

# Gereiftes Nassbaggergut als Rekultivierungssubstrat in Deponieoberflächenabdichtungssystemen

*Key-Words : Rekultivierung; Deponie; Baggergut*

Gert Morscheck; Michael Nelles  
*Universität Rostock, Lehrstuhl für Abfall- und  
Stoffstromwirtschaft, Rostock, Deutschland*

Michael Henneberg  
*Steinbeis-Transferzentrum Angewandte  
Landschaftsplanung, Rostock, Deutschland*

**KURZFASSUNG:** Die deutsche Deponieverordnung fordert für Rekultivierungsschichten den Nachweis einer ausreichend großen nutzbaren Feldkapazität. In Mecklenburg-Vorpommern wird humusreiches- und feinkörniges Substrat aus der Baggerung der Schifffahrtswege aufbereitet und seit ca. 14 Jahren als Rekultivierungssubstrat eingesetzt. Auf 4 Deponien wurden die Herstellung und die Wirksamkeit der Rekultivierungsschichten aus „aufbereitetem Nassbaggergut“ geprüft. Dazu wurde das eingesetzte "aufbereitete Nassbaggergut" gekennzeichnet und die aktuelle Funktionalität der Rekultivierungsschichten durch bodenchemische und bodenmechanische Untersuchungen an angelegten Schürfen überprüft.

## 1 EINLEITUNG

Deponien müssen nach dem Betrieb gesichert werden; diese „Abkapselung“ von der Umwelt erfolgt mit Hilfe eines Oberflächenabdichtungssystems, dessen obere Schicht aus einem Rekultivierungssubstrat aufgebaut wird. Die Deponieverordnung (DepV 2012) hat die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht, deren Funktion und das Substrat, aus der sie erstellt werden darf, klar geregelt. Diese Festlegungen werden durch weitere Vorgaben und Empfehlungen ergänzt (BQS 7-1, BQS 7-2, GDA-Empfehlungen E 2-31 und E 2-32).

Zurzeit wird in der Fachwelt die Umsetzbarkeit der bodenphysikalischen Forderungen, die sich aus der DepV ergeben, umfangreich diskutiert und geprüft welche Herausforderungen sich für die Praxis des Deponiebaus ergeben.

In Mecklenburg-Vorpommern wurden seit Ende der 90er Jahre mehr als 10 Deponien mit aufbereitetem Nassbaggergut aus dem Küstenbereich rekultiviert. Aufgrund der neuen Anforderungen an die Substrate für Rekultivierungsschichten durch die aktuelle Deponieverordnung sollte durch Untersuchungen an bereits mit aufbereitetem Nassbaggergut rekultivierten Deponien untersucht werden, in wie weit die schon existierenden Rekultivierungsschichten diese Forderungen erfüllen, und ob aufbereitetes Nassbaggergut auch weiterhin in Rekultivierungsschichten verbaut werden darf.

## 2 HERKUNFT UND QUALITÄT DES BAGGERGUTES

Das Nassbaggergut fällt bei der Herstellung und bei der Aufrechterhaltung der schiffbaren Fahrwassertiefen an. Da nur Sande und Mergel in der Ostsee verklappt werden dürfen, muss humus- und feinanteilreiches Baggergut an Land in Spülfeldern abgesetzt werden. Am Standort Rostock wird dieses Baggergut in einem speziell dafür ausgebauten Spülfeldkomplex klassiert, entwässert und aufbereitet. Das aufbereitete Nassbaggergut ähnelt im verwertungsfähigen Zustand einem organikreichen, tonig-schluffigem Mutterboden der der Körnungsart Lehm zuzuordnen ist.

Seit Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts wird in Rostock an einer umweltverträglichen Baggergutverwertung geforscht. Die Spülfelder der Hansestadt Rostock wurden Mitte der 90-er Jahre zu einer Industriellen Absetz- und Aufbereitungsanlage (IAA) umgebaut, so ist ein den umweltrechtlichen Anforderungen genügendes und effizientes Nassbaggergutmanagement

möglich, dessen Kern die Aufbereitung des landseitig untergebrachten Baggergutes für eine nachhaltige Verwertung ist. Seit dem Jahr 2000 verwertet die Hansestadt Rostock als einzige Hafenstadt im Küstenbereich Deutschlands sein nicht umlagerungsfähiges organikreiches Nassbaggergut zu 100% landseitig. Die Verwertung von aufbereitetem Nassbaggergut findet vor allem im Landschaftsbau und der Deponierekultivierung statt (Abb. 1).

Aber auch der Einsatz des gereiften Nassbaggergutes als Bodenverbesserungsmittel in der Landwirtschaft ist möglich. Begleitet durch noch immer laufende Versuche, gibt es auch hier bereits erfolgreiche Anwendungen.

