

Verwendung von Baggergut als Material für die Dichtung von Deponien, den Deichbau, zur Verfüllung und zur Bodenverbesserung

Dr. Alexander Gröngröft¹, Dr. Julia Gebert¹, Dr. Klaus Berger¹, Dipl.-Biol. Bruno Maaß²
¹ Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, ² Strom- und Hafenbau, Hamburg

1 Einführung

In Deutschland fallen jährlich rund $45 \times 10^6 \text{ m}^3$ Baggergut zur Sicherung ausreichender Fahrtiefen für die Schifffahrt an (Eiben 2004), von denen der überwiegende Teil im Gewässer umgelagert wird. Insbesondere bei Schadstoffbelastungen müssen Teile jedoch auch an Land verwertet oder entsorgt werden. Die Sedimente sind hinsichtlich der Korngrößenverteilung und der Anteile organischer Substanz als Sande und Schlämme bzw. Schlicke zu klassifizieren.

Die feinkörnigen Baggergutfraktionen weisen eine Reihe positiver Eigenschaften für die Verwendung in der Landnutzung, im Deponie- und Deichbau auf. Hier sind hohe Nährstoffgehalte, Basensättigungen, Kalkgehalte und Wasserspeicherkapazitäten aber auch geringe Wasserleitfähigkeiten zu nennen. Eine rechtliche Begrenzung des Einsatzes ist durch die Konzentration von Schadstoffen gegeben.

Im Folgenden soll anhand praktischer Erfahrungen mit aufbereitetem Baggergut aus Hamburg (METHA-Schlick, s. BRACKER 1993 und DETZNER 1995) die Eignung feinkörnigen Baggerguts für die Verwendung als Dichtungs- und Deichbaumaterial beschrieben und Schlussfolgerungen im Hinblick auf den Einsatzbereich gezogen werden.

2 Regelwerke

Die rechtliche Einordnung der Umlagerung, Verwendung, Verwertung und Beseitigung von Baggergut wird detailliert in HEINZ (2004) beschrieben. Die für die hier angesprochene Verwendung von Baggergut als Material für die Dichtung von Deponien, den Deichbau, zur Verfüllung und für die Bodenverbesserung geltenden Regelwerke seien im Folgenden kurz dargestellt:

Für die **Verwertung** ist im Gegensatz zur Verwendung grundsätzlich eine vorherige Behandlung des Baggergutes notwendig. Bei zu verwertendem Baggergut handelt es sich um Abfall zu Verwertung. Als Abfall unterliegt es damit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG). Als Verwertungsmöglichkeit kommt nach § 4 KrW-/AbfG nur die stoffliche Verwertung in Betracht. Die Verwertung hat Vorrang vor der Beseitigung, es sei denn, die Beseitigung stellt die umweltverträglichere Lösung dar. Das KrW-/AbfG enthält für Abfall zur Verwertung keine Genehmigungsvorschriften, die Genehmigungen richten sich vielmehr nach der Art der Verwertung. Für das zweckgerichtete Auf- oder Einbringen von Baggergut auf oder in den Boden sind die Anforderungen in § 12 der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) geregelt, es sei denn, es handelt sich um eine Verwertung als Dünger im Sinne des Düngemittelgesetzes.

Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen werden in den Technischen Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) formuliert (Mitteilung 20). Das Regelwerk gilt u.a. für die Bewertung der Schadlosigkeit der Verwertung von mineralischen Abfällen, die in technische Bauwerke (z.B. Deiche) eingebaut werden, nicht jedoch für den Einbau von Abfällen in Deponien oder das Einbringen in Gewässer. Nach LAGA 20 muss u.a. der für die Verwertung vorgesehene Abfall die Funktion des substituierten Primärrohstoffs übernehmen und die an diesen gestellten technischen Anforderungen weitgehend erfüllen. Es ist sicherzustellen, dass es nicht zur Besorgnis einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers, des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung und nicht zu einer Schadstoffanreicherung kommt. LAGA 20 gibt die für unterschiedliche Einbauklassen (0-2) zulässige Schadstoffkonzentrationen (Zuordnungswerte, Z0-2) an. Sind die zu verwertenden Abfälle stärker belastet (Z3-5), muss das Material entsorgt oder zerstört werden.

Soll das Baggergut ohne besondere Zweckbestimmung in einem Gewässer außerhalb von Bundeswasserstraßen entledigt werden, handelt es sich um Abfall zur **Beseitigung**. Hier findet jedoch das Abfallrecht keine Anwendung, es greift das Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Die Einbringung von Baggergut in ein Gewässer stellt eine Gewässerbenutzung dar, für die nach WHG eine wasserrechtliche Erlaubnis ggf. mit Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist. Stellt die Ablagerung des Baggergutes eine wesentliche Umgestaltung des Gewässers oder seiner Ufer dar, handelt es sich um eine Ausbaumaßnahme, die ein planfeststellungs- oder ein Plangenehmigungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung erfordert.

Den Einsatz von Abfällen wie z.B. vorbehandeltem Baggergut als **Deponieersatzbaustoff** für die Errichtung von Abdichtungssystemen, im Deponiekörper oder zur Verbesserung der geologischen Barriere soll künftig die vom Bundeskabinett 2004 beschlossene Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage (DepVerwV) regeln. Danach dürfen Deponieersatzbaustoffe nur eingesetzt werden, wenn das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. U.a. darf der Einsatz nicht zu einer schädlichen Verunreinigung oder nachteiligen Veränderung von Gewässern führen, auf nicht basisgedichteten Deponien das auslaugfähige Schadstoffpotential erhöhen oder die Erfüllung des Zwecks der Baumaßnahme beeinträchtigen. In Anhang 1 werden Zuordnungskriterien für den unvermischten Abfall für die unterschiedlichen Einsatzbereiche angegeben.

3 Baggergut zur Dichtung von Deponien

3.1 Einführung

Als mittelfristiges Konzept zur Baggergutunterbringung wurde 1986 vom Hamburger Senat die Anlage von zwei hügelartigen Lagerstätten im Hamburger Stadtgebiet beschlossen. Als Dichtungsmaterial sah die Planung entwässerten Hafenschlick vor, nachdem Labormessungen ergeben hatten, dass dieses Material in verdichteter Form mit gesättigten Wasserleitfähigkeiten unter $1 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ zur Abdichtung geeignet sein kann (RIZKALLAH & BLÜMEL 1985, BLÜMEL & TAMMINGA 1987). Das Problem von Schlick als Dichtungsmaterial in Oberflächenabdichtungssystemen liegt in seiner hohen Schrumpfanfälligkeit bei Wasserentzug. Die hierbei entstehenden Risse können zu einem hydraulischen Versagen der mineralischen Dichtung führen. Gleichzeitig weicht der eingesetzte Hafenschlick in seinen Eigenschaften z. T. erheblich von den in den

Verwaltungsvorschriften festgelegten Kennwerten für mineralisches Dichtungsmaterial - wie z. B. in dem Gehalt an organischer Substanz, dem Einbauwassergehalt und der Verdichtbarkeit - ab.

