

Vor- und Nachteile von aufbereitetem Baggergut als Oberflächendichtmaterial

Alexander Gröngröft & Klaus Berger

Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg

1 Einführung

Bei der Gewässerunterhaltung des Hamburger Hafens fallen seit mehreren Jahrzehnten über 2 Mio. m³ Sedimente pro Jahr an, die zu einem erheblichen Anteil feinkörnig und belastet sind. Seit 1993 erfolgt die Aufbereitung des überwiegenden Anteils des an Land zu behandelnden Baggergutes durch eine technische Anlage (METHA, Funktionsweise siehe BRACKER 1993 und DETZNER 1995). Vereinfacht ausgedrückt wird in der Anlage der unbelastete Sand mit Hydrozyklonen und Aufstromsortierern von der Feinfraktion (< 63 µm) getrennt und die Feinfraktion durch Siebband- und Hochdruckpressen auf einen Feststoffgehalt von ca. 55 Gew. % entwässert. Die so aufbereitete Feinfraktion wird im Folgenden als METHA-Schlick bezeichnet.

Als mittelfristiges Konzept zur Baggergutunterbringung wurde 1986 vom Hamburger Senat die Anlage von zwei hügelartigen Lagerstätten im Hamburger Stadtgebiet beschlossen. Als Standorte wurden zwei ehemalige Spülfelder (Francop, Feldhofe) ausgewählt. Hierdurch ergab sich zum einen eine längerfristige Entsorgungssicherheit des Baggerguts (HENSEN 1987), zum anderen konnte gleichzeitig eine Sicherung der Spülfeldflächen vorgenommen werden. Die Schlicklagerstätte Francop wurde auf Basis des Bundesbaugesetzes und des Naturschutzgesetzes geplant, da bei der damaligen Rechtslage Baggergut nicht als Abfall eingestuft wurde. Dennoch erfolgte die Ablagerung nach den anerkannten Regeln der Deponietechnik, so dass zur Sicherung der Schlicklagerstätte die Herstellung einer Basis-, einer Zwischen- und einer Oberflächenabdichtung vorgesehen wurde. Als Dichtungsmaterial sah die Planung entwässerten Hafenschlick vor, da Labormessungen ergeben hatten, dass dieses Material in verdichteter Form mit gesättigten Wasserleitfähigkeiten unter $1 \cdot 10^{-9}$ m/s zur Abdichtung geeignet sein kann (RIZKALLAH & BLÜMEL 1995, 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. Dagegen übersteigt die Mächtigkeit der Abdeckschichten über der Dichtung die Mindeststärke, die in der TA ABFALL (1991) und TA SIEDLUNGSABFALL (1993) festgelegt ist, erheblich. Im Vergleich zu anderen Oberflächenabdichtungssystemen weist daher die in Francop realisierte Variante hinsichtlich der dauerhaften Funktionsfähigkeit sowohl günstigere als auch ungünstigere Merkmale auf.

Da es nicht möglich war, eine ausreichende Sicherheit über das Systemverhalten aus Laborversuchen abzuleiten bzw. Ergebnisse aus Untersuchungen anderer Oberflächenabdichtungssysteme (z. B. MELCHIOR 1993) zu übertragen, wurden vom Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg (IfB) von 1995 bis 1999 Feldversuche zur Prüfung der Funktionsfähigkeit des auf der Schlicklagerstätte Francop realisierten Oberflächenabdichtungssystems durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche sind in TRESSELT (2000) dargestellt. Nach Abschluss des Projektes (April 1999) wurden die Messungen der Abflüsse und der meteorologischen Parameter durch den Deponiebetreiber (Strom- und Hafenbau) fortgesetzt und dem IfB zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

