

# Bau von Deponieausgleichsschichten aus mineralischen Reststoffen/Abfällen

Dr. Rainer Hartmann, Ges. für angewandte Biologie und Geologie mbH, Göttingen

Keywords: Klärschlamm (sewage sludge), Schlammkonditionierung (sludge-stabilisation), Deponieoberflächenabdeckung (landfill lining systems), Deponierekultivierung (landfill-recultivation)

## 1 Einführung

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 07.10.1996 gibt der Verwertung von Abfällen eindeutig Vorrang vor deren Beseitigung. Mit Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung vom 24.07.2002 ist zu erwarten, dass ab Juni 2005 ein erheblicher Anteil der bundesweit vorhandenen 1.905 Siedlungsabfalldeponien stillgelegt wird. Insofern ist es naheliegend, dass gerade in diesem Zusammenhang in vielen Fällen geprüft wird, in wieweit inerte Abfälle zur Rekultivierung dieser Deponien Verwendung finden können. Auch besteht die Möglichkeit, durch Umwidmung von Hausmülldeponien in Mineralstoff- oder Monodeponien die ehemals mit erheblichem technischen und finanziellen Aufwand hergestellten Anlagen bis zum Ende ihrer Restlaufzeit weiter zu betreiben. Die Zulässigkeit der Verwertung von Reststoffen/Abfällen im Deponiebau hat der EuGH u.a. in seinem Urteil vom 27.02.2003 (Rechtssachen C-307/00-C-311/00) bestätigt. Eine Verwertung von Abfällen liegt hiernach stets dann vor, wenn der Abfall eine sinnvolle Aufgabe erfüllt, indem er andere natürliche Ressourcen ersetzt, die ansonsten für diese Maßnahme hätten verwendet werden müssen. Mit der bevorstehenden Einführung der „Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage“, trägt das Bundesumweltministerium diesem Rechnung und schafft die Grundlage für ein bundeseinheitliches Vorgehen bei der Verwertung im Deponiebau. Ungeachtet dessen wird zumindest für eine Übergangszeit die auf das Papier der LAGA „Einsatz von Abfällen im Deponiebau“ aus dem Jahre 2001 aufbauende Technische Regel des LAB „Anforderungen an die Verwertung von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage“ vom 30.03.2004, welche über die Landesbergämter eingeführt wurde, bei bergrechtlich genehmigten Anlagen weiterhin ihre Gültigkeit behalten.

## 2 Geeignete Abfallarten

Neben einer Vielzahl in kleineren Mengen anfallender Abfälle sind vor allem die in Tabelle 1 aufgelisteten Massenabfälle zur Profilierung und Restverfüllung von Deponien aufgrund ihrer bautechnischen Eigenschaften und Verfügbarkeit von Bedeutung.

Bauschutt kann im Rahmen der Verfüllarbeiten oder Profilierung z.B. im Unterbau von Baustraßen Verwendung finden. Formsande, vor allem aus Eisengießereien, können besonders, wenn diese zur Metallreststoffentfrachtung zuvor gesiebt wurden, als Sandersatz z.B. unterhalb von Kunststoffdichtungsbahnen verwertet werden. Die häufig kostengünstige Verfügbarkeit dieser Formsande wiegt deren Nachteile beim Einschleppen auf der Deponieoberfläche (leichte Staubeentwicklung, evtl. Eindringen in

Radlager und Erhöhung des Verschleißes) im allgemeinen auf. REA-Gipse und konditionierte Schlämme können häufig als Ersatz für tonhaltige Dichtstoffe verwendet werden. Bedingt durch die starke Homogenisierung dieser Materialien bei der zuvor erforderlichen Konditionierung insbesondere der Schlämme kann ein hochwertiger Dichtstoff erzeugt werden.

**Tab. 1** Massenabfälle, geeignet zur Profilierung und Restverfüllung von Deponien

<b>EWC-Code</b>	<b>Bezeichnung</b>
<b>1701</b>	<b>Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Materialien auf Gipsbasis</b> (170101, 170102, 170103, 170802) (BAUSCHUTT [nicht Baustellenabfälle] – 31409)
<b>170504</b>	<b>Erde und Steine</b> (BODENAUSHUB)
<b>100907</b>	<b>Formsande</b>
<b>100105</b>	<b>REA-Gips</b>
<b>190206</b> <b>190805</b>	<b>Schlämme aus der Wasseraufbereitung</b> (nach vorheriger Konditionierung)