Vom Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg (IfB) wurden von 1995 bis 1999 Feldversuche zur Prüfung der Funktionsfähigkeit des auf der Schlicklagerstätte Francop realisierten Oberflächenabdichtungssystems durchgeführt.

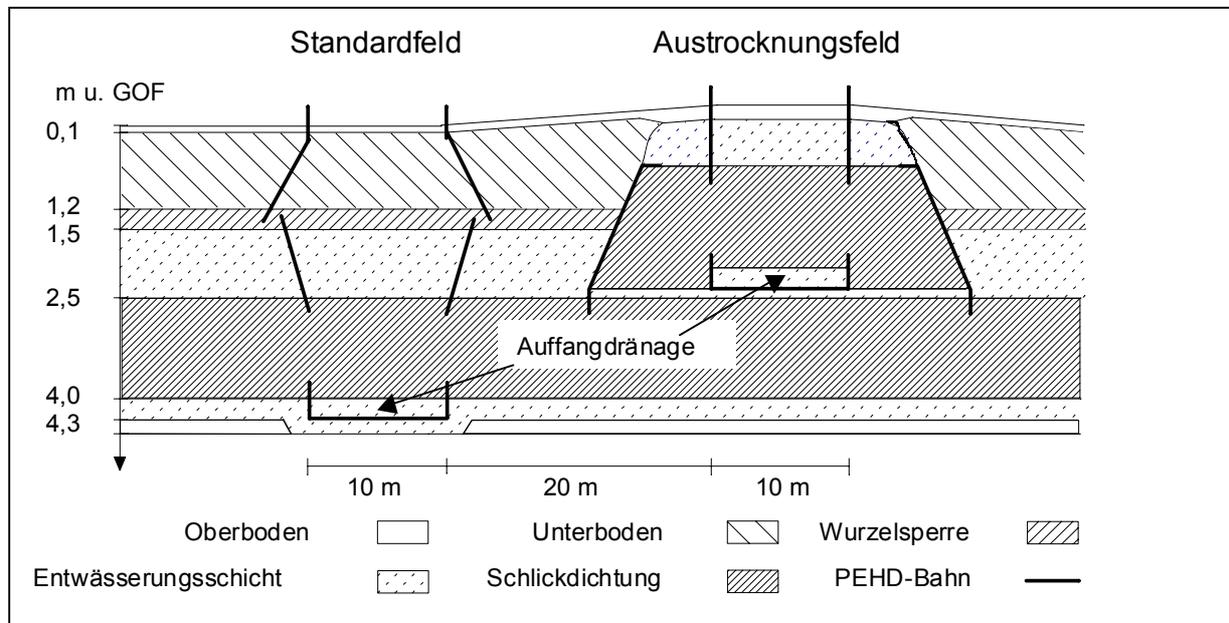


Abb. 1 Schematischer Querschnitt durch die Versuchsfläche im Bereich der Testfelder

3.2 Aufbau der Feldversuche und Messprogramm

In die Oberflächenabdichtung der Schlickdeponie wurden zwei Versuchsfelder von jeweils 500 m^2 Fläche integriert (10 m breit, 50 m in Gefällerrichtung lang, 8 % nach Norden geneigt; Abb. 1). a) Das **Standardfeld FS** entspricht in seiner Schichtabfolge dem Aufbau der Oberflächenabdichtung der Schlicklagerstätte. Die 1,5 m mächtige Dichtung aus verdichtetem METHA-Schlick wird überdeckt von einer 2,5 m mächtigen Abdeckschicht, bestehend aus Entwässerungsschicht, Wurzelsperre und Rekultivierungsschicht aus 1,1 m lehmigem Unterboden und 0,1 m humosem Oberboden. b) Zur Untersuchung des Austrocknungsverhaltens einer Schlickdichtung bereits nach möglichst kurzer Zeit, wurde ein zweites Testfeld errichtet (**Austrocknungsfeld FA**), bei dem die Überdeckung der Schlickdichtung (1,5 m METHA-Schlick) stark reduziert war (0,6 m Entwässerungsschicht und 0,2 m humoser Oberboden).

Die Herstellung der mineralischen Schichten des Oberflächenabdichtungssystems im Bereich der Versuchsfläche erfolgte nach den baustellenüblichen Verfahren. Die Schlickdichtung des Standardfeldes wurde großflächig innerhalb des gesamten Baufeldes über die Grenzen des Testfeldes hinweg hergestellt. Die Verdichtung der Schlickdichtung beider Felder, wie auch der mineralischen Wurzelsperre, erfolgte durch dreimaliges vollflächiges Überfahren der Einbaulagen mit Raupenfahrzeugen. Eine anschließende Glättung durch Walzen fand nicht statt. Im Sommerhalbjahr des Jahres 1998 wurde das Versuchsfeld FA durch ein Dach abgedeckt, um Prozesse der Austrocknung zu beschleunigen.

Das **Messprogramm** umfasste Klimadaten (Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte), Abflüsse aus den Testfeldern (Oberflächenabfluss, Interflow über der Wurzelsperre, Abfluss aus der Entwässerungsschicht, Durchsickerung der Dichtung), Wasserinhaltsstoffe sowie die Erfassung der Wasserspannung (Tensiometrie), der Wassergehalte (TDR) und der Bodentemperatur in allen Einbaulagen. Mit Ausnahme der Wassergehalte wurden alle Parameter zeitlich hochauflösend automatisch erfasst.

3.3 Ergebnisse

Für die Herstellung der mineralischen Dichtung und der Entwässerungsschichten wurde das in der METHA aufbereitete Baggergut verwendet. Das Material zum Bau der Wurzelsperre, das Decksubstrat sowie der humose Oberboden stammten von unterschiedlichen Baustellen innerhalb des Hamburger Stadtgebietes. Bei dem Decksubstrat handelte es sich um saalezeitliche Geschiebelehme.

Tab. 1 Eigenschaften der geprüften Substrate (Mittlere Laborwerte nach Einbau)

	Schlick-Dichtung	Entwässerungsschicht	Wurzelsperre	Decksubstrat	Humoser Oberboden
Korngrößenverteilung:					
Sand [%]	26	100	65	62	78
Schluff [%]	57	0	19	22	13
Ton [%]	17	0	16	16	9
Glühverlust [%]	10	0.2	1.2	1.2	11
Trockenrohichte [g/cm ³]	0.88	1.55	1.82	1.78	0.88
Gesamtporenvolumen [Vol. %]	65	41	32	33	65
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [m/s]	1.2×10^{-9}	7.1×10^{-5}	2.5×10^{-10}	5.8×10^{-9}	1.0×10^{-4}

Abb. 2 stellt für inzwischen 8 Messjahre den Verlauf von Oberflächenabfluss, Interflow, Dränschichtabfluss und Dichtschichtdurchsickerung für das **Versuchsfeld mit dem Standardaufbau (FS)** dar. Zu beachten sind die für die Abflüsse unterschiedlichen Skalierungen.

