

Abteilung II — Seeschifffahrt

Thema 3

Neue Entwicklungen der Geräte und Arbeitsmethoden für Baggern und Felsbeseitigen in Flußmündungen und vor den Küsten

Von Dipl.-Ing. Waibel, Regierungsbaurat, Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste, Hamburg; Dipl.-Ing. Walter, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Bremen; Dr.-Ing. Witt, Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin

Thema des Berichtes:

Entwicklungslinien neuzeitlicher großer Schleppkopfsaugbagger, Arbeitsmethoden solcher Bagger und systematische Untersuchungen an Schleppsaugköpfen, dargestellt an 3 Baggerneubauten für die Zufahrten zu den deutschen Nordseehäfen.

Zusammenfassung

Der beherrschende Baggertyp in Flußmündungen und vor den Küsten ist heute der Schleppkopfsaugbagger. Bisher fast nur mit Laderaum — als sogenannter Hopperbagger — wird er in den letzten Jahren in stark zunehmendem Maße in immer größeren Einheiten gebaut. Der schnell wachsende Seeschiffsverkehr mit raschem Anstieg der Schiffsgrößen und Tiefgänge der Massengutschiffe gibt überall in der Welt Veranlassung zur Vertiefung und Verbreiterung bestehender und der Erschließung neuer Seeschiffahrtsstraßen. Der fahrende Laderaumsaugbagger bietet hier mit seiner Freizügigkeit und Manövrierfähigkeit große verkehrliche Vorzüge und wegen der großen Seegangsunempfindlichkeit und der Möglichkeit zum Bau großer Einheiten entscheidende wirtschaftliche Vorteile. Die rege Bautätigkeit hat auch die technische Entwicklung dieses Baggertyps gefördert und vor allem zu einer Verfeinerung und Rationalisierung der baggertechnischen Einrichtungen geführt.

Die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung der Bundesrepublik Deutschland hat im Zuge dieser Entwicklung 10 alte Hopperbagger mit Dampfantrieb durch 3 große dieselelektrische Schleppkopfsaugbagger gleicher Ausführung ersetzt, über die berichtet wird. Mit der Angabe der wichtigsten Daten der Neubauten werden ihre Wahl begründet und die Entwicklungslinien großer neuzeitlicher Schleppkopfsaugbagger aufgezeigt. Für diese sind flexible, über Dünungsdämpfer aufgehängte Saugarme und Saugköpfe mit sich selbst einstellenden Teilen ebenso kennzeichnend wie große Maschinenleistungen, die beim Baggern wie bei Fahrten zu den Klappstellen höhere Geschwindigkeiten ermöglichen. Der dieselelektrische Antrieb bietet dem ständig zwischen Baggern und Fahren wechselnden Hopperbaggerbetrieb Vorteile.

Hervorgehoben wird die meßtechnische Erfassung der Vorgänge beim Baggern. Die reiche Ausstattung mit zum Teil eigener Entwicklung entstammenden Meßgeräten auf der Brücke, die sowohl Fahr- wie Baggerzentrale ist, wird eingehend behandelt. Sie ist ein wesentlicher Schritt zur Rationalisierung dieser teuren Arbeitsgeräte und der aufwendigen Baggerei. Im gleichen Sinne wirkt sich auch die weitmögliche Mechanisierung der Betätigung aller Baggereinrichtungen — ebenfalls von der Brücke — aus, die schließlich die Automation anstrebt.

Die Senkung der spezifischen Kosten wird durch größere Einheiten möglich. Am wirtschaftlichsten ist der größte Bagger, der noch eingesetzt werden kann. Bei gegebenen

Fahrwasserabmessungen läßt sich die Einsatzgröße durch besondere Manövrierhilfen wie Bugstrahlanlagen, Aktivrudder oder Sonderantriebe wie Voith-Schneider-Propeller heraufsetzen. Am wirksamsten ist aber die Ausschaltung der durch die Verklappfahrten entstehenden Verlustzeiten, wie sie der aus Amerika bekanntgewordene Auslegerbagger ermöglicht. Da bei diesem Baggertyp die Pumpenförderleistung nicht mehr an eine bestimmte Laderaumgröße und Oberflächenbelastung gebunden ist, kann ferner die Baggerpumpen- und Baggerleistung bei gegebener Baggergröße vervielfacht werden.

