

Stefan Cantré und Hilmar Schulz

Mobile Baggergut-Entwässerung mit geotextilen Schläuchen

Im niedersächsischen Verden an der Aller wurde das erste großmaßstäbliche Pilotprojekt mit der Entwässerung von Baggergut mit geotextilen Schläuchen durchgeführt und wissenschaftlich begleitet. Dabei kam erstmals die Kombination dreier innovativer und mobiler Technologien zum Einsatz.

1. Einleitung und Veranlassung

Der Sportboothafen Höltenwerder an der Verdener Aller war im Sommer 2009 so stark verschlammte, dass kaum ein Boot mehr anlegen konnte. Eine landseitige Verwertung der Baggerschlämme sollte erfolgen, um die feinkörnigen und zum Teil kontaminierten Sedimente nicht in der Aller umlagern zu müssen [1]. Um Transportkosten zu sparen und die geforderten bodenphysikalischen Eigenschaften zu gewährleisten, kommt für landseitige Verwertungswege meistens nur eine in-situ-Entwässerung des Baggerguts in Frage. Die technologische Entwässerung mit Kammerfilter- oder Siebandpressen ist aber kostenintensiv. Eine Spülfeldlösung hingegen würde angrenzende Flächen auf Grund der langen Entwässerungszeiten dauerhaft beanspruchen. Daher wurde ein großmaßstäblicher Pilotversuch mit einem innovativen Entwässerungsverfahren durchgeführt.

Zur Entwässerung der Hafensedimente wurde ein international bereits erprobtes, in Deutschland jedoch noch kaum praktiziertes Verfahren unter Verwendung geotextiler Schläuche eingesetzt. Dazu wird das Baggergut zunächst zur besseren Fest-Flüssig-Trennung mit Flockungshilfsmitteln konditioniert und dann in geotextile Schläuche mit mehreren Metern Durchmesser gepumpt, die das Sediment zurückhalten und das Wasser nach außen ableiten. Die eigentliche Innovation beim Verdener Feldversuch stellt die erstmalige Kombination dreier mobiler Systeme dar: Sowohl der Schwimmbagger, als auch die Mischanlage für Flockungshilfsmittel und die geotextilen Schläuche sind unter Nutzung einfacher Transportmittel ortsungebunden einsetzbar.

Mit der wissenschaftlichen Begleitung der Versuche wurde der Lehrstuhl für Landeskulturelle Ingenieurbauwerke der Universität Rostock (IW) beauftragt, da das Institut auf fast zehn Jahre Forschung zum Thema geotextile Schläuche und Baggergutentwässerung zurückgreifen kann (u. a. [2]). Das IW hat die Versuche dokumentiert und bewertet, sowie die Sedimente im institutseigenen Labor analysiert. Im Folgenden werden das Verfahren und die Ergebnisse des Pilotversuchs vorgestellt.

2. Entwässerungstechnologie

Üblicherweise wird Baggergut aus Unterhaltungsbaggerungen – soweit man es nicht umlagert oder verklappt – an Land in Spülfeldern oder in aufwändigen Anlagen (vgl. Anlage zur mechanischen Trennung und Entwässerung von Hafensedimenten METHA in Hamburg [3]) aufbereitet. Das Verfahren der Entwässerung in geotextilen Schläuchen kombiniert die Vorteile technischer Anlagen (i. e. beschleunigte Entwässerung, keine Wiedervernässung, gefiltertes Ablaufwasser, geringerer Flächenverbrauch) mit den Vorteilen eines Spülfeldes (einfaches Verfahren mit geringem technologischem Einsatz, geringer Energieverbrauch). Das Baggergut wird dazu in große geotextile Schläuche gepumpt, die verschieden lang sein (üblicherweise bis zu 100 m) und mehrere Meter Durchmesser haben können. Der Druck im Inneren der Schläuche, der beim Befüllen entsteht und durch die hochzugfesten Geotextilien aufgenommen wird, sowie die vergleichsweise kurzen Fließwege bis zur Schlauchoberfläche, beschleunigen die Entwässerung gegenüber einem reinen Absetzverfahren deutlich.