Oberflächenabfluss von $>1 \text{ mm d}^{-1}$ trat in der gesamten Messzeit nur in drei Phasen auf. Im Februar 1996 flossen auf gefrorenem Untergrund und bei noch nicht entwickelter Vegetation (Einsaat Oktober 1995) insgesamt 24 mm Wasser ab, das Maximum betrug 7.7 mm d^{-1} . 1997 und 2002 traten Abflussereignisse nach sommerlichen Starkniederschlägen auf (z.B. 27.8.97: OA = 5.8 mm nach 64 mm Niederschlag). Damit kann der Oberflächenabfluss trotz der ungünstigen hydraulischen Eigenschaften des unter dem Mutterboden folgenden lehmigen Decksubstrats (geringe Wasserleitfähigkeit, geringe Luftkapazität, siehe Tab. 3, auch TRESSELT et al. 1998b) im Rahmen der Wasserbilanz als unbedeutend eingestuft werden.

Ein Abfluss auf der als Wurzelsperre verdichteten Lehmschicht (**Interflow**) findet typischerweise in den Phasen statt, in denen das Decksustrat sich aufgesättigt hat und die in den Boden eindringenden Niederschläge infolge der niedrigen Wasserleitfähigkeit der Wurzelsperre nicht mehr vollständig an die Entwässerungsschicht abgeleitet werden können. Abgesehen von dem Nassjahr 2002 kommt dies nur in den Monaten Oktober bis März vor. Der Interflow war in den Jahren bis 1999 aufgrund niedrigen Wasserleitfähigkeit des Decksustrats auf Werte $< 2.8 \text{ mm d}^{-1}$ begrenzt. Inzwischen treten auch tägliche Abflüsse bis über 8 mm auf (Sommer 2002), was für eine Verbesserung der lateralen Dränfähigkeit des Decksustrates - wahrscheinlich infolge intensiverer Durchwurzelung und Gefügebildung - spricht.

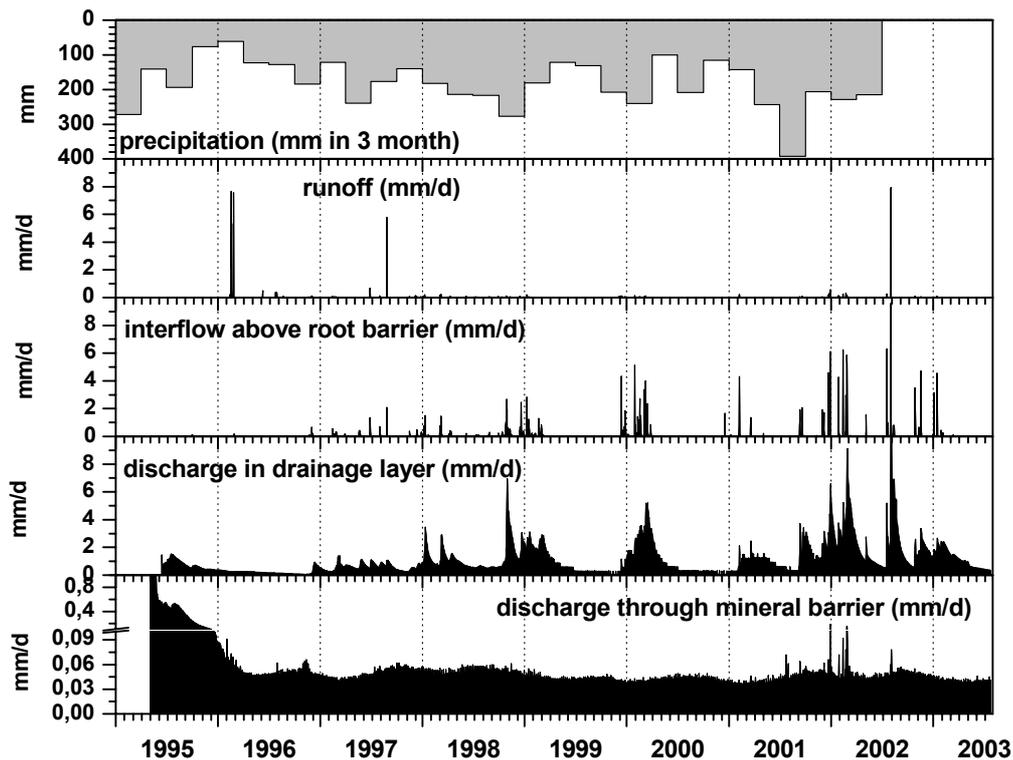


Abb. 2 Verlauf der Niederschläge (Quartalswerte) und Abflüsse (Tageswerte) im Testfeld FS

Der durch die Verdunstung nicht abgeführte Niederschlagsanteil tritt wie geplant vorwiegend als **Abfluss in der Entwässerungsschicht** auf. Der Aufbau der Schicht aus einem Mittelsand (25 % fS, 66 % mS, 9 % gS) mit einer im Vergleich zu den Regelwerken niedrigen Wasserleitfähigkeit, aber sehr hohen Schichtstärke (1 m) führt dazu, dass die Abflussspitzen stark gedämpft werden und auch in sommerlichen Trockenzeiten weiterhin Abfluss stattfindet. Dies ist exemplarisch an den trockenen Sommern 1999 und 2000 erkennbar, in denen in den 5 Monaten vom Juli bis November die Abflüsse einheitlich von rund 8 mm im Juli auf 0.9 – 1.5 mm im November zurückgehen, aber nicht zum Erliegen kommen. Sommerliche Starkregenfälle, wie in den Jahren 1997, 2001 und 2002, führen dagegen zu Abflussspitzen. Der bislang höchste Tagesabfluss trat mit 16.7 mm d^{-1} Anfang August 2002 auf. Der **Abfluss durch die Schlickdichtung** findet dauerhaft mit geringen Flussraten ($0.035 - 0.05 \text{ mm d}^{-1}$) statt. Die Abbildung zeigt deutlich zwei Phasen: Nach dem Einbau trat zunächst bis Februar