2 Aufbau der Feldversuche und Messprogramm

In die Oberflächenabdichtung der Schlickdeponie wurden zwei Versuchsfelder von jeweils 500 m² Fläche integriert (10 m breit, 50 m in Gefällerrichtung lang, 8 % nach Norden geneigt; s. 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 einer 1 m mächtigen Entwässerungsschicht, einer Wurzelsperre (0,3 m) aus verdichtetem Lehm und einer Rekultivierungsschicht aus 1,1 m lehmigem Unterboden und 0,1 m humosem Oberboden. b) Um das Austrocknungsverhalten einer Schlickdichtung bereits nach möglichst kurzer Zeit untersuchen zu können, wurde ein zweites Testfeld errichtet (**Austrocknungsfeld FA**), bei dem die Überdeckung der Schlickdichtung stark reduziert war (0,6 m Entwässerungsschicht und 0,2 m humoser Oberboden). Als Schlickdichtung des Austrocknungsfeldes wurde, wie im Standardfeld, eine 1,5 m mächtige Schicht aus verdichtetem METHA-Schlick eingebaut.

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

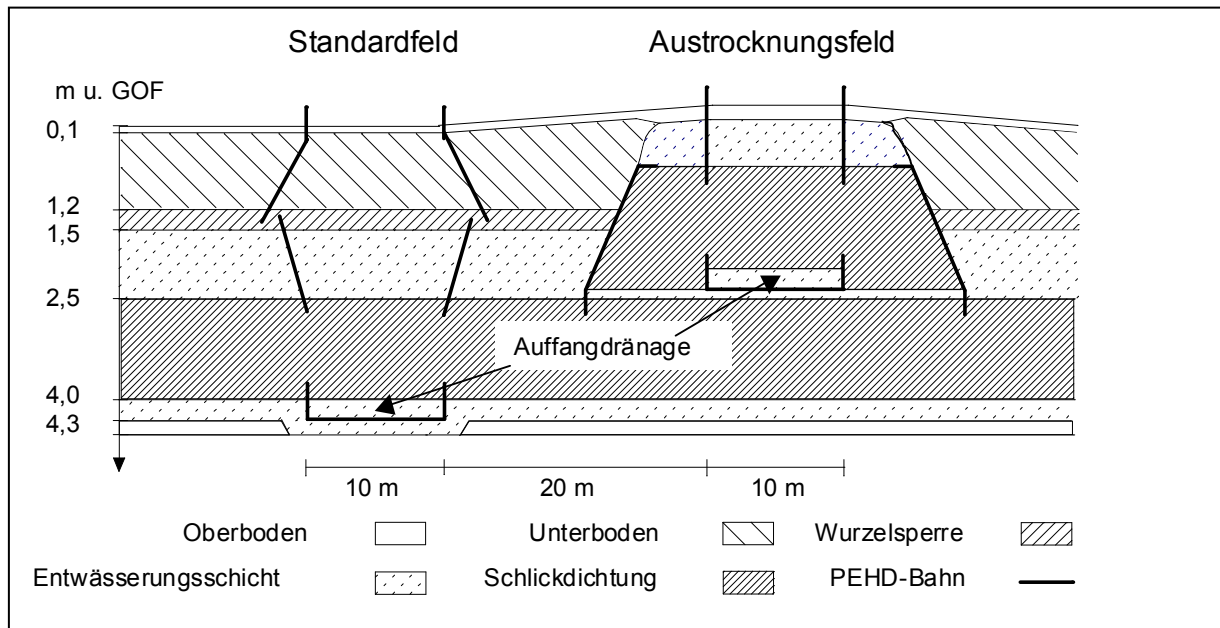


Abbildung 1 Schematischer Querschnitt durch die Versuchsfläche im Bereich der Testfelder

1998 wurde das Versuchsfeld FA durch ein Dach abgedeckt, um Prozesse der Austrocknung zu beschleunigen.

Das Messprogramm umfasste Klimadaten (Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte), Abflüssen aus den Testfeldern (Oberflächenabfluss, Interflow über der Wurzelsperre, Abfluss aus der Entwässerungsschicht, Durchsickerung der Dichtung) sowie Messungen der Wasserspannungen (Tensiometrie), der Wassergehalte (TDR) und der Bodentemperatur in allen Einbaulagen. Mit Ausnahme der Wassergehalte wurden alle Parameter zeitlich hochauflösend automatisch erfasst. Die Abflüsse wurden regelmäßig auf Wasserinhaltsstoffe analysiert.