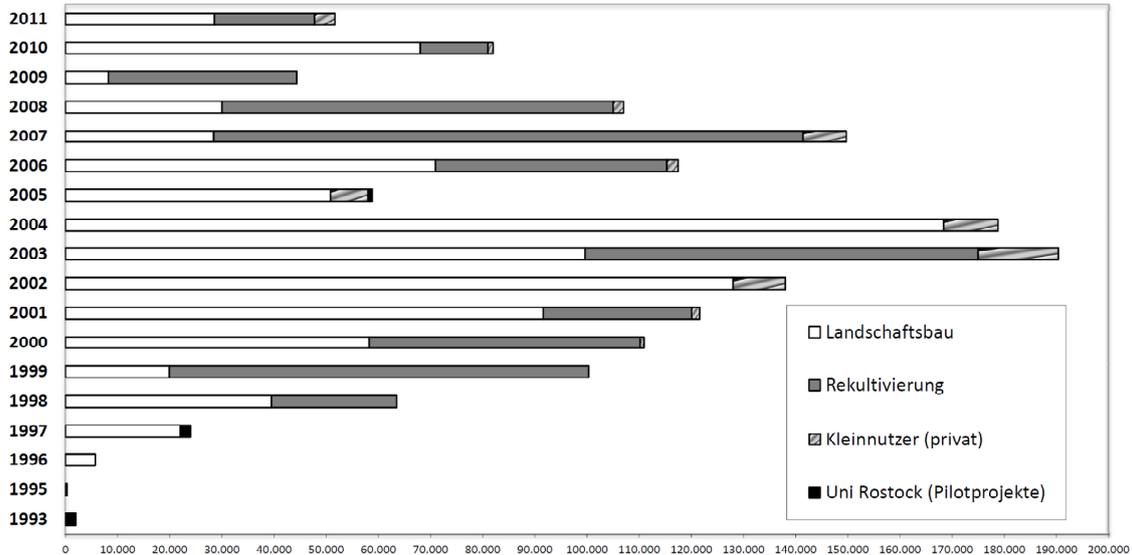


Abb. 1: Entwicklung der Verwertung des Rostocker Baggergutes

## 2.1 Korngrößenverteilung

Die in den Aquatorien gebaggerten Sedimente werden in eingedeichte Polder, die Spülfelder, mit einem Wassergehalt von ca. 95% eingespült. Dort klassieren die Partikel längs zum Spülstrom. Steine, Kiese und Sande werden vom Wasser nicht sehr weit mitgerissen, am Ende der Spülstrecke lagern sich die feineren, leichteren Bestandteile ab (Schluff, Ton und Organische Substanz) (Tab. 1). Die Sande und Kiese lassen sich in der Bauwirtschaft verwerten. Im weiteren Verlauf des Spülstromes setzen sich dann Mischböden (Sand-Schlickgemische) und, am weitesten von der Einspülstelle entfernt, zuletzt reine Schlicke (Ton-Schluff-OS-Gemische) ab. So führt die Längsstromklassierung in der IAA zu zwei für die Deponierekultivierung geeigneten Fraktionen (Mischböden, Schlicke).

Tab. 1: Korngrößenverteilung des Baggergutes (DIN ISO 11777)

	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
Mittelwert Schlicke	1,1	8,7	29,9	10,8	15,5	11,5	23,6
Mittelwert Mischboden	1,4	16,3	56,4	8,5	57,0	3,0	8,3
Maximum Schlicke	3,0	22,0	49,0	18,0	27,0	19,0	46,0
Maximum Mischboden	3,6	28,9	70,9	14,2	103,0	4,6	15,1
Minimum Schlicke	0,0	1,0	7,0	7,0	8,0	6,0	13,0
Minimum Mischboden	0,4	7,7	45,7	3,5	26,0	1,5	3,0

## 2.2 Chemische Kennzeichnung des Nassbaggergutes

Die Herkunft des Baggergutes aus dem Küstenbereich führt zu natürlich erhöhten Salzgehalten (SK)(Tab. 2).

Tab. 2: Nährstoff- und Salzgehalt der Schlicke und Mischböden

	TS	pH	SK	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub>	OS	CaCO <sub>3</sub>	anorg. N	P	K	Mg	Total N	T- Wert mval/ 100g B.
	%		%	mg/100 g Boden			%	TS	TS	mg/100 g			TS	TS
			TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
Mittelwert Schlicke	58,2	7,3	1,9	429	346,1	514,8	11,1	8	2,5	2	31,4	127,8	0,5	26,1
Mittelwert Mischboden	71,3	7,4	1,2	140,9	114,5	264,2	5,3	5,6	0,9	1,8	12,8	67,7	0,2	9,2
Maximum Schlicke	71	8	4	1340	905	1428	18	16	9	5	56	226	1	36
Maximum Mischboden	87,5	7,9	2,5	678,8	422	541,9	11	9,8	2	4,4	19,5	125	0,5	14,6
Minimum Schlicke	47	7	1	69	104	163	4	2	1	0,4	9	72	0	16
Minimum Mischboden	60,1	7,0	0,4	11,5	28,0	82,0	0,9	2,5	0,5	0,4	7	14,8	0,1	4,4

Da die Warnow ein ländliches Einzugsgebiet hat und im Rostocker Ballungsraum seit langem eine gute Klärung aller Abwässer erfolgt, ist der Schadstoffgehalt im Baggergut relativ gering. Durch die Klassierung weisen die feinkörnigen Schlicke etwas höhere Schadstoffgehalte auf als die weniger bindigen Mischböden (Tab. 3; Tab. 4). Die Einhaltung der verwertungsspezifischen Grenz- und Richtwerte erlaubt einen vielfältigen Einsatz z.B. in der Deponierekultivierung.

