung, 80 % hingegen einmalige Aufbringungsverträge. Dies geht aus einer Untersuchung des BUFZ über die Klärschlammverwertung hervor. Ob schon einmal beschlammte Flächen wieder für eine

Ausbringung genutzt werden, geht aus der Untersuchung nicht hervor. Es wäre also denkbar, daß eine Fläche im Dreijahresabstand schlammgedüngt wird und jedesmal ein neuer einmaliger Vertrag ausgehandelt wird. Von der Kostenseite betrachtet wäre dies kein Unterschied zu einem langfristigen Vertrag. Der hohe Anteil einmaliger Verträge dürfte auch an den großen Mengen importierter Schlämme in Brandenburg liegen [2].

#### **4.5. Ausbringungskosten**

Bei der Entstehung der Ausbringungskosten kommt es darauf an, ob der Klärschlammherzeuger den Schlamm selber ausbringt oder dies vom Landwirt oder einem Dritten übernommen wird. Im Fall der Ausbringung durch den Landwirt wird sich die Zahlung an den Landwirt erhöhen, da die Ausbringung für ihn einen erheblichen Mehraufwand bedeutet. Einen wichtigen Faktor stellt hier die Transportentfernung dar. Mit wachsender Entfernung der Fläche von der Kläranlage steigt die Wahrscheinlichkeit, daß der Schlamm vom Landwirt selbst aufgebracht wird.

Die Kosten der Ausbringung hängen von der verwendeten Ausbringungstechnik ab. Insbesondere von den Investitionskosten der Technik, aber auch von Parametern wie der Ausbringungsgeschwindigkeit und dem benötigten Personalaufwand. Die genauen Ausbringungskosten könne nur einzelfallspezifisch ermittelt werden.

#### **4.6. Zahlungen an die Landwirte**

Obwohl der Landwirt durch die Abnahme des Klärschlammes erhebliche Mengen mineralischen Düngers einsparen kann, hat der Klärschlamm einen negativen Preis, das heißt, daß ein potentieller Abnehmer für den Schlamm eine Ausgleichszahlung verlangt. Diese Zahlungen verlangen die Landwirte auch, um eventuell bestehende Risiken, Probleme mit Abnehmern und sich im Zeitablauf verschärfenden Schadstoffgrenzwerten finanziell auszugleichen. Basiert aber auch deshalb, weil Klärschlamm in der öffentlichen Meinung ein schlechtes Image hat, so daß dies die Vorteile des Düngewertes überwiegt. Zum anderen wird von den Landwirten der Umstand genutzt, daß die anderen Entsorgungswege auch zu Kosten für den Klärschlammabgeber führen und er insofern prinzipiell zu Zahlungen bereit ist.

Daß Zahlungen an die Landwirte geleistet werden hat unterschiedliche Folgen. Die Zahlungen an die Landwirte können zum Beispiel dicht am Ertragswert aus landwirtschaftlicher Bewirtschaftung liegen, und der Landwirt könnte versuchen seinen Gewinn hauptsächlich aus Klärschlammausbringung und weniger aus landwirtschaftlichem Betrieb zu erzielen.

Infolgedessen kann es dazu kommen, daß die gute fachliche Praxis außer acht gelassen wird und mehr Schlamm aufgebracht wird, als dem Boden und der Saat zuträglich ist. Eine zweite Folge der Zahlungen kann ein ständiges Überbieten der entsorgenden Unternehmen bei den Ausgleichszahlungen sein, so daß langfristig der Markt für Deponierung und Verbrennung relativ günstiger wird. Es läßt sich für die mit der Klärschlammdüngung in Zusammenhang stehenden Risiken - wie Absatzproblemen oder Grenzwertverschärfungen - kein objektiver Preis bestimmen, der mit dem Düngewert verrechnet werden könnte. Die Zahlungen an die Landwirte sind folglich eher willkürlich und richten sich nach den ortsüblichen Preisen sowie den Preisen für Entsorgungsalternativen wie Deponie oder Kompostierung. Desweiteren hängen sie von der grundsätzlichen Abnahmebereitschaft der Landwirte ab, sowie den zu erwartenden Sanktionierungen von Abnehmern der landwirtschaftlichen Produkte.

Die Abnahmezahlungen an die Landwirte können sich an unterschiedlichen Bezugsmaßen orientieren, zum Beispiel:

- Tonne Originalsubstanz
- Tonne Trockensubstanz
- Kubikmeter Originalsubstanz
- Hektar Ackerfläche

Welches Bezugsmaß für die Zahlung vereinbart wird, ist im Prinzip unerheblich. Nach § 6 AbfKlärV dürfen innerhalb von drei Jahren nicht mehr als fünf Tonnen Trockensubstanz pro Hektar ausgebracht werden. Dies bedeutet, daß beispielsweise der Preis pro Hektar dem Preis für fünf Tonnen TS entsprechen sollte. Auch wird sich der Landwirt, unabhängig vom Bezugsmaß, schon während der Vertragsverhandlungen an seinem Gesamtgewinn orientieren. Für den Landwirt ist nur erheblich, welchen Trockensubstanzanteil der Schlamm hat, wenn er ihn selbst aufbringt. In diesem Fall wird der Aufwand und die Möglichkeit der Aufbringung vom Trockensubstanzgehalt abhängen. Wenn der Schlammanbieter die Ausbringung übernimmt bedeutet es für den Landwirt keinen Unterschied in welcher Weise abgerechnet wird. Um Mißverständnissen vorzubeugen, soll im weiteren stets von den Kosten pro t TS ausgegangen werden.

#### 4.7. Düngewert des Klärschlammes

Klärschlamm ist ein Abfallstoff der Abwasserreinigung, hat aber mit seinem Phosphatgehalt und Stickstoffverbindungen eine Düngewirkung, die für die Landwirtschaft einen Wert darstellt. Diesen sogenannten Düngewert hat der Schlamm aber nur dann, wenn er durch relativ konstante Nährstoffwerte unproblematisch in die Düngemittelbedarfsermittlung einbezogen werden kann.

Durch Klärschlammverwertung können große Mengen mineralischen Düngers eingespart werden. Somit können durch den Einsatz von Klärschlamm als Dünger teilweise erhebliche Kostensenkungen realisiert werden [22]. Langfristig, so die Abwassertechnische Vereinigung, könnte durch eine hundertprozentige landwirtschaftliche Klärschlammverwertung der Bedarf an Mineraldüngern für Phosphate in der Landwirtschaft fast halbiert werden [9].

Einsparungen der Landwirte durch Klärschlammeinsatz werden in der Literatur unterschiedlich bewertet. Sie bewegen sich nach THOMÉ-KOZMIENSKY [29] im Bereich bis zu 90 DM pro Hektar.

KERSCHBERGER et al. [15] hingegen ermitteln eine Düngereinsparung in Höhe von 315,70 DM pro Hektar bei voller Nährstoffausnutzung und einer Aufbringung von 5 t TS (Tabelle 17). Diese Werte werden ermittelt, indem die Nährstoffe des Schlammes zu Preisen von Mineraldünger bewertet werden.