3 Aufgrabung

Um die Auswirkungen der Austrocknung feststellen zu können, wurde vom 17.-20. Juni 2002 eine Aufgrabung auf dem Versuchsfeld FA durchgeführt. Als Standort wurde eine Fläche mittig vor dem Auffanggerinne gewählt. Damit sollte ausgeschlossen werden, dass die Beobachtungen an der Dichtung durch Randeffekte verfälscht werden. Zudem ist in diesem Bereich die Austrocknungsgefährdung der Dichtung am geringsten. Zum Profilaufbau siehe Tabelle 1.

Bei der Vegetation handelt es sich um eine krautreiche Fettwiese mit geringem Anteil an Tiefwurzlern. Folgende Kräuter wurden festgestellt: Acker-Distel (*Cirsium arvense*), Kleine Brennessel (*Urtica urens*), Hahnenfuss (*Ranunculus spec.*), Roter Klee (*Trifolium*

pratense), *Schafgarbe* (*Achillea millefolium*), Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*), Vogelwicke (*Vicia cracca*) und Wiesen-Margerite (*Leucantheumum vulgare*).

Tabelle 1 Profilaufbau der Aufgrabung im Testfeld FA (Juni 2002, Südseite Grube)

Tiefe unter GOF (cm)	Substrat	Merkmale
0 - 18	humoser Oberboden	<i>Schichtmächtigkeit</i> : schwankend zwischen 18 cm (S) und 24 cm (O); scharfe Begrenzung zum Sand <i>Farbe</i> : dunkelgrau - schwarz <i>Bodenart</i> : SI2 <i>Gefüge</i> : Krümel bis Subpolyeder <i>Durchwurzelung</i> : sehr hoch (70-80 Feinwurzeln/dm ²) <i>Sonstiges</i> : ca. 5 % Steine, einzelne auch grobe Holzstücke
18 - 83	Dränsand	<i>Unterkante</i> : schwankend zwischen 82 cm (N) und 84 cm (O) <i>Farbe</i> : im oberen Bereich hell-ocker mit gleichmäßig verteilten Rostflecken um Schlickklümpchen von 1-2 cm Durchmesser (insgesamt rund 100 Flecken auf 200*50 cm), im unteren Bereich (15 - 18 cm) inhomogene Zone mit grauen Linsen, Rostfleckung stärker als im oberen Bereich, starke Fleckung in Kontaktfläche zum Schlick im Bereich der Rinnenstruktur an Schlickoberfläche <i>Bodenart</i> : mS, einzelne Feinkiesstücke, im unteren Bereich auch Feinsandlinsen <i>Gefüge</i> : Einzelkorn, wenige Stellen an Sandbasis mit verkitteten Sandklumpen von 1-2 cm Durchmesser <i>Durchwurzelung</i> : oben gering (4-10 Feinwurzeln/dm ²) <i>Sonstiges</i> : keine Steine, vereinzelt noch Schüttungsgrenzen zu erkennen; unten deutlich feuchter als oben
83 - 224	Schlickdichtung	<i>Schlickoberkante</i> (SOK): nicht plan, sondern diagonal durch freigelegte Fläche verlief flache 'Rinne' von 30 cm Breite und ca. 5 cm Tiefe (Fahrspur?). Ansonsten Oberfläche rauh mit kleinen Senken, Risse erst nach Abfegen des Sandes erkennbar. <i>Farbe</i> : im oberen Bereich einheitlich braun-grau, diese Farbe zungenförmig entlang der Risse in den unteren Bereich der Dichtung bis in 128 cm unter SOK einführend, dort von grau-schwarzen Bereichen umgeben. An Basis Schicht einheitlich grau-schwarz. Sandverfüllte Teile der Risse hell-ockerbraun. <i>Bodenart</i> : Uls, Risse in Teilen mit mS verfüllt. <i>Gefüge</i> : im oberen Bereich (0-30 unter SOK) mäßig große Subpolyeder, darunter grobes Säulengefüge ('Elefantenfüße'), das sich oben polyedrisch zerteilen lässt. Rissbreite zwischen den Säulen in Schichtmitte 7 mm, nach oben auf 15 mm ansteigend, bis in 110 cm Tiefe auslaufend (darunter Risse geschlossen). Mittlere Fläche der Säulen ca. 20*20 cm. <i>Durchwurzelung</i> : Wurzeln bereits an Oberfläche sichtbar (10-20 in Rinnenlage, ca. 40 Feinwurzeln/dm ² in Kuppenlage). Im Anschnitt in oberen 30 cm gleichmäßig durchwurzelt (0-10 cm: 20, 10-20 cm: 15, 20-30 cm: 10 Feinwurzeln/dm ²), darunter Wurzeln nur entlang von Aggregatoberflächen. Bis 70 cm Tiefe dichte Bewurzelung der Aggregatoberflächen, darunter bis 120 cm einzelne Feinwurzeln in Rissen, diese größtenteils abgestorben. <i>Sonstiges</i> : Wasser tritt am unteren Ende der sandverfüllten Risse aus. Rissverfüllung in Schichtmitte zu 50 %, an Oberkante alle Risse offen.
224 - 230 (Basis nicht erreicht)	Auffangdrän	<i>Oberkante</i> : scharf und glatt <i>Farbe</i> : ocker <i>Bodenart</i> : mS <i>Gefüge</i> : Einzelkorn <i>Durchwurzelung</i> : keine <i>Sonstiges</i> : -