In der Abhandlung über die Arbeitsmethoden werden die Fragen Überbordbaggern oder Verklappen und die Wahl der Klappstellen untersucht und aus den Untersuchungen über die optimale Betriebsweise von „Rudolf Schmidt“ und „Johannes Gähns“ bei Unterhaltungsbaggerungen Erfahrungswerte bei verschiedenen Bodenarten und Lagerungsdichten berichtet.

Das Kapitel 4 behandelt vierjährige Forschungsarbeiten an Schleppsaugköpfen. Systematische Versuche lassen die Einflüsse ermitteln, denen die Feststoffförderung unterliegt. Die dazu durchgeführten etwa 700 Modellbaggerungen und 50 Meßfahrten an Bord werden beschrieben und erläutert. Es zeigt sich das funktionelle Verhalten von Schleppsaugköpfen, bei denen die Bildung und der Transport des Wasser-Sand-Gemisches durch Saugwasser erfolgt. Selbst ohne Kopfänderung läßt sich allein durch Änderung der Baggertechnik die Ertragsleistung der eingesetzten selbstfahrenden Laderaumsaugbagger erhöhen und durch Kopfbauten die zeitliche Feststoffförderung ohne größeren Leistungsaufwand steigern.

Ein Rollkörper an Stelle des Gleitschuhs vor dem Saugquerschnitt senkt den Zugbedarf des Kopfes wesentlich. Eine Bodenaufweichung durch Druckwasser vermindert den Zugbedarf weiterhin. Eine Aufweichung als Bodenaufbereitung für die Saugförderung ist erfolgreich. Ein entsprechendes hydromechanisches Verfahren wird entwickelt. Die Gemischbildung geschieht hier durch Druckwasser, während Saugwasser das Gemisch verdünnt und den Rohrtransport besorgt. Für das neue Verfahren entwickelte Schleppsaugköpfe werden vorgestellt und Hinweise gegeben, in welchen Grenzen die Konzentration gesteigert werden darf, damit sich für die Saugbagger eine möglichst große Wirtschaftlichkeit erreichen läßt.

Inhalt	Seite
1. Vorbemerkung	187
2. Neue Entwicklungslinien für große Schleppkopfsaugbagger	188
2.1 Die Großraumsaugbagger „Rudolf Schmidt“, „Johannes Gähns“ und „Ludwig Franziskus“ der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung der Bundesrepublik Deutschland	188
2.2 Meßtechnische Erfassung der Baggervorgänge	197
2.3 Mechanisierung und Automation	199
2.4 Senkung der spezifischen Kosten	201
3. Arbeitsmethoden von Laderaumsaugbaggern in Flußmündungen und vor der Küste	202
3.1 Baggern in den Laderaum und über Bord und Wahl der Abladestellen	202
3.2 Bodenart und Lagerungsdichte	203
3.3 Füllung des Laderaums	204
3.4 Örtliche Gegebenheiten	204
3.5 Sonstige Einflüsse	205

	Seite
4. Systematische Untersuchungen an Schleppsaugköpfen	205
4.1 Fördermerkmale von Schleppsaugköpfen	205
4.2 Versuchsplanung	205
4.21 Modellähnlichkeit	206
4.22 Durchführung	206
4.23 Auswertung	206
4.3 Baggern ohne Bodenaufbereitung	207
4.31 Modellversuche	207
4.311 Konstruktionsprinzipien	207
4.312 Funktionelles Verhalten	207
4.32 Großversuche	209
4.321 Fahrt über Grund	209
4.322 Fahrt mit und gegen den Strom	210
4.323 Leistungsverteilung auf Propellerwellen und Baggerpumpen ...	210
4.324 Druckgefälle am Saugkopf	210
4.4 Baggern mit Bodenaufbereitung	210
4.41 Bodenaufbereitung	210
4.411 Schneiden	210
4.412 Schwemmen	210
4.42 Modellversuche mit Druckwasser	211
4.421 Visiergleitkopf mit schwenkbaren Strahldüsen	211
4.422 Flachgleitkopf mit Flachvisier	211
4.423 Walzenkopf mit Flachvisier	212
4.424 Flachgleitkopf mit Spaltklappe und Seitenvisier	213
4.5 Gemischstrom	213
4.51 Konzentration	213
4.52 Steigerung der Konzentration	214
4.6 Folgerungen	214

1. Vorbemerkung

Dieser Bericht zum Thema 3 der Abteilung II — Seeschifffahrt — behandelt nur Schleppkopfsaugbagger mit Laderaum — sogenannte Hopperbagger — großer Leistungsfähigkeit, ein Baggertyp, der in den letzten Jahren in stark zunehmendem Maße gebaut wird. Das hat mehrere Ursachen.

