

Abteilung II — Seeschifffahrt

Thema 5

Unterhaltung und Verbesserung der Fahrwassertiefen einschl. der Anwendung der Entwicklungen auf dem Gebiet der Baggergeräte sowie neuer Methoden der Ausbaggerung und der Baggergut-Ablagerung

Berichterstatter: Dipl.-Ing. Werner Dietze, Bauoberrat, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nordwest, Aurich; Dipl.-Ing. Friedrich Huismann, Baudirektor, Bundesministerium für Verkehr, Bonn; Dipl.-Ing. Joachim Knust, Baudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nordwest, Außenstelle Bremen; Dipl.-Ing. Fritz Reuter, Präsident der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nord, Kiel; Dipl.-Ing. Hans-Joachim Sonntag, Oberbaurat, Strom- und Hafenausbau Hamburg; Dr.-Ing. Alfred Welte, Vorstandsmitglied der Orenstein & Koppel AG, Lübeck; Dipl.-Ing. Gottfried Wolf, Wasser- und Schiffahrtsamt Hamburg.

Zusammenfassung

Der Bericht beschränkt sich auf die Unterhaltung und Verbesserung der Fahrwassertiefen in den Zufahrten zu den deutschen Seehäfen, da hier der Schwerpunkt der technischen und finanziellen Aufwendungen für Baggerungen liegt.

Es wird festgestellt, daß in den letzten Jahren in allen Zufahrten zu den deutschen Seehäfen Vertiefungsbaggerungen durchgeführt wurden und die Unterhaltungsbaggermenge z. Z. rd. 30 Mio m³ pro Jahr beträgt.

Nach Darstellung des Umfanges der Vertiefungs- und Unterhaltungsmaßnahmen werden die wichtigsten Erfahrungen und neueren Entwicklungen der letzten 10 Jahre behandelt, die zur Rationalisierung und zum wirtschaftlicheren Einsatz der Baggersysteme geführt haben. Gleichzeitig werden Möglichkeiten zur weiteren Verbesserung der Baggersysteme sowie einige noch nicht gelöste Probleme aufgezeigt.

Hierbei wird insbesondere auf die für Unterhaltungs- und Vertiefungsbaggerungen wichtigen Hoppersaugbagger und Eimerkettenbagger eingegangen. Über Einzelsysteme der Hoppersaugbagger wird u. a. folgendes berichtet:

- Saugköpfe mit Druckwassereinrichtungen haben bei Vergleichsbaggerungen im Feinsand Mehrleistungen (bezogen auf die Pumpzeit) von rd. 90 % erbracht. Weitere Optimierung der Druckwasserstrahlleistung erscheint möglich,
- in der hydraulischen Förderanlage ist die Gesetzmäßigkeit für den Feststofftransport mit den Auswirkungen auf Strömungs- und Druckverluste noch weitgehend unbekannt. Die konstruktiven Entwicklungen der Baggerpumpen richten sich auf die Verbesserung des Wirkungsgrades und die Erhöhung der Lebensdauer von Gehäuse und Kreisel,
- Verbesserungen an den Laderaumeinrichtungen werden dargestellt, die das Absetzvermögen erhöhen und die Überlaufverluste vermindern,
- Erfahrungen mit den verschiedenen Verklappeinrichtungen werden dargestellt und auf neueste Entwicklungen wird hingewiesen, die zum Einbau nur eines einzigen Bodenschiebers an einem Ende des Laderaumes führen,
- bei den Verspüleinrichtungen wird unter anderem auf ein neues Verfahren hingewiesen, das die Fließeigenschaften des Ladegutes erhöhen und die Spülgemischkonzentration verbessern soll,

— mit den Meß- und Registriergeräten werden die Möglichkeiten eines Beladungsrechners zur Optimierung eines Teiles des Baggervorganges aufgezeigt.

Von den technischen Entwicklungen der Einzelsysteme auf Eimerkettenbaggern werden insbesondere dargestellt:

- die drei wichtigsten Antriebssysteme für die Eimerkette
 - diesel-hydrodynamisch
 - diesel-hydrostatisch und
 - diesel-elektrisch,
- Verbesserung der Unterturaslagerung durch Umstellung von Gleitlagerung auf Wälzlagerung,
- Verbesserungen zur Kontrolle und Überwachung des Baggervorganges,
- Maßnahmen zur Verminderung der Schallemissionen durch Einbau von Gelenklagern in die Eimerkette.

Der letzte Abschnitt des Berichtes befaßt sich mit Methoden der rationellen Baggerung und Baggergutablagerung. Hierin wird auf die Bedeutung genauer und häufiger Peilungen als Grundlage für einen effektiven Baggereinsatz eingegangen.

Es werden insbesondere die Probleme beim Baggern in Fahrwasserbereichen mit Dünenbildung dargestellt.

Generell werden die Vor- und Nachteile beim Einsatz von Hoppersaugbaggern, Eimerkettenbaggern, Cutterbaggern und sonstiger Baggergeräte für Vertiefungs- und Unterhaltungsaufgaben behandelt.

Bei den Methoden zur Baggergutablagerung werden die Erfahrungen mit Verklappen, Verspülen an Land und Verklappen mit anschließendem Verspülen (Klapp-Spül-Verfahren) vergleichend dargestellt.

Inhalt

	Seite
1. Verbesserung und Unterhaltung der Fahrwasser im deutschen Küstengebiet	181
2. Generelle Darstellung der Methoden zur Verbesserung und Unterhaltung der Fahrwassertiefen	182
3. Entwicklungen auf dem Gebiete der Baggergeräte und deren Anwendung	183
3.1 Hoppersaugbagger	183
3.2 Eimerkettenbagger	191
4. Methoden der rationellen Baggerung und Baggergutablagerung	197
4.1 Ortung und Peilung als Grundlage effektiver Baggermethoden	197
4.2 Vor- und Nachteile verschiedener Baggermethoden	198
4.3 Methoden zur Ablagerung des Baggergutes	202

1. Verbesserung und Unterhaltung der Fahrwasser im deutschen Küstengebiet

1.1 Allgemeines

In der Bundesrepublik Deutschland ist nach der Verfassung der Bund Eigentümer der See- und Binnenschiffahrtsstraßen, die er durch eigene Behörden — die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung des Bundes — verwaltet. Zur Verwaltung gehört u. a. die Verbesserung und Unterhaltung der Fahrwassertiefen. Der Schwerpunkt der hierfür erforderlichen technischen und finanziellen Aufwendungen liegt im Bereich der Seeschiffahrtsstraßen und hier bei den Zufahrten zu den deutschen Seehäfen (Abbildung 1). Darum wird sich der Bericht auf diesen Bereich beschränken. Die Unterhaltung der Tiefen in den Häfen — teilweise auch in hafennahen Zufahrten — obliegt den Hafenverwaltungen der Länder und Kommunen.

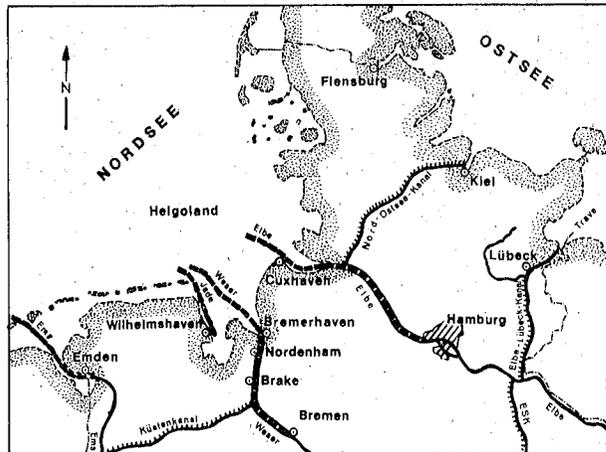


Abb. 1: Übersichtskarte der Zufahrten zu den deutschen Seehäfen

1.2 Umfang der Vertiefungsmaßnahmen in den Zufahrten zu den deutschen Seehäfen

Über die Probleme, die infolge der natürlichen Sandbewegungen längs der deutschen Küste für die Zufahrten zu den deutschen Seehäfen entstehen, wurde auf dem 23. Internationalen Schiffahrtskongreß 1973 unter Abteilung II Thema 2 [1] berichtet.

Der Umfang der Vertiefungsmaßnahmen wird aus folgender Übersicht erkennbar:

Seeschiffahrts- straße	Zufahrt zum Hafen	Ausbautiefe 1975	Vertiefung in den letzten 30 Jahren um	Vertiefung wird z. Zt. durchgeführt auf
Außenems bis Leichterplatz	Emden	12,5 m u. SKN	2,0 m	—
Ems bis Emden	Emden	8,5 m u. SKN	1,5 m	—
Jade	Wilhelmshaven	18,5 m u. SKN	8,5 m	—
Außenweser	Bremerhaven	12,0 m u. SKN	2,0 m	—
Unterweser	Bremen	8,0 m u. SKN	1,0 m	9,0 m u. SKN
Elbe	Hamburg	12,0 m u. MTnw	2,0 m	13,5 m u. MTnw
Untertrave bis Lübeck-Siems	Lübeck	9,5 m u. MW	1,0 m	—
Untertrave weiter bis Lübeck-Stadthäfen	Lübeck	8,5 m u. MW	—	9,5 m u. MW

u. SKN = unter Seekartennull
 u. MTnw = unter mittlerem Tidenniedrigwasser
 u. MW = unter mittlerem Wasserstand

1.3 Umfang der Unterhaltungsmaßnahmen in den Zufahrten zu den deutschen Seehäfen

Der Unterhaltungsaufwand für die Erhaltung der erreichten Fahrwassertiefen wird wesentlich durch die anfallenden Unterhaltungsbaggermengen bestimmt. Die Unterhaltung der Strombauwerke (Buhnen, Leitdämme) ist im Vergleich zum Baggeraufwand von untergeordneter Bedeutung.

Folgende Übersicht zeigt den derzeitigen Umfang der jährlichen Unterhaltungsbaggermengen in den Zufahrten zu den deutschen Seehäfen. Die angegebenen Baggermengen stellen Mittelwerte dar, bzw. beruhen sie auf Schätzungen, wenn sich die Zufahrt im Ausbau befindet.

SeeschiffsstraÙe	Ausbautiefe 1975	Unterhaltungsbaggermenge in Mio m ³ /Jahr
Außenems bis Leichterplatz	12,5 m u. SKN	8,8
Ems bis Emden	8,5 m u. SKN	
Jade	18,5 m u. SKN	7,1
Außenweser	12,0 m u. SKN	5,5
Unterweser	8,0 m u. SKN	
Elbe	12,0 m u. MTnw	9,2
Untertrave bis Lübeck-Siems	9,5 m u. MW	—
Untertrave weiter bis Lübeck-Stadthäfen	8,5 m u. MW	—
		30,6

1.4 Ausführung der Aufgaben zur Verbesserung und Unterhaltung der Fahrwassertiefen

Die Verbesserung der Fahrwassertiefen, d. h. der Ausbau der Zufahrten wurde überwiegend von deutschen und europäischen Baggerunternehmungen im Auftrage der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung des Bundes durchgeführt.

Die Unterhaltung der erreichten Ausbautiefen führt die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung des Bundes überwiegend mit eigenen Baggergeräten durch.

2. Generelle Darstellung der Methoden zur Verbesserung und Unterhaltung der Fahrwassertiefen

Die vielfältigen Mittel und Methoden zur Verbesserung und Unterhaltung der Fahrwassertiefen lassen sich generell in 2 Hauptgruppen einteilen: Durch die indirekte Methode wird mit Hilfe von Strombaumaßnahmen wie Buhnen, Leitdämmen u. ä. Bauwerken Einfluß auf die natürlichen Kräfte genommen, die eine Querschnittsausbildung des Fahrwassers bewirken. Über die Anwendung dieser Methode im Bereich der Zufahrten zu den deutschen Seehäfen ist ebenfalls eingehend auf dem 23. Internationalen Schiffahrtskongreß 1973 unter Abteilung II Thema 2 [1] berichtet worden. Die direkte Methode ist die künstliche Querschnittsgestaltung der Fahrwasser durch Baggerungen. Baggerungen führen zwar direkt zum Ziel, müssen jedoch, um das erreichte Ziel zu erhalten, oft mit erheblichem finanziellem Aufwand ständig fortgeführt werden.

Eine zweckmäßige Kombination beider Methoden hat auf den deutschen Seeschiffsstraßen oberhalb der Mündungsstrecken zu wirtschaftlichen Lösungen der Unterhaltung der Fahrwassertiefen geführt. Je weiter sich jedoch die Vertiefungsmaßnahmen in die Mündungstrichter und die offene See erstrecken, um so unwirksamer und unwirtschaftlicher wird nach heutigem Stand der Baggergerätetechnik die indirekte Methode und um so mehr werden Baggerungen erforderlich.

Mit der Notwendigkeit, aufgrund der Schiffsgrößenentwicklung die Zufahrten zu den deutschen Seehäfen zu vertiefen, wuchs auch der Bedarf an leistungsfähigen Baggergeräten. Die heute erreichten Ausbautiefen lassen sich nur noch mit modernen leistungsfähigen Baggersystemen wirtschaftlich unterhalten. Hohe Kosten dieser Baggersysteme zwingen das Baggergewerbe und die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, alle Anstrengungen zu unternehmen, diese Systeme so rationell wie möglich zu gestalten und einzusetzen.

Die wichtigsten Erfahrungen und neueren Entwicklungen, die in den letzten 10 Jahren auf diesem Gebiet zu verzeichnen sind, sollen in den nachfolgenden Abschnitten behandelt werden.

3. Entwicklungen auf dem Gebiet der Baggergeräte und deren Anwendung

3.1 Hoppersaugbagger

Nachfolgend wird auf die Einzelsysteme der Baggereinrichtung, ihre Entwicklung in den letzten Jahren und auf noch ungelöste Probleme bei diesen Anlagen eingegangen.

