April 2021

Fachbericht

Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste

Fachausschuss Baggergut der Hafentechnischen Gesellschaft (HTG)

Bitte wie folgt zitieren:

Fachausschuss Baggergut der HTG (2021): Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste. Fachbericht. Verfügbar unter www.htg-baggergut.de

Inhalt

Abbildungsverzeichnis ... 5
1 Vorwort ... 7
2 Stoffliche Zusammensetzung von Baggergut ... 8
3 Rechtliche Rahmenbedingungen für die Verwertung von Baggergut ... 8
3.1 Abfalleigenschaft von Baggergut ... 9
3.2 Verwertung von Baggergut unter, in und auf Oberböden ... 10
3.3 Verwertung von Baggergut auf Deponien ... 10
3.4 Verwertung von Baggergut im Deichbau ... 11
4 Behandlung von Baggergut ... 12
4.1 Behandlung in Feldern ... 13
4.1.1 Prinzip der Behandlung ... 13
4.1.2 Baggergut mit geringen Gehalten an Schadstoffen ... 14
4.1.3 Baggergut mit erhöhten Gehalten an Schadstoffen ... 16
4.1.3.1 Beispiel Bremen 16
4.1.3.2 Beispiel Hamburg 17
4.2 Mechanische Trennung und Entwässerung ... 17
5 Verwertungsverfahren für feinkörniges Baggergut ... 20
5.1 Verwertung in durchwurzelbaren Bodenschichten ... 20
5.1.1 Einsatz von Baggergut im Gartenbau und in der Landwirtschaft Mecklenburg-Vorpommerns ... 20
5.1.2 Überspülung landwirtschaftlicher Grünlandflächen mit Feinsedimenten (Schlick) im Emsbereich ... 23
5.1.3 Schlussfolgerungen ... 26
5.2 Verwertung von Baggergut auf Deponien ... 27
5.2.1 Rekultivierungsschichten ... 27
5.2.2 Dichtungsschichten ... 28
5.2.3 Schlussfolgerungen ... 30
5.3 Verwertung im Deichbau ... 30
5.3.1 Projekt DredgDikes ... 31
5.3.2 Ellerholzkanal, Hamburg ... 32
5.3.3 Drewer Hauptdeich, Hamburg ... 34
5.3.4 Norddeich CT 4, Bremerhaven ... 34
5.3.5 Schlussfolgerungen ... 36
5.4 Verfüllung von Hafenbecken ... 36
5.4.1 Osthafen Bremerhaven ... 37
5.4.2 Rodewischhafen in Hamburg ... 38
5.4.3 Dradenauhafen in Hamburg ... 38
5.4.4 Schlussfolgerungen ... 39

5.5 Verwertung von feinkörnigem Baggergut in Lübeck im Rahmen einer Biotopgestaltung, Beispiel Spülfläche „Am Stau“ 40
5.6 Baggergutverwertung zur Rekultivierung von Auskiesungen 41
5.7 Verwertung nach thermischer Behandlung 42
5.7.1 Verwertung bei der Ziegelproduktion 42
5.7.2 Verwertung bei der Produktion von Blähtonpellets 42
5.7.3 Schlussfolgerungen 43
6 Empfehlungen 43
Literatur 46

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung der Behandlung von Baggergut in Feldern (Quelle: Hamburg Port Authority) 14

Abb. 2: Einspülung von Sedimenten am Beispiel eines Längsstromklassierpolders (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock) 14

Abb. 3: Oberflächlich abgetrockneter Klassierpolder mit typischen Rissbildern aufgrund beginnender Schrumpfungsprozesse (hohe Tongehalte im Substrat, meist > 10) (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock) 15

Abb. 4: Zu Mieten aufgesetzte sog. Mischböden in einer Reifungsanlage (IAA Rostock) (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock) 15

Abb. 5: Umsetzung der Mieten mit Spezialtechnik zur zusätzlichen Belüftung und Homogenisierung des fast ausgereiften Bodenmaterials (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock) 16

Abb. 6: Luftaufnahme der METHA-Anlage 2014 (Quelle: Hamburg Port Authority) 18

Abb. 7: Vereinfachtes Verfahrensfließbild der METHA–Klassierung (Quelle: Hamburg Port Authority) 18

Abb. 8: Hydrozyklone der 1. Trennstufe bei 63 µm (Quelle: Hamburg Port Authority) 19

Abb. 9: Vereinfachtes Verfahrensfließbild der METHA – Entwässerung (Quelle: Hamburg Port Authority) 19

Abb.10: Hochdruckpresse und Membrankammer-Filterpresse der METHA-Entwässerung (Quelle: Hamburg Port Authority) 20

Abb. 11: Baggergutausbringung im Obstbau und auf Ackerland (Quelle: Henneberg, 2009) 21

Abb. 12: Einarbeitung von Baggergut mittels Grubber und Pflug (Quelle: Henneberg, 1997) 21

Abb. 13: Übersicht zur Ems (Quelle: WSA Emden) 23

Abb. 14: Werftschiff passiert die Emsbrücke bei Leer (Quelle: WSA Emden, Foto Unkel) 24

Abb. 15: Übersicht Spülgebiet ´Ihrhove II´, Rekultivierung der Spülfeldflächen (Quelle: WSA Emden) 25

Abb. 16: Beispiel für den Bodenaufbau in ´Ihrhove II´ nach der Überspülung (Quelle: WSA Emden) 26

Abb. 17: Verwertung von behandeltem Baggergut im Dichtungsbau auf der Baggergutmonodeponie Francop in Hamburg (Quelle: Hamburg Port Authority) 28

Abb. 18: DredgDikes Forschungsdeiche in Rostock (links) und Danzig (Mitte); Pilotdeich am Körkwitzer Bach (rechts) (Quelle Saathoff, et.al. 2015) 31

Abb. 19: Einstau- und Überströmungsversuche am Rostocker Forschungsdeich (links, Mitte), Einbauversuch (rechts) (Quelle Saathoff, et.al. 2015) 31

Abb. 20: Einbau eines Testfeldes mit METHA-Material (dunkel) und Kleidecke im Böschungsbereich bei Tideniedrigwasser (Quelle: Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg) 33

Abb. 21: Luftbild Bremerhaven Erweiterungsfläche CT 4 (Quelle: Bremenports) 34

Abb. 22: Deichquerschnitt Bremerhaven CT 4 (Quelle Bremenports) 35

Abb. 23: Hafenbeckenverfüllung Osthafen in Bremerhaven ((Quelle: Bremenports) 37

Abb. 24: Verfüllung Rodewischhafen in Hamburg, u.a. Einschieben des sandigen Füllbodens mit Pistenbully (Quelle: Hamburg Port Authority) 38

Abb. 25: Prinzipskizze zur Herrichtung der Logistikfläche Dradenau in Hamburg (Quelle: Hamburg Port Authority) 39

Abb. 26: Verfüllung einer Auskiesung am Niederrhein bei Rees (Quelle: Hüskens Wasserbau). 41

Abb. 27: Löschen eines Transportschiffes per Schutenspüler (linkes Bild) bzw. mittels Ponton und Hydraulikbagger (rechtes Bild) (Quelle Hüskens Wasserbau) 41

Abb. 28: Pellets aus aufbereitetem Baggergut (Quelle: Hamburg Port Authority) 42

1 Vorwort

In Häfen und Wasserstraßen werden zur Herstellung bzw. Sicherung der Fahrwassertiefen Baggerungen der sich am Gewässergrund befindlichen Sedimente vorgenommen. Aus ökologischen wie ökonomischen Gründen ist es vorrangiges Ziel, diese Baggerungen zu minimieren bzw. gebaggerte Sedimente im Gewässer zu belassen. Jedoch kann es z.B. auf Grund erhöhter Gehalte an Schadstoffen erforderlich sein, diese Sedimente aus dem Gewässer zu entfernen.

Im Küstenbereich Deutschlands einschließlich der Ästuare kann von folgenden Volumina an Baggergut aus Unterhaltungsmaßnahmen ausgegangen werden:

Das Gesamtbaggervolumen des Bundes und der Länder für die Unterhaltung von Seeschifffahrtsstraßen und Seehäfen betragen ca. 45 - 50 Mio. m³ pro Jahr (Laderaumaufmaß). Diese Mengen fallen ganz überwiegend im Bereich der Nordsee an, im Bereich der Ostsee sind es maximal bis zu 0,6 Mio. m³ pro Jahr.

Davon werden ca. 1 – 3 Mio. m³ pro Jahr an Land untergebracht (überwiegend vom Bund an der Unterems, aber auch von den Ländern in Bremen und Hamburg), an der Ostsee werden bis zu 0,2 Mio. m³ pro Jahr landseitig entsorgt.

Hinzu kommt Baggergut aus Investitionsmaßnahmen. Es ist zu beachten, dass die Volumina von Jahr zu Jahr stark schwanken können.

Wenn das Sediment als Baggergut aus den oben genannten Gründen entnommen und die seitliche Begrenzung des Gewässers beim Transport überschritten wird sowie ein Entledigungswille besteht, handelt es sich nach Maßgabe des Abfallrechts um Abfall. Nach den Grundsätzen der Abfallhierarchie sind Abfälle in erster Linie zu vermeiden oder zu verwerten. Die Beseitigung steht an letzter Stelle dieser Hierarchie. Vorrang hat dabei in jedem Fall der Schutz von Mensch und Umwelt unter Berücksichtigung der Prinzipien von Vorsorge und Nachhaltigkeit.

Der Geltungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) trifft nicht für Baggergut zu, das zum Zweck der Bewirtschaftung von Gewässern, der Unterhaltung oder des Ausbaus von Wasserstraßen bzw. anderen Eingriffen in den Gewässerkörper umgelagert wird, sofern die relevanten Handlungsanweisungen und Bestimmungen für die jeweiligen Wasserkörper (HABAB, GÜBAK sowie darüberhinausgehende Zulassungen) sowie das Verschlechterungsgebot gemäß WRRL eingehalten werden.

Verwendung „Verwendung ist die unmittelbare Nutzung des Baggerguts ohne Behandlung für einen neuen Verwendungszweck. Der Zweck (z. B. Nutzung zur Landschaftsgestaltung, Rekultivierung oder als Baustoff) tritt an die Stelle der aufgegebenen oder entfallenen Zweckbestimmung. Eine Zwischenlagerung inkl. natürlicher Entwässerung unterbricht die Unmittelbarkeit nicht. Gibt es für das Baggergut eine unmittelbare Verwendungsmöglichkeit, so handelt es sich bei diesem Baggergut nicht um Abfall, da der Entledigungswille entfällt.“ (HABAB, 2017).

Behandlung „Die Behandlung umfasst mechanische, physikalische, thermische, chemische, biologische Verfahren oder Verfahrenskombinationen, die das Volumen oder die schädlichen Eigenschaften des Baggergutes verringern und dessen Handhabung, Verwertung oder Beseitigung erleichtern oder begünstigen (§ 2 Nr. 5 DepV). Im Übrigen kann auch die Verbesserung bautechnischer Eigenschaften des Baggergutes als Zweck seiner Behandlung angesehen werden“ (HABAB, 2017).

Verwertung „Die Verwertung von Baggergut ist die Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Baggergutes für einen sinnvollen Zweck, wobei die Vorbereitung für den beabsichtigten Verwertungszweck zur Verwertung selbst gehört. Der Hauptzweck einer Verwertung ist nicht die Beseitigung des Schadstoffpotenzials. Die Verwertung beinhaltet immer eine Behandlung. Wird Baggergut verwertet, ist es Abfall.“ (HABAB, 2017).

Ziel dieses Fachberichts ist es, basierend auf eigenen Erfahrungen der Ausschussmitglieder sowie darüber hinaus bestehenden weiteren Erkenntnissen einen Überblick über derzeit erfolgreich angewandte Behandlungs- und Verwertungsverfahren im deutschen Küstenbereich zu geben.

2 Stoffliche Zusammensetzung von Baggergut

Schwebstoffe und Sedimente sind integraler Bestandteil des Naturhaushaltes. In Häfen und Wasserstraßen kann die natürlich auftretende Sedimentation von Schwebstoffen und Geschiebematerial zu Ablagerungen und in der Folge zu Einschränkungen der festgelegten Wassertiefen führen. Diese Ablagerungen werden zur Sicherung der nautischen Tiefe im Rahmen von Unterhaltungsbaggerungen regelmäßig entfernt. Das anfallende Baggergut setzt sich aus anorganischen und organischen Bestandteilen zusammen. Die anorganischen Stoffe bestehen aus Verwitterungsprodukten des Gesteins im Einzugsgebiet des Gewässers, aus Gesteinspartikeln und Ton sowie Verbindungen, die entweder in das Gewässer eingetragen wurden oder sich dort durch die Ausfällung gebildet haben. Die organische Substanz setzt sich aus Mikroorganismen sowie dem Detritus (Überreste von Makrophyten oder anderen größeren Organismen) zusammen.

Wo sich in welchem Umfang und in welchem Zeitraum Sedimente bilden, welche Körnung, stoffliche Zusammensetzung und damit welche Eigenschaften sie aufweisen, wird durch Hydrodynamik (Strömungsverhältnisse, Tide), Morphologie und Hydrologie (Dichte, Salzgehalt) des Gewässers sowie die Charakteristik seines Einzugsgebietes (Relief, anstehende Böden, anthropogene Nutzungen) bestimmt.

Die erhöhten Gehalte an Schadstoffen im Baggergut können die Folge einer anthropogenen Nutzung des jeweiligen Gewässers sein, die sowohl im eigentlichen Sedimentationsbereich als auch in den oberstromigen Gebieten erfolgt oder in der Vergangenheit erfolgt ist und durch die Archivfunktion der Sedimente einen anhaltenden Einfluss auf die Qualität des Baggerguts hat (Beispiel Bergbaugebiete). Ein Teil der ins Gewässer gelangenden Schadstoffe wird adsorptiv an die Feststoffe gebunden. Je nach Eintrag von Material mit erhöhten Gehalten an Schadstoffen in einen Sedimentationsraum und dem in Abhängigkeit hydrologischer Rahmenbedingungen zum jeweiligen Zeitpunkt gegebenen Mischungsgradienten mit Material das geringe Gehalte an Schadstoffen aufweist (im Bereich der nordwestdeutschen tidebeeinflussten Gewässer z. B. aus der Nordsee) kann das Niveau der Schadstoffgehalte zeitlich und räumlich variieren. Erhöhte Gehalte an Schadstoffen können zur Notwendigkeit einer spezifischen Behandlung des Baggerguts, mit anschließend nur noch eingeschränkten Verwertungsoptionen oder sogar erforderlichen Beseitigung führen. Auf Ebene der Flusseinzugsgebiete ist die Sanierung von Schadstoffquellen prioritär zu verfolgen.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen für die Verwertung von Baggergut

Eine übergeordnete Regelung im Umgang mit Baggergut auf nationaler oder europäischer Ebene existiert bislang nicht. Daher muss beim Umgang mit Baggergut eine Vielzahl von Rechtsgrundlagen herangezogen werden.

Der konkrete Einzelfall einer Baggerung und dann insbesondere die auf den Verwertungszweck ausgerichtete Aufbereitung des Baggerguts und die Art und Weise der eigentlichen Verwertung bestimmen die anzuwendenden Regelwerke der verschiedenen Rechtsbereiche. Für Baggerungen und Umlagerungen sind insbesondere das Wasser- und Wasserstraßenrecht zu berücksichtigen. Bei der Behandlung und Verwertung an Land sind das Abfall-, Boden-, Naturschutz-, Immissionsschutz- sowie das Baurecht heranzuziehen. Ein Großteil dieser Gesetze und Verordnungen ist an EU-Recht gebunden.

Die Komplexität der rechtlichen Grundlagen erfordert vor dem Hintergrund der spezifischen Bedingungen jedes Einzelfalls und den damit verbundenen Anforderungen an ein effizientes Sediment- und Baggergutmanagement Fachwissen und hohen Abstimmungsbedarf aller am Verfahren Beteiligten.

Nachfolgend werden einige rechtliche Rahmenbedingungen in Abhängigkeit der Verwertungsoptionen kurz erläutert.

3.1 Abfalleigenschaft von Baggergut

Sind weder eine Umlagerung noch eine direkte Verwendung des Materials möglich, besteht ein Entledigungswille zur Entsorgung des Baggergutes; es ist nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) dann als Abfall zu betrachten (§ 3 Abs. 1 und 2 KrWG).

Für Baggergut gelten gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung folgende Abfallschlüssel:

- 17 05 06 Baggergut, mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05* fällt oder
- 17 05 05* Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält.

Nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz hat die Vermeidung von Abfällen oberste Priorität. Für den Umgang mit Abfällen gilt darüber hinaus die folgende Rangfolge (§ 6 Abs. 1 KrWG):

- Vorbereitung zur Wiederverwendung
- Recycling
- sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung
- Beseitigung.

Entsprechend der gesetzlichen Vorgaben sind dabei die Maßnahmen auszuwählen, die den Schutz von Mensch und Umwelt unter Berücksichtigung des Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzips am besten gewährleisten. Bei der Bewertung ist eine Lebenszyklusanalyse unter Beachtung der technischen Möglichkeit, der wirtschaftlichen Zumutbarkeit sowie der sozialen Folgen zugrunde zu legen.

Der Abfallbesitzer (oder -erzeuger) ist nach § 7 Abs. 2 KrWG zur Verwertung seiner Abfälle verpflichtet. Diese Pflicht zur Verwertung ist zu erfüllen, soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar, insbesondere, wenn für das gewonnene Baggergut ein Markt vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Die Verwertung ist auch dann technisch möglich, wenn hierzu eine Vorbehandlung erforderlich ist.

Die Verwertung, insbesondere durch ihre Einbindung in Erzeugnisse, hat nach § 7 Abs. 3 KrWG ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen. Die Schadlosigkeit der Verwertung ist dann gegeben, wenn in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Baggerguts, seinem Ausmaß an Verunreinigungen und der Verwertungsart keine Beeinträchtigung des Allgemeinwohls zu erwarten ist, insbesondere wenn keine Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf erfolgt.

Als Verwertungsmöglichkeit im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes kommt für Baggergut nur die stoffliche Verwertung in Betracht. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit ist gegeben, wenn die Kosten der Verwertung nicht außer Verhältnis zu den Kosten der Abfallbeseitigung stehen.

Die Genehmigungsvorschriften für die Baggergutverwertung richten sich nach der jeweiligen Vorbehandlungs- bzw. Verwertungsart. Der Vorrang der Verwertung entfällt, wenn die Beseitigung des Baggerguts den Schutz von Mensch und Umwelt am besten gewährleistet (§ 7 Abs. 2 Satz 3 KrWG).

3.2 Verwertung von Baggergut unter, in und auf Oberböden

Das Auf- und Einbringen von Baggergut auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht oder zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht regelt das Bodenschutzrecht (insbesondere §§ 9 und 12 Bundes-Bodenschutzverordnung).