Die allgemeine Zunahme des Seeschiffsverkehrs und vor allem der rasche Anstieg der Schiffsgrößen und Tiefgänge der Massengutschiffe zwingen zu Vertiefungen und Verbreiterungen der Hafenzufahrten vieler Seehäfen in allen Kontinenten. Dazu kommen die Hafenaufbauwünsche der Entwicklungsländer.

Mit zunehmender Fahrwassertiefe reichen die Baggerstellen meistens auch weiter vor die Küste, wo nur noch Schleppkopfsaugbagger eine wirtschaftliche Jahreseinsatzzeit erreichen. Die Seegängigkeit dieses Typs wird neben der Baugröße auch noch durch gelenkige Saugarme und Dünungsdämpfer erhöht.

Sie behindern den Hafenverkehr kaum, da sie keine weiteren Geräte wie Schlepper und Schuten brauchen und ohne Verankerungen oder schwimmende Rohrleitungen arbeiten. Im Gefahrenfall können sie als Selbstfahrer ausweichen. Bei Fahrwasserunterhaltungen können sie schnell zu festgestellten Untiefen entsandt werden.

Vornehmlich im Unterhaltungsdienst sind sie auch wirtschaftlicher als andere schwimmende Baggertypen, wenn die Fahrwasserverhältnisse und Bodenmassen den Einsatz großer Einheiten ermöglichen. Am wirtschaftlichsten ist der größte Bagger, der noch arbeiten kann. Besondere Manövriereinrichtungen gestatten bei gegebenen Fahrwasserverhältnissen diese Größe wesentlich zu erhöhen.

Die starke Zunahme dieses Baggertyps hat seine technische Entwicklung sehr gefördert. Wenn sich auch die Grundformen nur wenig geändert haben, so hat doch der rasche technische Fortschritt zu zahlreichen Verbesserungen der umfangreichen maschinellen Anlagen und zu einer wesentlichen Verfeinerung der baggertechnischen Einrichtungen geführt. Kennzeichnend für diese Entwicklung ist auch die zunehmende Grundlagenforschung auf diesem Gebiet.

Die neuen Entwicklungslinien für große Schleppkopfsaugbagger mit Laderaum sollen nun an 3 gleichen Neubauten der Deutschen Wasser- und Schiffahrtsverwaltung dargestellt werden, die 1960/61 und 1964 in Dienst gestellt worden sind.

2. Neue Entwicklungslinien für große Schleppkopfsaugbagger

2.1 Die Großraumsaugbagger „Rudolf Schmidt“, „Johannes Gähns“ und „Ludwig Franzius“ der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung der Bundesrepublik Deutschland

Die Deutsche Wasser- und Schiffahrtsverwaltung begann auf der Weser schon kurz vor der Jahrhundertwende in größerem Umfang mit eigenen Hopperbaggern Vertiefungs- und Unterhaltungsbaggerungen auszuführen. 1950 arbeiteten 12 Hopperbagger zwischen 400 und 2000 m³ Laderauminhalt in den Zufahrten zu den deutschen Nordseehäfen und dem Nordostseekanal, die aber bis auf 2 sämtlich Dampftrieb hatten und veraltet und unwirtschaftlich waren. Da inzwischen auch verstärkte Baggerungen in den Fahrrinnen der Elbe, Weser, Jade und Ems notwendig wurden, entschloß sich die Verwaltung zum Bau von 3 neuzeitlichen Großraumsaugbaggern einheitlicher Größe, die mit „Rudolf Schmidt“ 1960 (Bild 1), „Johannes Gähns“ 1961 und „Ludwig Franzius“ 1964 in Dienst gestellt wurden. Die 10 alten Hopperbagger wurden ausgemustert.