4 Eigenschaften der geprüften Dichtungssysteme

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

Tabelle 2 Eigenschaften der geprüften Substrate (Mittlere Laborwerte nach Einbau)

	Schlick-Dichtung	Entwässerungsschicht	Wurzelsperre	Decksustrat	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
Trockenrohdichte (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

5 Zeitlicher Verlauf der Abflüsse

Die hydraulische Funktionsfähigkeit der Komponenten der Dichtsysteme kann am besten anhand der Zeitverläufe der Abflüsse abgeleitet werden. Abb. 2 stellt für inzwischen 8 Messjahre den Verlauf von Oberflächenabfluss, Interflow, Dränschichtabfluss und Dichtschichtdurchsickerung für das **Versuchsfeld mit dem Standardaufbau (FS)** auf der Basis von Tageswerten dar. Den Abflusswerten werden die Niederschläge (Quartalssummen) gegenüber gestellt. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalierungen bei den Abflüssen.

Oberflächenabfluss von >1 mm/d 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. 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 Decksustrats (geringe Wasserleitfähigkeit, geringe Luftkapazität, siehe Tab. 2, auch TRESSELT ET AL. 1998b) im Rahmen der Wasserbilanz als unbedeutend eingestuft werden.

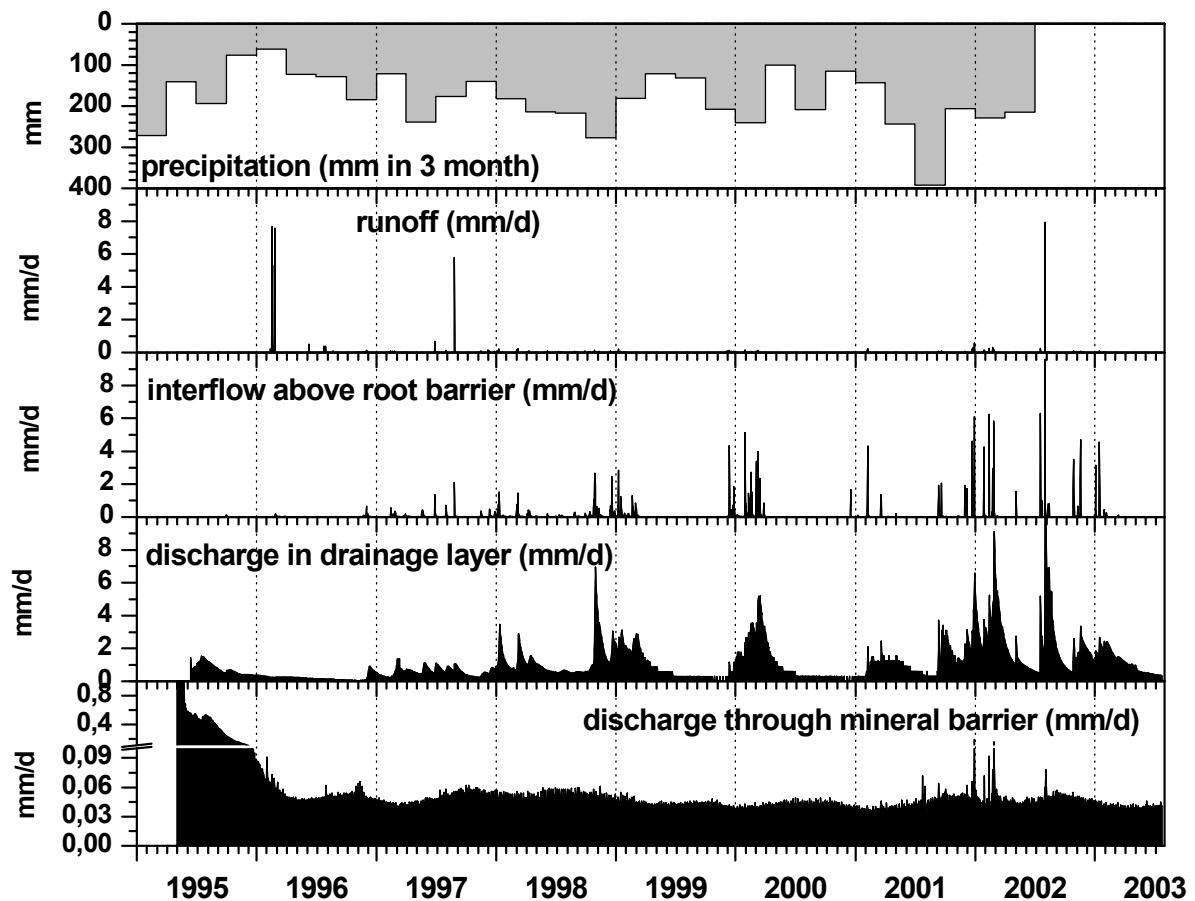


Abbildung 2 Verlauf der Niederschläge (Quartalswerte) und Abflüsse (Tageswerte) im Testfeld FS

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 auf Werte $< 2,8$ mm/d begrenzt, was mit der niedrigen Wasserleitfähigkeit des Decksustrats erklärt wurde. Die weiteren Messungen haben gezeigt, dass inzwischen auch tägliche Abflüsse bis über 8 mm auftreten (Sommer 2002), was für eine Verbesserung der lateralen Dränfähigkeit des Decksustrates - wahrscheinlich infolge intensiverer Durchwurzelung und Gefügebildung - spricht.

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 Anfang August 2002 auf.

Der **Abfluss durch die Schlickdichtung** findet dauerhaft mit geringen Flussraten (0,035 – 0,05 mm/d) statt. Die Abbildung zeigt deutlich zwei Phasen: a) Nach dem Einbau trat zunächst bis Februar 1996 ein merklicher Rückgang der Abflüsse von 2,8 auf 0,06 mm/d auf. In dieser Zeit fand eine Konsolidierung der Dichtschicht unter Abgabe von Porenwasser statt (Volumenabnahme um 14 %, 30-58 mm Abgabe an die überliegende Entwässerungsschicht, 82-94 mm Abgabe an die unterliegende Auffangdrainage, 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 mm/d) im Spätsommer, die Minima (0,039 – 0,051 mm/d) zum Winterende auf. In TRESSELT (2000) wird der saisonale Verlauf der Abflüsse analysiert und zum Teil auf bereits beschriebene Temperatureffekte zurückgeführt.