### 3 Fallbeispiel Lappenberg - Klärschlammverwertung als Stütz- und Dichtmaterial

#### 3.1 Örtliche Situation und Entwicklungshistorie

Im Rahmen der Rekultivierung einer großen Altdeponie im Stadtgebiet von Göttingen, Niedersachsen, mussten u.a. rund 44.000 m<sup>3</sup> Industrie- und Klärschlämme vor Beginn der eigentlichen Rekultivierungsphase beseitigt werden. Hierzu wurde ein Konditionierungsverfahren angewandt, welches aus den ursprünglich breiigen Schlämmen einen Baustoff zur Herstellung von Stützkörpern und Profilierungs- bzw. Dichtschichten lieferte. Parallel durchgeführte Versuche mit frisch anfallenden kommunalen Klärschlämmen zeigten, dass auch unter wirtschaftlichen Aspekten eine derartige Schlammkonditionierung eine interessante Alternative zur Nutzung von Deponierestvolumina darstellen kann.

Die Altdeponie Lappenberg befindet sich im nördlichen Stadtbereich von Göttingen unmittelbar zwischen den Gleisanlagen der Deutschen Bahn AG und der Abwasserreinigungsanlage der Stadt Göttingen. Die Deponie wurde im Zeitraum von 1914 bis zum 10.07.1971 als Abfallbeseitigungsanlage zunächst durch die Gemeinde Weende, später durch die Stadt Göttingen genutzt. Auf ihr wurden neben Hausmüll auch gewerbliche und industrielle Abfälle verbracht. Insgesamt lagern hier rund 0,9 Mio. m<sup>3</sup> Abfälle. Der Deponiekörper ragt aufgrund der damaligen Betriebsweise im Kippkantenbetrieb als steiler, 31 m hoher Schüttkegel empor. Mitte der 80er Jahre wurde die östliche Böschung im Rahmen des Baus der ICE-Schnellbahntrasse teilweise abgetragen, mit einem Stützkörper gesichert und gezielt bepflanzt.

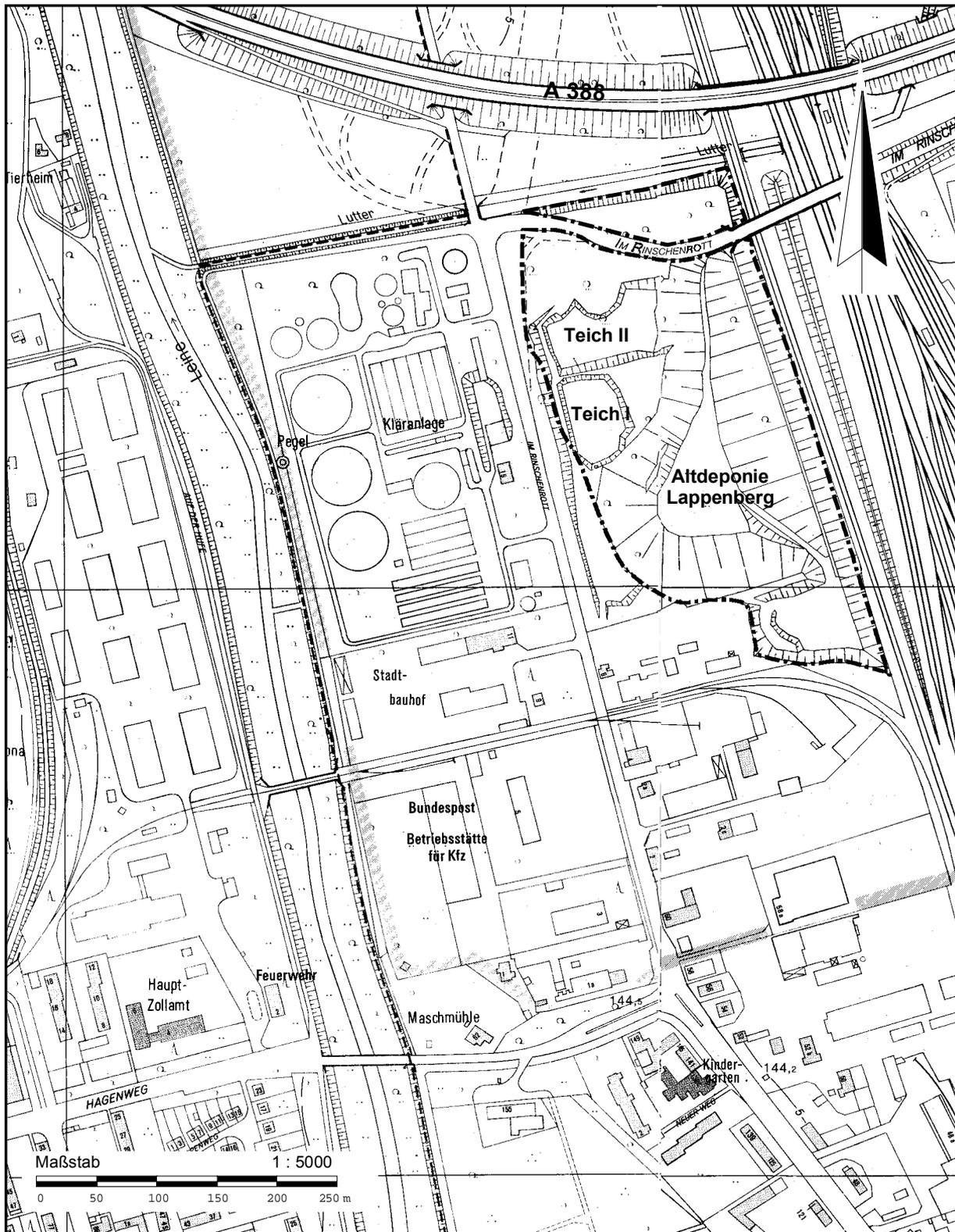
Zur Entsorgung von nicht konditionierten ausgefaulten Klärschlämmen sowie von Schlämmen aus der Fäkalschlammabfuhr wurde unmittelbar vor dem westlichen Böschungsfuß der damals noch in Betrieb befindlichen Deponie Lappenberg parallel zur Straße „Im Rinschenrott“ ein bis zu 5 m hoher Wall aufgeschoben. Der Bereich zwischen Deponiehang und Wall wurde in zwei Ablagerungspolder unterteilt (sog. Teich I im Süden und Teich II im Norden der Altablagerung). In diese Polderflächen wurde fortan der nicht konditionierte Schlamm verbracht. Zur Ablagerung kamen im wesentlichen folgende Schlämme:

- Teich I: Industrie- und Klärschlämme aus Kleinkläranlagen, rd. 26.000 m<sup>3</sup>
- Teich II: überwiegend Klärschlämme aus der kommunalen Kläranlage, Gesamtmenge rd. 18.000 m<sup>3</sup>.

Die Schlamm-Mächtigkeit in den beiden Teichen betrug zwischen 5,5 m (Teich I) und 4,8 m (Teich II). Die beiden Schlammteiche lagen unmittelbar am Fuß der Altablagerung, welche sich mit einer steilen Böschung mit einer Böschungsneigung von bis zu 1:1,5 rund 30 m über die Schlammteichoberfläche erhob. Eine rechnerische Standsicherheit der Deponieböschung war nicht gegeben. Die erforderliche Mindeststandsicherheit von  $\eta = 1,4$  nach DIN 4084 (alt) wurde sowohl gemäß Berechnung nach dem Gleitkreisverfahren wie auch nach dem Polygonzugverfahren nicht erreicht.

Die Beschickung des Teiches I erfolgte überwiegend mittels Saugwagen. Nach Berichten früherer Mitarbeiter der Deponie fuhren die Saugwagen auf den Deponietop und entleerten den Tank über die Deponiewestböschung in den südlichen Schlammteich. Teich II wurde im wesentlichen über eine Schlammleitung direkt von der rund 100 m entfernt gelegenen Abwasserreinigungsanlage der Stadt Göttingen beschickt. Abbildung 1 zeigt die örtliche Situation vor Beginn der Sanierungs- und Rekultivierungsarbeiten im Jahre 2000.

Im Jahre 1970 ereignete sich ein Böschungsrutsch am Westhang der Deponie Lappenberg. Der Hausmüll rutschte hierbei in die zu diesem Zeitpunkt offenbar bereits weitgehend gefüllten Schlammteiche hinein. Die eingelagerten Fäkalschlämme wurden über den westlichen Randwall gedrückt und überfluteten die Straße „Im Rinschenrott“ bis zu einer Mächtigkeit von rund 1 m. Die hierdurch verursachten Massenverluste und Veränderungen in der Größe der Schlammteiche sind nicht dokumentiert. Infolge des Böschungsrutsches wurden die Schlämme im östlichen Randbereich von Teich I mit Hausmüll überdeckt.