Für die Nutzung von Abfällen zur Herstellung einer natürlichen Bodenfunktion (z. B. Verfüllung von Tagebauen) kann die Mitteilung 20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Technische Regeln Boden (2004) angewandt werden. Der Einsatzbereich der LAGA-Mitteilung 20 beschränkt sich jedoch auf grobkörniges Baggergut (maximaler Feinkornanteil < 63 µm von < 10 Gewichts-%).

Auch für die Rekultivierung von Tagebauen/Abgrabungen kann Baggergut entweder

- zur Herstellung bzw. Verbesserung von durchwurzelbaren Oberböden oder
- für Geländeausgleich/-modellierung (unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht zur Herstellung einer natürlichen Bodenfunktion)

eingesetzt werden.

Bei der Verwertung von Baggergut unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht darf zum Schutz des Grundwassers – im Gegensatz zu seinem Einsatz im Oberbodenbereich – der Gehalt an organischer Substanz nur gering sein. Entsprechend der o. g. LAGA-Mitteilung, Technische Regeln Boden (2004) ist für den gesamten organischen Kohlenstoff (Total Organic Carbon, TOC) ein Zuordnungswert von 0,5 Masse-% zulässig (Ausnahme: 1 Masse-% bei einem Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis von > 25).

3.3 Verwertung von Baggergut auf Deponien

Die Verwertung von Abfällen, einschließlich Baggergut auf Deponien ist in der Deponieverordnung geregelt. Hier werden die chemischen, physikalischen, bodenmechanischen und auch bautechnischen Voraussetzungen für eine Verwertung festgelegt.

Vorrangig bestehen Verwertungsoptionen für Baggergut in seinem Einsatz im Basis- oder Oberflächenabdichtungssystem (hier besonders Ausgleichschicht, mineralische Abdeckung und Rekultivierungsschicht) sowie als Profilierungsschicht. Für Basisabdichtungssysteme eignet sich insbesondere Bindiges Material z. B. wegen seiner geringen Wasserdurchlässigkeit. Für Rekultivierungsschichten ist feinkörnig-humoses Baggergut, wegen seines hohen Wasserspeichervermögens und seiner Erosionsstabilität, zu empfehlen.

Die Kriterien für die Verwertung von Deponieersatzbaustoffen sind insbesondere in Anhang 3 der Deponieverordnung geregelt. Der zu verwendende Ersatzbaustoff muss die für die jeweilige Deponieklasse geltenden Zuordnungskriterien einhalten, im Falle von feinkörnigem Baggergut in der Regel die der Deponieklasse I. Feinkörniges Baggergut weist üblicherweise höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff im Feststoff und Sulfat im Eluat auf. Nach Fußnote 3 zu Tabelle 2 des Anhangs 3 ist eine Überschreitung einzelner Zuordnungswerte jedoch möglich, wenn „die Überschreitung ausschließlich auf natürliche Bestandteile des Bodenaushubes oder des Baggergutes zurückgeht“.

In der Deponieverordnung Anhang 3 Nr. 1 bestimmen die Zuordnungskriterien und -werte die grundsätzlichen Voraussetzungen für den Einsatz von Baggergut als Deponieersatzbaustoff, die in Abhängigkeit von der Deponieklasse verschieden sein können. Neben organischen Schadstoffen, Arsen oder Schwermetallen können auch Salze oder der Gehalt an organischer Substanz im Baggergut zu einem Verwertungsausschluss auf Deponien führen. In Ausnahmefällen dürfen aber einzelne Zuordnungswerte mit Zustimmung der Behörde überschritten werden, wenn das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Da die Deponieverordnung eine ganze Reihe von Ausnahmen zulässt (teilweise explizit für Boden und Baggergut), ist eine enge Abstimmung mit der für die jeweilige Deponie zuständigen Behörde empfehlenswert.

Nach Deponieverordnung müssen Deponieersatzbaustoffe dem Stand der Technik entsprechen. Für "sonstige Materialien, Komponenten oder Systeme" kann dies durch Vorlage bundeseinheitlicher Eignungsbeurteilungen nachgewiesen werden. Für diese Eignungsbeurteilungen sowie für den Einsatz von natürlichem, ggf. vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial oder von Abfällen definieren die Länder Prüfkriterien und legen Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie das Qualitätsmanagement in bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) fest (Anhang 1 Nr. 2.1.2 DepV). Detaillierte Informationen hierzu sind auf der Internetseite der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) unter http://www.laga-online.de/servlet/is/23875/#A1 zu finden.

3.4 Verwertung von Baggergut im Deichbau

Grundvoraussetzung für die Verwertung von Baggergut im Deichbau ist, dass die physikalischen, bodenmechanischen und auch bautechnischen Voraussetzungen für eine Verwertung erfüllt sind.

Verbindliche Regelungen, die für diesen Anwendungsfall bodenschutzrechtliche oder abfallrechtliche Rahmenbedingungen konkret vorgeben, gibt es bislang keine.

Bei einer Verwertung von Baggergut im Deichbau ist, wie in Kapitel 3.2, zu unterscheiden zwischen einer Verwertung in der durchwurzelbaren Bodenschicht und einer Verwertung in der nicht durchwurzelbaren Zone, bspw. unter einer Kleischicht.

Eine Verwertung in der durchwurzelbaren Bodenschicht kann ebenfalls über das Bodenschutzrecht geregelt werden (vgl. Kapitel 3.2: insbesondere §§ 9 und 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).

Anforderungen an eine schadlose Verwertung von mineralischen Abfällen (wie Baggergut), die unterhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht in bodenähnlichen Anwendungen verwertet werden sollen, regelt die als Vollzugshilfe anwendbare LAGA Mitteilung 20 über den Allgemeinen Teil I und über den Teil II (Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden, 2004)).

Baggergut wird unter der bereits erwähnten Abfallschlüsselnummer 17 05 06 gemäß Abfallverzeichnisverordnung explizit in den Geltungsbereich der LAGA M 20 TR Boden einbezogen (siehe TR Boden, 2004), Pkt. 1.2.1 Definition). Wenngleich hiermit definitionsgemäß ursprünglich nur die grobkörnigen, d.h. die sandigen und kiesigen Bestandteile des Baggergutes gemeint sind (Feinkornanteil bei Siebdurchgang < 63 µm auf maximal 10 Gew.-% begrenzt; vgl. Abschnitt 3.2), kann die LAGA M 20 dennoch von den zuständigen Genehmigungsbehörden als geeignete Vollzugshilfe herangezogen werden, um die Schadlosigkeit der Verwertung zu beurteilen (s.a. Beispiel Bundesland Bremen, Kap. 5.3.4).

Für die in der LAGA definierten Einbauklassen werden bei Einhaltung der zugehörigen Zuordnungswerte, die auf chemisch-analytischen Materialuntersuchungen des Feststoffes und des Eluates beruhen, gemäß Definition der Technischen Regeln der LAGA die Anforderungen an einen vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz ohne weiteren Nachweis als erfüllt angesehen.

Genehmigungsrechtlich ist im Zusammenhang mit den in der LAGA M 20 festgelegten Zuordnungswerten von Bedeutung, dass es sich um Orientierungswerte handelt. Die LAGA M 20 lässt ausdrücklich Ausnahmen, d.h. Abweichungen von den Zuordnungswerten, zu. Voraussetzung für entsprechend zu betrachtende Einzelfälle ist der Nachweis, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird und nachteilige Auswirkungen auf relevante Schutzgüter nicht zu besorgen sind (Schadlosigkeit im Einzelfall).

Wesentlich im Zusammenhang mit jeweils einzelfallbezogenen genehmigungsrechtlichen Diskussionen über eine Verwertung von Baggergut im Deichbau ist, dass ein Deich ein technisches Bauwerk ist, dass zu unterscheiden ist, ob Baggergut in oder unter der durchwurzel-

baren Bodenschicht eingebaut wird und dass für die Festlegung der Mächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht eine realistische (Folge-) Nutzung zugrunde gelegt wird.

Eine Verwertung unter einer durchwurzelbaren Bodenschicht bzw. Deckschicht in dem technischen Bauwerk „Deich“ entspräche einem offenen Einbau. Als Obergrenze für eine Verwertung wären hier die Zuordnungswerte (bzw. Orientierungswerte) Z 1 der LAGA M 20 TR Boden (2004), ggf. in Verbindung mit möglichen Ausnahmen (s.o.: Schadlosigkeit im Einzelfall), heranzuziehen. Beispielhaft ist dies im Bundesland Bremen mehrfach erfolgt. Auf Grundlage einer länderspezifischen Regelung wird feinkörniges Baggergut aus den Bremer und Bremerhavener Häfen mit in der Regel deutlich größeren Feinkornanteilen explizit in den Geltungsbereich der LAGA M 20 TR Boden (2004) aufgenommen. Gleichzeitig werden auf Grundlage einer weiteren länderspezifischen Regelung für einzelne Parameter im Einklang mit der LAGA Ausnahmen in Abhängigkeit vom regionalspezifischen geogenen Hintergrund zugelassen (s.a. Kap. 5.3.4).

Im Bundesland Hamburg wird bislang der Weg beschritten, maßnahmenbezogen die Schadlosigkeit der Verwertung von Baggergut im Deichbau für die einzelnen, relevanten Schutzgüter nachzuweisen (Nachweis der Schadlosigkeit im Einzelfall) (s.a. Kap. 5.3.2 und 5.3.3).

Im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern wird die LAGA M 20 als Durchführungshilfe für die Bewertung einer Verwertung von sandigem und auch feinkörnigem Baggergut im Deichbau empfohlen (s.a. Kap. 5.3.1).

Für den Fall, dass nachweislich das Wohl der Allgemeinheit sowie nachteilige Auswirkungen auf Schutzgüter nicht zu besorgen sind, können Überschreitungen von Zuordnungswerten zugelassen werden (siehe LAGA-M 20 Allgemeiner Teil (2003) Punkt 4.3. Anforderungen an den Einbau von mineralischen Abfällen; Punkt 4.3.1 Allgemeines; S. 16).

4 Behandlung von Baggergut

Die Verwertung von Baggergut setzt seine Behandlung voraus, um stoffliche Eigenschaften (z. B. Trockengehalt, Verbesserung bodenmechanischer Eigenschaften, Verringerung von Schadstoffgehalten oder -mobilität) zu verbessern. Die einzelnen Techniken können auch zu Behandlungsketten kombiniert werden.

Korngrößenklassierung und **Sortierung** sind Verfahren zur Fraktionierung von Baggergut. Die Klassierung erfolgt nach Gewicht und Größe, die Sortierung erfolgt nach Partikeleigenschaften (Dichte, Form, usw.). Ziel ist es, differenzierte Baggergutfraktionen hinsichtlich bodenmechanischer und chemischer Eigenschaften zu erhalten. Bei Baggergut mit höheren Gehalten an Schadstoffen z. B. ist die organikreiche Feinstfraktion, die erfahrungsgemäß die höchsten Gehalte an Schadstoffe aufweist, abzutrennen.

Bei der **Entwässerung** erfolgt eine Abtrennung des Wassers von den Feststoffen. Sande und Kiese können mit relativ geringem technischem Aufwand in Entwässerungsfeldern bzw. Klassiergerinnen oder aber mittels Entwässerungssieben entwässert werden. Die Entwässerung von Schlicken kann auf natürliche Weise (gravitativ, evaporativ) in Entwässerungsfeldern oder technisch z. B. mit Hilfe von Siebband- oder Kammerfilterpressen erfolgen. Die Entwässerung ist das wohl am weitesten verbreitete Verfahren zur Beeinflussung der bodenmechanischen Eigenschaften von Baggergut. Entwässerung wird entweder den zuvor genannten Klassier- und Sortierverfahren nachgeschaltet oder auch alleinig betrieben und ist häufig Voraussetzung für weitere Behandlungsschritte.

Der **biologische Abbau** beruht auf der oft mit technischer Hilfe (z. B. Belüften durch Umsetzen) intensivierten natürlichen Zersetzung organischer Schadstoffe durch Mikroorganismen. Die Anwendung kann z. B. bei erhöhten Gehalten an Mineralölkohlenwasserstoffen oder zinnorganischen Verbindungen erfolgen.

Denkbare **thermische Verfahren** sind Desorption, Oxidation und Einbindung. Damit können organische Schadstoffe zerstört oder Schwermetalle fest in die mineralische Matrix einge-

bunden werden. Das Ergebnis können z. B. Ziegel- oder Sinterprodukte sein. Neben der Reduzierung des aus dem Schadstoffpotenzial resultierenden Risikos stehen bei den thermischen Verfahren die mineralogischen Eigenschaften, die eine Voraussetzung für den Einsatz des Baggerguts als Sekundärmaterial sind, im Vordergrund. Eine Immobilisierung von Schadstoffen senkt jedoch nicht die Gesamtgehalte an Schwermetallen. Bei der Entsorgung von den aus oder mit Baggergut hergestellten Sekundärmaterialien (z.B. Abbruch des Bauwerks) sind die weiterhin bestehenden Schadstoffgehalte zu berücksichtigen.

Chemische Verfahren (Konditionierung) zur Immobilisierung von anorganischen Schadstoffen erfolgen durch Zugabe von Stoffen (Flockungsmittel), die eine Elution der Schadstoffe aus dem behandelten Sedimentmaterial nachweislich verringern.

Die aufgeführten Techniken werden in Deutschland an verschiedenen Stellen zum Teil angewendet. Thermische Verfahren haben sich in der Erprobung zwar bewährt, aber die großtechnische, praktische Umsetzung scheitert an marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

In der Industriellen Absetz- und Aufbereitungsanlage (IAA) in Rostock (s.a. Kap. 4.1.2) und ähnlich auch in der Integrierten Baggergutentsorgung (IBE) in Bremen (s.a. Kap. 4.1.3.1) werden hydrodynamische Klassierverfahren mit nachgeschalteter natürlicher Entwässerung in Feldern eingesetzt. In der METHA-Anlage in Hamburg (s.a. Kap. 4.1.3.1) erfolgen Klassierung, Sortierung und Entwässerung mit bewährten verfahrenstechnischen Aggregaten. Die Behandlung in den Feldern ist technisch weniger aufwendig, nutzt Gratisreifungsfaktoren der Witterung (Sonne, Belüftung, Frost), ist aber auch von deren Verlauf abhängig, daher unterschiedlich zeitaufwendig und flächenintensiv.

Biologische, chemische und thermische Verfahren für Baggergut sind nur in Erwägung zu ziehen, wenn der Aufwand dazu es rechtfertigt und keine anderen Verwertungsoptionen in Betracht kommen. Bei diesen Verfahren ist zu berücksichtigen, dass sie einen hohen Einsatz an Energie und/oder chemischen Zusatzstoffen erfordern.

4.1 Behandlung in Feldern

4.1.1 Prinzip der Behandlung

Die Behandlung in Feldern dient der Entmischung und/oder der Entwässerung des Baggerguts. Geläufige Begriffe sind Spül-, Trocknungs- oder Entwässerungsfelder. In Längsstrom-Klassierfeldern wird Baggergut in Sande und feinkörniges, oft humusreiches Material getrennt. Das sorptionsstarke feinkörnig, humose Material enthält den Großteil der Schadstoffe. Je nach Schadstoffgehalt des Baggerguts und des freiwerdenden Wassers ist es fallweise erforderlich, die Felder mit Abdichtungssystemen auszustatten, wie beispielsweise in Hamburg oder Bremen.

Das Grundprinzip der Behandlung in Feldern zeigt Abb. 1. Über eine Spülrohrleitung wird das Wasser-Feststoffgemisch in die Felder (oder auch Polder) eingebracht. Über das spezifische Wasser-Feststoff-Gemisch, die Ausdehnung des Spülsees (Lage der Absetzzonen) bzw. die Positionierung des Spülkopfes kann die ggf. gewünschte Klassierung nach Korngröße gesteuert werden. So setzen sich nahe des Spülkopfes die gröberen, schwereren Stoffe ab. Am hinteren, strömungsberuhigten Ende des Polders sedimentieren die feinkörnigen Anteile mit geringerer spezifischer Dichte. Das so entmischte, eingespülte Baggergut wird auf natürliche Weise entwässert. Es unterliegt dabei maßgeblich der Witterung, wie Wind, Temperatur und Sonneneinstrahlung. Randgräben fördern den Ablauf des Oberflächen- und Porenwassers. Zur weiteren Beschleunigung der Entwässerung besitzen Spül- und Entwässerungsfelder sowie Klassierpolder in der Regel eine zusätzliche Sanddrainage.

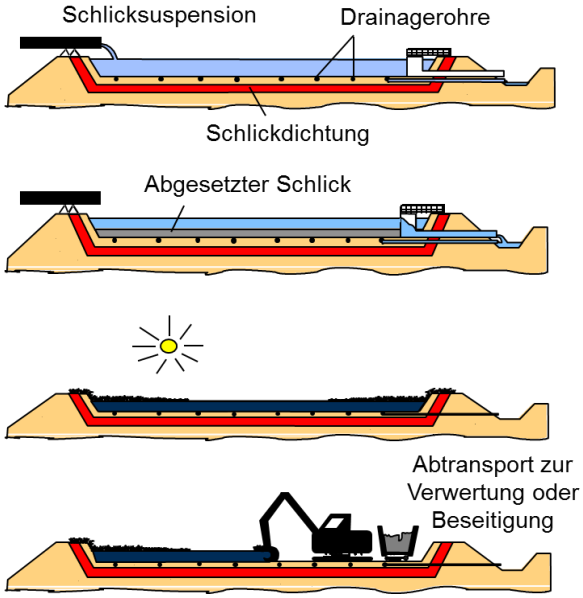

Abb. 1: Schematische Darstellung der Behandlung von Baggergut in Feldern (Quelle: Hamburg Port Authority)

4.1.2 Baggergut mit geringen Gehalten an Schadstoffen

Die in Rostock innerhalb der Industriellen Absetz- und Aufbereitungsanlage (IAA) betriebenen Spülfelder nach dem Längsstromklassierverfahren für Baggergut mit geringen Gehalten an Schadstoffen (Einhaltung Vorsorgewerte der BBodSchV bzw. Z 0 LAGA) nach dem Längsstromklassierverfahren weisen ein Breiten-Längenverhältnis von 1:3 bis 1:4 auf, um Baggergut in Sande und feinkörnige, organikhaltige Substrate zu trennen. Wenn die Polderform dieses Verhältnis nicht gewährleistet, können Spurdeiche in der vorderen Hälfte des Polders den Klassierungsprozess verbessern (Hansestadt Rostock 2003).

Das über eine Spülrohrleitung antransportierte Wasser-/Feststoffgemisch wird in ein leicht geneigtes Sandbettgerinne (0,5-1,0 %) geleitet. Am oberen Ende baut sich aus Grobsand- und Kiesfraktionen sowie auch Steinen ein Schüttkegel auf. Aus dessen oberem Erosionskolk tritt das Wasser mit den hier nicht absetzfähigen Sand-/ Schlickfraktionen ringförmig über und läuft zum Teil flächenhaft, zum Teil in Prielrinnen über dem Sandbett ab (Abb. 2).