1996 ein merklicher Rückgang der Abflüsse von 2.8 auf 0.06 mm d^{-1} auf. In dieser Zeit fand eine Konsolidierung der Dichtschicht unter Abgabe von Porenwasser statt (Volumenabnahme um 14% , Details siehe TRESSELT et al. 1998a). Die zweite, seit März 1996 noch andauernde Phase ist durch die Konstanz sehr niedriger Abflüsse mit schwacher Überprägung durch einen Jahresgang gekennzeichnet. Dabei treten die Höchstwerte ($0.045 - 0.058 \text{ mm d}^{-1}$) im Spätsommer, die Minima ($0.039 - 0.051 \text{ mm d}^{-1}$) zum Winterende auf. In TRESSELT (2000) wird der saisonale Verlauf der Abflüsse analysiert und zum Teil auf bereits beschriebene Temperatureffekte zurückgeführt. Abb. 3 zeigt den Verlauf der Abflüsse für das **Versuchsfeld FA**. Die ersten Untersuchungs-jahre bis April 2000 wurden ausgeblendet, um die danach einsetzende Veränderung in der Wirksamkeit der Schlickdichtung besser zeigen zu können. Auch in diesem Versuchsfeld war der Oberflächenabfluss sehr gering. Das Abflussregime des Testfeldes hat sich erstmalig im September 2000, dann deutlich ab Dezember 2000 markant verändert. Während bis dahin wie im Testfeld FS die Dichtschichtdurchsickerung konstant und gering war (im Mittel 22 mm a^{-1} , TRESSELT 2000, GRÖNGRÖFT et al. 2002), reagierte sie nun schnell auf die Niederschlagseinträge. Wie durch eine Aufgrabung im Juni 2002 bestätigt wurde, waren Pflanzenwurzeln infolge der geringen Überdeckung in die Dichtschicht eingedrungen und haben - wohl in den trockenen Sommern 1999 (251 mm Niederschlag vom April bis September) und 2000 (309 mm Niederschlag) - zu einer Rissbildung geführt, die im Spätsommer 2000 wenigstens lokal die Basis der Schlickschicht erreicht hat. Bei der Aufgrabung wurden Wurzeln bis in 1.2 m unter Dichtungs-Oberkante (= 2 m u. GOF), d.h. 0.2 m über Dichtschichtbasis festgestellt.

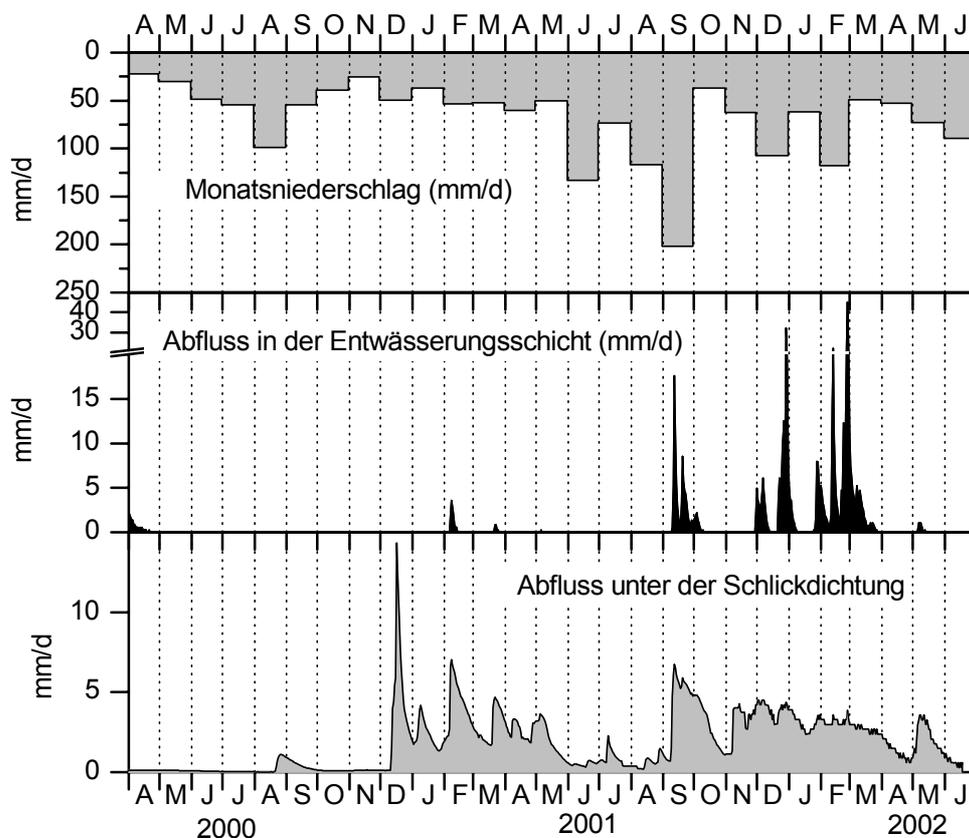


Abb. 3: Verlauf der Niederschläge (Monatswerte) und Abflüsse (Tageswerte) im Testfeld FA ab 1.4.2000

Abb. 4 zeigt die Beziehung zwischen den Tageswerten der Durchsickerung der Dichtschicht und dem darüber stattfindenden Dränschichtabfluss ab Dezember 2000. An den Extremwerten wurde das jeweilige Datum vermerkt. Deutlich ist zu sehen, dass im Dezember zunächst 14.3 mm die Dichtung durchsickern konnten, ohne dass es zu einem Abfluss darüber gekommen ist. Bis zum Frühjahr 2002 ging die Dichtschichtdurchsickerung kontinuierlich zurück, sie war dann auf rund 3 mm d^{-1} begrenzt, höherer Wasseranfall wurde in der Dränschicht entwässert. Anhand der Dichtschichtdurchsickerung kann die Veränderung der Wasserleitfähigkeit des Materials abgeschätzt werden. Für die Grenzbedingung - der Gesamtwasseranfall ist gerade so hoch, dass Abfluss auf der Dichtschicht auftritt - kann der hydraulische Gradient mit $i=1$ angesetzt werden. Damit ergibt sich eine Wasserleitfähigkeit der Dichtung nach Schrumpfung von $k_f > 2 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$ im Dezember 2000, nach teilweiser Rückquellung und Verschlämmung der Risse mit Sand von $k_f = 3 \times 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$ (März 2002). Damit ist die Durchlässigkeit 2 Zehnerpotenzen höher als bei der intakten Dichtung. Die Tatsache, dass trotz des starken Wasseranfalls die Rückquellung und Verschlämmung der Risse nur zu einer Verminderung der Wasserleitfähigkeit um den Faktor 10 geführt hat, zeigt, dass diese Effekte für die Schlickdichtungen in-situ nicht hinreichend sind, um durch Trocknung geschädigte Dichtungen wieder in einen funktionsfähigen Zustand zu versetzen.