In Abb. 3 wird der Verlauf der Abflüsse für das **Versuchsfeld FA** dargestellt. Dabei wurden die anfänglichen Messjahre bis April 2000 ausgeblendet, um die danach einsetzende Veränderung in der Wirksamkeit der Schlickdichtung besser zeigen zu können. Auch in diesem Versuchsfeld war der Oberflächenabfluss sehr gering. Die Abbildung verdeutlicht, dass sich erstmalig im September 2000, dann deutlich ab Dezember 2000 das Abflussregime des Testfeldes markant verändert hat. Während bis dahin wie im Testfeld FS die Dichtschichtdurchsickerung konstant und gering war (im Mittel 22 mm/a, TRESSELT 2000, GRÖNGRÖFT ET AL. 2002), reagierte sie nun schnell auf die Niederschlagseinträge. Wie durch die Aufgrabung im Juni 2002 bestätigt wurde (siehe Tabelle 1), waren Pflanzenwurzeln infolge der geringen Überdeckung in die Dichtschicht eingedrungen und haben - mit hoher Wahrscheinlichkeit 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. Durch diese Risse, die bei hohem Wasseranfall mit Sand zugeschlämmt werden, floss danach das Sickerwasser zu einem erheblichen Teil ab.

Abb. 4 zeigt die Beziehung zwischen den Tageswerten der Durchsickerung der Dichtschicht und dem darüber stattfindenden Dränschichtabfluss (auf der Dichtschicht) für die Zeiten ab Dezember 2000. An den Extremwerten wurde das jeweilige Datum vermerkt. Deutlich ist zu sehen, dass im Dezember zunächst 14,3 mm die Dichtung