Die neuen Bagger haben einen Laderaum mit einem Fassungsvermögen von 2500 m³ und sind als Schleppkopfsauger mit 2 seitlich angeordneten Saugarmen für größtmögliche Seegangsunempfindlichkeit entworfen. In allen Flußmündungen ihres Einsatzbereiches an der Nordsee müssen sie laufend an so weit vor der Küste liegenden, ungeschützten Baggerstellen arbeiten, daß die Verminderung der Ausfalltage durch ungünstiges Wetter entscheidenden Einfluß auf ihre Wirtschaftlichkeit hat. Bei Seegang 4 und Windstärke bis Beaufort 8 erfüllen sie dort noch voll ihren Dienst. Hierbei führen die Bagger Tauchschwingungen bis zu 2 m, gemessen an der Saugarmanschlußstelle an der Außenhaut, aus.

Die Baggergröße wurde nach dem Grundsatz, daß der größte noch einsetzbare Bagger am wirtschaftlichsten ist, bestimmt. Sie haben eine Länge über alles von 113 m, eine Breite auf Spanten von 18 m und ein Produkt LBH von 15 000 m³. Um mit diesen großen Schiffen noch in Fahrrinnen von teilweise nur 100 bis 120 m Breite baggern und bei starkem Schiffsverkehr sicher manövrieren zu können, bedurfte es besonderer Wendigkeit. Neben Doppelschrauben und Doppelheckrudern besitzen die Bagger eine sehr starke

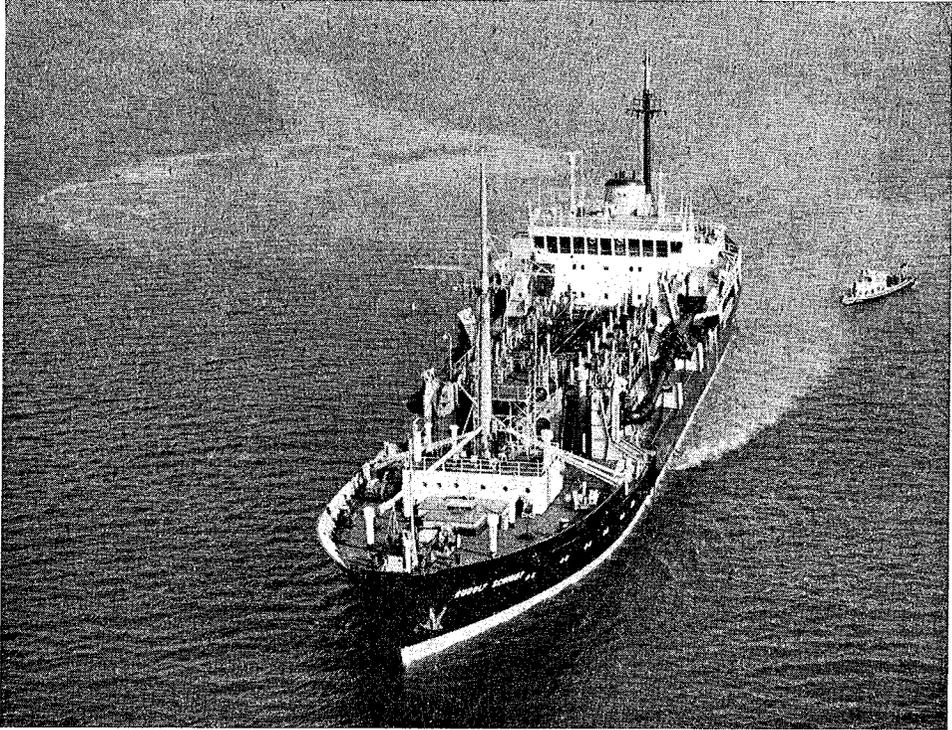


Bild 1
Schleppkopfsaugbagger „Rudolf Schmidt“

Bugstrahlanlage. Mit einem 1000 PS Elektromotor angetrieben, gibt sie den Baggern am Bug eine aktive Querkraft von 10 t.

