

Die Klärschlammproblematik als wichtiges Entscheidungskriterium für die Lösungssuche von Entsorgungsproblemen

M. Zeßner, O. Nowak

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien

1 Einleitung

Im wesentlichen gibt es derzeit zwei gangbare Wege der Entsorgung von Klärschlamm:

- einerseits die Verwertung der Wertstoffe des Klärschlammes durch Einsatz in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau,
- andererseits die konzentrierte Ablagerung und Festlegung potentieller Schadstoffe auf Deponien.

Aufgrund der unterschiedlichen Strategien zur Klärschlamm Entsorgung ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Klärschlammbehandlung.

Während im Falle einer Deponierung eine möglichst weitgehende Aufkonzentrierung und Inertisierung der abzulagernden Stoffe das Ziel einer Behandlung ist, ist für eine Verwertung eine möglichst weitgehende Rückführung der Wertstoffe anzustreben. Eine Behandlung, die oft zu einem Verlust an Wertstoffen führt, ist daher nur soweit sinnvoll, als sie aufgrund der Anforderungen, die sich durch Lagerung, Transport und Aufbringung ergeben, notwendig ist. Es ist daher schon für die Wahl des Schlammbehandlungsverfahrens und damit auch für die Wahl des Reinigungskonzeptes entscheidend, welche Entsorgungsstrategie angestrebt wird.

Um den einen oder anderen Weg der Klärschlammverwertung oder -entsorgung beschreiten zu können, müssen eine Reihe von Voraussetzungen gegeben sein.

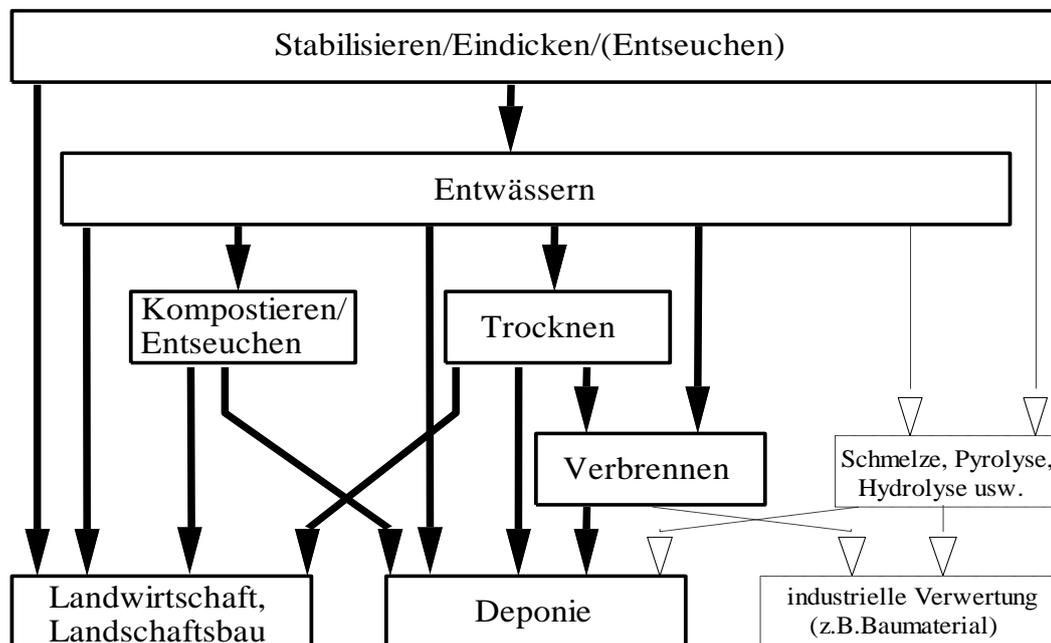


Abbildung 1: Mögliche Wege der Klärschlammverwertung und -entsorgung

Für eine landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm ergeben sich folgende Vorbedingungen:

- Entsprechende Klärschlammqualität (Nährstoffe und potentielle Schadstoffe ### Bodenschutzgesetz, Klärschlammverordnung),
- Ausreichend zur Verfügung stehende Flächen, die für die Klärschlammaufbringung geeignet sind (Bodenschutzgesetz, Klärschlammverordnung, ÖPUL-Förderung),
- Nährstoffbedarf auf diesen Flächen (Konkurrenz zum Wirtschaftsdünger),
- Entsprechende Ausrüstung der Kläranlage zur Klärschlammbehandlung und Speicherung, je nach Verwertungsart (naß, entwässert, kompostiert),
- Dokumentation über Klärschlammgaben und deren Auswirkungen auf die Böden,
- Zusammenarbeit Kläranlagenbetreiber - Landwirtschaft.
- Politischer Wille und Akzeptanz in Landwirtschaft und Bevölkerung, um die oben genannten Maßnahmen und somit die Verwertung zu ermöglichen.

Für eine Deponierung müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein:

- Ausreichend Deponievolumen auf einer gesicherten Deponie,
- Entsprechende Vorbehandlung des Schlammes (Standfestigkeit der Deponie, bzw. Deponieverordnung),
- Akzeptanz für Deponiestandorte und Behandlungsanlagen.

Die Wahl des Abwasserreinigungskonzeptes kann die Erfüllung einiger dieser Voraussetzung erleichtern oder erschweren. Die Frage nach zentraler oder dezentraler Abwasserreinigung ist die grundsätzlichsste Vorentscheidung bei der Wahl des Abwasserreinigungskonzeptes und kann bereits wesentlich die Voraussetzungen einer zukünftigen Klärschlamm Entsorgung beeinflussen. Andererseits kann natürlich auch die Vorgabe eines bestimmten Verwertungs- und Entsorgungsweges die Wahl des Abwasserentsorgungskonzeptes beeinflussen.

So liegt vom Grundgedanken her ein dezentrales Abwasserreinigungskonzept dem Prinzip der Verteilung näher und ein zentrales Abwasserreinigungskonzept dem Prinzip der Aufkonzentrierung. Inwieweit die Wahl eines dezentralen oder zentralen Abwasserreinigungskonzeptes im einzelnen die Voraussetzungen für die unterschiedlichen Klärschlamm Entsorgungsmöglichkeiten beeinflusst, soll in den folgenden Kapiteln diskutiert werden. Dabei ist vorweg zu sagen, daß "dezentral" oder "zentral" keine eindeutig abgrenzbaren Begriffe sind. Es soll hier auch nicht definiert werden, was bereits eine "große, zentrale" und was noch eine "kleine, dezentrale" Kläranlage ist. Wenn hier die Begriffe "dezentrale" und "zentrale" Abwasserreinigungskonzepte im Zusammenhang mit der Klärschlamm Entsorgung diskutiert werden, dann wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Voraussetzungen für die eine oder andere Form der Klärschlamm Entsorgung durch die gemeinsame oder getrennte Reinigung von Weilern, Ortschaften, Gemeinden eher verbessert oder eher verschlechtert werden, ohne eine genaue Abgrenzung vornehmen zu wollen, was zentral und was dezentral ist.