Abb. 2: Einspülung von Sedimenten am Beispiel eines Längsstromklassierpolders (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock)

Entsprechend dem Witterungsverlauf entwickelt sich aus dem stark wässrigen, feinkörnigen Substrat, das maximal bis zu einer Höhe von ca. 1,5 m aufgespült wird, ohne jegliche Bodenstruktur nach einem Abtrocknungsprozess von ca. ½ bis 1 Jahr ein stichfestes Material. Ab einem Wassergehalt < 70 %, bezogen auf die Trockenmasse, können die Felder (Polder) beräumt werden (Abb. 3).

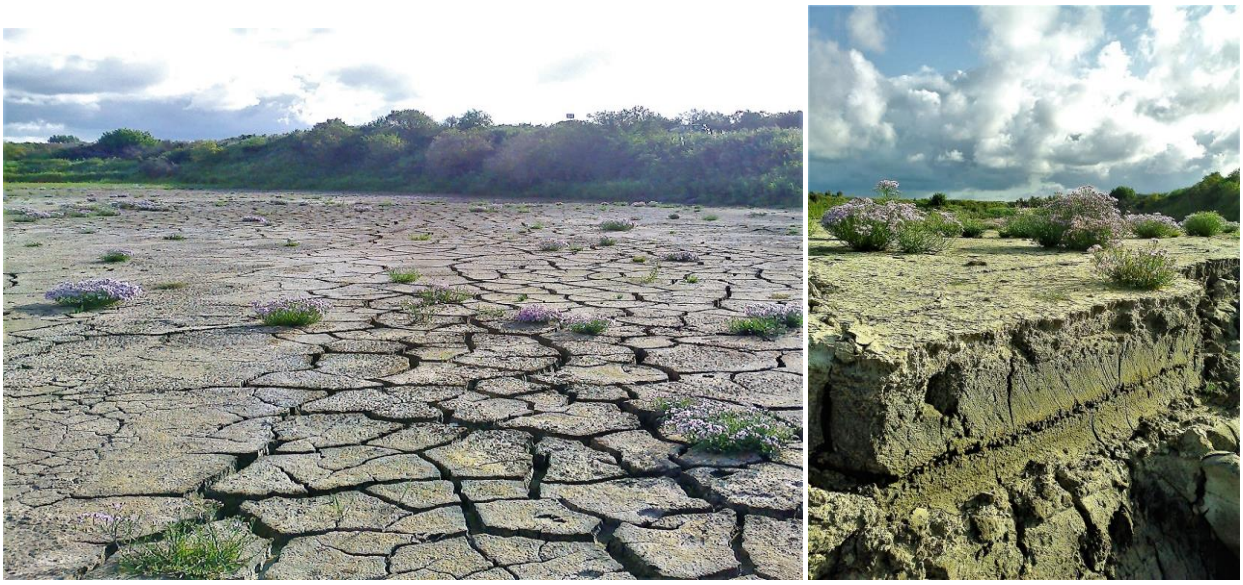

Abb. 3: Oberflächlich abgetrockneter Klassierpolder mit typischen Rissbildern aufgrund beginnender Schrumpfungsprozesse (hohe Tongehalte im Substrat, meist > 10) (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock)

Während Sande ohne weitere Aufbereitungsschritte direkt z. B. als Füllböden oder als Deponieersatzbaustoff (z. B. in Drainageschichten) verwertet werden, sind die feinkörnigen, organikhaltigen Materialien erst nach einem weiteren Reifungsprozess als Bodenmaterial einsetzbar. Dazu werden sie substratspezifisch getrennt nach sog. Mischböden (Gemische aus sandigen Partien der Klassierung mit feinkörnigeren Chargen) und Schlickböden (feinkörnig-humose Chargen) zu Mieten aufgesetzt (s. Abb. 4).

Abb. 4: Zu Mieten aufgesetzte sog. Mischböden in einer Reifungsanlage (IAA Rostock) (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock)

Innerhalb von ½ bis 1 ½ Jahren entwickelt sich durch weitere natürliche Entwässerung, Belüftung sowie biologische Prozesse aus dem zum Teil noch pastösen Substrat ein krümeli-

ges, gut strukturiertes und leicht handhabbares Bodenmaterial (lade-, transport-, einbau- und streufähig) mit hoher Bodenfruchtbarkeit. Zur Beschleunigung des Reifungsprozesses in den Mieten und zur Homogenisierung des Materials kann ein Umsetzen der Mieten erfolgen (s. Abb. 5).

Das in den Mieten fertig gereifte Material wird gemäß dem Entsorgungsziel entsprechend der einschlägigen rechtlichen Vorgaben (z. B. BBodSchV, LAGA M 20, DepV) untersucht und für die entsprechend geeignete ordnungsgemäße Entsorgung freigegeben.

Abb. 5: Umsetzung der Mieten mit Spezialtechnik zur zusätzlichen Belüftung und Homogenisierung des fast ausgereiften Bodenmaterials (Quelle: Hanse- und Universitätsstadt Rostock)

4.1.3 Baggergut mit erhöhten Gehalten an Schadstoffen

Anders als in Rostock, dienen die Entwässerungsfelder in Bremen und vergleichbar auch in Hamburg der Aufbereitung von feinkörnigem / schlickigem Baggergut mit Schadstoffgehalten, die die Vorsorgewerte der BBodSchV bzw. die Zuordnungswerte Z0 der LAGA M20 überschreiten.

4.1.3.1 Beispiel Bremen

Das in die Entwässerungsfelder eingespülte Baggergut wird etwa innerhalb eines Jahres soweit entwässert, dass es bodenmechanisch die Voraussetzungen für eine erdbautechnische Verwertung erfüllt. In Abhängigkeit von der Schadstoffsituation kann das Baggergut bei Einhaltung von maßnahmenbezogenen Zuordnungswerten z.B. als Dichtungsmaterial verwertet werden. Für den Fall, dass die Schadstoffkonzentrationen eine Verwertung nicht zulassen oder keine geeigneten Verwertungsmaßnahmen zur Verfügung stehen, erfolgt die ordnungsgemäße Entsorgung auf der zur Integrierten Baggergutentsorgung (IBE) gehörenden Baggergutmonodeponie. Wegen der erhöhten Schadstoffgehalte des Baggerguts sind die Entwässerungsfelder mit einer mineralischen Dichtung abgedichtet, zu deren Herstellung entwässertes Baggergut als Dichtungsmaterial verwertet wurde.

Die Entwässerungsfelder sind jeweils 200 × 100 m groß. und durch einen umlaufenden, ebenfalls mit einer mineralischen Dichtung versehenen Randwall begrenzt. Das Schlick-Wasser-Gemisch wird bis zu einer Höhe von ca. 1,5 m bis 2,0 m eingespült. Längsklassierungseffekte treten in den Entwässerungsfeldern zwar grundsätzlich auch auf, sind wegen des geringen Sandanteils im Baggergut aber von untergeordneter Bedeutung. Bereits nach kurzer Zeit bildet sich durch Sedimentationsvorgänge weitgehend klares Überstandswasser, das über sogenannte Staukästen sukzessive abgezogen wird. Die Langzeitentwässerung des eingespülten Schlick-Wasser-Gemisches erfolgt über Schwerkraftentwässerung und insbesondere Verdunstung.

Für eine optimierte Schwerkraftentwässerung sind die Felder an der mit einer Längsneigung versehenen Basis mit einem Flächenfilter sowie Dränrohren ausgestattet. Die Ableitung der

anfallenden Wässer (Überstandswasser, Niederschlagswasser, „Porenwasser“) aus den Feldern erfolgt in freiem Gefälle über Ablaufleitungen bis zu einem zentralen Pumpwerk, von wo diese Wässer zur Reinigung über eine Druckleitung einer Pflanzenkläranlage zugeleitet werden.

Zur Verbesserung der Verdunstung wird das Baggergut anfangs durch einen Bagger mehrfach umgesetzt. Sobald es gelingt, das teilentwässerte Baggergut in ausreichend standfeste (kleine) Mieten aufzusetzen, wird es zur weiteren Beschleunigung der Entwässerung / Verdunstung mit einem Mietenwender umgesetzt.

4.1.3.2 Beispiel Hamburg

Die in Hamburg zusätzlich zur Behandlung von Baggergut mit erhöhten Gehalten an Schadstoffen (Abfallschlüssel 170505*) vorhandenen Felder sind eine Sonderform der Entwässerungsfelder, in denen Sedimente mit hohem Schadstoffgehalt, hier insbesondere Sedimente mit einer Mineralölbelastung behandelt werden.

Um den besonderen Anforderungen zum Schutz der Umwelt gerecht zu werden, sind diese Entwässerungsfelder mit einem speziellen Dichtungs- und Entwässerungssystem ausgestattet. Es besteht aus einer mineralischen Schlickdichtung (d = 0,90 m; $k_f < 1 \times 10^{-9}$ m/s), einer Kunststoffdichtungsbahn (HDPE 2,5 mm) und einer Sanddränageschicht (d = 0,70 m; $k_f = 1 \times 10^{-4}$ m/s). Zur Unterstützung der Ableitung der anfallenden Niederschlags- und Schlickporenwässer befinden sich in der Sanddränageschicht kokosummantelte Dränleitungen.

Zur Minimierung der im Behandlungsprozess anfallenden Wässer werden die Sedimente mit einem Greiferbagger gefördert, mit Schuten zu einer Umschlagstelle transportiert und von dort nach Umschlag auf LKW zu den Entwässerungsfeldern transportiert. Das Abkippen des Materials von den LKW geschieht über Abkippstellen, die temporär mit Betonplatten ausgestattet sind, die im Zuge der Schlickeinbringung an die entsprechenden Stellen versetzt werden.

Die Ableitung der Wässer erfolgt in freiem Gefälle über kontrollierbare Dränage- und Ablaufleitungen in einen Koaleszenzabscheider. Die von Ölbestandteilen gereinigten Wässer werden anschließend der klärtechnischen Behandlung zugeführt.

Der Abtransport des getrockneten Materials gem. AVV 170505* zu den Schlickdeponien Francop bzw. Feldhofe (Deponieklasse I) erfolgt per LKW über öffentliche Verkehrswege.

4.2 Mechanische Trennung und Entwässerung

Da Schadstoffe im Wesentlichen an die Feinfraktion des Baggerguts gebunden sind und die Entwässerung in Feldern flächenintensiv und witterungsabhängig ist, wurde 1993 zur Jahreszeiten-unabhängigen Behandlung (Klassierung und Entwässerung) großer Mengen in Hamburg die METHA (Anlage zur mechanischen Trennung von Hafensediment) in Betrieb genommen (Abb. 6). Die jährliche Durchsatzleistung beträgt bis zu 240.000 t Trockensubstanz, entsprechend 520.000 m³ Profilmaß.

Abb. 6: Luftaufnahme der METHA-Anlage 2014 (Quelle: Hamburg Port Authority)

Abb. 7 zeigt das vereinfachte Prozessfließbild der METHA-Klassierung. Das Baggergut wird zu einem Schutensauger transportiert, der die gebaggerten Sedimente diskontinuierlich zur Pufferung in ein Baggergutspeicherbecken mit einem Gesamtvolumen von etwa 250.000 m³ pumpt. Grobe Bestandteile mit Korngrößen über 100 mm werden während des Einspülvorganges abtrennt, um die nachfolgenden Prozessstufen vor Verstopfungen zu schützen.

Zwei Schwimmbagger nehmen die Sedimente erneut auf, um diese zur METHA-Anlage zu fördern. Die Positionen der Saugbagger werden so gesteuert, dass die Zusammensetzung des Aufgabegutes möglichst gleichmäßig ist. Das Baggergut wird in einem Trommelsieb bei einer Trennkorngröße von 10 mm gesiebt, um Verstopfungen der Anlage zu vermeiden.

Die Suspension wird zu zwei parallel arbeitenden Klassiersträngen, bestehend aus Hydrozyklonen (vgl. Abb. 8) und Aufstromsortierern, mit einer Gesamtdurchsatzleistung von 200 t_{TS}/h gepumpt. Hier erfolgt die Trennung von Sand und Schlick bei 63 µm sowie die nachfolgende mechanische Entwässerung des Sandes.

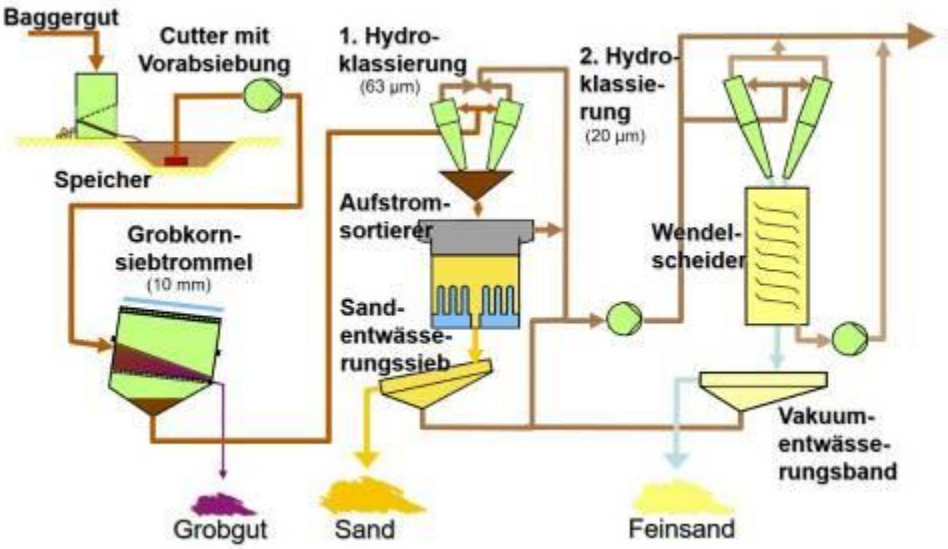

Abb. 7: Vereinfachtes Verfahrensfließbild der METHA–Klassierung (Quelle: Hamburg Port Authority)

Abb. 8: Hydrozyklone der 1. Trennstufe bei 63 µm (Quelle: Hamburg Port Authority)

Teile der Schlicksuspension aus der ersten Trennstufe dienen als Aufgabematerial für eine 2. Klassierstufe, bestehend aus Hydrozyklonen und Sortierspiralen. In dieser Stufe erfolgt die Trennung von Feinsand und Feinschlick bei 20 µm mit einer Durchsatzleistung von 80 t_{TS}/h sowie die nachfolgende mechanische Entwässerung des Feinsandes auf einem Vakuumbandfilter.

Die Fest-/Flüssig-Trennung der Schlicksuspension aus den Klassierstufen ist wegen des Gehalts an organischem Material und an Tonmineralen schwierig. Abb. 9 zeigt das vereinfachte Prozessfließbild der Entwässerungsstufe. In einem ersten Schritt sedimentiert die Schlicksuspension in zwei parallel betriebenen Lamelleneindickern. Um das Absetzverhalten der Schlickpartikel zu verbessern, erfolgt eine Dualflockung des Aufgabegutes durch die Zugabe von Polyelektrolyten.

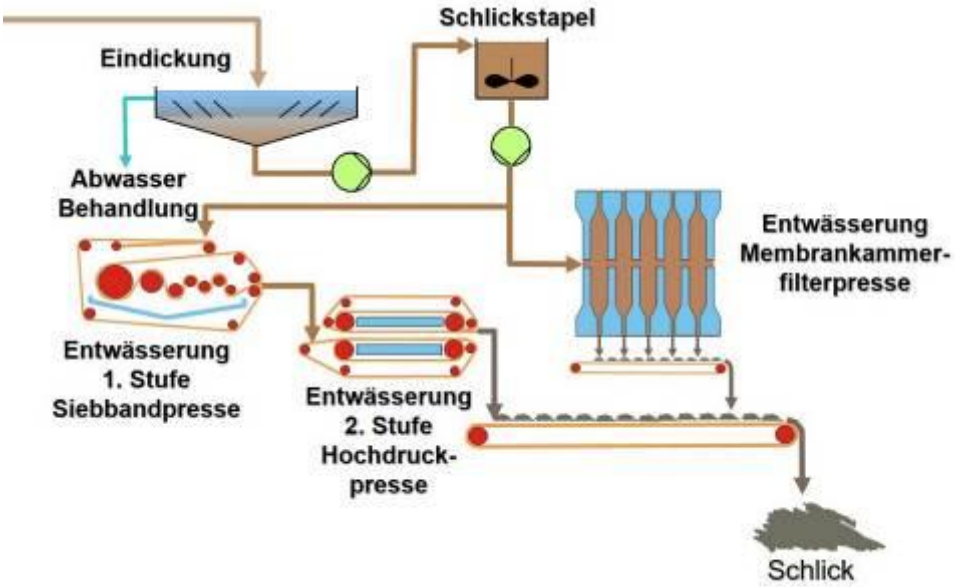

Abb. 9: Vereinfachtes Verfahrensfließbild der METHA – Entwässerung (Quelle: Hamburg Port Authority)

Die nachfolgende Entwässerung der geflockten Schlicksuspension wird in zwei Stufen unter Verwendung einer Siebbandpresse und einer Hochdruckpresse durchgeführt (Abb. 10). Sechs Entwässerungslinien mit einer jeweiligen Durchsatzleistung von 8 - 9 t_{TS}/h werden parallel betrieben. Darüber hinaus sind seit 2002 zwei großtechnische Membrankammer-Filterpressen mit einer jeweiligen Durchsatzleistung von 10 t_{TS}/h im Einsatz.

Abb. 10: Hochdruckpresse und Membrankammer-Filterpresse der METHA-Entwässerung (Quelle: Hamburg Port Authority)

Zum Erreichen optimaler Entwässerungsergebnisse ist eine ausreichende Flockung des Aufgabegutes vor den Siebbandpressen und Membrankammer-Filterpressen erforderlich. Die beste Flockung wird bei dem Baggergut in Hamburg durch die Zugabe eines hochmolekularen kationaktiven Polyelektrolyten erreicht.

Durch die Behandlung in der METHA werden verschiedene Baggergutfraktionen mit definierten Eigenschaften erzeugt. Die feinkörnige Fraktion (METHA-Material) zeichnet sich durch eine geringe hydraulische Durchlässigkeit, geringe Empfindlichkeit gegenüber Setzungen und eine einfache Bearbeitbarkeit aus. Für die Verwertung im Dichtungsbau auf Deponien liegt eine Eignungsbeurteilung der LAGA vor (s. auch Kap. 5.2.2). Der bei der Abtrennung der Fraktion < 63 µm erzeugte METHA-Sand hält die LAGA-Klasse Z 1 in der Regel ein und wird den Anforderungen der DepV entsprechend in Dränschichten auf Deponien verwertet.

5 Verwertungsverfahren für feinkörniges Baggergut

In diesem Kapitel werden Verfahren der Verwertung von Baggergut beschrieben, die sich in der praktischen Anwendung bewährt haben.