**Abb. 1** Lageübersicht der Altdeponie Lappenberg im Stadtgebiet von Göttingen sowie der beiden Schlammenteiche.

Die Festigkeit der eingelagerten Schlämme muss zum Zeitpunkt des Böschungsrutsches im Jahre 1970 sehr gering gewesen sein. Eine wesentliche Konsolidierung der Schlämme war bis zum Beginn der Sanierungsarbeiten nicht erfolgt. Untersuchungen unseres Büros im Jahre 1986 im Auftrage des Stadtreinigungsamtes der Stadt Göttingen (HARTMANN UND WEINBERG 1986) ergaben unter einer geringmächtigen, durch Wurzelfilz verfestigten, etwa 30 cm mächtigen Oberfläche breiige Schlämme bis zur Sohle der Teiche in maximal 4,8 m unter Geländeoberfläche. Durchgeführte Leichte Rammsondierungen (DPL 5) nach DIN 4094 zur Prüfung der Lagerungsdichte ergaben teilweise das Einsinken des Sondiergestänges unter der Eigenlast bis zu 3,6 m. Teich I konnte zum damaligen Zeitpunkt, d.h. rund 15 Jahre nach Einstellung der Deponierung, nicht untersucht werden, da trotz der winterlichen Witterung ein gefahrloses Betreten der Teichoberfläche nicht möglich war. Dieser Zustand hielt bis zum Beginn der Schlamnteichsanierung im Jahre 2000 an. Die Teiche waren mit einer aus Seggen, Binsen und Rohrkolben bestehenden Feuchtplächenvegetation bestanden. Im Teich I war noch eine geringmächtige freie Wasserfläche ausgebildet. Auf Teich II kam es nur nach längeren Regenperioden zur kurzfristigen Ausbildung einer freien Wasserfläche. Vereinzelt ragten aus den Teichen Reste von Müll (Altreifen, Fassreste etc.) heraus. Die aufgeschütteten Randwälle sowie der Deponiekörper waren mit einer Ruderalvegetation überwiegend aus Holunder bestanden.

Nach der Stilllegung der Deponie Lappenberg wurde bereits mehrfach versucht, die Schlamnteiche trockenzulegen bzw. zu verfestigen. Konzepte verschiedener Planer, wie z.B. die Überdeckung mit Bodenaushub, scheiterten jedoch stets an der mangelhaften Entwässerung und der sich hieraus ergebenden geringen Standfestigkeit der Schlämme. Bedingt durch die Lage der Schlamnteiche unmittelbar am Deponiefuß war ferner eine Abdeckung und Rekultivierung der Deponie Lappenberg ohne vorherige Entleerung der Schlamnteiche nicht durchführbar.

Umfangreiche Laboranalysen hatten ergeben, dass die Schlämme nur ein niedriges Schadstoffpotential aufweisen, so dass ein Verbleib dieser Schlämme im Bereich der Altdeponie möglich erschien. Voraussetzung war allerdings, dass aus den breiigen Schlämmen mit einem Wassergehalt im Mittel von 65 Gew.-% ein stichfestes, einbaufähiges Material durch die Anwendung geeigneter Konditionierungsverfahren hergestellt werden konnte. Laborversuche ergaben, dass sowohl bei Konditionierung mittels Kalk als auch bei Einsatz von güteüberwachter Braunkohlenasche ein geeignetes, einbaufähiges Material erzeugt werden kann. Als Vorgabe im Rahmen der Ausschreibung wurden daraufhin bestimmte Qualitätskriterien des herzustellenden konditionierten Materiales vorgegeben. Hierzu zählte vor allem eine zu erreichende Scherflügel-festigkeit innerhalb von 6 Stunden nach erfolgter Konditionierung von 25 MN/m<sup>2</sup>. Das zum Einsatz kommende Konditionierungsverfahren durfte zudem den Schadstoffgehalt des konditionierten Materiales im Vergleich zum Ausgangsmaterial nicht erhöhen und musste langzeitstabil sein. Angebotene Konditionierungsverfahren, die auf eine Zumischung von Sägemehl o.ä. basierten, wurden nicht näher berücksichtigt, da die mikrobielle Aktivität den Anfall von belastetem Sickerwasser erwarten ließ und zudem eine Langzeitstabilität als nicht gewährleistet erschien.

### **3.2 Angewandtes Konditionierungsverfahren**

Mit der Räumung der Schlamnteiche sowie der Konditionierung der Schlämme wurde Ende Februar 2000 begonnen. Die Arbeiten wurden im August 2000 abgeschlossen.

Die Schlammkonditionierung erfolgte mittels einer Dreikomponenten Mischanlage. Um eine homogene Mischung herbeizuführen, wurden die aus dem Schlammteich stammenden Klärschlämme mittels Radlader ausgebaut und dem ersten Mischbehälter zugeführt. Die Behältergröße mit ca. 21 m<sup>3</sup> war ausreichend für eine Mischdauer von einer halben Stunde. Im zweiten Behälter mit einer Größe von ca. 10 m<sup>3</sup> wurde vorgemischtes Material vorgehalten. Dem dritten Behälter wurde aus der stationären Siloanlage nach Bedarf Konditionierungsmittel zugeführt. Als Konditionierungsmittel wurde güteüberwachte Braunkohlenasche aus dem Braunkohlekraftwerk Buschhaus eingesetzt (Tab. 2), welche in Silozügen auf der Baustelle angeliefert wurde. In Abhängigkeit vom Wassergehalt betrug die benötigte Braunkohlenaschemenge zwischen 180 und 250 kg/m<sup>3</sup>. Der mittlere Tagesdurchsatz an Klärschlamm mit einem Wassergehalt von ca. 65 % betrug rund 400 m<sup>3</sup>. Die erreichte maximale Tagesleistung betrug um 1.000 m<sup>3</sup>.