3.1.1 Saugkopfentwicklungen

Saugköpfe haben die Aufgabe, den zu baggernden Feststoff von der Gewässersohle zu lösen, mit Wasser zu suspendieren und das dabei entstehende Gemisch der Saugrohrleitung zuzuführen. Zur Erreichung einer hohen Ertragsleistung der Bagger soll dieses Gemisch eine hohe Konzentration an Feststoffen haben. Dem ist jedoch eine Grenze gesetzt dadurch, daß zwischen der Baggerpumpe und der Saugöffnung ein Differenzdruck von nur etwa einer Atmosphäre zur Verfügung steht, der auch nicht durch eine höhere Leistung der Baggerpumpe vergrößert werden kann.

Neben dieser wichtigen Aufgabe eines Saugkopfes, nämlich der Lieferung eines Volumenstroms, ist aber auch der erforderliche Zugbedarf beim Schleppen über Grund von Bedeutung, der von der Antriebsanlage des Baggers aufgebracht werden muß.

Es war daher notwendig, neue Saugköpfe zu entwickeln, die durch eine Steigerung des Feststoffvolumenstromes und eine Verminderung des Zugbedarfs gekennzeichnet sind. Ferner mußte nach Möglichkeiten zur Auflockerung des zu baggernden Bodens und dadurch zur Verbesserung der Baggerbarkeit gesucht werden.

Über Versuche mit vorhandenen Saugköpfen sowie über Modelluntersuchungen, die zu neuen Saugkopfformen mit und ohne Druckwasseraktivierung führten, ist auf dem XXI. und XXII. Schifffahrtskongreß durch Witt [2] und Kobus [3] ausführlich berichtet worden.

Systematische Versuchsreihen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin, führten zu der Erkenntnis, daß mit einer Reihe von Druckwasserdüsen, die an der Vorderkante der Saugöffnung nebeneinander und dicht über der Bodenoberfläche angeordnet sind, erhebliche Mehrleistungen erreicht werden können. Der Bauart der „Berliner“ Saugköpfe ließ den Einbau der Zuführungen von Druckwasser zu. Als erster Bagger wurde „Ludwig Franzius“ 1964 mit diesen Saugköpfen ausgerüstet. Vergleichsbaggerungen ergaben im Feinsand eine Mehrleistung, bezogen auf die Pumpzeit, bis zu etwa 90 % gegenüber einem gleichen Bagger ohne Druckwassereinrichtung. Bei weniger feinem Baggergut war die erreichte Mehrleistung durch Druckwasser wegen des ohnehin größeren Porenvolumens und der damit geringeren Kohäsionskräfte zwischen den Sandpartikeln entsprechend niedriger. Durchschnittlich konnte bei den in den Mündungsgebieten der deutschen Nordseeküste vorkommenden Bodenarten eine Erhöhung der Ertragsleistung um 30 bis 40 % erreicht werden.

Es kann festgestellt werden, daß sich heute auch bei anderen Saugkopfbauarten Druckwassereinrichtungen zunehmend durchsetzen.

In Großversuchen wurde u. a. auch nachgewiesen, daß bei Baggerungen mit druckwasseraktivierten Saugköpfen wegen der Bodenaufquellung eine geringere Geschwindigkeit über Grund günstiger ist als bei Saugköpfen ohne Druckwassereinrichtung. Damit ist eine Verminderung der Vortriebsleistung des Baggers verbunden, wenn auch ein Teil dieser Einsparungen durch die Antriebsleistung der Druckwasserpumpen wieder ausgeglichen wird.

Mit den üblichen Saugkopfformen konnten zahlreiche prinzipielle Fragen geklärt werden, es fehlen aber noch entscheidende Untersuchungen über die Teilchenaufnahme durch die Saugströmung, ebenso aber auch über die Bodenauflockerung durch Druckwasser. Weitere Untersuchungen sind zur Optimierung der Druckwasserstrahlleistung sowie der Größe und Anzahl der Strahldüsen notwendig.

3.1.2 Hydraulische Förderanlagen

Das vom Saugkopf suspendierte Bodenmaterial wird durch die hydraulische Förderanlage zum Hopperraum transportiert. Sie besteht aus der Saug- und Druckrohrleitung sowie der Baggerpumpe.

Der atmosphärische Druck und der Sättigungsdruck des Wasserdampfes setzen dem nutzbaren Druckgefälle zwischen der Umgebung des Saugkopfes und der Baggerpumpe enge Grenzen. Dieses geringe Druckgefälle muß so weit wie möglich für die Förderung der Feststoffe genutzt werden.

Bei sehr großen Baggertiefen, wie sie sich z. B. bei der Gewinnung von Sand im offenen Meer ergeben können, reichen die Saugtiefen bei der konventionellen Unterbringung der Baggerpumpen im Schiff aber nicht mehr aus. In solchen Fällen werden die Baggerpumpen unmittelbar auf den Saugkopf gesetzt oder in das Saugrohr eingebaut. Der Wirkungsgrad einer solchen Pumpenanlage kann insbesondere bei Saugtiefen von mehr als 30 Metern erheblich verbessert und die Leistung des Baggers entsprechend gesteigert werden. Der Antrieb dieser Unterwasserpumpen erfolgt elektrisch oder ölhydraulisch. Problematisch ist hierbei das beträchtlich höhere Gewicht eines solchen Saugrohres und die Sicherung der Pumpen gegen Beschädigungen oder gar Verlust durch Hindernisse.

Der Durchmesser der Saugrohrleitung ist in den meisten Fällen größer als der der Druckleitung. Es wird daher notwendig sein, die optimalen Bedingungen für den Feststofftransport in der Saugrohrleitung zu definieren und der Messung und damit der Steuerung des Baggervorgangs zugänglich zu machen.

In der Druckrohrleitung eines Baggers selbst spielen die auftretenden Verluste eine nur untergeordnete Rolle. Auf Druckverluste in Spülrohrleitungen, die für die erreichbare Spülweite entscheidend sind, soll im Rahmen dieser Abhandlung nicht eingegangen werden.

Die Druckrohrleitung hinter der Baggerpumpe kann in den meisten Fällen einen vertikalen Abschnitt erhalten, der als Meßstrecke dient, und der so lang ist, daß sich im Meßbereich eine weitgehend homogene Feststoffverteilung über den Rohrquerschnitt einstellt.

Über die Auslegung und den Betrieb von Baggerpumpen und Rohrleitungen sind in den letzten Jahren zahlreiche Veröffentlichungen erschienen. Darin wird hauptsächlich auf den Betriebsbereich eingegangen, der sich aus den Kennlinien der Pumpe und der Rohrleitung einerseits und der Charakteristik des Antriebes und der Kavitationsgrenze andererseits ergibt. Da die Pumpen-Kennlinien nur im Großversuch mit Wasser ermittelt werden können, wird versucht, die Einflüsse der Bodenarten und Konzentrationen, d. h. der spezifischen Gewichte der geförderten Gemische durch vergleichende Messungen und Untersuchungen zu bestimmen. Die praktische Feststellung des Arbeitspunktes der Baggerpumpe im Kennlinienfeld ist für die wirtschaftliche Betriebsführung von erheblicher Bedeutung. Für die Anwendung an Bord fehlen aber noch weitgehend die dazu erforderlichen Unterlagen und Anweisungen, nicht zuletzt auch die entsprechende Unterrichtung des führenden Baggerpersonals.

Die konstruktiven Entwicklungen der Baggerpumpen richteten sich neben der Verbesserung des Wirkungsgrades besonders auf die Auswahl geeigneter Werkstoffe für Pumpengehäuse und Kreisel, um deren Lebensdauer zu erhöhen. Dabei lassen sich zwei Entwicklungsrichtungen erkennen, nämlich die Verwendung hochverschleißfester und z. T. nahezu glasharter Werkstoffe, bei denen ein hoher Feststoffdurchsatz erwartet wird. Diese Gehäuse und Kreisel werden bis zu einem bestimmten Verschleiß in Betrieb gehalten, können aber aufgrund ihrer Werkstoffeigenschaften nicht aufgearbeitet werden. Die andere Richtung verfolgt ebenfalls die Anwendung hochverschleißfester Werkstoffe, die aber wegen ihres niedrigen Kohlenstoffgehaltes schweißbar sind und nach einer gewissen Betriebszeit mindestens teilweise wieder aufgearbeitet werden können. Gehäuse und Kreisel aus diesem Werkstoff sind im allgemeinen aber wegen der hochwertigeren Legierungsbestandteile merklich teurer. Über einen Wirtschaftlichkeitsvergleich dieser beiden Richtungen ist leider noch nichts bekannt geworden.

Einen Sonderfall stellt die sog. Doppelwandpumpe des IHC Holland dar, deren inneres Gehäuse ohne Gefährdung bis zum Eintreten von Undichtigkeiten verschleifen kann, was durch Änderung des Druckes im Wassermantel zwischen innerem und äußerem Gehäuse festgestellt werden kann. Die Verwendung von Doppelwandpumpen erscheint vorzugsweise günstig, wenn stark verschleißende Materialien gefördert werden.

3.1.3 Laderaumeinrichtungen

Die Laderaumeinrichtungen haben die Aufgabe, das von der hydraulischen Förderanlage gelieferte Baggergut vom Transportmittel Wasser zu trennen und im Laderaum für den Transport zur Deponie zu speichern.

Um das Absetzen der Feststoffe zu begünstigen, muß die Durchströmung des Laderaumes möglichst ungestört verlaufen. Das bedeutet, daß das Gemisch mit hoher Konzentration bereits möglichst turbulenzfrei in den Hopperraum eingeleitet und der Laderaum besonders im oberen Füllungsbereich weitgehend von störenden Einbauten, wie Gestängen und Querträgern, freigehalten wird.

Die Zeit für die Beladung des Hopperraumes und der optimale Füllungsgrad sind stark von der Korngröße bzw. der Kornzusammensetzung des gebaggerten Gemisches abhängig. Die Größe eines Hopperbaggers wird maßgeblich durch die Ladefähigkeit und die Abmessungen des Laderaumes bestimmt. Ebenso steht die Leistung der Baggerpumpen in einer Beziehung zur Laderaumgröße, um ein befriedigendes Absetzen der Feststoffe zu erreichen. Richtwerte hierfür von Scheffauer [4] und Marnitz [5] sind auf die Laderaumboberfläche bezogen und gelten offenbar nur für normale Raumverhältnisse.

Heute wird jedoch zunehmend die Auffassung vertreten, daß die Pumpenleistung nach dem Volumen des Laderaumes zu bestimmen sei. Um zu optimalen Richtwerten für die Abhängigkeit der Pumpenleistung von der Laderaumgröße zu kommen, sind daher noch Untersuchungen vorzunehmen.

Zur Einleitung des Gemisches in den Laderaum verwendet man üblicherweise auch heute noch über dem Laderaumbereich oben offene Rinnen, für die sich am Einlaufende eine breite Fächerung bewährt hat. Als günstig hat sich ergeben, wenn der letzte Teil der Beladerinne tiefer als der Flüssigkeitsspiegel im Laderaum gelegt wird, damit das strömende Gemisch noch innerhalb der Rinne verwirbelt und ihm dadurch Energie entzogen wird. Da das einströmende Gemisch zur Durchströmung des Laderaumes in entgegengesetzte Richtung umgelenkt werden muß, ist der Einbau entsprechend ausgebildeter mit Gummi oder Verschleißplatten bewehrter Umlenkschürzen zweckmäßig. Mit solchen Schürzen konnte das Absetzvermögen der Feststoffe beispielsweise auf dem Bagger „Ludwig Franzius“ erheblich verbessert werden [6].

Anstelle der offenen Beladerinnen werden heute vielfach auch Beladerohre verwendet, insbesondere dann, wenn der Laderaum ganz oder teilweise geschlossen ist. Eine visuelle

Beobachtung des Gemischstromes ist hierbei nicht mehr möglich, und das Baggerpersonal ist ausschließlich auf die Informationen durch diverse Anzeigeeinstrumente angewiesen. Die Einleitung des Gemisches erfolgt hierbei durch in den Laderaum hineinragende Rohre oder durch Kästen, aus denen das Gemisch in den Laderaum beruhigt hineinfließt. Anstelle von solchen oberhalb des Niveaus angeordneten querliegenden Verteilerkästen können auch tief herabgezogene Schächte eingebaut werden mit Auslauföffnungen, aus denen das Gemisch entsprechend der Höhe der bereits abgesetzten Ladung austritt.

In neuester Zeit findet man jedoch auch Gemischeinleitungen über der Laderaummitte und Überläufe an beiden Enden.

Ein Beispiel hierfür ist der für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes im Bau befindliche Bagger, den Welte in [7] beschrieben hat.

Von zahlreichen verschiedenen Überlaufeinrichtungen haben sich heute die Formen durchgesetzt, die dem Gemisch eine möglichst lange Durchströmung des Laderaumes ermöglichen. Nur auf diese Weise gelingt es, auch feinkörniges Baggergut mit entsprechend niedriger Sinkgeschwindigkeit im Laderaum absetzen zu lassen und die Überlaufverluste gering zu halten.

Durch die schon erwähnte breite Fächerung der Beladerinnen am Einlauf und einen über die ganze Breite des Laderaumes reichenden Überlauf am entgegengesetzten Ende wird der Gemischstrom über eine große Laderaumboberfläche verteilt, wie es in [6] beschrieben wurde.