2 Voraussetzungen für eine Verwertung

2.1 Klärschlammqualität (Potentielle Schadstoffe und Nährstoffe)

Für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ist eine entsprechende Klärschlammqualität Voraussetzung. Diese wird in bezug auf den Gehalt an potentiellen Schadstoffen durch die entsprechenden Bodenschutzgesetze und Klärschlammverordnungen definiert. Hier ist auch in Zukunft ein ständiger Wandel sowohl bei den Zielsetzungen als auch bei den Vorstellungen darüber, was "erreichbar" ist, zu erwarten. Während bei der bisherigen Klärschlammgesetzgebung die Vermeidung der Beeinträchtigung von landwirtschaftlichen Produkten sowie einer Gefährdung des Grundwassers im Vordergrund stand, kommt es z.B. durch die neue Niederösterreichische Klärschlammverordnung zu einer weiteren Stärkung des Vorsorgeprinzipes. Dabei soll durch schrittweise Senkung der Grenzwerte für Schwermetalle längerfristig erreicht werden, daß eine Veränderung der lokalen Bodengehalte durch Klärschlamm auch bei regelmäßiger Nutzung der selben Fläche ausgeschlossen werden kann. Grundsätzlich ist jedoch zu beachten, daß sich eine Senkung von Grenzwerten an deren Erreichbarkeit zu orientieren hat, will man die Möglichkeit der landwirtschaftlichen Verwertung bestehen lassen. Auch wenn derzeit bereits von einem großen Teil der Klärschlämme die gültigen Grenzwerte eingehalten werden, ist dessenungeachtet jederzeit für eine bestmögliche Reduktion des Eintrages von potentiellen Schadstoffen in die Umwelt (Abwasser und Klärschlamm) zu sorgen.

Von den potentiellen Schadstoffen kommt vor allem den Schwermetallen Bedeutung zu. Die im Klärschlamm enthaltene Fracht an Schwermetallen wird durch die in den Kanal abgegebene Fracht und den Abscheidegrad der Kläranlage bestimmt. Die Konzentration im Schlamm ist zudem noch von der anfallenden Schlammmenge abhängig. Der Schlammanfall kann erheblich schwanken und wird außer durch die in den Kanal eingetragenen Stoffe, vor allem durch die Art der Schlammbehandlung bedingt. Die Konzentration von Schadstoffen im Klärschlamm stellt daher nur bedingt ein Maß für das umweltgerechte Verhalten der im Einzugsgebiet ansässigen Bevölkerung und der angesiedelten Betriebe dar.

Quellen für potentielle Schadstoffe können neben Industrie und Gewerbe, Haushalte und Oberflächenabschwemmungen, aber unter Umständen auch auf der Kläranlage eingesetzte Fällmittel sein. Es wurde mehrfach dargestellt, daß in den letzten Jahren durch Vermeidungsmaßnahmen nach konsequenter Überwachung bereits in vielen Fällen eine deutliche Reduktion der Schwermetallgehalte im Klärschlamm erreicht wurde (Mayr, 1988; Candinas, 1991; Ilic, 1993; Merkel *et al.*, 1993). Diese Erfolge konnten durch Indirekteinleiterkontrolle vor allem dort erzielt werden, wo punktförmige Einleitungen aus der Industrie für hohe Belastungen verantwortlich waren, oder wo ein allgemeiner Rückgang des Einsatzes der Schwermetalle in Produkten zu verzeichnen war (z.B. Nickel, Chrom, Cadmium). Hier dürfte in Einzelfällen auch in Zukunft noch ein Vermeidungspotential bestehen. Auch die Einführung von bleifreiem Benzin führte zu einer signifikanten Verminderung der Bleifracht im Klärschlamm (Brunner, Gajcy, 1989). Wesentlich schwieriger dürfte sich eine Vermeidung des Eintrags von Schwermetallen aus den diffusen Quellen "Haushalt" und "Oberflächenabschwemmung" realisieren lassen - vor allem bei Kupfer und Zink, die zu einem großen Teil von metallischen Oberflächen stammen.

	"erreichbarer" Schwermetallgehalt	
	spez. Fracht (20%-Wert)	Konzentration (bei 13 - 32 kg TS/EGW/a)
	g/EGW/a	mg/kg TS
Zn	14,1	450 - 1100
Cu	2,5	80 - 190
Cr	0,56	18 - 45
Pb	0,93	30 - 70
Ni	0,33	10 - 25
Cd	0,016	0,5 - 1,2
Hg	0,011	0,3 - 0,8

Tabelle 1: "Erreichbarer" Schwermetallgehalt (20%-Wert) im Klärschlamm

In Tabelle 1 sind die 20-%-Werte für die spezifischen Schwermetallfrachten im Klärschlamm zusammengestellt, die sich bei einer Auswertung von Daten aus Klärschlammzeugnissen von einer Reihe von niederösterreichischen und burgenländischen Kläranlagen mit unterschiedlicher Anschlußgröße ergeben haben (Nowak, 1995). Die angegebenen 20-%-Werte wurden als "erreichbare" Werte angesehen. Die Darstellung als spezifische Fracht (in g je EGW und Jahr) wurde gewählt, um zu Werten zu gelangen, die nicht - wie die "Schwermetallkonzentrationen" (in mg/kg TS) - stark von der anorganischen Trockensubstanz beeinflusst sind. Der spezifische Schlammanfall (in kg TS/EGW/a) wird geprägt durch den Stabilisierungsgrad und durch die Fracht an anorganischer Trockensubstanz (bei der Schlammbehandlung zugegebene Chemikalien, mineralische Abschwemmungen aus dem Einzugsgebiet) und schwankt folglich in einem weiten Bereich (etwa zwischen 13 und 32 kg TS/EGW/a). Die sich daraus ergebenden "erreichbaren" Schwermetallkonzentrationen sind ebenfalls in Tabelle 1 angeführt.

Für die Metalle Zink und Kupfer, aber auch Cadmium kann davon ausgegangen werden, daß bei Erreichen der in Tabelle 1 angeführten Frachten bereits etwa 25 bis 30 % aus dem menschlichen Metabolismus stammen (Nowak *et al.*, 1996). Eine Verringerung der Frachten über die oben angeführten Werte hinaus scheint unter den Rahmenbedingungen der derzeitigen Wirtschaftsweise kaum möglich. Dies wird auch durch eine von Stark *et al.*, 1995 durchgeführte Stoffflußanalyse bestätigt, welche den nicht vermeidbaren Schwermetalleintrag in den Klärschlamm (unter der Annahme von 80 % Rückhalt) mit

- 8 g/E/a für Zink
- 2 g/E/a für Kupfer und
- 0,4 g/E/a für Blei errechnet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden,

- daß eine Reduktion des Eintrages von Schwermetallen in Abwasser und Klärschlamm vor allem im industriellen Bereich bereits mit einigem Erfolg durchgeführt wurde,
- daß in einigen Bereichen noch Handlungsbedarf besteht, die Möglichkeiten jedoch beschränkt sind, da die Belastungen vielfach bereits auf das Maß der diffusen Belastung reduziert sind.

Für die Wahl eines dezentralen oder zentralen Abwasserreinigungskonzeptes sind hinsichtlich des Schwermetalleintrages in den Klärschlamm vor allem zwei Fragen von Bedeutung:

- Ist bei einer Reinigung des Abwassers in kleineren Kläranlagen mit geringeren Schadstoffgehalten zu rechnen als bei einer Reinigung in größeren Kläranlagen?
- Kann durch die Wahl des Reinigungskonzeptes der Eintrag von potentiellen Schadstoffen in die Kläranlage beeinflusst werden?