**Tab. 2** Typische Zusammensetzung der verwendeten Braunkohlenaschen

Aussehen Farbe Geruch	Asche von Feinsandkorngröße hellgrau ohne	
Wassergehalt	< 0,1	Gew.-%
pH-Wert (in H <sub>2</sub> O)	13,11	
Arsen, ges.	2,3	mg/kg TS
Barium	92	mg/kg TS
Bor	500	mg/kg TS
Blei	17	mg/kg TS
Cadmium	< 0,3	mg/kg TS
Chrom, ges.	34	mg/kg TS
Kobalt	9,6	mg/kg TS
Kupfer	15	mg/kg TS
Lithium	69	mg/kg TS
Mangan	120	mg/kg TS
Nickel	8,6	mg/kg TS
Quecksilber	< 0,2	mg/kg TS
Thallium	< 0,3	mg/kg TS
Vanadium	110	mg/kg TS
Zink	33	mg/kg TS
Zinn	8,2	mg/kg TS
EOX-Gehalt:	< 1	mg/kg TS

noch Tabelle 2:

<b>Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)</b>		
Naphthalin	< 0,01	mg/kg TS
Acenaphthylen	< 0,01	mg/kg TS
Acenaphthen	< 0,01	mg/kg TS
Fluoren	< 0,01	mg/kg TS
Phenanthren	0,02	mg/kg TS
Anthracen	< 0,01	mg/kg TS
Fluoranthren	< 0,01	mg/kg TS
Pyren	< 0,01	mg/kg TS
Benzo-(a)-anthracen	< 0,01	mg/kg TS
Chrysen	< 0,01	mg/kg TS
Benzo-(b)-fluoranthren	< 0,01	mg/kg TS
Benzo-(k)-fluoranthren	< 0,01	mg/kg TS
Benzo-(a)-pyren	< 0,01	mg/kg TS
Indeno-(1,2,3-cd)-pyren	< 0,01	mg/kg TS
Dibenzo-(ah)-anthracen	< 0,01	mg/kg TS
Benzo-(ghi)-perylene	< 0,01	mg/kg TS
Summe* PAK nach EPA	0,02	mg/kg TS
*) Summe der nachgewiesenen Einzelverbindungen		

Das behandelte Material wurde mittels Förderband ausgetragen und der Stadtreinigung Göttingen zum weiteren Einbau auf der Altdeponie übergeben. Durch diese klare Trennung der Zuständigkeiten konnte über die gesamte Bauphase sichergestellt werden, dass nur bautechnisch geeignete Materialien auf den Altdeponiekörper gelangten.

Das konditionierte Material wurde zum Aufbau der mineralischen Dichtung im Bereich der Deponiesüdfäche sowie zur Herstellung eines Stütz- und Dichtkörpers nach der Räumung von Teich I im Bereich der hier sehr steilen Deponieböschung verwendet. Der Einbau des Materiales erfolgte mittels Raupe und Glattwalze in Lagen von etwa 30 cm bis 60 cm Mächtigkeit. Jede fertiggestellte Lage wurde vor dem erneuten Überschütten durch die überwachenden Geologen hinsichtlich der Einhaltung der vorgegebenen Flügelscherfestigkeiten nach DIN 4094-4 sowie mittels dynamischem Plattendruckversuch nach TP BF-StB Teil B 8.3 überprüft und freigegeben. Stichprobenartig erfolgte ein Abgleich mittels Plattendruckversuch nach DIN 18134. Die Wasserdurchlässigkeit der konditionierten Klärschlämme betrug um  $1 \cdot 10^{-10}$  m/s.

Aufgrund der guten Erfolge bei der Schlammkonditionierung im Zuge der Rekultivierung der Altdeponie Lappenberg und des raschen Arbeitsfortschrittes wurde von der Stadtentwässerung Göttingen eine versuchsweise Konditionierung von ausgefaulten und vorentwässerten Klärschlämmen aus der laufenden Produktion der benachbart gelegenen kommunalen Abwasserreinigungsanlage angeregt. Hierbei kam sowohl polymerstabilisierter Klärschlamm als auch kalkstabilisierter Klärschlamm zur Anwendung.

