

Schlamm Entsorgung mit Zement

Von Justus Bonzel und Ulrich Neck, Düsseldorf

Übersicht

In den vergangenen Jahren ist der Anfall von Abfallschlamm verschiedener Art insgesamt erheblich angestiegen. Nach Auskunft von Fachleuten wird sich diese Entwicklung in den einzelnen Bereichen weiter fortsetzen. Mit dem wachsenden Schlammanfall haben sich auch die Probleme der Schlamm Entsorgung vervielfacht. Vor allem aus Umweltschutzgesichtspunkten kann Abfallschlamm in der jetzt und zukünftig anfallenden Menge mit den herkömmlichen Verfahren nicht mehr entsorgt werden. Um der „Schlammflut“ wirksam begegnen zu können, sind daher geeignete, energiesparende, wirtschaftliche und mit der Umwelt verträgliche neue Behandlungsverfahren erforderlich. Als ein solches Verfahren bietet sich die Zementverfestigung an. Orientierende Untersuchungen haben ergeben, daß sich eine Schlammbehandlung mit Zement für eine sachgerechte Entsorgung, z. B. von Klärschlamm und von Flotationsschlamm, eignet.

1. Allgemeines

Als Folge der durch das wachsende Umweltbewußtsein ständig zunehmenden Klär- und Reinigungsprozesse in kommunalen und industriellen Bereichen fällt in der Bundesrepublik Deutschland in großem Umfang wasser- und feinststoffreicher Schlamm an, der umweltunschädlich entsorgt werden muß. Sehr wesentliche Schlammengen entstehen z. B. als Klärschlamm in kommunalen Kläranlagen, als Flotationsschlamm bei der Steinkohlenaufbereitung und als Rotschlamm bei der Aluminiumgewinnung. Hinzu kommt sehr unterschiedlich zusammengesetzter Schlamm aus zahlreichen Industriebereichen, wie z. B. Schlamm aus der Reinigung von Kesselanlagen und aus Galvanisierbetrieben.

Grundsätzlich ist als Entsorgung von Schlamm, der keine toxischen Bestandteile enthält oder nicht unmittelbar nach dem Anfall einer anderen Nutzung zugeführt wird, die Ablagerung auf allgemeinen Deponien vorgesehen. Wegen seines hohen Wasser- und Feinststoffgehaltes ist derartige Schlamm jedoch im Ausgangszustand – auch wenn andere feste Stoffe dazugegeben werden – in der Regel nur in Behältern zu transportieren und nicht auf Deponien abzulagern, weil er nicht genügend standfest ist und wegen des starken Wasserhaltevermögens zwar langsam, aber über lange Zeit hinweg Sickerwasser an den Untergrund abgibt. Aus technischen und be-

trieblichen Gründen sowie aus Gründen des Umweltschutzes muß aber Schlamm, der auf Deponien abgelagert werden soll, im allgemeinen wenigstens folgende Voraussetzungen erfüllen:

- a) Der Schlamm darf keine toxischen Bestandteile enthalten.
- b) Der abgelagerte Schlamm darf keine wesentlichen Mengen von Stoffen an den Untergrund abgeben, die das Grundwasser in nicht erlaubter Weise verändern.
- c) Der Schlamm muß eine solche Konsistenz aufweisen, daß durch seine Ablagerung die Standfestigkeit der Deponie nicht beeinträchtigt wird.
- d) Der abgelagerte Schlamm darf keine wesentlichen Mengen an Sickerwasser an den Deponiekörper bzw. an den Untergrund abgeben.
- e) Der Schlamm soll außerdem so beschaffen sein, daß er auf Transportbändern und in üblichen LKW – gegebenenfalls mit anderen festen Abfallstoffen – transportiert werden kann.

Um die Anforderungen c bis e zu erfüllen, wird bisher meist versucht, dem Schlamm einen wesentlichen Teil seines Wassers zu entziehen. Da der Wasserentzug bei Entwässerung des Schlammes auf natürlichem Wege wegen seines großen Wasserhaltevermögens in der Regel sehr gering ist, werden zum raschen Entwässern überwiegend mechanische Wasserentzugsverfahren, z. B. die Behandlung des Schlammes in Filterpressen oder in Zentrifugen, teilweise aber auch thermische Verfahren, z. B. das Verbrennen, angewendet [1]. Beide Verfahrensarten sind jedoch sehr kosten- bzw. energieaufwendig. Bei der Suche nach anderen, weniger aufwendigen Verfahren der Schlammbehandlung entstand die Frage, ob die vorher genannten Anforderungen für ablagerungsfähigen Schlamm nicht durch eine Behandlung des Schlammes mit Zement erfüllt werden können, zumal durch ein Zumischen von Zement das Schlammvolumen nicht wesentlich vergrößert wird. Vom Verein Deutscher Zementwerke wurden daher zunächst einige orientierende Versuche mit Klärschlamm und mit Flotationsschlamm veranlaßt, die einen Beitrag zu folgenden Fragen liefern sollten:

- a) Kann die Schlammkonsistenz durch ein Zumischen von Zement so verändert werden, daß der Schlamm auf Transportbändern – gegebenenfalls mit anderen festen Stoffen – transportiert werden kann?
- b) Kann die Schlammkonsistenz durch ein Zumischen von Zement dauerhaft so verändert werden, daß der Schlamm auf einer Deponie gelagert werden kann, ohne wesentliche Mengen an Wasser an die Deponie bzw. ihren Untergrund abzugeben und ohne die Standfestigkeit des Deponiekörpers zu beeinträchtigen?
- c) Läßt sich aus dem Schlamm durch das Zumischen von Zement ein bodenähnliches Gut mit weitgehend wasserbeständiger und beim Abbau etwa krümeliger Struktur herstellen, das ggf. einfach wieder abgebaut, transportiert und anderweitig genutzt werden kann?

Die Versuche mit Klärschlamm wurden von der Abteilung Erd- und Grundbau des Otto-Graf-Instituts der Universität Stuttgart (Leiter:

Professor Dr.-Ing. Henke) durchgeführt, die Versuche mit Flotationsschlamm von der Betontechnischen Abteilung des Forschungsinstituts der Zementindustrie, Düsseldorf.

2. Klärschlamm

2.1 Anfallende Menge und derzeitige Behandlung

In den kommunalen Kläranlagen der Bundesrepublik Deutschland dürfte derzeit insgesamt eine Frischschlammmenge von etwa 47 Mill. m³ pro Jahr anfallen [2]. Aufgrund der seit vielen Jahren ständig anwachsenden Menge des zu klärenden Abwassers und der zunehmenden Anzahl von Kläranlagen ist auch in Zukunft mit einem weiteren Ansteigen der Klärschlammmenge zu rechnen. Nach Voraussetzungen werden im Zeitraum 1985 bis 1990 etwa 56 Mill. m³ Frischschlamm pro Jahr zu entsorgen sein. Dies würde bei den derzeit gebräuchlichen Klär- und Behandlungsverfahren einer abzulagernden Schlammmenge von etwa 40 Mill. m³ pro Jahr entsprechen [2].

