



POSSEL & PARTNER

Ermittlung und Bewertung der technischen und logistischen Rahmenbedingungen bei der zukünftigen Klärschlamm Entsorgung in Schleswig-Holstein

Auftraggeber:

Landesamt für Natur und Umwelt des Landes
Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek

Auftragnehmer:

Ingenieurgesellschaft

PFI Planungsgemeinschaft GbR
Am Werder 1
21073 Hamburg

Ingenieurgesellschaft Possel & Partner mbH
für Entsorgung und Umweltschutz
Gärtnerstraße 47
24113 Kiel

September 2005

Inhaltsverzeichnis

1	VERANLASSUNG UND ZIELE	4
2	VERIFIZIERUNG, ANALYSE UND AUSWERTUNG DES DATENBESTANDES	6
2.1	Einführung	6
2.2	Herkunft der Datengrundlagen	6
2.3	Datenanalyse	6
2.3.1	Grunddaten der Kläranlagen	7
2.3.2	Kläranlagenspezifische Kennwerte	8
2.4	Datenauswertung	9
2.4.1	Verteilung nach Anlagengröße	10
2.4.2	Quantitative Auswertung	11
2.4.3	Entwässerungseinrichtungen	14
3	DARSTELLUNG UND BEWERTUNG MÖGLICHER ENTSORGUNGSWEGE	16
3.1	Klärschlamm Entsorgungssituation in Deutschland	17
3.2	Landwirtschaft / Landschaftsbau	18
3.3	Verwertung im Landschaftsbau	22
3.4	Deponierung / Mechanisch-biologische (mit) Behandlung	22
3.4.1	Deponierung	22
3.4.2	Mechanisch-biologische Behandlung mit anschließender Deponierung	24
3.5	Thermische Verfahren	25
3.5.1	Klärschlamm-Monoverbrennung	28
3.5.2	Mitverbrennung in Kohlekraftwerken	30
3.5.3	Mitverbrennung in Zementwerken	31
3.5.4	Mitverbrennung in Restabfallverbrennungsanlagen (MVA)	32
3.5.5	Mitbehandlung in Biomassekraftwerken	33
3.5.6	Verbrennung in Asphaltmischgutwerken	33
3.5.7	Mitverbrennung in anderen Industrieanlagen	34
3.5.8	Sonderverfahren	34
3.5.9	Pyrolyseanlagen/Klärschlammvergasung	34
3.5.10	Nassoxidation (VerTech, SCWO)	35
3.5.11	Seaborne-Verfahren	35
3.6	Beschreibung der Entsorgungsoptionen in Schleswig-Holstein und Hamburg	36

3.6.1	Stadtwerke Flensburg GmbH - Flensburg -	36
3.6.2	Gemeinschaftskraftwerk Kiel GmbH - Kiel -	37
3.6.3	Müllverbrennungsanlage Kiel GmbH & Co. KG - Kiel -	37
3.6.4	Müllverbrennungsanlage Kiel GmbH & Co. KG - Kiel -	37
3.6.5	Klärwerk Kiel in Bülk - Kiel -	37
3.6.6	MBA Lübeck	38
3.6.7	Abwasserzweckverband Hetlingen - Hetlingen -	38
3.6.8	Holcim (Deutschland) AG - Lägerdorf -	38
3.6.9	VERA Klärschlammverbrennung GmbH - Hamburg -	38
3.6.10	Müllverbrennungsanlagen (Stapelfeld, Neustadt, Tornesch-Ahrenslohe), TEV Neumünster	39
3.6.11	Weitere Kapazitäten außerhalb Schleswig-Holsteins	39
4	ERMITTLUNG DES TECHNISCHEN UND LOGISTISCHEN AUFWANDES	40
4.1	Definition von Logistik	40
4.2	Logistikvoraussetzungen der Abwasserbehandlungen in Schleswig-Holstein / Schnittstellen	41
4.3	Klärschlammweiterbehandlung (Trocknung)	43
4.4	Transport (Beladung / Entladung)	44
4.5	Klärschlammannahme	45
4.6	Lagerung, Bereitstellung und Speicherung	45
4.7	Bestandsanalyse zu KS-Mengen und Entsorgungsoptionen	48
4.8	Kosten / Kostengruppen	49
4.8.1	Kosten Transport / Be- und Entladen	49
4.8.2	Kosten Klärschlammwässerung	51
4.8.3	Kosten Klärschlamm-trocknung	52
4.8.4	Kosten Klärschlammverwertung (thermisch / mechanisch-biologisch)	52
4.8.5	Kosten landwirtschaftliche KS-Verwertung	53
4.8.6	Kosten KS-Verwertung im Landschaftsbau	53
4.9	Sonderbetrachtungen	53
4.9.1	Abwasserbehandlungsanlagen und Schlamm-mengen der Nordsee-inseln	53
5	BEWERTUNG DER ENTSORGUNGSOPTIONEN	57
5.1	Stand der technischen Entwicklung, Realisierungschancen und Kapazitäten	57
5.1.1	Monoverbrennung	57
5.1.2	Mitverbrennung in Kohlekraftwerken	58
5.1.3	Mitverbrennung in Zementwerken	59

5.1.4	Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen und der TEV	59
5.1.5	Mechanisch biologische Behandlung / Deponierung	60
5.1.6	Sonderverfahren	60
5.2	Entsorgungssicherheit	62
5.2.1	Technische Entsorgungssicherheit	62
5.2.2	Generelle Entsorgungssicherheit	63
5.2.3	Bewertung der Entsorgungssicherheit	64
5.3	Aspekte der ökologische Bewertung der Entsorgungsoptionen	65
5.4	Entsorgungskosten	68
5.5	Zusammenfassende Bewertung (Ökonomie, Ökologie, Entsorgungssicherheit)	70
5.6	Entsorgungsszenario	73
6	ORGANISATIONSFORMEN DER KLÄRSCHLAMMENTSORGUNG	75
6.1	Bestehende Organisationsstruktur / Organisationsentwicklungen	75
6.2	Konzeption der zukünftigen Organisationsstrukturen	80
7	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	82
8	LITERATUR	84
9	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	87

Anlagen

1. Basismatrix der Kläranlagen in Schleswig-Holstein
2. Kläranlagen und Klärschlammanfall der Kreise Schleswig-Holstein
3. Aufstellung der Zweckverbände und ihrer Aufgabenfelder

Pläne

2004-108-1	Bestandsdaten	M 1 : 250.000
2004-108-2	Verbandsstrukturen	M 1 : 250.000

1 Veranlassung und Ziele

Die Studie über

Ermittlung und Bewertung der technischen und logistischen Rahmenbedingungen bei der zukünftigen Klärschlambeseitigung in Schleswig – Holstein

hat das Ziel, anhand umfangreicher Datengrundlagen und deren Verifizierung Möglichkeiten der zukünftigen Klärschlamm Entsorgung aufzuzeigen, zu diskutieren und eine Bewertung vorzunehmen.

Die Vielfalt und Vielzahl der Abwasserbehandlungsanlagen und ihr Entwicklungszustand auf eine gewisse Anzahl von möglichen Entsorgungskonzeptionen zu vereinen, dies unter Beachtung wirtschaftlicher, ökologischer und rechtlicher Rahmenbedingungen, ist die eigentliche Herausforderung der Ausrichtung dieser Studie.

Das Ziel der Studie ist nicht, die eigentliche Grenzwertediskussion zu führen, sondern den zukünftigen Umgang mit dem Stoffgemisch Klärschlamm für den wahrscheinlichen Fall, dass die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen nahezu vollständig unterbunden wird, zu beschreiben und strategisch vorausschauend einer Lösung näher zu bringen.

Das Thema Klärschlambeseitigung bewegt sich im Bereich unterschiedlicher Rechtsgebiete und Rechtsnormen in unterschiedlich fortgeschrittener Präzisierung und ist deshalb nicht nur regional zu betrachten. Die Erfahrungen der Verfasser im überregionalen Bereich und im Umgang mit der Thematik zur Organisation der Klärschlambeseitigung fließen demgemäß wesentlich in diese Studie mit ein.

Jedes zukünftige Konzept fußt auf vorhandenen, gewachsenen und somit respektablen Grundstrukturen. Das weitergehende Konzept hat dieses zu würdigen und dementsprechend notwendige Anpassungen in ähnlicher Konsistenz und Logik zu entwickeln.

Niemand soll durch sich notwendigerweise verändernde Strukturen in seiner Leistungsfähigkeit überfordert werden. Vielmehr wird das Konzept Vorschläge unterbreiten, wie die jeweils ganz unterschiedlichen organisatorischen Strukturen der Abwasseranlagen auf die Entwicklungen reagieren können.

Die Studie berücksichtigt die Abwasserbehandlungsanlagen des Landes Schleswig – Holstein und bezüglich der Entsorgung der Klärschlämme auch angrenzende Bundesländer (Freie Hansestadt Hamburg und Niedersachsen). Dieses entspricht

konsequent den Tendenzen der Entwicklung der norddeutschen Wirtschaftsregion insgesamt und ist gerade für die Betrachtung der Entsorgungsoptionen erforderlich, um Verbund-Konzeptionen mit zu betrachten.

Die Auswirkung der Thematik der zukünftigen Klärschlammentsorgung für den Bürger als Entrichter der Gebühren für die Abwasserbehandlung ist ebenfalls Bestandteil der Konzeption.

2 Verifizierung, Analyse und Auswertung des Datenbestandes

2.1 Einführung

Für die Aufgabe der Ermittlung und Bewertung der technischen und logistischen Rahmenbedingungen bei der zukünftigen Klärschlamm Entsorgung in Schleswig-Holstein sind den Verfassern umfangreiche Datengrundlagen vom Ministerium für Umwelt, Natur und Landwirtschaft des Landes Schleswig-Holstein zur Verfügung gestellt worden. Diese Datensätze wurden zur Bewältigung der gestellten Aufgabe analysiert, geprüft, gefiltert und ergänzt.

2.2 Herkunft der Datengrundlagen

Die dieser Studie zur Verfügung stehenden Datensätze zu den Kläranlagen und Klärschlämmen des Landes Schleswig-Holstein wurden in den zurückliegenden Jahren (1999 bis 2004) von verschiedenen Institutionen aufgrund anderer Aufgabenstellungen und nach unterschiedlichen Schwerpunkten und Hintergründen erstellt.

Im Einzelnen stammen diese Daten von:

- Ministerium für Umwelt, Natur und Landwirtschaft, MUNL
 - o Kläranlagenumfrage 11-2003 MUNL (< 2000 EW)
 - o Umfrage der kommunalen Abwasserteichanlagen in Schleswig-Holstein Stand August 2004 MUNL
- Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt GmbH, LUFA-ITL
 - o Datenbestand Gutachter LUFA 1999

2.3 Datenanalyse

Für die Studie ist eine zentrale Bearbeitungsmatrix erstellt worden, in die, nach Auswertung der zur Verfügung gestellten Datensätze, die vorhandenen Informationen zielorientiert aufgenommen wurden. Vor dem Hintergrund der zu bearbeitenden Inhalte dieser Studie sind die wesentlichen benötigten Informationen über

- die Ausbaudaten und Anschlusswerte der Kläranlagen,
- die erzeugten Klärschlamm mengen,
- die Verfahrenstechnik und

- die ggf. vorhandene technische Ausrüstung der Entwässerung und / oder Speicherkapazitäten

übernommen worden.

Zudem wurden für die Kläranlagen basierend auf den gewachsenen Strukturen

- der Zugehörigkeit zu Verwaltungseinheiten,
- zu Zweckverbänden und anderen
- übergeordneten Verwaltungsorganen
- sowie der geographischen Daten

die Daten ausgewertet.

Hierbei erkannte Datenlücken und / oder Widersprüche sind durch andere zur Verfügung stehende Datensätze (Befragung Kläranlagen der K.E.R.N Region vom Aug. 2004) und Rückfragen bei den Betreibern sowie einer Verifizierung der Daten über die Beteiligung der Kreise und der Staatlichen Umweltämter Schleswig-Holsteins ergänzt bzw. aufgelöst worden. Die übergebenen Datensätze sind mit Daten abgeglichen worden, die durch aktuelle Erhebungen der Verfasser zugänglich bzw. durch diese selbst erhoben und im Juli 2005 abgeschlossen wurden. Insgesamt ergibt sich damit eine hohe Datenkonsistenz mit festgestellten Abweichungen im Bereich bis $\leq 5\%$.

Nach Auswertung und Ergänzung der Daten sind 803 Kläranlagen in die Bearbeitungsmatrix eingegangen, die einen Klärschlammanfall von ca. 80.000 [Mg TS/a] für das Land Schleswig-Holstein ergeben. Die entsprechende Matrix ist der Studie im Anhang 1 beigelegt.

2.3.1 Grunddaten der Kläranlagen

Die Grunddaten der Kläranlagen für die räumliche Zuordnung sind durch die Ortsnamen, die geographischen Koordinaten (Gauß-Krüger-System) sowie für die Zugehörigkeit zu Kreisen und Ämtern anhand der Kennziffern gegeben.

Die kreisfreien Städte, die auf der Ebene der Kreise stehen, werden keiner weiteren Unterteilung unterzogen. Somit sind die insgesamt 803 betrachteten Kläranlagen (> 53 EW) im Hinblick auf die Logistik den 11 Kreisen und 4 kreisfreien Städten Schleswig-Holsteins zugeordnet.

2.4 Datenauswertung

Die Kläranlagen werden im Rahmen dieser Studie nach den beiden grundsätzlich unterschiedlichen Behandlungsarten des Abwassers nach „Belebungsanlagen“ und „Teichkläranlagen“ differenziert. Diese Unterscheidung wird im Hinblick auf die „Speicherkapazitäten“ und den Entwässerungsbedarf der einzelnen Anlagen für die nachfolgende Auswertung dieser Daten benötigt.

Innerhalb dieser beiden Behandlungsarten vorhandene verschiedene Ausführungsvarianten, z.B. Tropfkörperanlagen oder Teichkläranlagen mit Belüftung / Belüftung, werden nicht weiter differenziert.

Aus der folgenden Tabelle wird die Anzahl der Anlagen und deren Differenzierung nach der Behandlungsart nach Kreisen und kreisfreien Städten geordnet aufgeführt.

Kreis	Anzahl der Kläranlagen	Teichklär-anlagen	Belebungs-anlagen	Keine Angaben
	[Anzahl]	[Anzahl]	[Anzahl]	[Anzahl]
Dithmarschen	101	44	57	-
Flensburg	1	0	1	-
Herzogtum-Lauenburg	46	34	12	-
Kiel *	1	0	1	-
Lübeck	1	0	1	-
Neumünster	1	0	1	-
Nordfriesland	77	34	43	-
Ostholstein	107	35	67	5
Pinneberg	8	6	2	-
Plön	82	42	40	-
Rendsburg-Eckernförde	114	75	34	5
Schleswig-Flensburg	50	20	30	-
Segeberg	99	80	19	-
Steinburg	62	29	33	-
Stormarn	53	29	24	-
SUMME	803	428	365	10

Tabelle 2.1: Anzahl der Kläranlagen nach Behandlungsart

* Die Anlage der Stadt Kiel befindet sich im Gebiet des Kreises Rendsburg-Eckernförde.

2.4.1 Verteilung nach Anlagengröße

Ein weiteres Unterscheidungskriterium (vergl. Kap. 2.3.2) sind die Größenklassen der Kläranlagen. In der folgenden Tabelle 2.2 sind die für die Studie betrachteten Kläranlagen in Schleswig-Holstein dementsprechend aufgeteilt.

Kreis	GK 1 (0 - 1000EW)	GK 2 (1001 - 5000 EW)	GK 3 (5001 - 10.000 EW)	GK 4 (10.001 - 100.000 EW)	GK 5 (>100.000 EW)	gesamt
Dithmarschen	72	20	3	6	0	101
Flensburg	0	0	0	0	1	1
Herzogtum-Lauenburg	28	9	3	6	0	46
Kiel	0	0	0	0	1	1
Lübeck	0	0	0	0	1	1
Neumünster	0	0	0	0	1	1
Nordfriesland	40	22	6	8	1	77
Ostholstein	90	5	2	10	0	107
Pinneberg	4	2	1	0	1	8
Plön	72	4	2	4	0	82
Rendsburg-Eckernförde	74	20	11	8	1	114
Schleswig-Flensburg	5	36	2	7	0	50
Segeberg	74	18	4	3	0	99
Steinburg	43	11	6	2	0	62
Stormarn	39	7	2	5	0	53
SUMME	541	154	42	59	7	803

Tabelle 2.2: Kläranlagen nach Anlagengröße

2.4.2 Quantitative Auswertung

Zur Ermittlung und Abschätzung der tatsächlich zu bewältigenden Klärschlamm-mengen liegen die Daten der Kläranlagen weitestgehend in der Form vor, dass die für die Entwässerung der Nassschlamm-mengen eingesetzten Konditionierungs-mittel in den Mengenangaben enthalten sind.

Im Wesentlichen die Großkläranlagen differenzierten nach den eingesetzten Kon-ditionierungsmitteln, sodass nicht nur die entstandenen Klärschlamm-mengen ge-nannt, sondern auch die Massen an Konditionierungsmitteln beziffert sind.

Dies war, wie erwähnt, nur bei den größeren Kläranlagen der Fall. Mittels dieser Datensätze und der genannten Einwohnerwerte (EW), Summe aus angeschlosse-ner Bevölkerung (E) und den Einwohnergleichwerten (EGW), ist auf die tägliche Feststofffracht eines Einwohnerwertes rückgerechnet worden. Die so ermittelte mittlere Fracht liegt mit $58 \text{ g}/(\text{EW} \cdot \text{d})$ in dem Bereich, der für die Bemessung von Kläranlagen zugrundegelegt wird (gem. ATV-A131). Da bei größeren Anlagen der spezifische Klärschlamm-anfall geringer ist, kann es zu Abweichungen in den von den Anlagenbetreibern selbst erfassten / ermittelten Daten für die Anschlusswerte (EW) der Kläranlagen und den in dieser Studie verwendeten kommen. Da es aber hier auf die korrekten Schlamm-mengen ankam, konnte über diesen Ansatz ein weitgehend korrektes Bild erstellt werden.

Der Klärschlamm wird in den Tabellen und Diagrammen dieser Studie jeweils als 100 % Trockensubstanz betrachtet. Die insbesondere für die Logistik wichtigen anderen TS-Gehalte des Klärschlammes (z.B. entwässerter Klärschlamm (poly-merkonditioniert) TS 25%) sind immer mit dem jeweiligen TS-Prozentwert verse-hen.

In der folgenden Tabelle 2.3 wird die jährliche Menge der anfallenden Klärschlamm-trockensubstanz getrennt nach den Anlagengrößen aufgeführt.

Kreis	GK 1		GK 2		GK 3		GK 4		GK 5	
	[Anla- gen]	TS [Mg/a]	[Anla- gen]	TS [Mg/a]	[Anla- gen]	TS [Mg/a]	[Anla- gen]	TS [Mg/a]	[Anla- gen]	TS [Mg/a]
Dithmarschen	72	479	20	815	3	322	6	3.788	0	0
Flensburg	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.964
Herzogtum- Lauenburg	28	221	9	444	3	275	6	3.145	0	0
Kiel	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8.045
Lübeck	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7.635
Neumünster	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.329
Nordfriesland	40	306	22	916	6	629	8	3.272	1	1.424
Ostholstein	90	494	5	225	2	224	10	5.908	0	0
Pinneberg	4	53	2	77	1	117	0	0	1	9.950
Plön	72	377	4	90	2	296	4	1.647	0	0
Rendsburg- Eckernförde	74	552	20	683	11	1.380	8	2.442	1	2.329
Schleswig- Flensburg	5	19	36	1.755	2	201	7	3.377	0	0
Segeberg	74	507	18	625	4	412	3	3.377	0	0
Steinburg	43	246	11	367	6	636	2	1.548	0	0
Stormarn	39	268	7	270	2	228	5	2.831	0	0
SUMME	541	3.522	154	6.266	42	4.721	59	31.335	7	34.674
	67%	4%	19%	8%	5%	6%	7%	39%	1%	43%

Tabelle 2.3: Größenklassen und Klärschlammanfall [TS] nach Kreisen und kreisfreien Städten

Die Aufteilung nach Kläranlagenanzahl, Größenklasse und dazugehöriger Klärschlamm-menge zeigt, dass die von der Anzahl häufigsten Kläranlagen kleiner als 1.000 Einwohnerwerte (GK 1) sind (67 %) und diese zu ca. 4 % zur Gesamtmenge des anfallenden Klärschlammes beitragen.

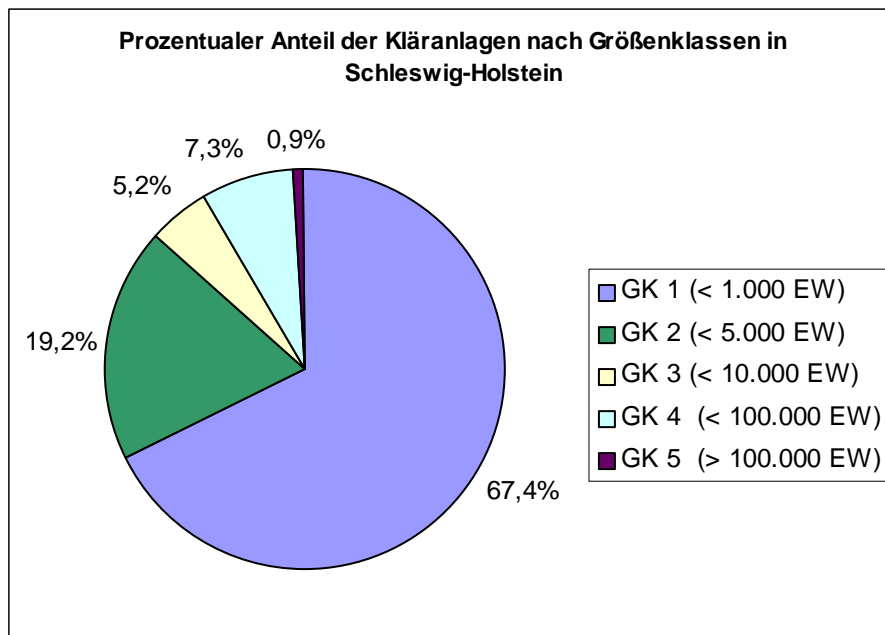


Diagramm 2.1: Prozentualer Anteil der Kläranlagen nach Größenklassen

Der überwiegende Anteil des Klärschlammes wird in den Kläranlagen der Größenklassen 4 (39 %) und in den 7 Kläranlagen der Größenklasse 5 (43 %) erzeugt.

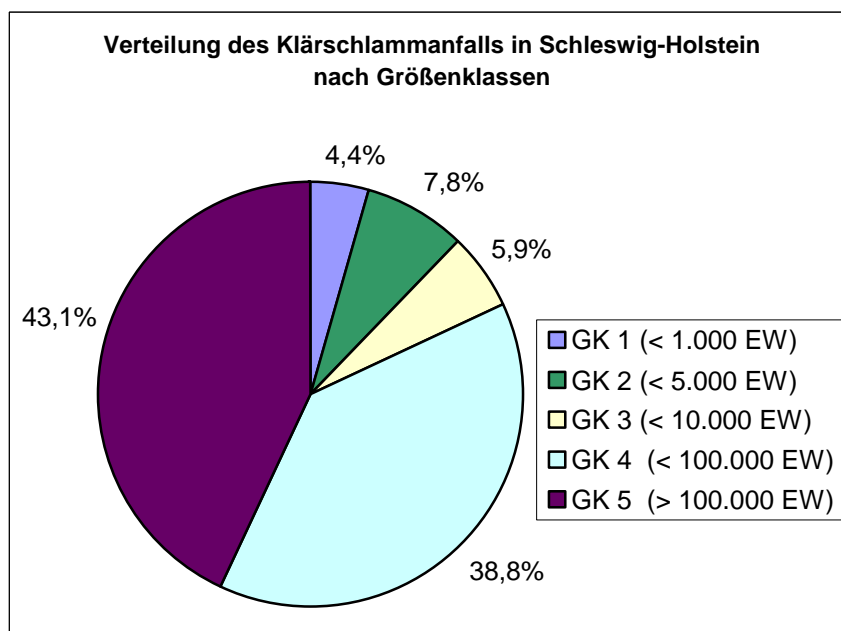


Diagramm 2.2: Prozentualer Anteil der Klärschlammengen nach Größenklassen

2.4.3 Entwässerungseinrichtungen

Als Grundlage für die qualitative Auswertung bezüglich der vorhandenen technischen Optionen der einzelnen Kläranlagen den anfallenden Klärschlamm einer weiteren Behandlung zuzuführen, ist in diesem Untersuchungsrahmen die Möglichkeit der Entwässerung der Klärschlämme zu betrachten. Vor dem Hintergrund des technischen und logistischen Mehraufwandes den Klärschlamm mobil zu entwässern, werden in der folgenden Tabelle die Kläranlagenanzahl und der anfallende Trockensubstanzgehalt der mobilen und stationären Entwässerung gegenübergestellt.

Zur Systematisierung der vorliegenden Daten werden die Entwässerungseinrichtungen der einzelnen Anlagen nach mobilen und stationären Systemen differenziert.