Wichtig für die Wirtschaftlichkeit war die gute Anpassungsfähigkeit an die verschiedenen Bodenarten. Mit 2800 m^3 wird die Nutztragfähigkeit von 4200 t, entsprechend einem Tiefgang von 5,9 m, noch bei einem Raumbgewicht von $1,5 \text{ t/m}^3$ ausgenutzt. Bei einem Raumbgewicht für Sand von $2,0 \text{ t/m}^3$ genügt ein Laderaum von 2100 m^3 . Die Anpassung wird über ein dreifach verstellbares Wehrsystem erreicht, das von der Brücke aus hydraulisch fernbedienbar ist (Bild 2). Der starke Schiffsverband und ein ausreichender Freibord ermöglichen bei günstigen Seegangsverhältnissen jedoch auch Überladungen bis 7 m Tiefgang, dem ein Ladungsgewicht von 6000 t und bei einem Raumbgewicht von 2 t/m^3 ein Fassungsvermögen von 3000 m^3 entspricht. Bei langen Klappwegen und nicht zu feinkörnigem und daher schlecht absetzbarem Boden wird hiervon häufig mit Vorteil Gebrauch gemacht.

Die größte Baggertiefe beträgt 21,5 m. Bei der Wahl ist vom leeren Bagger und dem höchsten Wasserstand auszugehen, bei dem noch gebaggert werden soll. Hier liegt ein Tidehub mit Windstau von 4 m und eine Tiefgangsdifferenz leer—beladen von 2,5 m zugrunde, so daß auch im ungünstigsten Fall noch auf einer Fahrwassersohle von 15 m unter Kartennull gebaggert werden kann.

Das Baggergut wird in der Regel verklappt. Die Einrichtung zum Absaugen aus dem Laderaum und Anlandspülen ist aber vorgesehen. Die beiden Baggerpumpen können

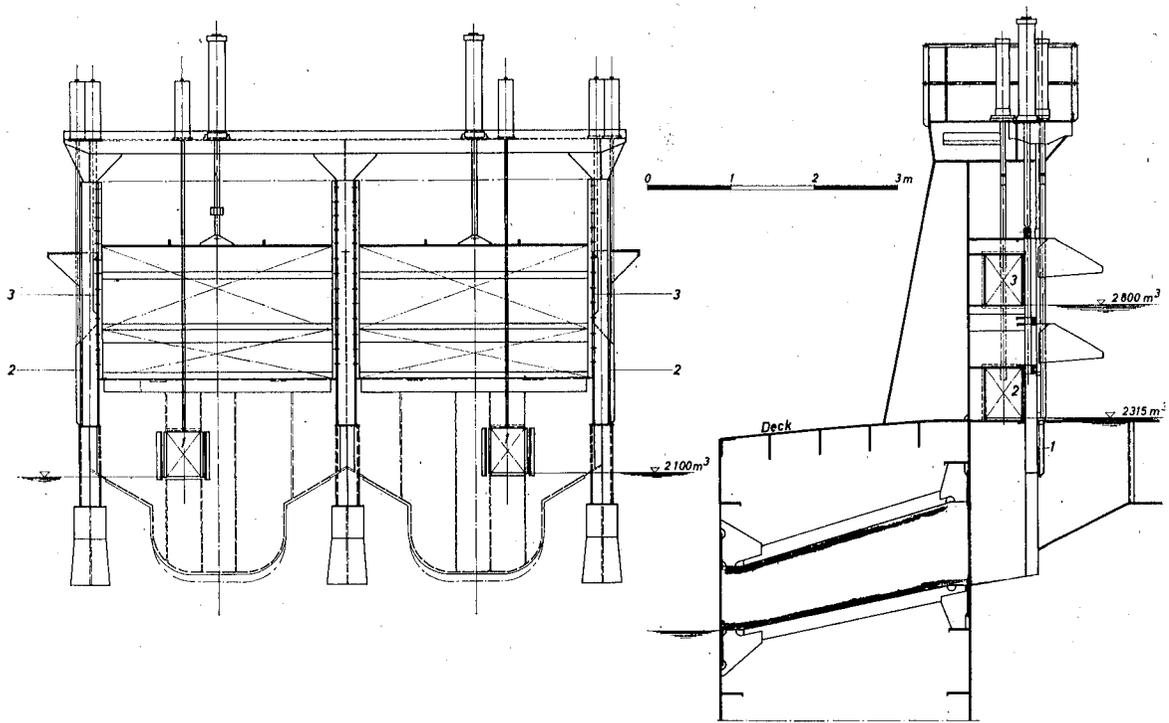


Bild 2

Überlaufwehre im vorderen Laderaumteil
Wasserablaufschieber

1 für 2100 m³ Laderauminhalt, 2 für 2315 m³ Laderauminhalt, 3 für 2800 m³ Laderauminhalt