Tab. 3: Schadstoffgehalte der Schlicke und Mischböden und Grenzwerte

	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	As	EOX	IR-KW	PAK	PCB
	mg/kg TM											
Mittelwert Schlicke	21,2	0,4	35,2	22,4	14,5	0,3	100,5	9,6	0,7	225,3	0,9	0,033
Mittelwert Mischboden	9,5	0,2	15,8	12,0	6,7	0,2	44,2	5,8	0,7	108,7	0,6	0,028
Maximum Schlicke	35,0	0,8	63,5	37,0	18,0	0,9	177,0	25,0	1,0	715,0	2,18	0,074
Maximum Mischboden	23,8	0,3	32,8	28,5	10,0	0,4	94,0	12,5	1,3	281,0	3,3	0,066
Minimum Schlicke	10,0	0,0	12,0	14,0	11,0	0,0	36,0	5,0	0,0	28,0	0,0	0,009
Minimum Mischboden	4,0	0,1	44,0	4,6	3,0	0,0	16,0	3,6	0,4	19,4	0,0	0,009
BBodSchV VSW Sand	40,0	0,4	30,0	20,0	15,0	0,1	60,0				3,0	0,050
70%	28,0	0,3	21,0	14,0	10,5	0,07	42,0				2,1	0,035
BBodSchV VSW Lehm/Schluff	70,0	1,0	60,0	40,0	50,0	0,5	150,0				3,0	0,050
70%	49,0	0,7	42,0	28,0	35,0	0,35	105,0				2,1	0,035
DepV Sp. 9 (Reku-Schicht)	140	1	120	80	100	1	300				5	0,1

Tab. 4: Schadstoffgehalte (Eluat) im Baggergut im Vergleich zu Grenzwerten der DepV

	pH	Lf µS/cm	Chlorid mg/l	Sulfat mg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Hg µg/l	Zn µg/l	As µg/l
Mittelwert Schlicke	7	4044	542	2022	9,1	0,6	2,3	28,8	10,6	n.n.	75,8	3,4
Mittelwert Mischboden	7,1	2975	259	1596	4,6	0,2		11,3	6	n.n.	21,7	2,2
DepV Reku-Schicht	6,5 - 9	500	10	50	40	2	30	50	50	0,2	100	10

### 3 VERWENDUNG VON GEREIFTEM NASSBAGGERGUT IN DER DEPONIEREKULTIVIERUNG

Die seit Ende der 90-er Jahre erfolgreiche Verwertung von aufbereitetem Baggergut bei der Deponierekultivierung, aber auch im Garten- und Landschaftsbau sowie in der Landwirtschaft, belegt die sehr guten und in der Praxis bewährten Bodeneigenschaften (Wasserspeicherung, Nährstoffhaltevermögen, Erosionsstabilität) dieses Materials.

Der Einsatz des Baggergutes bei der Deponieabdeckung wurde jeweils auf Grundlage von Einzelfallentscheidungen der zuständigen Abfallbehörden durchgeführt. Dabei bedurfte es entsprechender Ausnahmeregelungen, da das Baggergut aufgrund seiner relativ hohen Salz- und Organikgehalte die geltenden Richtwerte der Deponieverordnungen deutlich überschreitet.

Nach bisherigen Erfahrungen eignet sich das Material sowohl zur Herstellung der Kubatur, als auch zum Aufbau einer Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht. In Mecklenburg-Vorpommern besteht weiterhin ein nicht unerheblicher Bedarf an Bodenmaterial für die Stilllegung von Deponien bzw. die Sicherung von Altstandorten.

Insbesondere hinsichtlich der sehr günstigen Eigenschaften des Baggergutes (Wasserspeichervermögen und Pflanzenverfügbarkeit des Wassers) stellt die neue Deponieverordnung jetzt konkrete Anforderungen. Schon eine temporäre Abdeckung muss die Sickerwasserneubildung minimieren. Das Rekultivierungssubstrat muss zudem, um ein ausreichendes Pflanzenwachstum gewährleisten zu können, eine nutzbare Feldkapazität von wenigstens 140 mm, bezogen auf die Gesamtdicke der Rekultivierungsschicht, aufweisen (DepV, Anhang 1, Pkt. 2.3.1). Beim Aufbau einer Wasserhaushaltsschicht fordert die Deponieverordnung eine nutzbare Feldkapazität von wenigstens 220 mm, bezogen auf die Gesamtdicke der Wasserhaushaltsschicht; zusätzlich darf die Durchsickerung höchstens 10 Prozent vom langjährigen Mittel des Niederschlags (in der Regel 30 Jahre), höchstens 60 mm pro Jahr, spätestens fünf Jahre nach Herstellung, betragen (DepV, Anhang 1, Pkt. 2.3.1.1). Natürlich muss gereiftes Nassbaggergut auch die Anforderungen an Deponieersatzbaustoffe erfüllen (DepV, Anhang 3, Tab. 2, nach Ziffer 9 der Tab. 1).

Um auch künftig gereiftes Nassbaggergut in der Deponierekultivierung einsetzen zu können, musste auf bereits rekultivierten Deponien geprüft werden, in wie weit diese neuen Anforderungen der Deponieverordnung eingehalten werden.

Beobachtungen an den rekultivierten Deponien und Erfahrungen aus anderen Einsatzbereichen des Baggergutes geben Grund zur Annahme die neue DepV einhalten zu können. Zum Beispiel wurde in einem seit neun Jahren an der Universität Rostock betriebenen Lysimeterversuch die Sickerwassermenge um bis zu 25 % im Vergleich zu lehmigem Sand reduziert. Dabei wurde Baggergut (Bodenart: organik- und kalkreicher, schluffiger Lehm), in einer Mächtigkeit von bis zu 10 cm Auftragshöhe in die 30 cm mächtige Oberbodenschicht (lehmiger Sand) eingearbeitet.

## 4 ERGEBNISSE - PRÜFUNG DER REKULTIVIERUNGSSCHICHTEN

Für die Untersuchungen wurden vier in den letzten Jahren mit Baggergut rekultivierte Deponien unterschiedlichen Abdeckungsalters ausgewählt (Deponien Teterow-Danschow, Grimmen, Rostock NIR (ehem. Warnow-Werft) und Marlow).