5.1 Verwertung in durchwurzelbaren Bodenschichten

5.1.1 Einsatz von Baggergut im Gartenbau und in der Landwirtschaft Mecklenburg-Vorpommerns

Das an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns anfallende Baggergut ist in der Regel schadstoffarm (Unterschreitung der Vorsorgewerte der BBodSchV), darf jedoch aufgrund seines hohen Anteils an organischer Substanz nicht in der Ostsee abgelagert werden. Aufgrund der meist sehr geringen Gehalte an Schadstoffen und seiner günstigen, die Bodenfruchtbarkeit bestimmenden Eigenschaften (großes Wasserspeicher- und Nährstoffbindungsvermögen) bietet sich ein Einsatz als nachhaltiges Bodenverbesserungsmittel im Gartenbau oder in der Landwirtschaft an. Dieses Verfahren ist durch vielfältige Feld- und Praxisversuche belegt (s. Abb. 11 und Abb. 12), befindet sich aber noch nicht in breiter Praxisanwendung. Zur Einführung fehlen einerseits landesrechtliche Regelungen, andererseits sind die Kosten für Landwirte höher als bei ähnlichen Bodenverbesserungsmitteln bzw. anderen Humus- und Nährstofflieferanten.

Abb. 11: Baggergutausbringung im Obstbau und auf Ackerland (Quelle: Henneberg, 2009)

Abb. 12: Einarbeitung von Baggergut mittels Grubber und Pflug (Quelle: Henneberg, 1997)

In folgenden Praxisexperimenten wurde der Einsatz von aufbereitetem feinkörnigem und humosem Baggergut aus Brackgewässern (Salzkonzentration 1-2 %) erfolgreich erprobt:

- Rastow 25 km südlich Schwerin, einmalige Aufbringung von bis zu 940 t TM Baggergut /ha zur Verbesserung reiner Sandböden (Henneberg, Neumann, 2007),
- Rederank 20 km westlich Rostock, einmalige Aufbringung von bis zu 725 t TM Baggergut /ha zur Verbesserung schwach lehmiger Sandböden sowie von stark lehmigen bis tonigen humusverarmten Kuppenbereichen (Henneberg, Neumann, 2007),
- Lüssow 10 km südlich Stralsund, im Obstbau vor der Pflanzung der Bäume (Einarbeitung in den Oberboden) bzw. 2 – 3 Jahre danach (Streuen auf die Oberfläche ohne Einarbeitung), bis zu 500 t TM Baggergut/ha
- Erdbeerhof Rövershagen 10 km östlich von Rostock, einmalige Aufbringung von bis zu 600 t TM Baggergut /ha zur Verbesserung schwach lehmiger Sandböden beim Anbau der Sonderkultur Erdbeere.

Der Baggerguteinsatz führt zu folgenden Effekten:

- Verbesserung bodenfruchtbarkeitsbestimmender Eigenschaften (Nährstoffversorgung, pH-Wertanhebung, Verbesserung der Sorptionsbedingungen, Erhöhung des Wasserhaltevermögens, günstigere und stabilere Bodenstruktur, verbesserte Bearbeit- und Befahrbarkeit).
- Ertragsstabilisierung und –steigerung ab Gaben > 200 t TM/ha
- Vergrößerung der Vielseitigkeit im Anbau

– Keine Veränderung des Schadstoffstatus am Ausbringungsstandort, keine Beeinträchtigung der Qualität des Erntegutes.

Bei Einsatz von aufbereitetem Nassbaggergut aus Brackgewässern zu salzempfindlichen Kulturen wie z. B. Erdbeeren muss die gravimetrisch gemessene Salzkonzentration im Baggergut unter 1,5 % liegen. Die Aufwandmenge darf 500 t TM/ha nicht überschreiten, der Anbau der salzempfindlichen Kultur darf frühestens im Folgejahr zur Aufbringung stattfinden, um eine Reduzierung der Salze (Austrag im Winterhalbjahr über Sickerwasserbildung bei fehlender Verdunstung) zu sichern. Der Anbau anderer Kulturen (Getreide, Raps, Mais, Kartoffeln, Rüben usw.) nach Frühjahrsaufbringung ist bei o. g. Salzgehalten unproblematisch (Henneberg und Neumann, 2011; Henneberg, 2019).

Den Einsatz von Baggergut auf landbaulich genutzten Standorten regelt § 12 BBodSchV. Dazu ist die sog. Zertifizierung des Baggergutes unerlässlich. Das Mindestuntersuchungsprogramm sollte sich an folgenden Parametern orientieren:

– durch die BBodSchV vorgeschriebene Untersuchungen

– zum Erzielen des Nutzeffektes erforderliche wertgebende Eigenschaften (z. B. Gehalte an Organischer Substanz, Ton und Kalk) sowie

– weitere relevante Kenngrößen (z. B. elektrische Leitfähigkeit, Gehalte an Chlorid und Sulfat), die bei der Verwertung von Baggergut eine mögliche Gefährdung anderer Umweltmedien darstellen könnten.

Das Baggergut darf auch für Schadstoffe, für welche die BBodSchV keine Vorsorgewerte festlegt, nur solche Gehalte aufweisen, die mit der geplanten landwirtschaftlichen Nutzung vereinbar sind. Liegen Anhaltspunkte für zu hohe Gehalte an Schadstoffen vor (z. B. Mineralölkohlenwasserstoffe), muss gezielt untersucht werden. Baggergut ist aus Sicht dieser Parameter nur dann geeignet, wenn die Untersuchung keine höheren Werte als die regionalen Hintergrundgehalte (substrat- und nutzungsspezifisch) in landwirtschaftlichen Böden ergibt. Diese Werte liegen zumeist bei Bodenschutz- oder landwirtschaftlichen Fachbehörden vor. Für die neu zu schaffende Oberbodenschicht ist die rechtlich vorgeschriebene Einhaltung von 70 % der Vorsorgewerte nach BBodSchV vor der Maßnahme rechnerisch zu ermitteln.

Die Zielparameter zur Standortverbesserung (Ton-, Humus- und Kalkgehalt sowie pH-Wert) sind sowohl im aufzubringenden Baggergut wie auch auf dem zu verbessernden Standort vor der Aufbringung zu untersuchen. Darüber hinaus ist auch der Nährstoffstatus zu bestimmen. Diese Werte werden mit Richtwerten der guten landwirtschaftlichen Praxis (Mindest- bzw. Maximalgehalte an Nährstoffen oder optimale Werte nach Düngeverordnung) verglichen. Darüber wird die notwendige (aus Sicht der Standortverbesserung), aber auch maximale (aus Sicht der Umweltgefährdung/Überdüngung) Aufbringmenge festgelegt.

Mit dem Aufbringen von Baggergut auf den Aufbringungsstandort muss zumindest eine der folgenden Zielstellungen erreicht werden, um einen Nutzeffekt zu erzielen:

– Anheben des Humusgehaltes einer Ackerfläche (Gesamtschlag) bzw. Ausgleich von teilflächenspezifischen Unterschieden im Humusgehalt (Teilschlag)

– Anhebung des Tongehaltes auf leichten Ackerstandorten (Gesamtschlag) bzw. Ausgleich von teilflächenspezifischen Unterschieden in der Bodenart (Teilschlag)

– Anhebung des pH-Wertes im Boden auf das Optimum (Gesamtschlag)

– Verbesserung der Lagerungsdichte auf verdichteten Standorten oder

– teilflächenspezifische Aufhöhung von vernässten landwirtschaftlichen Ackerflächen.

https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/lm/Umwelt/Abfallwirtschaft/Baggergut/

Für den verwaltungstechnischen Vorgang in Mecklenburg-Vorpommern wurde ein entsprechendes Ablaufschema entwickelt.

5.1.2 Überspülung landwirtschaftlicher Grünlandflächen mit Feinsedimenten (Schlick) im Emsbereich

In der Ems sind von Papenburg bis in die Nordsee zur Aufrechterhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs wiederkehrende Unterhaltungsbaggerungen erforderlich (Abb. 13).

Abb. 13: Übersicht zur Ems (Quelle: WSA Emden)

In der Außenems - von Emden in Richtung See - erfolgen die Baggerungen zur Gewährleistung der verkehrsbedingten Solltiefe mit Baggerschiffen mit Größen von i. M. 5000 m³ Laderauminhalt und das gebaggerte Sediment (vorwiegend Schlick) wird dabei aus wirtschaftlichen und morphologischen Gründen auf rechtlich definierte Unterbringestellen in der Außenems verbracht.

In der Unterems - von Papenburg bis Emden- erfolgen vorwiegend und in zeitlichen Kampagnen Baggerungen durch Baggerschiffe mit 1000 m³ bis 2500 m³ Laderauminhalt zur Anpassung der Fahrrinne für die Überführung von Werftschiffen (Abb. 14). Das vorwiegend schlickige Baggergut aus der Unterems wird aus logistisch-technischen und wirtschaftlichen Gründen überwiegend an Land in ehemalige Sandabbaugewässer, auf landwirtschaftliche Flächen oder auf Flächen früheren Kleiabbaus verspült.

Wegen der Enge des Flussschlauches der Unterems kann das Baggergut aus logistischen Gründen (Baggergröße, Geräteverfügbarkeit) und technischen Aspekten (Umlaufzeiten, Wiedereintriebsverhalten des Sediments) nicht im Nahbereich der Baggerstellen in der Ems umgelagert werden. Geeignete Unterbringungsmöglichkeiten innerhalb des Ems-Regimes bestehen erst im Außenemsbereich bei Ems-km 67. Bei derart langen Transportwegen ist bei den relativ kleinen, auf der Unterems einsetzbaren Baggergeräten die Landunterbringung von Baggergut aus der Unterems bedeutend wirtschaftlicher.

Im Zuge der Rekultivierung landwirtschaftlicher Flächen nach der Überspülung ist eine dauerhafte Funktionalität des Entwässerungssystems für eine nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten.

Abb. 14: Werftschiff passiert die Emsbrücke bei Leer (Quelle: WSA Emden, Foto Unkel)

Beispiel: Landseitige Unterbringung von Baggergut der Unterems im Spülgebiet ´Ihrhove II´

Seit 2006 stand ein Areal von rd. 530 ha landwirtschaftlicher Weidefläche bei Ihrhove und nahe Papenburg (Arbeitstitel ´Ihrhove II´) mit stark torfigen Böden in großer Mächtigkeit für die Einrichtung von Spülfeldern mit dem Ziel der landwirtschaftlichen Bodenverbesserung zur Verfügung (Abb. 15, Abb. 16). Der Grundbesitz gehört in der Mehrzahl Landwirten, die in einem Wasser- und Bodenverband (WBV) zusammengeschlossen sind. Der WBV stellt dem WSA Emden die Flächen bedarfsgerecht zur Verfügung und erhält für die Dauer der Überschlickung eine privatrechtlich festgelegte Nutzungsausfallentschädigung. Eine privatrechtliche Vereinbarung regelt die jeweiligen baulichen Aufgaben, die Verpflichtungen und die Entgelte.

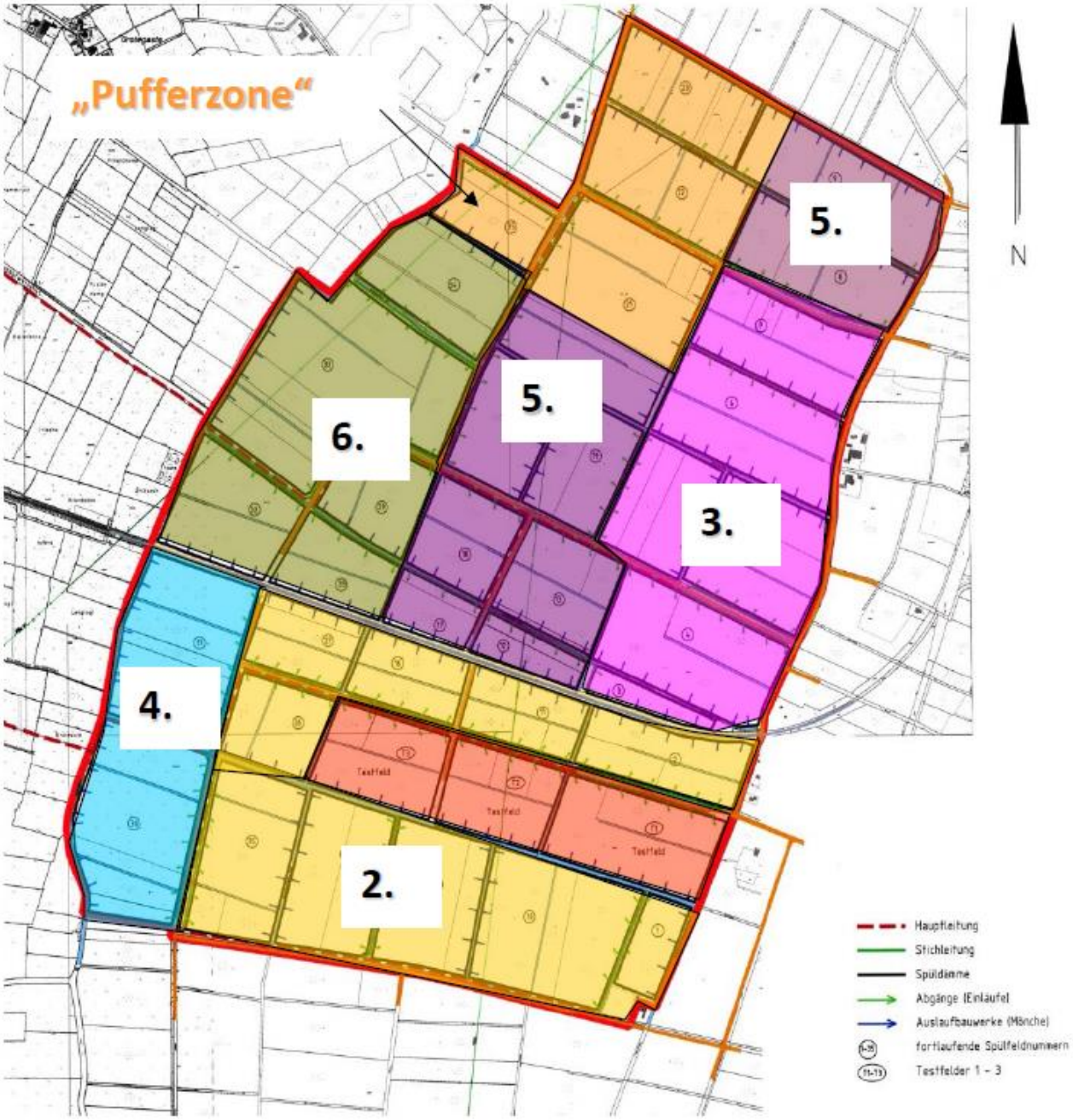

Abb. 15: Übersicht Spülgebiet ´Ihrhove II´, Rekultivierung der Spülfeldflächen (Quelle: WSA Emden)

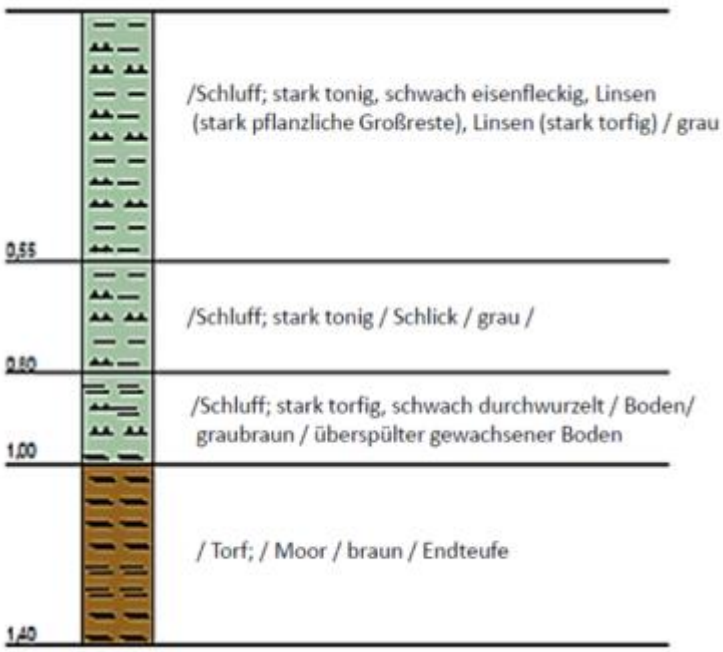

Abb. 16: Beispiel für den Bodenaufbau in ´Ihrhove II´ nach der Überspülung (Quelle: WSA Emden)

Nach Verfüllung der Spülfelder ist die Rekultivierung für eine nachhaltige landwirtschaftliche Grünlandnutzung und die dauerhafte Funktionalität eines Entwässerungssystems zu gewährleisten. Die bautechnischen Arbeiten zur Wiederherstellung der Flächen für eine landwirtschaftliche Bewirtschaftung beinhalten:

- Die Herstellung einer Vorentwässerung auf den Flächen einschließlich deren fortlaufenden Unterhaltung bis zur Einrichtung eines in landwirtschaftlicher Hinsicht dauerhaft funktionsfähigen Entwässerungssystems.
- Fortlaufende Pflegearbeiten zur Beseitigung der Pioniervegetation auf den Flächen bis zur Ausstattung der Flächen mit einer Einsaat für eine landwirtschaftliche Grünlandbewirtschaftung.
- Den Rückbau der Spülfelddeiche einschließlich des aus Gründen der Standsicherheit eingefügten Unterbaus (Textilgewebe).
- Die Herstellung eines homogenen Bodengemisches in den oberen Bodenschichten der Flächen durch Tiefpflügen und die Profilierung der Oberfläche für die landwirtschaftliche Folgennutzung.
- Die Herstellung erster Entwässerungsgräben auf den Flächen auf Grundlage der öffentlich-rechtlichen Genehmigungen, bzw. in Abhängigkeit entwässerungstechnischer Erfordernisse.
- Nach baulicher Wiederherstellung der Flächen werden die Flächen umgebrochen, eine dauerhafte Grasmischung eingesät und ein funktionsfähiges Entwässerungssystem hergestellt.

Schlussfolgerungen

Feinkörniges, humoses Baggergut, das die substratspezifischen Vorsorgewerte der BBodSchV einhält, eignet sich aufgrund seiner günstigen Bodeneigenschaften hervorragend zur Standortverbesserung bzw. als Bestandteil in Kultursubstraten zur Herstellung bzw. zur Verbesserung durchwurzelbarer Oberböden oder zur Rekultivierung devastierter Flächen. Voraussetzung für den Einsatz ist in der Regel seine vorherige Behandlung/Aufbereitung

(bes. Klassierung, Trocknung). Eine Ausnahme stellt das Verfahren der Direktaufbringung (Flachaufspülung, Verrieselung) auf Flächen dar.

Weitere Einsatzgebiete können sein:

- Begrünung technischer Bauwerke
- Rekultivierung von Abgrabungen/Tagebauen
- Verbesserung bzw. Herstellen von Rasensportanlagen, Gärten oder Siedlungsgrünflächen
- Sanierung schädlicher Bodenveränderungen und Altlasten.