Auch dieses Material ergab nach Zugabe von Braunkohlenaschen zwischen  $150 \text{ kg/m}^3$  und  $250 \text{ kg/m}^3$  eine hohe Standfestigkeit sowie einen hohen Durchlässigkeitsbeiwert zwischen  $7,7 \cdot 10^{-10}$  m/s und  $4,5 \cdot 10^{-9}$  m/s, wobei polymerbehandelter Klärschlamm eine höhere Zugabe an Braunkohlenaschen erforderte als kalkstabilisierter Klärschlamm (HARTMANN et al. 2004). Die Mindestanforderungen an mineralische Dichtungen gemäß TAsie hinsichtlich des Durchlässigkeitsbeiwertes von  $\leq 5 \times 10^{-9}$  m/s können somit durch

Anwendung geeigneter Konditionierungsverfahren auch bei der Klärschlammkonditionierung erreicht werden.

Die Verfestigung der Schlämme erfolgt primär durch die Reaktion der in den Braunkohlenaschen enthaltenen Kalke mit den Silikaten unter Bildung von zementartigen Calciumsilikaten (sog. Puzzulanreaktion). Hierbei wird nicht nur ein stabiles Silikatskelett aufgebaut, sondern gleichfalls Wasser chemisch gebunden. Ferner kommt es zu einem Zuwachsen des Porenraumes mit den sich bildenden Calciumsilikaten. Diese Reaktion ist damit vergleichbar mit der Herstellung von wasserglasvergüteten Abdichtungen (BRÄCKER 2000).

### 3.3 Emissionsproblematik bei der Schlammkonditionierung

Bedingt durch die in den Klärschlämmen sowohl aus der Altablagerung als auch aus dem laufenden Anfall der Abwasserreinigungsanlage Göttingen enthaltenen Ammonium-Stickstoffmengen kommt es während der eigentlichen Konditionierung wie auch beim Einschleiben zur Freisetzung von Ammoniak. Ursache ist die eintretende pH-Werterhöhung beim Einmischen der calciumoxidreichen Braunkohlenaschen. Hierdurch wird das in den Schlämmen enthaltene Ammonium in gasförmiges Ammoniak umgesetzt. Die infolge exothermer Reaktion des Calciumoxides eintretende Aufheizung des konditionierten Klärschlammes auf Temperaturen bis zu 60 °C führt nicht nur zu einer Freisetzung von Wasserdampf, sondern auch zum Abdampfen des Ammoniaks.

Durchgeführte Arbeitsplatzmessungen ergaben an der Konditionierungsanlage zu keiner Zeit eine Überschreitung des zulässigen MAK-Wertes von 50 ppm. Beim Einschleiben des Materiales traten hingegen in der Fahrerkabine der Raupe an windstillen Tagen Spitzenkonzentrationen bis zu 75 ppm auf. Aus Arbeitsschutzgründen wurde in diesen Fällen zunächst das Einschleiben unterbrochen. Da bereits auch deutlich geringere Ammoniakkonzentrationen als 50 ppm zu einer Belästigung des Raupenfahrers führten, wurde die eingesetzte Raupe mit einem Frischluftfiltersystem nachgerüstet. Mit Inbetriebnahme dieses Filtersystemes kam es zu keinen Klagen des eingesetzten Personales mehr. Der installierte Filter brauchte während der gesamten Einsatzzeit (rd. 5 Monate) nicht gewechselt zu werden.

Messtechnisch oder organoleptisch wahrnehmbare Ammoniakfreisetzungen an der Grundstücksgrenze des Deponiegeländes ergaben sich nicht. Auch erfolgten keine Beschwerden von Anwohnern oder Beschäftigten aus der Umgebung der Altdeponie Lappenberg.

Neben der Freisetzung von Ammoniakemissionen kam es gelegentlich zur Freisetzung größerer Staubemissionen. Während der eigentliche Betrieb der Konditionierungsanlage keine signifikante Staubbefreiung mit sich brachte, war das Befüllen der Silos mit Flugasche hingegen mehrfach ein Problem. Insbesondere bei Unachtsamkeit des Fahrers des Silozuges kam es beim Entleeren des Silofahrzeuges mittels Druckluftförderung mehrfach zur Freisetzung größerer calciumoxidreicher Staubmengen, welche aufgrund der alkalischen Reaktion reizend wirken. Aus Arbeitsschutzgründen war das Anlagenpersonal angehalten, eine Staubmaske mit P2-Filter sowie geeigneten Augenschutz zu tragen.