Bei der technologischen Entwässerung sehr feinkörniger bzw. organogener Sedimente ist die Beigabe von Flockungshilfsmitteln üblich (meistens Polymere), um eine schnellere Fest-Flüssig-Trennung zu erreichen. Der Einsatz dieser Hilfsmittel hat sich auch bei der Verwendung geotextiler Schläuche international durchgesetzt. An der Schlauchinnenseite entsteht dabei ein stabilerer und durchlässiger Filterkuchen (ein für die Filteraufgabe notwendiger Sekundärfilter), was zu einer wesentlichen Beschleunigung der Entwässerung führt. Zudem können bei stabilen Flocken gröbere und stärker wasserdurchlässige Geotextilien verwendet werden. Auch lässt sich das so entwässerte Sediment anschließend besser von den geotextilen Filtern trennen. Die Flockungshilfsmittel, die bei der Entwässerung von Baggergut zum Einsatz kommen, haben in der Regel die Trinkwasserzulassung, sodass das Filtrat gefahrlos in die natürliche Vorflut eingeleitet werden kann.

Die Kombination der drei mobilen Technologien „Watermaster“ (Bild 1), „Flocmaster“ – einem Mischsystem für unterschiedliche Flockungshilfsmittel [7] (Bild 2) – und „SoilTains“ (Bild 3) ist sehr flexibel. Der kleine Schwimmbagger kann noch in seichtestem Wasser baggern und saugen und sich sogar an Land eigenständig fortbewegen (Bild 1). Daraus ergibt sich ein breites Einsatzspektrum angefangen von kleinen Flüssen bis hin zu großen Seen. Die Maschine eignet sich damit auch ideal für die Entwässerungstechnologie mit geotextilen Schläuchen.

Mit dem Patentverfahren des Flockmasters [7] werden heute bereits international Millionen Kubikmeter Schlamm bearbeitet, zurzeit in der METHA in Hamburg [3], in St. Petersburg oder am Hudson River bei

New York, wo täglich 2.500 m³ Baggergut verarbeitet werden [4]. Das richtige Mischungsverhältnis wird über eine online gesteuerte Trockensubstanz-Sonde ermittelt.

Die in diesem Projekt verwendeten geotextilen Gewebeschläuche werden werkseitig vorkonfektioniert [5]. Das Polypropylengebe besitzt eine charakteristische Öffnungsweite von etwa 0,2 mm, um die Sedimentflocken zurückzuhalten. Hierbei ist die Wasserableitkapazität ausreichend groß, um das Filtrat schnell abzuführen.

3. Großversuch in Verden

Der Verdener Feldversuch startete am 4. Mai 2010 mit einem Hubsignal. Der Rüssel des „Watermasters“ senkte sich daraufhin in den Hafenschlick und pumpte Flüssigkeit in die Rohre. Auf der Versuchsfläche schwoh allmählich der große schwarze Kunststoffschlauch zu einem flachen Kissen an. Kurz darauf drang Wasser aus dem Gewebe – und ein paar winzige Partikel. Die große Masse der Schlammflocken blieb im Textilschlauch

zurück. Insgesamt wurden im Rahmen dieses Versuches etwa 1.000 m³ Baggergut in die geotextilen Schläuche gefördert, entwässert und anschließend verwertet.

3.1. Voruntersuchungen

Im Rahmen der Voruntersuchungen haben verschiedene Prüfinstitute das Hafensediment analysiert. Flockungshilfsmittel und Geotextilien wurden ausgewählt. Die Sedimentanalyse wurde an vier Stichproben aus verschiedenen Stellen des Hafenbeckens durchgeführt. Das Baggergut bestand weitgehend aus Schluff mit einem Glühverlust von 11 – 14 % und einem Wassergehalt von etwa 200 % (gravimetrisch, bezogen auf die Trockenmasse). Eine Schadstoffanalyse nach LAGA M20 [6] ergab geringe Belastungen durch Zink, Blei und Cadmium (Gesamtbewertung Z1.1).