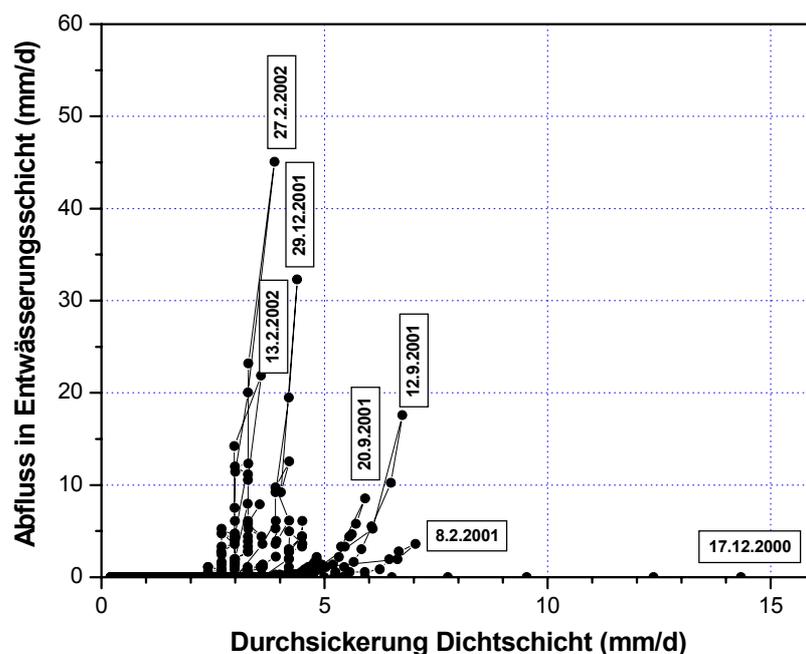


Abb. 4: Täglicher Abfluss in der Entwässerungsschicht in Abhängigkeit von der Dichtschichtdurchsickerung (Testfeld FA, Dezember 2000 bis Juni 2002)

Wasserbilanzen im Versuchsfeld FS

Die Wasserbilanz der Versuchsfelder lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben:

$$N = OA + ETA + IF + DR + S + dR$$

mit N= Niederschlag, OA= Oberflächenabfluss, ETA= reale Evapotranspiration, IF = Interflow auf Wurzelsperre, DR = Abfluss aus Entwässerungsschicht, S = Durchsickerung mineralische Dichtung, dR = Änderung des Wasservorrats im Versuchsfeld.

Von den Wasserhaushaltsgrößen konnten die Verdunstung nicht und die Änderung des Wasservorrats nur während des Forschungsprojekts gemessen werden, so dass sich die Gleichung nicht für jedes Jahr explizit lösen lässt.

An dem Versuchsfeld mit dem Standardaufbau zeigt sich (Tab. 3), dass der Abfluss unter der Dichtung konstant, d.h. unabhängig von dem Wasseranfall oberhalb der Dichtung 15 bis 18 mm a⁻¹ beträgt. Die Dichtung erfüllt ihre Funktion daher plangemäß auch nach 8 Jahren sehr gut. Unter Verwendung gemessener hydraulischer Gradienten kommt TRESSELT (2000) zum Ergebnis, dass die In-situ-Wasserleitfähigkeit der gesamten Dichtschicht $k = 4 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-1}$ beträgt und damit die Einbaukriterien $k_f < 1 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ sicher erfüllt. Die reale Verdunstung variiert überschlägig zwischen 400 und 500 mm pro Jahr. Der Dränschichtabfluss hat in dem besonders nassen Jahr 2002 880 mm erreicht.

Tab. 2 Jährliche Wasserbilanzen im Versuchsfeld FS. Niederschläge in (): Daten DWD $\times 1.2$, übrige: mit Wasserbilanzmodell kalkuliert

Jahressummen (mm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Mittel
Niederschlag	564	855	1113	737	(822)	(1182)	>1200	
Oberflächenabfluss	28	9	4	2	2	3	11	8
Interflow über Wurzelsperre	4	17	42	29	42	41	75	36
Dränschichtabfluss	81	217	456	282	366	434	881	388
Durchsickerung Dichtschicht	19	18	18	15	15	16	17	17
Gesamt-Abfluss	132	261	520	328	425	494	984	449
Änderung des Bodenwasservorrats	-80	134	86	(~0)	(~0)	(~180)		
Evapotranspiration	512	460	507	(~410)	(~390)	(~510)		

3.4 Bewertung der Dichtschicht

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine aus technisch aufbereitetem Baggergut hergestellte Dichtschicht ihre hydraulische Wirksamkeit über inzwischen 8 Jahre plangemäß erfüllt. Die jährliche Sickerrate beträgt unabhängig von der klimatischen Situation 15 - 18 mm a⁻¹, was einer in-situ-Wasserleitfähigkeit von $k = 4 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-1}$ entspricht. Damit zeigt sich, dass auch mit alternativen Materialien eine wirksame Deponieabdichtung hergestellt werden kann.

Die Anfälligkeit des Materials gegenüber Austrocknungsprozessen, wie sie am Versuchsfeld FA provoziert und festgestellt wurden, tritt auch bei anderen Materialien auf, und kann daher nicht als spezifischer Nachteil betrachtet werden. Zwar sind bei dem gering verdichteten Material die potentiellen Auswirkungen der Trockenrissbildung höher, aber auch bei hochverdichteten Materialien führte die Rissbildung bereits zum Versagensfall (MELCHIOR 1993). Die Verwendung der Baggerguts als mineralische Oberflächendichtschicht setzt eine ausreichende Überdeckung voraus, mit der das Einwachsen von Wurzeln sicher vermieden werden kann (hier 2.5 m). Es konnte gezeigt werden, dass die vergleichsweise geringe Wasserleitfähigkeit der Entwässe-

rungsschicht bei hoher Mächtigkeit als ein erheblicher Vorteil für den Erhalt der Gesamtfunktion des Systems anzusehen ist, da die Vergleichmäßigung des Drän-schicht-Abflusses die Gefahr der Austrocknung der Dichtung deutlich vermindert.

Aufgrund der Herkunft des Materials treten darin Nährstoffe (z.B. Ammonium) und anorganische (z. B. Spurenmetalle) und organische Schadstoffe (z. B. PAK) in bekannten Gehalten auf. Die Mobilität der Schwermetalle wird durch die Milieubedingungen (pH ca. 7, Eh niedrig) stark begrenzt. Wie Laborversuche und Messungen an den Versuchsfeldern gezeigt haben, ist ein diffusiver Eintrag von Metallen in die Dränschichtabläufe sehr gering und stellt damit kein ökologisches Problem dar (TRESSELT 2000, v. LÜHRTE 1997). In welchem Umfang die mit dem geringen Sickerwasseranfall in die Deponie eingetragenen Stoffe bedeutsam im Hinblick auf den Grundwasserschutz sind, muss im Einzelfall beurteilt werden.

Aufbereitetes Baggergut stellt damit ein Substrat dar, dessen Verwendung als mineralisches Dichtschichtmaterial unter ökologischen Kriterien auch im Vergleich zu anderen Materialien vertretbar erscheint und daher primär unter ökonomischen und genehmigungstechnischen Kriterien beurteilt werden kann.