5.2 Verwertung von Baggergut auf Deponien

Im Deponiebetrieb werden große Mengen von mineralischem Material mit definierten Eigenschaften benötigt. Aufbereitetes, feinkörniges Baggergut kann hier ein kostengünstiger Ersatzbaustoff sein. Sofern die Anforderungen an die bodenmechanischen, bodenphysikalischen und bodenchemischen Parameter eingehalten werden, eignet es sich als mineralische Dichtungsschicht, für deponietechnisch notwendige Baumaßnahmen im Deponiekörper (z. B. Fahrstraßen, Profilierungs- oder Ausgleichsschicht) sowie im Oberflächenabdichtungssystem als mineralische Abdichtungskomponente und als Rekultivierungsschicht.

Der Einsatz von Deponieersatzbaustoffen für die Herstellung der Komponenten der Abdichtungssysteme ist in der Vorfertigung und während der Bauausführung einem Qualitätsmanagement zu unterwerfen (siehe Anhang 1, Nr. 2.1 der DepV). Das Qualitätsmanagement besteht für die Vorfertigung aus Eigenüberwachung des Herstellers und Fremdüberwachung eines beauftragten Dritten, für die Bauausführung aus Eigenprüfung der ausführenden Firma, der Fremdprüfung durch einen beauftragten Dritten und aus der Überwachung durch die zuständige Behörde.

5.2.1 Rekultivierungsschichten

Deponien müssen gemäß den Festlegungen der Deponieverordnung abgedichtet und rekultiviert werden.

In Mecklenburg-Vorpommern wurden seit 1998 14 Deponien mit aufbereitetem Nassbaggergut rekultiviert. Dabei wurde der Einsatz des Baggergutes bei der Deponieabdeckung jeweils auf Grundlage von Einzelfallentscheidungen der zuständigen Abfallbehörden durchgeführt. Dazu bedurfte es entsprechender Ausnahmeregelungen, da das Baggergut aufgrund seiner relativ hohen Gehalte an Salzen und Organischer Substanz die geltenden Zuordnungswerte der Deponieverordnungen deutlich überschreitet (Henneberg, Morscheck, 2012).

Nach bisherigen Erfahrungen eignet sich das Material sowohl zur Herstellung der Kubatur, als auch zum Aufbau einer Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht. Während sich die tonhaltigen Substratchargen vorrangig für Geringleiterschichten eignen, bieten die nach der Klassierung entstandenen Mischböden mit ihrem deutlich höheren Sandanteil bei ausreichendem Nährstoffgehalt günstige Bedingungen für die Rekultivierungsschichten.

Klassiertes und gereiftes, humusreiches Baggergut weist eine hohe Gefügestabilität bei gleichzeitig hohem Sorptionsvermögen für Wasser und Nährstoffe auf. Durch den häufig hohen Tongehalt im aufbereiteten Bodenmaterial werden Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f-Werte) von $n \times 10^{-9}$ m/s erreicht.

Neben den dem Bodenmaterial zuzuordnenden positiven Eigenschaften für die Verwertung in der Rekultivierungsschicht ist die Homogenität einer großen Menge einsetzbaren Erdstoffes hervorzuheben.

Da die Deponieverordnung den Nachweis des Wasserspeichervermögens (nutzbare Feldkapazität, nFK) für Deponierekultivierungsschichten fordert, wurde in Mecklenburg-

Vorpommern auf bereits mit aufbereitetem Nassbaggergut rekultivierten Deponien, dessen nachhaltige Eignung überprüft. Auf vier Deponien wurden 2 bis 15 Jahre nach der Rekultivierung Messungen der Porenraumverteilung (FK, nFK), der Wasserdurchlässigkeiten sowie mechanischer und chemischer Eigenschaften vorgenommen. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Forderungen der DepV bezüglich der nFK auch viele Jahre nach der Rekultivierung sicher eingehalten werden.

(https://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/abfall/info_abfall/baggergut.htm)

In Mecklenburg-Vorpommern besteht weiterhin ein nicht unerheblicher Bedarf an Bodenmaterial für die Stilllegung von Deponien bzw. die Sicherung von Altstandorten.

5.2.2 Dichtungsschichten

Durch Behandlung (Klassierung/Sortierung/Entwässerung) kann Baggergut mit hohem Feinkornanteil bei sachgerechtem Einbau wie andere mineralische Dichtungsmaterialien (z. B. Mergel) einen Durchlässigkeitsbeiwert gewährleisten, der die Anforderungen der Deponieverordnung an die mineralische Dichtungskomponente im Oberflächenabdichtungssystem ($k_f < 5 \times 10^{-9}$ m/s), aber auch im Basisabdichtungssystem ($k_f < 1 \times 10^{-9}$ m/s) erfüllt. Eine durch Auflast herbeigeführte Verdichtung führt zu einer weiteren Reduzierung des Durchlässigkeitsbeiwertes. Aufgrund dieser geringen Wasserdurchlässigkeit eignet sich feinkörniges Baggergut besonders für den Bau von Dichtungsschichten (Abb. 17). Unter anderem auf dieser Grundlage hat die LAGA für aufbereitetes, feinkörniges Baggergut aus Hamburg (METHA-Material) eine Eignungsbeurteilung für den Dichtungsbau erteilt.

Abb. 17: Verwertung von behandeltem Baggergut im Dichtungsbau auf der Baggergutmonodeponie Francop in Hamburg (Quelle: Hamburg Port Authority)

Auf der Hamburger Baggergutmonodeponie Francop werden seit 20 Jahren Testfelder zur Leistungsfähigkeit eines Oberflächenabdichtungssystems mit Baggergut als mineralischer Dichtungskomponente untersucht. Ein Testfeld bildet dabei den Regelaufbau des Oberflächenabdichtungssystems ab (Standardfeld), ein zweites diente der gezielten Austrocknung der mineralischen Dichtung (Austrocknungsfeld). Hier wurde die über der Dichtung liegende Abdeckschicht in deutlich geringerer Mächtigkeit ausgeführt und so gezielt der Versagensfall provoziert. Im Standardfeld weist die aus feinkörnigem Baggergut errichtete Dichtung auch nach 20 Jahren eine sehr hohe, den Anforderungen der Deponieverordnung mehr als genü-

gende Dichtigkeit auf. So beträgt die aus der Bilanzierung der aus allen Schichten des Feldes gemessenen Abflüsse errechnete hydraulische Leitfähigkeit der Dichtung 5×10^{-10} m/s, die mittlere Durchsickerung 14,9 mm/Jahr mit abnehmender Tendenz. Weder die Abflüsse noch die hydrochemischen Parameter (z. B. Chlorid, Sulfat) weisen auf präferenziellen Fluss durch die Dichtung und damit auf das Vorhandensein stärker leitender Makroporen hin.

Für die Leistungsfähigkeit der Dichtung ist es von hoher Bedeutung, dass der Aufbau des Systems mit dem Ziel gestaltet wird, die Oberkante der Dichtung vor Austrocknung zu schützen bzw. durchgehend feucht zu halten. Die die Eignungsbeurteilung nach LAGA bestätigenden Ergebnisse sind auf die Kombination folgender Faktoren zurückzuführen:

- Große Schichtdicke der Dichtung, in diesem Fall 1,5 m (Mindestschichtdicke gemäß DepV ist 0,5 m).
- Mächtige Überdeckung von 2,5 m und damit verbundene hohe Auflast. Die Auflast vermindert die bei Einbau der Dichtung bereits geringe Durchlässigkeit weiter und verringert die Wahrscheinlichkeit der Rissbildung. Weiterhin steigert sie die Menge pflanzenverfügbaren Wassers (hier 156 mm) und verhindert damit in Verbindung mit der darunterliegenden Wurzelsperre aus lehmigem Material das Vordringen von Wurzeln in die Dichtung.
- Die vergleichsweise geringe hydraulische Leitfähigkeit (1×10^{-4} m/s) der über der Dichtung angeordneten Dränschicht aus dem der Baggergutaufbereitung entstammendem Sand. Dies führt zu einer Vergleichmäßigung des Dränschichtabflusses und gewährleistet einen geschlossenen Kapillarsaum im unteren Bereich der Drainage, der die Oberkante der Dichtung durchgängig feucht hält.

Eine detaillierte Darstellung des Aufbaus der Testfelder und der erzielten Ergebnisse lässt sich Berger et.al. (2019) entnehmen.

Neben der Verwertung als mineralische Dichtungskomponente auf Deponien wird das METHA-Material auch zur Abdichtung der in Hamburg betriebenen Entwässerungsfelder (Kap. 4.1) eingesetzt.

Auch in Bremen werden die mineralische Basis- und Oberflächenabdichtung der Baggergutmonodeponie Bremen-Seehausen mit natürlich entwässertem Baggergut hergestellt, für das ebenfalls entsprechende Durchlässigkeitsbeiwerte erreicht werden. Aufgrund der sehr guten Erfahrungen mit entwässertem Baggergut beim Bau der Baggergutmonodeponie in Bremen-Seehausen wurde Baggergut in den Jahren 2001 und 2002 für eine qualifizierte Oberflächenabdeckung bei der Sanierung einer Altablagerung in Bremen-Nord verbaut. Bei der ca. 8,2 ha großen, im Trinkwasserschutzgebiet IIIa gelegenen Altablagerung führten Systemvergleiche zur Entwicklung eines neuartigen Dichtungssystems in Form einer Kombinationsdichtung aus einer 2-3 lagigen mineralischen Dichtung aus Baggergut (in Lagen à 25 cm) und einer darüber liegenden PEHD Kunststoffdichtungsbahn d ≥ 1,5 mm.

Wie bei anderen mineralischen Dichtungsmaterialien auch und wie auch aus dem Verhalten des Hamburger METHA-Materials gefolgert (siehe oben) liegt eine weitere kritische Fragestellung beim Einsatz von Schlick als Dichtungsmaterial in Oberflächenabdichtungssystemen in seiner hohen Schrumpfanfälligkeit bei Wasserentzug. Dabei entstehende Risse können zu einem hydraulischen Versagen der mineralischen Dichtung führen. Deshalb ist ein Austrocknen der so hergestellten Dichtung unbedingt zu verhindern.

Bei Einsatz von Baggergut in der mineralischen Dichtungsschicht muss der Aufbau des Abdichtungssystems die besonderen Materialeigenschaften (Abweichungen beim Gehalt an organischer Substanz, Einbauwassergehalt und Verdichtbarkeit) berücksichtigen. Bisher realisierte Abdichtungssysteme überschreiten daher die Mindeststärke der Abdichtungsschicht oberhalb der Dichtung und weisen hinsichtlich der dauerhaften Funktionsfähigkeit günstigere Merkmale auf. Die größere Schichtstärke kann fallweise zu einem Anstieg der Kosten führen. Diese Prüfung muss einzelfallbezogen durchgeführt werden und schließt insbesondere die Fragen nach der Verfügbarkeit von alternativen Deponieabdichtungen, Transportmittel und -entfernungen ein.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass mit vergleichsweise einfachen Einbautechniken mit noch plastischem feinkornreichem Sediment eine dauerhaft wirksame mineralische Dichtung herstellbar ist. Die Gefährdung der Funktionsfähigkeit durch Austrocknung kann durch das konstruktive Element der Mächtigkeit der Dichtungsschicht vermieden werden.

5.2.3 Schlussfolgerungen

Grundsätzlich kann aufbereitetes bindiges Baggergut mit höheren Tonanteilen aufgrund seiner geringen Wasserdurchlässigkeit Anforderungen an eine mineralische Dichtung erfüllen und sollte deshalb stets als alternativer, natürliche Ressourcen schonender Baustoff in Deponieplanungen einbezogen werden. Als weitere positive Eigenschaften ragen die geringe Empfindlichkeit gegenüber Setzungen, die einfache Bearbeitung des Materials sowie dessen kostengünstige Verfügbarkeit bei ansonsten vergleichbaren Qualitäten gegenüber anderen mineralischen Dichtungsmaterialien heraus.

Anzustreben ist eine Verwertung von Baggergut in mineralischen Dichtungen auf Deponien immer dann, wenn es ökologisch vertretbar und ökonomisch sinnvoll ist.

Grundsätzlich kann Baggergut auch in weiteren Komponenten / Einsatzbereichen von Deponien verwertet werden, sofern die bodenmechanischen und schadstofftechnischen Anforderungen eingehalten werden. Zu nennen sind hier z.B. die sogenannte Technische Barriere, die als Gefälle- und Setzungsausgleichsschicht unterhalb einer mineralischen Basisabdichtung hergestellt werden kann oder auch der Einsatz in Rekultivierungsschichten.

5.3 Verwertung im Deichbau

Für den Deichbau wird in den Küstenregionen und an den Flüssen bindiges Bodenmaterial in erheblichen Mengen benötigt. Vorzugsweise wurde bisher an der Nordsee Klei eingesetzt, der im Küstenbereich der Nordsee und in den Urstromtälern von Elbe, Weser und Ems zur Verfügung stand und dort aus Bodenentnahmen außen- und binnendeichs gewonnen wurde. Veränderungen im Deichbau und die stetige Anpassung der Deichquerschnitte an steigende Anforderungen hinsichtlich Ausbauhöhe und Böschungsneigungen führen zu einem wachsenden Kleibedarf. Diesem Kleibedarf steht das Erfordernis einer Schonung der Kleiressourcen entgegen, da zum einen Kleivorkommen im Deichvorland aufgrund der naturschutzrechtlichen Restriktionen nicht mehr uneingeschränkt zur Verfügung stehen und zum anderen Kleivorkommen im Binnenland natürlich begrenzt sind. So erscheint es aus ökonomischer und ökologischer Sicht grundsätzlich sinnvoll, feinkörniges Baggergut aus der Unterhaltungsbaggerung als Kleiersatzmaterial im Deichbau zu nutzen. Die Abdeckung eines Deichs aus bindigem Material erfüllt folgende Funktionen:

- Schutz des sandigen Deichkerns gegen Wellenschlag und Erosion
- Reduzierung der Infiltrationsrate (Durchsickerung)
- Fruchtbares Substrat für eine möglichst dichte Grasnarbe.

Für die Beurteilung des bisher vorzugsweise eingesetzten Kleis sind Anforderungen an deichbaufähiges Material in den Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken (EAK, 2002) formuliert. Darüber hinaus gibt es aber auch länderspezifische Regelungen wie beispielsweise Anforderungen der Freien und Hansestadt Hamburg an deichbaufähigen Klei (Strom- und Hafenbau, 1998). In einer Forschungsarbeit hat Weißmann (2003) ein Verfahren zur Bewertung von Klei als Deichbaumaterial vorgeschlagen, das für vier als relevant erachtete Parameter Bewertungsziffern ermittelt.

Anforderungen an behandeltes (entwässertes) Baggergut als Erdbaustoff im Deichbau sind bisher nicht definiert. Da jedoch die funktionalen Anforderungen denen an Klei als Erdbaustoff entsprechen, ist es naheliegend, auch das eingesetzte Baggergut anhand der vorliegenden Anforderungskriterien und -verfahren für Klei zu bewerten.

Bezüglich seiner geotechnischen Eigenschaften liegt für Hamburger METHA-Material eine gutachterliche Feststellung der Eignung zur Verwertung als Deichbaustoff vor (GGU, 2016). Bezüglich der Verwertbarkeit unter umweltfachlichen Gesichtspunkten scheint eine Eignung unter Berücksichtigung der standortspezifischen Bedingungen (Qualität von Grund- und Oberflächenwasser) gegeben. Weiterhin sind die Vorsorgewerte nach Bundesbodenschutzverordnung für den Einsatz in der durchwurzelbaren Bodenschicht einzuhalten. Für den Einsatz unterhalb der durchwurzelbaren Schicht ist der Nachweis der Schadlosigkeit der Verwertung zu führen.

5.3.1 Projekt DredgDikes

Im europäischen Verbundprojekt DredgDikes wurden von 2010 bis 2015 unter Leitung der Professur Geotechnik und Küstenwasserbau der Universität Rostock in Kooperation mit der TU Danzig und drei deutschen Partnern aus Wirtschaft und Verwaltung verschiedene Aspekte zur Anwendbarkeit von gereiftem feinkörnigem, organikreichem Nassbaggergut im Deichbau untersucht. Anlass war der grundsätzliche Mangel an natürlichen Deichbaustoffen und die Verfügbarkeit verschiedener Qualitäten von aufbereitetem Nassbaggergut, die als Ersatzbaustoffe geeignet sein können bzw. deren Eignung durch den Einsatz von Geokunststoffen oder durch Stabilisierung herbeigeführt werden kann. In diesem Zusammenhang wurde in Danzig auch die Verwendung von Steinkohlenaschen als Deichbaustoff untersucht. Es wurden zwei Forschungsdeiche in Rostock und Danzig errichtet und in der Nähe von Ribnitz-Damgarten ein 500 m langer Pilotdeich mit echter Hochwasserschutzfunktion gebaut (Abb. 18 und 19). Im Ergebnis des Projekts entstand ein Handbuch für die südliche Ostseeregion zur Anwendung von Nassbaggergut, Aschen und Geokunststoffen im Deichbau (Saathoff, et.al. 2015).

Abb. 18: DredgDikes Forschungsdeiche in Rostock (links) und Danzig (Mitte); Pilotdeich am Körkwitzer Bach (rechts) (Quelle Saathoff, et.al. 2015)

Abb. 19: Einstau- und Überströmungsversuche am Rostocker Forschungsdeich (links, Mitte), Einbauversuch (rechts) (Quelle Saathoff, et.al. 2015)

Im DredgDikes-Forschungsprojekt wurde eine Vielzahl verschiedener Labor- und Feldversuche durchgeführt. Darüber hinaus wurden die im Projektzeitraum geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen zur Verwendung und Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Deichbau mit besonderem Fokus auf die südliche Ostseeregion (Mecklenburg-Vorpommern und Nordpolen) analysiert, interpretiert und es wurden Möglichkeiten für den rechtlichen Vollzug im Genehmigungsverfahren erarbeitet (s.a. https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/lm/Umwelt/Abfallwirtschaft/Baggergut/).