In diesem Zusammenhang sei auf ein bekanntes Phänomen hingewiesen, das ebenfalls Einfluß auf die Absetzvorgänge in der Nähe des Überlaufes hat. Die Überlaufkante des Wehres kann im allgemeinen als praktisch scharf angesehen werden. Der Überlaufstrom in die Ablaufrinne erfährt nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten eine Kontraktion und dadurch eine Beschleunigung. Hierdurch entsteht eine kräftige Sogwirkung und als Folge davon eine stärkere Kolkbildung vor dem Wehr. Dieser Bereich geht daher für das Absetzen des Baggergutes besonders in der letzten Phase der Beladung verloren und die Überlaufverluste steigen verstärkt an. Erfahrungen und entsprechende Maßnahmen auf dem Hopperbagger „Ludwig Franzius“ haben gezeigt, daß es gelingt, auch Feinsand bis zur Höhe des Überlaufes (und sogar noch etwas darüber) ablagern zu lassen, wenn der Abfluß nach außenbords soweit gedrosselt wird, daß sich ein bis in die Überlaufrinne hineinreichender Rückstau einstellt, der ein ruhiges Überfließen des Wassers bewirkt und die Überlaufverluste merklich vermindert. Durch zweckmäßige Ausführung der Laderaumeinrichtungen ist es heute durchaus möglich, eine durchschnittliche Beladung von mehr als 85 % des Laderaumvolumens auch bei Feinsand zu erreichen.

3.1.4 Verklappeinrichtungen

Zur Entleerung des Laderaumes an der Verklappstelle haben sich Bodenklappen, Bodenventile und Schieber bewährt. Gegenüber den über die ganze Länge des Laderaumes verteilten Bodenklappen erfordern Ventile und neuerdings Längsschieber zwischen den einzelnen Auslaßöffnungen Stege, die meist als Sättel ausgebildet werden. Die Zeit für das Verklappen der Ladung wird durch den so verringerten Gesamtquerschnitt der Bodenauslässe um 20 bis 30 % verlängert. Da aber die Verklappzeit nur einen verschwindend kleinen Teil der Umlaufzeit ausmacht, ist eine solche Verzögerung praktisch ohne Bedeutung.

Nachteilig bei Bodenklappen sind die zur Betätigung erforderlichen Gestänge oder Ketten, die durch den Laderaum gehen und den Durchfluß stören. Beachtlich sind aber auch die häufigen erheblichen Reparaturen an Abdichtungen, Gelenken und anderen Teilen, die nur im Dock ausgeführt werden können. Demgegenüber sind die Bodenventile zwar teurer in der Investition, erfordern aber einen geringeren Reparaturaufwand. Ein Auswechseln beschädigter Ventile ist unter günstigen Umständen auch bei schwimmendem Schiff möglich. Bodenventile schließen erfahrungsgemäß dichter ab als Klappen. Beide Ausführungsformen haben in den meisten Fällen den Nachteil, daß sie beim Verklappen der Ladung ein Stück unter den Schiffsboden hinausragen

und dadurch der Gefahr von Bodenberührungen ausgesetzt sind, wenn sie nicht durch einen Rezeß im Boden entsprechend höher eingebaut werden. Ein solcher Rezeß vermindert aber die Freifahrtgeschwindigkeit des Schiffes und wirkt durch die Schwerpunktverschiebung der Ladung nach oben stabilitätsmindernd.

Diese Nachteile werden beim Einbau von Bodenschiebern vermieden, die in Quer- oder Längsrichtung betätigt werden können. Bei Querschiebern sind Einzelantriebe üblich, im allgemeinen hydraulisch, während Längsschieber durch seitliche Gestänge verbunden gemeinsam durch hinter und vor dem Laderaum angeordnete hydraulische Zugzylinder geöffnet oder geschlossen werden. Einigen konstruktiven Aufwand erfordert die Abdichtung der Schieber, die den Laderaum in leerem Zustand gegen den äußeren Wasserdruck, in beladenem Zustand jedoch gegen den inneren Ladungsdruck abdichten müssen. Ein besonderer Vorteil von Bodenschiebern, aber auch von Bodenklappen, die in offener Stellung nicht unter die Ebene des Schiffsbodens schlagen, liegt in der Ansteuerung flacheier Verklappstellen, die im allgemeinen auch weniger weite Fahrwege erfordern und somit zur Steigerung der Ertragsleistung beitragen. Derartige Klappstellen erodieren erfahrungsgemäß weniger und vermeiden damit stärker das Wiedereintreiben des verklappten Baggergutes. Ihre Benutzung erfordert eine flachere Bauweise der Bagger. Örtliche Verhältnisse und Möglichkeiten sind für die Wirtschaftlichkeit maßgebend.

Neueste Versuche und Entwicklungen führten bei dem im Bau befindlichen Bagger für die Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung des Bundes zum Einbau nur eines Bodenschiebers an einem Ende des Laderaumes. Durch Wasserzugabe auf die Ladung und durch Steigerung der Fließfähigkeit des Baggergutes, durch Zusatzwasserdüsen im Laderaumboden wird die Ladung durch die Bodenöffnung hinausgespült. Das Verfahren wird durch glatte Seitenwände und den zum Bodenschieber hin geneigten Laderaumboden begünstigt.

3.1.5 Verspüleinrichtungen

Das aus den Fahrrinnen gewonnene Baggergut wird heute in zunehmendem Maße zur Aufhöhung von Gelände und für andere Bauzwecke durch Aufspülen an Land deponiert.

Für das Absaugen der Ladung aus dem Hopperraum kommen bisher zwei Verfahren zur Anwendung. Am bekanntesten und überwiegend verwendet ist das Längsabsaugverfahren, bei dem durch sog. Oberklappen ein über die ganze Länge des Laderaumes durchlaufender Kanal gebildet wird. Durch allmähliches Öffnen der Oberklappen in bestimmter Reihenfolge fällt das Baggergut durch seine eigene Schwerkraft in den Kanal und wird zusammen mit dem am äußeren Ende von außenbords zugeführten Zusatzwasser von den Baggerpumpen abgesaugt und an Land verspült.

Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß der Ladung durch den Absaugvorgang weitgehend das Porenwasser entzogen wird und die Fließfähigkeit des Ladegutes innerhalb des Laderaumes erheblich vermindert oder gar gänzlich aufgehoben wird. Dies führt zu Brückenbildungen und dadurch zu Unregelmäßigkeiten und Unterbrechungen des Absaugvorgangs und auch zu Einstürzen größerer Massen im Laderaum und damit zum Zuschütten der Absaugkanäle. Dieser letzteren Gefahr kann man dadurch begegnen, daß die einzelnen Oberklappen nur bis zu etwa 50 % geöffnet werden. Unter den Klappen verbleibt dadurch ein Raum, durch den das Zusatzwasser fließen kann und den Kanal von den hineingestürzten Sandmassen wieder freispült.

Ein anderes Absaugverfahren, das als Querspülverfahren bezeichnet wird, ist bisher in der Bundesrepublik Deutschland nicht angewendet worden.

In Modell- und Großversuchen wurden diese Absaugverfahren untersucht und führten zu einer neuen und sicher auch für die Zukunft erfolgversprechenden Methode [7]. Bei diesem Verfahren werden die durch das Porenwasser vorhandenen Fließigenschaften des Ladegutes noch erhöht,

indem wahlweise größere Mengen Zusatzwasser auf die Oberfläche der Ladung geleitet werden und das Ladegut durch eine Reihe von Zusatzwasserdüsen am Boden des Laderaumes zum „Schwimmen“ gebracht wird. Das so aufbereitete Gemisch wird am Ende des Laderaumes über einen vertikalen Drehschieber in einen Absaugkasten gespült, wo durch entsprechende Zugaben von Sekundärwasser die für das Anlandpumpen erforderliche Konzentration eingestellt wird. Durch entsprechende Steuerung der Zusatzwassermengen läßt sich die Gemischkonzentration höher und gleichmäßiger einstellen, als es bei den herkömmlichen Verfahren möglich ist.

Für das Ankuppeln der Landrohrleitung an die Bordrohrleitung wurden bisher überwiegend Kugelgelenkkupplungen verwendet, deren beide Teile miteinander verschraubt werden müssen oder durch hydraulische Klauen miteinander verbunden werden. Ausgezeichnet bewährt hat sich in letzter Zeit eine Gummilippendichtung, bei der das anzukuppelnde Rohr berührungsfrei in eine Tasche des bordseitigen Rohranschlusses eingefahren wird. Beim Anstellen der Pumpen bläht der entstehende Druck die Lippendichtung auf und bewirkt eine sofortige und absolute Abdichtung der Anschlußstelle.

3.1.6 Meß- und Registriergeräte

Zur Messung und Anzeige der Vorgänge beim Baggern sind erst spät, d. h. in den letzten beiden Jahrzehnten Geräte entwickelt und eingebaut worden. Einige dieser Geräte gehören heute zur Standardausrüstung moderner Schleppkopfsaugbagger, insbesondere Produktionsmesser mit Anzeige der Durchflußmenge, der Konzentration im geförderten Gemisch und der gebaggerten Feststoffmengen. Hinzu kommen Registriergeräte für Verdrängung, Trimm und Krängung, Ortungsgeräte und andere. Im Rahmen dieser Abhandlung ist es nicht möglich, über alle für den Baggerbetrieb entwickelten Geräte zu berichten und ihre Aussagefähigkeit zu beurteilen.

Die überwiegende Anzahl der Geräte hat den Zweck, dem verantwortlichen Baggerpersonal Meßwerte über die nicht sichtbaren Vorgänge in der Baggeranlage zu liefern, um eine Anpassung der Baggereinrichtungen an optimale Betriebsbedingungen zu ermöglichen. Obwohl dies gern behauptet wird, sind die verschiedenartigsten Einflüsse bisher nur wenig erforscht, so daß man von einer Optimierbarkeit noch weit entfernt ist.

Eine hinreichend sichere Aussage erhält man von den Konzentrationsmeßanlagen, die üblicherweise mit den Radioisotopen Kobalt oder Cäsium nach der Gammastrahlen-Absorptionsmethode arbeiten.

Die Geräte sollten möglichst an der vertikalen Rohrleitung oberhalb der Baggerpumpen installiert werden, weil dort eine verhältnismäßig homogene Verteilung des Gemisches über den Rohrquerschnitt vorhanden ist. Bei der Anordnung sollte aber auch darauf geachtet werden, daß von der Isotopenstrahlung eine möglichst große Querschnittsfläche und nicht nur ein kleiner Ausschnitt erfaßt wird.

Das gilt auch für die Durchflußgeschwindigkeitsmesser, die im allgemeinen nach einem induktiven Meßverfahren arbeiten. Diese Geräte messen recht genau die Fördergeschwindigkeit eines homogenen Mediums, beim Bagger die Geschwindigkeit des reinen Wassers. Nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten werden aber Feststoffe nur durch Energieabgabe vom strömenden Wasser transportiert und im Gemisch in Schwebe gehalten. Das bedeutet, daß Feststoffe nur mit einem gewissen Schlupf gegenüber dem Wasser gefördert werden können. Nach neueren Untersuchungen ist dieser Schlupf von der Korngröße des Sandes im Gemisch abhängig. Es ist daher das Ziel, die wahre Transportgeschwindigkeit der Feststoffe zu messen, so daß die Geschwindigkeitsanzeige durch Multiplikation mit dem Konzentrationswert die wirkliche Produktionsmenge ergibt.

Die angezeigten Werte und die angestrebte Optimierung der geförderten Feststoffmengen werfen aber noch weitere Probleme auf, die noch zu lösen sind. Entscheidend für eine optimale

Förderung sind die Strömungsverhältnisse im geneigten Saugrohr mit asymmetrischer Geschwindigkeits- und Konzentrationsverteilung, über die Untersuchungen noch weitgehend fehlen. Die Schwierigkeit liegt nach grundsätzlicher Klärung dieser Verhältnisse dann insbesondere in der Ermittlung der funktionalen Zusammenhänge zwischen den aus den Meßgebern in der Druckleitung erhaltenen Meßwerten und den für das Saugrohr maßgebenden Bedingungen, wobei auch der üblicherweise größere Querschnitt des Saugrohres gegenüber der Druckrohrleitung von mitentscheidendem Einfluß ist.

Die Anzeige- und Registriergeräte für die Verdrängung werden durch Tiefgangsmesser gesteuert. Die Geber für den Tiefgang werden im allgemeinen in unmittelbarer Nähe des Brückenaufbaues, d. h. hinter dem Laderaum eingebaut. Durch die Vertrimmung des Schiffes, besonders bei leerem oder teilbeladenem Laderaum, erhält man daher keine wahre Verdrängungsanzeige. Eine Umrechnung über das Trimmkurvenblatt ist für den Bordbetrieb zu aufwendig und wird daher unterlassen. Eine Auswertung der Beladungsdiagramme stößt daher auf Schwierigkeiten, denn auch die Trimmanzeigen, die meist durch ein Pendel erfolgen, sind wegen der geringen Verstellkräfte unzuverlässig.

Bei anderen Geräten werden Tiefgänge gleichzeitig im Vor- und Hinterschiff gemessen und übertragen und geben über ein entsprechend gesteuertes Lineal die Trimmage des Schiffes an und erlauben wenigstens eine Ablesung des mittleren Tiefgangs.

Wesentlich zuverlässiger läßt sich der wahre Tiefgang durch eine kapazitiv arbeitende Seilsonde messen, zumal wenn diese etwa im Wasserlinienschwerpunkt des Schiffes angeordnet wird. Diese Seilsonden werden in der Achse eines vertikalen dickwandigen Rohres verlegt und liefern entsprechend ihrer Benetzung durch das Wasser elektrische Ausgangssignale, die in andere Geräte eingegeben werden können. Da die Seilsonde durch das Rohr geschützt ist, kann sie an der richtigen Stelle auch im Laderaum eingebaut werden. Eine solche Seilsonde für die Tiefgangsmessung und eine gleiche Sonde zur Messung der bei Beginn einer Baggerung im Laderaum vorhandenen Restwassermenge sind auf dem Bagger „Ludwig Franzius“ vor mehreren Jahren zur Eingabe von Meßsignalen in einen Analogrechner zur Optimierung der Beladung mit Baggergut eingebaut worden.