Mit der Schlammbehandlung soll der beim Klärvorgang anfallende Schlamm so in seinen Eigenschaften verändert werden, daß er der jeweils vorgesehenen Verwendung, z. B. in der Landwirtschaft, zugeführt werden kann oder daß ein Deponieren gemäß den aus Umweltschutz- und Standsicherheitsgründen erlassenen Richtlinien [3] möglich ist. Da das anfallende Schlammvolumen mehr und mehr die anderweitig, z. B. in der Landwirtschaft, verwendete Schlammmenge übersteigt, wird es in immer größer werdendem Umfang erforderlich, den Schlamm in Deponien umweltfreundlich abzulagern. Dabei ist vorwiegend daran gedacht, den aufbereiteten Schlamm in speziellen Klärschlammdeponien oder zusammen mit häuslichem Abfall in Zentraldeponien [4] zu entsorgen.

Der Klärschlamm hat im Ausgangszustand meist einen Wassergehalt von über 90 Gew.-%. Für eine Ablagerung auf Deponien wurde in einem Bundesland der Wassergehalt auf höchstens 65 Gew.-% begrenzt [4]. Eine solche Begrenzung dürfte jedoch nicht sinnvoll sein, weil es letztlich darauf ankommt, daß die Deponien ausreichend standfest sind und keine größeren Wassermengen abgegeben werden. Diese Anforderungen können je nach Schlammart und Beimengungen auch bei kleineren oder größeren Wassergehalten erfüllt sein. Der Klärschlamm wird derzeit meist entweder mit thermischen Verfahren (z. B. Verbrennen) oder mit mechanischen Verfahren (z. B. Zentrifugieren, Filterpressen) behandelt [1]. Beide Verfahrensarten sind – soweit dabei weitergehend entwässert wird – sehr energie- bzw. kostenaufwendig. Sowohl für die spezielle Klärschlammdeponie als auch für die Zentraldeponie dürfte es daher von Interesse sein zu prüfen, ob diese aufwendigen Behandlungsverfahren nicht ganz oder teilweise durch eine weniger aufwendige Behandlung des Klärschlammes mit Zement zu ersetzen sind.

2.2 Orientierende Untersuchungen mit Zement

2.2.1 Art und Durchführung

In orientierenden Untersuchungen wurde der Frage nachgegangen, ob die Beschaffenheit und die Konsistenz des üblichen Klär-

schlammes durch das Zumischen von Zement deutlich verändert werden können und ob der Klärschlamm dadurch auf Deponien abgelagerungsfähig gemacht werden kann [5]. Als Untersuchungsgegenstand wurde ausgefauter und einmal zentrifugierter Klärschlamm aus der Kläranlage einer kleineren Stadt in Württemberg (36 000 Einwohner) verwendet, die in der Nähe einer Großstadt liegt. Nach Auskunft von Abwassersachverständigen ist der dort anfallende Klärschlamm charakteristisch für kommunalen Klärschlamm. Um dabei einen ersten Anhalt über einen eventuellen Einfluß von Art, Feinheit, Festigkeit und Erhärtungsgeschwindigkeit des Zements zu bekommen, wurden die Versuche mit je einem HOZ 35 L-NW/HS, einem PZ 35 F und einem PZ 55 durchgeführt. Die Zemente entsprachen DIN 1164. In einem Fall wurde außerdem ein Zusatz von 3 Gew.-% CaCl_2 , bezogen auf den Zementgehalt, zugegeben.

Der Zement wurde in der Regel 1 bzw. 1,5 Stunden nach der Schlammmentnahme zugegeben, teilweise aber auch nach einer Liegezeit von 4 und 24 Stunden im geschlossenen Behälter bei Raumtemperatur. Damit sollte festgestellt werden, ob eine solche Liegezeit, z. B. durch Abklingen des Faul- und Gasungsvorgangs, ein eventuelles Ansteifen des Schlamm-Zement-Gemisches beeinflußt. Aufgrund von Vorüberlegungen über die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens wurde bei allen Versuchen ein Zementgehalt von 7,5 Gew.-%, bezogen auf den Klärschlamm, gewählt. Zement und Klärschlamm wurden 5 Minuten in einem Mischer mit Flügelrührwerk bei 400 U/min gemischt.

Die Zement-Schlamm-Gemische lagerten anschließend bis zur Prüfung bei 20°C und 60 % rel. Luftfeuchte. Zur Beurteilung des Ansteifens wurde im Alter von 0,2, 1, 7 bzw. 8 und 28 Tagen nach dem Mischen die Scherfestigkeit mit einem Scherflügelgerät nach [5] ermittelt. Außerdem wurden die Feststoffanteile und der Wassergehalt durch Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz und teilweise die Dichte und die Trockendichte bestimmt.

2.2.2 Versuchsergebnisse

Der bei der Untersuchung verwendete Klärschlamm hatte im Einlieferungszustand – bezogen auf den feuchten Schlamm – einen Wassergehalt von rd. 82 Gew.-% bzw. einen Feststoffgehalt von rd. 18 Gew.-%. 28 Tage nach der Schlammmentnahme betrug seine Dichte (Rohdichte) 0,83 t/m³ und seine Trockendichte 0,26 t/m³.

Bei den Zement-Klärschlamm-Gemischen betrug 28 Tage nach der Zementzugabe die Dichte (Rohdichte) 1,14 bis 1,20 t/m³, die Trockenrohddichte im Mittel 0,41 t/m³. Die Wassergehalte der Zement-Klärschlamm-Gemische zu den verschiedenen Untersuchungszeiten gehen aus Tafel 1 hervor. Da sich die Wassergehaltsangaben auf den jeweils untersuchten Stoff beziehen, ergibt sich der jeweilige Feststoffgehalt als Differenz zwischen 100 % und dem Wassergehalt der Tafel 1. Der Wassergehalt der umfangreicher untersuchten Zement-Klärschlamm-Gemische der Serie II war 0,2 Tage nach der Zementzugabe mindestens 10 Gew.-% geringer als der des angelieferten Klärschlammes, änderte sich aber anschließend bis zum 28. Tag nach der Zementzugabe praktisch nicht. Bei den allerdings nur