Dabei wurden u.a. folgende Parameter an den vier Standorten geprüft:

- Aktuelle Situation (Sickerwasseranfall, besondere Auffälligkeiten)
- Optische Beurteilung der Abdeckung (Aufwuchs, Erosionen, Setzungen, Rutschungen...)
- Recherche eventuell durchgeführter Maßnahmen und vorliegender Untersuchungen seit der Abdeckung
- Befragung des Eigentümers/Betreibers der Deponie zum bisherigen Verlauf der Nachsorge
- schichtenweise Bodenprobenahme (gestörte und ungestörte Proben), zur Beurteilung der Restschumpfung des Baggergutes und Bestimmung der Durchwurzelungstiefe und -intensität
- Bodenmechanische Untersuchungen gemäß DepV bzw. GDA-Empfehlung (Wassergehalte, Dichten, Flügelscherfestigkeit vor Ort, aktuelle Feldkapazität (nFK und FK),  $k_f$ -Wert (in-situ und Labor), pH-Wert, OS, Kalk,
- Beurteilung des Schadstoffpotentials der Baggergutchargen anhand vorliegender Zertifizierungen
- Untersuchung der Stoffverlagerung, insb. Salze im Profil
- Prüfung der Humusformen im Baggergut und ihrer Stabilität (AT<sub>4</sub>-Versuch)
- Modellierung des Wasserhaushaltes mit HELP Version 3.90D.

Die Deponien sind vor zwei bis 16 Jahren abgedeckt worden. Das für die Rekultivierung eingesetzte Baggergut variiert in seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften, da es aus unterschiedlichen Baggerungen stammt. Es existierten keine Testfelder mit gleichem Baggergut, alle Untersuchungen wurden an bereits rekultivierten Deponien durchgeführt.

### 4.1 Aktuelle Situation

Die Deponien wurden während und seit der Rekultivierung immer wieder besucht.

In Abhängigkeit von der Bedeutung der Deponie ist auch der Pflegezustand nach der Rekultivierung. Wurden die Deponien jährlich gemäht, bilden Gräser die dominierende Pflanzenart. Wurde die Pflege seit Jahren ausgesetzt, wachsen Kräuter; die Deponie verbuscht und erster Baumwuchs ist vorhanden. Auf allen Deponien ist ein dichter Bewuchs vorhanden (hohe Bodenfruchtbarkeit des Substrates Baggergut trotz des erhöhten Salzgehaltes).

Keine der Deponien zeigte mechanische Veränderungen der Oberfläche (Erosionen, Setzungen, Rutschungen). Die sehr intensiven Niederschläge des Jahres 2011 konnten die Rekultivierungsschichten nicht schädigen. Die Niederschlagssumme des Sommer 2011 lag z.T. über der normalen durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme. Sickerwasseraustritte in die Entwässerungsschicht des Abdichtungssystems konnten nur bei einer Deponie beobachtet werden.

Dass Baggergut sehr erosionsstabil ist, das zeigte sich bei der Deponie NIR Rostock im Jahr 2006. Gleich nach Fertigstellung der Abdeckung der Deponie im August 2006 haben mehrere Starkniederschläge (12. - 14. 8. mit 52 mm sowie 20. - 22. 8. 2006 mit 32 mm) trotz noch fehlender Begrünung kaum zu Erosionserscheinungen geführt.

Bei Aufgrabungen der Rekultivierungsschichten konnten Rissbildungen in der Rekultivierungsschicht festgestellt werden. Das war insbesondere der Fall, wenn der Einbau des Materials bei zu hohem Wassergehalt erfolgte, diese Risse reichen mehrere Dezimeter in die Rekultivierungsschicht. Die Schumpfrisse verfüllen sich aber mit Bodenpartikeln.

Die Rekultivierungsschichten sind sehr gut durchwurzelt und werden so für die Wasserversorgung der Pflanzen erschlossen und verdunstungswirksam.

#### 4.2 Beurteilung chemischer und biologischer Eigenschaften der Rekultivierungsschichten

Die vier untersuchten Deponien wurden jeweils an zwei Schürfen beprobt die die gesamte Rekultivierungsschicht erschlossen (ca. einen Meter tief). In drei Tiefen erfolgten die Messungen bzw. die Probenahmen.

Die Wasserbewegungen in der Rekultivierungsschicht führten zu Stoffverlagerungen: insbesondere bei Salzionen und Magnesium lässt sich meist eine Zunahme der Gehalte mit der Tiefe feststellen.

Die Gehalte an TOC und Kalk weisen noch immer ähnlich hohe Gehalte wie beim Einbau auf. Der immer noch hohe Kalkgehalt erhält langfristig neutrale pH-Werte (hohes Puffervermögen). Der weiterhin gleichhohe TOC zeigt die sehr gute Stabilität der Organischen Substanz, was auch die sehr geringe Atmungsaktivität ( $AT_4$ ) belegt, die deutlich unter der Vorgabe der DepV (5 mg  $O_2$ /g TS) liegt.

Auf die Bedeutung des herkunftsbedingt hohen Salzgehaltes im Baggergut wurde bereits hingewiesen. Einzelfallentscheidungen ermöglichen aber den sinnvollen Einsatz des Baggergutes.

Die weiterhin relativ geringen Gehalte an verfügbarem mineralischen Stickstoff (bezogen auf den großen Stickstoffvorrat im Boden) von meist nur 0,5 bis 2 mg  $N_{min}$ /100 g Boden (ca. 20 - 80 kg N/ha in der oberen Rekultivierungsschicht von 0 - 30 cm) reichen aber aus, um ein kräftiges Pflanzenwachstum zu ermöglichen.

Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor weisen das vom Baggergut bekannte niedrige Niveau auf, was aber erfahrungsgemäß sicher ausreicht den Pflanzenbedarf zu decken.

Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium liegen im Bereich einer ausreichenden Versorgung, die bezugnehmend auf landbauliche Erfordernisse keine zusätzliche Düngung erfordern würde. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Magnesium sind als hoch bis sehr hoch einzuschätzen (35 - 100 mg/100 g Boden). Das ist auch bei frisch aufbereitetem Baggergut der Fall, zum Teil auf noch höherem Niveau (> 150 mg/100 g Boden) (Tab. 5).

Die Untersuchung der bodenchemische Parameter zeigt für alle untersuchten Rekultivierungsschichten, dass diese für das Pflanzenwachstum sehr gute bodenfruchtbarkeitsbestimmende Eigenschaften aufweisen. Auf Grund des guten Bindungsvermögens (hohe Gehalte an TOC und Ton) sowie des ausgezeichneten Wasserhaltevermögens war kein erhöhter Austrag an Salzionen und Nährstoffen zu erwarten.

Tab. 5: Chemische Kennzeichnung der Rekultivierungsschichten

Standort	Tiefe mm	TM %	pH	SK grav. %	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	OS TS %	AT <sub>4</sub> TS mgO <sub>2</sub> / kg TS	CaCO <sub>3</sub> TS %	N <sub>am</sub> TS mg/100 g TS	P TS mg/100 g TS	K TS mg/100 g TS	Mg TS mg/100 g TS
					TS mg/100 g TS	TS mg/100 g TS	TS mg/100 g TS							
Marlow Schürf 1	100	78,7	7,2	0,90	1,9	1,2	138,2	4,8	1,02	3,6	1,3	4,5	17	37
	350	78,3	7,4	1,03	2,0	1,3	174,3	4,8	0,71	3,2	0,8	1,7	10	34
	700	75,2	7,5	1,13	0,7	3,8	187,1	6,9	1,03	3,8	0,9	1,9	9	74
Marlow Schürf 2	150	71,1	7,3	0,80	0,5	1,1	66,8	7,6	0,98	3,1	0,7	5,1	16	44
	400	73,2	7,4	1,05	2,0	2,0	179,4	5,6	0,85	3,3	0,3	2,2	10	37
	750	67,8	7,5	1,13	1,4	3,9	207,5	7,8	1,08	4,7	0,4	1,5	9	72
NIR Schürf 1	150	61,8	7,5	1,10	4,4	7,4	284,8	8,2	1,5	3,4	0,8	1,2	17	37
	450	66,8	7,7	1,41	59,4	90,0	271,7	7,4	0,56	3,4	1,6	0,8	13	79
	850	62,9	7,6	1,59	152,5	149,0	307,8	7,0	1,1	2,4	2,2	0,7	14	76
NIR Schürf 2	150	76,9	7,6	1,11	11,5	11,0	205,5	7,4	0,8	3,8	1,2	1,0	22	40
	400	72,1	7,6	1,56	103,1	128,0	274,9	8,7	1,3	2,9	1,8	0,7	12	92
	850	69,9	7,6	1,96	329,1	218,8	286,1	9,8	0,8	2,7	1,7	1,3	17	102
	1200	66,5	7,7	1,71	210,3	159,1	283,3	8,3		3,0	1,5	0,5	20	95
Teterow Schürf 1	100 - 200	86,9	7,3	0,06	2,8	1,1	1,8	1,4	0,2	12,5	4,7	5,5	20	21
	400 - 500	75,5	7,6	1,12	8,2	13,7	227,5	5,3	0,4	5,1	0,9	0,7	9	54
	800 - 850	70,2	7,6	1,27	35,1	55,1	262,4	6,5	0,6	4,2	1,1	0,6	13	77
Teterow Schürf 2	100 - 200	96,0	7,6	0,15	4,8	3,1	1,9	1,8	0,7	6,3	2,1	8,3	11	20
	350 - 450	63,1	7,6	1,19	11,7	27,3	287,5	9,0	0,8	4,8	1,3	0,7	11	82
	800 - 850	72,2	7,6	1,21	17,4	34,3	249,9	6,1	0,6	4,6	1,0	0,6	11	71
Grimmen Schürf 1	100 - 200	74,4	7,6	1,12	5,0	8,8	219,4	9,7	1,8	2,7	0,9	0,9	16	58
	400 - 500	66,5	7,6	1,26	14,2	29,5	244,8	8,9	0,9	2,0	0,9	0,6	13	95
	800	62,2	7,6	1,54	102,8	110,3	298,4	9,8	2,6	2,4	1,0	0,4	20	100
	950	64,2	7,6	1,51	95,0	103,9	307,5	8,6		1,8	0,9	0,4	20	97
Grimmen Schürf 2	200 - 250	74,4	7,6	1,11	7,3	9,4	232,3	11,3	1,9	2,6	1,3	0,6	14	48
	550	58,7	7,6	1,53	79,4	116,2	331,5	12,8	2,0	4,8	1,5	0,3	23	110
	800	57,1	7,6	1,62	130,1	148,1	349,2	11,8	1,9	4,3	1,4	0,3	25	105

Die Rekultivierungsschicht bis 200 mm in Teterow ist nicht aus Baggergut sondern aus Mergel aufgebaut, des halb die Unterschiede zu den anderen Schichten!

### 4.3 Beurteilung physikalischer Eigenschaften in den Rekultivierungsschichten

Die Deponieverordnung und die Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 7-1 "Rekultivierungsschichten" und 7-2 "Wasserhaushaltsschichten" fordern die Einhaltung bodenphysikalischer Parameter (siehe Kap. 3). Diese Parameter wurden geprüft, um den Nachweis der weiteren Verwendbarkeit des aufbereiteten Nassbaggergutes zu erbringen.