In der Folge wurden daher die oben erwähnten statistischen Auswertungen von Klärschlammzeugnissen verschiedener Kläranlagen in Hinblick auf einen Zusammenhang zwischen Kläranlagengröße und spezifischen Schwermetallfrachten durchgeführt. Beispielhaft sind die Auswertungen für Kupfer und Cadmium dargestellt. Die genaue Einleiterstruktur konnte bei diesen Auswertungen nicht berücksichtigt werden. Doch ist davon auszugehen, daß bei den größeren Anlagen (> 20000 EGW) jeweils auch Städte mit einem bedeutenderem Anteil von industriellem und gewerblichem Abwasser entsorgt werden, während bei den kleineren Anlagen (1000 bis 5000 EGW) mit häuslichen Abwässern und maximal mit Einzeleinflüssen von Industrie und Gewerbe zu rechnen ist. Es zeigt sich, daß die in kleinere Kläranlagen eingetragenen auf die Einwohnerwerte bezogenen Frachten nicht grundsätzlich geringer sind als bei größeren Anlagen. Vielmehr scheint es so zu sein, daß bei kleineren Anlagen die Schwankungsbreite der spezifischen Frachten größer sind, während die größeren Anlagen bis auf wenige Ausnahmen einem mittleren Wert zustreben. So sind bei kleinen Anlagen zwar die niedrigsten, aber durchaus auch höhere Werte zu beobachten. Dies läßt sich dadurch erklären, daß bei kleineren Anlagen einzelne Einleiter wesentlich stärker zum Tragen kommen als bei größeren Anlagen, wo eine Mischung von verschiedensten Einflüssen vorhanden ist. Einzelne Ausreißer sind jedoch auch bei den größeren Anlagen zu beobachten (siehe Abb. 3).

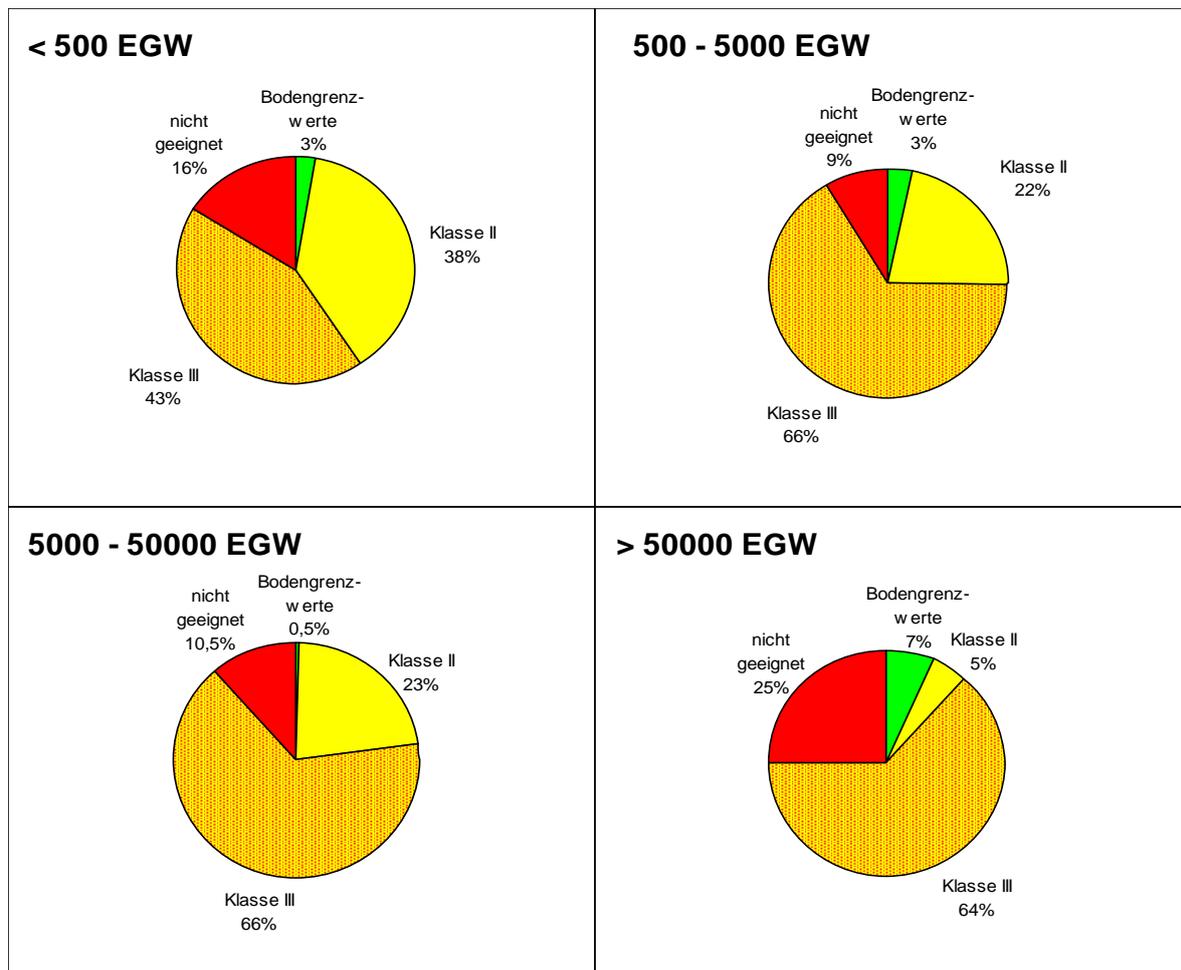


Abbildung 4: Klärschlammklassen und Kläranlagengröße (Steinmüller, Lutz, 1995)

Eine weitere Auswertung, die den Zusammenhang zwischen Kläranlagengröße und Klärschlammqualität dokumentieren soll, ist dem Klärschlammkonzept für Niederösterreich entnommen (Steinmüller, Lutz, 1995). Hier wurden alle Klärschlämme Niederösterreichs inklusive jener von Industrieanlagen untersucht, in Klassen entsprechend der Niederösterreichischen Klärschlammverordnung eingeteilt und die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Größe der Anlage dargestellt. Dabei ist allerdings zu bedenken, daß bei kleineren Anlagen der Stabilisierungsgrad des Schlammes tendentiell geringer, der Schlammanfall somit höher und folglich die Schwermetallkonzentrationen wiederum geringer sind.

Auffallend ist, daß bei den ganz kleinen Anlagen (< 500 EGW) jener Anteil der Klasse II erreicht, aber auch der Anteil des nicht geeigneten Klärschlammes höher ist als bei den größeren Anlagen. Zwischen den Kategorien 500 - 5000 EGW und 5000 - 50000 EGW ist kein Unterschied zu erkennen. Bei den Anlagen > 50000 EGW ist der Anteil der nicht geeigneten Schlämme aber auch der Anteil jener Schlämme, die die Bodengrenzwerte erreichen, am höchsten. Hier ist jedoch zu beachten, daß durch die geringe Anzahl an Kläranlagen in dieser Kategorie die Prozentangaben nicht unbedingt vergleichbar sind und zudem der Anteil der reinen Industrieanlagen vergleichsweise hoch ist.

Auch diese Auswertung deutet daraufhin, daß bei kleineren Kläranlagen nicht a priori mit einer besseren Klärschlammqualität gerechnet werden kann, da hier die Schwankungsbreite am größten zu sein scheint.

Bleibt als zweite Frage, ob ein zentrales oder ein dezentrales Konzept Vorteile bei der Vermeidung des Eintrages von Schadstoffen in den Klärschlamm bieten kann. Hier wird oft argumentiert, daß in kleinen überschaubaren Einheiten das Verantwortungsbewußtsein des Einzelnen für den Klärschlamm stärker zum Tragen kommt als in größeren Einheiten, wo die Konsequenzen der Handlungen des einzelnen weniger direkt sichtbar werden. Dies ist ein theoretisches Argument, dessen Stichhaltigkeit kaum geprüft werden kann. Tatsache ist jedenfalls, daß sich ein Fehlverhalten der Bevölkerung oder die Einzeleinleitung durch einen Betrieb in kleinen Einheiten wesentlich deutlicher in der Klärschlammqualität niederschlägt, als dies in größeren Einheiten bei der Vermischung verschiedenster Einflüsse der Fall ist. Dadurch ist meist auch die Zuordnung von Einleitungen als Voraussetzung für Gegenmaßnahmen einfacher möglich. Steht jedoch ein Zusammenschluß von mehreren industriell geprägten Kleinstädten zur Diskussion, wird bei einer gemeinsamen Lösung die Verwaltung und Kontrolle von Indirekteinleitern wesentlich effizienter durchgeführt werden können. Dies kann als Vorteil für eine zentrale Lösung angesehen werden.