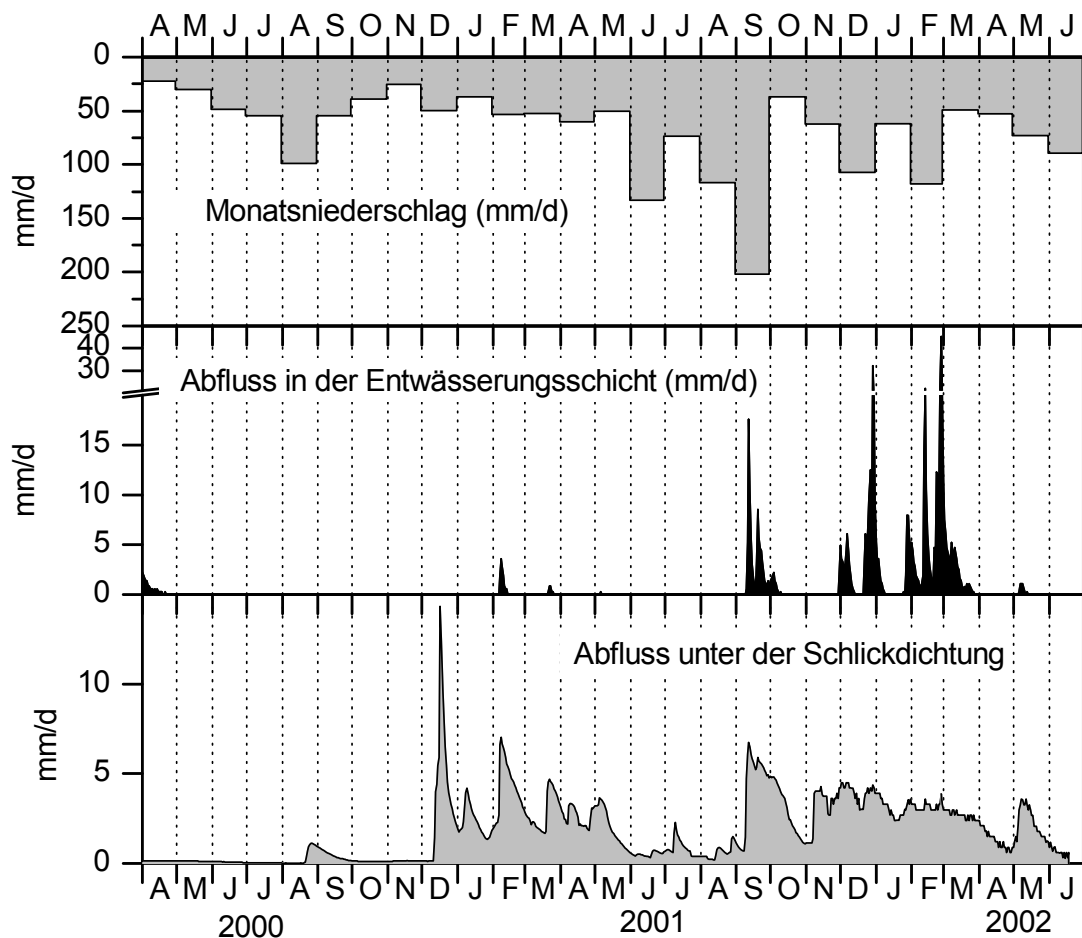


Abbildung 3 Verlauf der Niederschläge (Monatswerte) und Abflüsse (Tageswerte) im Testfeld FA ab 1.4.2000

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 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 $k_f > 2 \times 10^{-7}$ m/s im Dezember 2000, nach teilweiser Rückquellung und Verschlämmung der Risse mit Sand von $k_f = 3 \times 10^{-8}$ m/s (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.