**Tabelle 17** Mögliche Kosteneinsparung durch Klärschlammeinsatz

Nährstoff	mittlere Düngekosten in DM/kg Reinnährstoff	Nährstoffmengen in kg/ ha	Kosteneinsparung in DM/ha
Stickstoff	0,90	41	36,90
Phosphor	1,85	75	138,75
Magnesium	0,85	35	29,75
Kalk	0,24	460	110,40
<b>Gesamt:</b>			<b><u>315,70</u></b>

**Quelle** Kerschberger, M.; Krause, O.; Henke, U.: Klärschlammeinsatz mit Bedacht. In: Neue Landwirtschaft (1998), Nr. 8, S. 51 - 53

Ähnliche Angaben hinsichtlich der Nährstoffpreise finden sich bei KEDING [14]. Er ermittelt einen Düngewert von 88 DM bis 160 DM pro t TS. Es ergibt sich bei einer Aufbringung von fünf Tonnen pro Hektar ein Gesamtdüngewert pro Hektar in Höhe von 440 DM bis 800 DM. Diese Zahlen bauen auf der Annahme eines vollständigen Ersatzes des Schlammes durch Mineraldünger auf. Dies kann bei realistischer Betrachtungsweise kaum angenommen werden. Vielmehr wird in den meisten Fällen darauf zu achten sein, daß durch die Klär-

schlammdüngung keine Überdüngung für bestimmte Nährstoffe bewirkt wird. Das heißt, daß die Aufbringung des Schlammes durch denjenigen Nährstoff im Boden begrenzt wird, der die Werte der Düngebedarfsrechnung am ehesten erreicht. Eine ergänzende Minereraldüngung deckt den Bedarf an den anderen Nährstoffen. Die genaue Berechnung des Düngewertes kann also nur am Einzelfall unter Zuhilfenahme der Düngebilanz und einer genauen Bodenuntersuchung ermittelt werden. Hierbei würden dann auch nur die Nährstoffe einbezogen werden, die auch ohne Klärschlammaufbringung in Form von Mineraldünger tatsächlich aufgebracht worden wären. Die möglichen Einsparungen durch den Düngewert fallen ausschließlich den Landwirten zu. Sie sind ein zusätzlicher Anreiz für den Landwirt, stehen aber bei den Verhandlungen über Ausgleichszahlungen weitestgehend im Hintergrund, da es wohl kaum anders zu erklären ist, daß trotz dieser Einsparungspotentiale von den Landwirten erhebliche Zahlungen für die Abnahme verlangt werden. Hier zeigt sich wieder, wie sehr die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung emotional belastet ist.

#### **4.8. Kosten für den Entschädigungsfonds**

Die Kosten für den Entschädigungsfonds betragen 20 DM pro t TS. Bei einem Ruhen der Beitragspflicht müssen diese Kosten trotzdem kalkuliert werden und Rückstellungen gebildet werden, da bei einer Erschöpfung der Fondsmittel eine Nachschußpflicht in maximal dieser Höhe bestehen. Es können sich aber bei geringer Fondsinanspruchnahme langfristig wesentlich niedrigere Durchschnittskosten ergeben. Darauf soll aber aufgrund der 30jährigen Verjährungsfrist der Nachschußpflicht nicht weiter eingegangen werden.

#### **4.9. Abgabe an ein Entsorgungsunternehmen**

Häufig wird der Klärschlamm vom Kläranlagenbetreiber nicht selbst entsorgt, sondern einem Entsorgungsunternehmen überlassen. Die Entsorgung geschieht zu einem fest vereinbarten Preis, der vom Entsorgungsunternehmen vor dem Hintergrund des voraussichtlichen Entsorgungsverfahrens kalkuliert wird.

Durch die starke Zunahme der Zahl der Anbieter ist es für die Anlagenbetreiber sehr schwer geworden, den richtigen Partner zu finden. Die Auswahl eines zuverlässigen und kostengünstigen Unternehmens geschieht regelmäßig per Ausschreibung. Zur Orientierung hat die ATV einen Arbeitsbericht mit Empfehlungen erarbeitet. [16] Bei der Verwertung des Klärschlammes haben Betreiber und Verwerter gleichermaßen die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben sicherzustellen. Der Kläranlagenbetreiber hat die Pflicht, den von ihm beauftragten Verwerter zu kontrollieren. Der Kläranlagenbetreiber strebt regelmäßig eine

langfristige Geschäftsbeziehung zum Entsorger an, um möglichst ohne Veränderungen der Schlammbehandlung auszukommen, da jeder Entsorger andere Preise in Abhängigkeit von der Schlammbeschaffenheit kalkuliert.

Gespräche mit verschiedenen Betreibern und Unternehmen in Brandenburg ergaben, daß für Klärschlamm mit 30 - 35 % TR etwa 50 DM pro Tonne Originalsubstanz zu bezahlen sind, also ein Preis von ca. 150 DM pro t TS. Dieser Preis beinhaltet die Lade-, Transport- und Ausbringungsleistungen, anfallende Zahlungen an die Landwirte sowie die Kosten für die Schlamm- und Bodenanalysen.

Die Zahlungen an den Entschädigungsfonds sind von den Betreibern selbst zu tragen.

Ein Wasser- und Abwasserverband teilte einen Preis in Höhe von 22 DM pro m<sup>3</sup> Originalsubstanz für Schlamm mit 2,5 % Trockensubstanzgehalt mit, der allerdings nur versuchsweise genutzt wurde. Es würde sich ein Preis pro t TS von ca. 880 DM (unter der Annahme, daß 1 m<sup>3</sup> = 1 t) ergeben. Weiter wurde ein Preis von 45 DM pro Tonne Originalsubstanz für Schlamm mit 23 % Trockensubstanzgehalt genannt. Es ergibt sich hieraus ein Preis von 195 DM pro t TS. Zur Zeit bestehen Überlegungen, den Schlamm auf einen Trockensubstanzgehalt von 7 % zu bringen und diesen dann zu einem Preis von 22 DM pro m<sup>3</sup> abzugeben. Ähnliche Preise für die Schlammabnahme gab ein Entsorgungsunternehmen [12] an. Demzufolge liegt der Preis für die Abnahme eines Kubikmeters Naßschlammes mit 5 % TR bei circa 20 DM. Der Preis für entwässerten Schlamm mit 20 - 35 % TR liegt bei 40 - 90 DM, je nach Vertragslaufzeit und anfallenden Mengen.

#### **4.10. Gesamtkostenbetrachtung**

Die Gesamtkosten ergeben sich aus der Summe der zuvor beschriebenen Kostengruppen. Problematisch erscheint eine Summation der Kosten aufgrund der Tatsache, daß eine Vielzahl verschiedener Verfahrenswege und Behandlungskombinationen denkbar sind. Auch sind für einige Kostengruppen keine allgemeinen Aussagen über die Höhe der Kosten zu treffen, da die Kosten der einzelnen Prozeßschritte von den vorhergehenden stark abhängig sind. Meist können nur Intervalle angegeben werden, die als Kalkulationsgrundlage dienen. Im Einzelfall besteht aber durchaus die Möglichkeit, daß die Kosten von diesen Richtwerten abweichen. Dies ist vor allem dann unbefriedigend, wenn im Rahmen der Entsorgungsplanung die Kosten prognostiziert werden sollen. Um in diesem Falle zu zuverlässigen Prognosewerten zu gelangen, müßte eine genaue Analyse der einzelfallspezifischen Gegebenheiten durchgeführt und diese dann den eigenen Berechnungen zugrundegelegt werden. Im weiteren sollen daher einige Gesamtkostenmodelle aus der Literatur einander

gegenübergestellt und einige Kostenszenarien durchgerechnet werden.