Tafel 1 Wassergehalt des Klärschlammes und der Zement-Klärschlamm-Gemische

Versuchs- serie	Untersuchter Stoff	Liegezeit des Schlammes bis zur Zement- zugabe Stunden	Wassergehalt in Gew.-% bezogen auf den jeweils untersuchten Stoff 0,2 1 7 bzw. 8 28 Tage nach Zementzugabe			
			0,2	1	7 bzw. 8	28
I	Klärschlamm	1,5	81,4	—	—	68,6
	Klärschlamm + 7,5 Gew.-% HOZ 35 L-NW/HS	1,5	—	73,6	—	66,4
	Klärschlamm + 7,5 Gew.-% PZ 55	1,5	—	—	72,6	65,1
	Klärschlamm + 7,5 Gew.-% PZ 55 + 3 Gew.-% CaCl ₂	1,5	—	—	—	65,1
II	Klärschlamm + 7,5 Gew.-% PZ 35 F	1	71,0	71,0	71,1	71,0
		4	69,8	69,8	70,0	69,6
		24	70,8	70,8	70,8	70,7
	Klärschlamm + 7,5 Gew.-% PZ 55	1	69,7	69,6	69,6	69,7
		4	69,5	68,6	70,2	69,7
		24	69,2	69,4	69,3	69,0

sehr wenig untersuchten Zement-Klärschlamm-Gemischen der Serie I nahm der Wassergehalt auch noch zwischen dem 1. bzw. 8. und dem 28. Tag nach der Zementzugabe deutlich ab. Eine Abnahme bis zum 28. Tag wurde auch beim Klärschlamm ohne Zement der Versuchsserie I festgestellt. Die Ursache dafür ist noch nicht genau geklärt. Es ist zu vermuten, daß eine unterschiedliche Zusammensetzung der Schlämme der Serien I und II dies bewirkte. 28 Tage nach der Schlammentnahme bzw. der Zementzugabe lag der Wassergehalt des Klärschlammes ohne Zement bei rd. 69 Gew.-% und der der Zement-Klärschlamm-Gemische zwischen 65 und 71 Gew.-%.

Die wesentlichsten Versuchsergebnisse über die Scherfestigkeit des Klärschlammes und der Zement-Klärschlamm-Gemische gehen aus Tafel 2 und teilweise aus Bild 1 hervor. Die Scherfestigkeit der Zement-Klärschlamm-Gemische war ein Tag nach der Zementzugabe bereits 1,4- bis 2,5mal so groß (steife Konsistenz) und 28 Tage nach der Zementzugabe bereits 2- bis 7,6mal so groß (sehr steife Konsistenz) wie die Scherfestigkeit des Klärschlammes ohne Zement. Bei diesen orientierenden Versuchen ergab der verwendete Zement der Festigkeitsklasse Z 55 1, 7 und 28 Tage nach der Zementzugabe eine deutlich größere Scherfestigkeit als die verwendeten Zemente der Festigkeitsklasse Z 35. Ein CaCl₂-Zusatz verbesserte die Scherfestigkeit des Gemisches mit Z 55 nicht. Aus den Ergebnissen der Serie II ist ein eindeutiger Einfluß der Liegezeit zwi-

Tafel 2 Scherfestigkeit des Klärschlammes und der Zement-Klärschlamm-Gemische

Versuchs- serie	Untersuchter Stoff	Liegezeit des Schlammes bis zur Zement- zugabe Stunden	Scherfestigkeit in p/cm ²			
			0,2 Tage	1 7	8 bzw. 8	28 Tage nach Zementzugabe
I	Klärschlamm	1,5	6,9	–	–	6,0
	Klärschlamm + 7,5 Gew.- % HOZ 35 L-NW/HS	1,5	8,1	9,4	10,5	12,1
	Klärschlamm + 7,5 Gew.- % PZ 55	1,5	10,3	16,9	23,5	31,5
	Klärschlamm + 7,5 Gew.- % PZ 55 + 3 Gew.- % CaCl ₂	1,5	9,6	17,2	26,7	31,4
II	Klärschlamm + 7,5 Gew.- % PZ 35 F	1	10,3	12,3	12,9	15,6
		4	9,6	12,1	13,3	17,8
		24	8,6	9,4	10,1	11,2
	Klärschlamm + 7,5 Gew.- % PZ 55	1	10,0	16,1	24,7	39,7
		4	11,2	17,2	24,5	39,1
		24	10,5	15,7	29,4	45,9

schen Schlammernahme und Zementzugabe auf die Scherfestigkeit der Zement-Klärschlamm-Gemische nicht abzuleiten (siehe Tafel 2). Bei einem zusätzlichen Tastversuch ergab eine entsprechende Zementzugabe zu einem Klärschlamm mit einem deutlich höheren Wassergehalt als 82 Gew.- % bis zu 28 Tagen nach der Zementzugabe stets eine geringere Scherfestigkeit als in Tafel 2.

2.2.3 Folgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen haben zwar nur orientierenden Charakter und müssen für endgültige Aussagen noch erweitert werden. Die erhaltenen Ergebnisse lassen aber die Tendenz erkennen, daß Klärschlamm durch das Zumischen einer begrenzten Menge von Zement sofort eingedickt werden kann und sich danach verfestigt. Dabei dürften mit Zement höherer Festigkeitsklasse größere Scherfestigkeiten erreicht werden können als mit Zement geringerer Festigkeitsklasse. Wenn auch die für eine Ablagerung auf Deponien an Klärschlamm zu stellenden Anforderungen zur Zeit noch nicht ausreichend festgelegt sind, so lassen die Ergebnisse doch erwarten, daß bei einer Behandlung von Klärschlamm mit Zement die einzelnen Bedingungen so gewählt werden können, daß damit die für eine Ablagerung erforderliche Versteifung bzw. Verfestigung des Klärschlammes erreicht werden kann. Natürlich darf für

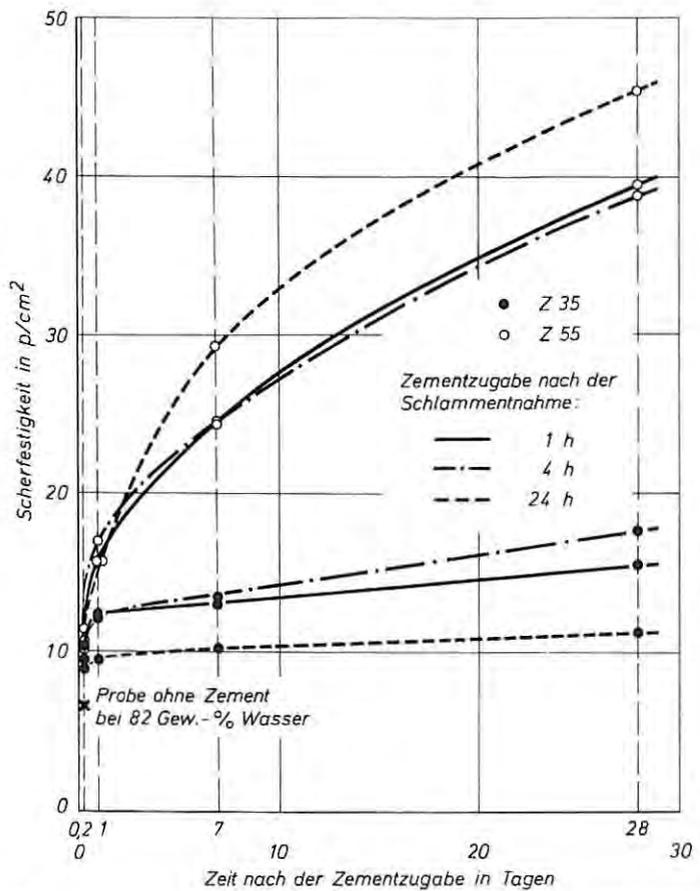


Bild 1 Verfestigung von Klärschlamm infolge Zementzugabe in Abhängigkeit von der Zementfestigkeitsklasse und dem Zugabezeitpunkt nach der Schlammernahme

eine Ablagerung auf Deponien der Zementgehalt nicht zu hoch gewählt werden, weil sonst steinartige Massen entstehen können.

Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen scheint es für die Ablagerung von Klärschlamm auf Deponien aus technischer und wirtschaftlicher Sicht zweckmäßig zu sein, den Klärschlamm mit geringem Aufwand mechanisch vorzuentwässern und anschließend mit dafür geeigneten Mengen an Zement zu behandeln. Die Behandlung mit Zement hat bei sachgerechter Anwendung darüber hinaus den Vorteil, daß der Klärschlamm dadurch eine bodenähnliche Struktur erhält, die auch durch Witterungseinflüsse nicht verlorengeht. Die Ablagerungsfähigkeit von Zement-Klärschlamm-Gemischen kann jedoch nicht mit dem Wassergehalt des Gemisches beurteilt werden, sondern dazu kann die Scherfestigkeit des Gemisches herangezogen werden.

3. Flotationsschlamm

3.1 Anfallende Menge und derzeitige Behandlung

Beim Sortieren und Aufbereiten geförderter Steinkohle fällt stark wasserhaltiger und feinststoffreicher Schlamm, der sog. Flotationsschlamm, an, siehe u. a. [6, 7]. Im Ausgangszustand ist sein Feststoffgehalt sehr gering, da sein Wassergehalt – bezogen auf den feuchten Schlamm – dann bei etwa 97 Gew.-% liegt. Zur Zeit fallen jährlich etwa 83 Mill. t Flotationsschlamm mit rd. 2,5 Mill. t Feststoff an. Da von der Verwenderseite zukünftig feinkornärmere Kohleprodukte gefordert werden, ist in absehbarer Zeit mit noch weitaus mehr Flotationsschlamm zu rechnen. Die dann jährlich zu entsorgende Flotationsschlammmenge wird auf etwa 133 Mill. t und ihre Feststoffmenge auf rd. 4 Mill. t geschätzt.

Wegen des sehr hohen Wassergehalts und der dadurch bedingten flüssigen Konsistenz ist eine Ablagerung des Flotationsschlammes im Ausgangszustand nicht möglich. Auf Halden, z. B. Waschbergehalden, geschüttet würde er abfließen, zu großen Sickerwassermengen führen und die Standsicherheit der Schüttung gefährden. Ein für eine Ablagerung erforderliches Eindicken des Schlammes bzw. eine ausreichende Entwässerung, z. B. mit mechanischen Verfahren, ist wegen der Feinkörnigkeit der Feststoffe (siehe Bild 2) sehr aufwendig.

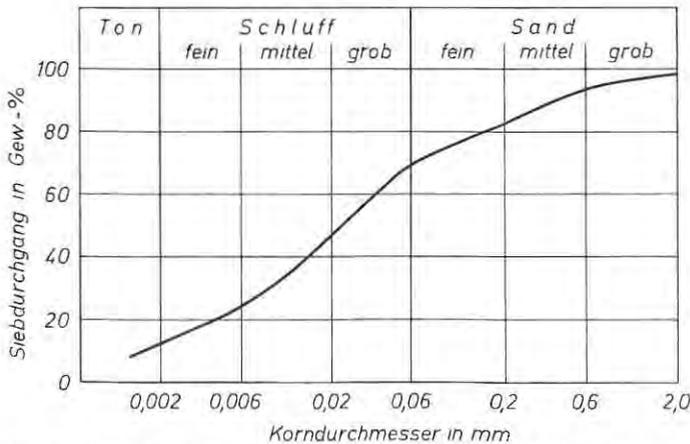


Bild 2 Siebanalyse einer Feststoffprobe aus einem etwa 14 Jahre alten Flotationsteich

Zur Zeit wird über die Hälfte der anfallenden Schlammengen nach einer mechanischen Vorentwässerung auf einen Wassergehalt von 75 bis 80 Gew.-% in sog. Flotationsteiche (siehe Bild 3) eingebracht, wo sich im Verlauf vieler Jahre (etwa 10 bis 15 Jahre) die Feststoffe weitgehend absetzen und der Wassergehalt auf etwa 60 Gew.-% vornehmlich durch Verdunsten auf der großen Oberfläche des Teiches reduziert wird. Nur zum Teil werden diese Teiche wieder ausgeräumt und der dabei gewonnene Feststoff wegen der darin enthaltenen Kohleanteile bei der Energieerzeugung verwendet. Da das

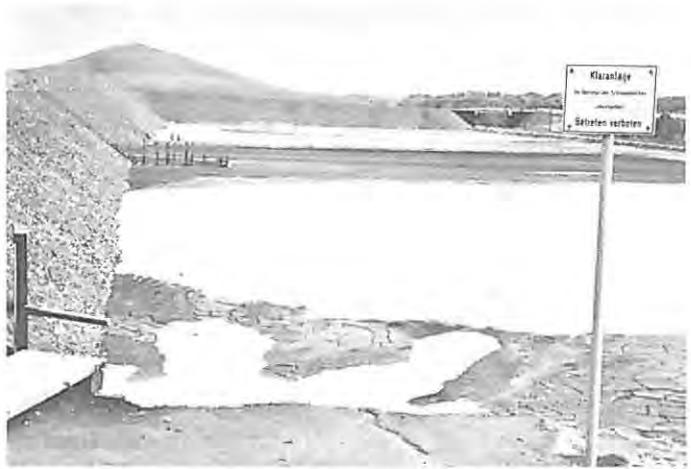


Bild 3 Flotationsteich im östlichen Ruhrgebiet Mitte 1978

anfallende Schlammvolumen anwächst, zunehmend geeignete Flächen für die Anlage derartiger Teiche fehlen und die Betriebsauflagen aus Umweltschutzgründen verschärft werden, können schon jetzt über 40 % des Schlammes nicht in Flotationsteichen entsorgt werden. Diese Schlammengen werden derzeit mit relativ großem Aufwand in Kammerfilterpressen, Vollmantelzentrifugen oder ähnlichen Einrichtungen mechanisch bis auf einen Wassergehalt von rd. 25 Gew.-% entwässert und zusammen mit Waschbergen – Gesteinsmaterial mit Korngrößen zwischen 1 und 200 mm – direkt auf Halden abgelagert. Die nur begrenzte Verwendungsmöglichkeit der aus den Teichen gewonnenen brennbaren Stoffe und die durch Unfälle belegte Gefährdung der Arbeitssicherheit bei den Ausräumungsarbeiten der Teiche sprechen darüber hinaus gegen den Flotationsteichbetrieb in Zukunft. Eine weitgehende Abkehr von der Schlamm Entsorgung in Flotationsteichen zeichnet sich damit ab.