Im Rahmen der Laborversuche, wurde die zur Beschreibung der geotechnischen Eignung erforderliche Charakterisierung genauer untersucht. Ein weiteres wichtiges Ergebnis war dabei die Überprüfung der Eignung bestimmter Laborprüfverfahren. In großmaßstäblichen Feldversuchen an den Forschungsdeichen wurde u.a. untersucht, wie sich die Deichquerschnitte aus Baggergut bezüglich der Durchsickerung bei Wassereinstau verhalten, wie resistent die begrünten Baggergutdeckschichten gegen Überströmung sind, welche Einbautechnologien und –verfahren geeignet sind und wie die Begrünung realisiert wird werden kann. Der Rostocker Forschungsdeich ist 135 m lang, 45 m breit und 3,30 m hoch. Er besteht aus zwei parallelen Deichbauwerken, die durch Querdämme zu Poldern verbunden wurden. Insgesamt wurden 10 verschiedene Querschnitte hergestellt unter Variation der Deckschichtmaterialien aus feinkörnigem, organikreichem Baggergut (über einem Sandkern), der Deckschichtmächtigkeit, der Böschungsneigung sowie der Verwendung von Erosionsschutzmatten. Darunter wurden auch zwei homogene Querschnitte aus einem feinkörnigen Baggergut mit höherem Sandanteil hergestellt.
In einem Pilotvorhaben zur Umsetzung der Erkenntnisse wurde ein 500 m langer Deichabschnitt am Körkwitzer Bach bei Neuheide / Ribnitz-Damgarten unter Verwendung von Baggergut saniert. Der Deich untersteht dem Wasser- und Bodenverband „Untere Warnow – Küste“ und wird durch diesen unterhalten. Er steht auch zukünftig als Anschauungsobjekt zur Verfügung.
Das in Rostock und Ribnitz-Damgarten für die Bauaufgaben verwendete Baggergut stammt aus der IAA Rostock. Es handelt sich dabei um unbelastetes, gereiftes Baggergut aus dem Gebiet der Unterwarnow.
Im Projekt wurde gezeigt, dass feinkörniges Baggergut unter bestimmten Voraussetzungen als Stützkörper- oder Deckschichtmaterial im Seedeichbau eingesetzt werden kann. Auch als Baustoff für Flussdeiche kann Baggergut geeignet sein, wobei hier das erforderliche Schutzniveau und der Einsatzzweck zu beachten sind.
Die im Projekt entwickelten Empfehlungen, die im DredgDikes-Handbuch zusammengefasst sind, umfassen rechtliche und planerische Fragestellungen, die Baggergutanalytik i.V.m. geotechnischen und geochemischen Auswahlkriterien bzw. Anforderungen für den Deichbau, Fragen des Einbaus und der Qualitätssicherung sowie Empfehlungen zur Begrünung und Pflege. Das Handbuch ist in drei Sprachen verfügbar (Englisch, Deutsch, Polnisch) und besitzt zwei umfangreiche Anhänge in Englischer Sprache (Annex I: zusätzliche Informationen; Annex II: wissenschaftlicher Hintergrund – Ergebnisse der Untersuchungen). Alle Informationen zum Projekt sowie die Handbuch-Dokumente (PDF) können auf der DredgDikes-Website www.dredgdikes.eu kostenlos heruntergeladen werden. Zusammenfassungen mit den wichtigsten Empfehlungen und Ergebnissen sind zudem in verschiedenen Fachzeitschriften erschienen (Cantré und Saathoff 2015, Saathoff und Cantré 2016, Cantré, et.al. 2017).

5.3.2 Ellerholzkanal, Hamburg

Um die Umweltauswirkungen durch den Einsatz von Baggergut im Deichbau gezielt untersuchen zu können, wurden 2004 im Hamburger Hafen an der Böschung des verfüllten Ellerholzkanals zwei Testfelder errichtet. In den Versuchsfeldern werden seither das hydraulische Verhalten und die Schadstofffreisetzung unter einem klassischen Deichaufbau mit Klei und unter einem alternativen Deichaufbau, bei dem der Klei vollständig bis auf die obersten 30 cm der 100 cm mächtigen Deckschicht durch METHA-Material (LAGA Z2, TR Boden 1997 (LAGA 2003)) ersetzt wurde (Abb. 20), untersucht.

Abb. 20: Einbau eines Testfeldes mit METHA-Material (dunkel) und Kleidecke im Böschungsbereich bei Tideniedrigwasser (Quelle: Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg)

Das Durchsickerungsverhalten der beiden Felder ähnelt sich stark. Die Wasserabgabe aus der Deichdeckschicht in den Deichkern erfolgt erwartungsgemäß vorwiegend in den Herbst- und Wintermonaten, während im Frühjahr und Sommer infolge Evapotranspiration in Verbindung mit der hohen Wasserspeicherfähigkeit des Kleis und des Baggerguts keine Abflüsse generiert werden. Während des inzwischen 14jährigen Betriebs erfuhr das Deichbauwerk starke sommerliche Austrocknung, Eisdrift und mehrere Sturmfluten; die mechanisch-physikalische Stabilität war zu jedem Zeitpunkt gegeben und wurde durch GGU (2016) für verschiedene Deichquerschnitte mit METHA-Material auch rechnerisch nachgewiesen.

Potenzial zur Optimierung des METHA-Materials für den Einsatz im Deichbau besteht vor allem hinsichtlich des Einbauwassergehaltes. Zur Erhöhung der Verdichtbarkeit im Einbau und zur Verminderung der im Deichbauwerk erfolgenden Materialschrumpfung könnte sich aus dem aktuellen METHA-Betriebsablauf ergebende hohe Wassergehalt durch entsprechende Nachbehandlung noch abgesenkt werden (Oing et al., 2018).

Die Analyse der stofflichen Zusammensetzung des Sickerwassers zeigt bislang keine relevante Freisetzung von Schadstoffen. Dies ist auf die stabile Bindung von Metallen sowohl unter reduzierenden (z. B. als Sulfid) wie unter den sich langfristig einstellenden oxidierenden Bedingungen (z. B. als Oxid) und die geringe Abbaubarkeit der organischen Substanz zurückzuführen.

Langfristig ist im Sickerwasser lediglich mit Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen sowie Qualitätskomponenten der Oberflächengewässerverordnung (OGewV, 2016) für Sulfat, Nitrat und Phosphat zu rechnen. Erhöhte Gehalte bei diesen Parametern sind aber bereits heute auch beim herkömmlichen Deichbau vorhanden. Dies zeigt die Sickerwasserqualität des in herkömmlicher Weise aus Klei errichteten Testfeldes 1. Erhöhte Sulfat-, Nitrat- und Phosphatgehalte sind originäre Eigenschaften des Baggergutes, die in seiner Herkunft (Tideelbe) und Zusammensetzung (erodierte Oberböden der angrenzenden oft landwirtschaftlich genutzten Flächen entlang des Flusslaufs) begründet sind.

5.3.3 Drewer Hauptdeich, Hamburg

Der Drewer Hauptdeich wurde in Anpassung an den neuen Bemessungswasserstand im Jahr 2006 auf einer Länge von etwa 800 m in eine neue Trasse verlagert. Dabei wurde der Klei bis auf die obersten 50 cm durch METHA-Material ersetzt.

In Vorbereitung auf das Genehmigungsverfahren wurden die Auswirkung auf die Schutzgüter Tier- und Pflanzenwelt sowie Oberflächen- und Grundwasser durch die Verwertung von METHA-Material bewertet. Eine Auswirkung auf die genannten Schutzgüter konnte durch die 50 cm dicke Überdeckung mit dem im Deichbau üblicherweise verwendeten Klei, bis auf die Auswirkung auf das Grundwasser ausgeschlossen werden. Die seit 2006 durchgeführte Überwachung zweier Grundwassermesserstellen zeigt bislang keinen Einfluss der Maßnahme auf die Grundwasserbeschaffenheit.

5.3.4 Norddeich CT 4, Bremerhaven

Der Containerterminal in Bremerhaven wurde um die Ausbaustufe CT 4 erweitert. Im Zuge dieser Arbeiten wurde auf einer Länge von ca. 900 m im Bereich des derzeitigen Deichvorlandes ein Deich zum Schutz des Terminal-Betriebsgeländes gegen Sturmfluten und Hochwasser neu errichtet. Die ursprünglichen Planungen sahen einen Deich mit Sandkern und Kleiabdeckung vor (Abb. 21 und 22).

Abb. 21: Luftbild Bremerhaven Erweiterungsfläche CT 4 (Quelle: Bremenports)

Aufbauend auf den positiven Erfahrungen bei der Verwertung von Bremer Baggergut als Material bei Dichtungsbaumaßnahmen sollte der Kern des Norddeiches anstelle von Sand mit Bremerhavener Baggergut hergestellt werden. Entsprechendes erdbautechnisch geeignetes Baggergut stand aus der in den Jahren 1999-2002 erfolgten Bespülung des „Spülfeldes westlich der Lune“ und der anschließenden Behandlung / Entwässerung des Baggergutes zur Verfügung. Durch den Einsatz dieses Baggerguts anstelle von Sand ergab sich die Möglichkeit, nahezu das gesamte Baggergut aus dem Versuchsspülfeld einer Verwertung zuzuführen.

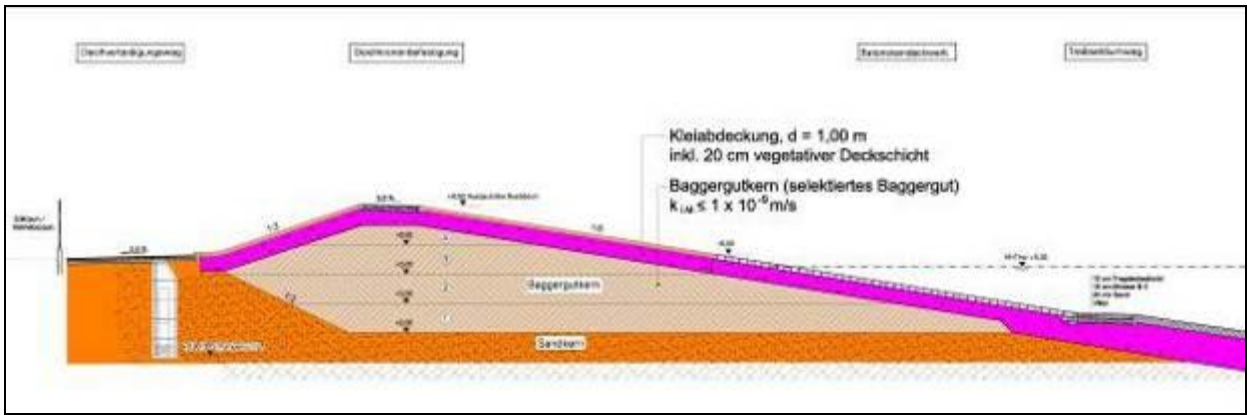

Abb. 22: Deichquerschnitt Bremerhaven CT 4 (Quelle Bremenports)

In Abstimmung mit den zu beteiligenden Behörden wurde die LAGA Mitteilung 20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln – Allgemeiner Teil“ vom 6. November 2003 in Verbindung mit den im Teil II - Technische Regeln für die Verwertung vom 6. November 1997 genannten Zuordnungswerten als Bewertungsmaßstab festgelegt.

Entsprechend den Ergebnissen der chemischen Analysen war das entwässerte Baggergut auf Basis der Feststoffwerte der LAGA-Einbauklasse Z 1.2 zuzuordnen, wobei eine Vielzahl der Parameter sogar die Zuordnungswerte Z 1.1 unterschritt.

Bei den Eluaten wurden mit Ausnahme der Parameter Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat, die aufgrund des brackigen Milieus des Baggergebiets naturgemäß erhöht waren (LAGA Z 2), sämtliche Zuordnungswerte Z 0 eingehalten.

Da sich die erhöhten Werte für die Parameter Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat vor dem Hintergrund der im Bereich des Norddeichs CT 4 durch den marinen Einfluss vorhandenen geogenen Vorbelastung relativieren, wurde das entwässerte Baggergut in die Einbauklasse Z 1.2 eingestuft.

Für das Baggergut aus dem Spülfeld westlich der Lune wurde zudem über ein vorab hergestelltes Probefeld ein Nachweis der geotechnischen/ bodenmechanischen Eignung geführt. Im Ergebnis hat sich erwartungsgemäß gezeigt, dass das Baggergut hinsichtlich fast aller Bewertungsparameter die Anforderungen eines nach EAK 2002 gut geeigneten Kleis erfüllt. Nach dem Bewertungsverfahren von Weißmann ist das Baggergut sehr gut für Deichabdeckungen geeignet und gehört der Eignungsklasse 1 an.

Aufgrund der vorliegenden erdbautechnischen Erfahrungen im Umgang mit Baggergut wurde neben den klassifizierenden bodenmechanischen Laborversuchen schwerpunktmäßig die undränierte Scherfestigkeit c_u untersucht, da sowohl Aussagen zur erdbautechnischen Verwendbarkeit als auch zu den standsicherheitsrelevanten Fragestellungen ableitbar sind.

Nach den in dem Probefeld gemachten Beobachtungen sowie den begleitenden bodenmechanischen Feld- und Laborversuchen wurde festgestellt, dass eine Lagenmächtigkeit von ca. 40 cm im Einbauzustand problemlos herstellbar ist. Es kann bereits durch zwei mit einem Raupenfahrzeug durchgeführte Verdichtungsübergänge eine gut durchwalkte Struktur sowie ein ausreichend homogener Verbund des Baggerguts gewährleistet werden. Trotz der teilweise weit oberhalb des optimalen Wassergehaltes gemessenen Wassergehalte konnten Verdichtungsgrade von im Mittel ca. D_{Pr} = 88 % erreicht werden. Die im Laborversuch ermittelte Flügelscherfestigkeit betrug im Mittel ca. τ_{FS} = 47 kN/m^2. Unter Berücksichtigung der (in Abhängigkeit von der jeweiligen Konsistenzzahl I_C) erforderlichen Abminderung reduziert sich die undränierte Scherfestigkeit im Mittel auf ca. c_u = 33 KN/m^2. Der zugehörige mittlere Wassergehalt beträgt ca. w = 53 %.

Insgesamt wurden in dem ca. 900 m langen Abschnitt des Norddeiches des CT 4 etwa 125.000 m³ entwässertes Baggergut eingebaut und so einer Verwertung zugeführt. Es hat

sich gezeigt, dass die erdbautechnische Verarbeitbarkeit unter Berücksichtigung der für feinkörnige Materialien typischen Witterungsabhängigkeit problemlos möglich ist und keine erhebliche Beeinträchtigung für den Bauablauf bedeutet.

5.3.5 Schlussfolgerungen

Der Einsatz von feinkörnigem Baggergut als Kleiersatz im Deichbau stellt eine nachhaltige Verwertung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes dar, da der Hauptzweck die Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Baggerguts ist und in Verbindung hiermit ein Primärrohstoff substituiert wird. Dennoch wird die Zulassung der Verwertung von Baggergut als Kleiersatz im Deichbau vermutlich eine maßnahmenbezogene Einzelfallentscheidung bleiben.

Die durchgeführten Deichbaumaßnahmen haben unter den gegebenen Randbedingungen folgendes gezeigt:

- Bei feinkörnigem Baggergut handelt es sich um sehr gut geeignetes Deichbaumaterial, das in der Qualität mindestens gleichwertig gegenüber dem üblicherweise eingesetzten Klei ist.
- Baggergut lässt sich selbst unter widrigen Witterungsbedingungen sehr gut verarbeiten. Die Herstellung einer homogenen und qualitativ hochwertigen Schicht ist mit üblichen Erdbaugeräten problemlos möglich.
- Bei der Prüfung der Einsatzmöglichkeit von Baggergut als Kleiersatz sind keine erdbautechnischen Ausschlusskriterien erkennbar, die gegen diese Verwertung sprechen.
- Aus bodenmechanischer Sicht ist damit mindestens die Gleichwertigkeit von Baggergut zu üblicherweise im Deichbau eingesetztem Klei gegeben. Begründet wird dies durch die Erosionsstabilität gegenüber Wind und Wasser sowie die rasche Begrünung von dem Baggergutmaterial aufgrund seiner hohen Bodenfruchtbarkeit.
- Schadstoffemissionen aus dem Baggergut sind zwar grundsätzlich über verschiedene Pfade möglich, in der Praxis kommen jedoch nur wenige Pfade in Betracht. So sind im Baggergut leichtflüchtige Schadstoffe nicht enthalten, womit der Luftpfad ausgeschlossen werden kann. Während des Einbaus liegt das Material in einem krümeligen, noch erdfeuchten Zustand vor, so dass auch Staubausträge nahezu ausgeschlossen werden können. Wegen der kohäsiven Eigenschaften des feinkörnigen Baggerguts ist auch nach dem Einbau nicht mit nennenswerten Staubausträgen durch Verwehungen zu rechnen. Anorganische Schadstoffe liegen sowohl unter reduzierten als auch unter oxidierten Bedingungen in schwer löslicher Form vor und werden daher nicht in relevantem Umfang mobilisiert und freigesetzt. Gleiches gilt für die organischen Schadstoffe, die eine überwiegend sehr geringen Wasserlöslichkeit besitzen.

Die Ergebnisse aus dem Deichbauversuch Ellerholzkanal und aus dem Monitoring des Pilotprojektes Drewer Hauptdeich ermöglichen eine zuverlässige Abschätzung der Auswirkungen auf die Schutzgüter Tier- und Pflanzenwelt sowie Oberflächen- und Grundwasser. Aus diesen Erkenntnissen erwächst Genehmigungsbehörden eine gesicherte Grundlage, in konkreten Einzelfällen den Einsatz von Baggergut als Kleiersatz zuzulassen.

5.4 Verfüllung von Hafenbecken

Der Einsatz von Baggergut bei der Verfüllung von Hafenbecken liegt rechtlich an der Schnittstelle zwischen Verwendung und Verwertung. Bei direkter Einspülung von Baggergut als Baustoff ohne Entledigungswille findet eine Verwendungsmaßnahme statt. Bei Einsatz von aufbereitetem Baggergut als Abfall (z.B. METHA-Material) handelt es sich um Abfall zur Verwertung. Die durchgeführten Bauvorhaben führen über einen Wissens- und Erfahrungsgewinn zu prognostizierbaren und beherrschbaren Bauabläufen.

Bei der Hafenbeckenverfüllung werden die im Gewässer befindlichen Sedimente an Ort und Stelle belassen beziehungsweise gezielt (behandelte) Sedimente eingebaut. Anschließend

wird Sand bis zum endgültigen Geländeniveau eingebracht. Der Gefahr örtlicher Verquetschungen und Verdrängungen wird dadurch entgegengewirkt, dass im Bauverfahren die zusätzlich aufzubringenden Sandschichten in dünnen Lagen eingebaut werden. Anschließend zu setzende Vertikaldrains beschleunigen das Setzungsverhalten des Bodenmaterials.

5.4.1 Osthafen Bremerhaven

Die Stadt Bremen hat im nordöstlichen Bereich des Osthafens eine Fläche von ca. 6,1 ha abgetrennt und für den Automobilumschlag hergerichtet (Abb. 23).

Abb. 23: Hafenbeckenverfüllung Osthafen in Bremerhaven ((Quelle: Bremenports)

Zur Herstellung der erforderlichen schiffbaren Wassertiefen musste das Hafenbecken vor den neu herzustellenden Liegeplätzen vertieft werden. Die im Rahmen dieser Arbeiten angefallenen ca. 145.000 m³ schlickigen Baggerguts sind dabei als Füllmaterial in das abgetrennte Hafenbecken umgelagert worden. Der zu baggernde Schlick durfte nur mit einer minimalen Wasseraufnahme gebaggert werden; zum Aufnehmen wurde daher ein geschlossener, horizontal schließender Greifer verwendet. Das Verpumpen des Schlicks erfolgte mit einer Dickstoffpumpe. Der Einbau des Schlicks erfolgte lagenweise, wobei der Schlick in den vorhandenen Schlickhorizonten einbinden musste (analog dem Vorgehen beim Einbau von Unterwasserbeton). Der Wassergehalt des Schlicks durfte sich im eingebauten Zustand um nicht mehr als 10% gegenüber demjenigen bei dem Lagerungszustand vor der Baggerung erhöhen. Diese Arbeiten wurden Ende August 2005 erfolgreich abgeschlossen.