4 Baggergut im Deichbau

4.1 Einführung

Im Deichbau dient in der Regel gewachsener Klei mit definierten geotechnischen Eigenschaften der Abdeckung des Sandkerns. Da die Ausbeutung natürlicher Kleivorkommen mit erheblicher Flächenzerstörung verbunden ist, wird angestrebt, einen Teil der Kleilage durch alternative Materialien zu ersetzen. Vor dem Hintergrund stark zurückgehender Schadstoffbelastungen von Sedimenten wird hierfür derzeit die Verwendung von Baggergut diskutiert. Praxisnahe Feldversuche im Bereich eines verfüllten Hafenbeckens im Hamburger Hafen sollen die Eignung von aufbereitetem Baggergut (METHA-Schlick) für den Einsatz im Deichbau klären. Im Gegensatz zur Verwendung als Dichtungsmaterial und zur subaquatischen Ablagerung besteht bei der Verwendung des Materials im Deichbau nach Austrocknung der abdeckenden Schichten die Möglichkeit des Eintrages von Sauerstoff und damit ein Potential zur Mobilisierung von Schwermetallen. Daher soll insbesondere das hydraulische Verhalten des Materials in Verbindung mit der Mobilisierung und dem Austrag an Schadstoffen über mehrere Jahre unter in-situ-Bedingungen verfolgt werden.

4.2 Aufbau des Feldversuchs und Untersuchungsprogramm

Die im Herbst 2004 errichteten Testfelder befinden sich im Tidebereich der Elbe. Der Testfeldfuß liegt auf +50 cm MThw, die Deichkrone auf +6.80 m NN. Die Böschung ist 1:3 geneigt. Testfeld 1 besteht als Standardvariante aus einer 1 m mächtigen Kleilage, während Testfeld 2 (Abb. 5) aus 70 cm METHA-Schlick und 30 cm Kleiabdeckung aufgebaut ist. Einbau und Verdichtung der Materialien erfolgte per Raubenbagger (Abb. 5) und infolge der vergleichsweise geringen Arbeitsfläche mit Schaffußwalze. Beide Felder schließen nach unten mit einer sandigen Dränschicht gegen eine PEHD-Wanne (gestrichelte Linie in Abb. 5) ab. Diese fängt das anfallende Sickerwasser auf und leitet es an einen Schacht ab (Abb. 6, Schacht), in welchem die Wassermenge für beide Felder getrennt über Pegellogger quantifiziert und außerdem beprobt werden kann. Bei

definiertem Füllstand wird das Sickerwasser hangaufwärts abgepumpt, dabei nochmals über IDM quantifiziert und versickert.

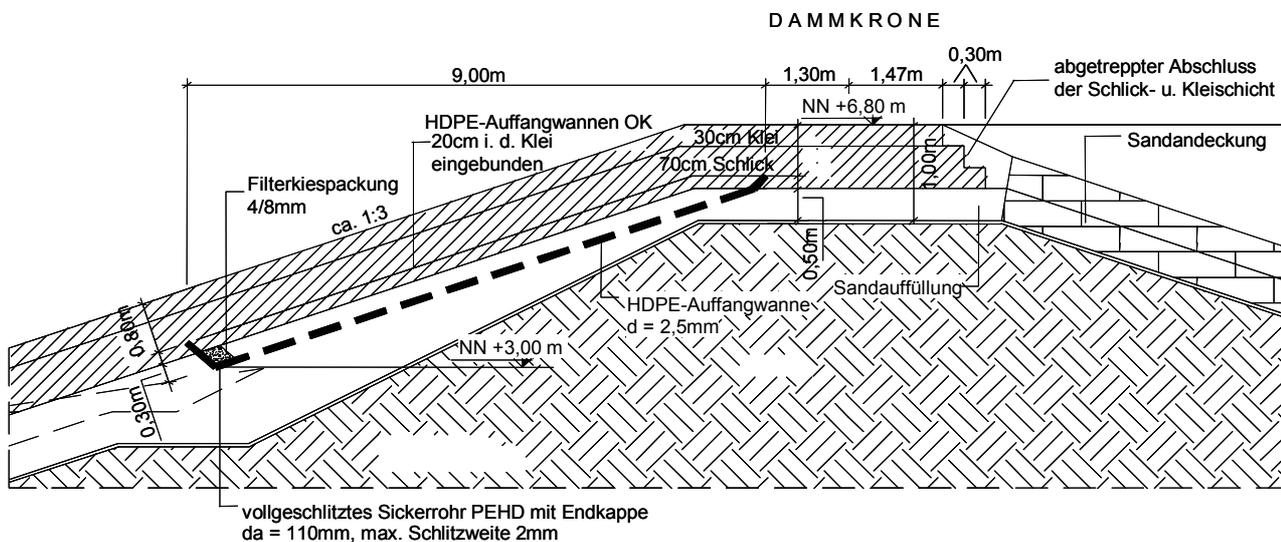


Abb. 5 Querschnitt durch Testfeld 2



Abb. 6 Testfeld 2 im Bau

Beide Testfelder sind weiterhin in drei Tiefen mit TDR-Loggern zur kontinuierlichen Erfassung des Wassergehaltes sowie mit Saugkerzen zur Gewinnung von Porenwässern ausgestattet. Ausgewählte Eigenschaften der verwendeten Materialien fasst Tab. 3 zusammen.

Tab. 3: Eigenschaften der verwendeten Materialien

	METHA-Schlick	Klei
Bodenart	Stark sandiger Lehm (Ls3)	Mittel toniger Lehm (Lt2)
pH (H ₂ O)	7.6	6.4
TOC [%]	4.2	1.9
TN [%]	0.34	0.21
Dichte bei Einbau [g cm ⁻³]	0.96	1.4
Wassergehalt bei Einbau [Gew.-%]	57	31

Die Feststoff- und Wasseranalytik (Drän- und Porenwässer) umfasst die nach LAGA 20, nach Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV), Grundwasserschutzverordnung (GrWV) sowie die nach der geplanten Deponie-Verwertungsverordnung (DepVerwV) geforderten Parameter. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den den Anti-Fouling-Anstrichen der Schiffsrümpfe stammenden zinnorganischen Verbindungen, welche für die Verwendung hafengeburtigen Baggerguts ein besonderes Problem darstellen. Die bodenphysikalischen Untersuchungen umfassen Lagerungsdichte, Textur, Porengrößenverteilung sowie die ungesättigte Wasserleitfähigkeit aller eingebauten Schichten. Zu Bilanzierung des Wasserhaushaltes der Testflächen werden mittels einer Klimastation Daten zu Niederschlag, Lufttemperatur- und Luftfeuchte automatisiert erfasst.

Bislang findet noch keine Durchsickerung der Testfelder mit Niederschlag oder infolge Überflutung statt. Die Kleiabdeckung ist infolge der im Winter minimierten Transpiration und der feuchten Witterung kaum aggregiert, eine nennenswerte Durchsickerung des bindigen Materials daher auch nicht zu erwarten. Mit ersten Ergebnissen zur Schadstofffreisetzung aus dem eingebauten Baggergut ist daher frühestens nach dem Sommer 2005 zu rechnen, wenn Austrocknung, Tiefenwachstum der den Deich bedeckenden Vegetation und Transpiration zur Ausprägung eines Aggregationsgefüges geführt haben.