Da die mechanischen Schlammbehandlungsmethoden sehr kostenintensiv sind, wurden orientierende Versuche zur Frage durchgeführt, ob die Beschaffenheit von Flotationsschlamm durch eine Behandlung mit Zement so verändert werden kann, daß der Schlamm – ggf. zusammen mit Waschbergen – auf Transportbändern befördert und auf Halden umweltverträglich und die Standsicherheit nicht beeinträchtigend abgelagert werden kann.

3.2 Orientierende Untersuchungen mit Zement

3.2.1 Art und Durchführung

Der bei den Versuchen verwendete Flotationsschlamm entstammte einer Zeche aus dem östlichen Ruhrgebiet (Raum Bergkamen). Nach Angabe von Kohlesachverständigen soll er charakteristisch für die im Ruhrgebiet anfallenden Flotationsschlämme sein. Die Versuche wurden mit Flotationsschlamm im Ausgangszustand (Serie I) und mit mechanisch vorentwässertem Flotationsschlamm (Se-

rie II) durchgeführt. Um dabei auch einen ersten Anhalt über einen eventuellen Einfluß von Art, Feinheit, Festigkeit und Erhärtungsverlauf des Zements zu bekommen, wurden die in Tafel 3 angegebenen Zemente nach DIN 1164 verwendet.

Tafel 3 Zemente für die Versuche mit Flotationsschlamm

Ver-suchs-serie	Zement nach DIN 1164	Druckfestigkeit 28 Tage N/mm ²	Spezifische Oberfläche cm ² /g	Hüttensand- bzw. Traßgehalt Gew.-%
I	PZ 55	65	6410	–
	PZ 35 F	50	2650	–
	HOZ 35 L	41	3180	75
II	PZ 55	63	5500	–
	PZ 35 F	50	4220	–
	HOZ 45 L	59	4400	46
	TrZ 35 L	50	4800	26

3.2.1.1 Versuche mit Flotationsschlamm im Ausgangszustand (Serie I)

Flotationsschlammengen von 1 l wurden in einer 1-l-Glasflasche mit einem elektrisch angetriebenen Flügelrührwerk (400 U/min) 30, 50, 75 und 100 g Zement nach Tafel 3 eine Minute lang zugemischt. Anschließend wurde die Glasflasche mit Deckel verschlossen und bis zu 24 Stunden nach der Zementzugabe das Absetzen des Flotationsschlammes und der Zement-Schlamm-Gemische bei etwa 20°C beobachtet und festgestellt.

Soweit möglich, wurde nach 24 Stunden das überstehende Wasser abgesaugt und teilweise analysiert sowie die Beschaffenheit der abgesetzten Masse augenscheinlich, durch Eindringen einer Bleistiftspitze von Hand und Teilweise mit Penetrometer (Eindringstab Durchmesser 3 mm, Gewicht 155 bis 302 g) untersucht.

3.2.1.2 Versuche mit vorentwässertem Flotationsschlamm (Serie II)

Flotationsschlammengen von 1 l wurden in einem Glasgefäß mit einem elektrisch angetriebenen Flügelrührwerk (350 U/min) 50 g Zement nach Tafel 3 eine Minute lang zugemischt. Anschließend wurde das Eindringen des Gemisches augenscheinlich beurteilt, das Gemisch in die Ringform des Penetrometers eingebracht und bis zu 14 Tagen nach der Zementzugabe das Eindringen eines Stahlstabes (Durchmesser 3 mm, Gewicht 300 g) festgestellt. Für den Eindringversuch wurde ein automatisches Prüfgerät verwendet, das kontinuierlich Messungen im zeitlichen Abstand von 4 Stunden und mehr gestattet. Während der Eindringversuche lagerten die Proben überwiegend bei 20°C und 95 % rel. Luftfeuchtigkeit (Lagerung „feucht“) und teilweise bei 20°C und 65 % rel. Luftfeuchtigkeit (La-

gerung „trocken“). Zur Überprüfung der Dauerhaftigkeit der Verfestigung wurden einige Proben 6 und 40 Tage nach der Zementzugabe einer 5 Monate dauernden Nebelkammerlagerung (20 °C und 100 % rel. Luftfeuchtigkeit) ausgesetzt.

3.2.2 Versuchsergebnisse

3.2.2.1 Versuche mit Flotationsschlamm im Ausgangszustand (Serie I)

Der im Ausgangszustand angelieferte Flotationsschlamm enthielt 28,9 g Feststoff je dm³ Schlamm und wies damit – bezogen auf den feuchten Schlamm – einen Wassergehalt von rd. 97 Gew.-% bzw. einen Feststoffgehalt von rd. 3 Gew.-% auf. Sein pH-Wert lag bei 7. Seine Dichte (Rohdichte) betrug im Anlieferungszustand 1,02 t/m³.

Absetzen der Feststoffe

Die Ergebnisse über das Absetzen der Feststoffe des Flotationsschlammes und der Zement-Flotationsschlamm-Gemische sind in Tafel 4 zusammengestellt. Während sich bei allen Zement-Flotationsschlamm-Gemischen bereits unmittelbar nach der Zementzugabe und dem Abstellen der Glasflaschen ein absinkender Feststoffspiegel einstellte, war ein Feststoffspiegel beim Flotationsschlamm ohne Zement erst nach etwa 10 bis 15 Minuten zu erkennen (siehe Bild 4). Die überstehende Flüssigkeit war beim Zement-Schlamm-Gemisch von Anfang an relativ klar, beim Flotationsschlamm ohne Zement aber selbst 20 Minuten nach Beginn des Versuchs noch recht trübe.