An einer Sedimentprobe mit ca. 20 % Trockensubstanzgehalt (volumetrisch) wurden die Trenneigenschaften mit verschiedenen auf Polyacrylamid basierenden Flockungshilfsmitteln (FHM) untersucht. Aus terminlichen Gründen konnte keine ausreichende Menge von trinkwasserzugelassenem Polymer beschafft werden. Das stattdessen eingesetzte FHM, was die beste Flockenbildung und Trennwirkung mit dem untersuchten Baggergut zeigte, besitzt eine Zulassung für die Abwasseraufbereitung. Die Einleitung des Filtrats in das Hafenbecken wurde deshalb extern überwacht.

Die Geotextilien zur Herstellung der Schläuche wurden aus terminlichen Gründen anhand der vorhandenen Kornverteilungskurven und auf Grund von Erfahrungswerten gewählt. Bei der Anwendung von Flockungshilfsmitteln hat die Wahl des Geotextils üblicherweise einen geringeren Einfluss auf die spätere Filterkuchenbildung an der Schlauchinnenseite und damit auf die Filtratqualität als die richtige Auswahl und Anwendung des Flockungshilfsmittels, weshalb der Verzicht auf weitere Vorversuche für diesen Pilotversuch vertretbar war. Bei dem gewählten Filtergewebe handelt es sich um ein Standardgewebe für die Anwendung als Entwässerungsschlauch [5].

3.2. Versuchsaufbau

Die Entwässerungsfläche für den Feldversuch befand sich direkt nördlich des Hafenbeckens. Die Fläche für die drei verwendeten geotextilen Schläuche mit den Abmessungen von jeweils 35 m x 7,5 m wurde durch Begrenzungswälle umschlossen und



Bild 1: „Watermaster Classic III“ im Sportboothafen



Bild 2: Flockmaster provisorisch eingebaut in einen Container

mit einer Folie wasserdicht ausgekleidet. Für die Rückführung des Filtrats wurde am tiefsten Punkt eine Schmutzwasserpumpe installiert. Das Baggergut wurde vom Schwimmbagger mit der schiffseigenen Pumpe über Kunststoffleitungen (DN 250) zunächst zur Flocmaster-Anlage (Bild 2) [7] und dann direkt in die geotextilen Schläuche gefördert. Der Mischer für Polymeremulsionen kann 0,5 – 1,5%ige Polymerlösungen aus Emulsionspolymer ansetzen; das ist höher als üblich (0,1 – 0,5%), bewirkt einen geringeren Transportwasserbedarf und eine Einsparung von Flockungshilfsmittel um bis zu 25%. Die Mischstation besteht neben der Misch- und Dosierstation aus einem Mixer, der die angesetzte Polymerlösung im Rohrquerschnitt in den Schlamm einbringt und zusätzlich Mischenergie generiert, was die Schlammflockung positiv beeinflusst. Vor der Polymermischstation waren eine TS-Sonde und ein induktiver Durchflussmesser angeordnet. Mit der getesteten Konfiguration von Watermaster und Flocmaster konnte ein Durchfluss von $500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Wasser) bzw. $420 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (10%TS in Volumenprozent) erreicht werden.

3.3. Versuchsdurchführung

Das gebaggerte Sediment wurde in einer DN250-Leitung durch die Mischanlage und dahinter direkt in die geotextilen Schläuche gefördert (Bild 4). Auf Grund der hohen Förderleistung des Schwimmbaggers, des hohen Wassergehalts des geförderten Sedimentes und der geringen Anzahl an geotextilen Schläuchen entstanden Förderpausen. Es brauchte einige Zeit, bis die vollgefüllten Schläuche durch Entwässerung wieder frisches Sediment aufnehmen konnten. Diese Pausen sind bei größeren Projekten mit mehreren geotextilen Schläuchen bei gleicher Förderleistung vermeidbar.

Die Sedimente wurden bis Ende August 2010 entwässert und anschließend in einer aktuellen Baumaßnahme der Firma Matthäi als Ausgleichsschicht eingesetzt. Zu diesem Zweck mussten die geotextilen Schläuche geöffnet werden (Bild 5). Das Sediment wurde dann auf LKW verladen und abtransportiert.