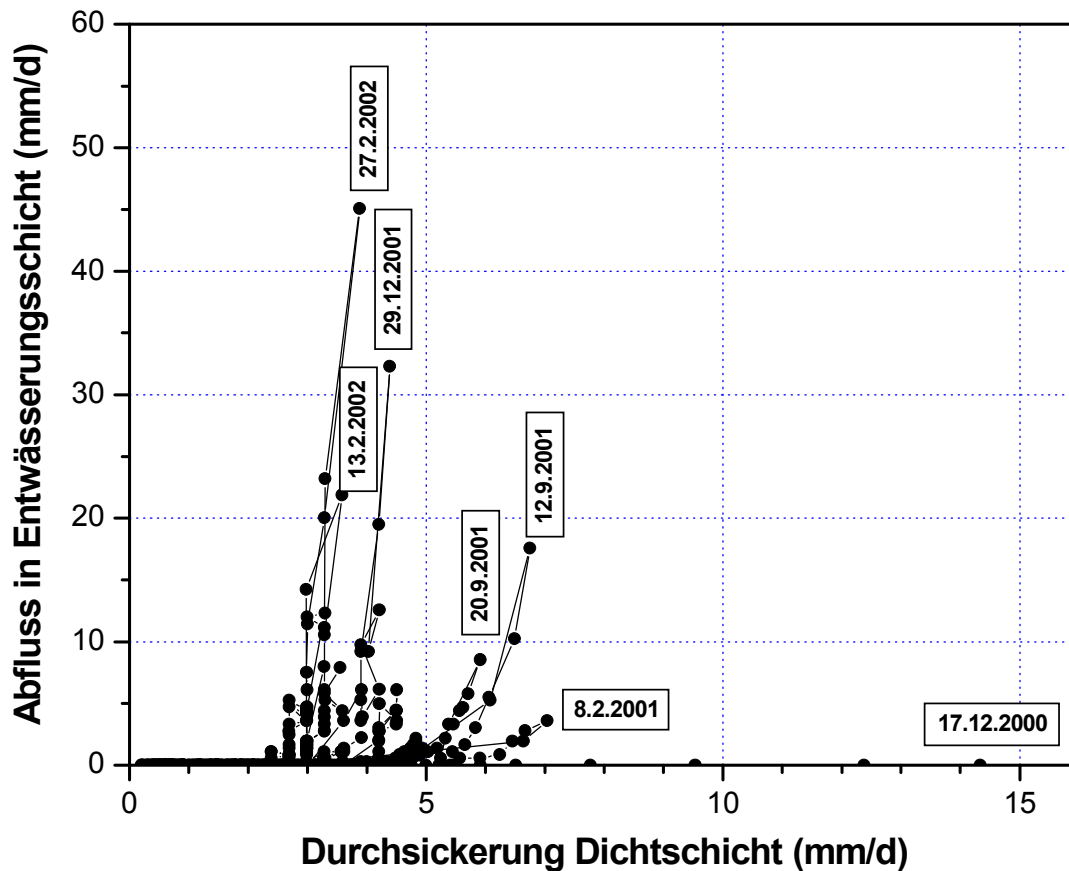


Abbildung 4 Täglicher Abfluss in der Entwässerungsschicht in Abhängigkeit von der Dichtschichtdurchsickerung (Testfeld FA, Dezember 2000 bis Juni 2002)

6 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 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 $k = 4 \times 10^{-10}$ m/s beträgt und damit die Einbaukriterien $k_f < 1 \times 10^{-9}$ m/s 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.