Diese Betrachtung ist vor dem Hintergrund essentiell, dass die Entsorgungsoptionen Annahmespezifikationen hinsichtlich der TS-Gehalte erfordern. Gleichzeitig ist die Konditionierung der Schlämme durch Zugabe von z.B. Kalk nicht mehr notwendig. Damit verändern sich zwangsläufig auch die technisch realisierbaren TS-Gehalte der Schlämme. Erkennbar wird aus der Datenstrukturierung auch inwieweit die Stoffströme kontinuierlich (→ größere Kläranlagen mit stationärer Entwässerung), quasi kontinuierlich (→ Kläranlagen (Belebungsanlagen) ohne stationäre Entwässerung) und diskontinuierlich (→ Teichkläranlagen) anlagenspezifisch anfallen.

Kreise u. kreisfreie Städte	Gesamtanzahl der Kläranlagen	quasi-/diskontinuierlicher Klärschlammanfall		kontinuierlicher Klärschlammanfall		Gesamt-TS [Mg/a]	Ohne Angaben
		mobile Entwässerung	Trocken-Substanz [Mg/a]	stationäre Entwässerung	Trocken-Substanz [Mg/a]		
Dithmarschen	101	95	2.725	4	2.676	5.401	2
Flensburg	1	0	0	1	2.964	2.964	-
Herzogtum-Lauenburg	46	35	586	11	3.499	4.084	-
Kiel	1	0	0	1	8.045	8.045	-
Lübeck	1	0	0	1	7.635	7.635	-
Neumünster	1	0	0	1	2.329	2.329	-
Nordfriesland	77	45	867	32	5.680	6.547	-
Ostholstein	107	94	1.933	8	4.892	6.825	5
Pinneberg	8	5	96	3	10.102	10.197	-
Plön	82	72	701	10	1.709	2.410	-
Rendsburg-Eckernförde	114	104	2.984	10	4.402	7.386	-
Schleswig-Flensburg	50	35	2.788	11	2.551	5.339	4
Segeberg	99	95	1.506	4	3.317	4.824	-
Steinburg	62	55	950	7	1.847	2.797	-
Stormarn	53	44	496	9	3.101	3.597	-
SUMME	803	679	15.631	113	64.748	80.380	11

Tabelle 2.4: Anzahl der mobilen und stationären Entwässerungseinrichtungen unter Berücksichtigung der Kontinuität des Klärschlammanfalls der Kreise und kreisfreien Städte

Hiermit sind 679 Anlagen der insgesamt 803 Anlagen mobil zu entwässern. 113 Anlagen verfügen über eine stationäre Entwässerung. Von 11 Anlagen konnten die Daten über die Art der Entwässerung nicht verifiziert werden. Die 679 mobil zu entwässernden Kläranlagen setzen sich aus Belebungsanlagen und Teichkläranlagen zusammen.

Die Notwendigkeit der regelmäßigen (quasi-kontinuierlich = abhängig vom Stapelvolumen) Entwässerung gilt für die Belebungsanlagen. Die Teichkläranlagen werden durchschnittlich mit einem Entschlammungsrhythmus alle 10 Jahre eingestuft (diskontinuierlich).

3 Darstellung und Bewertung möglicher Entsorgungswege

Prinzipiell stehen die in der folgenden Abbildung (3.1) dargestellten Wege zur Entsorgung des Schlammes zur Verfügung. Bei der Vielzahl der möglichen Verfahrensketten kommt einigen nur regionale Bedeutung zu, andere sind nur noch Übergangsweise möglich, wie die Deponierung ohne vorherige Veraschung. Für größere Kläranlagen stellt die anaerobe Stabilisierung mit anschließender Konditionierung und Entwässerung des Faulschlammes den Stand der Technik dar. Dieser Schlamm kann direkt zur landwirtschaftlichen Verwertung oder zur Rekultivierung verwendet werden. Auch die weitere Behandlung des Schlammes in einer Kompostierung ist möglich, wobei das Endprodukt Kompost wieder einer landbaulichen Verwertung zugeführt werden muss bzw. nach einer Behandlung in einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA) auch deponiert werden kann.

Wird der Schlamm nach der Entwässerung einer Trocknung unterzogen, ergeben sich anschließend die Möglichkeiten einer Ausbringung in der Landwirtschaft oder einer thermischen Behandlung. Die thermische Behandlung kann je nach Verfahren entweder mit entwässertem oder mit getrocknetem Schlamm durchgeführt werden. Die anfallenden Reststoffe (Asche u.a.) müssen schließlich deponiert werden.

Der Verbleib der zu entsorgenden Klärschlammengen wird durch die rechtlichen Anforderungen bestimmt. Die Rahmenbedingungen für die Ablagerung von Rückständen in Deponien werden durch die TA Siedlungsabfall, die Abfallablagerungsverordnung und die Deponieverordnung geregelt, die Klärschlammaufbringungsverordnung regelt die Nutzung in der Landwirtschaft und im Landbau.

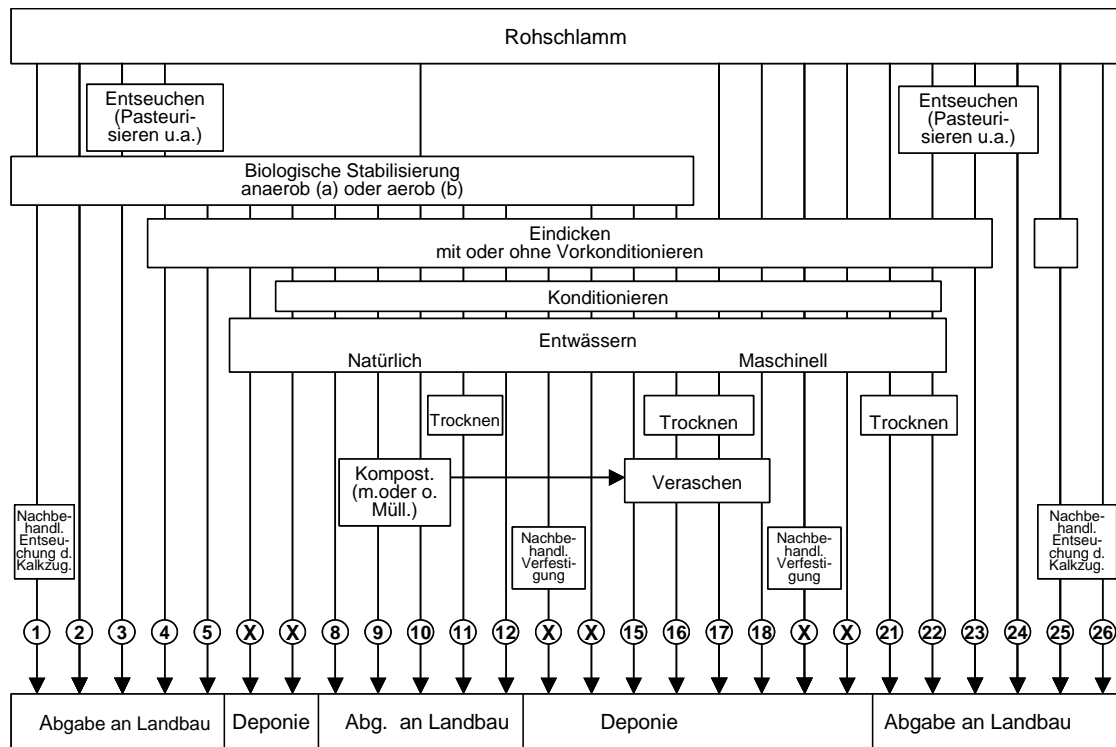


Abbildung 3.1: Behandlungs- und Entsorgungsketten für Klärschlämme

Deutliche Veränderungen der Entsorgungsmöglichkeiten ergeben sich durch die TA Siedlungsabfall, da über das Jahr 2005 hinaus eine direkte Deponierung von Klärschlämmen nicht mehr zulässig sein wird (Glühverlust > 5 %). Lediglich Schlacke und Asche aus der Klärschlammverbrennung können bei guter Prozessführung, d.h. bei gutem Ausbrand des Schlammes zu Produkten führen, die den Anforderungen der TA Siedlungsabfall gerecht werden. Die Aschen können aber auch verwertet werden z.B. in der Baustoffindustrie oder als Bergbaumörtel. Dagegen ist eine Ablagerung nach einer entsprechenden mechanisch-biologischen Behandlung (gemeinsam mit Restabfällen) möglich, sofern die Anforderungen der Ablagerungsverordnung eingehalten werden.

3.1 Klärschlammentsorgungssituation in Deutschland

Die Veränderungen in den letzten Jahren bei den gewählten Entsorgungsoptionen für Klärschlamm in Deutschland sind in Tabelle 3.1 dargestellt. Ein wichtiger Faktor für die Veränderungen ist die seit 1993 gültige und mit einem Übergangszeitraum bis 2005 versehene TA Siedlungsabfall. Aktuelle Zahlen über die Klärschlammentsorgungswege in Deutschland werden kaum publiziert. Das liegt an dem dramatischen Wandel der Entsorgungswege, der sich in den letzten Jahren ergeben hat und der in den nächsten Jahren auch noch andauern wird. Die jüngsten Zahlen einer von ATV-DVGW und BGW vorgenommenen Umfrage für das Jahr 2002 sind in Tabelle 3.1 wiedergegeben, wobei berücksichtigt werden muss, dass dabei nur rund 50 % der Kläranlagenkapazität in Deutschland erfasst wurde

(ATV, 2003a). Die Entwicklungen sind auch von Bundesland zu Bundesland zum Teil erheblich verschieden, was sowohl mit der Landesstruktur als auch mit landesspezifischen politischen bzw. rechtlichen Vorgaben zu tun hat. Beispielsweise hat Nordrhein-Westfalen den Anteil der verbrannten Schlämme in den letzten Jahren immer weiter erhöht, sodass schon 1998 42 % aller Schlämme über diesen Weg entsorgt wurden, mit weiter steigender Tendenz. Nur noch 27 % wurden in der Landwirtschaft verwertet. Dagegen wird in Schleswig-Holstein nach wie vor der größte Teil der Schlämme (fast 80 %) landwirtschaftlich oder landbaulich verwertet und nur ein sehr geringer Teil verbrannt.

Entsorgungsweg	Anteile in %		
	1991	1996	2002
Deponierung	54	11	7
Landwirtschaft	28	44	25
Verbrennung	7	20	36
Kompostierung		10	15
Rekultivierung		12	10
Sonstiges	11	3	7

Tabelle 3.1: Anteil der Schlamm Entsorgungswege in Deutschland

3.2 Landwirtschaft / Landschaftsbau

Aus gutem Grund stellte die Verwendung von Klärschlämmen in der Landwirtschaft lange Zeit den wichtigsten Entsorgungsweg dar. Hierdurch konnte gewährleistet werden, dass die im Schlamm enthaltenen Nährstoffe wieder in den Naturkreislauf zurückgeführt werden. Problematisch ist dabei die Funktion des Schlammes als Schadstoffsenke des Abwasserreinigungsprozesses. Während diese Tatsache in früheren Jahrzehnten wenig Beachtung fand, sorgt sie nun immer wieder für Diskussionen, in denen eine Einschränkung oder ein Verbot der landwirtschaftlichen Verwertung gefordert werden.

Durch die Indirekteinleiterverordnung, die Einführung von Grenzwerten mit der Klärschlammverordnung und andere Maßnahmen konnten die Schadstoffgehalte in den letzten Jahren immer weiter gesenkt werden. Auf der anderen Seite geraten immer wieder neue Schadstoffklassen in die Diskussion, sodass trotz objektiver Qualitätsverbesserungen die Akzeptanz für die landwirtschaftliche Verwertung kaum erhöht werden konnte.

Die Klärschlammverordnung vom April 1992 (AbfKlärV) stellt das wichtigste rechtliche Instrument für die Regelung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung dar. Begrenzt werden darin die Mengen, die Schadstoffgehalte und die beaufschlagbaren Flächen.

So dürfen nur maximal 5 Mg TR pro Hektar innerhalb von 3 Jahren aufgebracht werden. Verboten ist der Einsatz auf Gemüse- und Obstanbauflächen und auf Dauergrünland. Weiterhin ist der Einsatz auf natur- und wasserschutzrechtlich ausgewiesenen Flächen verboten. Dagegen wird eine Entseuchung der Schlämme nicht vorgeschrieben. Die Einhaltung der Schadstoffgrenzwerte (siehe Tab. 3.2) muss kontinuierlich überwacht werden.

Die Anforderungen der gültigen EU-Klärschlamm-Richtlinie von 1991 werden durch die Klärschlammverordnung umgesetzt. Dabei werden durch die deutsche Klärschlammverordnung strengere Maßstäbe als in der EU-Klärschlammrichtlinie vorgegeben. Die derzeit in der Vorbereitung befindliche Novellierung der Richtlinie könnte allerdings mittel- bis langfristig Einschränkungen der landwirtschaftlichen Verwertung mit sich bringen (siehe auch Tabelle 3.2). Zeitlich gestaffelt werden hier Konzentrationsgrenzwerte für Schwermetalle genannt, die teilweise um den Faktor 2 bis 5 unter den Werten der Klärschlammverordnung liegen. Auch wurden neue organischen Schadstoffe (lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS), Di(2-ethylhexyl)Phthalat (DEHP), Nonylphenol bzw. Nonylphenoethoxylate (NPE), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)) aufgenommen und Grenzwerte definiert. Derzeit ist jedoch noch unklar, welche dieser Schadstoffe mit welchen Grenzwerten aufgenommen werden. Auch die Fristen für die Umsetzung sind nicht klar. Allerdings wird in der Richtlinie die landwirtschaftliche Verwertung explizit als vorteilhafter Entsorgungsweg genannt.

Die Frage, welcher Anteil der Schlämme Schleswig-Holsteins zukünftig unterhalb zulässiger Schadstoffgrenzwerte liegt und damit landwirtschaftlich entsorgt werden kann, kann derzeit nicht beantwortet werden. Konkrete Zahlenwerte liegen in Form des Entwurfs der EU-Klärschlammrichtlinie (Tab. 3.2), des vom BMU und BMVEL im Juni 2002 vorgelegten Vorschlags zur Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen bei der Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen und des als Gegenvorschlag von der VDLUFA und der ATV gemeinsam erarbeiteten Eckpunktepapiers (Tab. 3.3) vor. Beim ursprünglichen BMU/BMVEL-Papier sollten die Konzentrationen im Klärschlamm auch von der Bodenart abhängen. In einer überarbeiteten Version wird nicht mehr in verschiedene Bodenarten unterschieden.

Grenzwerte Klärschlamm	Klärschlamm-Verordnung	Novelle EU-Klärschlammrichtlinie		
		ad hoc	mittelfristig	langfristig
Blei	900	750	500	200
Cadmium	10 (5) ^{a)}	10	5	2
Chrom	900	1.000	800	600
Kupfer	800	1.000	800	600
Nickel	200	300	200	100
Quecksilber	8	10	5	2
Zink	2500 (2000) ^{a)}	2.500	2.000	1.500
PCB ^{b)}	0,2	1		
AOX (als Cl)	500	500		
Dioxine/ Furane ^{c)}	0,0001	0,0001		
LAS ^{d)}		2.600		
DEHP ^{e)}		100		
NPE ^{f)}		50		
PAK ^{g)}		6		

a) in Klammern Werte für leichte Böden
b) je Congenere-Gruppen (28, 52, 101, 138, 153, 180)
c) als toxische Äquivalente (TE) nach BGA
d) lineare Alkylbenzolsulfonate
e) Di(2-ethylhexyl)Phthalat
f) Nonylphenol oder Nonylphenoethoxylate
g) polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Tabelle 3.2: Schadstoffgrenzwerte laut Entwurf EU-Klärschlammrichtlinie

Die Grenzwerte des Entwurfs der EU-Klärschlammrichtlinie erfüllen die meisten Schlämme Schleswig-Holsteins zumindest mittelfristig. Besonders der Parameter Kupfer bereitet aber Probleme, die sich langfristig durch die Richtlinie verschärfen würden. In diesem Zusammenhang ist auch die teilweise noch eingesetzte Entwässerung mit Kalkzusatz in Kammerfilterpressen zu betrachten. Der Ersatz solcher Altanlagen durch moderne Zentrifugen ist verbunden mit einer Umstellung auf polymere Flockungsmittel und bringt den Fortfall des Kalkeinsatzes mit sich. Dadurch werden die Entsorgungskosten erheblich gesenkt, allerdings steigt dann die Konzentration der Schadstoffe an, da die gleiche Schadstofffracht in einer geringeren zu entsorgenden Schlammfracht vorliegt. Die Verwertung in der Landwirtschaft könnte damit unmöglich werden.

Vergleicht man dagegen den Vorschlag von BMU/BMVEL mit den aktuellen Konzentrationen der Klärschlamme Schleswig-Holsteins, so kann man abschätzen, dass über 90 % aller Schlämme nicht mehr landwirtschaftlich verwertbar wären.

alle Werte in [mg/kg TM]		Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Queck-silber	Zink
Vorschlag BMU/BMVEL	Tonböden	80	1,4	75	80	60	0,8	450
	Lehm-böden	60	0,9	45	70	45	0,5	390
	Sandböden	40	0,5	25	50	25	0,2	330
Vorschlag BMU/BMVEL (überarbeitete Version)		60	1,7	50	80	40	0,8	450
AbfklärV		900	10	900	800	200	8	2500
VDLUFA / ATV		200	1,5	200	550	80	2,0	1400

Tabelle 3.3: Schadstoffgrenzwerte laut Vorschlag BMU/BMVEL und Eckpunktepapier VDLUFA/ATV

Gegen den Vorschlag von BMU/BMVEL hat es viele Proteste mit mehr oder weniger guten Gegenargumenten gegeben. Ein von der LUFA und der ATV gemeinsam entwickeltes Eckwertepapier, das auf der Essener Tagung 2003 vorgestellt wurde, führt aufgrund sachlich und inhaltlich sehr guter Argumentation auf die in Tabelle 3.3 genannten Grenzwertvorschläge. Aber auch diese Grenzwerte würden von vielen Schlämmen schleswig-holsteinischer Kläranlagen nicht erfüllt, was vor allem auf die Absenkung des Kupferwertes zurückzuführen ist.

Eine auf dem Vorschlag von BMU und BMVEL basierende gesetzgeberische Maßnahme ist derzeit noch nicht konkretisiert. Aber eine Anhebung der genannten Grenzwerte in der überarbeiteten Fassung des Vorschlags ist nicht vorgesehen (Bergs, 2003). Somit müssen alle klärschlammmentsorgenden Einrichtungen mit politischen Vorgaben umgehen, deren Umsetzung zwar nicht oder nicht in vollem Umfang Realität werden muss, die aber für jede zukünftige Planung zu berücksichtigen sind.

3.3 Verwertung im Landschaftsbau

Klärschlamm wird bei diesem Entsorgungsweg meist zusammen mit Komposten zur Rekultivierung von Tagebauflächen sowie zur Abdeckung von Deponien eingesetzt. Da die Böden im Tagebau nur sehr geringe Gehalte an organischer Substanz aufweisen, soll diese durch Klärschlämme verbessert werden. Dabei sind die humusbildenden Eigenschaften von Klärschlamm eher begrenzt. Durch den Gehalt an Nährstoffen kann der Aufwuchs der Bepflanzung beschleunigt werden.

In großem Umfang werden solche Substrate zur Rekultivierung von Halden und Tagebauflächen eingesetzt. Ein Haupteinsatzgebiet bilden daher u.a. Sachsen-Anhalt, Thüringen und Brandenburg, wo derzeit große Flächen rekultiviert werden. Aber auch in Nordrhein-Westfalen findet diese Art des Einsatzes auf umfangreichen Arealen (z.B. im rheinischen Revier) statt.

Wenn auch die Rekultivierung an sich ökologisch sinnvoll ist, so ergeben sich Bedenken durch die damit verbundene einmalige Aufbringung großer Nährstoffmengen. Dies gilt besonders für Klärschlamm, der im Vergleich mit Kompost aus Bioabfall über sehr hohe Nährstoffgehalte verfügt. Dieser kann von Pflanzen nicht aufgenommen werden, sodass es zu Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer oder das Grundwasser kommen kann.

In den letzten Jahren hat die Verwendung von kommunalen Klärschlämmen im Landschaftsbau aufgrund der niedrigen Kosten an Bedeutung gewonnen. Die Tagebauregionen vor allem in Ostdeutschland nehmen erhebliche Mengen an Klärschlämmen auf. Langfristig werden diese Mengen aber wieder abnehmen, da die Flächen dann rekultiviert sind und neue zu rekultivierende Flächen nur in geringem Umfang hinzukommen. Weiterhin ist fraglich, ob nach einer Verschärfung der Grenzwerte für eine landwirtschaftliche Verwertung diese Schlämme noch über den Landschaftsbau verwertet werden können.

3.4 Deponierung / Mechanisch-biologische (mit) Behandlung

3.4.1 Deponierung

Die Ablagerung von Klärschlämmen auf Deponien war über lange Jahre hinweg ein bedeutender Entsorgungsweg.

Die TA Siedlungsabfall von 1993 schließt die Ablagerung organikreicher Siedlungsabfälle wie z.B. Klärschlamm mit einem Glühverlust von über 5 % ab 31.05.2005 aus. An diesem Sachverhalt hat sich durch die Abfallablagerungsverordnung von 2001 prinzipiell nichts verändert. Die darin enthaltene Möglichkeit der Deponierung nach mechanisch-biologischer Behandlung wird im Folgenden besprochen.

Die Ablagerung von Klärschlämmen nach einer entsprechenden Vorbehandlung (Glühverlust < 5%) wird weiterhin möglich sein, sofern die weiteren Anforderungen der Ablagerungsverordnung eingehalten werden. Grundvoraussetzung ist hierbei die Zuordnung der betreffenden Deponie in die Deponieklasse II nach TASI.

Die Stadt Kiel verfügt mit der Klärschlammdeponie Kiel - Bülk zur Zeit über den einzigen in Schleswig-Holstein genehmigten Standort einer Monodeponie (Klasse II nach TASI) mit noch nennenswerten freien Kapazitäten für die Entsorgung landwirtschaftlich nicht verwertbarer Klärschlämme / Verbrennungsaschen.

Diese Zuordnung ist für die Klärschlammdeponie Kiel – Bülk gegeben.



Abbildung 3.2: Kläranlage Kiel-Bülk (450.000 EW) und Ablagerungsflächen der Deponie

Darüber hinaus stehen in Schleswig-Holstein, insbesondere in der Region K.E.R.N (Kiel - Eckernförde – Rendsburg – Neumünster - Plön) keine Alternativen zur direkten Deponierung ohne wesentliche technische Änderungen und den damit verbundenen Aufwendungen zur Verfügung.

3.4.2 Mechanisch-biologische Behandlung mit anschließender Deponierung

In mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlagen (MBA) werden vorsortierte Abfälle aus der grauen Tonne sowie organische Abfälle behandelt. Die Abfallablagerungsverordnung aus dem Jahre 2001 öffnet für so behandelte Abfälle auch nach dem Jahr 2005 die Deponierung. Eine Mitbehandlung von Klärschlamm in solchen Anlagen ist möglich und kann sich auch positiv auswirken, wenn der ansonsten verarbeitete Restabfall aufgrund seiner Zusammensetzung unzureichende biologische Abbauleistung zeigt.

Während gemäß der TA Siedlungsabfall nur Material mit einem Glühverlust von weniger als 5 % hätte deponiert werden können, ist durch die Umsetzung der Europäischen Deponierichtlinie von 1999 in der Abfallablagerungsverordnung von 2001 diese Entsorgungsmöglichkeit geschaffen worden. Dabei spielt der Begriff der Gleichwertigkeit eine wichtige Rolle, den die mechanisch-biologische Behandlung der Restabfälle mit der thermischen Behandlung hat, wenn bestimmte Kriterien eingehalten werden:

- Der organische Anteil des Trockenrückstandes muss weniger als 18 Massen-% betragen
- Die biologische Abbaubarkeit des Trockenrückstandes der Originalsubstanz muss folgende Anforderungen erfüllen:
 - Atmungsaktivität (AT4) max. 5 mg/g
 - Gasbildungsrate im Gärtest (GB21) max. 20 l/kg
- Der obere Heizwert (Ho) darf nicht über 6.000 kJ/kg betragen
- Die für die Deponieklasse II geforderten Kriterien hinsichtlich Festigkeit und Eluat sind einzuhalten.

Mit der seit Anfang 2001 geltenden 30. BImSchV haben sich die Anforderungen an mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen deutlich verschärft. Vor allem ist die Anlage weitgehend einzuhausen (Lagerung und Übergabe der Materialien, Aufbereitungseinrichtungen u.a.), die daraus abgesaugte Abluft ist einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen und energetisch zu nutzen. Die einzuhaltenen Emissionsgrenzwerte sind in der Verordnung angegeben und erfordern vielfach eine thermische Nachbehandlung der Abluft.

Die durch die 30. BImSchV geforderten Emissionsbegrenzungen haben Zusatzinvestitionen zur Folge, die die Kosten der mechanisch-biologischen Behandlung deutlich erhöhen. Daher kann vermutet werden, dass Klärschlamm nur in beschränktem Maße über diesen Weg entsorgt wird. In Schleswig-Holstein wird dieser Anteil im Vergleich mit anderen Bundesländern relativ hoch sein schon aufgrund des Umstandes, dass die Entsorgung des Schlammes der Stadt Lübeck über eine MBA vorgesehen ist. Die Entsorgungsbetriebe Lübeck (EBL) errichten

am Standort der Deponie Niemark eine mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA).