3.4. Begleitende Analytik

Die Einleitung des Filtratwassers in den Sportboothafen während der Befüllung der geotextilen Schläuche wurde überwacht. Das überwachende Labor bewertete die geringe Trübung des eingeleiteten Wassers



Bild 3: Ausgelegter Geotextilschlauch [Foto: Matthäi]



Bild 4: Gefüllter Schlauch [Foto: Matthäi]



Bild 5: Entwässertes Baggergut – offener Schlauch [Foto: Matthäi]

auf Grund der gleichzeitigen Baggerung und der dadurch auftretenden Trübung im Hafenbecken als unkritisch. Daher wurden lediglich die Parameter TOC und Ammonium im Labor bestimmt, die für die Einleitung von Bedeutung sein können. Die nur leicht erhöhten Werte ließen die Einleitung in das Hafenwasser zu.

Zur Überwachung der Sedimententwässerung wurde in Wochenintervallen der erreichte Trockenrückstand (TR) an je einer Probe aus den neun Einfüllstutzen ermittelt. Abschließend wurden Analysen basierend auf LAGA M20 und DepVerwV durchgeführt, um die Ergebnisse der Voruntersuchung zu verifizieren und die geplante Verwertung zu bestätigen. Die Sedimentproben wurden hierfür auch aus den neun Einfüllstutzen entnommen.

4. Ergebnisse

4.1. Menge entwässertes Sediment

Insgesamt wurden 3.798 m³ Schlamm in die geotextilen Schläuche gefördert. Durch Peilungen konnte ein Sedimentabtrag von etwa 900 m³ gemessen werden, was die

Mengenschätzung vor Projektbeginn von 1.000 m³ bestätigt. Bei den Baggerarbeiten wurden demnach ca. 2.900 m³ Wasser als Transportmedium gefördert. Eine geodätische Vermessung der gefüllten Schläuche nach etwa zwei Wochen Entwässerungszeit ergab ein Volumen von insgesamt 550 m³, 14,5 % des geförderten Schlammes und 61,1 % des entnommenen Sediments.

4.2. Änderung von Wassergehalt (w) und Trockenrückstand (TR)

Bereits die Ergebnisse der TR-Bestimmung der ersten Probenahme streuen zwischen 18,5 % und 58 % (Massenprozent, bezogen auf die Feuchtmasse). Die Zunahme des TR mit der Zeit streut ebenfalls stark. Eine direkte Abhängigkeit zu sinnvollen Randbedingungen, wie z. B. der Lage der Probenahmestelle in den drei geotextilen Schläuchen, kann nicht abgeleitet werden. Die Entwässerungszeit auf etwa 90 % des am Ende erreichten TR betrug etwa zwei Wochen (Bild 6).