#### 4.3.1 Scherfestigkeit

Die in den Schürfen ermittelten Flügelscherfestigkeiten schwanken z.T. erheblich in Abhängigkeit von der Art des Einbaus. Auf Standorten wo das Baggergut beim Einbau mehrfach überfahren wurde und so eine leichte Verdichtung erfolgte bzw. wo Mergel als oberste Bodenschicht eingebaut wurde, wurden auch im Oberboden hohe Scherfestigkeiten von 70 - 80 kPa und sogar 100 - 120 kPa gemessen. An einem Standort ist überhaupt keine Differenzierung über die Tiefe festzustellen, so dass anzunehmen ist, dass alle Lagen mit gleicher Dichte eingebaut wurden. Bei anderen Standorten weisen die Messungen eine deutlich tiefenabhängige Staffelung auf. In den oberen, locker eingebauten Schichten wurden Scherfestigkeiten von „nur“ knapp 20 – 33 kPa ermittelt. Diese Lockerheit ist dann besonders auf den hohen Gehalt an Organischer Substanz und die intensive Durchwurzelung zurückzuführen. In den darunter liegenden Schichten wurden Scherfestigkeiten vom mehr als 100 kPa gemessen (Tab. 6).

Die gemessenen Scherfestigkeiten entsprechen Vergleichswerten für halbfeste bindige Böden (Lehm, Schluff).

Tab. 6: Scherfestigkeit der Rekultivierungsschichten

Standort	Tiefe mm	TM %	Scherfestigkeit $\tau$ kPa	Lagerungsdichte g/cm <sup>3</sup>
Marlow Schürf 1	150	78,7	26,5	1,11
	750	75,2	156,8	1,14
Marlow Schürf 2	100	71,1	18,4	1
	350	73,2	21,3	0,98
	650	67,8	116,6	1,05
NIR Schürf 1	450	66,8	30,3	0,88
	1000	62,9	35,0	0,89
NIR Schürf 2	150	76,9	32,7	0,87
	400	72,1	116,7	0,9
	800	69,9	109,1	0,88
Teterow Schürf 1	200	86,9	76,1	1,8
	400	75,5	116,7	1,12
	800	70,2	109,1	1,01
Grimmen Schürf 1	100 - 200	74,4	122,0	0,88
	400 - 500	66,5	136,0	0,89
	800	62,2	124,0	0,88
Grimmen Schürf 2	200 - 250	74,4	103,5	0,82
	550	58,7	92,8	0,77
	800	57,1	97,1	0,83

*Die Rekultivierungsschicht bis 200 mm in Teterow ist nicht aus Baggergut sondern aus Mergel aufgebaut, des halb die Unterschiede zu den anderen Schichten!*

#### 4.3.2 Wasserdurchlässigkeitsbeiwert

Die Ermittlung erfolgte im Felde mit dem Feldinfiltrimeter (ungesättigte Leitfähigkeit) und im Labor (gesättigte Leitfähigkeit) an Stechzylindern (500 cm<sup>3</sup> oder 250 cm<sup>3</sup>)

Die Wasserdurchlässigkeit der Rekultivierungsschichten ist, obwohl keine zielgerichtete Verdichtung der eingebauten Schichten erfolgte (i.d.R. nur Einbau mit Raupe oder Langarmschaufel), sehr gering. Sie schwankt in Abhängigkeit des Untersuchungsverfahrens (Feld- [FM] oder Labormethode[LM]) zwischen  $8,1 \times 10^{-6}$  -  $1,2 \times 10^{-7}$  m/s (LM) bzw.  $2,18 \times 10^{-6}$  -  $1,98 \times 10^{-8}$  m/s (FM) und nimmt in der Regel erwartungsgemäß von oben nach unten hin zu.

#### 4.3.3 Porenvolumen und Dichten

Das Gesamtporenvolumen (GPV) der eingebauten Baggergutssubstrate liegt auch nach mehreren Jahren (einschließlich Verlusten durch eventuell leichte Setzungen nach dem Einbau) i.d.R. über 50 %, oft über 60 %. Dieses große Gesamtporenvolumen spiegelt sich auch in den sehr geringen Lagerungsdichten von meist nur 0,8 - 1,1 g/cm<sup>3</sup> wieder (Tab. 7). Beides ist unabhängig von der Tiefe. Sowohl Letzteres als auch die an allen Standorten angetroffene Einbauhöhe von ca. 1 m widerspricht der Befürchtung, dass nach dem Einbau noch erhebliche Setzungen stattgefunden haben.

#### 4.3.4 Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität

Das hohe Gesamtporenvolumen ermöglicht auch hohe Feldkapazitäten und nutzbare Feldkapazitäten.

Aufgrund des hohen Anteils von Mittel- und Feinporen (schluffig-toniges Baggergut, Schlick) kann der überwiegende Teil des Porenvolumens Wasser gegen die Gravitation speichern (sehr hohe Feldkapazität, oft > 50 %). Oftmals sind mehr als die Hälfte, aber mindestens mehr als 35 % des Porenvolumens, als nutzbare Feldkapazität für die Pflanzen verfügbar. Die nutzbare Feldkapazität liegt fast immer über 20 Volumen-%, z.T. sogar über 30 Volumen-%. Die Forderungen der Deponieverordnung nach 140 mm bzw. 220 mm (Wasserhaushaltsschicht) nFK werden immer erfüllt, und das Jahre nach dem Einbau des aufbereiteten Nassbaggergutes in die Rekultivierungsschichten, deshalb sollten sich auch Wasserhaushaltsschichten problemlos aus Baggergut herstellen lassen (Tab. 7).