Die ATV untersuchte die Kostenbestandteile einer Ausschreibung einer großen Kläranlage genauer, nachdem festgestellt worden war, daß sich der Angebotspreis für eine überregionalen Verwertung nicht von dem einer ortsnahen Verwertung unterschied, obwohl bei weiteren Entfernungen von erhöhten Transportkosten auszugehen ist. Es wird von einem Gesamtverwertungspreis in der Landwirtschaft, ohne Behandlungskosten, von 145 DM pro Tonne Originalsubstanz mit 33 % Trockenrückstand, also Kosten von 435 DM pro t TS ausgegangen. Die ATV gibt in Tabelle 18 eine Kostenaufstellung der landwirtschaftlichen Verwertung in Abhängigkeit von der Entfernung zum Verwertungsort von 20 km bis 600 km an.

**Tabelle 18** Kostenaufstellung für landwirtschaftliche Verwertung in Abhängigkeit von der Entfernung, nach Angaben der ATV

Kostenfaktor	Kosten pro t TS in DM	
	20 km	600 km
Neutrale Kontrolle	45 (10 %)	45 (10 %)
Düngeberatung	60 (14 %)	30 (7 %)
Zahlung von maximal 400 DM pro Hektar	40 (9 %)	40 (9 %)
Zahlung von minimal 200 DM pro Hektar	40 (9 %)	40 (9 %)
Akquisition, Logistik, Pflichtenheft	75 (17 %)	30 (7 %)
Ausbringung	75 (17 %)	45 (10 %)
Transport	70 (16 %)	195 (45 %)
Bodenprobe	30 (7 %)	10 (2 %)
<b>Gesamtkosten:</b>	<b>435</b>	<b>435</b>

**Quelle** Esch, B.;Krüger, G.; Langenohl, T. In: ATV (Hrsg.): ATV-Information Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung,2. Auflage. Hennef (1996) S. 17

Bei dem der Ausschreibung zugrundeliegenden Klärwerk handelte es sich um eines im dicht besiedelten Westen der Bundesrepublik. Eine ortsnahe Verwertung war nur in sehr begrenztem Umfang möglich. Ein überregionale Verwertung konzentrierte sich auf die östlichen Bundesländer und ein norddeutsches Flächenland der alten Bundesländer. [31] Auf diesen Voraussetzungen basiert auch die weitere Analyse der einzelnen Kostenbestandteile. Die neutrale Kontrolle aus einer Hand ist mit einem Standardpreis von 45 DM pro t TS angegeben. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei ortsnaher Verwertung eine größere Zahl von Landwirten zu kontrollieren ist. Dieser Aufwand auf den weiter entfernten, größeren Flächen durch die geringe Zahl an Landwirten geringer. Die niedrigeren Kosten für die Kontrolle werden jedoch durch erhöhte Reisekosten zur Akquisition und Düngeberatung bei

größeren Entfernungen wieder ausgeglichen, was zu dem angegebenen entfernungsunabhängigen, konstanten Preis für die Kontrolle führt. [31]

Bei der Düngeberatung treten Kostenunterschiede mit zunehmender Entfernung auf. Entscheidend für diesen Unterschied sind die Größen der zu beschlammenden Flächen. Die Struktur der landwirtschaftlichen Flächen ist in den neuen Ländern durchschnittlich großflächiger als in den alten Ländern, dies gilt auch im Hinblick auf die Anbau und Bodenverhältnisse und begründet sich unter anderem in der politisch motivierten Bewirtschaftungsform der landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften der DDR. [31]

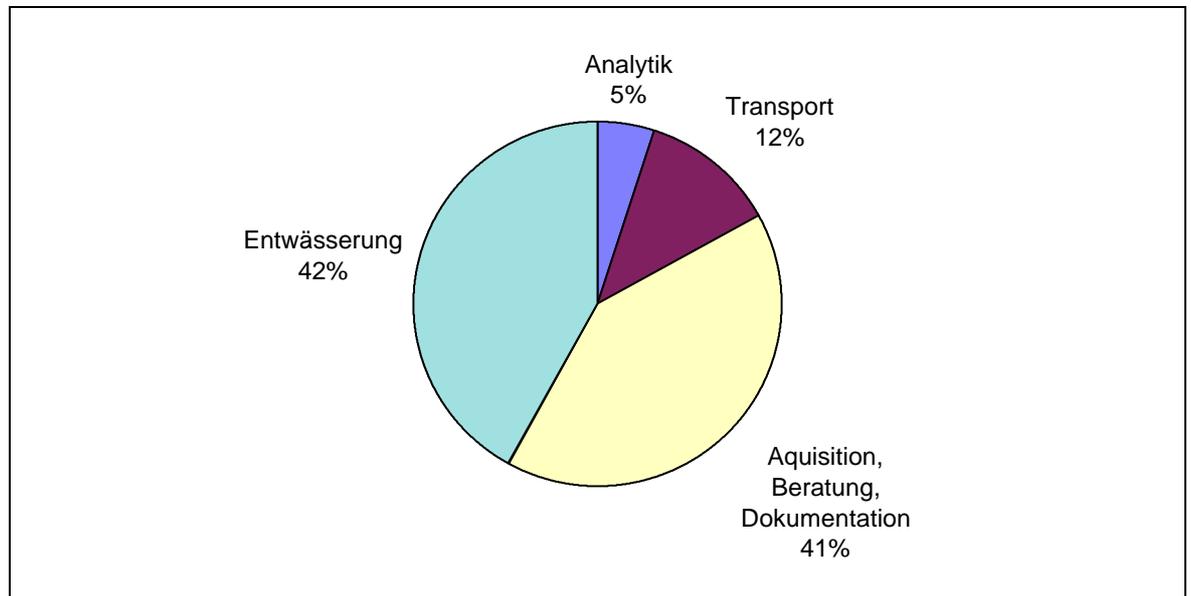
Die Kosten für Zahlungen an den Landwirt beinhalten Beträge, die je nach Vertrag mit dem Landwirt unterschiedlich sein können. Im Rahmen der Untersuchung der Kostenanteile sind Zahlungen an Landwirte bis zu 400 DM pro Hektar bekannt geworden, wobei keine Unterschiede zwischen den Bundesländern festgestellt werden konnten. Bei der Bewertung der Zahlungen muß berücksichtigt werden, daß Leistungen im oberen Bereich dieser Spanne im Einzelfall bereits dicht an dem liegen, was ein Landwirt auf seinen Flächen mit einem Hektar im Jahr landwirtschaftlich erwirtschaften kann. [31]

Unter der Position Ausbringung tritt wiederum ein Unterschied zwischen ortsnaher und überregionaler Verwertung auf. Es ist dabei weniger auf den Mechanisierungsgrad der Landwirte von größeren Flächen sondern mehr auf die rationelleren Ausbringungsmöglichkeiten auf diesen Flächen abgestellt. [31]