Aus den fortlaufend gemessenen Tiefgängen des Baggers werden die Verdrängungskurven oder Beladungsdiagramme registriert, die aber nur die aus veränderlichen Anteilen an Feststoffen und Wasser bestehende Gesamtzuladung anzeigen. Die laufende Errechnung der allein interessierenden Feststoffmengen im Laderaum ist nur durch einen Analogrechner möglich, wie es in [8] und [9] ausführlich beschrieben wurde.

Die Besonderheit dieses Beladungsrechners liegt neben der Angabe der im Laderaum befindlichen Feststoffmengen in der zusätzlichen Errechnung und ebenfalls laufenden Registrierung der spezifischen Baggerleistung $\lambda = \frac{V}{T_B}$, nämlich der gebaggerten Feststoffmengen bezogen auf die seit Ende der vorhergegangenen Baggerung abgelaufenen Zeit, in der die Baggerzeit und die Fahrzeit zur Klappstelle und zurück enthalten sind. Diese Methode ist als das sog. Tangentenverfahren bekannt.

Die Kurve der spezifischen Leistung gibt dem Baggermeister durch einen Maximalwert an, wann die wirtschaftlich günstigste Laderaumfüllung erreicht ist und er die Baggerung abzubrechen hat. Dieses Verfahren ist wesentlich genauer als die oftmals empirisch ermittelte Baggerzeit, weil Baggerungen selbst an der gleichen Stelle stets unterschiedlich ausfallen und diese Abweichungen von vorgegebenen Durchschnittswerten erheblich sind.

Der Beladungsrechner ist offenbar bis heute das einzige Gerät, mit dem zumindest ein Teilprozeß auf Schleppkopfsaugbaggern optimiert werden kann.

3.1.7 Antriebseinrichtungen

Die Hauptmaschinenanlage eines Schleppkopfsaugbaggers hat zwei Aufgaben zu erfüllen, nämlich

- a) die Leistung für den Vortrieb des Schiffes bei Freifahrt und beim Baggern zu liefern und
- b) die Baggerpumpen anzutreiben.

Obwohl es keine festen Regeln gibt, nach denen die Hauptantriebsanlage ausgewählt und bemessen werden könnte, kann die Beachtung einiger Richtlinien die Wahl der Antriebsanlage erleichtern.

Eines der wichtigsten Merkmale ist die Lage des Baggerpumpenraumes, ob dieser vor oder hinter dem Laderaum angeordnet werden soll. Bei Baggern mit zwei Laderäumen wird der Pumpenraum zwischen diesen angeordnet.

Aus maschinentechnischer Sicht hat ein hinter dem Laderaum gelegener Pumpenraum neben betrieblichen Vorteilen die am wenigsten aufwendige Anlage. Die Entscheidung über die Lage des Pumpenraumes wird jedoch davon beeinflusst, ob es möglich ist, die für größere Baggertiefen erforderlichen Saugrohre noch auf dem Hinterdeck ablegen und dort Reparaturen ausführen zu können.

Bei einem vorn gelegenen Pumpenraum steht für die Ablage der Saugrohre ausreichend Raum neben dem Laderaum zur Verfügung.

Bei hinter dem Laderaum befindlichem Pumpenraum liegt es nahe, für den Vortrieb des Schiffes und für den Antrieb der Baggerpumpen eine reine Dieselanlage zu wählen. Man verwendet in diesem Fall langsam oder mittelschnell laufende Motoren, die sowohl die Propeller als auch über einen zweiten Abtrieb nach vorn die Baggerpumpen antreiben. Propellerwellen und Pumpenwellen müssen durch im Betrieb schaltbare Kupplungen mit dem Dieselmotor verbunden oder von ihm getrennt werden können. Die Motorenleistung ergibt sich aus der erforderlichen Antriebsleistung der Baggerpumpe und der beim Baggern benötigten Vortriebsleistung des Schiffes. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß die Gesamtleistung der Motorenanlage für die Freifahrt des Baggers zur Verfügung steht, womit eine Fahrgeschwindigkeit von 12 bis 14 sm/h erreicht werden kann.

Wegen der unterschiedlichen Belastung der Propeller bei Freifahrt und beim Baggern werden die Wellen häufig mit Verstellpropeller ausgerüstet, um für beide Betriebszustände einen optimalen Propellerschub und eine gute Manövrierfähigkeit zu erhalten.

Befindet sich der Baggerpumpenraum vor dem Laderaum, so können die Pumpen natürlich ebenfalls durch Dieselmotoren angetrieben werden. Es empfiehlt sich dann, die Anlage fernbedienbar auszulegen und den Pumpenraum nur für Wartungszwecke zu besetzen oder in Zeitabständen zu begehen. Zu beachten ist jedoch, daß bei einem Dieselantrieb der Pumpen hier auch sämtliche zugehörigen Anlagen für Kühlwasser, Brennstoff- und Schmierölversorgung, Verbrennungsluft und Abgasabführung zu installieren sind und einen erheblichen Aufwand an Investitionen erfordern.

Bei dieser Anordnung des Pumpenraumes bietet sich daher der Einbau einer dieselelektrischen Anlage an, bei der die stromerzeugenden Aggregate mit im Hinterschiff untergebracht werden, wenn in diesem Fall nicht sogar die gesamte Hauptmaschinenanlage für dieselelektrischen Betrieb ausgelegt wird, wie z. B. bei drei großen Schleppkopfsaugbaggern der Bundesrepublik Deutschland.

Bei Verwendung schnellaufender Dieselmotoren vorwiegend für dieselelektrische Anlagen wird der Raumbedarf am kleinsten. Der Investitionsaufwand einer solchen Anlage ist jedoch größer, wobei auch die Verluste der Energieumwandlung und Übertragung berücksichtigt werden müssen.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt nicht nur bei der Wahl und Ausführung der gesamten maschinentechnischen Anlagen, sondern besonders auch für alle einem starken Verschleiß unterliegenden baggertechnischen Einrichtungen ist die Notwendigkeit, Reparaturen mit einem möglichst geringen Aufwand an Personal und Zeit durchführen zu können. Nur durch sorgfältig

durchdachte Instandsetzungsmöglichkeiten, die bereits beim Bau eines Baggers berücksichtigt werden müssen, können die erheblichen Kosten für Ausfallstunden merklich herabgesetzt werden.

3.2 Eimerkettenbagger

In den vergangenen Jahrzehnten stand in der Naßbaggertechnik zwar die Entwicklung der selbstfahrenden Laderaumsaugbagger und der Schneidkopfsaugbagger deutlich im Vordergrund, dennoch hat sich — wenn auch äußerlich weniger auffällig — in dieser Zeitspanne auch der Eimerkettenbagger stetig zu einem leistungsstarken Baggersystem weiterentwickelt.

Die jüngsten Fortschritte in seiner technischen Entwicklung betreffen neben verbesserten Konstruktions- und Fertigungsmethoden in erster Linie:

- Vergrößerung der Hauptabmessungen und Steigerung der Leistungswerte,
- Antriebssysteme für die Eimerkette,
- Unterturas-Lagerung,
- Verfahren zur Kontrolle und Überwachung des Baggervorganges,
- Hilfsgerät zum Austausch und Transport von Verschleiß- und Ersatzteilen,
- größere Verfügbarkeit,
- verminderten Reparatur- und Wartungsaufwand und
- Minderung der Schallpegel in den Unterkunfts- und Betriebsräumen.

Alle angesprochenen Entwicklungen zielen im übrigen darauf ab, den Betrieb der Geräte immer mehr zu vereinfachen und, wenn möglich, zu automatisieren. Der Zwang dazu ergibt sich einmal aus dem ständig wachsenden Anteil der Personalkosten an den Betriebskosten der Geräte und teilweise auch aus dem Mangel an qualifizierten Fachleuten.

Der Aufbau und die Arbeitsweise eines Eimerkettenschwimmbaggers werden als bekannt vorausgesetzt. [5], [10] bis [15]

Die überwiegende Anzahl von Geräten ist in solchen Gebieten der Erde eingesetzt, wo die Zinnengewinnung eine überragende Rolle spielt, z. B. in Malaysia, Indonesien, Thailand und Kolumbien.

Nur eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Eimerkettenbaggern wird zur Unterhaltung und Vertiefung von Schiffahrtsstraßen eingesetzt, und zwar überwiegend im europäischen Bereich, vereinzelt auch in Südamerika, Australien, Neuseeland, den Philippinen und Pakistan. Dagegen ist der Einsatz von Eimerkettenbaggern sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in Japan so gut wie unbekannt.

In Europa hat sich zwangsläufig in der Entwicklung der Hauptabmessungen und der Leistungsfähigkeit der Eimerkettenbagger ein ständiges Wechselspiel mit dem Schiffbau und der Schifffahrt vollzogen. Damit steht zunehmend die Forderung nach ausreichender Seetüchtigkeit im Vordergrund, d. h. die Bagger müssen auch bei schwierigen See- und Wetterbedingungen noch möglichst lange einsatzfähig bleiben. Gerade die zuletzt genannte Forderung ist für den praktisch stationär arbeitenden, an Seilen festgelegten Eimerkettenbagger nur dann annähernd zu verwirklichen, wenn seine Hauptabmessungen und Leistungswerte auf die am Einsatzort vorherrschenden Umweltbedingungen abgestimmt sind.

3.2.1 Antriebssysteme für die Eimerkette

Die Ablösung des Dampfbetriebes durch den Dieselmotor und damit verbunden die besondere selbsttätige Regelung der Dampfmaschinen zum Vorteil des Eimerkettenbetriebes, in dem bei steigender Belastung durch die Grabarbeit der Eimer die Umfangsgeschwindigkeit der

schneidenden Eimer am Unterturas sich vermindert oder bei Entlastung infolge geringeren Bodenwiderstandes die Geschwindigkeit in der Eimerkette wiederum ansteigt, müssen die heutigen Antriebssysteme bezüglich ihrer Regelbarkeit genauso vorteilhaft erfüllen, wie ehemals der Dampfantrieb.

Für den Antrieb der Eimerkette haben sich heute 3 unterschiedliche Antriebssysteme durchgesetzt:

diesel-hydrodynamisch,
diesel-hydrostatisch und
diesel-elektrisch

3.2.1.1 Diesel-hydrodynamisch

Bei der diesel-hydrodynamischen Kraftübertragung wird in dem Leistungsfluß zwischen Dieselmotor und Oberturas ein hydrodynamischer „Föttinger Drehmomentenwandler“ eingesetzt mit dem Effekt, daß sich zu jeder an der Eimerkette angreifenden äußeren Belastung (Grabwiderstand der Eimer) eine bestimmte zugehörige Geschwindigkeit in der Eimerkette einstellt ohne nachteilige Rückwirkung auf das Betriebsverhalten des Dieselmotors bei auftretenden äußeren Belastungsschwankungen.

In Verbindung mit einer Schützzahlregelungsanlage ist es möglich, die Schützzahl auf einen von der gebaggerten Bodenart abhängigen optimalen Wert einzustellen und sie im Rahmen einer festgelegten Regelabweichung vom Sollwert konstant zu halten.

3.2.1.2 Diesel-hydrostatisch

Im Falle der diesel-hydrostatischen Kraftübertragung wird der Leistungsfluß zwischen Dieselmotor und Eimerkette annähernd wegschlüssig mit Hilfe von Pumpen und Motoren bewirkt, die nach dem Verdrängerprinzip arbeiten, z. B. Axial-, Radial- oder Drehkolbenmaschinen.

Der größte im System zulässige Betriebsdruck wird durch Druckbegrenzungsventile eingestellt und abgesichert und legt damit auch das größte zu übertragende Drehmoment fest. Das aus Pumpe und Motor bestehende hydrostatische Getriebe bietet in Verbindung mit der Leistungsregelung sowie der stufenlosen Drehzahlverstellung der Motoren als Folge des steuerbaren Pumpenförderstromes ähnliche Vorteile wie das diesel-hydrodynamische System, nämlich

- stufenlose Drehzahlverstellung in beiden Drehrichtungen bei gleichbleibender Drehrichtung der antreibenden Dieselmotoren,
- hohes Anfahrmoment,
- Sicherung des Antriebssystems gegen Überlastungen
- selbsttätige Anpassung des Getriebes an wechselnde äußere Belastungen,
- einfache Leistungsverteilung von der Pumpe auf verschiedenen Motoren,
- Freizügigkeit in der Aufstellung der Maschinen und
- kleine Trägheitsmomente der rotierenden Pumpen- und Motorenteile, vor allem im Vergleich zum Elektromotor.

Bei der Auslegung und Bemessung des gesamten hydrostatischen Systems müssen Druckspitzen und Resonanzerscheinungen im ölgefüllten Hydrauliksystem durch Dämpfungs- und Speicherstrecken abgebaut werden können.

3.2.1.3 Diesel-elektrisch

Das diesel-elektrische Antriebssystem ist in der grundsätzlichen Anordnung mit dem hydrostatischen verwandt. An die Stelle der Ölpumpen tritt ein regelbarer Gleichstromgenerator,

und für den Ölmotor wird ein auf die Generatorcharakteristik abgestimmter Gleichstrommotor eingesetzt.

Für das zu regelnde System Generator/Motor wird dann entweder die allgemein bekannte Ward-Leonard- oder die Krämer-Schaltung bevorzugt.

Seit einigen Jahren ist im Zuge der Entwicklung leistungsstarker Thyristoren der Ward-Leonard- bzw. Krämer-gesteuerte Gleichstrommotorantrieb durch den Stromrichterantrieb verdrängt worden. Der Antrieb besteht aus Diesel-Drehstrom-Aggregat mit nachgeschaltetem Thyristor-Gleichrichter.

Das höchstzulässige Drehmoment wird mit Drehzahlregler und unterlagerter Strombegrenzung festgelegt.

Gegenüber dem bisherigen Leonard-Antrieb hat der Stromrichterantrieb folgende Vorzüge:

- besserer Wirkungsgrad, damit Energieersparnis,
- trägheitslose Steuer- und Regelfähigkeit,
- fundamentfreie Aufstellung des Stromrichterkreises,
- geringe Wartung und
- große Wirtschaftlichkeit.