4.3. Polymereinsatz

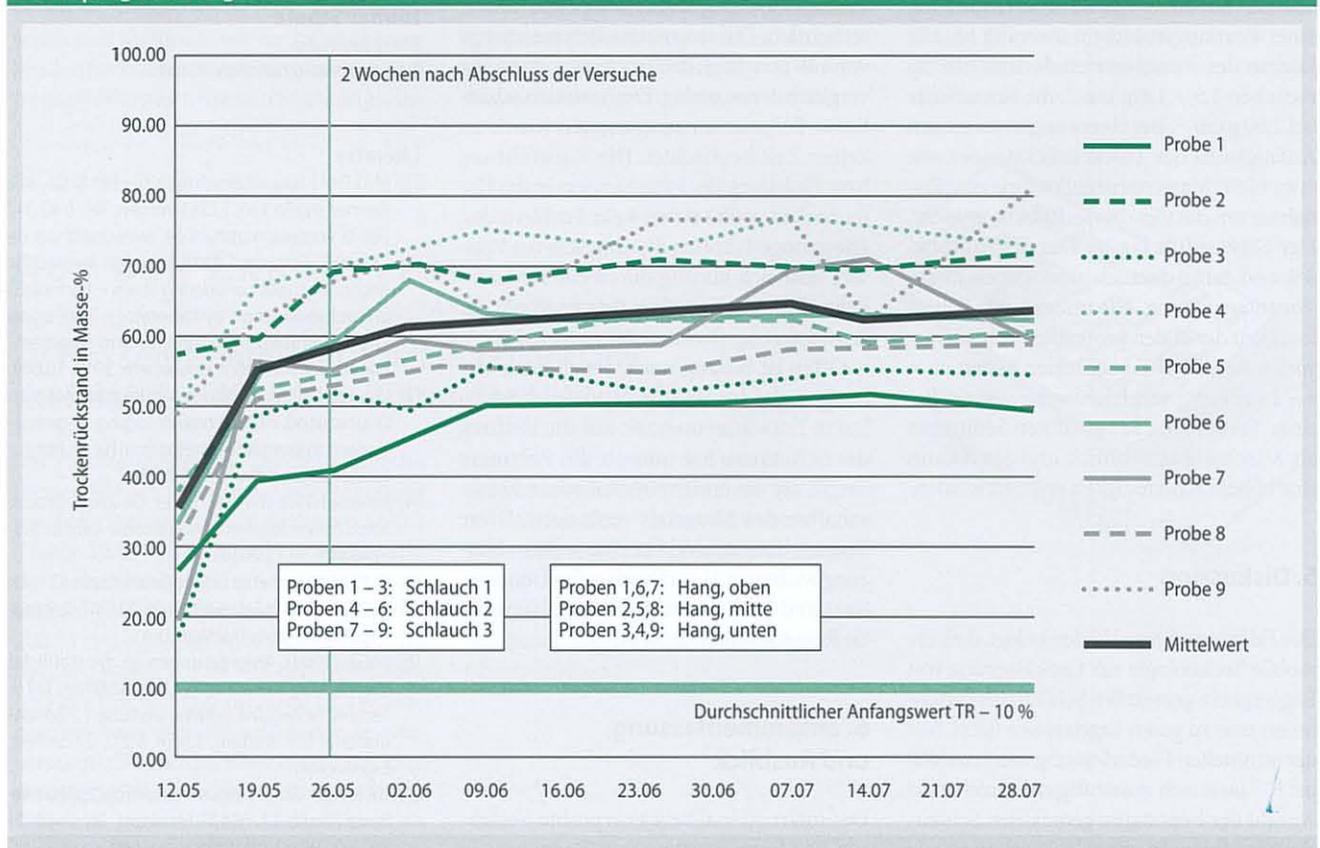
Der Verbrauch an Polymeremulsion betrug insgesamt 790 l; das entspricht 395 kg Wirk-

substanz. Diese Substanz wurde durch Anmischen mit Transportwasser in 67 m³ Wasser gelöst, woraus sich eine 0,6 %ige Lösung ergab. Dabei betrug der Verbrauch an Wirksubstanz pro Tonne Sedimenttrockenmasse etwa 0,74 kg t⁻¹; das wiederum entspricht einer Polymerkonzentration von 740 ppm im Sediment.

4.4. Qualität der Filtration und des Filtrats

Zu Beginn der Schlauchbefüllung kam es, wie bei solchen Projekten üblich, zum Austreten von Feinstpartikeln (kleinste Flocken) in geringer Konzentration, die sich auf der Fließstrecke in Richtung Pumpensumpf weitgehend absetzten. Bereits kurz nach Beginn der Befüllung klarte das Filtrat auf Grund einer guten Filterkuchenbildung der Schlammflocken an der Innenseite des Schlauches deutlich auf. Die nach einer Stunde Betrieb entnommene Wasserprobe war bereits bis auf wenige feinste Schwebstoffe und eine leichte Färbung auf Grund des hohen Organikgehaltes klar. Die Laborwerte für die kritischen Parameter TOC und Ammonium waren zwar leicht erhöht, führten aber nicht zum Verlust der Einleiteneignung.