Die Kosten für den Transport steigen mit der Entfernung an. Dies erscheint auch ohne weiteres plausibel und deckt sich mit anderen Angaben in der Literatur. Die Kosten der Bodenproben nehmen hingegen mit der Entfernung ab, auch dies begründet sich in der Flächengröße und der damit einhergehenden Kostensenkung für die Probennahme. Der Kostenbestandteil Flächenakquisition, Logistik, Pflichtenheft wurde bei der Kostenaufteilung durch Saldobildung ermittelt. Jedoch hat auch bei diesem Kostenbestandteil die Flächengröße einen entscheidenden Einfluß auf die Kostenhöhe. Dies wird auch in der negativen Abhängigkeit von der Entfernung deutlich. [31]

Die Kosten der Behandlung, die vor der landwirtschaftlichen Ausbringung durchgeführt wird, sind in der ATV-Kostenaufstellung nicht enthalten, ebensowenig die Kosten des Entschädigungsfonds, die aber im Gegensatz zu den Behandlungskosten ausschließlich bei landwirtschaftlicher Verwertung anfallen. [31]

Eine andere Zusammensetzung der Gesamtkosten gibt der Bund der deutschen Entsorgungswirtschaft (BDE) für eine Musterkläranlage mit 50.000 Einwohnergleichwerten an. Der Zusammenhang ist in Bild 6 wiedergegeben.



**Bild 6** Kostenaufteilung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung

**Quelle** Billigmann, F.-R.; Kehres, B.; Willms, H. In: ENTSORGA, BDE (Hrsg.): Landwirtschaftlich Klärschlammverwertung. 3. Auflage, (1994), S. 20

Der BDE selbst weist auf die geringe allgemeine Aussagekraft dieser Zahlen hin, die durch die mengen- und ortsabhängigen Kostenkomponenten gegeben ist.

Eine dritte Kostenberechnung von WITTE/LANGENOHL [31] ist in Tabelle 19 wiedergegeben. Die Aufstellung wurde erstmalig 1987 veröffentlicht und 1995 aktualisiert. Obwohl WITTE/LANGENOHL in ihrer Kostentabelle nur Orientierungswerte angeben, dient sie auch anderen Autoren als Muster für eigene Aufstellungen. Die Kosten basieren auf durchschnittlichen Werten für eine überwiegend ortsnahe Verwertung im Rhein-Sieg-Kreis. [31]

Die Kosten teilen sich nach WITTE/LANGENOHL [31] in:

- interne Kosten, womit die Kosten gemeint sind, die der Kläranlagenbetreiber üblicherweise bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ohnehin zu übernehmen hat. Sie sind in den Positionen 1.1 bis 1.5 aufgeführt.

externe Kosten, die unter der laufenden Nummer 2. zusammengefaßt sind. Für die externe Kosten verursachenden Leistungen läßt sich auf dem Entsorgungsmarkt regelmäßig ein Anbieter finden, der die genannte Leistung übernimmt.

**Tabelle 19** Leistungs- und Kostenaufgliederung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung

Nr.	Position	Verwertung von entwässertem Klärschlamm (34 % TR) in DM/t TR
1.	Leistungen des Kläranlagenbetreibers	
1.1	– Verbesserung der Schlammqualität	40
1.2	– Lagerungseinrichtung	25
1.3	– Entwässerung	200 - 300
1.4	– Schlammanalyse	7
1.5	– Bodenanalyse	42
Zwischensumme 1.1 - 1.5		314-414
2.	Leistungen des Verwertungsbeauftragten (Betrieb oder Dritte)	
2.1	Basisarbeiten:	
2.1.1	– Flächenakquisition	20
2.1.2	– Voranmeldung von Beschlämmung	10
2.1.3	– Lieferscheinerstellung	10
2.1.4	– Logistik von Ausbringung und Transport	15
2.1.5	– Registererstellung	20
Zwischensumme 2.1. - 2.1.5		75
2.2	Freiwillige Zusatzleistungen (NRW, Stand 2/95)	
2.2.1	– landwirtschaftliche Düngeberatung	60
2.2.2	– Organisation Abschluß von Haftungsverträgen	10
2.2.3	– Kontrolle von Ausbringung und Transport	25
2.2.4	– Beobachtung der Schlammqualität, ggf. Vorschlag von Verbesserungsmaßnahmen	5
2.2.5	– neutrale Öffentlichkeitsarbeit	5
Zwischensumme 2.2.1 - 2.2.5		105
Zwischensumme 2.1 + 2.2		180
3.	Transportleistungen	44 - 74
4.	Leistungen des Ausbringungsunternehmers	88 - 102
Gesamtkosten		626 - 770

**Quelle** Witte, H; Langenohl, T: Kostenanalyse als Mittel zur Bewertung der Qualität der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. In: Korrespondenz Abwasser (1995), Nr. 9, S. 1542 - 1550

Die internen Kosten teilen sich in die Bereiche:

1.1 Verbesserung der Schlammqualität. Hierunter werden die Bemühungen des Kläranlagenbetreibers verstanden, die über die vorgeschriebene Indirekteinleiterkontrolle im Standardfall hinausgeht. Es handelt sich um routinemäßige Auswertung der Messungen und die systematische Untersuchung bei entstehenden Abweichungen vom Durchschnittswert. Dies dient einer Reduzierung der Belastung durch Schwermetallen und organische Schadstoffe.

1.2 Lagerungseinrichtungen. Die Lagerung soll ermöglichen, die Klärschlammverwertung über den Jahresverlauf anzupassen, da die Landwirtschaft den Schlamm vorwiegend im Herbst benötigt.

Die Punkte 1.3 bis 1.5 bedürfen keiner weiteren Erklärung.

Die externen Kosten setzen sich zusammen aus den Bereichen:

- Basisarbeiten, die grundsätzlich durchzuführen sind, wenn landwirtschaftlich verwertet werden soll.
- freiwillige Zusatzleistungen, (noch) nicht immer übliche Leistungsschritte, die aber dem Absatz des Klärschlammes hilfreich sind und im Sinne einer langfristigen Zusammenarbeit mit dem Landwirt durchgeführt werden sollten.

Die Basisarbeiten teilen sich auf in:

2.1.1 Flächenakquisition, die häufig mit der landwirtschaftlichen Düngeberatung verwechselt wird. Flächenakquisition bedeutet aber nur die grundsätzliche Erschließung von Flächen für die Aufbringung von Klärschlamm.

2.1.2 Voranmeldung der Beschlämmung, 2.1.3 Lieferscheinerstellung, 2.1.4 Logistik von Ausbringung und Transport und 2.1.5 Registererstellung. Die bürokratischen Schritte müssen durchgeführt werden, um einen geordneten und rechtlich einwandfreien Verlauf der landwirtschaftlichen Ausbringung zu gewährleisten.