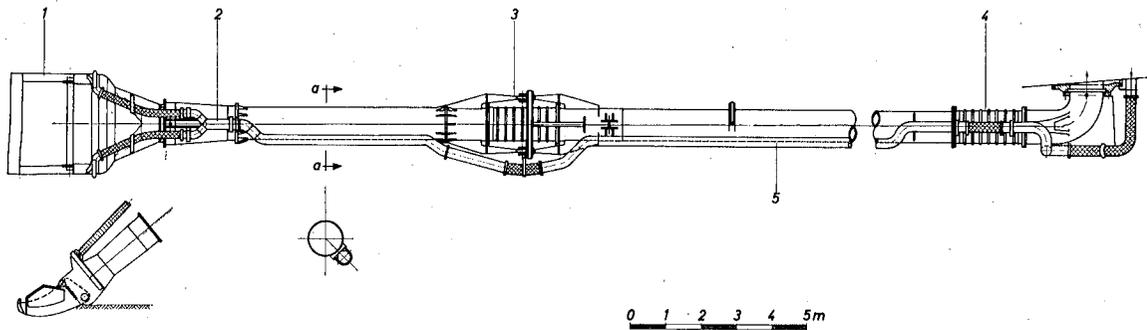


Bild 3

Saugrohr mit Druckwasserleitung des „Ludwig Franzius“

1 Schleppsaugkopf, 2 Drehstück, 3 horizontales Saugrohrgeleak, 4 vertikales Saugrohrgeleak, 5 Druckwasserleitung

dann hintereinandergeschaltet werden und erreichen dabei einen Druck von etwa 5 kg/cm^2 .

Die beiden seitlich ausfahrbaren Saugarme sind mit 2 armierten Gummischlauchstücken und Gelenkarmen im oberen Teil um eine senkrechte und im unteren Teil um eine waagerechte Achse gelenkig. Der untere Teil mit dem Schleppsaugkopf ist durch ein Drehstück um die Rohrachse drehbar (Bild 3). Die Saugarme können mit den elektrisch betriebenen Kränen in 4,5 Minuten aus der größten Baggertiefe an Deck geholt werden. In die Hubseile, die am Saugkopf und in der Mitte des Saugarms angreifen, sind Dünungsausgleicher eingeschaltet, deren Wirkungsweise das Schema (Bild 4) zeigt.