Bild 6 | Ergebnisdiagramm



4.5. Untersuchung des entwässerten Bodenmaterials

Auf der Grundlage der Schadstoffanalytik aus den Voruntersuchungen vom September 2009 musste eine Verwertung nach BBodSchV in der durchwurzelten Oberbodenschicht ausgeschlossen werden. Die Verwertung nach LAGA war ebenfalls nicht ohne weiteres möglich, da der Feinkornanteil in Analysen vom April 2010 weit über 10 % lag. Für die Deponierung nach TaSi und TA Abfall bzw. die Verwertung nach DepVerwV (z. B. Abfall zur Verwertung auf Deponien als Ersatzbaustoff) war der Glühverlust mit über 10 % zu hoch. Damit schien eine Verwertung ohne Vorbehandlung zunächst ausgeschlossen.

In der abschließenden Sedimentuntersuchung musste das Baggergut auf Grund der Werte von TOC, Blei, Zink und der elektrischen Leitfähigkeit des Eluats nach LAGA M20 in die Klasse Z2 eingestuft werden. Die Sedimentproben ergaben nach DIN 18123 sandige Schluffe bzw. schluffige Sande ohne nennenswerten Feinschluff- und Tonanteil. Im Unterschied dazu zeigte die Ermittlung der Kornverteilung nach Zerstörung der organischen Substanz Tonanteile zwischen 10 – 20 % und im Ergebnis durchweg lehmige Sande. Dieser Vergleich zeigt, dass für die Bestimmung der Verwertungsoptionen die Zerstörung der organischen Substanz vor der Durchführung einer Körnungsanalyse notwendig ist. Die Dichte des entwässerten Sediments lag zwischen 1,5 – 1,6 g cm⁻³, die Korndichte bei 2,60 g cm⁻³. Bei einem angenommenen Anfangswert des Trockenrückstandes von etwa 10 % (Massenprozent) wurde eine Zunahme um das vier- bis sechsfache erreicht. Der Glühverlust lag im Durchschnitt bei 6 % und damit deutlich niedriger als in der Voruntersuchung. Die undrained Scherfestigkeit der in den geotextilen Schläuchen vorhandenen Schlickschichten ist mit $c_{fu} = 6 - 14 \text{ kN m}^{-2}$ vergleichsweise gering. Bei einer Verwertung des gesamten Sediments als Mischung aus Schlick und Sand kann eine höhere Scherfestigkeit erwartet werden.

5. Diskussion

Der Feldversuch von Verden belegt, dass die mobile Technologie zur Entwässerung von Baggergut in geotextilen Schläuchen funktioniert und zu guten Ergebnissen führt. Mit der ermittelten Förderleistung von etwa 400 m³ h⁻¹ lässt sich zukünftig die Größe und Anzahl der benötigten geotextilen Schläuche berechnen. In nur zwei Wochen wurde

das großteils schlackige Baggergut auf einen durchschnittlichen Trockenrückstand von 55 % entwässert – deutlich schneller als dies in einem Spülfeld möglich wäre. Die weitere Entwässerung auf etwa 60 % dauerte lediglich zwei weitere Wochen, wonach auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten keine signifikante gravitative Entwässerung mehr zu beobachten war.

Die wissenschaftliche Auswertung zeigte darüber hinaus, dass die Analyse einer einzigen Mischprobe zu Beginn der Maßnahme nicht genügt, um die späteren Verwertungsoptionen für das Sediment zu wählen. Vielmehr ist eine abschließende Beprobung notwendig. Eine Trennung verschiedener Körnungen nach dem Öffnen der geotextilen Schläuche ist nur bedingt möglich (z. B. dort, wo zum Schluss große Mengen Sand auf den bereits abgesetzten Schlick aufgespült wurden). Deshalb lässt sich bei diesem Verfahren im Allgemeinen nur das gesamte Sediment als Mischgut verwerten. Für die Wahl der geeigneten Verwertungsoptionen ist es bei Sedimenten mit hohem organischen Anteil unverzichtbar, die Körnungsanalyse erst nach Zerstörung der organischen Substanz (OS) vorzunehmen. Die Verfahren ohne Zerstörung der OS unterschätzen in der Regel die Anteile an Feinstkorn signifikant.