Abschließend kann gesagt werden, daß der Vorteil eines dezentralen Konzeptes zur Abwasserreinigung darin liegt, daß die Klärschlämme als Teilmengen anfallen. So kann der "gute" vom "schlechten" Klärschlamm getrennt werden und ein schlechter Klärschlamm in kleinen Gemeinden kann auf Belastungen aufmerksam machen, die in größeren Einheiten nicht auffallen würden. Unrichtig

ist allerdings, daß die Belastung des Klärschlammes in kleinen Einheiten grundsätzlich geringer ist, vielmehr sind nur die Schwankungsbreiten größer. Dies bedeutet, daß bei kleinen Anlagen die "besten", aber auch "schlechte" Klärschlämme anfallen, während bei größeren Anlagen eher mittlere Belastungen, in Einzelfällen auch hohe spezifische Belastungen auftreten.

In jedem Fall ist für eine Beurteilung die lokale Situation zu beachten. Dabei sollte, soweit vorhanden, auf die Klärschlammuntersuchungen bestehender Anlagen und auf die Indirekteinleiterstruktur, in Hinblick auf bekannte Schwermetallemissionen, geachtet werden.

Bei einer landwirtschaftlichen Verwertung ist für die Klärschlammqualität auch der Nährstoffgehalt von Bedeutung, da nur ein entsprechender Gehalt an Nährstoffen einen Einsatz in der Landwirtschaft rechtfertigt. Letztlich sollte eine zukunftsorientierte Klärschlammverwertung die Qualität der Klärschlämme über das Verhältnis von Wertstoffen zu potentiellen Schadstoffen definieren.

Von allen im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffen ist Phosphor heute der bedeutendste. Dabei ist anzumerken, daß Phosphor nunmehr

- fast ausschließlich mit den von uns aufgenommenen Nahrungsmitteln in das Abwasser gelangt,
- im Falle einer gezielten Phosphorelimination in hohem Ausmaß im Klärschlamm zurückgehalten wird,
- und somit über die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ein natürlicher Kreislauf geschlossen werden kann.

Zudem ist zu beachten, daß die natürlichen Phosphorlagerstätten nicht unerschöpflich sind und Phosphor nicht, so wie Stickstoff, jederzeit aus der Luft gewonnen werden kann.

Im Falle einer Phosphorfällung, die in Österreich bei Anlagen > 1000 EGW vorgeschrieben ist, trägt Phosphor zu mehr als zur Hälfte zum Düngewert des Klärschlammes bei. Demnach ist Klärschlamm heute vornehmlich als Phosphordünger anzusehen. Dabei führt die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft zu einer Verminderung des Einsatzes von Phosphorhandelsdünger und infolgedessen auch zu einer Verringerung des Imports von Schwermetallen

mit dem Phosphorrohstoff. Ausgehend von diesen Überlegungen sind in Dänemark seit einigen Jahren Grenzwerte für Cadmium, Quecksilber, Nickel sowie Blei in Kraft, die auf den Phosphorgehalt bezogen sind. Dabei hat sich gezeigt, daß etwa der Cadmiumgehalt im Klärschlamm (in mg Cd/kg P) in einer zum Phosphorhandelsdünger vergleichbaren Größenordnung liegt. Dies konnte anhand der oben erwähnten Untersuchungen auch für österreichische Klärschlämme bestätigt werden (Nowak, 1995; Nowak *et al.*, 1996).

Die spezifische Stickstofffracht, die über den Klärschlamm in die Landwirtschaft gebracht werden kann, ist stark von der Art der Schlammbehandlung abhängig. So ist sowohl bei einer simultanen aeroben Stabilisierung als auch bei einer Naßschlammausbringung die Stickstofffracht wesentlich höher als bei einer getrennten Stabilisierung (aerob oder anaerob) bzw. einer Ausbringung von entwässertem Schlamm, vor allem bei Entwässerung mit Kalk. Wie Tabelle 2 zeigt, kann der Phosphorgehalt bei Anlagen mit P-Fällung und weitgehender (getrennter) Stabilisierung den Stickstoffgehalt des Klärschlammes übersteigen.

Schlamm aus	Ges.-P	Ges.-N	P/TS	N/TS
	g/EGW/d	g/EGW/d	%	%
getrennter Stabilisierung, naß	1,2 - 1,4	1,2 - 1,8	2,4 - 3,5	2,4 - 4,5
getrennter Stabilisierung, entwässert	1,2 - 1,4	1,1 - 1,4	2,4 - 3,5	2,2 - 3,5
getrennter Stabilisierung, entwässert mit Kalkzugabe	1,2 - 1,4	0,8 - 1,2	1,8 - 3,0	1,3 - 2,5
gleichzeitiger. aerober Stabilisierung, naß	1,2 - 1,4	1,5 - 3,0	1,7 - 3,0	2,4 - 6
gleichzeitiger. aerober Stabilisierung, entwässert	1,2 - 1,4	1,3 - 2,3	2,0 - 3,2	2,2 - 5
gleichzeitiger. aerober Stabilisierung, entwässert mit Kalkzugabe	1,2 - 1,4	1,0 - 1,8	1,5 - 2,5	1,3 - 3

Tabelle 2: Spezifische Stickstoff- und Phosphorfrachten in Klärschlamm aus Anlagen mit P-Entfernung in Abhängigkeit von der Schlammbehandlung

Bei kleineren Anlagen ist die aerobe simultane Schlammstabilisierung zumeist das Verfahren der Wahl. Hier ist jedoch zu beachten, daß eine höhere Stickstoffrückführung mit einem geringeren Stabilisierungsgrad des Schlammes erkauft wird, wodurch es zu Geruchsproblemen kommen kann. Eine Ausrüstung des Speicherbehälters mit einer Belüftungseinrichtung zur Nachstabilisierung in kritischen Zeiten (z.B. längere Stapelzeiten im Sommer) ist daher zu empfehlen. Bei flexiblem Betrieb kann so auch die Stickstoffrückführung in die Landwirtschaft erhöht werden. Grundsätzlich ist dieses Konzept jedoch auch für größere Anlagen denkbar.

Eine Naßschlammausbringung wird eher bei kleineren Anlagen praktikabel sein als bei größeren Anlagen, da hier die Transportentfernungen geringer gehalten werden können. Dies gilt jedoch nur dann, wenn Flächen für eine Ausbringung in der näheren Umgebung der Kläranlage vorhanden sind. Unter dem Gesichtspunkt der Stickstoffrückführung können dezentrale Konzepte daher, wenn die regionalen Voraussetzungen gegeben sind, gewisse Vorteile bringen, wenn eine Naßschlammausbringung realisiert werden kann.

Hinsichtlich der Phosphorrückführung ist ein Abwasserentsorgungskonzept mit kleinen dezentralen Anlagen (< 1000 EGW) als nachteilig anzusehen, da eine gezielte Phosphorentfernung und somit ein weitgehender Rückhalt des Phosphors im Klärschlamm bei diesen Anlagen gesetzlich nicht vorgeschrieben ist.