### 3.4 Glühverlust als Kriterium des organischen Anteiles

Die Bestimmung des Glühverlustes nach DIN EN 12880:2000 zur Ermittlung des Gehaltes an organischen Inhaltsstoffen ist eine auch nach AbfAbIV zugelassene Methode und kann gleichwertig zu der apparativ wesentlich aufwendigeren Bestimmung des gesamt-organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC-Gehalt) angewandt werden. Ein Glühverlust von 1 Gew.-% entspricht dabei näherungsweise einem TOC von rund 0,58 Gew.-%.

Bei der Bestimmung des Glühverlustes wird eine zuvor bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknete Probe für 12 h auf 550 °C erhitzt, wobei die organischen Inhaltsstoffe verbrennen und mineralisiert werden. Problematisch ist diese Bestimmungsmethode stets dann, wenn die zu untersuchende Probe leicht verdampfbare anorganische Inhaltsstoffe oder aber mineralische Stoffe beinhaltet, in deren Kristallgitter Wasser eingebunden ist. Dies gilt z.B. für Gips ( $\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ ). In diesen Fällen wird der Glühverlust durch die abdampfbaren anorganischen Bestandteile positiv verfälscht.

Im Falle der durchgeführten Schlammkonditionierung mit Braunkohlenaschen wurden zunächst hohe Glühverluste bis zu 19 % bei der Bestimmung nach DIN EN 12880:2000 ermittelt. Als Ursache wurden die infolge der Schlammkonditionierung gebildeten hydratwasserhaltigen Reaktionsprodukte vermutet. Durch Erhöhung der Trocknungstemperatur auf 200 °C wurde versucht, dieses Kristallwasser auszutreiben. Die visuelle Überprüfung dieses Trocknungsschrittes ergab eine erhebliche Freisetzung von Wasserdampf, Hinweise auf beginnende Verkohlungen oder Bildung von  $\text{CO}_2$  fanden sich nicht. Die anschließend erneut geglühten Proben ergaben auch für die Klärschlämme Glühverluste zwischen 3 und 4 Gew.-% und unterschritten damit den zulässigen Höchstwert für eine Verbringung auf Deponien der Klasse II von 5 Gew.-% deutlich (Tab. 3).

**Tab. 3** Ergebnisse der Glühverlustbestimmungen bei unterschiedlicher Trocknungstemperatur der konditionierten Klärschlämme

Probenherkunft:		Polymerbehandelter Klärschlamm, 250 kg/m <sup>3</sup> Braunkohlenasche, verdichteter Einbau	Kalkstabilisierter Klärschlamm, 150 kg/m <sup>3</sup> Braunkohlenasche, verdichteter Einbau
Wassergehalt (bei 105 °C), bez. auf OS:	(Gew.-%)	40,8	45,1
Glühverlust (nach Trocknung bei 105 °C):	(Gew.-%)	19,0	16,3
Wassergehalt (bei 200 °C), bez. auf OS:	(Gew.-%)	53,9	55,9
Glühverlust (nach Trocknung bei 200 °C):	(Gew.-%)	3,4	3,8
Rohdichte:	(g/cm <sup>3</sup> )	1,444	1,386
Trockendichte (nach Trocknung bei 105 °C):	(g/cm <sup>3</sup> )	0,877	0,775
k <sub>r</sub> -Wert:	(m/s)	7,7·10 <sup>-10</sup>	4,5·10 <sup>-9</sup>

## 4 Zusammenfassende Bewertung

Angesichts erheblicher ab 2005 zur Restverfüllung anstehender Deponiekapazitäten und dem damit verbundenen hohen Bedarf an einbau- und verdichtungsfähigen Materialien erscheint die Verwertung von konditionierten Klärschlämmen im Deponiebau, z.B. in Ausgleichsschichten, auch unter Berücksichtigung der hohen Dichtungsfunktion dieses Materiales eine wirtschaftlich interessante Lösung. Bislang stand bei der Schlammkonditionierung, speziell bei der Behandlung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen wie Industrieschlämmen, primär die Herstellung bestimmter geotechnischer Eigenschaften der behandelten Schlämme im Vordergrund mit dem Ziel, das konditionierte Material sodann einer geeigneten Deponie zur Entsorgung zuzuführen (WIEDEMANN 1982, GERSCHLER 1984). Bekannt wurde hierbei besonders das zur Ölschlammbehandlung in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelte sog. DCR-Verfahren. Erst in jüngster Zeit unter dem Druck der Finanzknappheit der Kommunen wurde versucht, konditionierte Schlämme auch sinnvoll bei Bauvorhaben einzusetzen (BELOUSCHEK 2000, TRESSELT 2000). Als jüngstes Beispiel sei hier die Verwertung von Hafengebaggertgut zur Herstellung einer Oberflächenabdichtung im Deponiebau genannt (BETHKE et al. 2003). Eine weitere vergleichbare Maßnahme wird derzeit vom Autor im Zuge der Sanierung einer Industrieschlammdeponie eingesetzt.