Basierend auf den neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen wurde ein differenziertes technisches Konzept für die mechanische Aufbereitung (MA) und die biologische Behandlung (BB) gewählt. In der MA werden über die Sichtung (Grobstoffe) und die anschließende Aufbereitung die heizwertreiche Fraktion sowie Metalle ausgeschleust. Für die BB verbleiben im Wesentlichen die Feinfraktion aus dem Hausmüll und der mit zu behandelnde Klärschlamm.

3.5 Thermische Verfahren

Zur thermischen Verwertung kommen prinzipiell in Frage:

Monoverbrennung

- Verbrennung in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen
- Pyrolyse in Klärschlamm- Mono-Pyrolyseanlagen

Mitverbrennung

- Mitverbrennung in Kohlekraftwerken
- Mitverbrennung in Zementwerken.
- Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen
- Mitbehandlung in Biomassekraftwerken

Um eine Mitverbrennung von Klärschlamm handelt es sich gemäß 17. BImSchV, wenn der Anteil des Abfalls an der Gesamtfeuerungswärmeleistung einen bestimmten Prozentsatz nicht überschreitet. Für Feuerungsanlagen (Kraftwerke) liegt dieser Anteil bei 25 %, bei der Zement- und Kalkindustrie bei 60 %.

Der herausragende Vorteil einer Mitverbrennung von Klärschlamm in Kraftwerken, Müllverbrennungsanlagen, Zementöfen u.a. muss in der möglichen Nutzung vorhandener Anlagen gesehen werden. Theoretisch wäre bei einer vollständigen Ausnutzung der vorhandenen Kapazitäten die Mitverbrennung des gesamten derzeit in Deutschland anfallenden Klärschlammes möglich. Darüber hinaus ist dadurch teilweise eine Substitution anderer Brenn- oder Rohstoffe möglich. Zum Teil wird dabei ein Reststoff erzeugt, der verwertbar bzw. elutionsarm ist.

Hinsichtlich der Abgasgrenzwerte unterliegen Mitverbrennung und Monoverbrennung unterschiedlichen Anforderungen. Monoverbrennungsanlagen müssen die

Anforderungen der 17. BImSchV für die Verbrennung von Abfällen erfüllen. Darin sind strenge Anforderungen im Hinblick auf die abgasseitigen Grenzkonzentrationen definiert. Es stehen hinreichend erprobte Verfahren zur Rauchgasreinigung zur Verfügung, sodass die relativ scharfen Grenzwerte der 17. BImSchV sicher eingehalten und teilweise sogar deutlich unterschritten werden. Aufwändige Rauchgasreinigungsanlagen führen somit zwangsläufig zu entsprechend hohen Kosten.

Im Rahmen der Novelle der 17. BImSchV sind die Anforderungen an die Mitverbrennung näher an die der Monoverbrennung herangeführt worden (Tab. 3.4).

Grenzwerte in [mg/m ³]	Monoverbrennung	Mitverbrennung in Feuerungen
	Bezugssauerstoffgehalt 11%	Bezugssauerstoffgehalt 6%
Staub	10	10 (20*)
TOC	10	10
HCl	10	20 (100**)
HF	1	1
SO _x	50	MR
NO _x	200	MR
Hg	0,03	0,03
CO	50	MR
Cd+Ti	0,05	0,05
Sb+As+	0,5	0,5
krebserregende Stoffe	0,05	0,05
Dioxine, Furane	0,1 ng/m ³	0,1 ng/m ³

MR = Mischungsregel

* für Anlagen, bei denen keine Rauchgasentschwefelung erforderlich ist

** für Wirbelschichtfeuerungen

Tabelle 3.4: Vergleich der Grenzwerte für die Mono- und Mitverbrennung von Klärschlamm gemäß novellierter 17. BImSchV

Nur für einige Parameter wird die bekannte Mischungsregel verwendet. Hier wird entsprechend der prozentualen Anteile an der Feuerungswärmeleistung ein Mischwert aus dem höheren Grenzwert für die Regelbrennstoffverbrennung und dem niedrigeren Wert für die Abfallverbrennung gebildet.

Für die anderen Parameter sind feste Grenzwerte eingeführt worden. Durch die unterschiedlichen Bezugssauerstoffgehalte kommt es zu einer gewissen Benachteiligung der Mitverbrennung, die dann bei gleichem Grenzwert nur 2/3 der Schadstofffracht der Monoverbrennung emittieren darf. Auf der anderen Seite können bei Verwendung wenig belasteter Regelbrennstoffe die Grenzwerte beispielsweise für Quecksilber eingehalten werden, ohne dass eine separate Abscheidung wie bei der Monoverbrennung erfolgen muss. Eine Mitverbrennung von Klärschlämmen in Kohlekraftwerken führt also immer dann zu höheren Emissionen, wenn keine entsprechende Abgasreinigung vorhanden ist. Fordert man, dass die rein aus Klärschlammveraschung resultierenden Emissionen frachtmäßig nicht höher ausfallen dürfen als bei der Monoverbrennung, so ergeben sich ganz erhebliche Investitionen für die Nachrüstung der Abgasreinigung von Kohlekraftwerken. Denn dann müsste beispielsweise bei einem mitzuverbrennenden Anteil an Klärschlamm von 5 % des Gesamtheizwertes die Rauchgasreinigungsanlage ca. 20 mal so groß sein wie bei einer vergleichbaren Monoverbrennungsanlage.

Inwieweit die Mitverbrennung von Klärschlamm zu Änderungen im Emissionsverhalten von Verbrennungsanlagen führt, hängt u.a. von den Schadstoffgehalten in den Brennstoffen ab. Um einen Vergleich über die Schadstoffkonzentrationen in den einzelnen Brennstoffen zu bekommen, sind in Tabelle 3.5 Durchschnittskonzentrationen von Schwermetallen in Klärschlamm, Müll, Kohle und Rohmaterial zur Zementherstellung angegeben.

Element	Klärschlamm mg/ kg TS	Müll mg/ kg	Kohle mg/ kg	Rohmaterial für Zement mg/ kg
Blei	242-720	430-1200	11-270	4-15
Cadmium	3,2-7,8	3-15	0,1-10	0,04-0,15
Zink	875-1400	1000-2000	16-220	31-47
Kupfer	280-960	200-600	30-44	-
Chrom	24-49	(250)	5-80	23-29
Nickel	40-106	(80)	20-80	18-23
Quecksilber	2,7-22,1	4-5	0,01-3,3	0,04-0,4

Tabelle 3.5: Schwermetallgehalte in Klärschlamm (Poletschny, 1991), Hausmüll (Reimann, 1990), Kohle und Rohmaterial zur Zementherstellung (Holderbank, 1988)

Wird auf 90 % getrockneter Klärschlamm zu einem Anteil von 5 bis 25 % in Zementöfen oder Kohleschmelzöfen mitverbrannt, so kann davon ausgegangen werden, dass sich die Konzentrationen in der Schlacke oder in der Abluft beispielsweise für Chrom oder Nickel gegenüber dem schlammlosen Betrieb aufgrund der vergleichbaren Konzentrationen nicht wesentlich verändern. Dagegen muss z.B.

für Quecksilber und Cadmium mit einer Zunahme gerechnet werden, die aber aufgrund der geringen Menge an mitverbranntem Klärschlamm vielfach nur schwer nachweisbar sein dürfte. Wird Klärschlamm zusammen mit Hausmüll verbrannt, hängt die Konzentrationsänderung davon ab, inwieweit der Schlamm entwässert wurde. Bei üblichen Mengenverhältnissen Klärschlamm/Müll von 1:4 bis 1:3 und TR-Gehalten des Schlammes von 35 % kann eine Verringerung der Schwermetallgehalte in den Emissionen bzw. Reststoffen errechnet werden (nicht bei Quecksilber).

Bevor ein Klärschlamm selbstgänglich verbrennt, muss er getrocknet werden. Mechanisch entwässerter Schlamm mit maximal 30 % TR weisen lediglich einen rechnerischen Heizwert von maximal 3 MJ auf. Eine Vortrocknung auf 40 bis 45 % TR gewährleistet eine selbstgängige Verbrennung. Diese Verfahrensvariante wird beispielweise in der Klärschlamm-Monoverbrennung in Hamburg angewandt.

Bei einer Klärschlamm-Monoverbrennung kann die zusätzliche Verdampfungsleistung auch durch die Zufeuerung von Regelbrennstoff (Kohle, Öl, Gas) in die Verbrennungsanlage erfolgen. Allerdings wird davon meist abgesehen, da die gesetzlich geforderte Nutzung der in den Brüden enthaltenen Energie im Regelfall über eine vorgeschaltete Trocknung erfolgt.

Bei der Mitverbrennung mit heizwertreicheren Materialien (hochkalorische Abfälle, Hausmüll, Primärenergieträger) kann eine Vortrocknung ggf. entfallen, wenn die Verdampfungsleistung vom Kessel erbracht werden kann.

Die energetische Verwertung im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, die sich an dem Kriterium des Mindestheizwerts von 11.000 kJ/kg orientiert, erreicht allenfalls ein hochgetrockneter Schlamm.

Ein weiteres Unterscheidungskriterium zwischen Mono- und Mitverbrennung ist der Aspekt der Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen. Dies ist aufgrund der höheren Konzentration voraussichtlich allenfalls für die Asche aus der Klärschlammmonoverbrennung sinnvoll. Soll die Rückgewinnung des Phosphors erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen, so sollte die Asche separat ohne Vermischung mit anderen Stoffen abgelagert werden.

3.5.1 Klärschlamm-Monoverbrennung

Für die Monoverbrennung von Klärschlamm haben sich unterschiedliche Ofenbauarten wie z.B. Etagenöfen, Wirbelschichtöfen und Rostfeuerungen in der Praxis bewährt. Am weitesten verbreitet ist dabei die stationäre Wirbelschichtfeuerung, bei welcher der Klärschlamm mit einem Trocknungsgrad zwischen 25 % (bei Rohschlamm) und 50 % (bei Faulschlamm) in einer vertikal zylindrischen Brennkammer in einem so genannten Wirbelbett verbrannt wird. Dabei handelt es sich um eine Sandschicht, die durch vom Boden der Brennkammer her eingedüste Luft in einem Schwebезustand gehalten wird. Die Asche wird nahezu vollständig mit

dem Abgasstrom aus dem Brennraum ausgetragen und muss über Elektro-Filter zurückgehalten werden.

Da die Klärschlammmonoverbrennungsanlagen nach der 17. BImSchV genehmigt werden müssen, ist neben der Entstaubung eine Absorption von sauren Gasen und Abreinigung von Schwermetallen (insbesondere Quecksilber) erforderlich. Auf Grund der vergleichsweise geringen Feuerraumtemperatur ist eine katalytische Entstickung in der Regel nicht notwendig. Auch ist die Verhinderung der Dioxin-entstehung bei der Klärschlamm-Monoverbrennung nur von untergeordneter Bedeutung, da wesentliche Voraussetzungen für die so genannte „De-Novo“-Synthese nicht gegeben sind (IFEU, 2002). Das Mengenverhältnis zwischen Schwefel und Chlor ist im Klärschlamm vergleichsweise hoch, zumal Chlor dort kaum in organisch gebundener Form vorliegt und somit in entsprechend geringem Maße in den Abgasstrom gelangt. Dagegen ist neben den oben genannten Abgasreinigungseinheiten der Einsatz von Koks oder anderen Adsorbiermaterialien zur Feinreinigung (v.a. organische Schadstoffe und Schwermetalle) üblich.

Besondere Vorteile der Monoverbrennung liegen in der Unabhängigkeit von Kraftwerken mit anderem Primärziel - z.B. wird bei Rückgang der Zementproduktion auch weniger Klärschlamm angenommen - und in der Möglichkeit, Phosphor aus der Klärschlammmasche wirtschaftlich zurückzugewinnen.

Bei der Verbrennung werden organische Schadstoffe weitgehend vollständig zu CO₂ oxidiert. Der überwiegende Anteil der anorganischen Inhaltsstoffe (darunter auch die Schwermetalle) wird in den Verbrennungsrückständen aufkonzentriert. Diese Verbrennungsrückstände müssen wie die Abgasreinigungsprodukte gesondert entsorgt werden. Die Klärschlammaschen werden zu ca. 63 % als Bergbauersatzmaterial und als Bergbaumörtel verwendet. Weitere ca. 11,5 % werden als Baustoffe, ca. 10 % in der Kupferverhüttung und ca. 8,5 % in der Rekultivierung verwendet sowie ca. 6 % deponiert (Wiebusch, 1999). Die Verglasung von Schlamminhaltsstoffen, wie sie insbesondere in Schmelzkammerfeuerungen derzeit bereits möglich ist, stellt sicherlich die weitestgehende Umsetzung der Schlamminhaltsstoffe dar, wobei die Schadstoffe in höchst möglichem Masse festgelegt werden. In Japan sind bereits mehrere großtechnische Anlagen in Betrieb, die ein Produkt liefern, welches als Baustoff weiteren Verwendungen problemlos zugeführt werden kann.

3.5.2 Mitverbrennung in Kohlekraftwerken

Nach erfolgreichen Versuchen wurde der Dauerbetrieb der Mitverbrennung nach UBA (1998) zunächst in zwei Steinkohle- und drei Braunkohlekraftwerken genehmigt. Derzeit werden in 18 Anlagen knapp 600.000 Mg/a mitverbrannt (Hanßen, 2004).

Als Ersatzbrennstoff zu Braun- bzw. Steinkohle werden max. 5 bis 10 % des Primärenergiestoffes zugegeben. Die Anlieferung des Klärschlammes kann je nach vorhandener Annahmeeinrichtung im entwässerten Zustand (ca. 25 bis 30 % TR) oder im vollgetrockneten Zustand (ca. 85 bis 92 % TR) erfolgen. Nur wenige Anlagen wie beispielsweise die BKB in Buschhaus sind in der Lage, teilgetrocknete Schlämme (ca. 40 bis 70 % TR) anzunehmen.

In Braunkohlekraftwerken können Klärschlämme in entwässerter oder getrockneter Form verbrannt werden. Die Steinkohlekraftwerke benötigen dagegen meist eine Volltrocknung des Klärschlammes auf mindestens 88 %. Dies kann in den Mahltrocknern für die Kohle, vermischt mit dieser, erfolgen, wobei die Kapazitäten dafür meist begrenzt sind. Daher wurde in einigen Fällen eine separate Trocknung realisiert.

Für die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken stehen erhebliche Verbrennungskapazitäten zur Verfügung. Wenn verfahrenstechnische sowie logistische Probleme der Klärschlammmanlieferung, -lagerung und -zumischung in den Anlagen gelöst werden, eignen sich viele der deutschen Kohlekraftwerke für die Mitverbrennung. Solange gesetzgeberisch keine erhöhten Anforderungen an die Abgasbehandlung bei der Mitverbrennung gestellt werden, steht dieser Entsorgungsweg in vollem Umfang offen.

Wenn alle Kohlekraftwerke in Deutschland dazu übergehen würden, Klärschlamm mit einem Trockensubstanzanteil von fünf Prozent Klärschlamm zur Kohle mit zu verbrennen, ergebe sich theoretisch eine Kapazität von etwa 5,2 Millionen t Trockensubstanz pro Jahr. Dieser Wert wäre zweimal so hoch wie der tatsächliche Klärschlammfall in den kommenden Jahren.

In der Praxis sind die effektiven Möglichkeiten der Kraftwerke allerdings wesentlich ungünstiger. Vor allem bei Steinkohlekraftwerken reicht die zur Verfügung stehende Restwärme oft nur zur Trocknung eines Klärschlammanteils von zwei bis drei Prozent Trockensubstanz aus. Zudem sind die technischen und räumlichen Voraussetzungen für eine Mitverbrennung nicht bei allen Kraftwerken gegeben. Das annehmende Kohlekraftwerk muss über eine geeignete Aufbereitungs- und Zuführungseinrichtung verfügen. Schließlich muss auch die Restlaufzeit des Kraftwerkes die erforderlichen Investitionen absichern. Berücksichtigt man all diese Einschränkungen, so liegt die tatsächlich in Kohlekraftwerken in Deutschland mitverbrennbare Menge an Klärschlamm unter einer Millionen Tonnen Trockensubstanz pro Jahr bis zum Jahr 2005 (Buck, 2003) und langfristig maximal bei 1,2 Mio. Mg TR/a (Hanßen, 2003). Damit reichen die Mitverbrennungskapazitäten der Kraft-

werke maximal für die Hälfte des Klärschlammanfalls in Deutschland aus. Sollte also zukünftig die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung stark eingeschränkt werden, müssen zusätzliche Verbrennungskapazitäten geschaffen werden.

Vor allem Quecksilber wird durch den Klärschlamm eingetragen und findet sich als leichtflüchtige Komponente im Rauchgas wieder. Auch wenn messtechnisch zwischen dem Betrieb mit Klärschlamm und dem ausschließlichen Kohlebetrieb häufig kein signifikanter Unterschied im Abgasstrom festzustellen ist, ist aus ökologischer Sicht eine Abgasreinigung zu fordern. Daher muss Quecksilber z.B. durch Adsorption an Aktiv- oder Herdofenkoks entfernt werden. Allerdings ist diese Technik überwiegend noch nicht vorhanden, da viele Anlagen nur dem der Großfeuerungsanlagenverordnung entsprechenden technischen Stand der Reinigungstechnik genügen.

Klärschlamm weist einen gegenüber Kohle hohen Ascheanteil auf und hat daher einen überproportionalen Einfluss auf die Aschequalität. Dieser Einfluss kann limitierend auf die Annahmemenge wirken. So hat die Zementindustrie gemäß DIN 450 den Anteil von Klärschlamm in Steinkohleaschen auf 10 % limitiert. Für Aschen, die im Tagebau eingesetzt werden, ist das Eluatverhalten von Bedeutung. Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche ist aufgrund des geringen Klärschlammanteils nicht möglich.

3.5.3 Mitverbrennung in Zementwerken

Die Mitverbrennung von Klärschlamm in Zementwerken kann aus technischer Sicht wie bei Kohlekraftwerken maximal 10 % von der zur Verbrennung eingesetzten Primärenergiemenge betragen. Aus Gründen der Zementverfahrenstechnik können maximal rund 5 % der jeweils produzierten Klinkermenge als Klärschlamm-TR mitverbrannt werden. Theoretisch wäre damit in Deutschland die Entsorgung von 50 % des anfallenden Klärschlammes in Zementöfen möglich, wobei jedoch 15 % als realistische Menge angenommen werden können.

Die Herstellung von Zement erfolgt in Deutschland überwiegend nach dem Trockenverfahren. Beim Nassverfahren können zwar problemlos ungetrocknete Schlämme verarbeitet werden, es ist aber weit energieintensiver.

Zur Mitverbrennung in Zementöfen muss der Klärschlamm aufbereitet werden. Der TR-Gehalt muss über 75 %, besser 90 % betragen. Der getrocknete Klärschlamm sollte entweder fein gemahlen oder in Form eines Granulats vorliegen.

Die Klinkerqualität und die bautechnischen Eigenschaften des Zements werden durch die Mitverbrennung von maximal 5 % Klärschlamm-TR nicht spürbar beeinflusst. Bei entsprechender Durchführung kann ein einwandfreier Klinker produziert werden (Holderbank, 1988). Durch die Mitverbrennung erhöhen sich die Schwermetallkonzentrationen im Klinker gegenüber der schlammlosen Verbrennung signifikant nur für Zink, Blei und Cadmium. Die Zunahmemenge kann für Zink mit et-

wa 150, für Blei mit 50 und für Cadmium mit 1,5 mg pro kg Klinker angegeben werden. Diese Konzentrationen werden in Folgeprodukten wie Beton um etwa den Faktor 6 verringert.

Die hohen Verbrennungstemperaturen und die Einbindung von Schadstoffen in den Klinker sorgen für relativ geringe abgasseitige Emissionen. Die Untersuchungen von Obrist und Lang (1987) zeigten, dass die meisten Schwermetalle zu über 99 % im Ofen zurückgehalten werden. Dies gilt jedoch nicht für Quecksilber, von dem angenommen werden muss, dass es beim Stand der heutigen Abgasreinigung in Zementöfen (E-Filter: Reingasstaubgehalte < 50 mg/m³) nahezu vollständig dampfförmig in die Atmosphäre entweicht. Wie Versuche unter anderem im Zementwerk Lägerdorf gezeigt haben, kann aber auch der Grenzwert für Quecksilber gemäß 17. BImSchV eingehalten werden, sofern der Anteil mitverbrannten Klärschlammes und dessen Quecksilberkonzentration nicht zu hoch sind. Für Cadmium und Thallium wurden darüber hinaus nur Rückhaltequoten von etwa 95 % ermittelt. Eine spezifische Aufrüstung durch eine Adsorption muss als kritisch angesehen werden, da neben den Kosten auch Probleme der technischen Beherrschbarkeit entsprechender Filtersysteme angesichts der sehr großen Abgasvolumenströme bestehen.

3.5.4 Mitverbrennung in Restabfallverbrennungsanlagen (MVA)

Die Mitverbrennung erfolgt bei Temperaturen zwischen 800 und 1000 °C. Der Anteil des mitverbrannten Klärschlammes ist unterhalb von 20 bis 25 % der Abfallmasse zu halten, um die Gefahr von Anbackungen im Kesselbereich zu vermeiden.

Restabfälle werden in Deutschland bis auf wenige Ausnahmen in Rostfeuerungsanlagen verbrannt. Dieses Verfahrensprinzip kommt der Heterogenität und Stückigkeit der häuslichen Restabfälle entgegen und weist dementsprechend eine vergleichsweise hohe Flexibilität hinsichtlich schwankender Zusammensetzung auf. Die gleichmäßige Einbringung des Klärschlammes in den Verbrennungsraum ist eine wichtige Voraussetzung für eine zuverlässige Verbrennung. Die einfache Einarbeitung des Schlammes mittels des Müllgreifers kann leicht zu einer schlechten Vermischung und damit zu einem schlechten Ausbrand führen. Daher wurden mehrere verbesserte Verfahrensvarianten entwickelt:

- Müll-Klärschlamm-Homogenisierung mittels Drehtrommel; Müll und entwässerter Klärschlamm werden in einer Trommel vermischt und vorgewärmt; das optimale Verhältnis Klärschlamm zu Müll beträgt hierbei etwa 1 zu 10.
- Aufstreuen des Klärschlammes auf den Müll im Bunker

Hierbei wird streufähiger, auf mindestens 35 % entwässerter Klärschlamm mit einem Wurfbeschicker auf den Müll verteilt. Grobe Schlammstücke wer-

den dabei zerkleinert; trotzdem können Probleme beim Ausbrand des Mülls auftreten. Soll der Klärschlammanteil über 10 % betragen, ist auf eine besonders gleichmäßige Aufstreuung zu achten.

- Eintrag als Staub in den Feuerraum nach Trocknung und Mahlung Die Aufstreuung oder Einmischung von getrocknetem Klärschlamm führt zu einem unbefriedigenden Ausbrand. Aus diesen Gründen wird die Technik der Staubfeuerung von getrocknetem und gemahlenem Schlamm bevorzugt. Es können unter günstigen Bedingungen bis etwa 15 Gew.-% TR, bezogen auf Müll, mitverbrannt werden.

Der Vorteil der Mitverbrennung von Klärschlamm in Müllverbrennungsanlagen besteht in den bereits bestehenden Anlagen zur Abgasreinigung. Weder auf der Abgas- noch auf der Ascheseite ist mit merklichen Verschlechterungen der Qualität zu rechnen. Hausmüll kann als "Stützbrennstoff" bzw. als Energielieferant zur Trocknung des Schlammes benutzt werden.

Die Inertanteile des Klärschlammes finden sich z.T. in der Rostschlacke, z.T. im Filterstaub wieder. Während der Filterstaub grundsätzlich untertägig entsorgt wird, ist es weitläufige Praxis, die Rostschlacke nach Aufbereitung im Straßenbau (Schottermaterial) einzusetzen. Eine Phosphorrückgewinnung ist hier ebenfalls nicht möglich.

3.5.5 Mitbehandlung in Biomassekraftwerken

Die Mitbehandlung in Biomassekraftwerken stellt eine relativ neue Variante der Klärschlamm Entsorgung dar. Vor allem Rest-, Bruch- und Abfallholz können regional in größeren Mengen zur Verfügung stehen, sodass die Produktion von Strom und Wärme wirtschaftlich interessant wird. Wenn bei der Planung und Genehmigung bereits die Annahme von Klärschlamm berücksichtigt wurde, ist eine Mitbehandlung denkbar. Einschränkend muss gesagt werden, dass die Abgase der Anlage durch die Klärschlammzugabe mit Schadstoffen belastet werden, was höhere Anforderungen an die Abgasreinigung nach sich ziehen kann. Die bereits vorhandenen oder in absehbarer Zukunft zur Verfügung stehenden Mitbehandlungskapazitäten sind im Vergleich mit den anderen Varianten als gering anzusetzen.