Tafel 4 Absetzen der Feststoffe von Flotationsschlamm und von Zement-Flotationsschlamm-Gemischen der Serie I

Zeit nach der Zementzugabe	Höhe des Feststoffspiegels in mm									
	Flotationsschlamm	Zement-Flotationsschlamm-Gemische mit								
		PZ 55			PZ 35			HOZ 35 L		
		100 g	75 g	50 g	100 g	75 g	50 g	30 g	50 g	30 g
0 min	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
2 min	–*)	–**)	115	107	–**)	79	102	117	122	120
5 min	–*)		91	76	67	125	49	49	58	71
7,5 min	–*)	–**)	64	58	–**)	47	44	47	56	56
10 min	45	69	60	55	78	44	41	43	44	44
15 min	42	64	56	51	51	42	39	40	39	39
20 min	39	61	53	50	47	42	38	39	38	37
30 min	36	57	50	47	45	41	37	39	37	36
45 min	34	53	48	46	44	41	37	39	37	36
1 h	32	53	47	45	44	41	37	39	37	36
24 h	23	52	47	45	44	41	37	39	37	36

*) nicht meßbar

***) nicht gemessen

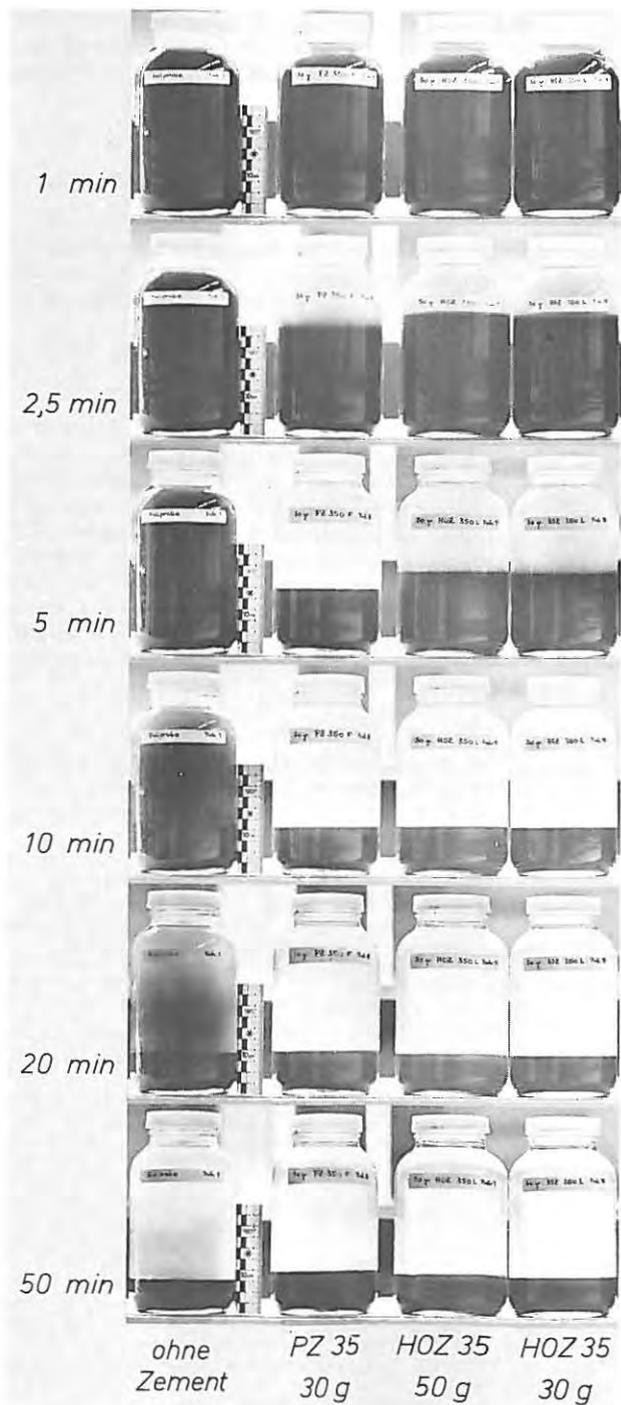


Bild 4
 Absetzen von unbehandeltem Flotationsschlamm ohne und mit Zement zu verschiedenen Zeiten nach der Zementzugabe (Schlammmenge je Gefäß 1 Liter)

Beim Flotationsschlamm ohne Zement war das sich beim Absetzen einstellende Sedimentvolumen etwa 45 Minuten nach Versuchsbeginn kleiner und beim Versuchsabbruch (48 Stunden nach Versuchsbeginn) mit einer Höhe von 21 mm deutlich kleiner als bei allen Zement-Schlamm-Gemischen.

In allen Fällen führte die Zementzugabe zu einem rascheren Absetzen der Feststoffe und zu einem größeren Sedimentvolumen. Die Absinkgeschwindigkeit des Sedimentspiegels der Zement-Schlamm-Gemische war bei Zementzugaben von 30 und 50 g/dm³ (bei größerem Zement auch von 75 g/dm³) von der Zementmenge praktisch unabhängig und besonders zu Anfang deutlich größer als bei größeren Zementzugaben. Sie war bei Gemischen mit PZ 55, der deutlich feiner war, in der Regel deutlich kleiner als bei den Gemischen mit PZ 35 F. Bei den Gemischen mit HOZ 35 L war sie lediglich zu Anfang etwas kleiner als bei den Gemischen mit PZ 35 F.

Bei den Zement-Schlamm-Gemischen war das Absinken des Sedimentspiegels durchweg nach etwa 30 Minuten, bei den Gemischen mit PZ 55 nach etwa 45 Minuten praktisch abgeschlossen. Das sich dabei einstellende Sedimentvolumen war in der Regel beim Gemisch mit geringerer Zementzugabe kleiner als beim Gemisch mit größerer Zementzugabe und bei Gemischen mit PZ 35 F und HOZ 35 L kleiner als bei Gemischen mit PZ 55.

Beschaffenheit der abgesetzten Feststoffe

Die abgesetzten Feststoffe des Flotationsschlammes ohne Zement waren nicht verfestigt und wurden selbst 5 Monate nach dem Absetzversuch bei der geringsten Bewegung der Flasche oder des überstehenden Wassers wieder aufgewirbelt. Aus diesem Grunde konnte dabei das über den abgesetzten Feststoffen stehende Wasser nicht abgesaugt werden.

Alle Zement-Flotationsschlamm-Gemische waren 24 Stunden nach Beginn des Absetzversuches so verfestigt, daß Lage und Volumen des Sediments durch Umdrehen der mit Sediment und Wasser gefüllten Flasche augenscheinlich nicht mehr verändert wurden. Das über dem Sediment stehende Wasser konnte ohne Veränderung des Sediments allgemein 16 Stunden und in einigen Fällen 5 Stunden nach Beginn des Absetzversuches abgesaugt werden. Zemente höherer Festigkeitsklasse und größere Zementmengen führten zu stärkerer Verfestigung. Bei der Überprüfung des Sediments mit dem Penetrometer und durch Einstecken einer Bleistifthülse nach einem Tag und später waren deutliche Unterschiede in der Verfestigung festzustellen. Feststoffsedimente mit Zement höherer Festigkeitsklasse oder mit größerer Zementzugabe ergaben kleinere Eindringtiefen des Penetrometerstabes. Die Bleistifthülse ließ sich 24 Stunden nach Beginn des Absetzversuches in Sedimente mit Zement höherer Festigkeitsklasse oder mit größerer Zementzugabe nur mit erhöhtem Druck und unter Aufbrechen des Probekörperandes eindrücken, bei Sedimenten mit 30 g Zement Z 35 je dm³ Schlamm jedoch leicht und ohne Randbeschädigung (plastische Verformung).