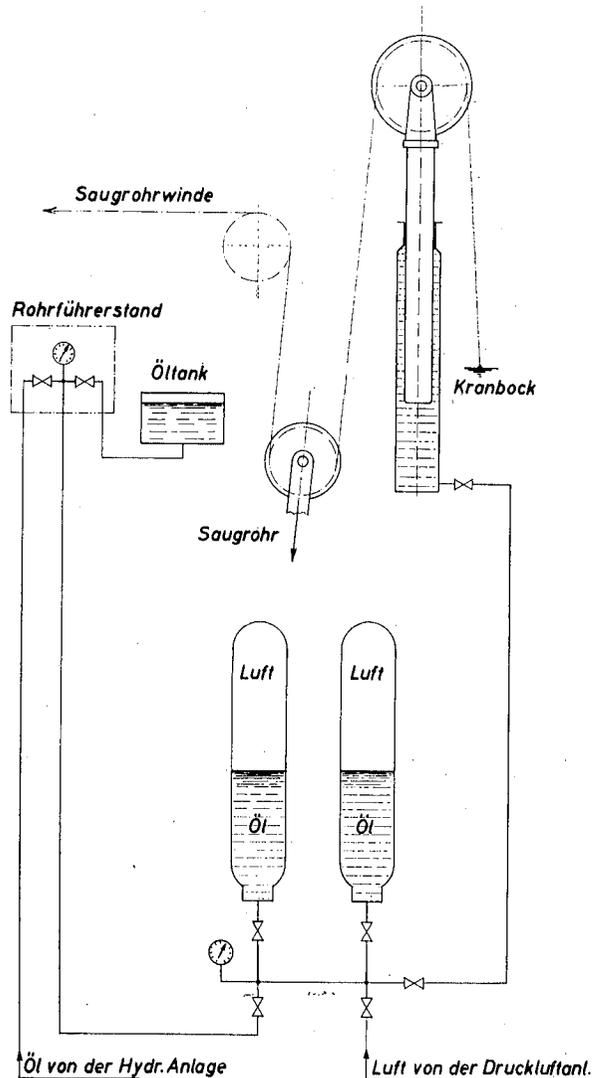


Bild 4
Schema des Dünungsausgleichers in den Hubseilen der Saugrohre

Sie stellen hydraulische Federn dar, deren Hub von $\pm 1,5$ am Saugkopfkran Schiffschwingungen von 3,0 m zuläßt, ohne den Saugkopf vom Boden zu heben.

Die Saugköpfe der ersten beiden Bagger sind rd. 2,3 m breit und haben einen am Saugarm festen und einen beweglichen, segmentartigen Visierteil, der sich mit Kufen auf den Boden abstützt und die Saugöffnung bei allen Baggertiefen und Bodenformen möglichst günstig zum Boden einstellt (Bild 5). Brechbolzen schützen vor größeren Schäden, wenn die Saugköpfe an einem Hindernis festhaken.

Um feinsandige, stark kohäsive Böden besser lösen zu können, hat der 3. Bagger 2 Druckwasserpumpen erhalten. Die Druckleitung durchtritt die Außenhaut neben dem Saugrohr der Baggerpumpe und führt am Saugarm zum Saugkopf, der vor der Saugöffnung eine Düsenreihe trägt. Die Saugarmgelenke werden mit Gummischläuchen umgangen (Bild 3). An Saugköpfen werden beim 3. Bagger mehrere Neukonstruktionen erprobt, die Verbesserungen der Anpassung an den Boden und des Strömungsverlaufs im Kopf sowie eine Verringerung der Bodenreibung durch Rollen bezwecken. Diesen Änderungen gingen eingehende Modellversuche und wissenschaftliche Untersuchungen voraus, über die im Kapitel 4 berichtet wird.