Auf dem so eingebrachten Schlick wurde eine geotextile Trennschicht aufgebracht. Diese Trennschicht bestand aus in zwei Lagen kreuzweise verlegten Sandmatten. Die einzelnen Bahnen wurden vernäht oder mit Überlappung verlegt. Auf diese Sandmattenlage wurde im Nassverfahren in mehreren Schichten Sand bis zu einer Stärke von ca. 1 m verrieselt. Zur schnelleren Konsolidierung des eingeschlossenen Schlicks wurden weiterhin schwimmend Vertikaldrains eingebracht, die später nach Ablassen des Wassers entsprechend des Beaudrain–S-Verfahrens vernetzt wurden. Hiernach wurden Flächen bis zu 2.500 m² an eine Vakuumpumpe angeschlossen, um durch Sandauflast und Vakuum das Wasser aus dem Schlick zu entfernen.

Parallel hierzu wurden ebenfalls zur Konsolidierungsbeschleunigung Sandschichten zwischen 30 und 40 cm auf die Fläche aufgebracht, bis eine Gesamtschichtstärke von ca. 2,50 m über der Sandmatte erreicht war. Im Anschluss wurden die Restmassen im Nassspülverfahren mit einem Hopper aufgebracht, sodass der Konsolidierungsprozess durch Unterdruck und Auflast weiter beschleunigt werden konnte.

Bei diesem Projekt wurde feinkörniges Baggergut mit hohen Schadstoffgehalten zur Hafenbeckenauffüllung verwendet und wertvoller Deponieraum eingespart.

5.4.2 Rodewischhafen in Hamburg

Für die im Rahmen der „nach innen“ erfolgenden Hafenerweiterung wurden in Hamburg Hafenbecken mit Baggergut verfüllt. Auch wurden Konzepte entwickelt, die es ermöglichen, den im Hafenbecken bereits befindlichen Schlick bei der Verfüllung zu belassen. Mit umfangreichen Messprogrammen wurden die für spätere Nutzer noch zulässigen bzw. maximal tolerierbaren Setzungen auf den neu geschaffenen Hafenflächen ebenso wie die Auswirkungen auf das Grundwasser untersucht.

Im Fall der Verfüllung und Flächenaufhöhung des ca. 6 ha großen Hafenbeckens Rodewischhafen (Abb. 24) wurden zunächst 3 m Sand in einzelnen, dünnen Lagen und darauf das Baggergut in einer Schichtstärke von 6 m eingebracht. Durch die Auflast austretendes Porenwasser wurde über ein in der ersten Bauphase auf dem Schlick ausgebrachtes Netzwerk horizontaler Drains gefasst, über Pumpenschächte gesammelt und in eine Abwasserbehandlungsanlage geleitet. Zur Setzungsbeschleunigung wurden nach Fertigstellung Vertikaldrains gesetzt.

Abb. 24: Verfüllung Rodewischhafen in Hamburg, u.a. Einschieben des sandigen Füllbodens mit Pistenbully (Quelle: Hamburg Port Authority)

Eine Verfüllung von Hafenbecken mit Schlick ist mit Emissionen über den Pfad des Porenwassers verbunden. Jedoch führen die gezielte Porenwasserfassung und die sehr geringe Wasserdurchlässigkeit sowie hohe Homogenität des Schlicks zu einem begrenzten Austrag in den Wasserpfad. Insgesamt gesehen werden mit dem Schlick die Schadstoffe unter der verfüllten Hafenfläche praktisch eingekapselt.

Ein bedeutender Schritt in Richtung weiterer Hafenbeckenverfüllungen ist die Anwendung verbesserter Baggertechniken, die eine Vermischung des Baggerguts mit zusätzlichem Wasser reduzieren oder verhindern.

5.4.3 Dradenauhafen in Hamburg

Bei der 2015 erfolgten Verfüllung eines Teils des Dradenauhafens zur Gewinnung einer Logistikfläche wurden etwa 300.000 m^3 METHA-Material zur Flächenaufhöhung verwertet (Gutbrod, 2016; Abb 25). Voraussetzung für die Aufhöhung war das Einbringen einer tragfähigen Sandschicht oberhalb der sich in dem Hafenbecken befindlichen Altschlicke. Die Maßnahme wurde auf Grundlage einer wasserrechtlichen Genehmigung durchgeführt.

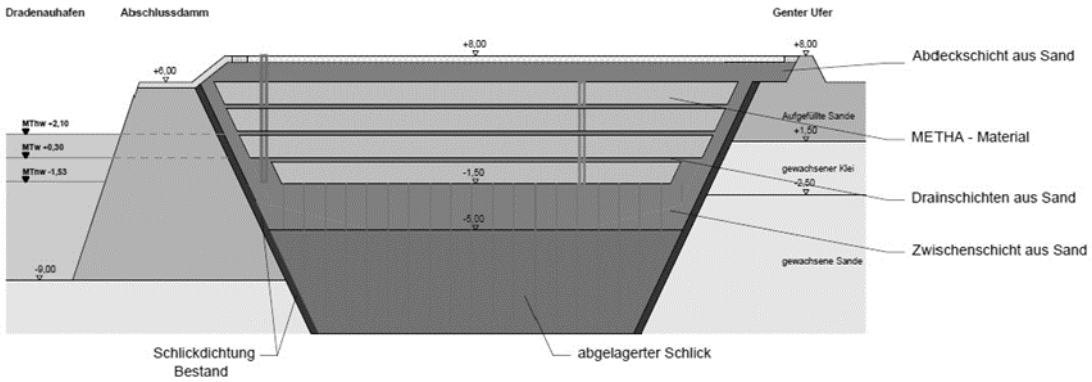

Abb. 25: Prinzipskizze zur Herrichtung der Logistikfläche Dradenau in Hamburg (Quelle: Hamburg Port Authority)

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie wurden die vorhabensbedingten Auswirkungen auf das Schutzgut Grundwasser durch die sich aus den Setzungen und der damit verbundenen Auspressung von Porenwasser ergebenden Ammoniumeinträge als erheblich eingeschätzt. Daher war eine Wasserbewirtschaftung vorzusehen, welche einen ins Innere der Fläche gerichteten Gradienten der Wasserbewegung gewährleistete. Das geförderte Wasser wurde so lange im nahe gelegenen Klärwerk Dradenau behandelt, bis die Qualität des geförderten Wassers eine Einstellung der Behandlung und die Direkteinleitung zuließ.

Darüber hinaus waren die sich aus dem anaeroben Abbau der im Baggergut enthaltenen organischen Substanz ergebenden Methanemissionen zu behandeln. Das Gas wurde über die permeablen Sandzwischenschichten kontrolliert in eine als umlaufenden Streifen ausgeführte Methanoxidationsschicht eingeleitet. Die Methanoxidationsschicht wurde auf Grundlage des bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 7-3 (LAGA, 2011) bemessen und auf Grundlage des prognostizierten Ausmaßes der Gasbildung und dem Kenntnisstand zur Methanoxidationskapazität optimierter Böden dimensioniert (Gebert et al., 2011). Der umlaufende Methanoxidationsstreifen erfüllte zudem die Anforderung, 10 % der Gesamtfläche als Grünfläche auszuführen. Die Auswirkungen auf anderen Schutzgüter wurden als gering bewertet.

5.4.4 Schlussfolgerungen

Bei der Verfüllung von Hafenbecken mit Schlick und mit in der METHA aufbereitetem Baggergut sowie bei Maßnahmen, bei denen vorhandene Sedimentablagerungen in das Aufhöhungskonzept integriert wurden, konnten umfassende Erfahrungen gewonnen werden.

Auch Projekte mit schwierigen Baugrundverhältnissen und der Einsatz von Material mit geringeren C_u-Werten können sicher ausgeführt werden. Durch die angepasste Ausgestaltung des Dränagesystems werden Setzungen gezielt eingeleitet und termingerecht abgeschlossen. Die Durchführung einer Wasserbewirtschaftung minimiert die Emission von Porenwässern in das Grundwasser. Für die Behandlung entstehenden Gases steht mit dem BQS 7-3 (LAGA, 2011) ein geeignetes Regelwerk bezüglich der Methanoxidationskapazität von Böden zur Verfügung. Die so erfolgende schadlose Verwertung von Baggergut ermöglicht die Schonung natürlicher Bodenressourcen bei gleichzeitiger Einsparung von Deponievolumen.

5.5 Verwertung von feinkörnigem Baggergut in Lübeck im Rahmen einer Biotopgestaltung, Beispiel Spülfläche „Am Stau“

Seit über 20 Jahren ist das Spülfeld „Am Stau“ der wichtigste Ablagerungsort für Baggergut aus Unterhaltungsbaggerungen der Lübecker Häfen, Sportbootanlagen, wasserbezogenen Gewerbebetrieben und sonstigen Gewässern. Das Baggergut aus Unterhaltungsbaggerungen ist weder an Land noch im Wasser wirtschaftlich vertretbar und ökologisch sinnvoll unterzubringen.

Im Bereich der Untertrave gibt es heute nur noch wenige Gebiete, die für Wasservögel und Limikolen (Watvögel) als Rast-, Überwinterungs- und Brutgebiet von überregionaler Bedeutung sind. Durch Besiedlung, diverse gewerbliche Nutzungen (oder deren Aufgabe), aber auch durch natürliche Sukzession haben viele dieser Areale ihre ökologische Bedeutung teilweise oder ganz verloren. Die Spülfläche „Am Stau“ ist ein Biotop das einer der größten Watvogelrastplätze im holsteinischen Binnenland ist und ein überregional bedeutendes Glied einer Kette von Durchzugs- und Rastgebieten für Zugvögel. Deshalb ist die Spülfläche Teil des Vogelschutzgebietes DE 2031-401, Biotopverbundfläche gemäß §1 Abs. 4 Landesnaturschutzgesetz Schleswig-Holstein (LNatSchG SH) und ein geplanter geschützter Landschaftsbestandteil gemäß § 21 LNatSchG SH. Als Bestandteil der Untertrave hat es die Qualität eines Feuchtgebietes von internationaler Bedeutung nach der Ramsar-Konvention vom Februar 1971. Die mit der Spülfläche im Zusammenhang stehende weitgehende Isolierung und der restriktive Spülfeldbetrieb bieten unter anderem einer Vielzahl von Wasservögeln und Limikolen einen äußerst wertvollen Lebensraum im Traveästuar. Von besonderem ökologischem Interesse ist zum Beispiel der häufige Wasserstandswechsel auf der Spülfläche, durch die sich in Abhängigkeit von den Aufspülungen, Jahreszeiten und den Niederschlägen eine ausgeprägte Wechselwasserzone ähnlich einem Windwatt bildet und sich stetig verändert. Als Biotop in dieser Form und Ausdehnung ist dieser äußerst seltene Lebensraum im Bereich der Trave einzigartig.

Ohne eine geplante, stufenweise Erhöhung der Spülfelddämme erschöpft sich die Kapazität der Spülfläche in den nächsten Jahren, die Aufspülungen führen dann zu einer stetigen Verringerung der freien Wasserfläche. Wird die Spülfeldtätigkeit aufgrund fehlender Kapazitäten mittelfristig eingestellt, entwickelt sich das Biotop „Am Stau“ analog dem gegenüberliegenden ehemaligen Spülfeld „Kattegatt“ als reine Schilffläche, die langfristig von Weiden und Erlen besiedelt würde. Die Bedeutung als Rast-, Brut- und Überwinterungsgebiet für Limikolen und Wasservögel geht dann auch hier verloren. Die Sicherung und Erweiterung der Spülfläche „Am Stau“ erfolgte über zwei wasserrechtliche Genehmigungsverfahren.

Eine Erlaubnis gemäß § 8 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) regelt seit dem September 2014 den von der Lübeck Port Authority (LPA) durchgeführten Spülfeldbetrieb mit neuen ökologischen und betrieblichen Schwerpunkten. Ein Plangenehmigungsverfahren im Sinne des § 68 Abs. 2 und 3 WHG schaffte die genehmigungsrechtlichen Grundlagen für die Dammerhöhung in Abschnitten über einen Zeitraum von 3 Jahren. Durch diverse Maßnahmen wird der Ausbau des Spülfeldes die ökologische Bedeutung des Biotops „Am Stau“ noch wesentlich und nachhaltig steigern. Nach Abschluss der Dammerhöhung wird ein besonderes Wasserregime im Spülfeld unterschiedliche Wasserstände und damit optimale Bedingungen während des Vogelzuges und in der Brutperiode einstellen. Brutflöße werden einer Vielzahl von Wasservögeln ein störungsarmes Brutrevier ohne natürliche Räuber bieten. Für die laufende Unterhaltung der Spülfelddämme wird unter anderem „Treibsel“ verwendet, ein Sand – Seetang – Gemisch, das bei der Strandunterhaltung anfällt. Im „gereiften“ Zustand wird für dieses Material eine ökologisch optimale und nachhaltige Verwertung als Dammbaustoff gefunden, das im Vergleich zur konventionellen Sandgewinnung erhebliche Kosten und unnötigen Aufwand spart. Die übrigen Sedimente für die Dammerhöhung (ca. 30.000 m³) werden ausschließlich aus der Spülfläche am Stau gewonnen. So gut wie alle Baumaßnahmen werden mit Personal und Gerät der LPA umgesetzt.

Die Sicherung der Spülfläche und des Biotops „Am Stau“ hat Pilotcharakter. Die Erfahrungen bei der Planung und der Umsetzung werden für mögliche Folgeprojekte wie zum Beispiel für

eine Reaktivierung des ehemaligen Spülfeldes „Kattegat“ eine wichtige Rolle spielen. Das Projekt bietet allen Beteiligten die seltene Gelegenheit, so gut wie alle Erfahrungen und Ideen im hochkomplexen Thema Baggergut, verbunden mit überaus interessanten, naturschutzfachlichen Fragestellungen in ein Projekt einzubringen, in dem Wasserbau und Umweltschutz nicht im Widerspruch zu einander stehen.

5.6 Baggergutverwertung zur Rekultivierung von Auskiesungen

Nach ausgelaufener Produktion können ausgekieste Flächen mit Bodenaushub verfüllt werden. Im konkreten Beispiel am Niederrhein (Abb. 26) kann das Füllmaterial ausschließlich über den Schiffsweg antransportiert werden. Bei anderen Standorten ist auch eine Anlieferung auf dem Landweg möglich.

Abb. 26: Verfüllung einer Auskiesung am Niederrhein bei Rees (Quelle: Hüskens Wasserbau)

Zur Wiederverfüllung wurden bzw. werden im Gewässerbereich Polder gebaut. Das mit Schiffen angelieferte Material wird dann mit leistungsfähigen Spülschiffen, Kranschiffen bzw. Baggerpontons in die entsprechenden Bereiche der Kiesgrube verbracht (Abb. 27). Zur Rekultivierung einer Auskiesung werden große Massen benötigt, die bei Baggerarbeiten kontinuierlich anfallen. Durch geeignete Vorermittlungen muss vor dem Einbringen die chemische und bodenphysikalische Eignung gemäß der geltenden Genehmigung nachgewiesen werden. Im aktuellen Beispiel und aufgrund der besonderen Rahmenbedingungen sind Genehmigungsgrundlage LAGA M 20 Technischen Regel Boden, Stand 06.11.1997, Tabelle II. 1.2-2 und Tabelle II. 1.2-3 - Z1.2 bzw. Z2.

Abb. 27: Löschen eines Transportschiffes per Schutenspüler (linkes Bild) bzw. mittels Ponton und Hydraulikbagger (rechtes Bild) (Quelle Hüskens Wasserbau)

5.7 Verwertung nach thermischer Behandlung

Feinkörniges Baggergut besitzt aufgrund seiner mineralogischen Zusammensetzung besonders gute Eigenschaften, die eine Verwertung nach thermischer Behandlung ermöglichen. Die Substitution von Rohstoffen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dies gilt besonders für die keramische Industrie, da mit der Gewinnung der Tone als Ausgangsmaterial ein erheblicher Eingriff in die Umwelt und in das Landschaftsbild einhergeht. In zwei Einsatzfeldern der keramischen Industrie liegen Erfahrungen beim Einsatz von feinkörnigem Baggergut vor.

5.7.1 Verwertung bei der Ziegelproduktion

In mehr als 20 Jahren Forschungs- und Entwicklungsarbeit hat ein mittelständisches Hamburger Unternehmen ein Verfahren zur Verwertung von vorbehandelten feinkörnigen Baggergutfraktionen als Tonersatzstoff bei der Ziegelproduktion entwickelt. Hierbei wurden bis zu 70 % Baggergutmaterial an Stelle von Naturton zur Herstellung von hochwertigen keramischen Baustoffen -z. B. Mauerziegel oder Pflastersteine- eingesetzt. Die Ziegelei ging 1996 versuchsweise für vier Jahre in Betrieb.

Nach dem Mischen des Baggerguts mit speziellen Naturtonen und anderen Additiven wurde die Rohmasse in einem ersten Behandlungsschritt weitestgehend thermisch getrocknet. Anschließend wurden in einem speziellen Formgebungsverfahren die Rohziegel gepresst und diese bei ca. 1.200 °C im Ziegelofen über ca. 72 h einschließlich der Aufheiz- und Abkühlphase gebrannt.

Bei den gegebenen Brandbedingungen verbrannte weitgehend die Organik. Schwermetalle und Arsen wurden während des Brennprozesses zum größten Teil in eine glasartige Struktur der Ziegel eingebunden und sind so demobilisiert. Die durch den Brennvorgang freigesetzten Schadstoffe wurden in einer Abgasreinigung weitestgehend zurückgehalten. Die Nutzung von Baggergut bei der Ziegelproduktion erfordert bei der Formgebung und im Brennprozess einen hohen Aufwand der Vorbehandlung, die Abgasreinigung ist sehr aufwändig. Bis jetzt hat sich kein wirtschaftlicher Einsatz dieser grundsätzlich ökologischen und zukunftsweisenden Technologie ergeben.

Erst wenn sich die Produktion von Ziegeln aus Baggergut zu ähnlichen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wie andere Verwertungsverfahren oder die Beseitigung betreiben lässt, wird sich diese Option, gestützt auf die positiven Ergebnisse des Versuchsbetriebs, zu einer vollwertigen Verwertungsalternative entwickeln.

5.7.2 Verwertung bei der Produktion von Blähtonpellets

Ohne weitreichende technische Anpassungen der Prozesstechnologie und der Prozesssteuerung wurde ein weiteres thermisches Produktionsverfahren entwickelt, in dem für die Produktion von Blähton (Abb. 28) vorbehandelte schlickige Materialien Naturton ersetzen. Bei Nutzung der vorhandenen Anlagentechnik betrug der Substitutionsgrad 10-25 %.