Zusammensetzung des überstehenden Wassers

Das nach 24 Stunden nach Beginn des Absetzvorgangs über den Sedimenten mit Zementzugabe abgezogene Wasser war augen-

scheinlich völlig klar und wies einen pH-Wert über 11,5 auf. Nach den „Hinweisen für das Einleiten von Abwasser aus gewerblichen und industriellen Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage“ [8] darf dieses Wasser nicht ohne zusätzliche Maßnahmen in einen Vorfluter eingeleitet werden, weil der pH-Wert größer als 9,5 ist.

3.2.2.2 *Versuche mit vorentwässertem Flotationsschlamm (Serie II)*

Der als mechanisch vorentwässert angelieferte Flotationsschlamm enthielt 350 g Feststoff je dm^3 Schlamm und wies damit – bezogen auf den feuchten Schlamm – einen Wassergehalt von 71 Gew.-% bzw. einen Feststoffgehalt von 29 Gew.-% auf. Seine Dichte (Rohdichte) betrug im Anlieferungszustand $1,20 \text{ t/m}^3$. Dieser Flotationsschlamm war damit noch feststoffärmer als im allgemeinen üblich, da nach Angaben von Fachleuten der Kohleaufbereitung vorentwässertem Flotationsschlamm in der Regel etwa 500 g Feststoff je dm^3 Schlamm und damit – bezogen auf den feuchten Schlamm – einen Wassergehalt von rd. 61 Gew.-% bzw. einen Feststoffgehalt von rd. 39 Gew.-% aufweist. Die mit dem angelieferten vorentwässerten Schlamm durchgeführten Untersuchungen liegen damit auf der sicheren Seite, weil sich Schlämme mit größerem Feststoffgehalt mit noch geringerem Aufwand verfestigen lassen.

Augenscheinlich wurde festgestellt, daß der vorentwässerte Flotationsschlamm durch die Zugabe von 50 g Zement je dm^3 Schlamm in allen Fällen sofort nach dem Zumischen des Zements wesentlich eingedickt wurde. Der Flotationsschlamm ging dadurch vom dünnflüssigen in einen dickflüssigen Zustand mit gutem Zusammenhaltvermögen über.

Die wesentlichsten Versuchsergebnisse über die Verfestigung des vorentwässerten Flotationsschlammes sind in Tafel 5 zusammengestellt und in Bild 5 aufgetragen. Die Ergebnisse zeigen, daß alle Gemische bereits nach wenigen Stunden deutlich anstiffen und daß mit der Zeit die Eindringtiefe abnimmt, d. h. ihre Verfestigung zunimmt. Bei den hier durchgeführten, lediglich orientierenden Untersuchungen nahm die Eindringtiefe bei den trocken gelagerten Proben deutlich stärker ab als bei den feucht gelagerten Proben und bei den feucht gelagerten Proben mit HOZ 45 L deutlich stärker als bei den feucht gelagerten Proben mit den übrigen Zementen. Bei einer anschließenden mehrwöchentlichen Lagerung in einer Nebelkammer bei 20°C und 100 % rel. Luftfeuchtigkeit wurde die Verfestigung der Proben nicht beeinträchtigt.

3.2.3 *Folgerungen*

Die zur Behandlung von Flotationsschlamm durchgeführten Untersuchungen haben zwar nur orientierenden Charakter und müssen für endgültige Aussagen auch in Detailfragen noch erweitert werden. Die Ergebnisse lassen aber erkennen, daß eine Behandlung mit Zement eine wirksame und wirtschaftliche Möglichkeit für die Entsorgung von Flotationsschlamm darstellen kann.

Bei Flotationsschlamm im Ausgangszustand können durch das Zumischen von Zement (Serie I) das Absetzen der Feststoffe wesentlich beschleunigt und die abgesetzten Feststoffe so verfestigt wer-

Tafel 5 Eindringtiefe in die Zement-Flotationsschlamm-Gemische der Serie II

Flotations- schlamm	Lagerungs- art	Eindringtiefe in mm nach													
		0 Std.	8 Std.	1 Tag		3 Tagen		5 Tagen		7 Tagen		10 Tagen		14 Tagen	
				Mittel	Einzel- werte	Mittel	Einzel- werte	Mittel	Einzel- werte	Mittel	Einzel- werte	Mittel	Einzel- werte	Mittel	Einzel- werte
PZ 55	feucht	≧ 40	39	36	37	30	29	25	24	26	24	20	20	-	18
				38		28		22		20		18			
	trocken	≧ 40	35	28	-	9	-	7	-	5	-	-	-	-	-
PZ 35 F	feucht	≧ 40	39,5	38	39	36	36	34	34	34	33	32	31	29	26
				39		36		34		32		30		22	
	trocken	≧ 40	39,5	39	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-
HOZ 45 L	feucht	≧ 40	39	36	36	13	14	4	4	1	2	-	-	-	-
				36		14		4		3		-		-	
TrZ 35	feucht	≧ 40	39	37	-	32	-	27	-	25	-	-	-	-	-

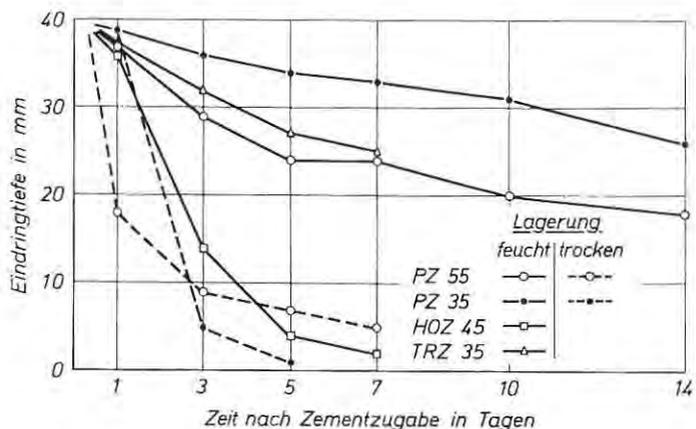


Bild 5 Verfestigung von vorentwässertem Flotationsschlamm infolge Zementzugabe in Abhängigkeit von Art und Festigkeitsklasse des Zements sowie den Lagerungsbedingungen

den, daß das überstehende Wasser abgesaugt und die abgesetzten Feststoffe ausgeräumt, auf Bändern oder im LKW transportiert und auf Halden oder Spezialdeponien umweltfreundlich abgelagert werden können. In weiteren Versuchen wäre noch zu klären, ob Absetzen und Verfestigen der Feststoffe durch die Zugabe von Zement und von Sedimentierhilfen noch weiter beschleunigt werden können.

Das bei diesen Versuchen abgesaugte Wasser kann nach den derzeitigen Bestimmungen [8] wegen des hohen pH-Wertes jedoch ohne zusätzliche Behandlung nicht in den Vorfluter eingeleitet werden. Dieses Wasser kann allerdings unverändert im betrieblichen Kreislauf der Kohleaufbereitung weiterverwendet werden.