5 Baggergut zur Verfüllung

Im Hamburger Hafen wurden seit Beginn der 1970er Jahre mehrere Hafenbecken mit Sand und später mit Hafenschlick verfüllt, und damit dem Bedarf nach größeren und zusammenhängenderen Landflächen einerseits und der Notwendigkeit der Unterbringung von Baggergut andererseits Rechnung getragen. Aufgrund des dauerhaft reduzierten chemischen Milieus und der sehr geringen Durchlässigkeiten des Materials war im Endzustand der Unterbringung von einer sehr geringen Schwermetall-Löslichkeit verbunden mit einem rein diffusiven und daher sehr geringen Austausch mit dem angrenzenden Wasserleiter auszugehen.

An den Sandorten „Indiahafen“ und „Rodewischhafen“ wurde versucht, anhand der Analyse von Porenwässern der abgelagerten Schlicke sowie der Porenwasserfahne im angrenzenden Grundwasserleiter die Emissionen aus der Ablagerung abzuschätzen und zu beurteilen (GRÖNGRÖFT et al. 1997, KUSSMAUL et al. 1997). Anhand der Schlickporenwasser-typischen Parameter Ammonium und Hydrogencarbonat konnte gezeigt werden, dass während der Setzungsphase zwar Emissionen aus dem Schlickkörper

auftreten, diese jedoch zeitlich und in der Menge begrenzt und insgesamt als sehr gering einzustufen waren. Für den Standort „Rodewischhafen“ ergab sich aus den Setzungsmessungen und der mittleren Ammoniumkonzentration im Porenwasser eine Ammoniumfreisetzung von 1.7 t ha^{-1} in vier Jahren. Konzentrationsverschiebungen traten auch bei anderen anorganischen Hauptbestandteilen des Grundwassers auf, nicht jedoch bei den Schwermetallen, deren Gehalte durchgängig unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Es wurde gefolgert, dass solange das abzulagernde Material den Kriterien „Durchlässigkeit“ und „Homogenität“ entspricht, die zu erwartenden Emissionen so gering sind, dass die Verfüllung mit Schlick als ein auch aus ökologischen Gründen günstiges Unterbringungsverfahren einzustufen ist. Die Untersuchungen zu Emissionen über den Gaspfad zeigten jedoch, dass aufgrund des organischen Anteils in METHA-Schlick (ca. 10%) mit erheblichen Methanfreisetzungen aus der abgelagerten Masse gerechnet werden muss (KUSSMAUL 1997 et al.). Dies bestätigten auch später durchgeführte Untersuchungen zum Gasbildungspotential verschiedener Sedimente aus deutschen Bundeswasserstraßen (GEBERT et al. 2004). Es muss daher im Einzelfall geklärt werden, in welchem Maß aufsteigendes Methan die Flächennutzung beeinträchtigen kann und einer Fassung und Behandlung zugeführt werden muss.

6 Baggergut zur Bodenverbesserung

Das in Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns anfallende Baggergut kann aufgrund seiner meist günstigen stofflichen Zusammensetzung, seiner günstigen Gefügeeigenschaften sowie der unterhalb der in der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) angegebenen Vorsorgewerte liegenden Schadstoffgehalte einer Verwertung im Landbau zugeführt werden. Dabei erfordert das Auf- und Einbringen von Baggergut die Verbesserung mindestens einer Bodenfunktion, da es sich sonst nicht um eine Verwertung, sondern um eine Beseitigung des Materials handelt (§ 12 BBodSchV). WEISZ (2002) nennt hinsichtlich der Bodenfunktionsverbesserung für die Verwertung von Baggergut folgende Aspekte:

- Wiederherstellen der Lebensraumfunktion (Vergrößerung der durchwurzelbaren Bodenschicht);
- Sicherung der Filter- und Puffereigenschaften hinsichtlich der Funktion als Bestandteil von Wasser- und Nährstoffkreisläufen, Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium (Erhöhung der Wasserspeicher- oder Sorptionskapazität, Verlängerung der Filterstrecke);
- Nachhaltige Sicherung der Begrünungs- und Ertragsfähigkeit durch Verbesserung des Bodengefüges, des Lufthaushaltes, der Durchwurzelbarkeit sowie des Nährstoffangebotes (Funktion des Bodens als Standort für Siedlung und Erholung sowie für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung).

Vor diesem Hintergrund wurden von der Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, mehrjährige Lysimeterversuche zur Verwertung von Baggergut im Landbau insbesondere unter dem Aspekt der Stoffverlagerung in das Grundwasser durchgeführt (HENNEBERG 2002), um die Schadlosigkeit der Verwertung gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (§ 5 KrW-/AbfG) zu prüfen. Die Untersuchungen zeigten, dass nach Applikation von Baggergut geringere Sickerraten auftraten, sowie je nach aufgebrachtener Menge und Applikationszeitpunkt unterschiedlich stark erhöhte Konzentrationen verschiedener Nähr- und Salzionen. In Praxisversuchen wurde u.a. weiterhin gezeigt, dass die Einbringung von Baggergut zu einer Erhöhung der pflanzen-

verfügbaren Nährstoffe, des Sorptions- und Wasserhaltevermögens führte, eine günstigere und stabilere Bodenstruktur erzielt wurde, das sehr geringe Schadstoffniveau am Standort nicht bzw. kaum nachweisbar erhöht wurde und die Qualität des Erntegutes derjenigen der Nullvarianten entsprach. Auf sandigen Standorten wurden Ertragssteigerungen ab einer Aufwandmenge von 500 t TM ha^{-1} festgestellt. Vor diesem Hintergrund hat das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommerns den Entwurf einer Richtlinie zur Verwertung von Baggergut aus Küsten- und Binnengewässern Mecklenburg-Vorpommerns im Landbau beauftragt, welche in HENNEBERG et al. (2004) erläutert wird.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Verwendung technisch aufbereiteten, feinkörnigen Baggerguts hat folgende Vorteile:

- Durch die METHA-Technik der Aufbereitung wird ein hohes Maß an Homogenität des Materials erreicht. Dies betrifft sowohl die zeitstabilen Merkmale wie Korngrößenverteilung und TOC als auch veränderliche Merkmale wie Wassergehalt.
- Die bei vorgegebenem Wassergehalt hohe Plastizität des Materials (Zustandsform ‚breiig‘ bis ‚weich‘) lässt es zu, dass Dichtschichten in Lagen von 50 cm durch mehrfache Raupenüberfahung, d.h. mit vergleichsweise einfachen Techniken eingebaut werden können.
- Die Konsolidierung des Materials unter der Auflast der Drän- und Rekultivierungsschicht führt zu einer Verminderung des Grobporenanteils (z. B. von 7.5 auf 2.5 Vol.%) verbunden mit einer Erhöhung der Trockenraumdichte (von 0.87 auf 1.04 g cm^{-3}).
- Die Durchlässigkeiten sind mit $k = 4 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-1}$ extrem gering und damit auch der Stoffaustausch mit umgebenden Schichten oder Wasserleitern.
- Da Material steht in größerer Menge zur Verfügung, die Materialbereitstellung ist nicht mit Eingriffen in den Naturhaushalt verbunden.