Untersuchungen von TEICHMANN und KRAUSE (1994) zur Langzeitstabilität solch konditionierter Klärschlämme ergaben besonders bei den mit Braunkohlenasche und Polymeren konditionierten Schlämmen sehr geringe Wasserdurchlässigkeiten und eine gute Langzeitstabilität. Daraus resultierte, dass praktisch kein Sickerwasser anfällt.

Eigene Untersuchungen zeigten, dass vier Jahre nach dem Einbau des Materiales auf dem Deponiekörper ein unveränderter, praktisch monolithischer, tonähnlicher Körper vorhanden war, der mittels Rammkernbohrtechnik kaum noch zu durchörtern war. Sowohl der Kern der Einbausicht als auch die obere Lage wiesen eine unverändert hohe Lagerungsdichte und Flügelscherfestigkeit auf.

Die im Zuge der Sanierung der Altdeponie Lappenberg bei Göttingen angewandte Konditionierungstechnik ergab, dass die Gewinnung von alternativen Deponiebaustoffen aus Klärschlämmen nicht nur möglich ist, sondern auch von finanziellem Interesse. Bereits beim Vergleich der Kosten für Schlammkonditionierung und Verwertung im Deponiebau mit den Kosten für die übliche landwirtschaftliche Verwertung von kommunalen Klärschlämmen konnte eine Kostenersparnis von rund 18,-- Euro/m<sup>3</sup> FM errechnet werden. Die Nettokosten für die Konditionierung der rund 44.000 m<sup>3</sup> Klärschlämme einschließlich der Förderung aus den beiden Teichen im Bereich der Altdeponie Lappenberg betragen 9,60 Euro/m<sup>3</sup>. Die Kosten für den Abtransport einschließlich des lagenweise verdichteten Einbaus der konditionierten Schlämme betragen 6,25 Euro/m<sup>3</sup>.

## Literatur

- BELOUSCHEK, P. (2000): Alternative Oberflächenabdichtungen für Deponien. - AbfallPrax, 4:112-114.
- BETHKE, H., E. BIENER, T. SASSE, T. WEMHOFF (2003): Die Eignung von Baggertgut als mineralische Komponente in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. – TerraTech 9/2003: 14-18.

- BRÄCKER, W. (2000): Oberflächenabdeckungen und -abdichtungen. - AbfallwirtschaftsFakten, 6, 20 S., Hildesheim.
- GERSCHLER, L. J. (1984): Verfestigung von Sonderabfällen. – Müll und Abfall, Kennziff. **8134**, Lief. 2/84, 1-20, Berlin.
- GERSCHLER, L. J. (1990): Mit Einbindeverfahren Schadstoffe in Böden fixieren und Abfälle verfestigen. In: H.L. Jessberger (Hrsg.): Erkundung und Sanierung von Altlasten, 113-127, Balkema, Rotterdam.
- HARTMANN, R. & H.-J. WEINBERG (1986): Bericht über die Baugrundvoruntersuchungen auf dem Deponiegelände Lappenberg, Stadt Göttingen; unveröffentl. Gutachten. - Göttingen 04.02.1986.
- HARTMANN, R., G. Maas, B. MEGGENEDER, R. ZICK (2004): Bau von Deponieausgleichsschichten und Stützkörpern aus konditionierten Klärschlämmen. - Müll und Abfall, **36(10)**: 491-495, Berlin.
- TEICHMANN, H., ST. KRAUSE (1994): Untersuchungen über den Einfluß der Schlammbehandlung mit und ohne Kalkzugabe auf die Deponieeigenschaften von Klärschlamm. - Forschungsbericht 1/95, 79+VIII S., Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e.V., Köln.
- TRESSELT, K. (2000): Feldversuche zur Wirksamkeit von Oberflächenabdichtungssystemen mit Dichtungen aus Hafenschlick. - Hamburger Bodenkdl. Arbeiten, **46**: X+280 S.
- WIEDEMANN, H.U. (1983): Verfahren zur Verfestigung von Sonderabfällen und Stabilisierung von verunreinigten Böden. - Berichte des Umweltbundesamtes, **2/82**, Berlin.

Anschrift des Autors:

Dr. Rainer Hartmann

öffentlich bestellter und vereid. Sachverständiger  
für Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen

Gesellschaft für angewandte Biologie und Geologie mbH  
August-Spindler-Straße 1  
D-37079 Göttingen

email: hartmann@hartmann-analytik.de