Der Anfall an überstehendem Wasser und eine zusätzliche Behandlung des abgesaugten Wassers vor dem Einleiten in einen Vorfluter können jedoch vermieden werden, wenn mechanisch vorentwässertes Flotationsschlamm mit Zement behandelt wird (Serie II). Dieser Schlamm wird durch das Zumischen geeigneter Zementmengen sofort so eingedickt, daß er dickflüssig ist und ggf. zusammen mit Waschbergen auf Bändern oder LKW transportiert und auf Halden oder Spezialdeponien abgelagert werden kann. Er wird bereits nach wenigen Tagen so verfestigt, daß Verfestigung und Struktur des Zement-Schlamm-Gemisches durch Feuchtigkeitszutritt nicht mehr beeinträchtigt werden. Der Grad der Verfestigung kann durch die Zugabemenge an Zement reguliert werden. Dieses Behandlungsverfahren dürfte bei dem heute üblichen Zechenbetrieb sofort einsetzbar sein. Dies würde ein rationelleres Arbeiten erlauben und den Flotationsteich-Betrieb erübrigen. Kostenmäßig dürfte ein solches Verfahren durch die gesamten zur Zeit anfallenden Betriebskosten (einschließlich der Anlage- und Betriebskosten für die Flotationsteiche) etwa gedeckt werden können.

4. Anderer Industrieschlamm

Mit anderem Industrieschlamm wurden teilweise von anderen Stellen Versuche zur Entsorgung des Schlammes mit Zement durchgeführt. Wegen der sehr unterschiedlichen Zusammensetzung und Aufgabenstellung sind jeweils auf den speziellen Fall abgestimmte Eignungsversuche erforderlich. Erfahrungsberichte zeigen, daß sich die aufgrund der Eignungsversuche und der Fachberatung im Einzelfall erwarteten Ergebnisse einstellen. In vielen Fällen war es erst durch eine Zementzugabe und die dadurch eintretende Verfestigung bzw. Verfestigung des Schlammes möglich, ein transport- und ablagerungsfähiges Gut herzustellen, das den Ablagerungsbestimmungen entsprach.

In diesem Zusammenhang ist auch die Zement- und Betonverwendung bei der Entsorgung des radioaktiven Abfalls zu nennen. Zu diesen Abfällen zählen auch tritiumhaltige Wässer und Feststoffe, die sicher eingebettet werden müssen. Die Einbettung von schwach- und mittelaktiven Stoffen in Zementstein gehört seit Jahren zu den angewendeten Entsorgungstechnologien. Bei stark aktiven Stoffen kann Beton angewendet werden. Auch für zukünftige Endlagerungen von radioaktivem Abfall werden entsprechende Verfahren beraten und als Lösungsmöglichkeit angesehen. Giftige Stoffe können in ähnlicher Form wie die radioaktiven Stoffe je nach Art und Zusammensetzung mit Zement oder Beton entsorgt werden.

5. Zusammenfassung

Orientierende Untersuchungen lassen erwarten, daß die Entsorgung von kommunalem Klärschlamm und von Flotationsschlamm aus der Kohleaufbereitung durch eine Behandlung mit Zement vereinfacht und verbessert werden kann. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen gestatten nachstehende Folgerungen:

5.1 Bei kommunalem Klärschlamm bewirkt eine Zementzugabe eine Reduzierung des Wassergehalts sowie ein Ansteifen bzw. eine Verfestigung. Der Grad des Ansteifens bzw. der Verfestigung ist abhängig von dem Wassergehalt des Ausgangsschlammes, von Festigkeitsklasse und Menge des Zements und von der Lagerungsdauer des Zement-Schlamm-Gemisches und kann mit der Scherfestigkeit des Zement-Schlamm-Gemisches beurteilt werden.

5.2 Durch die Behandlung des Klärschlammes mit Zement entsteht ein bodenähnliches Gut, das auf Deponien abgelagert werden kann, ohne die Standfestigkeit der Deponie zu beeinträchtigen und wesentliche Teile seines Wassers abzugeben.

5.3 Eine Behandlung von Flotationsschlamm im Ausgangszustand mit Zement führt zu einem schnellen Absetzen und einer Verfestigung der Feststoffe. Schon nach kurzer Zeit ist das überstehende Wasser praktisch klar und absaugbar und lassen sich die verfestigten Absetzstoffe als bodenähnliches Gut ausräumen, auf Bändern transportieren und auf Halden ablagern.

5.4 Vorentwässerter Flotationsschlamm zeigt bereits unmittelbar nach der Zementzugabe ein so weitgehendes Eindicken, daß ein Transportieren auf Bändern möglich ist. Mit Zement verfestigter vorentwässerter Flotationsschlamm kann ohne zusätzliche Maß-

nahmen, z. B. auf Waschbergehalden, deponiert werden. Dadurch kann der Betrieb von Schlammteichen entfallen.

5.5 Bei beiden Flotationsschlammarten ist mit wachsender Zementzugabemenge eine größere und raschere Verfestigung zu erwarten. Für ein Transportieren und ein Ablagern dürfte jedoch eine Zementmenge von 50 kg je m³ Schlamm ausreichend sein.

Weitere, von anderen Stellen durchgeführte Untersuchungen und Anwendungen mit Zement und Beton zeigen günstige Voraussetzungen für eine sichere und umweltfreundliche Entsorgung auch von anderen Schlammarten, z. B. aus der Industrie, sowie von radioaktiven und giftigen Abfällen.

SCHRIFTTUM

- [1] Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen sowie von flüssigen bis festen Sonderabfällen unter Berücksichtigung von neuen Forschungsergebnissen und Erfahrungsberichten installierter Anlagen. Tagungsbericht Nr. 21, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 1976.
- [2] Hoffmann, J., D. Köhlhoff und M. Gassen: Frischschlammfall – Reststoffmengen – Beseitigung. Korrespondenz Abwasser 25 (1978) H. 4, S. 96/106.
- [3] Merkblatt Nr. 3: Die geordnete Ablagerung (Deponie) fester und schlammiger Abfälle aus Siedlung und Industrie. Bundesgesundheitsblatt 12 (1969) Nr. 22, S. 362/370.
- [4] Internationaler Erfahrungsaustausch über Grundlagen, Errichtung und Betrieb von geordneten Deponien. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 7, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1976.
- [5] Klärschlammverfestigung mit Zement: Unveröffentlichte Untersuchungsberichte der FMPA Bauwesen in Stuttgart, verfaßt Januar 1976 und April 1977.
- [6] Grundzüge der Steinkohlenaufbereitung. Mitteilung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum, Verlag C.Th. Kartenberg, Herne 1965.
- [7] Supp, A.: Stand der Flotationstechnik in der Steinkohlenaufbereitung. Technische Mitteilungen Krupp – Werksberichte 35 (1977) H. 1, S. 43/47.
- [8] Hinweise für das Einleiten von Abwasser aus gewerblichen und industriellen Betrieben in eine öffentliche Abwasseranlage. BDI-Drucksache Nr. 90 (1970).