Dies bedeutet, dass Baggergut vor allem hinsichtlich seiner physikalischen Eigenschaften für den Einsatz im Dichtungs- und Deichbau als geeignet anzusehen ist. Solange sich das Material im reduzierten Milieu befindet, ist weiterhin von einer stabilen Bindung der enthaltenen Schwermetalle bei infolge der geringen Wasserleitfähigkeit geringem Stoffaustausch auszugehen, so dass auch unter ökologischen Gesichtspunkten eine Nutzung zur Verfüllung möglich ist. Allerdings bleibt zu klären, inwieweit die unter den unter dem Blickwinkel der Schadstoffretention gewünschten reduzierten Bedingungen stattfindende Methanfreisetzung Sicherheit und Nutzung der Standorte beeinträchtigt. Dies gilt nicht nur für Verfüllungen, sondern auch für Deponiedichtungen und den Deichbau. Um Methanemissionen und die damit verbundenen Gefährdungen auszuschließen, muss gewährleistet sein, dass die die Schlickschichten überdeckenden Schichten eine ausreichende Methanoxidationskapazität aufweisen. Inwiefern eine Aerobisierung der in Deichen eingebauten Schlicke durch Aggregation der Deckschichten und Wurzelwachstum zu einer Mobilisierung und einem Austrag von Schwermetallen führen kann, bleibt zu klären. Unterschreitet Baggergut die nach BBodSchV gegebenen Vorsorgewerte, ist eine Verwertung des Materials zur Bodenverbesserung möglich und auch aus ökonomischer Sicht zu empfehlen.

Literatur

- BLÜMEL, W. & TAMMINGA, P. G. (1987): Water permeability of dredged mud. In: HANRAHAN, E.T., T.L.L. ORR & T.F. WIDDIS (Hrsg.): Proc. of the Ninth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Dublin, 31 August - 3 September, 1987. Groundwater Effects in Geotechnical Engineering, Vol 2, S. 545-548.
- BRACKER, U. (1993): Erste Großanlage zur Aufbereitung von Baggergut. Hansa – Schifffahrt – Schiffbau – Hafen, 130, 9, S. 64-69.
- CHRISTIANSEN, H., ÖHLMANN, G. & TENT, L. (1982): Probleme im Zusammenhang mit dem Anfall von Baggergut im Hamburger Hafen. Wasserwirtschaft 72, 11/82, S. 385-389.
- DETZNER, H.-D. (1995): The Hamburg Project METHA: Large-scale Separation, Dewatering and Reuse of Polluted Sediments. European Water Pollution Control, Special Issue, Vol. 5, Nr. 5, S. 38-42.
- EIBEN, H. (2004): Positionspapier "Umgang mit Baggergut" des Fachausschusses Baggergut der HTG. Tagungsband 3. Rostocker Baggergutseminar, 4 S.
- GEBERT, J., GRÖNGRÖFT, A., MAAß, B. & KÖTHE, H. (2004): Influence of sediment characteristics on methane formation by dredged sediment. Proceedings World Dredging Congress, WODCON XVII, Hamburg, Paper B7-3, 9 pp.
- GRÖNGRÖFT, A., TRESSELT, L., HARMS, C. & MIEHLICH, G. (2001): Design and effectiveness of a landfill cover system based on sludge as barrier material. In: T. H. Christensen, R. Cossu & R. Stegmann (eds.): Proceedings Sardinia 2001, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari: CISA, Vol. III, S. 317-324.
- GRÖNGRÖFT, A., TRESSELT, K., Berger, K., Melchior, S., Türk, M. & Miehlich, G. (2002): Austrocknungsverhalten einer mineralischen Oberflächendichtung aus Hafenschlick: I Ergebnisse eines fünfjährigen Feldversuchs. in : RAMKE, H.-G. ET .AL.: Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen, Status-Workshop, Höxter. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 3, im Druck.
- GRÖNGRÖFT, A., KUSSMAUL, M. & MIEHLICH, G. (1997): Ökologische Folgewirkungen der Hafenbeckenverfüllung mit Schlick. HANSA-Schifffahrt-Schiffbau-Hafen 134: 58-62.
- HENNEBERG, M. (2002): Erste Ergebnisse aus Lysimeterversuchen zum Stoffpfad Boden-Grundwasser beim Einsatz von gereiftem Baggergut als Bodenverbesserungsmittel im Landbau. Tagungsband 2. Rostocker Baggergutseminar, 14 S.
- HENNEBERG, M., KAPE, H.-E., PÖPLAU, R. (2004): Fachliche Rahmenbedingungen für die Verwertung von gereiftem Baggergut als Bodenverbesserungsmittel im Landbau. Tagungsband 3. Rostocker Baggergutseminar, 22 S.
- HENSEN, U. (1987): Hamburger Baggergut auf Spülfelder aufhalten. Umwelt 6/87, S. 329-331.
- HEINZ, B. (2004): Rechtliche Einordnung, Regelwerke und Konzepte – Einführung in die aktuelle Rechtslage. Tagungsband 3. Rostocker Baggergutseminar, 10 S.
- KUSSMAUL, M., GRÖNGRÖFT, A. & KÖTHE, H. (1997): Emissions of porewater compounds and gases from the subaquatic sediment disposal site "Rodewischhafen", Hamburg Harbour. Terra et Aqua 69: 14-19.
- MELCHIOR, S. (1993): Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. Dissertation, Universität Hamburg, Hamburger Bodenkundl. Arbeiten, 22, 330 S.+ Anhang.
- RIZKALLAH, V. & BLÜMEL, W. (1995): Geotechnische Aspekte bei der Deponierung von Elbschlick, Hansa - Schifffahrt - Schiffbau - Hafen, 132, 10, S. 123-129.
- TA ABFALL (1991): Gesamtfassung der Zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/ physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen.

- TA SIEDLUNGSABFALL (1993): Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Technische Anleitung zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen.
- TRESSELT, K. (2000): Feldversuche zur Wirksamkeit von Oberflächendichtungssystemen mit Dichtungen aus Hafenschlick. *Hamburger Bodenkundl. Arb.* 46, 280 S.
- TRESSELT, K., G. MIEHLICH, A. GRÖNGRÖFT, S. MELCHIOR, K. BERGER & C. HARMS (1998a): Harbour sludge as a barrier material in landfill cover systems. *Wat. Sci. Tech.* 37: S. 307 - 313.
- TRESSELT, K., GRÖNGRÖFT, A., LEONHARDT, T. & MIEHLICH, G. (1998b): Die Bedeutung der physikalischen Eigenschaften von Rekultivierungsschichten für die Begrünung am Beispiel der Hamburger Schlicklagerstätte Francop. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 39 (5), S. 228-233.
- WEISZ, R. (2002): Konzeptionelle Überlegungen des Landes Mecklenburg-Vorpommern zum Umgang mit Baggergut. *Tagungsband 2. Rostocker Baggergutseminar*, 15 S.