3.5.6 Verbrennung in Asphaltmischgutwerken

Asphaltmischgutwerke produzieren Belagmaterial für den Straßenbau aus mineralischen Materialien und Bitumen. Da im Winter die Asphaltherstellung weitgehend eingestellt wird, müsste der Klärschlamm zwischengelagert werden. Im Mischgutwerk Alfeld-Föhrste wurde über Jahre getrockneter Klärschlamm zur Befuerung der Trockentrommeln eingesetzt; der Betrieb ist aus genehmigungsrechtlichen Gründen mittlerweile eingestellt worden.

3.5.7 Mitverbrennung in anderen Industrieanlagen

Die Mitverbrennung in anderen Industrieanlagen hat derzeit keine Bedeutung, da Klärschlamm einen hohen Wasser- und Aschegehalt aufweist. Als Ersatzbrennstoff kommt entwässertes Klärschlamm daher in den seltensten Fällen in Betracht. Statt dessen werden andere hochkalorische Abfälle eingesetzt. Denkbar wäre aber der Einsatz von getrocknetem Klärschlamm. Ein auf 90 % getrockneter Klärschlamm weist mit ca. 12 MJ/kg immer noch einen geringeren Heizwert auf, aber ein Einsatz wäre theoretisch denkbar, sofern keine anderen, besser geeigneten Abfallbrennstoffe verfügbar sind. Am Beispiel der Mitverbrennung in der Zementindustrie wurde dieser Fall aufgrund seiner ähnlich gelagerten Struktur ausreichend abgehandelt, sodass eine separate Betrachtung nicht erfolgt.

3.5.8 Sonderverfahren

Neben den genannten Verfahren sind noch eine Reihe weiterer Verfahrensarten entwickelt worden, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

3.5.9 Pyrolyseanlagen/Klärschlammvergasung

Bei der Pyrolyse werden Abfälle und/oder Klärschlämme auf 500 bis 700 °C unter Sauerstoffabschluss erhitzt, wozu in aller Regel ein indirekt beheiztes Drehrohr eingesetzt wird. Dabei finden Zersetzungsprozesse statt. Von der organischen Substanz werden kurzkettige (Pyrolysegase) und längerkettige Moleküle (die bei niedrigen Temperaturen teilweise als Öle kondensieren) abgespalten. Das übrige organische Material verbleibt als Koks.

Die Vergasung zu Synthesegas (mit anschließender Erzeugung von Methanol und/oder energetischer Nutzung des Gases) ist in Deutschland großtechnisch realisiert im Sekundärstoffverwertungszentrum SVZ Schwarze Pumpe bei Cottbus. Dort werden neben anderen Abfallstoffen und einer Beimischung von ca. 15 % Steinkohle Klärschlämme der Bundeshauptstadt Berlin entsorgt (IFEU, 2002). Im Verlaufe der 90er-Jahre gab es vielfach Bemühungen, diesen technologischen Ansatz weiter auszuweiten (z.B. Noell-Konversionsverfahren, Thermoselect).

Die Pyrolyse für vollgetrockneten Klärschlamm ist neben der Verbrennung bereits technisch realisiert (z.B. KA Balingen), jedoch handelt es sich hier um Anlagen im Demonstrationsmaßstab mit einem Schlammumsatz von ca. 1000 Mg TM/a. Auch wenn die Erfahrungen der letzten 15 Jahre gezeigt haben, dass Pyrolyseanlagen zur Behandlung von Klärschlamm keine größere Marktverbreitung gefunden haben, so ist hier die weitere Entwicklung zu beobachten und bei mittel- und langfristigen Betrachtungen diese Variante der thermischen Behandlung zu berücksichtigen.

3.5.10 Nassoxidation (VerTech, SCWO)

Bei der Nassoxidation wird Schlamm unter hohen Drücken (bis 150 bar) und erhöhten Temperaturen mit Sauerstoff vollständig durchoxidiert. Es fallen dabei nur geringe Restschlammengen an. Neben oberirdischen Druckreaktoren wurde für kommunalen Schlamm das Tiefschachtverfahren (VerTech) entwickelt. Neben einer in Holland laufenden Großanlage wurde das bislang einzige konkrete Planungsvorhaben in Deutschland (in Hof, Oberfranken) bereits vor einiger Zeit eingestellt. Problematisch ist u.a. die erhebliche Rückbelastung des Klärwerks mit Nitrat.

Bei der Überkritischen Nassoxidation (Super Critical Wet Oxidation (SCWO)) entfällt das Nitratproblem, da Stickstoff im Prozess als Stickstoffgas anfällt. Das Verfahren arbeitet bei noch extremeren Prozessbedingungen im überkritischen Bereich des Wassers ($p > 22,1 \text{ MPa}$, $T > 374 \text{ °C}$). Weiterhin bietet sich die Möglichkeit, aus dem anorganischen Reststoff Phosphor zurückzugewinnen. Existierende Großanlagen werden für die Behandlung spezieller Industrieabwässer eingesetzt. Aus diesen Anlagen bekannte Probleme mit Ablagerungen und Korrosion sollen bei Anlagen für die Behandlung von Klärschlamm beherrschbar sein. Der Einsatz für die Klärschlammbehandlung ist bisher nur in einer schwedischen Pilotanlage verfolgt worden. Das Verfahren kann mittel- bis langfristig als interessant eingestuft werden, insbesondere im Zusammenhang mit einem Phosphorrecycling. Aufgrund der fehlenden großtechnischen Erfahrungen im Einsatz mit Klärschlamm wird das Verfahren bei der Betrachtung der aktuellen Entsorgungsmöglichkeiten in Schleswig-Holstein nicht weiter betrachtet.

3.5.11 Seaborne-Verfahren

Das Seaborne-Verfahren dient der Behandlung organischer Stoffe, u.a. Klärschlamm und wurde von Seaborne Environmental Research Laboratory entwickelt. Das Gesamtverfahren besteht aus mehreren einzelnen Modulen, die hinsichtlich der Stoffströme miteinander vernetzt sind. Neben der Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff in Form von Mineraldüngern soll eine Ausschleusung von Schwermetallen sowie eine Faulgasreinigung erfolgen. Das Verfahren ist im Pilotmaßstab in Owschlag (Schleswig-Holstein) realisiert worden. Die Betriebserfahrungen zur Verarbeitung von Klärschlamm sind noch gering. Im Rahmen einer vom Unterzeichner angefertigten Machbarkeitsstudie wurde festgestellt, dass eine prinzipielle technische Machbarkeit des Verfahrens (ohne eine Schwermetallrücklösung) möglich ist, aber noch erhebliche Bedenken hinsichtlich des Praxiseinsatzes auf Kläranlagen sowie hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit vorliegen. Auf der Kläranlage Gifhorn (Niedersachsen) wird eine großtechnische Demonstrationsanlage errichtet, die im Jahr 2005 in den Probetrieb gehen wird.

Aufgrund der derzeit noch fehlenden großtechnischen Erfahrungen wird das Verfahren bei der Betrachtung der aktuellen Entsorgungsmöglichkeiten in Schleswig-Holstein nicht weiter betrachtet.

3.6 Beschreibung der Entsorgungsoptionen in Schleswig-Holstein und Hamburg

Im Zuge der Bearbeitung wurden mit den bekannten Betrieben der in Rede stehenden Anlagen zur thermischen Behandlung Gespräche geführt. Die im Folgenden genannten Kapazitäten, Aussagen über Planungsabsichten usw. sind auf Basis der bis Ende 2004 vorgenommenen Recherchen zusammengestellt.

Insgesamt stellen sich vorgenannte Einrichtungen der Thematik gegenüber konstruktiv. Während sich einige mögliche Anlagen noch in der Vorplanungsphase befinden, sind andere erkennbar, für die bereits weit fortgeschrittene Planungen und Beantragungsverfahren vorliegen. Nach Einschätzung der Verfasser können für diese Anlagen bzw. Anlagenbereiche in ca. 2 bis 2,5 Jahren (teilweise bereits in einer Frist von einem Jahr) alle dinglichen Voraussetzungen zur thermischen Verwertung der Klärschlämme erreicht sein. Bei den in Vorüberlegungen bzw. Vorplanung befindlichen Anlagen ist dagegen mit Realisierungszeiträumen von 5 oder mehr Jahren zu rechnen.

Derzeit können nur die VERA in Hamburg und die Müllverbrennung in Kiel Schlamm annehmen. Kurzfristig könnte auch das Zementwerk Lägerdorf und die Müllverbrennung Kiel für die Mitverbrennung Kapazitäten schaffen. Auch die MBA in Lübeck soll Mitte 2005 ihren Betrieb aufnehmen. In den Kraftwerken Kiel und Flensburg müssen Annahmestationen errichtet werden. Die Genehmigungen zur Mitverbrennung sind beantragt bzw. bereits erteilt. Der Bau der Annahmestationen erfolgt, sobald der Bedarf dafür besteht.

3.6.1 Stadtwerke Flensburg GmbH - Flensburg -

In dem Heizkraftwerk der Stadtwerke Flensburg GmbH können dann 10.000 bis 17.000 t/a polymerkonditionierter Klärschlamm mit ca. 20 - 30 % TS mitverbrannt werden. Die Mitverbrennung erfolgt nach dem Wirbelschichtverfahren in 3 Kesseln. Die Menge von 17.000 t Klärschlamm als Ersatzbrennstoff ersetzt hiernach ca. 1.000 t Steinkohle (Angabe der Stadtwerke Flensburg GmbH).

In einem Stahlbunker von ca. 40 m³ Volumen erfolgt die Annahme und Bevorratung einer Klärschlammmenge, die in etwa der Tageskapazität der Mitverbrennung entspricht. Das Speichervolumen bedingt eine quasi-kontinuierliche Anlieferung des Klärschlammes in üblichen Transporteinrichtungen per LKW. Die abschließende Förderung der Klärschlämme aus der Vorlage erfolgt über eine Dickstoffpumpe in Richtung auf die Kesselanlage.

3.6.2 Gemeinschaftskraftwerk Kiel GmbH - Kiel -

In dem Gemeinschaftskraftwerk Kiel können dann per anno bis 58.000 t polymer-konditionierter Klärschlamm mit einem TS-Gehalt von 20 – 30% TS mitverbrannt werden.

Das Bevorratungsvolumen wird 2 x 500 m³ betragen. Anlagen gleichen Typs haben bereits Klärschlämme thermisch bearbeitet, sodass auch hier Erfahrungen über das Verhalten des Klärschlammes in der Verfahrenskette von Anlieferung, innerer Logistik und Brennverhalten vorzusetzen sind. Die generelle Anlieferung der Klärschlämme ist in LKW-Logistikeinheiten vorgegeben.

3.6.3 Müllverbrennungsanlage Kiel GmbH & Co. KG- Kiel -

In der Müllverbrennung – Kiel können in den beiden derzeit betriebenen Verbrennungslinien bis zu 10.000 t Klärschlamm mit einem TS von 25 - 30 % pro Jahr mitverbrannt werden. Der Klärschlamm würde zusammen mit dem Müll auf einem Walzenrost verbrannt. Dazu wäre lediglich der Bau einer Annahmestation notwendig.

Das vorgesehene Bevorratungsvolumen wird ca. 140 m³ betragen. Die Zuführung des Klärschlammes würde über eine Dickstoffpumpe in die Verbrennungslinie erfolgen. Die Verbrennung des Klärschlammes ist im Prinzip sofort möglich.

3.6.4 Müllverbrennungsanlage Kiel GmbH & Co. KG - Kiel -

Die MVK beabsichtigt nach Installation des 3. Kessels (Wirbelschichtverfahren) bis zu 70.000 t/a Klärschlamm mit einem TS-Gehalt von mind. 25 % zu verbrennen. Hierzu ist die Inbetriebnahme der Verbrennungslinie 3 als Monoverbrennung geplant.

Das Bevorratungsvolumen wird dann auf insgesamt ca. 600 m³ (vergl. mit 3.6.3) erhöht. Die generelle Anlieferung des Klärschlammes ist mittels LKW-Logistikeinheiten vorgesehen.

3.6.5 Klärwerk Kiel in Bülk - Kiel -

Die Stadtentwässerung Kiel hat in einer Studie den Aufbau einer eigenen Klärschlammmonoverbrennung mit einer Kapazität von 9.000 bis 15.000 t TS/a geprüft, wobei auch der Fall der Annahme von Schlämmen aus der Region untersucht wurde. Fremdschlämme müssten ebenfalls TS-Gehalte von 20 bis 30% aufweisen.

3.6.6 MBA Lübeck

Die Entsorgungsbetriebe Lübeck (EBL) errichten am Standort der Deponie Nie-mark eine mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage (MBA). Für die Mitbehandlung des Klärschlammes ist ca. 1/5 der Gesamtkapazität der MBA-Lübeck, d.h. ca. 26.500 Mg/a mit ca. 25 – 30%TS geplant. Sollte der Betrieb der Anlage zeigen, dass weitere Mitbehandlungskapazitäten vorhanden sind, soll auch Schlamm aus dem Umland angenommen werden.

3.6.7 Abwasserzweckverband Hetlingen - Hetlingen -

Der Abwasserzweckverband Pinneberg prüft derzeit, ob eine eigene thermische Verwertung des Schlammes der Kläranlage Hetlingen realisiert werden soll. Ob neben der Kapazität für den Eigenanfall von ca. 10.000 t Trockenmasse pro Jahr noch Kapazitäten für Fremdschlämme vorgesehen werden, ist momentan noch offen.

3.6.8 Holcim (Deutschland) AG - Lägerdorf -

Die Mitverbrennung von kommunalen Klärschlämmen in der Zementklinkerherstellung ist mit bis zu 10 % der benötigten Feuerungswärmeleistung möglich.

Das Werk im schleswig-holsteinischen Lägerdorf kann darauf basierend bis zu 35.000 t/a Klärschlamm mit einem TS-Gehalt von mind. 90 % mitverbrennen. Das notwendige Bevorratungsvolumen wird sich nach den Erfordernissen der Anlage richten. Versuche mit getrockneten Klärschlämmen aus Schleswig-Holstein wurden bereits durchgeführt und die dazugehörigen Informationen den Verfassern zugänglich gemacht.

Die innere Logistik setzt als Eingangsmaterial getrockneten Klärschlamm voraus, der eine bestimmte Partikelgrößenverteilung haben muss. Die Anlieferung müsste über z.B. LKW-Silotransporteinheiten erfolgen.

3.6.9 VERA Klärschlammverbrennung GmbH - Hamburg -

Die bei der Verwertungsanlage für Rückstände aus der Abwasserbehandlung „VERA“ in Hamburg zur Verfügung stehende Verbrennungskapazität (Wirbelschicht) liegt bei ca. 10.000 bis 25.000 t/a Trockensubstanz. Für entwässerten Klärschlamm mit einem TS-Gehalt von ca. 20 – 30 % sind die Annahmekriterien begrenzt (just in time). Die Anlage verfügt für den Fall des Anlagenausfalls über Bereitstellungslager in Schleswig-Holstein mit einer Kapazität von mehreren 1000 Tonnen. Bis zu einer Kapazität von 5.000 t/a können auch getrocknete Schlämme angenommen werden. Die VERA ist zudem in der Lage auch Nassschlämme ab ca. 3 %TS anzunehmen und der weiteren Behandlung zur Vorbereitung der ab-

schließenden Verbrennung zu unterziehen. Die Anlieferung von Nassschlamm erfolgt unter anderem auf dem Wasserweg.

3.6.10 Müllverbrennungsanlagen (Stapelfeld, Neustadt, Tornesch-Ahrenslohe), TEV Neumünster

Diese Anlagen weisen nach Aussagen der Betreiber derzeit keine freien Kapazitäten zur Mitbehandlung von Klärschlamm auf.

3.6.11 Weitere Kapazitäten außerhalb Schleswig-Holsteins

Für die Klärschlammmono- wie mitverbrennung stehen in den anderen Bundesländern derzeit noch freie Kapazitäten zur Verfügung, die in Kap. 5 abgeschätzt werden. Vor allem die Energiekonzerne bieten ihre Mitverbrennungskapazitäten bundesweit an. E.on bietet die Mitbehandlung schleswig-holsteinischer Schlämme beispielsweise in ihren Kraftwerken in Mehrum oder Buschhaus (beide Niedersachsen) an, die RWE in ihren Kraftwerken im Rheinland. Gleiches gilt für andere Anbieter. Da diese Kapazitäten aber bei einer Einschränkung der landwirtschaftlichen Verwertung bundesweit nachgefragt werden, kann über eine Verfügbarkeit unter diesen Umständen wenig gesagt werden.

Im Zuge der Liberalisierung des europäischen Marktes werden auch Kapazitäten außerhalb Deutschlands zur Verfügung stehen. Die Entwicklung dieser Märkte muss vor dem Hintergrund der gesetzgeberischen Vorgaben aus Europa bzw. Deutschland gesehen werden. Prognosen zur Entwicklung dieser Entsorgungswege sind derzeit kaum möglich.

Aufgrund der Unwägbarkeiten der Gesamtentwicklung erscheint eine Beschränkung der Betrachtung auf die Verhältnisse des Landes Schleswig-Holstein als sinnvoll. Dies gilt auch vor dem Hintergrund, dass sich für alle anderen Bundesländer eine gleichgerichtete Fragestellung ergibt. Letztlich ist aber zu bedenken, dass sich die zukünftige Klärschlamm Entsorgung in Schleswig-Holstein im Wechselspiel mit der gesamtdeutschen bzw. europäischen Situation entwickeln wird.

4 Ermittlung des technischen und logistischen Aufwandes

Die Kapitel 2 und 3 befassen sich mit den Klärschlammengen, den Klärschlammqualitäten und den Entsorgungsoptionen. Verbindendes Glied dieser Betrachtungen ist die Logistik. Der Aufwand für die Logistik definiert sich aus dem Zustand der Bereitstellung des Wirtschaftsgutes Klärschlamm einerseits und den Bedingungen zur Annahme der Entsorgungsoptionen andererseits. Dieses zu systematisieren, zu definieren und hinsichtlich der monetären Auswirkungen auszuarbeiten, ist das generelle Ziel dieses Kapitels.

4.1 Definition von Logistik

Vorangestellt werden Definitionen zum Begriff Logistik nach differenzierenden Ausrichtungen. Es wird ersichtlich, dass in diesem Fall Logistik mehr bedeutet als der eigentliche Transport eines Gutes oder Produktes von A nach B. Logistik beschreibt zunehmend den Informations- und Organisationsfluss mit der exakten Definition von Schnittstellen, über die Produktbereitstellung, die Produktqualität und die Produktquantität als einen zu beurteilenden Gesamtprozess.

Kurzdefinition:

Logistik beinhaltet die ganzheitliche Koordination und Durchführung aller Informations- und Güterflüsse von der Quelle bis zur Senke.

Gängige Definition:

Logistik sichert die Verfügbarkeit des richtigen Gutes, in der richtigen Menge, im richtigen Zustand, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, für den richtigen Kunden, zu den richtigen Kosten.

Wissenschaftliche Definition:

Logistik ist der Prozess der Planung, Realisierung und Kontrolle des effizienten, kosteneffektiven Fließens und Lagerns von Rohstoffen, Halbfertigfabrikaten und Fertigfabrikaten und der damit zusammenhängenden Informationen vom Liefer- zum Empfangspunkt entsprechend den Anforderungen des Kunden.

Bereiche der Logistik:

Die Logistik setzt sich zusammen aus den Teilbereichen der Beschaffungs-, Produktions-, Distributions-, Entsorgungs- und Verkehrslogistik.

Logistikkette:

Gesamtheit aller Geschäftsaktivitäten, die erforderlich sind, um der Nachfrage an Produkten oder Dienstleistungen nachzukommen und zwar vom ursprünglichen Bedarf an Rohmaterial und Daten bis zu Übergabe an den Endverbraucher.

4.2 Logistikvoraussetzungen der Abwasserbehandlungen in Schleswig-Holstein / Schnittstellen

Die vorgenommene Datenauswertung weist die technischen Voraussetzungen für die darauf aufbauende Logistik weitestgehend aus. Die bereits etablierte Logistik bzw. deren Voraussetzung orientiert sich überwiegend an der praktizierten landwirtschaftlichen Verwertung. Die für die landwirtschaftliche Verwertung gegebenenfalls notwendige Kalkstabilisierung wird entfallen. Hiernach werden die grundsätzlich 2 Kategorien von Abwasserbehandlungsanlagen unterschieden. Anlagen mit vorhandenen Entwässerungsanlagen und Anlagen ohne vorhandene Entwässerungseinrichtungen. Die Anlagen ohne vorhandene Entwässerung unterscheiden sich im Grundsatz dahingehend, ob der zu entwässernde Nassschlamm bereits in definierten Schlammstapelbehältnissen vorliegt oder die Nassschlammabnahme aus objektiv weniger exakt definierten Bereichen erfolgt (überwiegend Teichkläranlagen oder Vererdungsanlagen) (siehe folgende Abbildung).

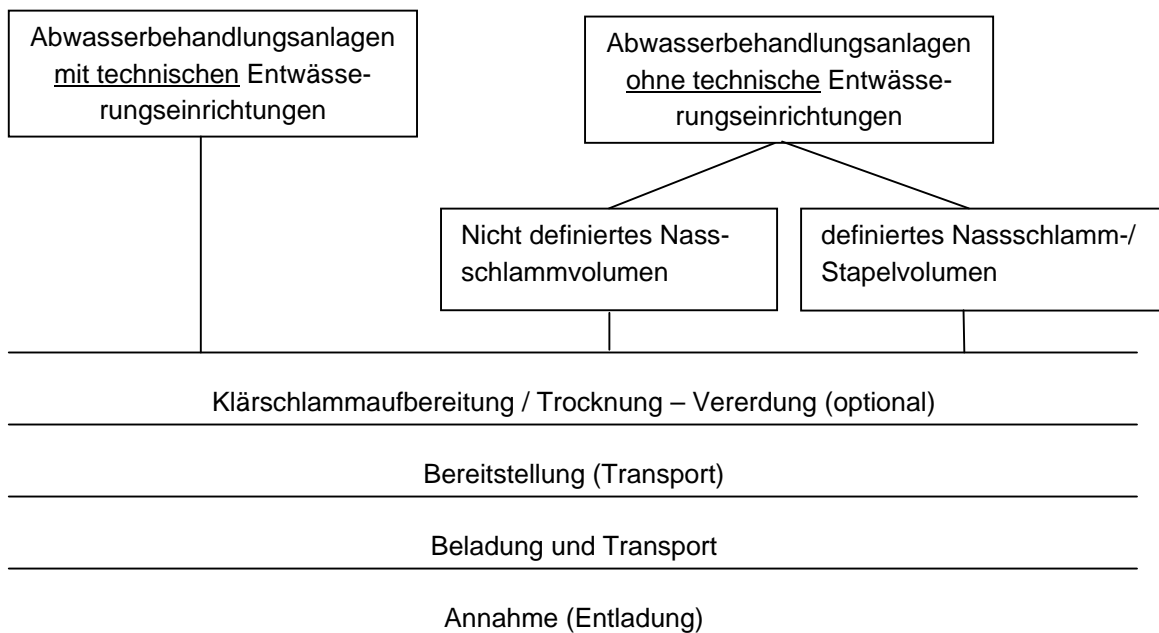


Abbildung 4.1: Schlammanfall und Behandlung

Die Logistikvoraussetzungen, das heißt die Schnittstellen sind bei jenen Anlagen eindeutig definierbar, die über technische Entwässerungseinrichtungen mit Fördersystemen oder über definierte Nassschlamm-sammeleinrichtungen verfügen, da hierfür bereits jetzt exakt alle räumlichen und dinglichen Voraussetzungen gegeben sind.

Die Logistiktiefe für Anlagen mit nicht exakt definiertem Nassschlammvolumen (i.d.R. Teichkläranlagen) ist technisch und organisatorisch wesentlich anspruchsvoller, da diese Anlagen sowohl von ihrer räumlichen Anordnung wie auch von ihren bautechnischen Voraussetzungen sehr unterschiedlich sind. Sie sind häufig:

- im Grundwasserschwankungsbereich,
- in Tiefpunkten mit ungünstigen gründungstechnischen Voraussetzungen,
- natürlich oder künstlich abgedichtet,
- nur mit mobilen Entnahmesystemen zu entwässern / entschlammern (z.B. Floß).

Weiterhin sind Vorkehrungen zu treffen bzw. vorhanden, die sich aus dem Blickwinkel des Entwässerungsbedarfs der anfallenden Klärschlämme mit

- der Filtratwasserrückführung,
- der Entnahmelogistik,
- der Aufladesituation und
- der Stromversorgung mobiler Anlagen

befassen.

Die Anlagenbetreiber kennen diese Problematiken und haben die organisatorischen Voraussetzungen über die Jahre verbessert. Die mobilen Entwässerungseinrichtungen sind heutzutage gleichwertig gegenüber den stationären Anlagen. Es gibt hinsichtlich der derzeit durchgeführten Organisation und Logistik der örtlichen, mobilen Klärschlamm-entwässerung keinen Grund, diese Ausführungen zu ändern.

Die Kontinuität der Bereitstellung geht einher mit vorgenannter grundsätzlicher Einteilung in den logistischen Voraussetzungen. Auch hier ist die Organisation im Verhältnis zur Bereitstellung, Transport und Annahme und den dementsprechenden Entsorgungsoptionen zu bewerten.