3.2.2 Kraftübertragungssysteme zum Oberturasantrieb auf dem Mittelbock

In der Bemessung und Auslegung der Kraftübertragungssysteme war es bisher schon beim Dampftrieb oder dem heutigen diesel-elektrischen Antrieb üblich, vom Getriebe im Maschi-

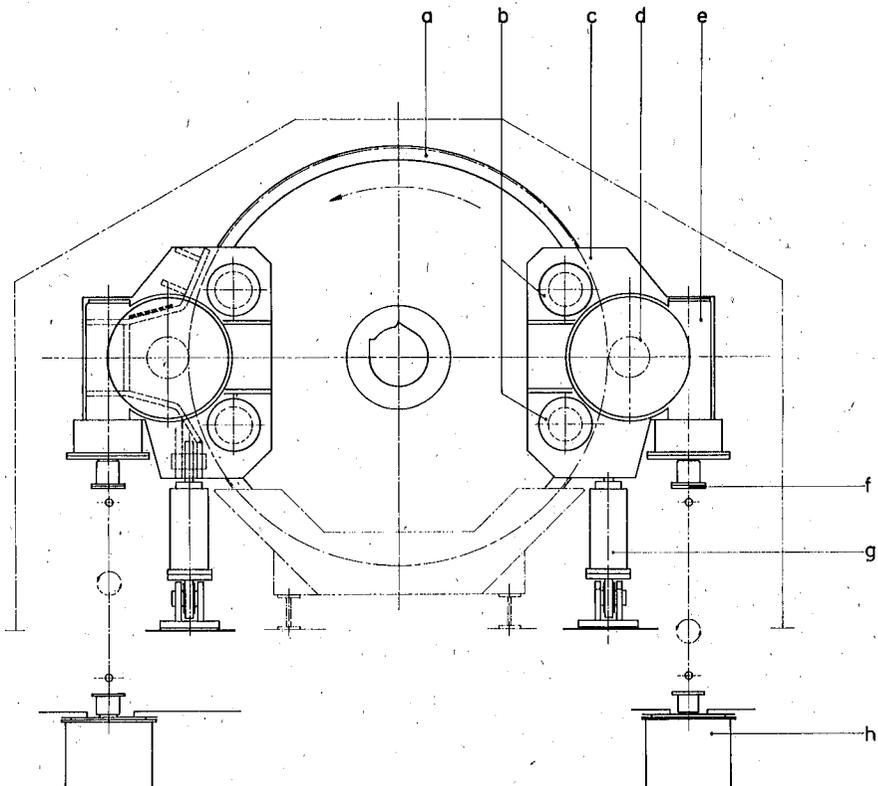


Abb. 2: Bogiflex-Getriebe für Oberturasantrieb

nenraum die weitere Kraftübertragung auf die Zahnradvorgelege am Oberturas durch einen Riemetrieb (Sieglingriemen) vorzunehmen.

Bei einer direkten Anordnung der Elektro-Antriebsmotoren auf der Plattform des Mittelbockes zum Oberturas, ist ein besonderes Getriebesystem entwickelt worden, das unter dem Namen Bogiflex (Lizenz Durand, Lohmann und Stoltenfoht, Witten, und Flender-Werke, Bocholt) bekannt geworden ist. Die Besonderheit dieser Getriebeart besteht darin, Ritzel und Zahnrad, die besonders hohe Zahnkräfte aufnehmen müssen, auf einen sog. Ritzelwagen anzuordnen.

3.2.3 Unterturas-Lagerung

Im Zuge der Weiterentwicklung von Lagerelementen und Abdichtungen, speziell für den Unterturas, kommen Gleitlager- wie Wälzlagersysteme mit entsprechenden verbesserten Abdichtungen zum Einbau und haben nach dem heutigen Stand der Lagertechnik gleichwertigen Rang.

3.2.4 Verfahren zur Kontrolle und Überwachung des Baggervorganges und Betriebes

Die heutigen Bagger werden überwiegend von einem zentralen Baggerleitstand aus gesteuert und überwacht. Im Bedienungspult sind durch Fernübertragungselemente die hauptsächlichsten Anzeigen untergebracht, wie z. B. Drehzahl des Dieselmotors für den Eimerkettenantrieb sowie Spannungs- und Stromanzeige des Hauptgenerators, Bedien- und Überwachungselemente für den Eimerkettenantrieb, Regelung der Schützzahl einschl. Anzeige sowie eine Tiefenstellungsanzeige für die Eimerleiter, Bedien- und Überwachungselemente für sämtliche Winden zur automatischen Einstellung bzw. Regelung der Seilzüge von Vor- und Hintertauwinden sowie der Seitenwinden beim sog. Arbeitsgang eines Baggers (Pflügen und Scheren) während seiner Grabzeit.

Heutige Bagger sind mit Unterwässer-Seilführungen für alle vier Seitendrähte ausgerüstet, um an- und ablegende Baggerschuten ohne Betriebsstörung längsseits des Baggers verholen zu können. Auch diese Verholwinden werden vom Leitstand gesteuert.

Zur Ausrüstung der Leitstände gehören Peil-, Radar-, Funk-, Sprechfunkanlagen, Echolot bzw. Echograph, Kreiselkompaß sowie Fernsehkameras zur Beobachtung derjenigen Winden, die nicht im Blickfeld des Leitstandes liegen.

3.2.5 Kranausrüstung der Bagger

Die Kranausrüstung der Bagger mit elektr. Bordkränen umfaßt den Vorderbockkran für sämtliche Arbeiten an der Eimerleiter, ein Ladegeschirr auf dem Achterdeck zur Niederführung der Seitentau-Unterwasserführungen sowie der Ankerablegung an Deck und schließlich den schwenkbaren Mittelbockkran über der Eimerleiter, um Leiterrollen ein- und auszubauen.

3.2.6 Schallschutzmaßnahmen

Auf einem Eimerkettenbagger sind Schallquellen vorhanden, die während des Betriebes Schall unterschiedlicher Lautstärke und Frequenz abstrahlen. Diese Schallemissionen (Schallausbreitung) können sowohl für die Besatzung als auch für die Umwelt bei Baggerung auf den Wasserstraßen in der Nähe von Wohngebieten unzumutbare Belästigungen ergeben. Für den Betreiber von Naßbaggergeräten ist es geboten, im Bereich der Bundesrepublik Deutschland die erlassenen Richtlinien zum Schutz gegen Baulärm zu beachten und bauliche Maßnahmen an den Geräten einzuleiten, um diese Emissionen auf zulässige Schallimmissionswerte in Nähe von Wohngebieten zu mindern.

3.2.6.1 Schallquellen

Die hauptsächlichsten Geräusche entstehen am Mittelbock beim Abkippen der Eimer zur Entleerung um den Oberturas. In den Gelenken von Eimer und Kette mit den Verbindungselementen Bolzen und Buchsen wird durch den meist sehr hohen Kettenzug infolge der Grabarbeit der Eimer hohe Reibbeanspruchung erzeugt, die beim Abwälzen um den Oberturas die charakteristischen, stark hochfrequent kreischenden Geräusche verursacht. Die Lästigkeit der Geräusche nimmt während der Einsatzdauer des Baggers stetig zu, so wie der Materialverschleiß von Bolzen und Buchsen in den 4 Gelenken je Eimer durch den ungehinderten Zutritt eines Wasser-Sandgemisches zunimmt.

Ein weiteres lautes, dumpfes, pulsierendes Geräusch entsteht ebenfalls nach dem Abknicken der Eimerkette am Oberturas durch das Aufsetzen des Baggereimerfußes auf die Oberturasfläche. Dieser kurze rhythmische Schlag wird als Luftschall an die Umgebung weitergeleitet, wirkt aber wegen der tieferen Frequenzlage weniger störend auf das Gehör ein. Am Mittelbock selbst wird der harte Schlag als Körperschall bzw. Erschütterung in die Konstruktion eingeleitet. Weitere, aber geringere Geräusche entstehen beim Lauf der Eimerkette auf den Laufrollen, und schurrende und polternde Geräusche verursacht das Baggergut beim Rutschen über die Wechselklappe und Schüttrinnen.

3.2.6.2 Minderung des Schallpegels in den Betriebs- und Unterkunftsräumen

Für den Neubau von Eimerkettenbaggern gelten die in letzter Zeit von der See-Berufsgenossenschaft, der Binnenschiffahrts-Berufsgenossenschaft und dem Amt für Arbeitsschutz einzuhaltenden Schallpegel in den Wohn-, Aufenthalts- und Betriebsräumen, die besondere zum Teil aufwendige konstruktive Schallschutzmaßnahmen erfordern.

Um die beim Betrieb des Baggers besonders in den Wohnräumen als zulässig empfohlenen maximalen Schallpegel von 60 dB (A) \pm 3 dB (A) zu erreichen, sind im einzelnen aktive als auch passive Schalldämmungs- und -dämpfungsmethoden angebracht. Dazu gehören:

- Wahl von Maschinen mit möglichst geringer Schallabstrahlung,
- Verminderung von schalltechnischen Brücken zwischen Maschinen- und Wohnraumbereich,
- möglichst großer Abstand zwischen den schallerzeugenden Maschinen und den Wohn- und Aufenthaltsräumen,
- schwimmender Estrich in den Wohn- und Aufenthaltsräumen und
- ggf. doppelschalige Kammertrennwände.

Im internationalen Vergleich sind die betreffenden Schallschutzmaßnahmen für die Besatzung und Umwelt noch nicht einheitlich aufeinander abgestimmt.

3.2.6.3 Schallschutzmaßnahmen am Beispiel des Eimerkettenbaggers „Donar“

Der Eimerkettenbagger „Donar“ (Baujahr 1960 48/650-I-Eimer, max. Leiterstellung 16,5 m) des Amtes Strom- und Hafenausbau der Freien und Hansestadt Hamburg ist hauptsächlich für Unterhaltungsbaggerungen vor Wohn- und Ausflugsgebieten auf der Elbe meist im Zweischichtenbetrieb (16 Std./Tag) eingesetzt. Aufgrund von Beschwerden der Anwohner ist Mitte der 60er Jahre bereits begonnen worden, einen sog. „leisen Bagger“ zu entwickeln.

Es ist heute noch üblich, die ungeschmierten Gelenkpunkte bei freiem Zugang des Wasser-Sandgemisches zu den Lagerstellen (4 Lagerstellen pro Baggereimer und u. U. weitere 8 in den geteilten Schaken) mit Bolzen und Buchsen aus hochverschleißfestem Material zu bestücken. Je nach Belastung (Flächenpressung) ist der Verschleiß und dementsprechend die Geräuscentwicklung.

Nachstehend werden die Maßnahmen aufgeführt, die ab 1964 konstruktiv und betrieblich unternommen worden sind.

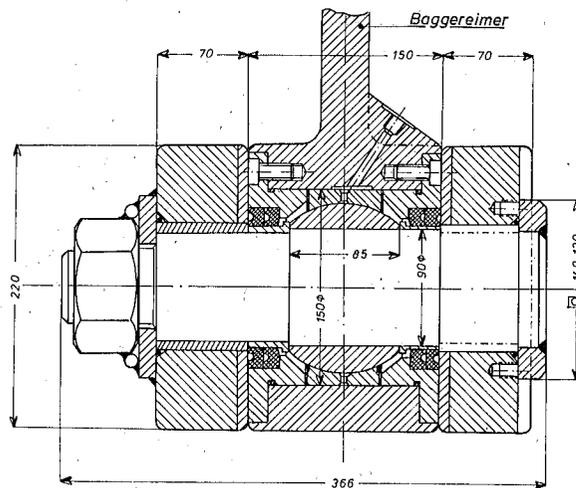
Dazu war es erforderlich, geringere Toleranzen in den Lagerstellen (nur 4 Stück pro Eimer) unter Wegfall der geteilten Schaken durch Ersatz von gegossenen Einzelschaken (Gelenke), in denen der Bolzen fest eingebaut und die Lagerstelle abgedichtet und mit wasserbeständigem Fett geschmiert wird, zu wählen.

Alle durchgeführten Versuche seit der konstruktiven Veränderung an sog. Prüfeeimern haben trotz der Erprobung unterschiedlicher Dichtungen und Materialpaarungen (u. a. auch Kunststoffbuchsen) nicht die betrieblich erforderlichen Standzeiten für eine Baggersaison (mindestens 1 Jahr) ergeben. In fast allen Fällen versagte die Dichtung, so daß Sand in die Lagerstellen eintreten konnte und die verwendeten Materialien schnell zerstört wurden. Je nach Laufzeit der Eimerkette mußten nach mindestens 8 Wochen die Probeeimer am Tage mehrmals nachgeschmiert werden, um die zunehmenden Geräusche der betroffenen Eimer zu mindern. Das häufige Auswechseln der Probeeimer war auf die Dauer für den Betrieb nicht tragbar; es mußten andere Lösungen gesucht werden.

Bei dem Bagger war es möglich, konstruktiv in den Baggereimer je Lagerstelle 2 Pendelrollenlager einzubauen. Die Versuche ergaben, daß erstmals auch andere Dichtungen über längere Zeit hielten, ohne daß Wasser bzw. Sand eintrat.

Es wurden mit diesen Probeeimern Standzeiten von einem Jahr erreicht. Die wegen der großen Zugkräfte erforderliche Kombination von 2 Lagern führte aber vermutlich wegen zu hoher Kantenpressungen zu vereinzelt Ausbrüchen an den Rollenecken einzelner Lager. Auch diese Lösung war noch nicht ausgereift, um die gesamte Eimerleiter auf diese Konstruktion umzustellen.

Anstelle der Pendelrollenlager wurden die Lagerstellen auf serienmäßige sog. „Gelenklager“ pro Lagerstelle umgestellt, die besonders für Stoßbelastungen geeignet sind. Diesmal standen die Probeeimer ohne Beanstandungen ein volles Jahr durch. Die gesamte Umstellung der Eimerleiter ist zur Zeit nahezu abgeschlossen.