Die Filtration nach Einstellung einer optimalen Flockung kann als sehr gut bewertet werden. Die eingesetzte Polymermenge von 740 ppm bzgl. der Trockensubstanz war vergleichsweise gering. Ein Austreten schädlicher Polymerkonzentrationen wurde zu keiner Zeit beobachtet. Die Rückführung bzw. Einleitung des Filtratwassers in das Hafenbecken stellte daher kein Problem dar. Die geringe Trübung des eingeleiteten Wassers lässt sich künftig durch einen zusätzlichen Pumpensumpf am tiefsten Punkt der Entwässerungsfläche weiter reduzieren.

Offen ist bislang noch, welche Auswirkungen die im Vergleich zu Spülfeldern kurze Entwässerungszeit auf die Reifung des Schlamms hat und ob die Polymere langfristig die bodenphysikalischen Eigenschaften des Materials verändern. Diese Fragestellungen sind für eine weitere Nutzung wichtig (z. B. im Deich- oder Deponiebau) und werden deshalb an der Universität Rostock weiter untersucht.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das international bereits erprobte Verfahren der Entwässerung von Baggergut in

geotextilen Schläuchen unter Verwendung von Polymeren zur Flockungsunterstützung wurde erstmals in Deutschland im Großversuch eingesetzt. Die Tests mit dem innovativen Verfahren, das drei vollständig mobile Technologien kombiniert – den mobilen Schwimmbagger „Watermaster“, die mobile Flockungshilfsmittel-Mischanlage und die geotextilen Schläuche – waren erfolgreich. In nur zwei Wochen entwässerte das Baggergut auf einen durchschnittlichen Trockenrückstand von 55 % – deutlich schneller als dies in einem Spülfeld möglich gewesen wäre.

Zukünftig wird das Verfahren vor allem auch für Osteuropa und Russland neue Arbeitsfelder eröffnen, wo eine große Zahl an sanierungsbedürftigen Gewässern und industriellen Schlammlagern existiert. Gerade für kleinere Aufgaben in Sportboothäfen, entlang innerstädtischer Gewässer oder auf dezentralen Kläranlagen zur Klärschlammmentwässerung ist das Verfahren auch in Deutschland eine sinnvolle und effiziente Alternative.

Autoren

Dr.-Ing. Stefan Cantré

Universität Rostock

Lehrstuhl für Landeskulturelle Ingenieurbauwerke

E-Mail: stefan.cantré@uni-rostock.de

Hilmar Schulz

Freier Journalist

E-Mail: hilmar.schulz@gmail.com

Literatur

- [1] MATTHÄI Bauunternehmen GmbH & Co. KG, Bremer Straße 135, 27283 Verden, Tel.: 0 42 31/766-0, verden@matthaei.de, www.matthaei.de
- [2] CANTRÉ, S., SAATHOFF, F. (2010): Design method for geotextile tubes considering strain – Formulation and Verification by Laboratory Tests using Photogrammetry. Geotextiles and Geomembranes, doi:10.1016/j.geotexmem. 2010. 10.009.
- [3] Internetseite zu Nassbaggerstrategien in Deutschland. http://www.dredging-in-germany.de/Hamburg/sites/metha/metha_m.html Letzter Seitenaufruf 17.11.2010.
- [4] Internetseite der Fox River Cleanup Group. <http://www.foxrivercleanup.com/> Letzter Seitenaufruf 30.10.2010.
- [5] HUESKER Synthetics GmbH, Fabrikstraße 13 – 15, 48712 Gescher, Tel.: +49 (0) 25 42/701-0, info@huesker.de, www.huesker.com
- [6] LAGA (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden). LAGA M20. 22 Seiten. Eigenverlag.
- [7] J. F. KNAUER GmbH Industrieelektronik, Deuil-la-Barre Straße 17, 60437 Frankfurt, Tel.: +49 (0) 69-5 00 00 60, info@flocmaster.de