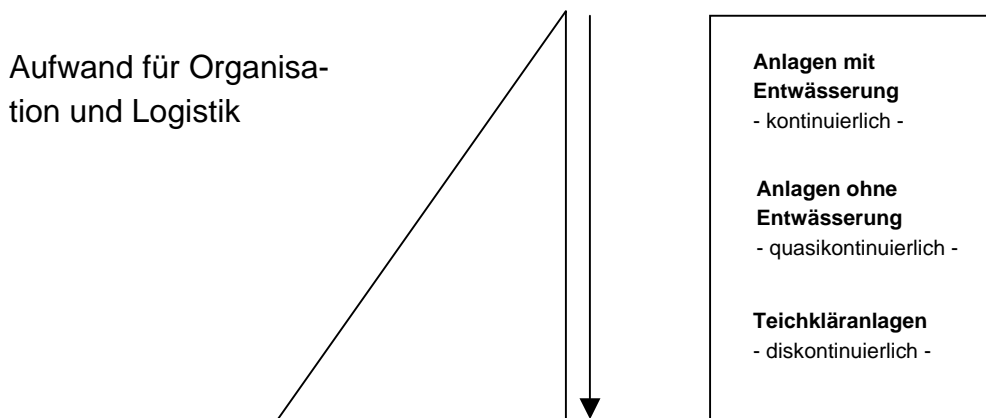


Abbildung 4.2: Darstellung des logistischen und organisatorischen Aufwandes

Eine Sondermethode der Klärschlamm-entwässerung und -stabilisierung ist die Klärschlammvererdung mit Sumpfpflanzen (z. B. Schilf). Im Gegensatz zu technischen Entwässerungsanlagen wird mit diesem Verfahren eine gleichmäßige Rückbelastung der Kläranlage erreicht. Die Beete sind alle 6 bis 10 Jahre zu räumen. Für den vererdeten Klärschlamm gelten die Anforderungen der AbfklärV. Die Behandlung im Schilfbeet stellt somit einen zeitlichen Puffer für die Entsorgung da, ändert aber nichts an den Möglichkeiten und Auflagen für die Entsorgung.

Hinsichtlich der Klärschlamm-entsorgung ergeben sich durch die Behandlung in Schilfbeeten sowohl Vor- als auch Nachteile. Zu den Vorteilen gehört die Stabilisierung des Materials, so dass bei eventuellen weiteren Zwischenlagerungen nur geringe Umweltbelastungen zu erwarten sind. Die guten Entwässerungsgrade sorgen für eine Verringerung der Transportkosten. Allerdings ist der Klärschlamm durch den hohen TR-Gehalt und den Anteil an Pflanzenfasern für viele Annahmearrichtungen nicht mehr geeignet, da die Pumpfähigkeit eingeschränkt ist und die Fasern zu Verstopfungen in den weiteren Anlagenteilen führen können.

4.3 Klärschlammweiterbehandlung (Trocknung)

Wenige Anlagen in Schleswig-Holstein vollziehen nach der technischen Entwässerung ihrer Nassschlämme eine weitergehende Veränderung des physikalischen Zustandes des Schlammes in Richtung auf eine Trocknung. Die den Verfassern bekannten Anlagen sind:

- Hetlingen (Pinneberg, thermische Trocknung),
- Bredstedt (Nordfriesland, Solartechnik),
- St.-Peter-Ording (Nordfriesland, Bandtrocknung über Primärenergie).

Sie weisen eine verfügbare Gesamtkapazität von ca. 5.000 t TS/a auf. Obwohl wie in Kapitel 3 getrocknete Schlämme prinzipiell in allen Entsorgungswegen Verwendung finden können, sind die tatsächlich vorhandenen Optionen geringer, da die Annahmemöglichkeiten für getrocknetes Gut nicht immer vorhanden sind. Die ermittelten Kosten der Klärschlamm-trocknung sind den geringeren Transportkosten gegenüberzustellen (bei anderer Transportart z.B. Silotransport oder Großraumtransport).

4.4 Transport (Beladung / Entladung)

In der Regel kommen in Schleswig-Holstein straßengebundene Systeme, sprich LKW mit max. 24 to Nutzlast (Sattelfahrzeug / Container (Zugmaschine + Anhänger)) zur Anwendung. Wasser- oder schienengebundener Transport in Kombination mit einem LKW-Transport kommt für die Nordseeinseln zur Durchführung. Entsprechend den Entsorgungsoptionen stehen neben der klassischen LKW-Anlieferung nur für die VERA in Hamburg und potentiell, wenn auch nicht geplant, für das Heizkraftwerk in Flensburg und das GKK in Kiel Logistikooptionen in der Kombination Schiff / Schiene / LKW zur Verfügung. Speziell ausgerichtet auf eine Nassschlammannahme über den Schiffstransport ist die VERA im Hamburger Hafen.

Ohne den von der jeweiligen Anlage selbständig oder in Kombination angestellten Logistiküberlegungen wird aufgrund des guten bis sehr guten Ausbauzustandes des Straßennetzes auch zukünftig der straßengebundene Transport von Klärschlämmen mit den bereits etablierten Systemen erfolgen.

Aufgrund der zukünftig vorauszusehenden reinen Polymerkonditionierung wird sich der nominell erreichte Feststoffgehalt gegenüber der Konditionierung mit Eisen und Kalk verringern. Je nach erreichtem Entwässerungsgrad muss u.U. berücksichtigt werden, dass es durch den Transportvorgang zu einer Wiederverflüssigung des Schlammes verbunden mit einer Freisetzung von Schlammwasser kommt, was durch entsprechend ausgestattete Mulden und Containersysteme zurückzuhalten ist.

Getrocknete Klärschlämme bedingen entweder einen Silotransport oder einen LKW- Sattelzugtransport mit einem entsprechenden Transportvolumen von ca. 60 m³ und entsprechenden Bunkereinrichtungen inkl. der technischen Anlagen (Absaugung etc.)

4.5 Klärschlammannahme

Das Annahmekriterium der Verbrennungsanlagen für die zu verbrennenden Klärschlämme unterliegt grundsätzlich den technischen Installationen und den Anforderungen des Verbrennungsverfahrens der jeweiligen Anlage. Abhängig von den Feuerungs- und Beschickungssystemen der Anlagen sind die Fördereinrichtungen für den Klärschlamm ausgelegt.

Das für den Klärschlamm entscheidende Kriterium ist der TS-Gehalt. Während der Klärschlamm mit einem TS-Gehalt von bis ca. 30 % noch mit sogenannten „Dickstoffpumpen“ förderbar ist, ist er mit einem TS-Gehalt ab ca. 90 % pneumatisch oder durch Förderschnecken transportierbar. Aus diesem Grund ist der Klärschlamm in einem, vom Verbrennungsanlagenbetreiber festzulegenden definierten Zustand an die jeweilige Anlage anzuliefern. Nur die VERA in Hamburg hat die Option, auch Nassschlamm mit ca. 4-8 % TS anzunehmen und für die abschließende Verbrennung vorzubehandeln. Zudem haben die Mit-, Müll- und Monoverbrennungsanlagen die Möglichkeit, auch trockeneren Klärschlamm in begrenzten Mengen anzunehmen, sofern dieser nicht zu feinkörnig ist und über die Vorlage der Verbrennung zuzuführen. Einen Regelfall stellt dieses jedoch nicht dar.

In der folgenden Tabelle sind die grundsätzlichen Kriterien der physikalischen Klärschlammbeschaffenheit noch einmal aufgeführt.

Ort	Flensburg	Kiel	Kiel	Kiel	Lägerdorf	Hamburg	Lübeck
Name	KWK	GKK	MVK	MVK	Holcim	VERA	MBA
Verbrennungs-art	Kohle-kraftwerk	Kohle-kraftwerk	Müll-verbrennung	Monover-brennung	Zementwerk	Monover-brennung	MBA
Annahme-kriterium	20-30 % TS	20-30 % TS	25-30 % TS	25-30 % TS	> 90 % TS	ab 3 % TS	25 % TS

Tabelle 4.1: Annahmekriterien der Entsorgungsoptionen

4.6 Lagerung, Bereitstellung und Speicherung

Die unter Pkt. 2.4.3 beschriebenen, von der Regelmäßigkeit der Entwässerung abhängigen, kontinuierlich, quasi-kontinuierlich und diskontinuierlich anfallenden Klärschlammengen bedingen für die einzelnen Kläranlagen differenzierte logistische Ansätze zur Verwertung dieser Schlämme. Diese Ansätze lassen sich nach entwässerungs-, lager- und transportlogistischen Gesichtspunkten den Frequenzen des Klärschlammmanfalls zuordnen.

Die bislang beschrittenen Wege, im weiteren Umgang mit entwässertem Klärschlamm in die landwirtschaftliche Verwertung folgten in der Regel den Bedarfs-

zyklen der Landwirtschaft (in der Regel organisiert durch Vertragspartner aus der Privatwirtschaft), die der Deponierung und anderer Wege den Bedürfnissen der Kläranlagen. Die Verwertung der Klärschlämme im Falle der Verbrennung wird sich nach den Kapazitäten der Verbrennungsoptionen richten müssen. Hierzu ist es notwendig, die Verfahrensschritte der Entwässerung und des Transportes des anfallenden Klärschlammes unter Berücksichtigung der Lager- und ggf. Zwischenlagermöglichkeiten auszurichten.

Die Kläranlagen mit der technischen Einrichtung der stationären Entwässerung sind die des kontinuierlichen Klärschlammmanfalls. Lagerkapazitäten für den entwässerten Klärschlamm sind in Form von Poldern, Silos oder Containermulden für definierte Mengen vorhanden. Von hier aus kann der Klärschlamm regelmäßig abtransportiert und den thermischen Anlagen zugeführt werden.

Kläranlagen des Belebungsverfahrens ohne eigene stationäre Entwässerung sind die des quasi-kontinuierlichen Klärschlammmanfalls. Bei diesen Anlagen ist in der Regel ein definiertes Speichervolumen für den Nassschlamm (z.B. Stapelbehälter) vorhanden. Die Häufigkeit der Entwässerung der Klärschlämme dieser Anlagen richtet sich nach deren vorhandenem Volumen. Der entwässerte Klärschlamm wird chargenweise in dafür bereitgestellten Containersystemen regelmäßig zum Zeitpunkt der Entwässerung (z.B. Quartalsweise) zur weiteren Verwertung abgefahren.

Der diskontinuierliche Klärschlammmanfall liegt im Wesentlichen bei den Teichkläranlagen vor. Die durchschnittlich alle 10 Jahre stattfindende Entwässerung / Entschlammung der Teiche geht bislang mit landwirtschaftlicher Verwertung und, im Falle der Überschreitung von Grenzwerten, mit der Deponierung der Klärschlämme einher. Ständige Lagerkapazitäten für den entwässerten Klärschlamm sind auf den Anlagen nicht und Stellflächen für Container in der Regel nur begrenzt vorhanden. Diese Mengen, die im Zuge der Entwässerung täglich 20 bis 40 t mit einem TS-Gehalt von 25% ausmachen, sind im Idealfall direkt den Entsorgungsoptionen zuzuführen.

Der entwässerte Klärschlamm sollte (wie oben beschrieben), möglichst ohne weitere Um- und Zwischenlagerung der abschließenden Verwertung zugeführt werden, da jede zusätzliche Handlung Kosten (Be- und Entladen, evtl. Zunahme der Transportkilometer) verursacht, ohne eine Effizienzsteigerung für die standardisierten Transportsysteme zu bedeuten. Hierzu ist es ggf. notwendig, die diskontinuierlich anfallenden, entwässerten Klärschlämme der kleineren Anlagen vorrangig aufgrund der geringen Mengen der thermischen Verwertung zuzuführen. In der Koordinierung, diese Kapazitäten der thermischen Verwertung vorzuhalten und bereitzustellen, ist logistisch und organisatorisch ein Schwerpunkt zu setzen. Der Hintergrund dieser Verwertungsstrategie ist in den weitgehend vorhandenen Lager- bzw. Puffermöglichkeiten der kontinuierlich Klärschlamm erzeugenden Anlagen begründet.

Im Einzelfall ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu prüfen, anlagenspezifische Lagerflächen, bevorzugt in Anlagennähe der Verwertung zu schaffen oder die vorhandenen zentralen Lagerkapazitäten bei größeren Anlagen zu nutzen.

Lediglich bei Anlagen, die nicht in der Lage sind, die im Zuge der Kostenabwägung ermittelten Mengen an Nassschlamm zur Entwässerung bereitzustellen, ist ein räumlich begrenzter Transport dieser Schlämme in Richtung einer größeren Anlage mit entsprechenden Nassschlamm-speicherkapazitäten und stationären oder mobilen Entwässerungssystemen anzustreben.

In der nachfolgenden Übersicht sind die Annahme-/Bevorratungsvolumina der möglichen Verwertungsstandorte noch einmal aufgeführt.

Ort	Flensburg	Kiel	Kiel	Kiel	Lägerdorf	Hamburg	Lübeck
Name	KWK	GKK	MVK (Mitverbrennung)	MVK (Monoverbrennung)	Holcim	VERA	MBA
Bevorratungsvolumen[m ³]	ca. 40 [m ³]	2 x 500 [m ³]	140 [m ³]	600 [m ³]	nach Erfordernissen	just in time	kontinuierlich

Tabelle 4.2: Übersicht der geplanten Bevorratungsvolumina

4.7 Bestandsanalyse zu KS-Mengen und Entsorgungsoptionen

Derzeit stehen im zu betrachtenden Bereich zwei Verbrennungsanlagen zur sofortigen Aufnahme der Klärschlämme zur Verfügung. Dies sind die Anlagen in Hamburg, VERA und in Kiel, MVK. Die Kapazität dieser beiden Anlagen beträgt ca. 12.500 bis 27.500 t TS.

Ort		Kiel	Hamburg
Name		MVK	VERA
Behandlungsart		Müll- verbrennung	Monover- brennung
Kapazität TS [t/a]	von	2.500	10.000
	bis	2.500	25.000

Tabelle 4.3: Übersicht der bereits vorhanden Klärschlammmitverbrennungskapazitäten

Bei einem Wegfall der Option zur Deponierung der landwirtschaftlich bereits jetzt nicht auszubringenden Klärschlamm-mengen ist eine ausreichende Kapazität bei den bereits zur Verfügung stehenden Anlagen in Hamburg und Kiel vorhanden.

Die weiteren Anlagen bedürfen einer Umrüstung oder Erweiterung der technischen Anlagen. Nach Aussagen der Anlagenbetreiber sind diese Maßnahmen bereits geplant, ausgeschrieben oder in der Genehmigung befindlich und können je nach Anlage in spätestens 2 Jahren umgesetzt sein.

In der folgenden Tabelle sind diese Optionen aufgeführt und hinsichtlich der Kapazität dargestellt.

Ort		Flensburg	Kiel	Kiel	Kiel	Lägerdorf	Hamburg	Lübeck	Kiel	Hettingen	Summen
Name		KWK	GKK	MVK	MVK	Holcim	VERA	MBA	Bülk	ZVP	[t/a]
Verbrennungs-art		Kohle- kraftwerk	Kohle- kraftwerk	Müll- verbrennung	Monover- brennung	Zementwerk	Monover- brennung	MBA	Monover- brennung	Monover- brennung	
Kapazität TS [t/a]	von	2.500	7.500	2.500	17500	31.500	10.000	6.625	9.000	10.000	97.125
	bis	4.250	14.500	2.500	17500	31.500	25.000	6.625	15.000	10.000	126.875
Kapazität TS 25% [t/a]	von	10.000	30.000	10.000	70000		40.000	26.500	36.000	40.000	262.500
	bis	17.000	58.000	10.000	70000		100.000	26.500	60.000	40.000	381.500
Kapazität TS >90% [t/a]	von					35.000					35.000
	bis					35.000					35.000

Tabelle 4.4: Übersicht der Klärschlammmitverbrennungskapazitäten der thermischen Anlagen unter Berücksichtigung der verschiedenen TS-Gehalte

4.8 Kosten / Kostengruppen

Vorbemerkung

Die im Folgenden genannten Kosten, getroffenen Kostenansätze und darauf basierende Berechnungen sind grundsätzlich als Orientierungswerte aus der momentanen Praxis und von den Verfassern recherchierten vermutlichen Entwicklung zu verstehen. Eine individuelle Betrachtung und Berechnung, die die speziellen Belange der einzelnen Anlagen berücksichtigt, bleibt dem Anlagenbetreiber überlassen.

4.8.1 Kosten Transport / Be- und Entladen

Eine große Bedeutung hat die Frage, in welcher Form (nass, entwässert, getrocknet) und über welche Distanzen der Klärschlamm bis zum Ort der Verwertung transportiert wird. Im Nachfolgenden werden die Transportvarianten von nicht entwässertem und technisch entwässertem Klärschlamm gegenübergestellt.

Die Transportkosten setzen sich aus Personalkosten, Betriebs- und Wartungskosten sowie Abschreibungen zusammen und werden in der Grundkalkulation nach Zeiteinheiten abgebildet. Die Kalkulation der Transporteure berücksichtigt zudem alle weiteren Einflüsse, die in der Organisation und Logistik begründet sind.

Diese kostenbeeinflussenden Faktoren sind im Wesentlichen

- die Vermeidung von Leerfahrten durch Organisation von Rückfrachten bzw. Anschlusstransporten. Hieraus resultiert
- die Wahl der Fahrzeuge und Transportbehältnisse (flexible Systeme)

und bilden so die Basis der Kalkulation.

Wie der nachfolgenden Graphik zu entnehmen ist, orientiert sich die zu transportierende Menge ganz entscheidend am im Klärschlamm befindlichen Anteil des freien, nicht gebundenen Wassers. Des weiteren ist der Aggregatzustand (flüssig, breiig, stichfest) des Klärschlammes bei unterschiedlichen Wassergehalten zu berücksichtigen.

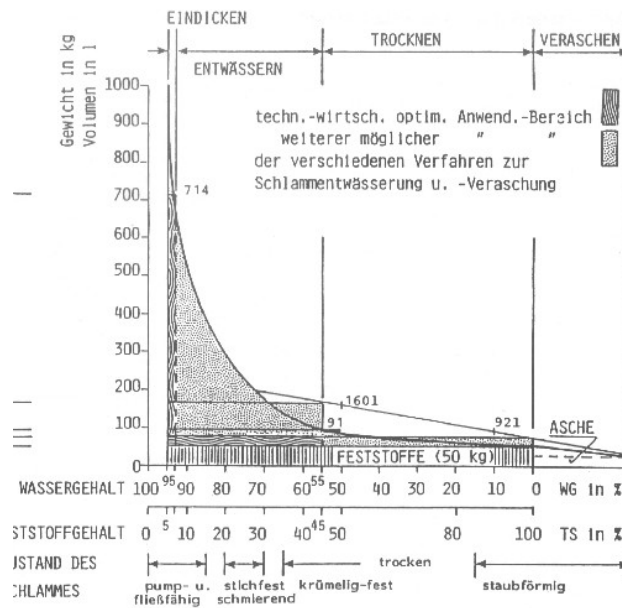


Abbildung 4.3: Technisch und wirtschaftlich optimale Volumenverminderung durch das Abtrennen des freien Schlammwassers

In dieser Graphik ist anschaulich dargestellt, dass die entscheidende Volumenreduzierung des Klärschlammes im Rahmen der mechanischen Entwässerung erreichbar ist. Bereits eine Reduzierung des im Nassschlamm enthaltenen freien Wassers von ca. 97 – 95% (nach Eindickung durch z.B. Stapelbehälter und Teiche) auf ca. 70 – 75% (maschinelle Entwässerung mit polymerer Konditionierung) bringt eine Volumenreduzierung des Klärschlammes und der somit zu transportierenden Menge um ca. 80 – 85 %.

Diese Reduzierung der Transportmenge ist der entscheidende wirtschaftliche Faktor bei der Gegenüberstellung des Nassschlammtransportes mit anschließender Entwässerung und dem Filterkuchentransport mit vorgeschalteter Entwässerung.

Als Basis zur Kalkulation der Kosten für die zu transportierenden Klärschlamm-mengen ist das Beladen, der zeitliche Transportumfang sowie der Einsatz von Personal und Maschinen zu berücksichtigen. Der kalkulatorische Ansatz des Transportes liegt bei ca. 50 - 60 €/h für Personal und Fahrzeug. Unter Berücksichtigung des Transportvolumens von 24 t/LKW und der stündlichen Fahrleistung eines LKW's incl. Be- und Entladezeiten von 30 – 50 km ergibt sich eine rechnerische Preisspanne von 3 bis 8 €/t bei Transportzeiten von ca. 1,0 – 3,0 h. Hinzu kommt für die stoffliche Beladung der LKW-Mulde / des Containers der Aufwand von 0,5 bis 1,5 €/t

4.8.2 Kosten Klärschlamm-Entwässerung

Mobile Systeme:

Im Rahmen dieses Konzeptes wird die Möglichkeit der Nutzung mobiler Entwässerungseinrichtungen (Kammerfilterpressen, Siebbandpressen, Zentrifugen) von Dienstleistern nach bestehender Struktur berücksichtigt. Weitere Investitionen und Maßnahmen zur Entwässerung würden auf die Kleinanlagen nur in Form der Bereitstellung von Lagerkapazitäten zukommen, da bei den Dienstleistern die zur Entwässerung benötigte Technik, notwendige Ausstattung und Transportkapazität weitgehend vorhanden bzw. in der Planung ist.

Generell ist für eine mobile Entwässerung aufgrund der Einrichtungskosten (BE) erst eine kontinuierliche Betriebszeit von ca. 1 Woche wirtschaftlich. Ausgehend von der Tagesleistung von ca. 25 – 30 m³ (Output) bei einer Entwässerung von 3-5%TS auf 25%TS sollte ein zu entwässerndes Klärschlammvolumen von ca. 500 – 1500 m³ Nassschlamm (ca. 3-5%TS) für eine Kammerfilterpresse oder Siebbandpresse zur Verfügung stehen. Eine mobile Zentrifugenentwässerung ist nach Erfahrung von Dienstleistern ab einer Menge von >1500m³ wirtschaftlich.

Aufstellung der daraus entstehenden Kosten:

- ca. 1500 – 2500 € für BE und
- 100 – 140 € pro Tonne Filterkuchen 25 % TS oder
- 10 – 15 € pro m³ Nassschlamm zzgl. Polymer

Die weiteren Einflüsse zur Kostenermittlung für die mobile Entwässerung sind entscheidend von der Art der Kläranlage, Art der Schlamm-Entnahme und der Schlammqualität abhängig.

Die kostenbestimmenden Faktoren sind im Wesentlichen:

- der Personaleinsatz (Teichanlage 2 Mann / Belebungsanl. 1 Mann)
- die Betriebsdauer (1-Schicht-/2-Schichtbetrieb)
- die entstehenden Betriebskosten (Strom vorhanden / Aggregat)
- bei Teichentnahme (Teichentleerung, Umgang mit Prozesswasser)
- Entnahme aus Stapelbehälter (pumpen / hydrostatischer Zufluss)
- Homogenität des Klärschlammes

Stationäre Systeme:

Für die anteiligen Kosten der stationären Entwässerungsanlagen sind folgende Ansätze zu treffen:

große KA	> 100.000 EW	ca. 70 Bh/wo	100-150 €/t TR
kleine KA	< 50.000 EW	ca. 36 Bh/wo	200-300 €/t TR

4.8.3 Kosten Klärschlamm-trocknung

Solare Anlagen:

Unter der Berücksichtigung, dass diese Anlagen wie im Kap. 3 erwähnt nur in begrenztem Umfang in S-H bestehen, werden die Investitionskosten einer Anlage von ca. 500 -750 m² überbauter Fläche (1 Modul) vorangestellt.

Halle:	100.000 – 150.000 €
Boden:	150.000 – 200.000 €
Technik:	60.000 – 90.000 €

Die Kosten der solaren Trocknung (Eingangs-TS ca. 25% polymerkonditionierter Klärschlamm) setzen sich aus der Durchsatzleistung des Trocknungsmoduls von ca. 400 bis 500 m³/a Klärschlamm auf ca. 80 – 90 %TS und der Abschreibungen der technischen Anlage (10-30 Jahre, je nach Baugruppe) zusammen. Somit ergeben sich für die Trocknung Vollkosten von ca. 300 - 400 €/t TS.

Thermische Anlagen:

Für die Anlagen zur thermischen Trocknung sind folgende Kosten anzusetzen:

große KA	> 200.000 EW	> 120 Bh/wo	150-200 €/t TS
kleine KA	< 100.000 EW	< 120 Bh/wo	250-350 €/t TS

4.8.4 Kosten Klärschlamm-verbrennung (thermisch / mechanisch-biologisch)

Die Kosten der Klärschlammverbrennung sind in der folgenden Tabelle in der Relation zum Annahmekriterium und auf die Trockensubstanz bezogen gegenübergestellt.