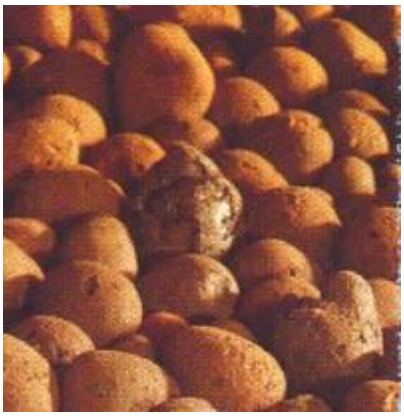

Abb. 28: Pellets aus aufbereitetem Baggergut (Quelle: Hamburg Port Authority)

Im Zeitraum von 2004 bis 2016 wurden mehr als 65.000 t METHA-Material an eine Firma geliefert, um das Material als Ersatz für Ton in der Blähton-Pellet-Produktion zu nutzen. Die Produktion der Pellets endete jedoch mit der Stilllegung des Werks wegen der endgültigen Ausbeutung der betriebseigenen Tongrube im Jahr 2016.

Nach dem Mischen von Naturton, Baggergut und anderen Additiven wurden kleine Pellets geformt. Im Anschluss wurden diese Grünpellets bei 1.250 °C im Drehrohrofen gebrannt und die Blähton-Pellets mit einer Dichte von 0,3 bis 0,6 t/m³ hergestellt.

Bei den gegebenen Brandbedingungen verbrannte der größte Teil der Organik, die dabei entstehenden Gase unterstützten den Formungsprozess der Blähton-Pellets. Wie auch bei der Ziegelherstellung werden Schwermetalle und Arsen während des Brennprozesses zum größten Teil in eine glasartige Struktur eingebunden und das Schadstoffinventar bleibt bestehen.

Blähton-Pellets werden meistens als Kiesersatz, geologisches Füllmaterial oder als Zuschlag für Leichtbeton verwendet.

5.7.3 Schlussfolgerungen

Eine Verwertung nach thermischer Behandlung ist in der Regel teuer und nur in den Fällen ratsam, in denen das Material direkt als Rohstoffsubstitut in einem vorhandenen Herstellungsprozess eingesetzt werden kann Durch das Verfahren werden Schwermetalle in die glasartige Matrix dauerhaft eingebunden, das Schadstoffinventar bleib aber erhalten und muss bei einer späteren Entsorgung der Baustoffe berücksichtigt werden. Neben dem Vorteil der Immobilisierung der Schadstoffe liegt der besondere Vorzug dieses Verfahrens in der Schonung natürlicher Ressourcen.

Aufgrund der hohen Investitionskosten ist eine Verwertung nach thermischer Behandlung in der Regel keine Lösung für kleinere Mengen oder kurze Zeiträume. Die aufwändige Technik bis hin zu der erforderlichen Abgasreinigung lohnt sich nach derzeitigem Stand nur bei langfristigen Verwertungskonzepten mit gesicherter Vermarktung der Baustoffe und Verfügbarkeit des Rohstoffsubstituts Baggergut über den gesamten Investitionszeitraum.

Werden Bauprodukte (z.B. Ziegel) hergestellt, sind europäische und DIN-Normen sowie weitere Vorgaben, wie z. B. die Bauprodukte-Verordnung der EU (EU-BauPVO, 2011) zu beachten.

6 Empfehlungen

Für die Verwertung von feinkörnigem Baggergut wurden einige konkrete Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der deutschen Küste aufgezeigt.

Durch die Behandlung (Klassierung, Trocknung) wird Baggergut zu einem Material mit vielseitigem Einsatzspektrum. Grundsätzlich ist es möglich, die Behandlung speziell auf ein Verwertungsverfahren auszurichten.

Feinkörniges, humoses Baggergut, das die substratspezifischen Vorsorgewerte der BBodSchV einhält, eignet sich aufgrund seiner günstigen Bodeneigenschaften (Wasserhaltevermögen, Nährstoffspeicherung, Bodengare, Erosionsstabilität) hervorragend zur Standortverbesserung bzw. als Bestandteil in Kultursubstraten zur Herstellung bzw. zur Verbesserung durchwurzelbarer Oberböden oder zur Rekultivierung devastierter Flächen. Voraussetzung für den Einsatz ist meist seine vorherige Behandlung/Aufbereitung (bes. Klassierung, Trocknung). Eine Besonderheit stellt das Verfahren der Direktaufbringung (Flachaufspülung, Verrieselung) auf Flächen dar.

Positive Eigenschaften hinsichtlich einer Verwertung als Dichtungsmaterial sind die bei Verhinderung von Austrocknung sehr geringe Wasserdurchlässigkeit, die einfache Bearbeitung

des Materials sowie dessen Verfügbarkeit bei ansonsten vergleichbaren Qualitäten gegenüber anderen mineralischen Dichtungsmaterialien.

Überall dort, wo es ökologisch verträglich und wirtschaftlich geboten ist, sollte behandeltes feinkörniges Baggergut als alternatives Bodensubstrat bzw. Baustoff in die Planungen einbezogen werden. Bei der Beurteilung der Umweltauswirkungen sollte in der ökologischen Gesamtbilanzierung stets auch der Vorteil berücksichtigt werden, der durch die Substitution von natürlichen Materialien durch Baggergut entsteht.

Feinkörniges Baggergut ist bei geringen Gehalten an Schadstoffen aufgrund seiner bodenphysikalischen und auch bodenchemischen Eigenschaften ein optimales Zuschlagsmaterial bei der Herstellung von Kultursubstraten z. B. in Erdenwerken oder Kompostierungsanlagen. Nachteilig ist hier der geringe Durchsatz, die Verwertung jedoch ist hochwertig.

Die Verwertung von Baggergut in der Landwirtschaft ist ein Spezialfall und setzt gute Kenntnisse des einzusetzenden Baggerguts und des zu verbessernden Standortes voraus. Die zu erreichenden Ziele zur Bodenverbesserung sind mit der landwirtschaftlichen Fachbehörde abzustimmen. Das behandelte Baggergut darf nur sehr geringe Gehalte an Schadstoffen aufweisen, damit die Forderung der Bundesbodenschutzverordnung (Einhaltung von 70 % der Vorsorgewerte im landwirtschaftlichen Boden nach Aufbringung) erfüllt werden kann. Beim Einsatz von Baggergut aus Brackgewässern in und auf Oberböden ist grundsätzlich die Problematik der Salzfrachten in Hinblick auf den Oberflächen- und Grundwasserschutz und salzempfindliche Pflanzen zu beachten.

Bei Deponien und Altlasten ist eine Verwertung von Baggergut in Ausgleichs- und Profilierungsschichten sowie als mineralische Dichtungskomponente im Oberflächenabdichtungssystem sinnvoll und möglich. Dabei sind die Anforderungen der Deponieverordnung an die chemischen sowie bei der Verwertung als Dichtungskomponente die technischen, hydraulischen und bodenmechanischen Eigenschaften zusätzlich gemäß BQS einzuhalten. Für das Hamburger METHA-Material liegt eine Eignungsbeurteilung der LAGA für die Verwertung als Dichtungsmaterial vor http://www.laga-online.de/servlet/is/23875/#A1.

Die bodenmechanischen Eigenschaften feinkörnigen Baggerguts erlauben weiterhin den Einsatz im Hochwasserschutz des Küstenbereiches. Der Einsatz im Deichbau könnte den Umfang einer Entnahme natürlicher Böden (Klei oder Mergel) vermindern oder vermeiden. Hierdurch können natürliche Ressourcen geschont und der Hochwasserschutz unter verbesserten wirtschaftlichen Voraussetzungen ohne Nachteile für die Deichsicherheit ausgebaut werden. Außerdem kann sich der Einsatz aufgrund der Nähe zwischen Baumaßnahme und Baggergutanfall anbieten (kurze Transportwege). Der oftmals limitierende Salzgehalt des aus dem brackig bzw. marin geprägten Küstenbereich stammenden Baggerguts stellt hier kein Ausschlusskriterium für die Verwertung z. B. dem Einbau in den Deich dar.

Bei der Verfüllung von Hafenbecken kann Baggergut große Mengen Sand ersetzen. Selbst bei geringen Scherfestigkeiten des Baggerguts können mit technischen und baubetrieblichen Maßnahmen Lösungen ermöglicht werden. Durch den Einsatz von Vertikaldräns lassen sich Setzungen planmäßig steuern und beschleunigen sowie freigesetztes Porenwasser bei Bedarf ökologisch verträglich gezielt fassen und behandeln.

Die Gehalte an Schadstoffen im Baggergut sind bei der Verwertung nach thermischer Behandlung dahingehend zu beurteilen, dass keine Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf erfolgt (eine Grundpflicht der Kreislaufwirtschaft nach § 7 Abs. 3 KrWG). Die Verknappung natürlicher Tonressourcen und ein hoher Aufwand bei Ausgleich und Ersatz für deren Inanspruchnahme können zukünftig das wirtschaftliche Interesse zur Substitution von Naturtonen steigern.

Mit der Verwertung des Baggerguts als Bodenmaterial oder Baustoff können in vielen Fällen technische und ökologische Anforderungen erfüllt werden. Ökonomisch sind die Optionen als Rohstoffsubstitut oft jedoch gegenüber der Nutzung natürlicher Rohstoffe benachteiligt, da sie aufgrund der hohen technischen Aufwendungen (noch) zu teuer und die Preise natürlicher Rohstoffe noch zu niedrig sind. In der Praxis hat sich weiterhin gezeigt, dass eine ei-

gentlich sinnvolle Verwertung zu wirtschaftlichen Preisen möglich wäre, jedoch teilweise an den hohen Transportkosten (vom Behandlungs- zum Verwertungsstandort) scheiterte. Der Bau von Anlagen zur Baggergutverwertung ist kostenintensiv und genehmigungsrechtlich anspruchsvoll, so dass er sich nur bei gesicherter kontinuierlicher Abnahme des Outputs über längere Zeiträume rentiert.

In der Praxis ist die Beseitigung des Baggerguts oftmals der tatsächliche Entsorgungsweg, obwohl der Verwertung rechtlich (entsprechend der Abfallhierarchie) und ökologisch der Vorzug zu geben ist. An dieser Situation wird sich nichts ändern, solange die Verwertung gesetzgeberisch oder fiskalisch keine stärkere Unterstützung erfährt.

Literatur

l Tagungsband Sardinia 2017 / Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium/ 2 - 6 October 2017. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy / © 2017 by CISA Publisher, Italy.

Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2644) geändert worden ist.

Albert, G., Hirschberger, H., Rettberg, H. (1993). Landlagerung von Baggergut in Hamburg, gezeigt am Beispiel des Schlickhügels in Francop. Müll-Handbuch Band 3 Kennzahl 3476. Erich Schmidt Verlag.

Bäätjer, M., Detzner, H.-D. (1997). Elbsedimente - Ein Zukunftsrohstoff für die Ziegelindustrie. HANSA 134(7): S. 68-71.

BBodschV (1999). Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 126 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

Berger, K., Groengroeft, A., Gebert, J., Harms, C., Eschenbach, A. (2017): 20 years of long-term water balance of a landfill cover system with components constructed from pre-treated dredged materiau (1998). Verwendung von Dichtungsschlick als Deichbaumaterial.**

Bethke, H., Biener, E., Sasse, T., Wemhoff, T. (2003). Die Eignung von Baggergut als mineralische Komponente in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen, TerraTech- WLB-Supplement für Altlasten und Bodenschutz, Ausgabe 9.

Bode, W., Döring, U., Schmidt-Bonde, L., Schramm, W. (1997). Großversuchsanlage zur Abtrennung von Feinsand aus dem Hamburger Baggergut. HANSA 134(7): S. 64-67.

Bredehöft, W., Dansmann, H., Dr. Maaß, V., Pröpping, K. (1997). Schlickhügel in Hamburg - Feldhofe. HANSA 134(7): S. 71-76.

Cantré, S., Saathoff, F. 2015. Handbuch zum Einsatz von Baggergut im Deichbau. Wasser und Abfall 2015(7/8): 28-35.

Cantré, S., Olschewski, J., Saathoff, F. 2017. Full-scale Flume Experiments to Analyse the Erosion Resistance of Dike Embankments Made of Dredged Materials. ASCE Journal of Waterways, Ports Coastal and Ocean Engineering 143(3): 1-16.

DepV (2009). Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533) geändert worden ist

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall DWA: Umgang mit Baggergut. DWA-Regelwerk M 362 Teil 1, 2 und 3. (1997, 1999, 2004).

Deutsch-Niederländischer Austausch über Baggergut (Dutch-German Exchange on Dredged Material), Teil 2 (2002). Treatment and Confined Disposal of Dredged Material.

DWA-Fachausschuss WW-9 „Umgang mit Sedimenten und Baggergut bei der Gewässerunterhaltung“ und HTG-Fachausschuss Baggergut (2017): Umgang mit Sedimenten und Baggergut bei Gewässerunterhaltung und –ausbau.. Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (1), 28-33.

EU-BauPVO, 2011: Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, Amtsblatt Nr. L 088 vom 04/04/2011 S. 0005 – 0043

Gebert, J., Huber-Humer, J., Oonk, H., Scharff, H. (2011b). Methane Oxidation Tool - An approach to estimate methane oxidation on landfills.http://www.afvalzorg.nl/EN/About-us/Publications/Methane-oxidation.aspx.

GGU mbH (2016). METHA-Material – Verwendung als Baustoff im Deichbau: Beurteilung der bodenmechanischen Eignung, Auswertung der vorliegenden Unterlagen. GGU Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH, Braunschweig, 21.11.2016, Auftraggeber: Hamburg Port Authority.

Gröngröft, A., Kussmaul, M., Miehlich, G. (1997). Ökologische Folgewirkungen der Hafenbeckenverfüllung mit Schlick. HANSA 134(7) S. 58-63.

Gröngröft, A., Tresselt, K., (2000). Verwertung von METHA-Material als Ersatzbaustoff im Deponiebau. Gutachterliche Stellungnahme.

Gutbrod, J. (2016). Herrichtung Logistikfläche Dradenau: Verwertung von METHA-Material bei der Flächenaufhöhung. 9. Rostocker Baggergutseminar, Tagungsband

IGB (2004). Untersuchungen im Probefeld am Maadesiel, Ergebnisbericht zur Verwertung von Baggergut als Klei-Ersatzmaterial im Deichbau, unveröffentlichtes Gutachten.

Henneberg, M.; Neumann, R. (2007): Nachuntersuchung auf den Standorten der Praxisversuche Rastow und Rederank zur Verwertung von Baggergut als Bodenverbesserungsmittel im Landbau, 2007; Auftraggeber: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus M-V, unveröffentlicht

HENNEBERG, M.; NEUMANN, R. (2011): 10 Jahre Lysimeterversuche zum Einsatz von gereiftem Baggergut zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft. Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie MV und der Hansestadt Rostock Tief- und Hafenbauamt. unveröffentl. Abschlussbericht.

HENNEBERG, M.; Morscheck, G. (2012): Einsatz von gereiftem Nassbaggergut als Rekultivierungssubstrat in Deponieoberflächenabdichtungssystemen Im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie MV. unveröffentl. Abschlussbericht

HENNEBERG, M. (2019): 10 Jahre Anwuchsversuche mit aufbereitetem salzhaltigem Baggergut zur Prüfung der Eignung als Kulturbodensubstrat für Kleinanwender und im Garten- und Landschaftsbau

Kibbel, E.-M., Henneberg, M. (2005). Unterbringung von Baggergut auf Spülfeldern In ATV – DVWK – M 362 Umgang mit Baggergut, Teil 2: Fallbeispiele.

Hansestadt Rostock (2018). Baggergutmanagement der Hansestadt Rostock. unveröffentlicht.

KrwG (2012). Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 2 des Gesetzes vom 09. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist.

Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.) (2002). EAK - Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken. Heide i. Holstein.

LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) (2003). Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung 1.2 Bodenmaterial (TR Boden) Stand: 06.11.1997.

LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) (2004). Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung 1.2 Bodenmaterial (TR Boden) Stand: 05.11.2004.

LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall), Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ (2008). Eignungsbeurteilung von METHA-Material zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien. 16.06.2008.

LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall), Ad-hoc-AG Deponietechnik (2011). Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-3, „Methanoxidationsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen“ zuletzt geändert am 02.12.2020.

Limnologisches Institut Dr. Nowak (2004). Ergebnisbericht zur Untersuchung an einem Deichbau-Probefeld Maadesiel bei Wilhelmshaven, Unveröffentlichtes Gutachten.

melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft (2002). Konzept zur Optimierung von Rekultivierungs- und Drainschicht, Auftrag von Strom- und Hafenbau.

OGewV (2016). Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 09. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist.

Oing, K., Groengroeft, A., Eschenbach, E. (2018): Enhanced dewatering optimizes compactibility of processed dredged material. Journal of Soils and Sediments. 10.1007/s11368-018-1958-7

PIANC Arbeitsgruppe ENVICOM 5 (2002). Environmental Guidelines for Aquatic, Nearshore and Upland Confined Disposal Facilities for Contaminated Dredged Material.

Rettberg, H. (1997). Das Hamburger Baggergutkonzept - Ein Rückblick auf die letzten 20 Jahre, Hansa**.

Saathoff, F., Cantré, S., Sikora, Z. (Hrsg.). Handbuch für die südliche Ostseeregion zur Anwendung von Nassbaggergut, Aschen und Geokunststoffen im Deichbau – gekürzte deutsche Version (Gelbdruck). Universität Rostock, 2015. PDF auf www.dredgdikes.eu.

Saathoff, F., Cantré, S., Sikora, Z. (Ed.). South Baltic Guideline for the Application of Dredged Materials, Coal Combustion Products and Geosynthetics in Dike Construction. Universität Rostock, 2015. Print: ISBN: 978-3-86009-423-5. PDF auf www.dredgdikes.eu.

Saathoff, F., Cantré, S. 2016. Empfehlungen zur Verwertung von Baggergut im Deichbau. Geotechnik 39(2): 126-135.

Sasse T., Behrends A., Binder N. (2005). Verwertung von Baggergut am Beispiel der Erweiterung des Containerterminals CT 4 in Bremerhaven. Tagungsband HTG-Kongress**

Universität Rostock, LUFA Rostock (2000). Erarbeitung fachlicher Rahmenbedingungen zur Verwertung von Nassbaggergut aus den Küsten- und limnischen Gewässern Mecklenburg-Vorpommerns in der Landwirtschaft, unveröffentlichter Entwurf.

Weißmann, R. (2003). Die Widerstandsfähigkeit von Seedeichbinnenböschungen gegenüber ablaufendem Wasser. Mitteilungen aus dem Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik der Universität Duisburg-Essen (Heft 30).

Werner, G. Dansmann, H., Eickhoff,** Möbius (1997). Schlick als Erdbaumaterial - Hafenbeckenverfüllung in Hamburg. HANSA 134(7): S. 77-83.