Gelenk zwischen Baggereimer und Schake

Abb. 3: Baggerbolzen-Gelenklagerung

Während der Versuchszeit wurden noch folgende Maßnahmen ausgeführt:

Auf den Oberturasflächen wurden Gummipuffer angebaut, die über entsprechende Flächen den Baggereimer abfangen, um den harten Aufprall zu mindern. Oberturasantrieb, Oberturasverkleidung und ein Teil der Eimerleiter wurden gekapselt oder abgedeckt (mit entdröhnten Blechen oder Schallisolierung), um eine Ausbreitung des Luftschalls zu vermeiden. Die Laufrollen auf der Eimerleiter wurden mit Kunststoff überzogen, der einmal das Laufgeräusch zum anderen den Verschleiß der gesamten Eimerkette mit Eimern und Gelenken mindert. Den Erfolg dieser Maßnahmen kennzeichnen die gemessenen Schallpegelwerte.

Einen guten Vergleich ergab eine Messung 1970, bei der nur ein Teil der Kette geschmiert, der andere Teil ungeschmiert ausgeführt war:

(Meßentfernung vom Bagger 150 – 200 m Luftlinie)
 Ungeschmierter Kettenteil 69 – 74 dB (A)
 geschmierter Kettenteil 50 – 51 dB (A) (gleich Umweltgeräusch)

Eine weitere Messung 1975 ergab in ca. 150 m Entfernung vom Bagger einen Schallpegel von 56 – 58 dB (A). Lediglich das dumpfe Aufschlagen der Eimer auf den Oberturas hob sich aus dem allgemeinen Geräuschpegel hervor.

Die Eimerleiter eines Baggerneubaus (Indienststellung März 1976) ist bereits mit Gelenklagern ausgerüstet worden. Die kostenaufwendige Ausrüstung wird, so zeigen die jetzt schon vorliegenden Ergebnisse bei den genannten Baggern, durch den geringeren Verschleiß ausgeglichen.

Die Schallpegelmessungen 1976 zur Abnahme dieses neuen Baggers zeigten am Ufer in einer Entfernung von 150 m nur Umweltgeräusche von 61 – 62 dB (A) an.

Auf dem Gerät selbst konnten im Baggerleitstand während der Baggerung 58 – 60 dB (A) gemessen werden und an Deck neben der sog. Bünn 77 – 78 dB (A), während vor der Umstellung des Erprobungsgerätes „Donar“ vergleichsweise an dieser Stelle noch über 90 dB (A) gemessen wurden.

4. Methoden der rationellen Baggerung und Baggergutablagerung

4.1 Ortung und Peilung als Grundlage effektiver Baggermethoden

Die Ergebnisse der Peilungen geben dem Planenden als erstes einen Überblick über die Tiefenlage und Morphologie der Sohle. Daraus können aufgrund der Reviererfahrungen auch erste Schlüsse über die Beschaffenheit des Sohlenmaterials gezogen werden. Diese drei Faktoren bestimmen im wesentlichen die Baggertechnik.

Der wirtschaftliche Einsatz der Bagger ist wesentlich vom Genauigkeitsgrad der Orts- und Tiefenbestimmung sowie von der schnellen Auswertung der Peilerggebnisse abhängig. Ein automatisches Ortungsverfahren mit gekoppelter Tiefenbestimmung zur Vorauswahl der für eine bestimmte Tiefendarstellung benötigten Daten kann die Baggererfolgskontrolle und damit die Entscheidungsgrundlagen für einen effektiven Baggereinsatz erheblich verbessern.

In der Regel werden Peilungen zur Beurteilung der Verkehrssicherheit und zur Festlegung der Baggereinsätze in vier- bis fünfwöchigen Abständen durchgeführt. Grundsätzlich sollen diese Peilungen im Bereich kritischer Strecken auch in kürzeren Zeitabständen wiederholt werden. Sie müssen über Ort, Ausdehnung, Mächtigkeit und Wiederholungsfolge von Verflachungen eine klare Aussage machen. Die zeitliche Folge des Wiederentstehens von Verflachungen ist sowohl von der Art des Baggereinsatzes als auch von den meteorologischen Einflüssen, wie Oberwasserzufluß durch hohe Niederschlagsmengen und Tauwetter sowie von Sturmfluten, abhängig.

Eine ausreichende Kapazität des Peilwesens stellt somit die Voraussetzung für einen optimalen Baggereinsatz dar.

Um die unter den genannten Bedingungen gewonnenen Peilerggebnisse beim Baggern ausnutzen zu können, muß der Bagger mit einem entsprechenden Ortungssystem ausgerüstet sein, damit das Baggern am richtigen Ort garantiert werden kann.

4.2 Vor- und Nachteile verschiedener Baggermethoden

4.2.1 Allgemeine Betrachtungen

Von den rd. 30 Mio m³, die jährlich im Rahmen der Unterhaltung aus der tiefen Fahrrinne der Tideflüsse Ems, Jade, Weser und Elbe gebaggert werden müssen, ergibt sich für die drei charakteristischen Bodenarten etwa folgende prozentuale Verteilung:

- 34 % stark schluffiger Feinsand, z. T. Schlick (0,001–0,06 mm)
- 33 % Fein- bis Mittelsand, z. T. schluffhaltig (0,06–0,8 mm)
- 33 % Fein- bis Grobsand, z. T. kiesig (0,06–3,5 mm)



Abb. 4: Flächenpeilung am Hanskalbsand

Analog zu den vorkommenden Bodenarten können die Sohlenstrukturen grob wie folgt klassifiziert werden:

- 34 % ebene Sohle
- 33 % Sohle mit Riffelbildung (Höhe der Riffel bis 80 cm)
- 33 % Sohle mit Dünen (Höhe der Dünen bis 4,50 m, in Einzelfällen mehr)

Da im Rahmen der Unterhaltungsbaggerung in der tiefen Fahrrinne in der Regel kein natürlich gewachsener Boden gelöst werden muß, sondern nur eingetriebenes Material gebaggert wird, sind die vorgenannten Angaben unter Berücksichtigung der verkehrstechnischen Probleme allein ausschlaggebend für die Wahl der wirtschaftlichsten Gerätetechnik.

Besondere Schwierigkeiten bezüglich des Unterhaltungsumfanges bilden die Strecken mit Dünenbildung gemäß den Abbildungen 4 und 5, da sie ständigen und z. T. raschen Schwankungen in ihrer Höhenlage unterliegen und deshalb einen sich oft wiederholenden Baggereinsatz erfordern.

Da in diesen Streckenbereichen $\frac{1}{3}$ der Baggermenge erbracht wird, wurden nähere Untersuchungen über den Geschiebetransport und die wirkungsvollste Baggertechnik durchgeführt [16]. Bonnefille [17] hat für die verschiedenen Sohlformen Kriterien aufgestellt, die sich mit den bekannten dimensionslosen Kennzahlen Re^* und D^* ausdrücken lassen.

Ganz allgemein läßt sich feststellen, daß Riffel nur bei $D^* < 15$ auftreten und Dünen sich nur für $Re^* > 15$ ausbilden. Materialien mit $D^* < 15$ (charakt. Korn- $\varnothing < 0,6$ mm) bilden nach Beginn des Feststofftransportes sofort Riffel, während sich der Transport bei Materialien mit $D^* > 15$ zunächst ohne Sohlumbildung vollzieht, um dann mit Vergrößerung der Schubspannungsgeschwindigkeit in Dünen überzugehen. Die Abmessungen der Dünen betragen z. B. an der Elbe in der Regel vom Tal zur Kuppe 2,50 – 4,50 m und von Kuppe zu Kuppe 50 – 90 m; an der Jade sind Dünen mit über 5 m Höhe und Kuppenabstände bis zu 200 m gemessen worden.

In der Darstellungsweise von Shield's (Abb. 6) lassen sich die verschiedenen hydraulischen Zustände für ein Material durch eine Gerade ausdrücken.

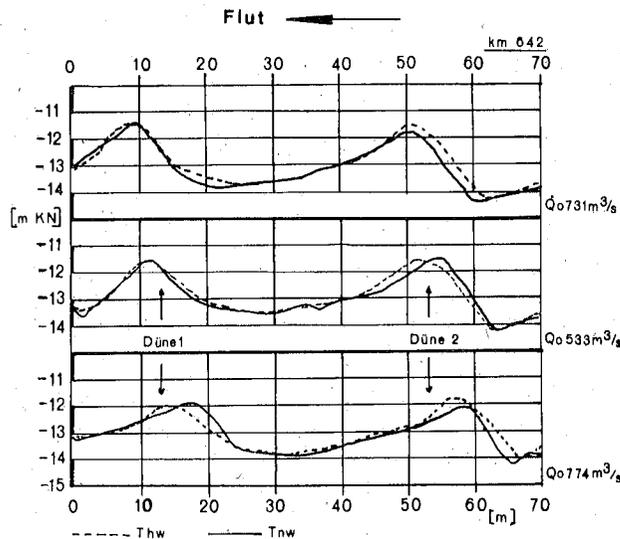


Abb. 5: Längspeilungen am Hanskalbsand

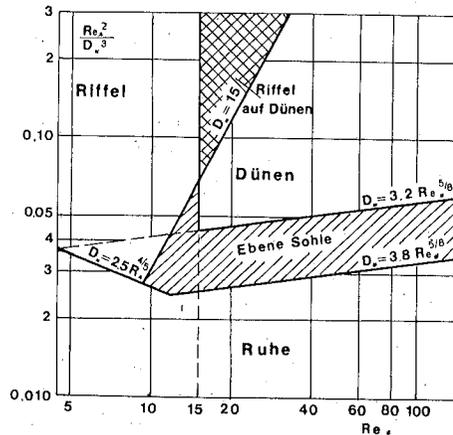


Abb. 6: Kriterien ... der Parameter Re^* und D^*

Zur Beurteilung des technisch und wirtschaftlich günstigsten Geräteinsatzes in den Dünenstrecken der Tideästuarien wurden in einer Untersuchungsstrecke auf der Elbe Eimerkettenbagger (EK-Bagger) und Hopperbagger eingesetzt. Dabei baggerte der Eimerkettenbagger eine fast ebene Baggersohle von ca. 14,20 m unter KN. Der Hopperbagger konnte hingegen eine etwa gleichmäßige Niveauabsenkung der Sohle um 70 cm erreichen.

Genauere Messungen nach der Vertiefung durch den Eimerkettenbagger ergaben gemäß Abbildung 7, daß schon nach 14 Tagen die Dünenkuppen Höhen von 80 bis 100 cm über dem Baggerhorizont erreichten. Während in den ersten Wochen eine schnelle Bildung der Dünen erfolgte, verlangsamte sich anschließend die Wiederherstellung des natürlichen Sohlenbildes. Nach 6 bis 8 Wochen war eine mittlere Höhenlage der Dünenkuppen von 120 cm über dem Baggerhorizont erreicht. Ein Jahr später betrug die größte Dünenhöhe 210 cm über dem Baggerhorizont. Anders war das Ergebnis des Hopperbaggereinsatzes zu bewerten. Die gleichmäßige Senkung der Sohle ergab ein wesentlich langsames Anwachsen der Dünenkuppen, weil das natürliche Gleichgewicht der Sohle nicht gestört wurde und bei der geringen Vertiefung ein Nachlaufen der Böschungen vom Rand der tiefen Fahrrinne aus unerheblich war.

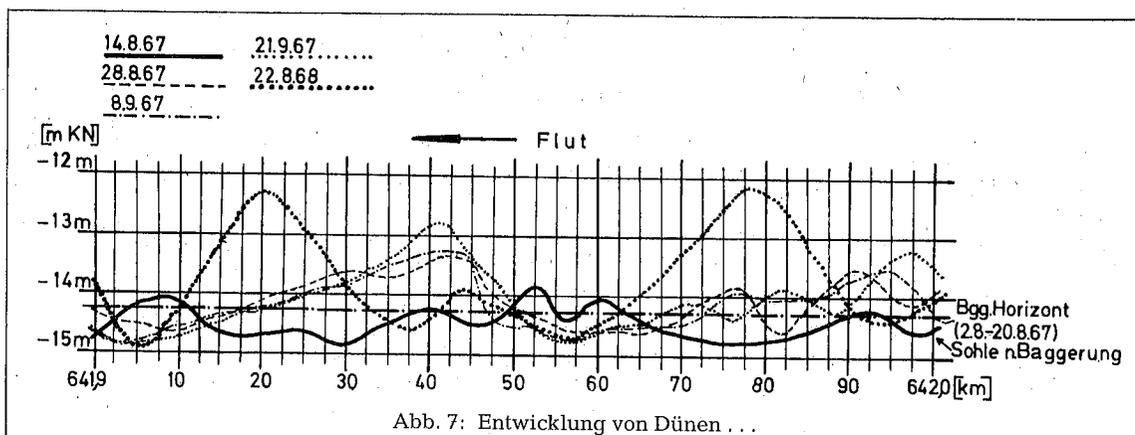


Abb. 7: Entwicklung von Dünen ...

Beim Vergleich beider Verfahren ergab der Hopperbaggereinsatz eine um rd. 20 % geringere Baggermenge unter gleicher Zielsetzung, nämlich Erhaltung der Solltiefen für mindestens ein Jahr.

Da der Gesamtkomplex Dünenbildung—Dünenbaggerung noch nicht voll geklärt ist, sollten weitere Untersuchungen in der Praxis durchgeführt werden.

4.2.2. Einsatz der Geräte

Der technisch günstigste Geräteeinsatz wird durch das Ziel der Baggermaßnahmen, durch das Sohlenmaterial und dessen Lagerungsdichte, durch die Sohlenstruktur und nicht zuletzt von der Möglichkeit der Baggergutunterbringung bestimmt. Ferner müssen insbesondere die Randbedingungen, wie See- oder Tideflußbereich und die Verkehrsdichte auf der Wasserstraße bei der Wahl der Geräte berücksichtigt werden.