Ort	Flensburg	Kiel	Kiel	Kiel	Lägerdorf	Hamburg	Lübeck
Name	KWK	GKK	MVK	MVK	Holcim	VERA	MBA
Behandlung	Kohle- kraftwerk	Kohle- kraftwerk	Müll- verbrennung	Monover- brennung	Zementwerk	Monover- brennung	MBA
Annahme- kriterium	20-30 % TS	20-30 % TS	25-30 % TS	25-30 % TS	> 90 % TS	(ab 4 % mögl.) 20-30 % TS	25-30 % TS
Kosten	40-50 €/t	40-50 €/t	40-50 €/t	40-50 €/t	40-50 €/t	40-50 €/t	90-100 €/t

daraus folgt für 100%TS

160-200€/t	160-200€/t	160-200€/t	160-200€/t	44-55€/t	160-200€/t	300-400 €/t
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-----------------	-------------------	--------------------

Tabelle 4.5: Kostenvergleich der Verbrennungsoptionen

Ergänzend zu den in der Tabelle aufgeführten Kosten sind die Kosten für die Nassschlammanlieferung (4 – 5%TS / sandarm) bei der Verwertungsanlage VERA in Hamburg mit 8 bis 12 €/t anzuführen. Die Kosten für 100% TS liegen demzufolge bei ca. 200 bis 300 €/t für die Gesamtbehandlung.

4.8.5 Kosten landwirtschaftliche KS-Verwertung

Die Kosten für die landw. Verwertung von gekalkten Klärschlämmen sind incl. Entwässerung und dem Transport bis zum Feldrand mit 15 – 20 €/t anzusetzen.

Die landwirtschaftliche Verwertung der Nassklärschlämme wird hier nicht beziffert, da Transport meist vom ausbringenden Landwirt übernommen wird.

4.8.6 Kosten KS-Verwertung im Landschaftsbau

Die Kostenermittlung für die landbauliche Verwertung der Klärschlämme ist von den Verfassern nicht verfolgt worden, da dieses in Schleswig-Holstein kaum durchgeführt wurde, und somit auch keine landesspezifischen Vergleichszahlen vorliegen. Nach Schätzung der Verfasser dürften die Kosten im Bereich ähnlich der landwirtschaftlichen Verwertung, vermutlich gering darunter anzusiedeln sein.

4.9 Sonderbetrachtungen

4.9.1 Abwasserbehandlungsanlagen und Schlammengen der Nordseeinseln

Eine besondere Betrachtung wird an dieser Stelle für die Inseln Schleswig-Holsteins, die keine Straßenanbindung haben, angeführt. Die Nordseeinseln des Kreises Nordfriesland -Sylt, Föhr, Amrum, Pellworm- und des Kreises Pinneberg – Helgoland- sowie die nordfriesischen Halligen Langeness und Hooge sind mit Kläranlagen bis zur Größenklasse 4 (≤ 100.000 EW) ausgestattet. Der jährliche Klärschlammanfall, saisonal stark schwankend, beträgt ca. 2.400 t/a TS, wovon ca. 60 % auf der Insel Sylt erzeugt werden. Die KS-Mengen und Ausbaugrößen der einzelnen Anlagen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Inseln	Name der Kläranlage	EW an-geschl.	EW Aus-baugr.	GK	TS [Mg/a]	25 % TS [Mg/a]
Sylt	Gem. Kampen	5.300	9.600	3	112	449
	KA Wenningstedt	3.671	15.000	4	78	311
	List	5.000	9.000	3	106	423
	Klärwerk Wes-terland	60.000	88.700	4	1.270	5.081
Föhr	Kläranlage Uter-sum	4.600	6.700	3	97	390
	KA Stadt Wyk auf Föhr	15.000	33.000	4	318	1.270
Amrum	Kläranlage Nebel	4.263	4.950	2	90	361
	Kläranlage Nord-dorf	3.200	4.500	2	68	271
	Kläranlage Witt-dün	3.600	4.999	2	76	305
Pellworm	SBR Pellworm	1.280	1.280	2	27	108
Hooge	BKT Backenswarft	329	366	1	7	28
Helgoland	Helgoland	5.535	6.150	3	117	469
Langeness	Tropfkörperanlage	105	105	1	2	9
SUMME	14	111883	184350		2.369	9.474

Tabelle 4.6: Die Kläranlagen der Nordseeinseln und Halligen

Derzeit werden die Klärschlämme der Inseln Sylt, Helgoland und Föhr landwirtschaftlich auf dem Festland verwertet. Die entwässerten Klärschlämme von Föhr (Ausnahme Utersum) und Helgoland werden hierzu mittels Container- und Fährtransport zum Festland verbracht, die der Insel Sylt in Containern und der Kombination von Straßen- und Schienentransport. Lediglich der Klärschlamm der Anlage Utersum wird landwirtschaftlich auf den Flächen der Insel Föhr ausgebracht

Die Schlämme der Insel Amrum werden seit Sommer 2003 einer Schilfbeerungsveredungsanlage zugeführt. Die Halligen Langeness und Hooge leiten den mobil entwässerten Klärschlamm zur Weiterbehandlung an die Kläranlage Husum weiter. Über den Verbleib der Klärschlämme aus Pellworm liegen den Verfassern keine Angaben vor.

Die vorhandenen Entwässerungsoptionen der Inselkläranlagen sind nachfolgend noch einmal tabellarisch aufgeführt.

Insel	Name der Kläranlage	GK	Entwässerungsart			
			Zentrifuge / Dekanter	Bandfilter	Vererdung / Eindicker	
Sylt	Gemeinde Kampen	3	J			
	KA Wenningstedt	4	J			
	List	3	J			
	Klärwerk Westerland	4	J			
Föhr	Kläranlage Utersum	3			statische Eindickung	
	Stadt Wyk auf Föhr	4		J		
Amrum	Kläranlage Nebel	2		J	EW mobil	KS Vererdung
	Kläranlage Norddorf	2		J	EW mobil	
	Kläranlage Wittdün	2		J	EW mobil	KS Vererdung
Pellworm	Teichkläranlage Pellworm	2				Schlamm-trocken-beete, Eindicker
Hooge	KT Backenswarf	1		KS wird zur Weiterverarbeitung zur KA		Schlamm-trocken-beete, Eindicker
Helgoland	Helgoland	3		Siebbandpresse		
Langeness	Tropfkörper-anlage	1		KS wird zur Weiterverarbeitung zur KA Husum gefahren		
SUMME	14		5	4		

Tabelle 4.7: Übersicht der Entwässerungssysteme

Für den Fall, dass die landwirtschaftliche Verwertung in Schleswig – Holstein nicht mehr möglich ist, sind die Klärschlämme mittels der für die Inseln Föhr, Amrum, Pellworm und Helgoland einzigen Transportmöglichkeit des Seeweges der abschließenden Verwertung zuzuführen. Die Voraussetzungen zur wirtschaftlichen Durchführbarkeit des Seetransportweges, z.B. Fährtransport (für Sylt aber auch Schienentransportweg), sind allein von den zu transportierenden Mengen abhängig. Eine möglichst intensive Volumenreduzierung der zu verwertenden Klärschlamm-mengen ist unter den besonderen Rahmenbedingungen der Inseln von entscheidender Bedeutung.

Die Insel Amrum beschreitet in diesem Sinn den Weg der Schilfbeer-Vererdung seit Mitte 2003. Die Beete sind alle 6 bis 10 Jahre vom vererdeten Klärschlamm, für den auch dann die Anforderungen der AbfKlärV gelten, zu räumen. Die Behandlung im Schilfbeet stellt somit einen zeitlichen Puffer für die Entsorgung da, ändert aber nichts an den Optionen und Auflagen für die Entsorgung. Zu den Vorteilen der Vererdung gehört die Stabilisierung des Materials, so dass bei eventuellen weiteren Um- und Zwischenlagerungen nur geringe Umweltbelastungen zu erwarten sind. Die guten Entwässerungsgrade (ca 80%TS) sorgen für eine Verringerung der Transportkosten und tragen somit entscheidend zur Wirtschaftlichkeit bei. Die anlagenspezifische wirtschaftliche Abwägung unter Berücksichtigung der Investitionen muss aber im Einzelfall vom Anlagenbetreiber getroffen werden.

Die Inseln Föhr und Sylt prüfen derzeit die Machbarkeit der solaren Trocknung. Vorgenannte Ausführungen zur Vererdung sind im Wesentlichen auch hier anzubringen.

Aufgrund der bereits beschrittenen Wege und vorhandenen technischen Einrichtungen der Inselkläranlagen wird an dieser Stelle von der Betrachtung der Option des Nassschlammtransportes per Schiff abgesehen, sollte aber von den Betroffenen im Vergleich nach Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit gewürdigt werden.

Wenn die bislang beschrittenen Vorgehensweisen mit dem Transportmittel Container in der Kombination des Strassen- und Fährtransportes beibehalten werden, stehen den Anlagenbetreibern zur abschließenden Verwertung der Klärschlämme in den Verbrennungsoptionen auch aufgrund der geringen Mengen alle bekannten Optionen zur Verfügung.

5 Bewertung der Entsorgungsoptionen

In diesem Kapitel wird der Versuch unternommen, die vorhandenen Entsorgungsoptionen unter Berücksichtigung aller relevanten Kriterien zu analysieren und zu bewerten. Den Autoren kommt es mit diesem Kapitel vor allem darauf an, die Vielzahl der Entscheidungskriterien für den zukünftigen Klärschlammweg aufzuzeigen und zu strukturieren. Die vorgenommenen Bewertungen spiegeln den Kenntnisstand und die Auffassungen der Autoren wieder. Dabei ist den Autoren bewusst, dass eine solche Bewertung immer subjektive Elemente enthält und damit auch andere Interpretationen zulässt. Durch die gewählte transparente Darstellung ist es aber jedem möglich, die Kriterien und die Bewertungen nachzuvollziehen und gegebenenfalls eine Korrektur gemäß den eigenen Prämissen vorzunehmen.

In Kapitel 5.1 werden zunächst alle in Kapitel 3 vorgestellten Entsorgungswege hinsichtlich ihres aktuellen und mittelfristig möglichen Beitrags zur Klärschlamm-entsorgung in Schleswig-Holstein untersucht. Entsorgungswege mit mengenmäßig größerer Bedeutung werden in den Kapiteln 5.2 bis 5.4 bewertet hinsichtlich der Entsorgungssicherheit, der ökologischen Aspekte und der Kosten. Die Zusammenfassung dieser Bewertung erfolgt in Kapitel 5.5. Anschließend werden Entsorgungsszenarien vorgestellt, die mögliche Entwicklungen der nächsten Jahre verdeutlichen sollen.

5.1 Stand der technischen Entwicklung, Realisierungschancen und Kapazitäten

5.1.1 Monoverbrennung

Die Klärschlamm-Monoverbrennung ist ein seit vielen Jahren eingesetztes und bewährtes Verfahren der Klärschlamm-entsorgung. Die Genehmigung der Anlagen gemäß 17. BImSchV lässt keinerlei Einschränkung eines langfristigen Betriebes erwarten. Selbst einer eventuellen Forderung zur Phosphor-Rückgewinnung könnte durch eine Behandlung der Klärschlamm-Asche entsprochen werden. In Schleswig-Holstein steht keine Monoverbrennung zur Verfügung, die nächste Anlage ist die VERA in Hamburg.

Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen entsorgen derzeit ca. 420.000 Mg TR/a in 22 Anlagen, wovon 5 Industrieanlagen sind (Hanßen, 2003). Als Standorte kommen überwiegend Großklärwerke (ab ca. 150.000 EW) oder neutrale, geeignete Standorte als Verbundlösung mit Energienutzung in Frage. Einige Anlagen bieten derzeit noch freie Kapazitäten an. So bietet die Anlage in Hamburg (VERA) die bislang als Ausfallreserve vorgesehene Kapazität auf dem Markt an. Durch solche Kapazitätsauslastungen kann eine Steigerung der insgesamt in Mono-

verbrennungsanlagen in Deutschland behandelten Menge auf 550.000 Mg TR/a erreicht werden.

Derzeit sind keine Neuanlagen im Bau. Die Realisierung weiterer Klärschlammverbrennungsanlagen stellt in Deutschland ein erhebliches Problem dar. Zum einen ist das Genehmigungsverfahren langwierig und sorgt damit für Realisierungszeiträume von mehreren Jahren. Zum anderen bestehen in der Bevölkerung erhebliche Vorbehalte gegen Verbrennungsanlagen. In Abhängigkeit von den lokalen Verhältnissen kann dies dazu führen, dass sich der Bau einer Anlage politisch nicht durchsetzen lässt.

In Schleswig-Holstein sind von der Stadt Kiel, der Müllverbrennung Kiel und vom Abwasserzweckverband Pinneberg (siehe Kapitel 3.6) Vorüberlegungen zum Aufbau von Monoverbrennungskapazitäten angestellt worden. Sie würden gemeinsam eine Kapazität von bis zu 37.500 t TS/a haben. Die Realisierung ist aber noch offen. Konkret bietet sich derzeit für den Klärschlamm Schleswig-Holsteins daher einzig die VERA in Hamburg an, die eine freie Kapazität von 10.000 maximal 25.000 t Trockensubstanz pro Jahr bietet.

5.1.2 Mitverbrennung in Kohlekraftwerken

Die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken wird seit vielen Jahren betrieben und stellt den Stand der Technik dar. Genehmigungsrechtlich ist durch die jüngste Novellierung von 13. und 17. BImSchV auf absehbare Zeit keine Einschränkung zu erwarten. Insofern stellt die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken eine sofort verfügbare und langfristig gesicherte Art der Klärschlamm Entsorgung dar.

Die deutschen Kohlekraftwerke könnten theoretisch allen Klärschlamm mitverbrennen, da dieser nur rund 1% der gesamten Feuerungswärmeleistung ausmacht. Aber nicht jedes Kraftwerk kann Klärschlamm annehmen. Neben der erforderlichen Genehmigung ist auch die verfahrenstechnische Ausstattung notwendig. Vor allem müssen Annahmestationen für Schlämme und Trocknungskapazitäten vorhanden sein bzw. gebaut werden. Auch die Beeinflussung der Aschequalität im Hinblick auf die weitere Verwertung kann den Klärschlammanteil begrenzen. Die Entscheidung zur Investition in entsprechende Einrichtungen muss der Betreiber vor dem Hintergrund der Marktentwicklung sowie der Restlaufzeit des Kraftwerkes fällen. Die tatsächlich vorhandenen bzw. realisierbaren Kapazitäten können daher nur abgeschätzt werden. Die derzeit vorhandene Kapazität von ca. 600.000 t TS/a kann binnen weniger Jahre auf mindestens 1.300.000 t TS/a ausgebaut werden (Hanßen 2004). Die Kraftwerksbetreiber haben angeboten, bis 2007 die Kapazitäten für die Annahme des gesamten Schlammes zu schaffen, was abzüglich der anderen Verbrennungsmöglichkeiten ca. 1.600.000 t TS/a entsprechen würde.

In Schleswig-Holstein bestehen seitens der Kraftwerke in Kiel und in Flensburg Planungen zur Mitverbrennung von Klärschlamm. Gemäß den derzeitigen Überle-

gungen könnten in Flensburg bis 17.000 t/a angenommen werden und in Kiel bis 58.000 t/a entwässerten Klärschlammes. Dies entspricht einer Gesamtkapazität von 18.750 t Trockenmasse pro Jahr und damit rund 23% des Klärschlammanfalls in Schleswig-Holstein.

5.1.3 Mitverbrennung in Zementwerken

Die Mitverbrennung in Zementwerken ist in Deutschland bislang kaum betrieben worden, u.a. weil höherkalorische, hochpreisigere oder sonst wie geeignetere Ersatzbrennstoffe in ausreichenden Mengen verfügbar waren. Allerdings liegen aus anderen europäischen Ländern wie beispielsweise der Schweiz langjährige Erfahrungen vor. In Deutschland haben großtechnische Probetriebe mit getrocknetem Schlamm gezeigt, dass die Erfahrungen übertragbar sind. Entsprechende Genehmigungen zur Mitverbrennung liegen bereits vor bzw. sind beantragt. Die Gesamtkapazität wird mit kurzfristig bis 200.000 t Trockensubstanz pro Jahr und langfristig bis 1 Mio. t TS/a abgeschätzt (Hanßen 2004). Da die Zementwerke in aller Regel nur getrockneten Schlamm annehmen können, wird die mögliche Entsorgungsmenge vom Bau entsprechender Trocknungsanlagen limitiert.

In Schleswig-Holstein besteht seitens des Zementwerkes in Lägerdorf die Möglichkeit zur Mitverbrennung von Klärschlamm. Es können bis 35.000 t/a an getrocknetem Schlamm angenommen werden, was einer Kapazität von 31.500 t Trockenmasse entspräche. Rechnerisch könnten damit fast 40% des Klärschlammanfalls in Schleswig-Holstein entsorgt werden. Allerdings stehen in Schleswig-Holstein nicht die entsprechenden Trocknungskapazitäten zur Verfügung. Derzeit fallen aus insgesamt 3 Trocknungsanlagen nur ca. 5.000 t TS/a getrockneten Klärschlammes an, was gut 6% des Gesamtschlammmanfalls entspricht. Um die Mitverbrennungskapazitäten in Lägerdorf ausnutzen zu können, wäre daher der Bau weiterer Trocknungsanlagen notwendig.

5.1.4 Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen und der TEV

Müllverbrennungsanlagen eignen sich aufgrund ihrer hochwertigen Abgasreinigung zur Verbrennung von Klärschlamm, auch wenn diese hoch belastet mit Schadstoffen sein sollten. Allerdings wird die Menge an mitverbrennbarem Klärschlamm technisch durch das Annahmesystem (Bunker) sowie die Art der Feuerung (Roste) eingeschränkt. Außerdem steht Klärschlamm wirtschaftlich in Konkurrenz zu anderen Abfallstoffen, die zu höheren Preisen angenommen werden können. So werden in Deutschland derzeit nur etwa 0,3% der Gesamtverbrennungskapazität von Klärschlamm eingenommen. Es ist anzunehmen, dass dieser Anteil auch langfristig unter 1% der Gesamtkapazität bleiben wird (Hanßen 2004).

Die inklusive der TEV Neumünster in Schleswig-Holstein zur Verfügung stehende Gesamtkapazität von rund 750.000 t/a würde mit dem oben genannten Prozentsatz eine rechnerische theoretische Kapazität von rund 6.000 t Trockenmasse pro Jahr ergeben. Tatsächlich bietet derzeit lediglich die MVK in Kiel eine Kapazität von 2.500 t Trockenmasse pro Jahr. Die anderen 3 Müllverbrennungsanlagen und die TEV haben keine freien Kapazitäten für die Klärschlammverbrennung.

5.1.5 Mechanisch biologische Behandlung / Deponierung

Klärschlamm kann nach einer Mitbehandlung in einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage deponiert werden. Der Anteil der über diesen Weg in Deutschland entsorgten Schlämme ist relativ klein, was zum einen an den Kapazitäten der zur Verfügung stehenden MBA's liegt und zum anderen auf die im Vergleich zu den anderen Entsorgungswegen derzeit relativ hohen Behandlungskosten zurückzuführen ist.

In Schleswig-Holstein wird dieser Entsorgungsweg durch das Konzept der Entsorgungsbetriebe Lübeck zur Mitbehandlung in der dort entstehenden MBA einen nicht unbedeutenden Anteil an der gesamt entsorgten Menge haben. Es ist vorgesehen, den gesamten Schlamm aus Lübeck in der MBA zu behandeln, was rund 7.500 t Trockenmasse pro Jahr entspricht und damit fast 10% des landesweiten Klärschlammfalls. Es kann nicht angenommen werden, dass zukünftig darüber hinaus nennenswerte Mengen über diesen Weg entsorgt werden.

5.1.6 Sonderverfahren

Die Pyrolyse und die Vergasung organischer Materialien wird seit vielen Jahren untersucht. Es liegen sowohl positive wie negative Untersuchungsergebnisse bzw. Betriebserfahrungen vor. Zum alleinigen Einsatz von Klärschlamm als Inputmaterial liegen wenig Erkenntnisse vor. Mit der auf der Kläranlage Balingen (Baden-Württemberg) seit Ende 2002 betriebenen Anlage zur Vergasung können weitere Erfahrungen gesammelt werden. Im Rahmen einer für die Stadt Niebüll erstellten Machbarkeitsstudie für eine Pyrolyse werden Entsorgungskosten von rund 80 Euro pro Tonne entwässertem Schlamm bei einer Anlagenkapazität von 2000 Tonnen entwässertem Schlamm pro Jahr veranschlagt. Damit lägen die Kosten nicht erheblich über den aktuellen Verbrennungspreisen (inkl. Transport). Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Klärschlammpyrolyse und die Vergasung ein Entwicklungspotential aufweisen, da auch für Kläranlagen mittlerer Größe die Behandlungskosten in ähnlicher Größenordnung wie die der Mitverbrennung liegen. Einschränkend ist zu sagen, dass die gesammelten Erfahrungen und die Laufzeiten der Anlagen noch zu gering sind. Somit ist zu erwarten, dass es in den nächsten Jahren zunächst nur zum Bau von Demonstrationsanlagen kommen wird. Auch bei weiter positiven Ergebnissen werden die Pyrolyse und die

Vergasung somit voraussichtlich mittelfristig (Zeitraum 5 Jahre) keinen größeren Beitrag zur Klärschlamm Entsorgung des Landes Schleswig-Holstein leisten können, sondern allenfalls langfristig.

Die großtechnische Demonstrationsanlage für das Seaborne-Verfahren in Gifhorn wird voraussichtlich Ende 2005 in Betrieb gehen, also rund 3 Jahre nach der Pyrolyse. Da sehr wenig Erfahrungen mit der komplett neuen Technologie vorliegen, wird auch bei weiter positiven Ergebnissen noch einige Zeit vergehen, bis weitere Anlagen gebaut werden. Somit wird auch diese Technologie mittelfristig (Zeitraum 5 Jahre) keinen größeren Beitrag zur Klärschlamm Entsorgung des Landes Schleswig-Holstein leisten können. Das Seaborne-Verfahren stellt sich langfristig insofern als besonders interessant dar, als es die Möglichkeiten der Rückgewinnung von Nährstoffen aus Klärschlamm ermöglicht.

Die Mitverbrennung mit anderen Biomassen stellt eine weitere Option für die Klärschlamm beseitigung dar. Insbesondere im Zusammenhang mit dem neuen Energieeinspeisegesetz hat die Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen, vor allem Holz, an Attraktivität gewonnen. Vielerorts sind Überlegungen und Vorplanungen für solche Kraftwerke vorangetrieben worden. Bei einigen Anlagen ist eine Mitbehandlung von Klärschlamm vorgesehen, wobei teilweise nur die Abwärme für die Klärschlamm Trocknung eingesetzt werden soll. Angesichts des begrenzten Aufkommens des Rohstoffs Holz erscheinen solche Bestrebungen vor allem in besonders holzreichen Gegenden Süddeutschlands von Interesse. Dort sind auch Anlagen mit einer kombinierten Klärschlammbehandlung in Betrieb. Da die thermische Mitbehandlung von Klärschlamm auch hinsichtlich genehmigungsrechtlicher Fragestellungen, der Verwertbarkeit der Reststoffe und verfahrenstechnischer Anforderungen gesehen werden muss, wird mittelfristig kein bedeutendes Potential für die Klärschlamm Entsorgung gesehen. Die Nutzung der Abwärme für Trocknungszwecke kann sich als sinnvoll erweisen.

Andere Verfahren wie beispielsweise die überkritische Nassoxidation oder die katalytische Verölung sind derzeit nur im Labor- bzw. Pilotmaßstab realisiert worden und Demonstrationsanlagen zur Klärschlammbehandlung sind nicht vorhanden.

Allen in diesem Kapitel vorgestellten Verfahren ist gemeinsam, dass Anlagen mit nennenswerten Kapazitäten derzeit nicht verfügbar sind und sie damit für die Schlamm Entsorgung in Schleswig-Holstein momentan keine Rolle spielen. Weiterhin liegen noch keine bzw. nicht ausreichende großtechnische Erfahrungen vor. Damit ist eine Beurteilung der zukünftigen Bedeutung der Verfahren derzeit schwierig. Es ist aber davon auszugehen, dass es in den nächsten Jahren in Schleswig-Holstein allenfalls zur Realisierung einzelner Anlagen mit Demonstrationscharakter kommen wird. Wenn bei den Verfahren eine Rückgewinnung von Wertstoffen möglich ist, so sollte der Weiterentwicklung besondere Beachtung geschenkt werden. Die Recyclingmöglichkeiten für Phosphor sind dabei als besonders wichtig anzusehen.

5.2 Entsorgungssicherheit

Die Entsorgungssicherheit stellt ein ganz entscheidendes Kriterium bei der Auswahl des Entsorgungsweges dar. Da diese Sicherheit in hohem Maße von politischen bzw. gesetzlichen Vorgaben beeinflusst wird, ist eine rein technisch-wissenschaftliche Prognose (Kap. 5.2.1) nicht ausreichend. Daher wird die Stabilität des Entsorgungsweges gegenüber solchen Vorgaben im Kap. 5.2.2 gesondert berücksichtigt.

Durch den Abschluss langfristiger Verträge mit uneingeschränkten Abnahmegarantien können Betreiber von Kläranlagen für sich eine Entsorgungssicherheit schaffen, die zunächst einmal unabhängig von den im folgenden dargestellten Kriterien ist. Insofern sind die in diesem Kapitel angestellten Betrachtungen und Bewertungen von eher genereller Bedeutung und berücksichtigen die Gesamtsituation in Schleswig-Holstein.