2.2 Geeignete Flächen und Nährstoffbedarf

Gesamthaft gesehen sind der Anteil der Flächen, die für eine landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm benötigt werden, und der Beitrag, den der Klärschlamm zur Nährstoffversorgung der Landwirtschaft leisten kann, gering. Aus den derzeit aufgebrauchten Klärschlammengen kann abgeschätzt werden, daß der Beitrag der landwirtschaftlichen Schlammverwertung in Vergleich zum Handelsdünger beim Stickstoff rund 1 % ausmacht, bzw. beim Phosphor rund 3 %, unter der Voraussetzung flächendeckender Phosphorfällung. Nichtsdestotrotz können regional auch im ländlichen Raum geeignete Flächen und Nährstoffbedarf zum limitierenden Faktor für eine Klärschlammverwertung werden. Die Flächen können gebietsweise vor allem dann knapp werden, wenn eine landwirtschaftliche Verwertung an eine Bodeneignung gebunden wird, oder eine Aufbringung auf Grünland nicht gestattet ist. Darüber hinaus können,

zumindest solange dieses Programm läuft, auch die Förderungsbedingungen des ÖPUL-Programmes (österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft) regional zu einer drastischen Reduktion der für eine Klärschlammverwertung zur Verfügung stehenden Fläche führen. Der Nährstoffbedarf wird dann limitierend sein, wenn der Nährstoffbedarf in einer Region mit intensiver Viehzucht bereits durch den Wirtschaftsdünger gedeckt wird.

Eine Nutzung möglichst vieler Flächen für eine Verwertung von Klärschlamm ist einer jährlichen Beschlämmung der selben Fläche vorzuziehen, da dadurch eine Annäherung an das Ziel, wonach die Einträge an potentiellen Schadstoffen über Klärschlamm die Austräge aus den Böden nicht übersteigen sollen, erreicht werden kann. So wird der Siedlungswasserwirtschaft häufig vorgeworfen, durch Zentralisierung der Abwasserreinigung eine Konzentration der Schlammverwertung auf wenige Flächen zu bewirken.

Zweifellos erleichtert der räumlich verteilte Klärschlammfall eines dezentralen Konzeptes zur Abwasserreinigung den Zugang zu mehr Flächen durch Verringerung der erforderlichen Transportentfernungen. Jedoch kann es durch die Kosten für Bodenuntersuchungen und eine Einschränkung der geeigneten Flächen durch die Bodeneignung auch im Falle eines dezentralen Konzeptes zu einer Konzentration der Verwertung auf wenigen Flächen kommen. Zudem ist in jedem Einzelfall zu beachten, ob im Umfeld dezentraler Anlagen geeignete Flächen vorhanden sind und ein Nährstoffbedarf gegeben ist. So kann sich regional auch die Situation ergeben, daß im Bereich möglicher dezentraler Einzelanlagen keine geeigneten Flächen vorhanden sind (z.B. Hügellagen mit sauren Böden, falls entsprechende Anforderungen im jeweiligen Bundesland definiert sind), während im Umfeld einer zentralen Anlage die Voraussetzungen von der Bodeneignung her wesentlich günstiger sind.

Der Vorteil eines räumlich verteilten Klärschlammfalles durch ein dezentrales Abwasserreinigungskonzept kann daher nur dann genutzt werden, wenn im Nahbereich der vorgesehenen Kläranlagenstandorte ausreichend Flächen zur Verfügung stehen und ein Nährstoffbedarf gegeben ist. Dies ist im Einzelfall zu prüfen.

2.3 Entsprechende Klärschlammbehandlung

Der Klärschlamm muß vor jeder landwirtschaftlichen Verwertung stabilisiert und eingedickt werden. Zudem ist eine Speicherung während der Zeit, in der keine Ausbringung erfolgen kann, erforderlich (> 6 Monate). Die Ausbringung selbst kann naß mit dem Güllefaß oder nach Entwässerung, Kompostierung oder Trocknung mit Mist- und Kompoststreuer erfolgen. Darüber hinaus kann eine Hygienisierung/Entseuchung gefordert sein (siehe auch Abb. 1). Die Voraussetzungen für die Durchführung der einzelnen Behandlungsschritte können sich in Abhängigkeit von der Größe der Anlage verbessern oder verschlechtern.

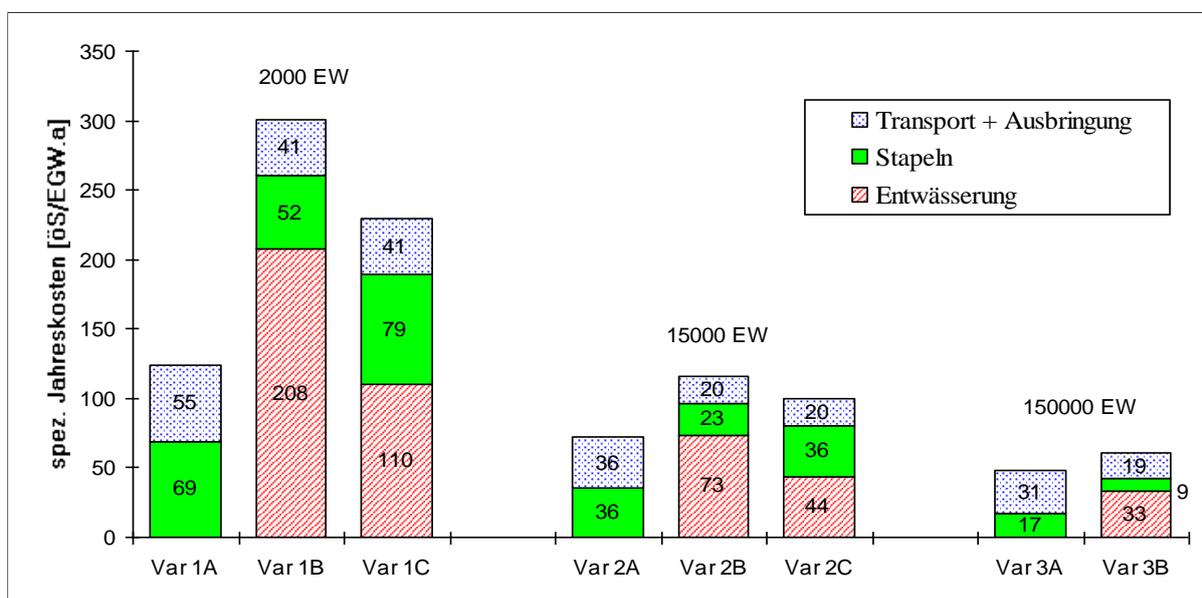
Bei kleineren Kläranlagen kommen heute häufig mobile Entwässerungsmaschinen zum Einsatz. Dabei ist auf eine ausreichende Speicherung der bei der Entwässerung anfallenden Rückläufe zu achten, da eine unmittelbare Rückführung der im Schlammwasser enthaltenen Ammoniumfracht auch bei sehr schwach belasteten Anlagen zwangsläufig zu einer Überlastung der nitrifizierenden Biomasse und folglich zu erhöhten Ammoniumwerten im Ablauf führen würde (Nowak, 1993).

Im folgenden werden die spezifischen Jahreskosten (Investitionskosten, Reinvestitionskosten und laufende Kosten berechnet nach LAWA, 1993) dargestellt, die für Schlammstorage, Schlammmentwässerung und Transport einschließlich Aufbringung inklusive Boden- und Klärschlammuntersuchungen anhand von Fallbeispielen ermittelt wurden (Zeßner, 1995). Dabei werden die Kosten für eine Flüssigschlammverwertung und eine Verwertung von entwässertem Schlamm beispielhaft für drei verschiedene Kläranlagengrößen (2000, 15000 und 150000 EGW) verglichen. Die angegebenen Kosten stellen Vergleichswerte dar, die unter Annahme gleicher Rahmenbedingungen abgeschätzt wurden. Für den Einzelfall können die tatsächlichen Kosten auch deutlich von den hier angegebenen Werten abweichen.