Ziel der Unterhaltung der Fahrwassertiefen durch Baggerungen ist nicht, eine ebene Sohle zu erhalten, sondern mit einem Minimum an Unterhaltungsaufwand die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs sicherzustellen.

4.2.2.1 Hopperbaggereinsatz

Für die Unterhaltung von Fahrwassern mit saugbarem Bodenmaterial ist der Hoppersaugbagger aus folgenden Gründen das am besten geeignete Gerät:

- großflächige Bodenablagerungen von geringer Ablagerungshöhe können wirtschaftlich beseitigt werden,
- der großflächige Bodenabtrag in geringen Schichtstärken ermöglicht eine schnelle Nutzung der erreichten Vertiefung durch die Schifffahrt,
- die Mobilität des Baggers ermöglicht einmal ein gutes Anpassen der Baggertätigkeit an den Schiffsverkehr und zum anderen einen schnellen Wechsel der Baggereinsatzstelle auch über See von einem Tidestrom zum anderen, selbst bei schlechtem Wetter,
- ein großer Hoppersaugbagger ersetzt mit seinem hohen Leistungsvermögen mehrere Eimerkettenbaggersätze (mit Schuten und Schleppern) und verringert damit eine Behinderung oder Gefährdung des Schiffsverkehrs im Einsatzgebiet.

Aus diesen Gründen hat sich die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung der Bundesrepublik Deutschland entschlossen, für die Unterhaltungsbaggerungen auf den Seeschiffahrtsstraßen ausschließlich Hoppersaugbagger einzusetzen und die noch vorhandenen Eimerkettenbagger sobald wie möglich außer Dienst zu setzen.

Saugbagger erreichen in Baggerfeldern von mehr als 1000 m Länge ihr größtes Leistungsvermögen. Bei Baggerfeldern, die kürzer als 250 m sind, ist von Fall zu Fall zu prüfen, ob ein Einsatz mit Drehmanöver oder mit Zurücksetzen des Baggers höhere Leistung ergibt.

4.2.2.2 Eimerkettenbaggereinsatz

Der Eimerkettenbagger wird dort am zweckmäßigsten eingesetzt, wo

- nicht saugbares Bodenmaterial oder z. B. auch Unrat in den Häfen vorhanden ist,
- ausreichende Schnitthöhen ein wirtschaftliches Baggern ermöglichen,
- ein bestimmtes Profil eingehalten werden muß.

Diese Bedingungen sind beim Neubau oder Ausbau von Wasserstraßen und bei Kanal- und Hafenbaggerungen häufig vorhanden. Auf den Seewasserstraßen wird der Einsatz der Eimerkettenbagger durch seine Seegangsempfindlichkeit beim Baggern im Verbund mit Schuten und durch seine Immobilität infolge der Verankerung an 6 Drähten eingeschränkt.

Um die Behinderung der Schifffahrt in Grenzen zu halten, sollte beim Einsatz mehrerer Eimerkettenbaggersätze in einem Fahrwasserabschnitt die Entfernung der Bagger untereinander größer als 2000 m sein und nach Möglichkeit alle Bagger nur auf einer Fahrwasserseite gleichzeitig eingesetzt werden.

4.2.2.3 Cutterbaggereinsatz

Der an sechs Drähten und teilweise auch an zwei Pfählen und zusätzlichen Drähten verankerte Cutterbagger kann für die Unterhaltung und Vertiefung von Wasserstraßen nur sehr bedingt eingesetzt werden. Die Übergabe des Gemisches auf Schuten ist unwirtschaftlich, da die Überlaufverluste des Baggergutes wegen des zu geringen Beruhigungsraumes in der Schute im Verhältnis zur Pumpenleistung zu groß sind. Deshalb stellt ein direktes Pumpen des Gemisches an Land durch schwimmende oder teilgedückte Spülrohrleitungen die beste Einsatzmöglichkeit dar. Das bedeutet jedoch die Sperrung einer Fahrwasser- bzw. Flußhälfte und eine große Empfindlichkeit der Anlage bei Wind, Seegang und Treibeis. Diese aufgeführten Gründe im Zusammenhang mit dem für eine gezielte Vertiefungsmaßnahme relativ geringen Wirkungsgrad bedingen den seltenen Einsatz eines Cutterbaggers für Baggerungen in den Fahrrinnen.

4.2.2.4 Sonstige Geräteeinsätze

In den Bereichen starker Schlickablagerungen, wie z. B. in den Brackwasserzonen der Tideflüsse und in Zufahrtbereichen von Schleusen und Häfen, werden unter bestimmten Voraussetzungen auch Spülschlitten, Eggen und Schleppkopfsaugbagger im Überlaufverfahren mit wechselndem Erfolg eingesetzt.

Alle diese Verfahren gehen von der Gesetzmäßigkeit aus, daß die Ablösung eines Bodenpartikels von der Flußsohle eine höhere Strömungsgeschwindigkeit erfordert, als hinterher notwendig ist, um dieses einmal gelöste Partikel in Bewegung zu halten. Grundsätzlich sind diese Methoden jedoch nur dann vertretbar, wenn sie in den Tideflüssen bei starker Ebbströmung in der ersten Phase der Ebbtide durchgeführt werden und ein Wiedereintrieb weitgehend ausgeschlossen werden kann. Es ist jedoch unbestreitbar, daß mit dieser Methode auch im Tidebereich in einem eng begrenzten Rahmen mit wenig Aufwand ein schneller Erfolg erzielt werden kann.

Bei der Betrachtung sonstiger Gerätetechniken wird insbesondere auf die Entwicklungen der neuesten Zeit zu achten sein, die sich mit vollautomatischen Baggergeräten unter Wasser befassen. Auf diesem Gebiet liegen hier keine Erfahrungen vor.

4.3 Methoden zur Ablagerung des Baggergutes

Zur Ablagerung des Baggergutes aus Unterhaltungsbaggerungen werden im deutschen Küstengebiet folgende Methoden angewendet:

- Verklappen
- Verspülen an Land
- Verklappen mit anschließendem Verspülen (Klapp-Spül-Verfahren)

Jedes dieser Verfahren kann unter den gegebenen örtlichen Bedingungen und der technischen Geräteausstattung zu einer wirtschaftlichen Beseitigung des Baggergutes führen.

Mit dem steigenden Umweltbewußtsein der Bevölkerung werden die Schwierigkeiten größer, gut geeignete Spülfelder einzurichten und Klappstellen auszuwählen. Die Erfahrungen zeigen aber, daß es bei verständnisvoller und rechtzeitiger Abstimmung mit Ökologie-Experten immer noch gelingt, tragbare Lösungen zu finden.

4.3.1 Verklappen

Das Verklappen ist das z. Z. am häufigsten angewendete Verfahren: Nicht weniger als $\frac{2}{3}$ der unter 1.3 genannten Gesamtunterhaltungsbaggermenge werden verklappt, fast ausschließlich über natürlichen tieferen Stellen außerhalb der Fahrwasser. Solange die Transportentfernung zwischen der Bagger- und der Klappstelle weniger als 10 bis 15 km (s. Abb. 8) beträgt, kann eine hohe Umlaufleistung des Baggers erzielt und damit eine wirtschaftliche Arbeitsweise erreicht werden. Hinzu kommt, daß für das Verklappen keine zusätzlichen Einrichtungen auf dem Bagger oder an der Klappstelle erforderlich werden und daß das Verklappen selbst rasch vonstatten geht.

Trotz dieser wesentlichen Vorteile werden in letzter Zeit mehr und mehr die anderen Verfahren eingesetzt. Hierfür gibt es mehrere Gründe. Es ist in den letzten Jahren in den oberen Revierbereichen der deutschen Tideflüsse, in einem Gebiet also, in dem sich im wesentlichen der Schwerpunkt der Unterhaltungsbaggerei befindet, immer schwieriger geworden, geeignete Klappstellen zu finden, da die früher benutzten entweder aufgefüllt oder nicht mehr erreichbar sind. Denn durch die Umstellung des Unterhaltungsbetriebes auf selbstfahrende Hoppersaugbagger anstelle der früher eingesetzten Eimerkettenbagger mit Schutenbetrieb sind für die Zufahrten zu den Klappstellen und über diesen selbst größere Wassertiefen erforderlich, vor allem dann, wenn die Klappstellen zu jeder Tidephase, also auch bei Ebbe, erreicht werden sollen.

Hinzu kommt, daß in den deutschen Tideflüssen, die in den letzten Jahren verstärkt ausgebaut wurden, die natürlichen Übertiefen und -breiten in den Randbereichen weitgehend in das vertiefte Fahrwasser einbezogen wurden und damit als gelegentliche Baggergutdeponien ausscheiden. Diese Situation führte dazu, daß vielerorts die Transportentfernungen zu den weiter seewärts gelegenen Klappstellen immer größer wurden und damit das Klappverfahren die Grenze der Wirtschaftlichkeit erreichte.

Ein weiterer Grund gegen das Verklappen ist die Gefahr, daß der verklappte Boden — je feinkörniger um so stärker — in Abhängigkeit von Stärke, Richtung und Dauer der im Klappstellenbereich herrschenden Strömung in mehr oder weniger großem Umfang vertrieben wird und damit zur Störung des hydrologischen Gleichgewichtes führen kann. Im ungünstigsten Falle kann das verfrachtete Material wieder in die Fahrrinne eintreiben, aus der es erneut gebaggert werden muß. Die Kenntnis der Sedimentbewegungen aus Klappstellen ist daher für eine effektive Unterhaltungsbaggerei und für die Wahl der geeigneten Ablagerungsmethode von grundlegender Bedeutung.

An Klappstellen der deutschen Tideflüsse sind in den letzten Jahren von der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste, in Hamburg wiederholt Untersuchungen der Transportvorgänge mit Hilfe radioaktiver Isotopen vorgenommen worden. Die Methode besteht darin, Baggersand, der vorher durch Anlagerung des Isotops Cr 51 mit einer Halbwertszeit von 28 Tagen radioaktiv markiert worden ist, an der Klappstelle bei Stauwasser einzubringen und die Ausbreitung des markierten Sandes mehrere Wochen lang zu verfolgen. Dazu wird die Gewässersohle mit Hilfe eines Meßschlittens, der die auf radioaktive Strahlung ansprechenden Meßsonden enthält, abgesucht. Zusätzlich werden Bodenproben entnommen, die sofort an Bord des Schiffes mit einem Vielkanalanalysator untersucht werden. Mit dieser Methode können qualitative Aussagen über Richtung und Geschwindigkeit der Sandbewegung gewonnen werden. Um darüber hinaus auch noch quantitative Aussagen zu erhalten, wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz ein neues Verfahren entwickelt, das es gestattet, die Eindringtiefe radioaktivierter Sandpartikel und damit die Dicke der Sandveränderungsschicht (bis etwa 20 cm) nachzuweisen. [18] Das nach der Streustrahlungsmethode mit einer konventionellen Eindetektoranlage in Verbindung mit einem Zweikanalimpulshöhenanalysator arbeitende Verfahren wurde nach erfolgreichen Labortests an der Elbe in situ erprobt. Erste Ergebnisse werden in Kürze vorliegen

4.3.2 Verspülen an Land

Das Verspülen an Land ist zweifellos die sicherste Methode zur Deponie des Baggerguts, da bei entsprechender Ausbildung des Spülfeldes keine Wiedereintreibungen in das Fahrwasser zu erwarten sind. Gleichzeitig können solche Spülfelder, wenn sie in günstiger Lage zum Strom angelegt werden, dazu beitragen, stromregulierend zu wirken und damit die Unterhaltungsbaggerei nachhaltig unterstützen. Als weiterer Vorteil ist die Gewinnung von Landflächen zu erwähnen, die nach entsprechender Herrichtung vielseitig genutzt werden können.

Um das Spülverfahren wirtschaftlich gestalten zu können, sind gewisse örtliche und technische Voraussetzungen zu erfüllen. Gegenüber dem Verklappen erfordert das Verspülen wesentlich mehr Zeit, hohe Investitionskosten für die Verspülanlagen auf dem Bagger und an Land sowie zusätzliche Energie zur Beförderung des Spülgutes. Generell kann daher gesagt werden, daß das Spülverfahren nur dann wirtschaftliche Vorteile gegenüber dem Verklappen bringt, wenn dadurch die Transportentfernung zwischen Baggerort und Klappstelle erheblich reduziert werden kann.

Eine grobe Aussage darüber, wann das Verspülen und das unter 4.3.3 beschriebene Klapp-Spül-Verfahren gegenüber dem Verklappen wirtschaftlicher sein kann, zeigt als Beispiel Abb. 8. Durch eine Kostengleichung werden jeweils 2 Systeme (Verklappen-Verspülen oder Verklappen-Klappverspülen) miteinander verknüpft. Jedes System umfaßt einen vollen Baggerumlauf, d. h. die Zeiten für das Baggern, den Transport zur Klapp- bzw. Spülstelle und zurück sowie die Zeiten für das Verklappen und/oder Verspülen, wie sie anhand von Betriebsaufzeichnungen im Mittel für ein und dieselbe Baggergröße in einem bestimmten Revier ermittelt wurden. In die Kostengleichung gehen außerdem ein die Gesamtjahreskosten für Betrieb und Kapitaldienst eines jeden Systems, wobei für jedes System volle Nutzung angenommen wurde. Als ein Beispiel zeigt die Abb. 8 in Abhängigkeit von der einfachen Transportentfernung e (e_K zur Klappstelle, e_S zur Spülstelle, e_{KS} zur Klapp-Spülstelle), ab welcher Entfernung das Verspülen bzw. das Klappverspülen günstiger wird.