Tabelle 3 Jährliche Wasserbilanzen im Versuchsfeld FS
Niederschläge in (): Daten DWD *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)		

7 Bewertung der Dichtschicht

Durch den Bau eines in die standardmäßig hergestellte Oberflächenabdeckung integrierten und mit baustellenüblichen Techniken hergestellten Versuchsfeldes konnte nachgewiesen werden, dass eine aus technisch aufbereitetem Baggertgut hergestellte Dichtschicht ihre hydraulische Wirksamkeit über inzwischen 8 Jahre plangemäß erfüllt. Die jährliche Sickerrate beträgt unabhängig von der klimatischen Situation 15 - 18 mm/a, was einer In-situ-Wasserleitfähigkeit von $k = 4 \times 10^{-10}$ m/s entspricht. Damit zeigt sich, dass auch mit anderen Materialien als in den technischen Anweisungen vorgesehen eine wirksame Deponieabdichtung hergestellt werden kann.

Die Verwendung technisch aufbereiteten, feinkörnigen Baggertguts als Dichtschichtmaterial hat folgende Vorteile:

- Durch die METHA-Technik der Aufbereitung (mehrfache Materialzwischenspeicherung) 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 Raupenüberfahrung, 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/cm³).
- Da Material steht in größerer Menge zur Verfügung, die Materialbereitstellung ist nicht mit Eingriffen in den Naturhaushalt verbunden.

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 Entwässerungsschicht bei hoher Mächtigkeit als ein erheblicher Vorteil für den Erhalt der Gesamtfunktion des Systems anzusehen ist, da die Vergleichmäßigung des Dränschicht-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.

8 Literatur

BLÜMEL, W. & P.G. TAMMINGA	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 Baggertgut. Hansa – Schifffahrt – Schiffbau – Hafen, 130, 9, S. 64-69.
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.
GRÖNGRÖFT, A., K. TRESSELT, K. BERGER, S. MELCHIOR, M. TÜRK & G. MIEHLICH	2002	Austrocknungsverhalten einer mineralischen Oberflächendichtung aus Hafenschlick: I Ergebnisse eines fünfjährigen Feldversuchs. in : RAMKE, H.-G. ET .AL.: Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungssystemen in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen, Status-Workshop, Höxter. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 3, S. 107-116.
HENSEN, U.	1987	Hamburger Baggertgut auf Spülfelder aufhalten. Umwelt 6/87, S. 329-331.
LÜHRTE, R. VON	1997	Verwertung von Bremer Baggertgut als Material zur Oberflächenabdichtung von Deponien - Geochemisches Langzeitverhalten und Schwermetall-Mobilität (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn). Ber. aus dem FB Geowiss. der Uni Bremen 100, 148 S.
MELCHIOR, S.	1993	Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. Dissertation, Universität Hamburg, Hamburger Bodenkundl. Arbeiten, 22, 330 S.+ Anhang.
RIZKALLAH, V. & W. BLÜMEL	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 SIEDLUNGS-ABFALL	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., A. GRÖNGRÖFT, T. LEONHARDT & G. MIEHLICH	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.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Alexander Gröngröft
Institut für Bodenkunde
Universität Hamburg
Allende-Platz 2
20146 Hamburg
Tel. 040/42838-4395
Fax 040/42838-2024
e-mail:

A.Groengroeft@ifb.uni-hamburg.de

Dr. Klaus Berger
Institut für Bodenkunde
Universität Hamburg
Allende-Platz 2
20146 Hamburg
Tel. 040/42838-2006
Fax 040/42838-2024
e-mail:

K.Berger@ifb.uni-hamburg.de