Die weiteren unter 2.2 genannten Zusatzleistungen helfen, das System der landwirtschaftlichen Verwertung zu sichern. Sie bestehen aus:

2.2.1 landwirtschaftlicher Düngeberatung, die im Gegensatz zur Flächenakquisition dazu dient, den Dünger Klärschlamm optimal in das landwirtschaftliche Geschehen einzupassen. Es gehört auch die Erstellung einer Düngebilanz zur Beratung, so daß auch wirtschaftseigener Dünger und zugekaufter Mineraldünger im Rahmen einer üblicherweise dreijährigen Fruchtfolge berücksichtigt werden können. Erst durch die Düngeberatung und deren Umsetzung wird das landwirtschaftliche Entsorgungssystem zu einem Verwertungssystem. Die Fortentwicklung des KrW-/AbfG wird diese Handlungsanweisung für die Dünge-mittelanwendung obligatorisch machen.

2.2.2 Organisation des Abschlusses eines Haftungsvertrages. Der Beitritt zum Entschädigungsfonds ist inzwischen verpflichtend. Insofern ist diese Leistung nicht mehr als freiwillige Leistung einzuschätzen, vielmehr zählt sie nun zu den Basisarbeiten.

2.2.3 Kontrolle von Ausbringung und Transport, die auch im Interesse des Kläranlagenbetreibers liegt, da bei Mißachtung der gesetzlichen Vorschriften ihm hohe Strafen drohen.

2.2.4 Beobachtung der Schlammqualität und 2.2.5 neutrale Öffentlichkeitsarbeit. Diese beiden Maßnahmen führen zu gesteigerter Akzeptanz der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung und sichern so auf lange Sicht diesen Verwertungsweg. Wobei aber unter Öffentlichkeitsarbeit nicht Werbung im landläufigen Sinne gemeint ist. Vielmehr muß

---

sie darum bemüht sein, die Vorteile und Nachteile der landwirtschaftlichen Verwertung neutral darzustellen, zu bewerten und zu gewichten. Es müssen Erfolge dargestellt und Vorsichtsregeln ausgesprochen werden, um nicht den Eindruck der Einseitigkeit oder Sorglosigkeit aufkommen zu lassen.

Position 3 stellt das Kostenintervall für die Transportleistungen dar. Die unterschiedlichen Kosten, sind abhängig zum Beispiel von der Transportentfernung, aber auch dem Vorhandensein leistungsfähiger Transporteure oder landwirtschaftlicher Lohnunternehmer.

Punkt 4 gibt die Kosten für die Ausbringung durch ein Lohnunternehmen an. Die Kosten hängen sowohl vom Mechanisierungsgrad und der Größe der zu beschlammenden Fläche, als auch von saisonalen Schwankungen in der Auslastung der Unternehmen ab.

Werden die Gesamtkosten der Verwertung betrachtet, so ist festzustellen, daß die internen Kosten des Kläranlagenbetreibers bereits die Hälfte der gesamten Entsorgungskosten ausmachen. Die andere Hälfte der Kosten gliedert sich ihrerseits je zur Hälfte in begleitenden Aufwand und die Posten Transport und Ausbringung.

Zusätzlich zu diesen Gesamtkostenaufstellungen aus der Literatur sind in Tabelle 20 und Tabelle 21 sämtliche im Rahmen dieser Arbeit zusammengetragenen Einzelkosten wiedergegeben.

**Tabelle 20** Übersicht der Schlammbehandlungskosten

Kostenträger/Kostenart	Kosten	Bedingungen,	Quelle
aerobe Stabilisierung -Energiekosten	0,50 - 0,60 DM/m <sup>3</sup> Beckenvolumen pro Stunde	mit 0,05 DM/kWh	[3]
anaerobe Stabilisierung -Investitionskosten -spezifische Stabilisierungskosten	1000 - 2000 DM pro m <sup>3</sup> Behältervolumen 230 DM pro t TS	abhängig von der Größe der Anlage berechnet aus: 170 DM/t TS spezifische Faulungskosten abzüglich 56 DM/t TS Faulgasgewinn zuzüglich 116 DM/t TS Rückbelastung	[3] [4]
Entseuchung	-	Entseuchung findet meistens nicht als einzelner Behandlungsschritt statt, i. d. R. sind die Kosten der Entseuchung in den Kosten der Stabilisierung und Konditionierung bereits enthalten	
Entwässerung - Kammerfilterpresse - Zentrifuge - mobile Zentrifuge	180 - 450 DM/t TS 100 - 250 DM/t TS 400 - 600 DM/t TS		[5] [5] [5]
-mobil	11 DM/m <sup>3</sup> Frischschlamm daraus folgt: ca. 440 DM/t TS	von 2,5 % auf 23 % TR unter der Annahme daß 1 m <sup>3</sup> = 1 t	[30]
-Gesamtkosten	20 % TR - ca. 350 DM 30 % TR - ca. 420 DM 40 % TR - ca. 550 DM 50 % TR - ca. 700 DM	in Abhängigkeit vom TS-Gehalt	[8]
-Gesamtkosten	- 200 - 300 DM/t TS		[31]
Trocknung - mit unterschiedlichen Verfahren	117 - 168 DM/t TS	Trocknung von 25 % auf 90 % TR	[23]
- Trommeltrocknung	250 - 430 DM/t TS	von ca. 30 % auf 90 % TR	[29]
- Kontakttrocknung	320 - 500 DM/t TS	von ca. 30 % auf 90 % TR	[29]
- Wirbelschichttrocknung	380 - 580 DM/t TS	von ca. 30 % auf 90 % TR	[29]

**Tabelle 21** Übersicht der Kosten der landwirtschaftlichen Entsorgung

Kostenträger/Kostenart	Kosten	Bedingungen	Quelle
Lagerung	- 25 DM/t TS	für Schlamm mit 34 % TR	[31]
Transport -entfernungsunabh. Kosten Kilometerkosten	4,44 DM/t TS 0,09 DM/t TS pro km	unter der Annahme eines 6 m <sup>3</sup> Transportbehälters und regionaler Entsorgung	[14]
-Gesamtkosten	23 DM/t TS (20 km) 65 DM/t TS (600 km)		[9]
-Gesamtkosten	44 - 74 DM/t TS		[31]
Analysekosten Bodenprobe:	10 - 30 DM/t TS 42 DM/t TS		[9] [31]
Schlammprobe:	7 DM/t TS		[31]
Ausbringung	45 - 75 DM/t TS 88 - 102 DM/t TS		[9] [31]
Zahlungen an den Landwirt	200 - 400 DM/ha		[9]
Entschädigungsfonds	20 DM/t TS	nur zu zahlen, wenn der Fonds nicht ruht, ansonsten aber Nachschußpflicht im Falle der Unterdeckung	
Neutrale Kontrolle	45 DM/t TS 25 DM/t TS		[9] [31]
Düngeberatung	30 - 60 DM/t TS	abhängig von der Entfernung	[9]
Akquisition, Logistik, Liefer- schein, Pflichtenheft	75 DM/t TS 30 - 75 DM/t TS		[31] [9]
Düngeberatung	60 DM/t TS 30 - 60 DM/t TS		[31] [9]

#### 4.11. Kostenvergleich an Szenarien

Es sollen anhand von Szenarien einige Rechenbeispiele vollzogen werden. Die Kosten der einzelnen Szenarien werden anhand einer tabellarischen Gegenüberstellung verglichen. Es wird davon ausgegangen, daß die Ausbringungstechnik jeweils vorhanden ist, beziehungsweise mit der Aufbringung ein Unternehmer beauftragt wird. Die höheren Kosten mit steigendem Wassergehalt erklären sich aus den erhöhten Fahrten zum Nachladen des Schlammes. Die Kosten für den Entschädigungsfonds bleiben konstant, da sie sich auf den Trockenrückstand beziehen und gesetzlich festgelegt sind. Ebenso sollen die Zahlungen an den Landwirt als unabhängig von der Behandlung angenommen werden, da sie pro Hektar festgelegt werden. Eine eventuell höhere Zahlungsforderung abhängig von der Behandlung des Schlammes ist unter dem Punkt Akquisition berücksichtigt.