2.3.1 Naßschlammverwertung

Abbildung 5 zeigt, daß sich vor allem bei der kleineren Anlage (2000 EGW) deutliche Kostenvorteile für eine Naßschlammausbringung gegenüber einer Verwertung nach maschineller Entwässerung ergeben. Die Kosten für eine Naßschlammverwertung sind deutlich von den nötigen Transportentfernungen

abhängig. Bei kleineren Anlagen sind die Voraussetzungen für geringe Transportentfernungen günstiger. So kann z.B. unter der Annahme, daß in einem landwirtschaftlich geprägten Gebiet für eine Verwertung 3 % der Fläche genutzt werden kann, bei einer Anlage mit 2000 EGW der gesamte Schlamm in einem Umkreis um die Kläranlage von ca. 1,5 km Entfernung verwertet werden, bei einer Kläranlage mit 15000 EGW würde unter den selben Annahmen ein Verwertungsradius von 4 km und bei einer Anlage mit 150.000 EGW von 12 km erforderlich werden.



- A Flüssigschlammverwertung
 B Verwertung nach stationärer Entwässerung
 C Verwertung nach mobiler Entwässerung

Abbildung 5: Kostenvergleich verschiedener Verwertungsmöglichkeiten

In Abbildung 6 sind die Verwertungskosten in Abhängigkeit der Transportentfernung für Anlagen mit 2000 EGW und 15000 EGW aufgetragen. Man sieht, daß die spezifischen Kosten pro Einwohnergleichwert und Jahr für die größere Anlage auch unter Annahme einer 3-fachen Transportentfernung günstiger sind als bei der kleineren Anlage.

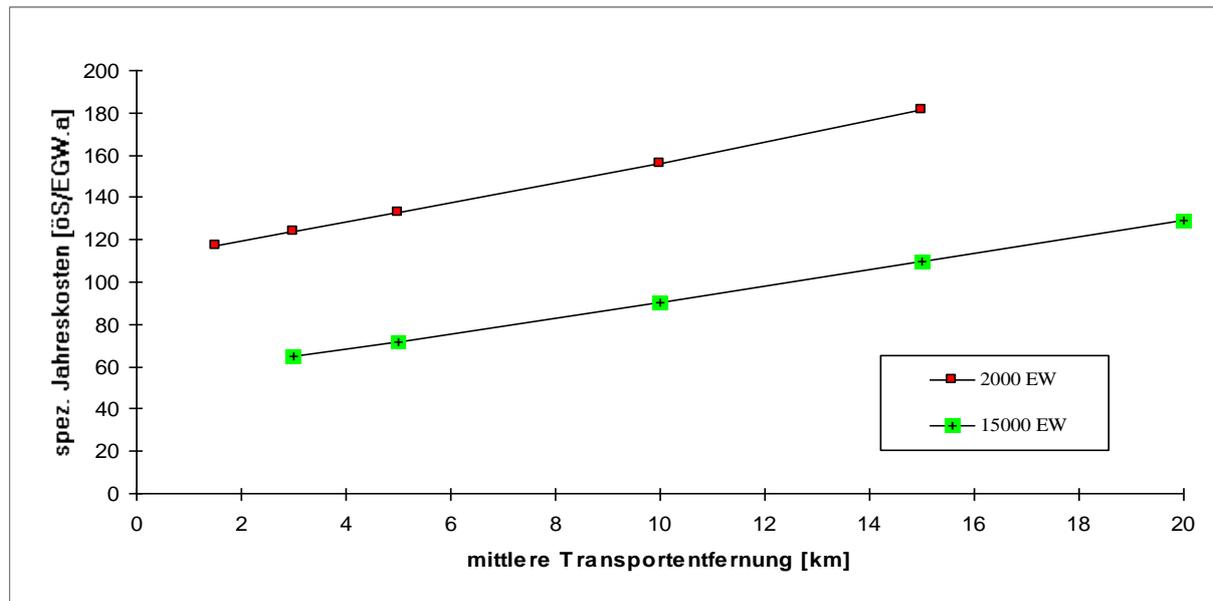


Abbildung 6: Einfluß der Transportentfernungen auf die Verwertungskosten bei Flüssigschlammverwertung

2.3.2 Entwässerung

Aus Abbildung 5 wird ersichtlich, daß bei der Anlage mit 2000 EGW die Kosten sehr stark ansteigen, sobald eine maschinelle Entwässerung durchgeführt wird. Dies gilt verstärkt bei stationärer Entwässerung, aber auch bei Entwässerung mit mobilen Anlagen. Die Wirtschaftlichkeitsgrenzen für stationäre Entwässerungseinrichtungen dürfte für Siebbandpressen und Kammerfilterpressen bei ungefähr 15000 EGW liegen. Für Zentrifugen werden neuerdings auch Geräte mit geringem Durchsatz für kleine Kläranlagen angeboten. Sollten sich diese Geräte bewähren, könnte die Wirtschaftlichkeitsgrenze für diese Anlagen gegenüber einer mobilen Entwässerung etwas gesenkt werden. Jedoch auch für mobilen Pressen (Durchsatz bis $50 \text{ m}^3/\text{d}$) ist ein wirtschaftlicher Einsatzbereich mit einer Schlammmenge von etwa 200 m^3 pro Anlage nach unten hin begrenzt (Amt der steiermärkischen Landesregierung, 1993 A). 200 m^3 entsprechen in etwa dem Jahresanfall einer Kläranlage mit einer Belastung von 400 EGW. Eine maschinelle Entwässerung kommt daher für Kläranlagen dieser Größenordnung aus wirtschaftlichen Überlegungen kaum in Frage. Eine Alternative wäre die sogenannte natürliche Entwässerung in Trockenbeeten und Schlammteichen. Die Entwässerung ist jedoch bei diesem Verfahren vor allem bei aerob

stabilisierten Schlämmen oft nicht zufriedenstellend (Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, 1993; Amt der Stmk. LRG., 1993 B). Eine Weiterentwicklung dieser Verfahren stellt die Entwässerung in mit Pflanzen bewachsenen Vererdungsbecken dar, die sich derzeit im Versuchsstadium befindet (Haluschan, 1994; Hahn, 1993; Amt der Stmk. LRG., 1993 B).

Eine entsprechende Entwässerung ist daher nach dem derzeitigen Stand der Technik in größeren Einheiten wesentlich gesicherter und wirtschaftlicher zu erreichen.

2.3.3 Kompostierung, Trocknung

Auch für die Kompostierung gilt, daß diese wirtschaftlicher in größeren Einheiten durchgeführt werden kann. Dies trifft vor allem dann zu, wenn das Ziel einer Kompostierung eine Hygienisierung ist und daher in Reaktoren durchgeführt werden muß, oder wenn bei Kompostierung in Mieten eine besondere Betriebskontrolle erforderlich ist. Vermehrt gilt für die Trocknung, daß sich diese nur in größeren Einheiten wirtschaftlich betreiben läßt (> 150000 EGW nach Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, 1993). Darüber hinaus werden jedoch zunehmend auch mobile Trocknungseinrichtungen eingesetzt.

2.3.4 Hygienisierung/Entseuchung

Die Hygienisierung (Entseuchung) stellt zur Zeit bei kleinen Anlagen ein Problem dar. Eine Vorpasteurisierung mit angeschlossener Faulung ist bei diesen Anlagen nicht wirtschaftlich zu betreiben. Auch für eine aerob-thermophile Schlammstabilisierung, die als Nebeneffekt eine Hygienisierung des Schlammes mit sich bringt, wird als untere Grenze des Einsatzbereiches 8000 EGW angegeben (Kapp, 1992). Durch eine Kompostierung in Mieten kann eine Hygienisierung nur bei entsprechender Überwachung der Prozeßbedingungen erreicht werden (Strauch, 1989), die bei kleinen Anlagen problematisch erscheint. Darüber hinaus kann eine Hygienisierung bei Kalkzugabe zu entwässertem Schlamm (CaO) durch Verschiebung des pH-Wertes auf 12,5 und einer Temperaturerhöhung auf mindestens 55°C über 2 Stunden, oder durch Kalkzugabe zum Naßschlamm (Ca(OH)₂) durch Verschiebung des pH-Wertes auf 12,5 und einer entsprechenden Einwirkzeit von mindestens 3 Monaten erreicht werden. Dies führt jedoch annähernd zu einer Verdoppelung des

Schlammanfalles und damit auch zu einer Verdoppelung der erforderlichen Speichervolumina, was vor allem bei einer Naßschlammverwertung stark ins Gewicht fällt. Regional kann bei hohem Karbonatgehalt im Boden die Kalkzugabe zum Schlamm auch unerwünscht sein.