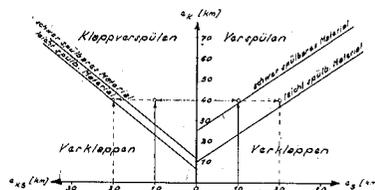


Abb. 8: Relative Wirtschaftlichkeit der Ablagerungsverfahren

Danach kann z. B. ein Feinsand bei einer Klappstellenentfernung $e_K = 40$ km besser verspült oder klappverspült werden, wenn die Spülstelle nicht weiter als $e_S = e_{KS} = 10$ km von der Baggerstelle entfernt ist, während bei $e_S = e_{KS} = 20$ km das Verklappen vorteilhafter wird. Die Grafik macht weiter deutlich, daß die Bodenart beim Verspülen einen weitaus größeren Einfluß hat als beim Klappverspülen.

Mit Ausnahme der Jade wird das Verspülen von Unterhaltungsbaggergut an den Stromrevieren Ems, Weser und Elbe in zunehmendem Maße praktiziert. Dabei spielt das Verspülen an Schuten an Weser und Elbe mengenmäßig nur eine unbedeutende Rolle, so daß hier nicht näher darauf eingegangen wird. Vorherrschend ist an Ems und Elbe der Spülbetrieb mit bordeigenen Pumpen der hier eingesetzten verwaltungseigenen Hoppersaugbagger.

Nach einer Untersuchung stehen in allen Revieren geeignete Spülflächen zur Verfügung. Sie sollen

- in nicht zu großer Entfernung vom Hauptbaggergebiet liegen,

- mit voll abgeladenem Schiff bei jeder Tidephase und möglichst das ganze Jahr über leicht erreichbar sein,
- keine zu langen Spülleitungen zwischen der Schiffsanlegestelle (Übernahmestation) und dem Spülfeld erfordern,
- keine negativen hydrologischen oder morphologischen Auswirkungen auf den Strom erwarten lassen, sondern sich im Gegenteil für die weitere strombauliche Unterhaltung vorteilhaft auswirken,
- sich mit erträglichen Kosten erschließen und gegen Wiedereintreibungen des Spülgutes in das Fahrwasser sichern lassen,
- ausreichend groß sein, um langfristig den anfallenden Baggerboden aufzunehmen,
- nach Abschluß der Aufspülung einer sinnvollen Nutzung zugeführt werden können, wobei dem Freizeitbedürfnis der Menschen und den angemessenen Forderungen der Ökologie Rechnung zu tragen ist.

Gleichermaßen sind für die Baggeranlage- und Übernahmestation betrieblich praktikable und wirtschaftliche Lösungen zu finden, um ein sicheres Anlegen und Festmachen des Baggers bei den verschiedensten Tide- und meteorologischen Bedingungen — auch bei Nacht — zu gewährleisten und um schnell eine zuverlässig funktionierende Rohrverbindung zwischen dem Leitungssystem an Bord und an Land herzustellen. Bei letzterer ist auf einen Ausgleich der nicht unbedeutlichen vertikalen und horizontalen Schiffsbewegungen, die während des Spülens infolge Tidenhub, Tiefgangsänderung durch Ladungsabgabe, Seegang und Schiffswellen, Wind und Strömung auftreten können, zu achten. Darüber hinaus haben die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten einen entscheidenden Einfluß. So konnte die Übernahmestation für das Spülfeld an der Ems auf einer bestehenden festen Mole, die von Land aus zugänglich ist und vor deren Kopf der Bagger anlegt, installiert werden [19], während an der Elbe einer schwimmenden Übernahmestation der Vorzug gegeben wurde. Da für die rd. 60 km lange Unterhaltungsstrecke der Elbe von Hamburg bis Brunsbüttel mehrere Spülfelder erforderlich sind, um die Transportwege möglichst kurz zu halten, ist eine schwimmende Übernahmestation, die von einem Spülfeld zum anderen verlegt werden kann, wirtschaftlicher als die Anordnung mehrerer ortsfester Stationen. Hinzu kommt, daß die Spülfelder von Land aus nicht zugänglich sind, da sie auf Wattflächen oder Strominseln liegen, so daß die notwendigen Unterkunftsräume für die Spülfeld-Mannschaft und die erforderlichen Dieselaggregate zur autonomen Stromerzeugung mit auf der Station untergebracht sind. Eine bewegliche Station bietet darüber hinaus den Vorteil, bei langgestreckten Spülfeldern derart umgesetzt zu werden, daß die erforderliche Spülweite immer in Einklang mit den Möglichkeiten der baggerseitigen Pumpenanlage gebracht werden kann, ohne für eine zusätzliche Druckerhöhung sorgen zu müssen.

Hingegen mußte 1975 eine Druckerhöhungsanlage für das 1200 ha große Spülfeld an der Ems mit einer größten Ausdehnung von 4,3 km installiert werden, da mit den bordeigenen Pumpen des Hopperbaggers allenfalls Spülweiten bis 1,4 km erreicht werden konnten. Ein an Land errichtetes Zwischenpumpwerk hatte sich von allen untersuchten Varianten — darunter auch das Klappspülverfahren — als die günstigste Lösung erwiesen. Als Druckerhöhungspumpe wurde eine Kreiselpumpe gewählt, die von einem stufenlos regelbaren Elektromotor mit 2500 kW angetrieben wird. Die Pumpe hat eine Drehzahl von max. 265 min^{-1} und wird je nach Förderweite mit auswechselbaren Kreiseln für weite bzw. für kurze Strecken betrieben. Die Druckerhöhung der Pumpe beträgt 65 m Wassersäule. Bei der größten Transportweite von 4,3 km beläuft sich die Gemischfördermenge auf $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einer Fördergeschwindigkeit von 4,5 m/s und einem spezifischen Gewicht des Gemisches von $1,18 \text{ t/m}^3$, was bei Feinsand einem Mischungsverhältnis von 1 : 4 entspricht. Nach den ersten Erfahrungen konnten durch die Druckerhöhungsanlage die Entleerungszeiten des Baggers bei etwa gleichen Förderweiten um rd. 25 % verringert und damit die Baggerumlaufleistung um 8 % erhöht werden.

4.3.3 Klappspülverfahren

Bei diesem Verfahren wird das Baggergut in eine vorbereitete Grube außerhalb des Fahrwassers verklappt und daraus von einem Grundsauger wieder aufgenommen und über eine schwimmende und feste Rohrleitung an Land verspült. Damit können die Vorteile beim Verklappen mit denen des Verspülens zu einem leistungsfähigen Verfahren kombiniert werden.

Zur erfolgreichen Anwendung des Verfahrens müssen im wesentlichen die im vorangegangenen Abschnitt für das Verspülen genannten Voraussetzungen erfüllt sein und zusätzlich eine geeignete natürliche oder künstlich zu schaffende Klappstelle in Spülfeldnähe außerhalb des Fahrwassers gegeben sein, die von allen auf dem Revier arbeitenden Baggern voll abgeladen erreicht werden kann. Durch Massendifferenzpläne, die einen längeren Zeitraum umfassen, sollte das auszuwählende Klappgrubengebiet vorher hinsichtlich seiner morphologischen Entwicklung untersucht und ein möglichst veränderungsarmes Gebiet ausgewählt werden, damit sowohl Wiedereintreibungen als auch Austreibungen des verklappten Materials auf ein Minimum beschränkt bleiben. Darüber hinaus sollte für die Klappgrube möglichst eine Stelle gewählt werden, die gegen Seegangs- und Windeinflüsse weitgehend geschützt liegt, um die Ausfallzeiten für den Grundsauger mit seiner schwimmenden Rohrleitung gering zu halten. Trotzdem muß in den Außenrevieren mit höheren Ausfallzeiten für den Grundsaugerbetrieb gerechnet werden als für den Hopperbagger. Dies trifft insbesondere bei starkem Seegang und Eis wegen der empfindlichen Schwimmrohrleitung zu, so daß in der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für das Klappspülverfahren nicht von einem das ganze Jahr über kontinuierlichen Betrieb ausgegangen werden kann.

Nachteilig sind weiter der hohe Investitionsbedarf für das schwimmende Gerät (Grundsauger mit Schwimmleitung), die Verspüleinrichtungen an Land und die bei einer künstlichen Klappgrube zu deren Herstellung nötigen Kosten. Dagegen hat das Klappspülverfahren gegenüber dem Verspülen mit besonders dazu hergerichteten Hopperbaggern den Vorzug größerer Flexibilität, da es weder an Baggertyp, Anzahl der Bagger noch Baggergröße gebunden ist, wenn auch die Gesamtleistung der die Grube anlaufenden Bagger für die Auswahl des Grundsaugers maßgebend ist.

Das Verfahren wurde in den letzten Jahren mehrfach für Unterhaltungsaufgaben an Elbe, Weser und Jade von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes im Probetrieb angewandt. An der Jade wurde beispielsweise die Klappgrube nach den oben genannten Bedingungen ausgewählt und ausreichend — auch bei Nacht und umsichtigem Wetter — bezeichnet. Sie liegt dort geschützt am Rande der SKN-10-m-Tiefenlinie und kann bei jeder Tide vom voll abgeladenen verwaltungseigenen 6000-m³-Hopperbagger angelaufen werden. Die etwa 800 m x 200 m große Klappgrube wurde von einem leistungsfähigen Grundsauger hergestellt und die dabei gewonnenen rd. 2 Mio m³ Sand zur Sicherung eines Strombauwerkes und zur Verbesserung von Strand- und Deichverhältnissen aufgespült. Für die weitere Aufsülung ist geplant, ein etwa 12 km² großes Gebiet um eine Wattinsel herum im Mittel 5 m hoch mit dünenförmigen Kuppen bis 10 m Höhe über dem umgebenden Gelände aufzuhöhen und dadurch mehr als 60 Mio m³ Boden unterzubringen. In gesonderten Untersuchungen und am hydraulischen Modell für das Jade-Weser-Gebiet mußten hierzu die Auswirkungen der Aufspülung auf die Hydrologie der Umgebung und insbesondere auf die Umwelt eingehend behandelt werden.

Weitere Erfahrungen an der Unterelbe haben gezeigt, daß 2 hintereinander angelegte Klappgruben für einen kontinuierlichen Betrieb vorteilhafter sind, weil dadurch Grundsauger und Hopperbagger, die alternierend jeweils auf einer Klappgrube arbeiten, sich gegenseitig nicht behindern.

Schriftumsverzeichnis

- [1] Garrelts, E., Harten, H., Hovers, G., Lucht, F., Oebius, H., Ohlmeyer, F., Rohde, H., Sindern, J., Vollmers, H.-J., Wigand, V.: Mittel zur Bekämpfung der Sandwanderung längs der Küsten . . . Deutscher Bericht zum XXIII. Internat. Schiffahrtskongreß, Ottawa (1973), S. 197 — 228
- [2] Waibel, Walter, u. W. Witt: Entwicklungslinien neuzeitlicher großer Schleppkopfsaugbagger, Arbeitsmethoden solcher Bagger und systematische Untersuchungen an Schleppsaugköpfen, dargestellt an 3 Baggerneubauten für die Zufahrten zu den deutschen Nordseehäfen. Dt. Ber. XXI. Internat. Schiffahrtskongreß, Stockholm (1965) S. 185 — 215
- [3] Hensen, W., H. Kobus, W. Salzmann: Neue Fortschritte beim Entwurf und Betrieb der Baggergeräte, insbesondere für das Saugbaggern bei großer Tiefe. Dt. Ber. XXII. Internat. Schiffahrtskongr., Paris (1969) S. 201 — 213
- [4] Scheffauer, F. C.: The Hopper Dredge, US. Government Printing Office, Washington, 1954
- [5] Blaum, R., v. Marnitz, F.: Die Schwimmbagger, Band 1, Springer Verlag, Berlin, 1963
- [6] Knust, J.: Leistungssteigernde Entwicklung der Belade- und Überlaufeinrichtungen auf dem Hoppersaugbagger Ludwig Franzius, Hansa 109 (1972) Nr. 12, S. 1083 — 1089
- [7] Welte, A.: New Processes Provided for Unloading Hopper Dredges World Dredging, May 1975, S. 54 — 58
- [8] Knust, J.: Analogrechner für optimale Laderaumfüllungen von Hoppersaugbaggern. Hansa 108 (1971) Nr. 4, S. 323 — 332
- [9] Knust, J.: Analogous Computers to optimize Hopper Fillings in Hopper Suction Dredgers, Proceedings of WODCON V, 1974
- [10] Roorda, A., J. J. Vertregt: Floating Dredgers 1963, De Technische Uitgeverij H. Stam N. V. Haarlem-Antwerpen-Köln
- [11] Welte, A.: Ölhydraulische Antriebe im Schwimmbaggerbau, Ölhydraulik und Pneumatik Nr. 7, 1966
- [12] Kammerman, C.: The bucket dredger still the indispensable workhorse, Ports and Dredging Nr. 79, 1973
- [13] Richardson, M. J.: Tin dredge mining on Bangka island exposed, World Dredging & Marine Construction August 1974
- [14] Dredgers & Owners, World Dredging & Marine Construction IX Annual Directory 1975
- [15] Kühn: Einfluß der Bodeneigenschaften, der Abmessungen und der Arbeitsweise von Eimerkettenbaggern auf die Entleerung am Oberturas, Naßbaggerberichte Heft 1/71 der Vereinigung der Naßbaggerunternehmen e. V., Hamburg.
- [16] Vollmers, H., Wolf, G.: Untersuchung von Sohlenumbildungen im Bereich der Unterelbe, Die Wasserwirtschaft, Heft 10, 1969
- [17] Bonnefille, R.: Etude d'un critère de début d'apparition des rides et des dunes fluviales. Bulletin du CREC Nr. 11, 1965 Chatou
- [18] Mundschenk, H.: Methodische Beiträge zur quantitativen Erfassung von Sedimentbewegungen, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilung 16 (1972), S. 164 — 170
- [19] Dietze, W.: Wirtschaftliches Anlandspülen von Baggergut mit einem Hoppersaugbagger an der Ems, 6. Internationale Hafentagung Antwerpen, 1974, Abteilung 2.08