Die Szenarien sind in Anlehnung an Bild 1 wie folgt gewählt:

- Ausbringung des unbehandelten Schlammes (Szenario 1)
- Ausbringung nach anaerober Stabilisierung und Eindickung (Szenario 2)
- Ausbringung nach anaerober Stabilisierung und Entwässerung (Szenario 3)
- Ausbringung nach anaerober Stabilisierung, Entwässerung und Trocknung (Szenario 4)

Szenario 1 wird zu den bereits geschilderten Akzeptanzproblemen bei den Landwirten führen. Daher stellt dies auch keine übliche Methode dar. Dennoch soll in diesem Rahmen eine Kostenabschätzung durchgeführt werden, um einen Kostenvergleich zu ermöglichen.

Das Akzeptanzproblem wurde in erhöhten Kosten für die Akquisition berücksichtigt. Ebenso schlagen sich die hohen Transportmengen in deutlich erhöhten Transportkosten nieder, die insbesondere auf einer erhöhten Anzahl von Fahrten basiert.

In Szenario 2 fallen durch die Stabilisierung zwar Kosten an, die Stabilisierung führt aber auch zu Einsparungen durch die Nutzung des entstehenden Faulgases. Durch die fehlende Entwässerung ergeben sich auch in diesem Szenario recht hohe Transportkosten durch große Transportvolumina. Die Akzeptanz beim Landwirt dürfte ähnlich groß sein wie die Akzeptanz entwässerten Schlammes, daher ergeben sich hier auch gleiche Kosten für die Akquisition.

Das Szenario 3 gleicht prinzipiell dem zweiten. Lediglich die Kosten der Entwässerung sind zu addieren. Dafür ergeben sich aber aus den genannten Gründen etwas niedrigere Ausbringungskosten.

Im Szenario 4 besteht der Vorteil, daß der getrocknete Schlamm in seiner Handhabung dem Mineraldünger sehr ähnlich ist. Daher ist von seiten der Landwirten für die Ausbringung des getrockneten Schlammes mit der größten Akzeptanz zu rechnen. Dies führt zu geringeren Akquisitionskosten. Negativ fallen hingegen die Trocknungskosten ins Gewicht, die aber teilweise durch niedrigere Transportkosten ausgeglichen werden.

**Tabelle 22** Kostenvergleich der unterschiedlichen Szenarien

Kostenträger	Szenario 1 (2,5 % TR) Ausbringung des unbehandelten Schlammes	Szenario 2 (5 % TR) Ausbringung nach anaerober Stabili- sierung und Ein- dickung	Szenario 3 (30 % TR) Ausbringung nach anaerober Stabili- sierung und Ent- wässerung	Szenario (90 % TR) Ausbringung nach anaerober Stabili- sierung, Entwässe- rung und Trocknung
Stabilisierung, anaerob	--	170 DM minus 56 DM Faulgasnut- zung = 114 DM	170 DM minus 56 DM Faulgasnut- zung = 114 DM	170 DM minus 56 DM Faulgasnut- zung = 114 DM
Entwässerung	--	--	250 DM	250 DM
Trocknung	--	--	--	300 DM
Transport	300 DM	160 DM	30 DM	15 DM
Analysekosten	50 DM	50 DM	50 DM	50 DM
Ausbringung	70 DM	60 DM	50 DM	40 DM
Zahlung an den Landwirt	20 DM	20 DM	20 DM	20 DM
Entschädigungs- fonds	20 DM	20 DM	20 DM	20 DM
Akquisition, Lieferschein etc.	150 DM	80 DM	80 DM	50 DM
<b>Summe</b>	<b>610 DM</b>	<b>514 DM</b>	<b>614 DM</b>	<b>859 DM</b>
<i>Bemerkung: Alle Kostenwerte pro t TS</i>				

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Abgabe von stabilisierten Schlämmen die kostengünstigste Alternative darstellt. Ob eine Entwässerung notwendig ist, muß am Einzelfall unter Abwägung von Transportkosten und Entwässerungskosten entschieden werden. Die Ausbringung unbehandelten Schlammes ist aufgrund der geringen Akzeptanz bei den Landwirten und den damit einhergehenden Absatzschwierigkeiten sowie aufgrund der zu erwartenden Geruchsbelästigung abzulehnen. Auch ergibt sich in der Summe kein entscheidender Kostenvorteil für die Abgabe unbehandelter Schlämme, da die Kosten durch höherer Transportkosten belastet werden.

Aber auch die Trocknung des Schlammes ist von der Kostenseite her nicht grundsätzlich sinnvoll, da durch den hohen Energieverbrauch der Trocknung die Kosten in die Höhe getrieben werden, ohne daß sich bemerkenswerte Einsparungen an anderer Stelle ergeben würden. Anzumerken bleibt jedoch, daß die Trocknung bei Absatzproblemen in der Landwirtschaft die Entsorgungswege Deponie und Verbrennung offenhält. Insofern bietet die Trocknung eine Option, die unter bestimmten Bedingungen auch einen monetären Vorteil bedeuten kann.

## 5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Kosten der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung hinsichtlich ihrer Struktur und Höhe untersucht. Anhand der ermittelten Kosten konnten in Szenarien Anhaltswerte für die tatsächlichen Kosten der landwirtschaftlichen Verwertung errechnet werden. Bei der Recherche der Kostenwerte traten einige vorher nicht abzusehende Probleme auf. So stellte es sich als schwierig heraus, Auskünfte von den öffentlichen Entsorgungsträgern und mit der Schlammentsorgung betrauten Entsorgungsfirmen zu erhalten. Hierbei kann zusammengefaßt werden, daß bei den öffentlichen Entsorgungsträgern keine detaillierten Kostenauskünfte zu erhalten waren, was teilweise daran lag, daß viele Entsorgungsträger ihren Schlamm durch ein Entsorgungsunternehmen entsorgen lassen. Die öffentlichen Entsorgungsträger konnten, mangels eigener Kostenrechnungen, auch über die Behandlungskosten keine detaillierten Angaben machen. Die privatwirtschaftlich organisierten Entsorgungsunternehmen zeigten sich hingegen wenig auskunftsbereit, obwohl davon auszugehen ist, daß diese über eine detaillierte Kalkulation verfügen dürften. Die aus der Literatur recherchierten Kosten wichen oft erheblich voneinander ab oder wurden nur in großen Intervallen angegeben, die den Nutzen der Angaben stark in Frage stellten. Ein Problem war auch, daß bestimmte Kosten nur von einem einzigen Autor vorlagen, der dieselben Zahlen in unterschiedlichen Publikationen veröffentlichte. Teilweise fehlten Angaben über Randbedingungen und Annahmen, so daß die Ergebnisse weder nachvollziehbar, noch vergleichbar waren. Die Kosten der Konditionierung konnten aus der Literatur nicht ermittelt werden.