Die relativ geringe Lagerungsdichte führt insbesondere in der Oberbodenschicht (0 - 30 cm) oft zu einem hohen Luftporenvolumen (Luftkapazität) z.T. größer als 10 %. In Verbindung mit der sehr guten Wasserversorgung (sehr hohe nutzbare Feldkapazität) und den ausreichend verfügbaren Nährstoffen sind ausgezeichnete Bedingungen für ein kräftiges Pflanzenwachstum gegeben.

Tab. 7: Bodenphysikalische Eigenschaften der Rekultivierungsschichten

Standort	Tiefe	TM	OS	CaCO <sub>3</sub>	Lagerungs- dichte	Substanz- dichte	PV	WV	LK	FK	nFK	nFK / FK
	mm	%	%	%	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	Vol %	Vol %	Vol. %	Vol %	Vol %	%
Marlow	100	78,7	4,8	3,6	1,11	2,52	56,1	37,9	6,1	50,0	33,7	67,4
Schürf 1	350	78,3	4,8	3,2	1,10	2,52	56,2	43,6	8,8	47,4	29,5	62,3
	700	75,2	6,9	3,8	1,14	2,47	53,8	49,1	0,8	53,0	23,4	44,1
Marlow	150	71,1	7,6	3,1	1,00	2,49	59,7	37,4	4,8	54,9	37,2	67,9
Schürf 2	400	73,2	5,6	3,3	0,98	2,51	61,2	41,0	11,8	49,4	29,1	59,0
	750	67,8	7,8	4,7	1,05	2,47	57,3	45,4	4,2	53,2	20,5	38,6
NIR	150	61,8	8,2	3,4	0,88	2,42	63,8	49,3	12,5	51,3	25,9	50,5
Schürf 1	450	66,8	7,4	3,4	1,03	2,45	58,1	46,7	5,6	52,4	24,1	45,9
	850	62,9	7,0	2,4	0,89	2,45	63,8	55,8	7,9	55,9	35,1	62,8
NIR	150	76,9	7,4	3,8	0,87	2,48	64,7	32,0	25,6	39,1	21,1	54,1
Schürf 2	400	72,1	8,7	2,9	0,90	2,43	62,8	43,3	9,7	53,1	30,2	56,8
	850	69,9	9,8	2,7	0,88	2,42	63,6	42,3	8,9	54,7	28,7	52,5
Teterow	100 - 200	86,9	1,4	12,5	1,80	2,64	31,6	24,1	6,9	24,7	2,8	11,2
Schürf 1	400 - 500	75,5	5,3	5,1	1,12	2,54	51,4	49,7	6,1	45,3	20,2	44,5
	800 - 850	70,2	6,5	4,2	1,01	2,48	59,5	51,3	4,2	55,2	25,0	45,3
Teterow	100 - 200	96,0	1,8	6,3	1,64	2,63	37,8	13,0	12,3	25,5	11,2	44,0
Schürf 2	350 - 450	63,1	9,0	4,8	0,99	2,42	59,3	60,1	-3,0	62,4	24,6	39,4
	800 - 850	72,2	6,1	4,6	1,14	2,51	51,6	48,4	1,6	50,1	20,4	40,1
Grimmen	100 - 200	74,4	9,7	2,7	0,88	2,40	63,3	44,0	10,9	52,4	23,0	43,9
Schürf 1	400 - 500	66,5	8,9	2,0	0,89	2,42	63,4	55,3	3,3	60,1	28,7	47,7
	800	62,2	9,8	2,4	0,88	2,43	63,8	55,2	4,2	59,6	24,5	41,1
Grimmen	200 - 250	74,4	11,3	2,6	0,82	2,35	65,0	41,2	7,2	57,8	28,1	48,7
Schürf 2	550	58,7	12,8	4,8	0,77	2,32	66,8	59,9	0,8	66,0	24,2	36,6
	800	57,1	11,8	4,3	0,83	2,45	66,1	56,9	4,8	65,2	22,9	35,0

*Die Rekultivierungsschicht bis 200 mm in Teterow ist nicht aus Baggergut sondern aus Mergel aufgebaut, das halb die Unterschiede zu den anderen Schichten!*

Die Kennzahlen Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität erfüllen die Forderungen der Deponieverordnung, der BQS 7-1 und 7-2 und der GDA-Empfehlungen E 2-31 und E 2-32. Beim Einsatz von aufbereitetem Nassbaggergut (Schlick) in der gesamten Rekultivierungsschichtmächtigkeit, werden 500 - 610 mm FK bzw. 230 - 290 mm nFK je Meter erreicht. Diese Werte wurden auch in den seit mehreren Jahren liegenden Rekultivierungsschichten gemessen!

#### 4.3.5 Simulation des Wasserhaushalts mit HELP

Die Deponieverordnung fordert den Nachweis der Versickerungsraten; solch eine Simulation des Wasserhaushaltes kann mit dem Model HELP 3.90 D erfolgen.

Diese Simulation wurde auch an den untersuchten Rekultivierungsschichten durchgeführt (Berger 2012). Die Simulationen wurden sowohl mit den Daten der Normalperiode 1961 - 1990 als auch mit den Daten der Jahre 2000 - 2010 durchgeführt. Das Jahrzehnt 2000 - 2010 zeigt deutliche Veränderungen bezüglich der Faktoren, die die Wirksamkeit einer Rekultivierungsschicht besonders herausfordern. Die erste Dekade dieses Jahrhunderts zeigt bei allen Stationen sowohl deutlich höhere Jahresniederschläge (ca. 10%) als auch deutlich höhere Jahresmitteltemperaturen (ca. 1°C).