Vorhandene Deponierungsmöglichkeiten für Klärschlammaschen wie in Kiel-Bülk (siehe Kapitel 3.5) verbessern die Entsorgungssicherheit aller thermischen Verfahren. Gegebenenfalls ließen sich diese Flächen auch als Ausweich-/Zwischenlager bei Anlagenstillständen nutzen.

Die Bewertung erfolgt nach einem Punktsystem von -5 (sehr schlecht) bis +5 (sehr gut). Die im Text begründeten Auf- oder Abschläge werden summiert und normiert und in Tabelle 5.1 zusammenfassend dargestellt.

Wie zu Beginn des Kapitels dargestellt, spiegeln die vorgenommenen Bewertungen den Kenntnisstand und die Auffassungen der Autoren wieder. Dabei ist den Autoren bewusst, dass eine solche Bewertung immer subjektive Elemente enthält und damit auch andere Interpretationen zulässt. Durch die gewählte transparente Darstellung ist es aber jedem möglich, die Kriterien und die Bewertungen nachzuvollziehen und gegebenenfalls eine Korrektur gemäß den eigenen Prämissen vorzunehmen.

5.2.1 Technische Entsorgungssicherheit

Bei der technischen Entsorgungssicherheit geht es um die technische Zuverlässigkeit des Entsorgungsweges, also der Stabilität gegenüber unvorhersehbaren Unregelmäßigkeiten des Betriebes der Entsorgungseinrichtungen.

Eine große Zahl an Anbietern sorgt für eine hohe Entsorgungssicherheit. Dies ist besonders bei der landwirtschaftlichen Verwertung der Fall (+2). Kraftwerke weisen allgemein eine hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit auf. Bei größeren Energieversorgern kann darüber hinaus im Notfall eine Mitverbrennung in einem anderen Kraftwerk realisiert werden (+2). Für Zementwerke gilt im Prinzip gleiches, wobei aber die Übernahme in andere Zementwerke aufgrund der (noch) feh-

lenden Annahmemöglichkeiten bzw. Genehmigungen leicht eingeschränkt ist. Die Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen und die Monoverbrennungsanlagen weisen technisch die gleiche Zuverlässigkeit wie die anderen Verbrennungsanlagen auf. Allerdings würde hier ein technischer Ausfall der Anlage erheblich schwerer zu kompensieren sein, da die zu verarbeitenden Abfallströme weiterhin anfallen und durch eine Kapazitätserhöhung in einer anderen Anlage nur schwer aufzufangen sind (+1). Dies gilt in besonderem Maße, wenn die Anlagen voll ausgelastet sind, was bei den Müllverbrennungsanlagen ab 2005 zu erwarten ist. Für die MBA stehen nur eine geringe Anzahl von Anlagen zur Verfügung (0).

Bei einer ausreichenden Anzahl von thermischen Anlagen kann durch eine gegenseitige Absicherung hinsichtlich Betriebsstörungen die notwendige Entsorgungssicherheit gewährleistet werden.

5.2.2 Generelle Entsorgungssicherheit

Unter der generellen Entsorgungssicherheit wird hier die langfristige Zuverlässigkeit der Entsorgungswege verstanden. Hier wird also die Stabilität des Entsorgungsweges bei Veränderungen von politischen, gesetzgeberischen, betriebswirtschaftlichen u.a. Randbedingungen betrachtet.

Bei einer Verwertung in der Landwirtschaft ist die langfristige Entsorgungssicherheit fraglich, da einerseits in der Politik darüber nachgedacht wird, die Grenzwerte für Schwermetalle deutlich zu senken, andererseits auch über ein generelles Ausbringungsverbot von Klärschlamm in die Landwirtschaft diskutiert wird. Erfahrungsgemäß spielen hier gesellschaftliche und politische Vorgaben eine größere Rolle. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der derzeit betriebene landwirtschaftliche Entsorgungspfad keine langfristige Entsorgungssicherheit mehr bietet (-5). Eine weitere gesetzgeberische Beschränkung bzw. ein Verbot der landwirtschaftlichen bzw. landbaulichen Verwertung wird sicher mit Übergangsfristen erfolgen. Allerdings haben die jüngsten Erfahrungen mit der BSE-Krise gezeigt, dass auch mit einem sofortigen Verbot der landwirtschaftlichen Verwertung gerechnet werden muss. Zukunftsfähige Klärschlamm Entsorgungskonzepte müssen einen dadurch entstehenden Entsorgungsnotstand sicher vermeiden.

Wenn eine längerfristige Entsorgungssicherheit angestrebt wird, stellt die thermische Verwertung den einzig relevanten Entsorgungspfad dar (+5). Zwischen den einzelnen Varianten ergeben sich aber noch gewisse Unterschiede, die im folgenden dargestellt werden sollen.

Anlagen, die primär einer anderen Aufgabe als der Klärschlamm Entsorgung dienen, müssen hinsichtlich der Entsorgungssicherheit kritischer beurteilt werden (-1). Die Mitverbrennung von Klärschlamm führt zur Belastung der Abfallströme (Rauchgas, Asche) bzw. der Produkte (Zement, Asche). Durch gesetzliche Anforderungen oder unter Absatzgesichtspunkten nötig werdende Investitionen können

einen Weiterbetrieb der Klärschlammmitverbrennung unrentabel machen und damit zu einem Ausstieg führen. Dies gilt in gleichem Maße für die Zementindustrie wie für die Kraftwerke.

Bei der Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen und Zementwerken steht der Klärschlamm in Konkurrenz zu anderen Abfallstoffen. In eingeschränktem Maße gilt dies auch für die Kraftwerke. Lassen sich für diese höhere Preise Erlösen, so wird der Betreiber aus rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Klärschlammverbrennung möglichst einstellen und die Kapazitäten mit anderen Stoffen auslasten, sofern die Genehmigung dies erlaubt. Damit ist beispielsweise aufgrund der Umsetzung der TA-Siedlungsabfall im Jahr 2005 zu rechnen. Da Müllverbrennungsanlagen für alle Arten von Problemstoffen die geeignetste Entsorgungsoption darstellen, ist langfristig immer wieder mit Einschränkungen der Klärschlammmitverbrennung zu rechnen (-1).

Diese Aspekte spielen bei der Klärschlamm-Monoverbrennung keine Rolle, da ihr primäres Ziel eben die Klärschlamm Entsorgung darstellt. Sie übererfüllen bereits die hohen Anforderungen der 17. BImSchV für die Abfallverbrennung, so dass auch von der Reststoffseite keine Veränderungen zu erwarten sind. Somit bieten diese Anlagen die höchste Entsorgungssicherheit unter den Verbrennungsverfahren.

Schließlich sollte auch hinsichtlich der Entsorgungssicherheit dem Aspekt des Recyclings von Phosphor bei der Auswahl des Entsorgungsverfahrens Rechnung getragen werden. Denn im Sinne einer Ressourcenschonung ist mittelfristig eine Einführung gesetzlich vorgeschriebener Phosphorrückgewinnungsquoten zumindest für größere Anlagen denkbar, wie die Entwicklung in Schweden zeigt. Soll ein solches Recycling aus dem Klärschlamm erfolgen, wird das insbesondere bei der landwirtschaftlichen Verwertung erreicht, bei der landbaulichen Verwertung nur teilweise. Bei den Verbrennungsverfahren kommt dann den Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen eine besondere Bedeutung zu, da nach derzeitigem Stand des Wissens nur aus deren Aschen eine Rückgewinnung von Phosphor möglich sein wird, nicht dagegen aus den Aschen der Mitverbrennung (-1).

5.2.3 Bewertung der Entsorgungssicherheit

Die qualitative Bewertung der Entsorgungssicherheit ist der zusammenfassenden Zeile am Ende der Tabelle 5.1 zu entnehmen. Für die Mittelwertbildung wurden die technische und die generelle Entsorgungssicherheit gleich gewichtet.

Die höchste Entsorgungssicherheit bieten demnach die interne Monoverbrennung, gefolgt von der externen Klärschlamm-Monoverbrennung und den anderen Mitverbrennungsverfahren. Die landwirtschaftliche Verwertung bietet langfristig keine ausreichende Entsorgungssicherheit.

	Entsorgungsweg					
	Verwertung Landwirtschaft	MBA / Deponie	Monover- brennung	Mitver- brennung Zementwerk	Mitverbrennung Kohlekraftwerk	Mitverbrennung Müllverbrennung
Kriterien Technische Entsorgungssicherheit (Betriebssicherheit)						
Zahl von Abnehmern / Redundanz	2	0	1	2	2	1
Summe	2	0	1	2	2	1
Kriterien Generelle Entsorgungssicherheit						
Langfristig gesetzlich eingeschränkt	-5					
Verfahren langfristig gesetzlich zulässig		5	5	5	5	5
Möglicher Ausstieg aus der Mitverbrennung				-1	-1	-1
Konkurrenz zu anderen Abfallstoffen						-1
Langfristige Einschränkung wegen fehlender P-Recycling-Option		-1		-1	-1	-1
Summe	-5	4	5	3	3	2
Mittelwert der Summen	-1,5	2	3	2,5	2,5	1,5
Normierter Mittelwert	-0,50	0,67	1,00	0,83	0,83	0,50

**Tabelle 5.1: Zusammenfassende Bewertung der Entsorgungssicherheit
(-5: sehr schlecht, 5: sehr gut)**

5.3 Aspekte der ökologische Bewertung der Entsorgungsoptionen

In dieser Studie soll keine Ökobilanzierung gemäß DIN EN ISO 14040 ff vorgenommen werden, da dies den Rahmen dieser Studie weit übersteigen würde. Solche Betrachtungen wurden auch bereits durch das IFEU-Institut für das Land Schleswig-Holstein angestellt und können eingesehen werden (IFEU, 2002).

Dort wurde u.a. festgestellt, dass die Auswirkungen der Verbrennungsverfahren auf die Luftbelastung höher sind als bei der landwirtschaftlichen Verwertung, dass es aber auf der anderen Seite bei der Belastung der Gewässer und des Bodens genau umgekehrt ist. Die Human- und Ökotoxizität der Verbrennungsverfahren ist ebenfalls geringer, vor allem die der Monoverbrennungsverfahren. Dagegen wird eine Ressourcenschonung allein durch die landwirtschaftliche Verwertung in hohem Maße erreicht.

Daher beschränkt sich diese Studie auf einige wenige Kriterien, die sicherlich nicht eine Gesamtaussage über diesen komplexen Themenbereich erlauben, aber nichtsdestotrotz einige Aspekte beleuchten, die in der Gesamtdiskussion nicht übersehen werden sollten.

Die Bewertung erfolgt wiederum nach einem Punktsystem von -5 (sehr schlecht) bis +5 (sehr gut). Die im Text beschriebenen Auf- oder Abschläge werden summiert und in Tabelle 5.2 zusammenfassend dargestellt.

Wie zu Beginn des Kapitels dargestellt, spiegeln die vorgenommenen Bewertungen den Kenntnisstand und die Auffassungen der Autoren wieder. Dabei ist den Autoren bewusst, dass eine solche Bewertung immer subjektive Elemente enthält und damit auch andere Interpretationen zulässt. Durch die gewählte transparente Darstellung ist es aber jedem möglich, die Kriterien und die Bewertungen nachzuvollziehen und gegebenenfalls eine Korrektur gemäß den eigenen Prämissen vorzunehmen.

Bei der landwirtschaftlichen Verwertung kommt es zu Schadstoffeinträgen in den Boden, es kann zu Nährstoffausträgen in Gewässer und das Grundwasser sowie zu anderen Emissionen kommen (-1).

Verbrennungsverfahren führen zwangsläufig zu Abgasemissionen (-1). Hinsichtlich der Abgasreinigung ergeben sich Unterschiede zwischen den Mono- und Müllverbrennungsanlagen einerseits sowie der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken und Zementwerken andererseits. Durch die Novellierung von 17. und 13. BImSchV haben sich die Anforderungen an die Mitverbrennung verschärft. Bei vielen Parametern müssen nun auch von den Mitverbrennungsanlagen die gleichen Grenzwerte wie von den Monoverbrennungsanlagen eingehalten werden, nur für wenige Parameter kann die altbekannte Mischungsregel verwendet werden. Da die Messwerte auf einen festen Bezugssauerstoffgehalt umgerechnet werden müssen, kommt es theoretisch sogar zu einer gewissen Benachteiligung der Mitverbrennung [Werther, Hanßen 2004]. Andererseits bleibt es aber dabei, dass kritische Abgasbestandteile wie Quecksilber bei der Mitverbrennung im Gegensatz zur Monoverbrennung nicht abgeschieden werden (-2). Solche Emissionen sind bei den Verbrennungsverfahren mit mehrstufigen Abgasreinigungsverfahren wie der Klärschlamm-Monoverbrennung und der Müllverbrennung geringer als bei den anderen Mitverbrennungsverfahren.

Positiv ist zu werten, wenn durch die Mitverbrennung von Klärschlamm der Einsatz von Primärenergieträgern verringert werden kann bzw. wenn aus der Klärschlammverbrennung Strom gewonnen werden kann. Dies gilt in erster Linie für die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken und Zementwerken (+2), aber auch für Monoverbrennungsanlagen wenn dort, wie in der VERA in Hamburg, eine Stromerzeugung mittels Dampfturbine erfolgt (+1).

Bei den thermischen Verfahren kann die Verbrennungswärme zur Trocknung des Schlammes genutzt werden. Besonders positiv ist allerdings, wenn die Niedertemperaturwärme über ein Fernwärmesystem zu Heizzwecken genutzt werden

kann, wie es für die betrachteten Kraftwerke und die Müllverbrennung der Fall ist (+2).

Prinzipiell gilt für alle Verfahren, dass die Belastung der Atmosphäre mit zunehmender Transportentfernung ansteigt. Dies spricht für eine möglichst klärwerksnahe Verwertung, was besonders bei Monoverbrennung auf Kläranlagen gegeben ist (+2). Bei der landwirtschaftlichen Verwertung können meist ebenfalls relativ kurze Transportwege eingehalten werden (+1). Bei allen anderen Entsorgungswegen ist bei einer landesweit gesehenen Entsorgung mit höheren Transportentfernungen zu rechnen. Für alle Entsorgungsvarianten gilt, dass eine weitgehende maschinelle Entwässerung des Schlammes anzustreben ist, da hierdurch die zu transportierenden Massen und/oder die zu verdampfende Wassermenge reduziert werden kann.

Vorteile ergeben sich bei der landwirtschaftlichen Verwertung (+2) durch die Einsparung von Mineraldünger. Auch bei der Variante MBA/Deponierung erfolgt dies zu einem kleineren Teil, da durch die Abscheidung von Ammoniumsulfat Mineraldünger eingespart werden kann (+1). Vor allem die Substitution der Ressource Phosphaterz muss langfristig als entscheidender Vorteil gesehen werden. Als einzige Alternative sind hier Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen mit nachgeschalteter Rückgewinnung des Phosphors aus der Asche zu nennen. Allerdings ist diese Rückgewinnung derzeit nur eine Option (+1). Bereits heute könnte aber eine separate Ablagerung von Aschen der Monoklärschlammverbrennung erfolgen, da diese auch als Rohstoffquelle zur Gewinnung von Phosphor genutzt werden könnten. Auf der Deponie im Klärwerk Kiel-Bülk stünden entsprechende Kapazitäten zur Verfügung.

Die qualitative Bewertung der Ökologie ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Für die Mittelwertbildung wurden die vier Einzelkriterien gleich gewichtet.

Kriterien Ökologische Bewertung	Entsorgungsweg					
	Verwertung Landwirtschaft	MBA / Deponie	Monover- brennung	Mitver- brennung Zementwerk	Mitverbrennung Kohlekraftwerk	Mitverbrennung Müllverbrennung
Bodenbelastung, Emissionen	-1	0	0	0	0	0
Abgasemissionen	0	0	-1	-2	-2	-1
Ersatz von Primärenergie- trägern, Stromproduktion	0	0	1	2	2	0
Fernwärmenutzung	0	0	0	0	2	2
Abgase aus dem Transport	1	0	2	0	0	0
Einsparungen an Mineraldünger	2	1	0	0	0	0
Phosphor-Rückgewinnung (Option)	0	0	1	0	0	0
Summe	2	1	3	0	2	1
Normierter Mittelwert	0,67	0,33	1,00	0,00	0,67	0,33

Tabelle 5.2: Aspekte einer ökologischen Bewertung (-5: sehr schlecht, 5: sehr gut)

Vor dem Hintergrund des grundsätzlichen Disputes über die ökologischen Vor- und Nachteile von landwirtschaftlicher Verwertung im Vergleich mit der thermischen Entsorgung können zwei Zielrichtungen aufgezeigt werden. Geringe ökologische Belastungen würden erreicht zum einen wenn es gelingen würde, bei der landwirtschaftlichen bzw. landbaulichen Verwertung die Belastung der Gewässer und des Bodens sowie die Human- und Ökotoxizität zu verringern. Dies kann zum Teil durch die Reduzierung von Schadstoffen in Klärschlämmen erreicht werden, aber die Austräge an Nährstoffen und Ammoniak werden sich kaum reduzieren lassen. Zum anderen durch eine Verringerung der Luftbelastung und eine verbesserte Ressourcenschonung bei den Verbrennungsverfahren. Somit stellt eine Klärschlamm-Monoverbrennung mit angeschlossener Phosphor-Rückgewinnung aus ökologischer Sicht eine zu präferierende Variante dar.

5.4 Entsorgungskosten

Die Bewertung der Entsorgungskosten muss neben den aktuellen Zahlen auch eine Prognose der Entwicklung enthalten. Um eine Vorhersage über die zukünftig zu erwartenden Kosten der Entsorgung machen zu können, sind Annahmen über die Entwicklung der Kostenstrukturen der Entsorgungswege zu treffen. Diesen Annahmen kommt ein entscheidender Einfluss auf das Ergebnis der Berechnungen zu. Um dem Problem falscher Grundannahmen hinsichtlich der Entwicklung der Entsorgungskosten zu begegnen, werden mehrere Szenarien entwickelt, die verschiedene mögliche Entwicklungen beinhalten.

Es ist anzunehmen, dass die Szenarien A und B in absehbarer Zeit eintreten werden. Szenario C könnte laut aktueller Aussagen des UBA bereits 2005 Realität werden, von anderer Seite wird vermutet, dass es erst in einigen Jahren eintritt. Die Wahrscheinlichkeit, dass Szenario C mittelfristig gar nicht eintritt, muss als gering angesehen werden. Insofern muss es in die Überlegungen einfließen.

Eine Bewertung der Kosten ist vergleichsweise schwierig, soll jedoch analog zur Entsorgungssicherheit und ökologischen Beurteilung in Tabelle 5.3 vorgenommen werden, um schließlich in die zusammenfassende Tabelle 5.4 einfließen zu können. Dabei werden die Szenarien A bis C zusammen mit den aktuellen Kosten gewertet.

Die Bewertung erfolgt wiederum nach einem Punktsystem von -5 (sehr schlecht) bis +5 (sehr gut). Wie zu Beginn des Kapitels dargestellt, spiegeln die vorgenommenen Bewertungen den Kenntnisstand und die Auffassungen der Autoren wieder. Dabei ist den Autoren bewusst, dass eine solche Bewertung immer subjektive Elemente enthält und damit auch andere Interpretationen zulässt. Durch die gewählte transparente Darstellung ist es aber jedem möglich, die Kriterien und die

Bewertungen nachzuvollziehen und gegebenenfalls eine Korrektur gemäß den eigenen Prämissen vorzunehmen.

Bewertet man die aktuellen Entsorgungskosten, so fällt auf, dass die Kosten für die Verbrennungsverfahren auf einem Marktpreisniveau liegen. Nur die Mitbehandlung in der MBA ist teurer (-1). Dagegen ist die landwirtschaftliche Verwertung günstiger als die Verbrennungsverfahren (+1). Tatsächlich könnten die Kosten für die Mono-Verbrennung auch aufgrund der Mehrinvestitionen bei der Abgasreinigung höher als bei den Mitverbrennungsverfahren liegen. Die derzeitigen Marktpreise liegen aber auf gleichem Niveau wie die der Mitverbrennung.

Folgende Szenarien werden angenommen:

Szenario A (Deponierungsverbot 2005):

Hohe Entsorgungspreise ergeben sich bei der Mitverbrennung in der Müllverbrennung aufgrund des Deponierungsverbotes. Da die landwirtschaftliche Verwertung nicht eingeschränkt ist, bleibt das Preisniveau niedrig (0), was auch für die Verbrennung gilt, da die Kapazitäten nicht ausgelastet sind. Dies kann dazu führen, dass die Preise für die Verbrennung geringfügig weiter fallen (+1). Bei Müllverbrennungsanlagen ist ein Anstieg des Preisniveaus zu erwarten (-1).

Szenario B (moderate Grenzwertverschärfung für die landwirtschaftliche Verwertung):

Eine Einschränkung der landwirtschaftlichen Verwertung beispielsweise entsprechend dem Vorschlag der VDLUFA wird besonders in Schleswig-Holstein aufgrund der hohen Kupfergehalte zu erhöhten Mengen thermisch zu entsorgender Schlämme führen. Da in den anderen Bundesländern der Anteil landwirtschaftlich verwertbarer Schlämme höher sein wird, werden die Verbrennungskapazitäten insgesamt ausreichen. Ein gewisser Anstieg der Kosten für die thermische Entsorgung ist anzunehmen (-1). Dagegen kann es bei der landwirtschaftlichen Entsorgung sogar zu Kostenverringereungen kommen, da das Aufkommen landwirtschaftlich verwertbaren Schlammes abgenommen hat (+1).

Szenario C (drastische Grenzwertverschärfung für die landwirtschaftliche Verwertung):

Eine Einschränkung der landwirtschaftlichen Verwertung beispielsweise entsprechend dem Vorschlag der BMU/BMVEL würde für über 90% der Schlämme in Deutschland die landwirtschaftliche Verwertung unmöglich machen. Damit müssen erhebliche Mengen thermisch entsorgt werden.

Weitere Preisanstiege bei der Entsorgung sind wahrscheinlich, da zumindest zeitweise ein Wettbewerb um freie Verbrennungskapazitäten stattfinden würde (-1). Die Preise für eine Mitverbrennung in der Müllverbrennung werden aufgrund der bereits erfolgten Anpassungen nicht weiter steigen (0).

Kriterien	Kosten					
	Verwertung Landwirtschaft	MBA / Deponie	Monoverbrennung	Mitverbrennung Zementwerk	Mitverbrennung Kohlekraftwerk	Mitverbrennung Müllverbrennung
derzeitiger Kostenstand	1	-1	0	0	0	0
Prognose Szenario A	0	0	1	1	1	-1
Prognose Szenario B	1	0	-1	-1	-1	-1
Prognose Szenario C	-	0	-1	-1	-1	0
Summe	2	-1	-1	-1	-1	-2
Normierte Summe	1,00	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-1,00

Tabelle 5.3: Bewertung der Kosten (-5: sehr schlecht, 5: sehr gut)

5.5 Zusammenfassende Bewertung (Ökonomie, Ökologie, Entsorgungssicherheit)

Die wichtigsten Kriterien für die Auswahl eines Klärschlamm Entsorgungskonzeptes sind:

- Die Entsorgungskosten
- Die Entsorgungssicherheit
- Die ökologische Bewertung

Für die in den folgenden Tabellen vorgenommene Gesamtbewertung wurden die normierten Mittelwerte der Tabellen 5.1 (Entsorgungssicherheit), 5.2 (Ökologische Aspekte) und 5.3 (Kosten) verwendet.

Ob den Entsorgungskosten, der Entsorgungssicherheit oder der ökologischen Bewertung die höchste Priorität eingeräumt wird, unterliegt den jeweiligen Prämissen. Um den Einfluss dieser Gewichtung darzustellen, werden insgesamt 5 Ge-

wichtungen vorgestellt. Eine Tabelle sieht für alle 3 Kriterien eine gleichmäßige Gewichtung von 33% vor, dann wurden 3 Gewichtungen mit einer Schwerpunktsetzung von 60% auf jeweils ein Kriterium vorgenommen und eine Gewichtung mit einem Schwerpunkt auf Kosten und Entsorgungssicherheit. Damit wird gleichzeitig die Sensitivität hinsichtlich dieser 3 Kriterien deutlich.