Allgemein kann resümiert werden, daß die Kosten der landwirtschaftlichen Verwertung stark von den gegebenen Randbedingungen abhängen. Die Kosten der einzelnen Behandlungsschritte müssen im Zusammenhang mit dem Gesamtprozeß und dem voraussichtlichen Entsorgungsweg gesehen werden. Auch die Kosten der anderen Entsorgungswege sind in der Literatur nur sehr ungenau angegeben und erscheinen teilweise als sehr hoch kalkuliert. Ein Kostenvergleich der landwirtschaftlichen Verwertung mit diesen Entsorgungswegen ist daher auch nur am Einzelfall, unter Einbeziehung aller bekannten Daten, möglich.

## 6. Ausblick

Die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung stellt bis heute einen der kostengünstigsten Entsorgungswege dar. Andere Verwertungswege werden durch stetige technische Weiterentwicklungen in den nächsten Jahren ökonomisch konkurrenzfähig werden. In der Politik herrscht allgemein eine Präferenz für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung vor. Im Gegensatz dazu wird eine umweltbezogene Sensibilisierung möglicher Klärschlammabnehmer, zunehmende Konkurrenz zu Produkten aus der Grün- und Bioabfallsammlung und Einschränkungen bei der Vermarktung mit Klärschlamm gedüngter Agrarprodukte in Zukunft zu einer geringeren Akzeptanz der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung führen. Die Landwirte könnten nun höhere Ausgleichszahlungen verlangen, um damit ihre Absatzprobleme auszugleichen. Andererseits könnte durch Kostensenkungen bei den anderen Entsorgungswegen ein Preiskampf einsetzen, der dazu führt, daß sich der Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung verringert. Der Düngewert, der heute kostenmäßig kaum beachtet wird, könnte dazu führen, daß die Landwirte bereit sind den Schlamm auch gegen wesentlich geringere Zahlungen abzunehmen.

Unabhängig davon existieren Konzepte, nach denen nur solche Flächen für die Klärschlammdüngung zugelassen sind, auf denen keine Nahrungspflanzen angebaut werden sollen. Denkbar wäre eine Nutzung der Flächen zum Beispiel mit dem Anbau von Ölsaaten für die Treibstoffindustrie. So besteht keine Gefahr, daß Schadstoffe aus dem Klärschlamm in die Nahrungskette gelangen, was eine Klärschlammdüngung auch über die heute gültigen Höchstmengen hinaus unbedenklich erscheinen lassen würde.

---

## 7. Glossar

Abfall	Eine bewegliche Sache, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß, heißt Abfall [§ 2 Abs. 1 KrW-/AbfG].
anaerobe Behandlung	Unter aerober Behandlung wird ein gelenkter biologischer Abbau bzw. Umbau von nativ-organischen Abfällen in geschlossenen Systemen unter Luftabschluß verstanden. Dieser Prozeß wird auch Faulung genannt [44].
belebter Schlamm	Belebter Schlamm entsteht aus der Lebenstätigkeit der am Reinigungsprozeß beteiligten Mikroorganismen [29].
biologische Behandlung	Unter biologischer Behandlung wird der gelenkte Ab- bzw. Umbau von biologisch abbaubaren organischen Abfällen durch aerobe (Verrottung) bzw. anaerobe (Faulung) Verfahren verstanden [44].
gute fachliche Praxis bei der Ausbringung von Klärschlamm	Die landwirtschaftliche und gärtnerische Verwertung muß nach Art, Menge und Zeit auf den Bedarf der Pflanzen und des Bodens unter Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanz sowie der Standort- und Anbaubedingungen ausgerichtet werden [42].
Klärschlamm	Aus dem Abwasser abtrennbare, wasserhaltige Stoffe, ausgenommen Rechengut, Siebgut und Sandfanggut [35].
Klärschlammbehandlung	Klärschlammbehandlung ist die Aufbereitung von Schlamm zu dessen Entsorgung [35].
Klärschlammverbrennung	Die in einem Feuerraum stattfindende Mineralisierung des Schlammes wird Verbrennung genannt [21].
Kompostierung	Kompostierung ist der biologischer Ab- bzw. Umbau biologisch abbaubarer organischer Abfälle unter aeroben Bedingungen [44].
Monodeponie	Deponie oder Deponiebereich für die zeitlich unbegrenzte Ablagerung von Abfällen, die nach Art, Schadstoffgehalt und Reaktionsverhalten ähnlich und untereinander verträglich sind [44].
schadlos	ohne negativen gesamtökologische Einfluß [18]
Schadstoffe	Organische und anorganische Stoffe in gesundheits- oder umweltgefährdender Konzentration, werden als Schadstoffe bezeichnet [44].

---

Schlammwässerung	Die Abtrennung von Schlammwasser durch natürliche oder maschinell verstärkte Schwerkrafteinwirkung wird als Schlammwässerung bezeichnet [35].
Schlamm Trocknung	Unter Trocknung versteht man den Entzug von Schlammwasser durch Verdampfen oder Verdunsten [35].
Schlammverwertung	Die Nutzung von behandeltem Schlamm, zum Beispiel für landwirtschaftliche Zwecke, zur Rekultivierung oder zur Energiegewinnung, wird als Schlammverwertung bezeichnet [35].
Sekundärrohstoffdünger	Sekundärrohstoffdünger sind Abwasser, Fäkalien, Klärschlamm und ähnliche Stoffe aus Siedlungsabfällen und vergleichbare Stoffe aus anderen Quellen, die dazu bestimmt sind, unmittelbar oder mittelbar Nutzpflanzen zugeführt zu werden, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern [§1 Abs. 2a DüngeMG].
Tertiärschlamm	Schlamm aus der dritten Reinigungsstufe (zum Beispiel chemische Nachfällung oder Schönungsteich) wird Tertiärschlamm genannt [35].
thermische Behandlung	Verfahren zur thermischen Trocknung, Verbrennung, Pyrolyse oder Vergasung von Abfällen sowie Kombinationen dieser Verfahren werden unter dem Begriff der thermischen Behandlung zusammengefaßt [44].
Wirtschaftsdünger	Wirtschaftsdünger sind Nebenerzeugnisse aus der landwirtschaftlichen Produktion, auch weiterbehandelt, die dazu bestimmt sind, unmittelbar oder mittelbar Nutzpflanzen zugeführt zu werden, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern. Insbesondere sind dies tierische Ausscheidungen, Gülle, Jauche, Stallmist und Stroh [DüngeMG §1 Abs. 2].