2.4 Dokumentation der Klärschlammverwertung

Der Aufwand für die Klärschlammanalysen wird in der Regel durch ein dezentrales Konzept mit einer Vielzahl von Anlagen steigen, auch wenn die Untersuchungshäufigkeit für kleinere Anlagen geringer ist. Die Auswirkung auf die Kosten ist bereits im Kostenvergleich in Abbildung 5 berücksichtigt.

Darüber hinaus ist zufolge der gesetzlichen Anforderungen eine umfassende Dokumentation der Klärschlammverwertung erforderlich. Der Verwaltungsaufwand nimmt durch die ÖPUL-Förderungen zu, da zusätzlich die Einschränkungen zufolge der Förderungsbedingungen in Evidenz gehalten werden müssen. Bei kleinen und sehr kleinen Anlagen besteht vermehrt die Gefahr, daß diese Dokumentation oftmals ungenügend erfolgt, da vielfach kein entsprechend qualifiziertes Personal zur Verfügung steht. Eine gemeinsame Betreuung mehrerer Anlagen ist daher auch aufgrund der besseren Voraussetzungen für eine qualifizierte Durchführung der Klärschlammverwertung anzustreben. Darüber hinaus wird aber auch vermehrt eine Klärschlammberatung durch landwirtschaftliche Fachleute erforderlich werden, welche sowohl über die Landesdienststellen als auch über private Büros erfolgen könnte.

2.5 Zusammenarbeit Kläranlagenbetreiber - Landwirtschaft und örtliche Akzeptanz

Hier sind kaum allgemein gültige Aussagen möglich. Die Zusammenarbeit zwischen Kläranlagenbetreibern und Landwirtschaft hängt sicher in erster Linie von Engagement der Verantwortlichen vor Ort ab. Ist eine Vertrauensbasis gegeben, können die Voraussetzungen für eine Zusammenarbeit auf Gemeindeebene besser sein als zwischen verschiedenen Gemeinden. Zudem scheint zur Zeit die Akzeptanz in der Landwirtschaft im Falle von dezentralen Konzepten und kleinen Anlagen höher zu sein als im Falle einer Zentralisierung, wobei es jedoch sehr kurzfristig zu Änderungen kommen kann. Letztlich ist auch hier die Situation in der Gemeinde ausschlaggebend. Bei der

Erstellung eines Abwasserentsorgungskonzeptes sollte daher bereits zu einem frühen Zeitpunkt die Frage der Akzeptanz der Klärschlammverwertung in der Gemeinde zum Thema gemacht werden.

3 Voraussetzungen für eine Deponierung

Eine entsprechende Entwässerung (ausreichender TS-Gehalt bzw. Flügelscherfestigkeit) ist in den meisten Fällen eine Mindestvoraussetzung für eine Deponierung. In Zukunft wird durch die neue Deponieverordnung vermehrt eine Inertisierung (Verbrennung) vor einer Deponierung erforderlich werden. Kompostierung oder Trocknung stellen Übergangslösungen dar, denen in Zukunft in Einzelfällen ebenfalls Bedeutung zukommen wird. Alle diese Behandlungsverfahren werden wirtschaftlicher in größeren Einheiten durchgeführt.

Ist in einer Region eine landwirtschaftliche Verwertung nicht möglich oder unerwünscht, so bietet in Hinblick auf die Klärschlamm Entsorgung ein dezentrales Konzept zur Abwasserreinigung keinesfalls Vorteile. Im Falle einer Deponierung nach entsprechender Vorbehandlung (Entwässerung, Kompostierung, Trocknung oder Verbrennung) ist aus der Sicht der Klärschlammbehandlung und -entsorgung in jedem Fall eine zentrale Lösung vorzuziehen. Letztlich ist dies jedoch eine Frage eines Gesamtkostenvergleichs von Lösungsvarianten, in den die Kosten für eine entsprechende Klärschlammbehandlung einzubeziehen sind.

4 Zusammenfassung

Um einen bestimmten Klärschlamm Entsorgungs- oder -verwertungsweg beschreiten zu können, müssen eine Reihe von Voraussetzungen gegeben sein. Die Wahl des Abwasserreinigungskonzeptes kann die Erfüllung dieser Voraussetzung erleichtern oder erschweren. Die Frage nach zentraler oder dezentraler Abwasserreinigung ist die grundsätzlichsste Vorentscheidung bei der Wahl des Abwasserreinigungskonzeptes und kann bereits wesentlich die Voraussetzungen einer zukünftigen Klärschlamm Entsorgung beeinflussen. Andererseits kann die Vorgabe eines bestimmten Verwertungs- und Entsorgungsweges die Wahl eines dezentralen oder zentralen Abwasserentsorgungskonzeptes mitbestimmen.

Eine regionale Verwertung des Klärschlammes in der Landwirtschaft kann aus Kostengründen angestrebt werden. Daneben spricht aber auch das Verwertungsgebot des Abfallwirtschaftsgesetzes für eine Verwertung durch Rückführung in den Kreislauf.

In Tabelle 3 wurde versucht die Beeinflussung der einzelnen Voraussetzungen für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung durch die Wahl eines dezentralen oder eines zentralen Abwasserreinigungskonzeptes zu bewerten. Diese Bewertung kann nur Tendenzen vorgeben, da eine endgültige Bewertung immer nur auf der Basis der regionalen Gegebenheiten erfolgen kann.

Voraussetzung	Dezentral	Zentral
entsprechende KS - Qualität		
Nährstoffe	(+) ¹ /(-) ²	(+) ² /(-) ³
potentielle Schadstoffe	(+)	(-)
Zugang zu geeigneten Flächen	+/-	(+)/-
Nährstoffbedarf auf den Flächen	+/-	(+)/-
entsprechende Behandlung		
Entwässerung	-	+
Kompostierung	-	+
Trocknung	-	+
Hygienisierung	-	+
Überwachung	-	+
Zusammenarbeit mit Landwirten und örtliche Akzeptanz	(+)	(-)

Legende: durch Wahl eines dezentralen oder zentralen Abwasserreinigungskonzeptes ist hinsichtlich der Erfüllung der Voraussetzung folgende Beeinflussung zu erwarten:

- + eine Begünstigung
- eine Verschlechterung
- (+) eine Begünstigung in Abhängigkeit von der regionalen Situation
- (-) eine Verschlechterung in Abhängigkeit von der regionalen Situation
- ¹⁾ bei Naßschlammausbringung
- ²⁾ in Hinblick auf die P-Fällung
- ³⁾ bei Entwässerung

Tabelle 3: Tabellarische Zusammenstellung der Beeinflussung der Voraussetzung für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung durch die Wahl eines dezentralen oder zentralen Abwasserreinigungskonzeptes