Bewertung der Entsorgungsoptionen				
	Kosten	Entsorgungssicherheit	ökologische Beurteilung	Summe gewichtet
Gewichtung	33%	33%	33%	
Landwirtschaftliche Verwertung	1,00	-0,50	0,67	0,39
MBA / Deponie	-0,50	0,67	0,33	0,17
Monoverbrennung	-0,50	1,00	1,00	0,50
Mitverbrennung Zementwerk	-0,50	0,83	0,00	0,11
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	-0,50	0,83	0,67	0,33
Mitverbrennung Müllverbrennung	-1,00	0,50	0,33	-0,06

Bewertung der Entsorgungsoptionen				
	Kosten	Entsorgungssicherheit	ökologische Beurteilung	Summe gewichtet
Gewichtung	60%	20%	20%	
Landwirtschaftliche Verwertung	1,00	-0,50	0,67	0,63
MBA / Deponie	-0,50	0,67	0,33	-0,10
Monoverbrennung	-0,50	1,00	1,00	0,10
Mitverbrennung Zementwerk	-0,50	0,83	0,00	-0,13
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	-0,50	0,83	0,67	0,00
Mitverbrennung Müllverbrennung	-1,00	0,50	0,33	-0,43

Bewertung der Entsorgungsoptionen				
	Kosten	Entsorgungssicherheit	ökologische Beurteilung	Summe gewichtet
Gewichtung	20%	60%	20%	
Landwirtschaftliche Verwertung	1,00	-0,50	0,67	0,03
MBA / Deponie	-0,50	0,67	0,33	0,37
Monoverbrennung	-0,50	1,00	1,00	0,70
Mitverbrennung Zementwerk	-0,50	0,83	0,00	0,40
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	-0,50	0,83	0,67	0,53
Mitverbrennung Müllverbrennung	-1,00	0,50	0,33	0,17

Bewertung der Entsorgungsoptionen				
	Kosten	Entsorgungssicherheit	ökologische Beurteilung	Summe gewichtet
Gewichtung	20%	20%	60%	
Landwirtschaftliche Verwertung	1,00	-0,50	0,67	0,50
MBA / Deponie	-0,50	0,67	0,33	0,23
Monoverbrennung	-0,50	1,00	1,00	0,70
Mitverbrennung Zementwerk	-0,50	0,83	0,00	0,07
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	-0,50	0,83	0,67	0,47
Mitverbrennung Müllverbrennung	-1,00	0,50	0,33	0,10

Bewertung der Entsorgungsoptionen				
	Kosten	Entsorgungssicherheit	ökologische Beurteilung	Summe gewichtet
Gewichtung	40%	40%	20%	
Landwirtschaftliche Verwertung	1,00	-0,50	0,67	0,33
MBA / Deponie	-0,50	0,67	0,33	0,13
Monoverbrennung	-0,50	1,00	1,00	0,40
Mitverbrennung Zementwerk	-0,50	0,83	0,00	0,13
Mitverbrennung Kohlekraftwerk	-0,50	0,83	0,67	0,27
Mitverbrennung Müllverbrennung	-1,00	0,50	0,33	-0,13

Tabelle 5.4: Zusammenfassende Bewertung der Entsorgungsoptionen

Bei gleicher Gewichtung aller 3 Kriterien liegt die Monoverbrennung vor der landwirtschaftlichen Verwertung gefolgt von der Mitverbrennung im Kohlekraftwerk. Je nach Gewichtung liegen die Landwirtschaftliche Verwertung oder die Monoverbrennung an erster Stelle.

Auch wenn diese sehr grobe Beurteilung kein differenziertes Bild liefern kann, so spiegeln sich in ihr die grundsätzlichen Erkenntnisse dieser Studie wider. Eine Monoverbrennung erhält insgesamt die höchste Bewertung. Sie erhält sowohl hinsichtlich der Entsorgungssicherheit als auch der ökologischen Beurteilung die beste Bewertung. Vor allem die mangelhafte Entsorgungssicherheit lässt die landwirtschaftliche Verwertung hinter die Monoverbrennung fallen. Die Mitverbrennungsverfahren Zementindustrie und Müllverbrennung erhalten die schlechtesten Gesamtbeurteilungen.

5.6 Entsorgungsszenario

In Kapitel 5.1 wurde bereits die mögliche Entwicklung der thermischen Entsorgungskapazitäten in Schleswig-Holstein dargestellt. In Tabelle 5.5 sind die Werte noch einmal zusammengefasst.

Ort		Flensburg	Kiel	Kiel	Kiel	Lägerdorf	Hamburg	Lübeck	Kiel	Hetlingen	Summen
Name		KWK	GKK	MVK	MVK	Holcim	VERA	MBA	Bülk	ZVP	[t/a]
Verbrennungs-art		Kohle-kraftwerk	Kohle-kraftwerk	Müll-verbrennung	Monover-brennung	Zementwerk	Monover-brennung	MBA	Monover-brennung	Monover-brennung	
Kapazität TS [t/a]	von	2.500	7.500	2.500	17500	31.500	10.000	6.625	9.000	10.000	97.125
	bis	4.250	14.500	2.500	17500	31.500	25.000	6.625	15.000	10.000	126.875
Kapazität TS 25% [t/a]	von	10.000	30.000	10.000	70000		40.000	26.500	36.000	40.000	262.500
	bis	17.000	58.000	10.000	70000		100.000	26.500	60.000	40.000	381.500
Kapazität TS >90% [t/a]	von					35.000					35.000
	bis					35.000					35.000

Tabelle 5.5: Übersicht der Klärschlamm-Mitverbrennungskapazitäten der thermischen Anlagen unter Berücksichtigung der verschiedenen TS-Gehalte

In dieser Tabelle ist zu berücksichtigen, dass in Schleswig-Holstein derzeit nur eine geringe Menge an getrockneten Schlämmen zu Verfügung steht, so dass die Kapazität der Zementindustrie nicht ausgelastet werden kann. Damit stünde insgesamt eine realisierbare Kapazität von 65.000 bis 95.000 t TS/a zur Verfügung. Das bedeutet, dass die derzeit in Planung bzw. in Genehmigung befindlichen Kapazitäten für die thermische Klärschlammentsorgung recht gut dem tatsächlichen Anfall von 80.000 t TS/a entsprechen.

Bei einer weitgehenden Einschränkung der landwirtschaftlichen Entsorgung lässt sich also folgendes Szenario aufbauen:

Zunächst könnten die unmittelbar verfügbaren Verbrennungskapazitäten genutzt werden, also die VERA in Hamburg mit maximal 25.000 t TS/a und die Müllverbrennung in Kiel mit maximal 2.500 t/a. Das Zementwerk Lägerdorf könnte die

gesamte Menge an getrocknet zur Verfügung stehendem Schlamm von 5.000 t TS/a verbrennen. Weiterhin würden 8.000 t TS/a über die Behandlung in der MBA Lübeck deponiert werden. Damit wären bereits 50% des Gesamtschlammanfalls entsorgt. In den Kraftwerken Kiel und Flensburg würden nach einer Zeitspanne von einem Jahr für den Bau der Annahmestationen weitere maximal 18.750 t/a zur Verfügung stehen. Durch den Bau der Klärschlammmonoverbrennungsanlagen in Kiel (2x) und Hetlingen würden weitere Kapazitäten von maximal 37.500 t TS/a entstehen.

Im Sinne eines Phosphorrecyclings wünschenswert wäre es, wenn ein möglichst großer Anteil der Schlämme über Monoverbrennungsanlagen entsorgt würde, da aus der Asche eine Rückgewinnung möglich erscheint. Weiterhin wäre es ökologisch wünschenswert, wenn alle stärker mit flüchtigen Schwermetallen belasteten Schlämme über Monoverbrennungsanlagen bzw. Müllverbrennungsanlagen entsorgt würden, da hier die Schwermetalle aus dem Abgas abgeschieden werden können.

6 Organisationsformen der Klärschlamm Entsorgung

Die Abwasserwirtschaft generell ist eine organisch gewachsene Thematik allein aus der Daseinsvorsorge des Menschen in, für und mit seiner Umwelt begründet.

Abwassersammlung und Abwasserbehandlung sind vom Ursprung eine hoheitliche Aufgabe und liegen in der Verantwortung der Kommunen (Städte und Gemeinden). Demzufolge sind alle rechtlichen Rahmenbedingungen hierauf abgestellt. Mit der Erzeugung des Klärschlammes wechselt der rechtliche Rahmen in den Bereich des Abfallrechts mit den beiden Optionen: entweder Abfall zur Beseitigung oder Abfall zur Verwertung.

Die Kommunen sind und bleiben somit verantwortlich für das Produkt Klärschlamm bis es auf die verwertende / beseitigende Einheit (Behandlungsanlage) übergeht und diese die entsprechenden Nachweise führt und übergibt.

Alle in Kapitel 3 benannten Entsorgungsoptionen (Anlagen) haben den Verwertungsstatus, so dass der Klärschlamm keiner Andienungspflicht unterliegt und somit alle Verwertungsoptionen (lokal, regional, überregional) als Abnehmer für den Erzeuger von Klärschlamm zur Verfügung stehen.

Die Entsorgungsoptionen mit den entsprechenden Gesellschaftsformen sind begrifflich "Dienstleister zur Verwertung" für ein Produkt – Klärschlamm -, das gebührenfinanziert ist. Damit ist aus Sicht des Vergaberechts die Einordnung in den Begriff Dienstleistungen gegeben mit der Konsequenz, diese Dienstleistung (Verwertung einschließlich oder ausschließlich der Logistikkdienstleistung), öffentlich auszuschreiben.

Dieses zur Einordnung generell vorangestellt sind die Entsorgungsoptionen marktwirtschaftlich orientiert und in der Regel innerhalb von Gruppen oder Konzernen der Energiewirtschaft / Entsorgungswirtschaft / Baustoffindustrie – teilweise mit kommunalen Gesellschaftern, national und international tätig, angesiedelt. Die Teilnehmer dieses Marktes haben sich dem Thema Klärschlammbehandlung strategisch angenommen und agieren entweder anlagespezifisch oder mit zwischengeschalteten eigenen oder Dritten Organisationen (Vertragspartnern) in diesem Markt.

6.1 Bestehende Organisationsstruktur / Organisationsentwicklungen

Wie in dem Kapitel 2 dargestellt sind die Abwasserbehandlungsanlagen von ihren Behandlungsgrößen sehr unterschiedlich. Wenige Großanlagen stehen neben vielen Klein- und Kleinstanlagen mit unterschiedlichster technischer Ausrüstung, aber alle dem Stand der Technik entsprechend.

Im Zuge der historischen Entwicklung dieser Anlagen und der unterschiedlichen dazugehörigen Kanalnetze ist eine Zusammenführung von Anlagen und/oder von Aufgaben erfolgt und für die Zukunft durchaus nicht abgeschlossen. Aus dieser u. a. wirtschaftlich begründeten Systematik heraus haben sich Strukturen gebildet, die sich heute in den Begrifflichkeiten Wasserverbände, Abwasserverbände, Zweckverbände, Verbandsgemeinde widerspiegelt.

Diese Strukturen haben sich etabliert und bilden, bezogen auf das Land Schleswig - Holstein, Einheiten, die kommunale Aufgaben dienstleistend oder in Form der Aufgabenübertragung bewältigen.

Für den Bereich Klärschlamm besteht diese organisierte dienstleistende oder übertragende Tätigkeit in ihrer räumlichen Ausprägung unterschiedlich. Bereits heute werden für die entsprechenden Abwasserbehandlungsanlagen Dienstleistungen der Schlammfassung und Entwässerung, deren Logistik (Transport und Zwischenlagerung) und der landwirtschaftlichen oder thermischen Verwertung organisiert.

Die Rückfragen, Gespräche und Beobachtungen der Verfasser haben ergeben, dass diese Aufgaben übergreifend effizient, transparent und zielführend im Sinne stabiler Gebühren für den betroffenen Bürger bereits zum jetzigen Zeitpunkt durchgeführt werden.

Über in Verbänden z.B. Abwasserzweckverbänden organisierte Gemeinden bzw. deren Anlagen liegen einige Informationen vor. Danach sind in Schleswig-Holstein von über 1100 Gemeinden z.Zt. nur rund 338 in 18 Zweckverbänden organisiert.

Diese Zweckverbände übernehmen Aufgaben der:

Wasserversorgung

Regenwasserableitung -behandlung

Schmutzwasserableitung -behandlung

Fäkalschlammhandlung

teilweise oder vollständig.

Überwiegend übertragen die Gemeinden den Verbänden Teilaufgaben (siehe Tabelle 5.1). Alle 4 Aufgaben werden von 2 Verbänden übernommen. Die Thematik Fäkalschlammbehandlung wird von 13 übernommen.

Die Strukturen und Aufgaben der Verbände zeigen, dass sich in ihnen viele kleinste oder kleinere Anlagen – wie es z. B. in den Kreisen Dithmarschen, Ostholstein oder Segeberg der Fall ist, zusammenfinden mit dem Ziel, eine gleichartige Aufgabe wirtschaftlich zu organisieren. Damit entspricht diese Entwicklung konsequent der in Kapitel 4 getroffenen Aussage der wesentlich aufwändigeren Organi-

sationstiefe für die entsprechenden Anlagen mit ihren differenzierten technischen Ausstattungen und räumlichen Standortbegebenheiten. Den in diesem Sinne organisatorischen Bereichen steht eine erhebliche Anzahl von Abwasserbehandlungsanlagen gegenüber, die sich entweder allein organisieren oder teilweise die organisatorischen Leistungen anderer Verbände dienstleistend mit in Anspruch nehmen.

Nr.	AZV	Anzahl Ge- meinden	Wasser- versorgung	Regenwas- serableitung/ - behandlung	Schmutzwas- serableitung/ - behandlung	Fäkal- schlamm- behandlung
1	Abwasserverband Dithmar- schen	114				X
2	Abwasserverband Elb- marsch	2			X	X
3	Abwasserzweckverband Pinneberg	37		(X)	X	X
4	Abwasserzweckverband Wirtschaftsraum Rendsburg	10			X	X
5	Abwasserzweckverband Ostufer Kieler Förde	7		X	X	
6	Zweckverband der Kläran- lage Köthel	2		X	X	
7	Abwasserverband der Ge- meinden Gülzow und Kol- low	2		X	X	
8	Wege-Zweckverband der Gemeinden des Kreises Segeberg	84				X
9	Zweckverband Mittelzent- rum Bad Segeberg - Wahl- stedt	8		X	X	X
10	Zweckverband Südstor- marn	4		X	X	
11	Zweckverband Ostholstein	27	X		X	X
12	Zweckverband Karkbrook	10	X	X	X	X
13	Abwasserverband der Lau- enburger Bille- und Geest- randgemeinden	6			X	X
14	Abwasserzweckverband Bordesholmer Land	5			X	X
15	Wasserverband Nord	4	X	X	X	X
16	Abwasserzweckverband Sylt	4			X	
17	Abwasserverband Sandes- neben	10				X
18	Abwasserverband Siek	6			X	X

(X) teilweise

In einem erheblicher Teil der Gemeinden liegt danach die Organisation der Klärschlammensorgung bei der Gemeinde selbst oder in anderen Organisationsformen.

6.2 Konzeption der zukünftigen Organisationsstrukturen

Aufbauend auf den unter Kapitel 6.1 beschriebenen vorhandenen Strukturen und deren gesammeltem Know-how (technisch/wirtschaftlich/organisatorisch) in der Bewirtschaftung des Klärschlammes in seiner gesamten logistischen Tiefe sollte nach Einschätzung der Verfasser dort eine regionale oder überregionale Organisation zu der Thematik Klärschlamm Entsorgung angestrebt werden, wo dieser vorgenannte Organisationsstand zur Zeit noch nicht erreicht worden ist.

Einführend wurde auf die Struktur der Entsorgungsoption mit den verwertenden Anlagen eingegangen. Im Sinne rein marktstrategischer Überlegungen sollte der Struktur der Entsorgungsoptionen mit industrieller Prägung ein Partner an der Seite stehen, der diesen Anforderungen organisatorisch, qualitativ und quantitativ gleich kommt.

Dies kann aus Sicht der Verfasser durch eine Zusammenführung von Mengen (im Sinne von verantwortlicher Qualität mit entsprechender logistischer Verantwortung der Produktbereitstellung) erfolgen. Aufbauend auf den begrenzt vorliegenden Verbandsstrukturen ist diese zielgerecht zu entwickeln.

Weil wegen der noch in der Abwägung befindlichen inhaltlichen und rechtlichen Bedingungen der zukünftigen Klärschlamm Entsorgung der Zeitpunkt des Inkrafttretens schwer abschätzbar ist, ist jetzt der Zeitpunkt, diese Strukturen auf der Basis von verbindlichen Vereinbarungen über unkompliziert und kurzfristig zu installierende Gesellschaftsformen mit eindeutigem Gesellschaftszweck aufzubauen.

Hierbei werden folgende positive Auswirkungen erwartet:

1. Organisation einer effizienten Verwaltungsstruktur zur Umsetzung der notwendigen Aufgaben mit sinnvoll integrierten, bereits vorhandenen Personalkapazitäten.
2. Ausschreibung von größeren Entsorgungsmengen, im Hinblick auf einen offenen Wettbewerb innerhalb der europäischen Gemeinschaft mit dem Ziel, wettbewerbsfähige Entsorgungskosten zu erzielen und evtl. neue Kapazitäten zu erschließen.
3. Reduzierung von Kosten durch Systematisierung und Organisation von Dienstleistungen im Bereich der Logistik zur Nassschlamm Entnahme, Schlammwässerung und zum Schlammtransport einschließlich der Bereitstellung von Ressourcen der Zwischenlagerung, Bereitstellungslagerung oder Langzeitlagerung nach einer thermischen Behandlung. Nutzung von Spareffekten bei der Ausschreibung von Dienstleistungskontingenten über vorgenanntes hinaus in den Bereichen der Analytik zur chemischen und phy-

sikalischen Beschaffenheit des Klärschlammes sowie durch Bündelung der Anfragemengen.

4. Kompetenzsteigerung durch effiziente und gesicherte
 - Datenerfassung (Menge, Qualität, Ort, Zeit),
 - Kenntnis der Logistik und Entsorgungs- bzw. Verwertungsoption,
 - Kenntnis der Entwicklung zu Technologien der Klärschlammreduzierung und der Klärschlamm Entsorgung.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

Kleine Kläranlagen mit einem Anschlusswert bis 10.000 EW machen mit über 90% den größten Anteil der 803 Kläranlagen Schleswig-Holsteins aus. Ihr Anteil am gesamten Klärschlammfall beträgt aber nur knapp 20%. Die anderen 80% fallen je zur Hälfte in den insgesamt 71 Anlagen bis bzw. über 100.000 EW an.

Eine mögliche Umstellung der Entsorgungsstruktur von der landwirtschaftlichen Verwertung in der Fläche auf thermische Verfahren an wenigen Standorten bedeutet daher, dass für eine große Anzahl kleinerer Kläranlagen eine völlig neue, auf einzelne Entsorgungszentralen ausgerichtete Logistik aufgebaut werden muss. In diesem Zusammenhang müssen gegebenenfalls technische Änderungen bei der Schlammentwässerung und Schlammzwischenlagerung vorgenommen werden. Es erscheint in diesem Zusammenhang sinnvoll, dass sich die Organisationsstrukturen in Richtung zu regionalen und überregionalen Zusammenschlüssen mit effizienten Gestaltungsstrukturen hinsichtlich Gesellschaftsform und Ausrichtung verändern. Das Know-how zur Bewältigung dieser Strukturreform ist vorhanden, muss aber gemäß den zukünftigen Anforderungen gebündelt werden.

Die Zusammenstellung der vorhandenen und in Entwicklung befindlichen Verfahren zur Schlamm Entsorgung zeigt, dass eine Reihe erprobter Verfahren zur thermischen Klärschlammbehandlung existiert. Daneben gibt es einige interessante Neuentwicklungen, bei denen aber noch die Ergebnisse des Betriebs von Demonstrationsanlagen abgewartet werden müssen, bevor sie eine größere Bedeutung für die Klärschlamm Entsorgung in Schleswig-Holstein haben können.

Die Bewertung der Entsorgungsoptionen hinsichtlich Entsorgungssicherheit, Ökologie und Kosten zeigt, dass durch den Übergang von der landwirtschaftlichen zur thermischen Schlamm Entsorgung nicht mit einer Verschlechterung der Entsorgungssituation zu rechnen ist. Binnen weniger Jahre können thermische Behandlungskapazitäten in ausreichender Menge und Redundanz erstellt werden. Selbst knapp bemessene Übergangsfristen würden voraussichtlich nicht zu Problemen führen. Ökologisch betrachtet haben sowohl die landwirtschaftlichen wie die thermischen Entsorgungswege spezifische Vor- und Nachteile. Der Übergang auf die thermische Verwertung bringt daher gesamtökologisch keine Verschlechterung mit sich. Langfristig muss allerdings das Recycling der limitierten Ressource Phosphor sichergestellt werden. Die Kosten für die thermische Entsorgung liegen nach aktuellen Marktpreisen über denen der landwirtschaftlichen Verwertung. Gerade für kleine Kläranlagen mit bislang lokaler Schlammverwertung kann es dadurch zu deutlichen Kostensteigerungen kommen. Für den größten Teil des Schlammfalls werden sich die Mehrkosten allerdings im Rahmen halten und angesichts des Anteils der Entsorgungskosten an den Gesamtkosten der Schlammbehandlung bzw. der Abwasserreinigung ist in vielen Fällen nicht mit einem merklichen Einfluss auf die Abwassergebühren zu rechnen.

Gesetzgeberische Vorgaben, die Akzeptanz der Bevölkerung sowie die Entwicklung in Deutschland und in Europa werden die Entwicklung thermischer Behandlungsoptionen in Schleswig-Holstein mitbestimmen. Es zeichnet sich sowohl für Schleswig-Holstein wie für Deutschland insgesamt ab, dass ausreichende thermische Behandlungskapazitäten in einem Zeitraum von maximal 5 Jahren aufgebaut werden können. Dieser Prozess gehorcht den Regeln von Angebot und Nachfrage. Somit wird sich der Aufbau dieser Kapazitäten den nachgefragten Entsorgungsmengen anpassen.

8 Literatur

- ATV - DVWK, 2000 ATV - DVWK - Arbeitsblatt A131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen.
Abwassertechnische Vereinigung (Hg.), Hennef, Mai 2000
- ATV, 2003 Marktdaten Abwasser 2002, KA Abwasser Abfall (59) 4, 491-495
- Bergs, 2003 Vortrag auf den ATV-DVWK Klärschlammtagen, Würzburg, 2003
- Buck, 2003 Welchen Beitrag können die Kohlekraftwerke bei der thermischen Klärschlammverwertung leisten?, ATV-DVWK Klärschlammtage, Würzburg, Mai 2003
- Hanßen, 2003 Notwendige Verbrennungskapazitäten für Klärschlamm tatsächlich vorhanden?, ATV-DVWK Klärschlammtage, Würzburg, Mai 2003
- Hanßen, 2004 Stand und Perspektiven der (Mit-) Verbrennung von Klärschlamm, Vortrag auf der ATV-DVWK Infoveranstaltung „Klärschlamm - aktuelle Entwicklungen“ Bremen, September 2004
- Holderbank, 1988 Schweizer Nationales Forschungsprogramm Nr. 7 - Teil D; Gesamtstudie: "Nicht - landwirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten von Klärschlamm unter besonderer Berücksichtigung der Verbrennung im Zementofen"; Teilstudie 1: Schlammbehandlungsverfahren. 1988

- IFEU, 2002 Ökobilanzielle Betrachtung von Entsorgungsoptionen für Klärschlamm im Land Schleswig - Holstein
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, April 2002
- Obrist und Lang, 1987 Verbrennung von Klärschlamm in Zementöfen. Gas - Wasser - Abwasser 67, Nr. 3, 1987, S. 174 - 180
- Poletschny, 1991 Akzeptanz von Klärschlamm in der Landwirtschaft. Abwassertechnik, Heft 1, 1991, S. 8 -11
- Reimann, 1990 Reststoffe aus thermischen Abfallverwertungsanlagen. In: Beihefte zu Müll und Abfall, Heft 29, 1990, S. 12 - 16
- UBA, 1998 Umweltbundesamt: Daten zur Anlagentechnik und zu den Standorten der thermischen Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland; UBA - Texte 72/98, Berlin 1998
- UBA, 2001 Umweltbundesamt: Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. Texte 59/01, Berlin, 2001, ISSN 0722-186X
- Werther, 2003 Welche Techniken stehen uns heute für die thermische Behandlung/Verwertung von Klärschlämmen zur Verfügung, ATV-DVWK Klärschlammstage, Würzburg, Mai 2003

- Werther und Han- Folgen des novellierten BImSch-
ßen, 2004 Rechtes für die Klärschlammverbren-
nung und -mitverbrennung, 37. Esse-
ner Tagung, März 2004, Essen
- Wiebusch, 1999 Stoffliche Verwertung von Wirbel-
schichtaschen aus der Klärschlamm-
verbrennung in der grobkeramischen
Industrie
Veröffentlichung des Institutes für
Siedlungswasserwirtschaft und Abfall-
technik der Universität Hannover,
1999

9 Abkürzungsverzeichnis

AT4	Atmungsaktivität nach 4 Tagen in mg/g zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit
Bh	Betriebsstunden
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
E	Summe der an Kläranlagen angeschlossen Einwohner
EG	Einwohnergleichwerte
EW	Einwohnerwerte
GB21	Gasbildungsrate nach 21 Tagen in l/kg zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit
Ho	Oberer Heizwert in kJ/kg
K.E.R.N.	Regionalverbund als Technologiezentrum der Städte: Kiel, Eckernförde, Rendsburg, Neumünster und Plön
LANU	Landesamt für Umwelt und Natur des Landes Schleswig Holstein
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
Mg	Megagramm
MUNL	Ministerium für Umwelt, Natur und Landwirtschaft

TASi	Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) vom 14.05.1993
TOC	total organic carbon = Gehalt des gesamten organisch gebundener Kohlenstoff in der untersuchten Substanz
TR	Trockenrückstand in % = Anteil der Trockenmasse an der gesamten Masse
TS	Trockensubstanz in [g] entspricht dem Gewicht der Substanz nach Trocknung bei 105°C