Die mittlere jährliche Versickerung aus der Rekultivierungsschicht liegt am Deponiestandort NIR Rostock bei rund 60 mm. Marlow (M) und Grimmen (GR) erreichen mittlere Versickerungen von rund 120 - 130 mm/a. Die höchsten Werte treten in Teterow (TET) mit rund 150 – 165 mm/a auf. Bei den recht guten Daten für nFK und FK und kaum beobachteten Sickerwasserabläufen, verwundern diese Daten.

Tab. 8: Mittlerer jährlicher Wasserhaushalt der Profile (2000 - 2010) (Berger 2012)

Parameter [mm]	TET		M		GR		NIR	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Niederschlag	653,1		620,5		662,4		631,3	
Oberfl.abfluss	7,8	8,1	3,1	3,3	11,7	14,5	2,7	2,5
ETp	665,6		654,0		678,6		753,3	
ETa	478,2	493,9	491,6	486,0	519,6	510,2	558,3	558,7
Versickerung	165,3	148,9	122,2	127,8	122,4	130,7	61,8	61,2
$\Delta W_g$	1,8	2,2	3,5	3,3	8,8	7,0	8,4	8,9
FK	431	464	504	526	576	617	535	495
nFK	169	170	283	282	253	233	290	268

ETa Tatsächliche/reale Verdunstung, ETp Potentielle Verdunstung,  $\Delta W_g$  Änderung des Wasservorrats

„Eine gewisse Unsicherheit ergibt sich aus der offenen Frage, inwieweit sich das Baggergut mit seinem hohen Organikanteil bodenhydrologisch wie Mineralboden verhält, der den Modellierungsansätzen von HELP zugrunde liegt. Ob das Wasserhaltevermögen des Baggerguts besser als in HELP modelliert ist und dadurch die Versickerung von HELP etwas überschätzt wird ist jedoch Spekulation.“ (Berger 2012, S. 8)

Deutlich zeigen sich aber die positiven Eigenschaften des Baggergutes im Vergleich zu Mergel. Die Rekultivierungsschicht der Deponie TET ist in den oberen ca. 30 cm aus Mergel aufgebaut, die geringere nFK und die höhere Durchsickerung sind aber recht deutlich.

Kritisch zu hinterfragen bleibt allerdings, wie „normale“ Substrate (Bodenarten) die Anforderungen der Deponieverordnung, der BQS 7-1 und 7-2 erfüllen sollen, wenn selbst ein Substrat mit extrem hoher FK und nFK dazu scheinbar nicht in der Lage ist, wenn man die Ergebnisse der HELP-Berechnungen zu Rate zieht.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

In Mecklenburg-Vorpommern werden seit 15 Jahren Deponien auch mit aufbereitetem Nassbaggergut rekultiviert. Dieses Rekultivierungssubstrat wird bei Baggerungen zur Erhaltung der Gewässertiefen im Rostocker Hafen gewonnen. Anschließend wird das Nassbaggergut in einer Industriellen Absetzanlage im Längsstromverfahren klassiert. Grobe Bestandteile (Kiese und Sande) werden in der Bauindustrie eingesetzt. Die Mischböden gehen in den Landschaftsbau und die organikreichen, schluffig tonigen Substrate werden nach der Entwässerung und Reifung in Rekultivierungsschichten von Deponieabdichtungssystemen eingesetzt. Möglich sind all diese Verwertungsvarianten nur, weil das Rostocker Nassbaggergut nicht mit Schadstoffen belastet ist.

Da die Deponieverordnung den Nachweis des Wasserspeichervermögens (nutzbare Feldkapazität) für Deponierekultivierungsschichten fordert, wurde auf bereits mit aufbereitetem Nassbaggergut rekultivierten Deponien, dessen Eignung überprüft.

Auf vier Deponien wurden 2 bis 15 Jahre nach der Rekultivierung Messungen der Porenraumverteilung (FK, nFK), der Wasserdurchlässigkeiten, mechanischer Eigenschaften und des Chemismus vorgenommen.

Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Forderungen der DepV bezüglich der nFK auch viele Jahre nach der Rekultivierung sicher eingehalten werden.

Dem weiteren Einsatz von aufbereitetem Nassbaggergut in Rekultivierungsschichten steht nach entsprechender Prüfung nichts im Weg.

## LITERATUR

Berger, K. (2012) Simulation des Wasserhaushalts mit HELP 3.90 D für vier Deponiestandorte in Mecklenburg-Vorpommern. Berechnungen an der Universität Hamburg; Gutachten vom 13.04.2012, unveröffentlicht

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 "Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen" vom 23.05.2011

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-2 "Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungen" vom 20.10.2011

GDA-Empfehlung E2-31 Rekultivierungsschichten (2006) Deutsche Gesellschaft für Geotechnik <http://www.gdaonline.de/pdf/E2-31.pdf>, 22:07:2012

GDA-Empfehlung E2-32 Gestaltung des Bewuchses auf Abfalldeponien (2010) Deutsche Gesellschaft für Geotechnik <http://www.gdaonline.de/pdf/E2-32.pdf>, 22:07:2012

Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) vom 27.04.2009, BGBl. I S. 900, die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 28 des Gesetzes vom 24. Februar 2012

Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Landschaftsplanung

Justus-von-Liebig-Weg 6

D-18059 Rostock

Telefon: 0381-4983246

Fax: 0381-4983242

E-Mail: [elke.ostenberg@uni-rostock.de](mailto:elke.ostenberg@uni-rostock.de)

Lehrstuhl Abfall- und Stoffstromwirtschaft

Justus-von-Liebig-Weg 6

D-18059 Rostock

Telefon: 0381-4983401

Fax: 0381-4983402

E-Mail: [asw@uni-rostock.de](mailto:asw@uni-rostock.de)