Wird die Beeinflussung der Voraussetzung für eine regionale Klärschlammverwertung als Kriterium für die Entscheidung der Wahl eines zentralen oder dezentralen Abwasserreinigungskonzeptes herangezogen, ist ausgehend von der regionalen Situation für jede der Voraussetzungen zu prüfen, welches Abwasserreinigungskonzept eine Begünstigung bringt. Grundsätzlich liegt ein dezentrales Abwasserreinigungskonzept dem Prinzip der Verteilung der Stoffe auf die Fläche, welches durch eine landwirtschaftliche Verwertung verfolgt wird, näher als ein zentrales Konzept. Dieser grundsätzliche Vorteil kann jedoch nur dann genutzt werden, wenn

- aufgrund bestehender Klärschlammzeugnisse oder genauer Kenntnisse der Einleiterstruktur mit einer geringeren Belastung des Klärschlammes der dezentralen Anlagen zu rechnen ist. Hier wird vielfach keine klare Aussage möglich sein, da oft die entsprechenden Informationen fehlen. Es ist jedoch bei kleineren Anlagen nicht grundsätzlich mit einer geringeren Belastung zu rechnen, vielmehr sind nur die Schwankungsbreiten der Belastung größer als bei größeren Anlagen. Der Vorteil eines dezentralen Abwasserreinigungskonzeptes liegt lediglich darin, daß "gute" und "schlechte" Schlämme getrennt von einander anfallen.
- ausreichend für eine Klärschlammaufbringung geeignete Flächen im Nahbereich der Kläranlagen vorhanden sind.
- ein Nährstoffbedarf auf diesen Flächen gegeben ist.
- der Aufwand für eine Schlammbehandlung gering gehalten und vorzugsweise eine Naßschlammaufbringung realisiert werden kann. Wird eine Entwässerung, Kompostierung, Trocknung oder Hygienisierung angestrebt, so werden vielfach wirtschaftliche Überlegungen für eine Zentralisierung sprechen.
- eine Zusammenarbeit mit der örtlichen Landwirtschaft und eine Akzeptanz für die Klärschlammverwertung in den jeweiligen Ortschaften/Gemeinden gegeben ist und somit die vorhandenen Flächen auch tatsächlich für eine Verwertung genutzt werden können.

Ist eine dieser Bedingungen nicht erfüllt, so ist in Hinblick auf eine regionale Klärschlammverwertung kein Vorteil für ein dezentrales Konzept zur Abwasserreinigung gegeben. In Einzelfällen können sogar zentrale Konzepte Vorteile für eine landwirtschaftliche Verwertung bringen.

In jedem Fall sollte der Betrieb von kleineren Anlagen zumindest im Rahmen eines Betreuungsverbandes, besser noch in größeren organisatorischen Einheiten (Abwasserverband), erfolgen. Dadurch kann einerseits eine fachgerechte Dokumentation der Klärschlammverwertung gewährleistet werden. Andererseits wird auf diesem Wege auch eine effektive Indirekteinleiterkontrolle möglich.

Falls eine regionale Verwertung von Klärschlamm nicht realisiert werden kann, ist aus dem Blickwinkel der Klärschlamm Entsorgung ein zentrales Konzept zur Abwasserreinigung in jedem Fall günstiger. Dabei können die erhöhten Anforderungen an eine Klärschlammbehandlung wesentlich wirtschaftlicher durchgeführt werden. Zudem ist ein räumlich getrennter Anfall des Schlammes keineswegs als Vorteil anzusehen. Letztlich wird die Entscheidung über ein regionales Abwasserreinigungskonzept immer durch die Kosten für eine Klärschlammbehandlung und -entsorgung mitbestimmt werden.

Wenn nun vielfach argumentiert wird, daß eine Zentralisierung der Abwasserreinigung die Voraussetzungen für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung verschlechtern würde, so ist dem entgegenzuhalten, daß eine Verhinderung einer landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung die Voraussetzungen für dezentrale Konzepte zur Abwasserreinigung verschlechtert. Während das erste Argument nur unter bestimmten Rahmenbedingungen Gültigkeit hat, trifft das zweite Argument in jedem Fall zu.

5 Literatur

- Amt der steiermärkischen Landesregierung (1993 A) Regionales Klärschlammkonzept für die Bezirke Feldbach und Radkersburg. Wasserwirtschaft Land Steiermark, Graz
- Amt der steiermärkischen Landesregierung (1993 B) Flächendeckende Abwasserentsorgung. *Steiermark-Information 17*, Graz
- Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (1993) Konzept für die Entsorgung der kommunalen Klärschlämme in Bayern.
- Brunner, Gajcy (1989) Veränderung und Beurteilung der Metallfracht im Klärschlamm, *Mitteilungen der EAWAG 28*
- Candinas T. (1991) Vortrag im Rahmen des EWPCA Sludge Disposal Workshop, Zürich, 12./13. Dezember 1991
- Hahn B. (1993) Umweltverträgliche Abwasservermeidungs- und Entsorgungskonzepte im ländlichen Regionen. Schriften zur Regionalpolitik und Raumplanung 24, Bundeskanzleramt Abteilung IV/4, Wien

- Haluschan A. (1993) Regionale Klärschlammkonzepte am Beispiel der Bezirke Feldbach und Radkersburg. *Schriftenreihe zur Siedlungswasserwirtschaft, TU Graz, Band 6*, 59 - 78
- Ilic P. (1993) Indirekteinleiterüberwachung als Instrument zur Minimierung der Klärschlammbelastung. *Gewässerschutz · Wasser · Abwasser - GWA, RWTH Aachen, Band 135*, 361 - 371
- Mayr H.E.: Klärschlamm Entsorgung in Oberösterreich. *Österreichische Wasserwirtschaft 40*, 246 - 255 (1988)
- Kapp H. (1992) Aerobe und anaerobe Klärschlammstabilisierung im Vergleich. ATV-Fortbildungskurs G/3, Fulda/Magdeburg
- LAWA (1993) Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen. *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - München*
- Merkel, Matter, Hameln (1993) Pflanzennährstoff- und Schwermetallgehalte niedersächsischer Klärschlämme, *Korrespondenz Abwasser 40*, 1942 - 1945
- Nowak O. (1993) Der Einfluß der Klärschlammbehandlung und -entsorgung auf das Verfahrenskonzept der Kläranlage. *Wiener Mitteilungen - Band 110*
- Nowak O. (1995) Klärschlamm: Anfall und Zusammensetzung. *Wiener Mitteilungen - Band 126*, 130 - 176
- Nowak O., Grüttner H., Kroiß H. (1996) Quality of sewage sludge for agricultural use in regard to new ways of setting limit values for heavy metals in Denmark and Austria. Proc. of the 10th European Sewage and Refuse Symposium, München
- Stark W. *et al.* (1995) Wo liegen die Grenzen der Schadstoffentfrachtung im Klärschlamm. Materialienband zum niederösterreichischen Klärschlammkonzept
- Steinmüller und Lutz (eds.) (1995) Klärschlammverwertung nach Schadstoffvermeidung - Handlungsanweisungen für Niederösterreich. Amt der NÖ. LRG., Abteilung B/9 - Wasserwirtschaft
- Strauch D. (1989) Hygiene der landwirtschaftlichen Verwertung kommunaler Klärschlämme. *Wiener Mitteilungen - Band 82*
- Zeßner M. (1995) Auswirkungen der verschiedenen Formen der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung auf die Verfahrensweise von Kläranlagen einschließlich Kosten. Materialienband zum niederösterreichischen Klärschlammkonzept

Dipl.Ing. Matthias Zeßner

Dipl.Ing. Dr. Otto Nowak

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Technische Universität Wien
A-1040 WIEN, Karlsplatz 13/226

Tel.: 0222/58801 - 3146 bzw. 3143

Fax: 0222/504 21 57

E-Mail: mzeßner@iwag.tuwien.ac.at
onowak@iwag.tuwien.ac.at