---

**8. Literaturverzeichnis**

- 1 B., Hr. Persönliches Gespräch mit Hr. B. vom LUA, Januar 1999
- 2 Brodde, P. BUFZ, Ergänzungsbericht
- 3 Dichtl, N. Stand der Technik der Klärschlammstabilisierung einschließlich Kompostierung. In: Thomé-Komiensky, K. J. (Hrsg.): Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft, Berlin: EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH (1995), S. 939 - 946
- 4 Dichtl, N. Stellenwert und Kosten der Schlammstabilisierung. In: Korrespondenz Abwasser (1997), Nr. 10, S. 1740 - 1750
- 5 Dichtl, N. Wirtschaftliche Aspekte der Schlammbehandlung und -beseitigung. In: Institut für Siedlungswasserwirtschaft Universität Karlsruhe (Hrsg.): Wirtschaftlichkeitsfragen in der Abwasserreinigung. (1995) S. 73 - 89
- 6 Dichtl, N. Aktuelle technische und wirtschaftliche Kriterien bei der Auswahl des Stabilisierungsverfahrens, In: Verein zur Förderung des Institutes WAR (Hrsg.): WAR 101 - Neue Trends bei der Behandlung und Entsorgung kommunaler und industrieller Klärschlämme. Darmstadt, (1997), S. 95 - 119
- 7 D., Hr. Telefongespräch mit Hr. D. vom LUA, März 1999
- 8 Eitner, R.; Dauber, S.; In: Gallenkemper, B.; Dohmann, M. (Hrsg.): Klärschlamm-entsorgung (: Grundlagen und ausgewählte Verfahren). Bonn: Economica Verlag, (1994), S. 46
- 9 Esch, B.; Krüger, G.; In: ATV (Hrsg.): ATV-Information Landwirtschaftliche Langenohl, T. Klärschlammverwertung. 2. Auflage. Hennef (1996) S. 8
- 10 Gosch, J. Entschädigungsfonds bei landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung. In: Schenkel, W.; Witte, H.; et al: Klärschlamm-entsorgung. Malsheim: expert-Verlag (1994), S. 171 - 185
- 11 Hauri, H.; Diebold, P.H. Regionaler Schlammhof - Die langfristige Strategie für eine effiziente Klärschlammverarbeitung mit Kosteneinsparungen. In: Korrespondenz Abwasser (1998), Nr. 7, S. 1314 - 1320
- 12 H., Hr. Persönliches Gespräch mit Hr. H. einer Umwelttechnik-firma, Januar 1999

- 
- 13 Kassner, W.;Loosen- Matuschek, B. Kostenvergleich verschiedener Entseuchungsverfahren für Flüssigschlamm. In: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.: Bericht des 2. Hohenheimer Seminars - Entseuchung von Klärschlamm. Giessen, (1988), S. 275 - 331
- 14 Keding, M Maßnahmen zur Entwicklung und Sicherung der landbaulichen Klärschlammverwertung. In: Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhles für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum (Hrsg.): Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft - SIWAWI Band 21. Bochum (1991), S. 136
- 15 Kerschberger, M.; Klärschlammeinsatz mit Bedacht. In: Neue Landwirtschaft, (1998), Nr. 8, S. 51 - 53  
U.
- 16 Könemann, R. Beratungs- und Betreuungsaufgaben der Kläranlagenbetreiber bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. In: Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): Recycling von Klärschlamm 4 - Integrierte Klärschlammentsorgung. Neuruppin: TK Verlag Thomé-Kozmiensky (1997), S. 217 - 230
- 17 Lantzsch, P. Berichte aus der Arbeit 92, Teil 1 S. 87
- 18 Leschber, R.; Loll, U. In: ATV (Hrsg.): ATV-Handbuch Klärschlamm. 4. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn Verlag (1996). S. 216
- 19 Linsen, K.; Kugel, G. Praktische Durchführung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, dargestellt am Beispiel des Niersverbandes. In: LUFA Bonn(Hrsg.): Klärschlamm und Landwirtschaft, (1988), S. 79 - 104
- 20 M. , Hr. Persönliches Gespräch mit dem Leiter einer Kläranlage im LK Barnim
- 21 Müller, R. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Konzept für die Entsorgung der kommunalen Klärschläme in Bayern (1993), S. 12
- 22 Noell, C. Einkommensquelle mit Akzeptanzproblemen. In: Neue Landwirtschaft (1998), Nr. 8, S. 20 - 23
- 23 Otte-Witte, R. Klärschlamm-trocknung. In: Entsorgungspraxis Spezial, (1990), Nr. 4, S. 43 - 51
- 24 Rasp, H. Kompostierung von Klärschlamm. In: Wasser & Boden (1996), Nr. 4, S. 37 - 40

- 
- 25      Roediger, M.            Faulung und Trocknung zur Verminderung der Kosten und Erhöhung der Sicherheit bei der Entsorgung von Klärschlämmen. In: Korrespondenz Abwasser (1994), Nr. 4 S. 256 - 261
- 26      Roßwurm, R.            Trocknung von Klärschlamm zweckmäßig ?. In: Korrespondenz Abwasser (1994), Nr. 8, S. 1356 - 1358
- 27      Seltmann, K.            Referat: Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung aus der Sicht der Landesregierung. In: Probleme der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung in Brandenburg, Tagungsband zur Fachtagung vom 23. Mai 1997
- 28      Steiner, A.; Ecker, P.    In: Bartz, W. J. (Hrsg.): Klärschlammentsorgung (Status - Lösungen - Tendenzen). Renningen-Malmsheim, (1994), expert-verlag, S. 34 - 46
- 29      Thomé-Kozmiensky,    Klärschlammentsorgung. Neuruppin: TK Verlag Thomé-Kozmiensky (1998), S. 144
- 30      Abwasserverband        Antwort eines Wasser- und Abwasserverbandes vom Januar 1999 auf eine schriftliche Anfrage
- 31      Witte, H.; Langenohl,    Kostenanalyse als Mittel zur Bewertung der Qualität der T.                            landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. In: Korrespondenz Abwasser (1995), Nr. 9, S. 1542 - 1550
- 32      Wöhe, G                Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 15. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen, (1984), S. 446
- 33      N. N.                    Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, (1993), Heft 7, S. 3
- 34      N.N.                    DIN 32 990 (Begriffe zu Kosteninformationen), Berlin, (1989)
- 35      N.N.                    DIN 4045 (Abwassertechnik - Begriffe), Berlin, (1985)
- 36      N.N.                    Düngemittelgesetz (DüngeMG) vom 15. November 1977
- 37      N.N.                    Gablers Wirtschafts-Lexikon, 13. Auflage. Wiesbaden: Gabler (1993), Band 4
- 38      N.N.                    Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998
- 39      N.N.                    Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG) vom 27. September 1994
- 40      N.N.:                    Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992

- 
- |    |      |  |
|----|------|--|
| 41 | N.N. | Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Zahlenspiegel 94, Potsdam, (1995)   |
| 42 | N.N. | MUNR (Hrsg.): Abfallwirtschaftsprogramm Land Brandenburg (1997)  |
| 43 | N.N. | Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993                                       |
| 44 | N.N. | Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993  |
| 45 | N.N. | Umweltbundesamt (Hrsg.): UBA-Texte 30/98 - Kostenstrukturuntersuchungen von Abfallbeseitigungsverfahren. Berlin, (1998)  |
| 46 | N.N. | Verordnung über den Klärschlamm-Entschädigungsfonds (Klärschlamm-Entschädigungsfondsverordnung-KlärEV) vom 20. Mai 1998  |
| 47 | N.N. | Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26. Januar 1996   |
| 48 | N.N. | Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung für das Land Brandenburg zum Vollzug der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 26. März 1996 |