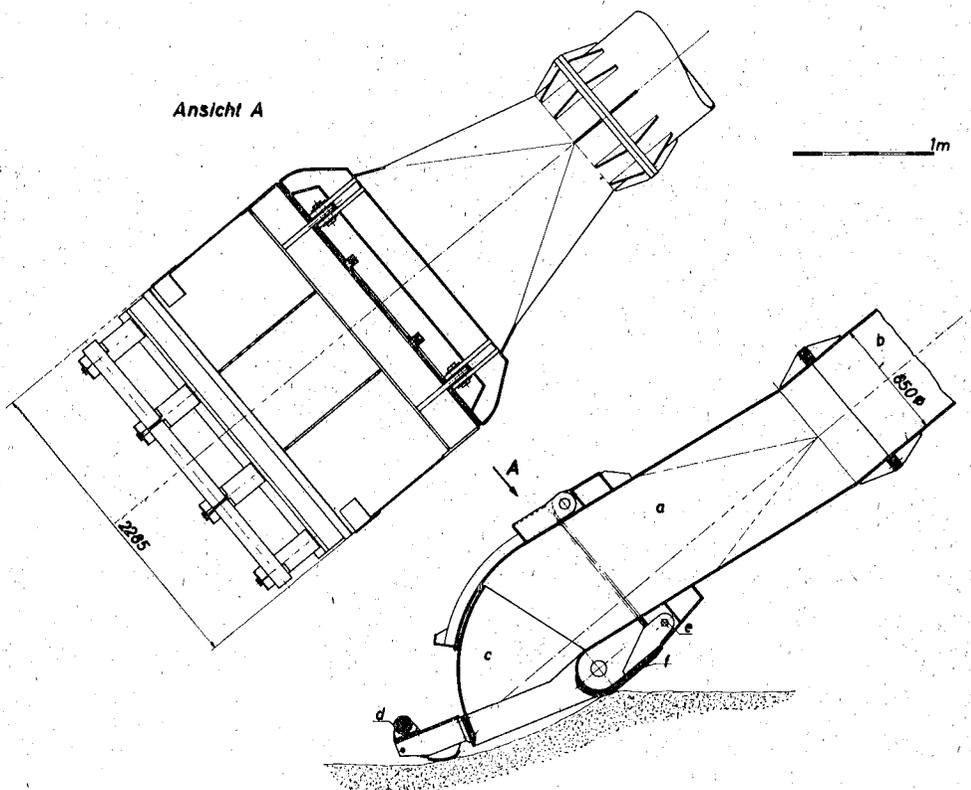


Bild 5

Schleppsaugkopf mit losem, sich selbst einstellendem Visier von „Rudolf Schmidt“ und „Johannes Gährs“

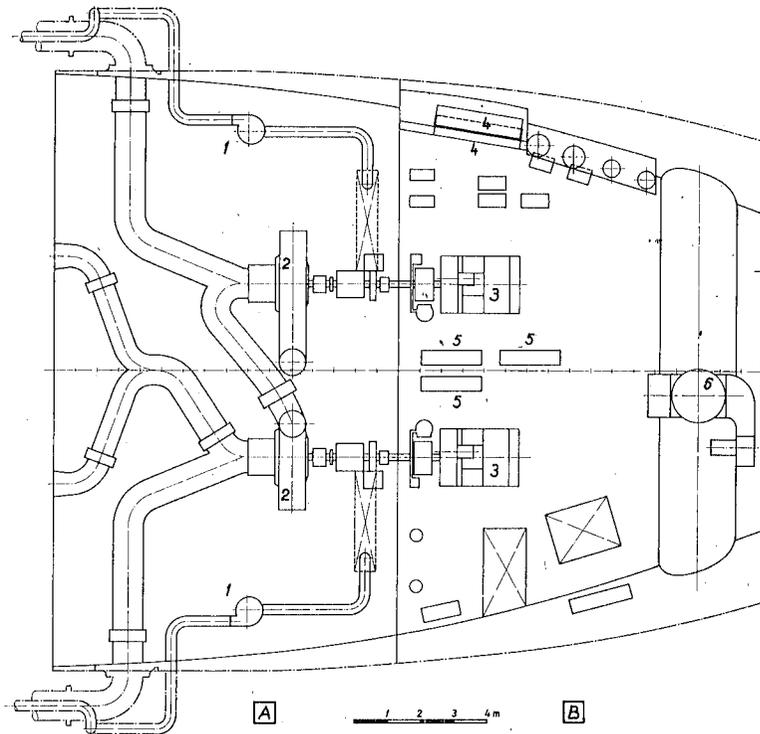


Bild 6
Maschinenanlage vor dem Laderaum des „Ludwig Franzius“

A. Baggerpumpenraum

- 1 Druckwasserpumpen,
- 2 Baggerpumpen

B. Raum für Baggerpumpenmotoren und Bugstrahlanlage

- 3 Baggerpumpenmotoren, 4 Erregerumformer für Baggerpumpenmotoren,
- 5 Sperrwasserpumpen, 6 Bugstrahlanlage

Die Baggerpumpen, die vor dem Laderaum stehen (Bild 6), haben einteilige Stahlgußgehäuse mit 850 mm Saugrohranschluß und einem fünfblügigen Kreisel mit 1630 mm Durchmesser. Sie werden durch Elektromotore von 675 kW direkt angetrieben und laufen beim Baggern mit 200 bis 230 U/min. Die Fördergeschwindigkeit für Gemisch beträgt in der Saugleitung 3—4 m/sec. Zum Schutz gegen aufgebaggerte und beim Passieren der Pumpen detonierende Sprengkörper, die vor der deutschen Küste versenkt wurden, stehen die Baggerpumpen in Splitterschutzkästen. Ferner können Fanggitter in die Saugköpfe eingebracht werden.

Die Baggerpumpen fördern in 2 Beladerinnen, die bis zum hinteren Laderaumschott gehen. Die beiden Überlaufwehre liegen am vorderen Laderaumende, so daß ein weiter Weg für Beruhigung und Absetzen von Feststoffen gegeben ist. Dazu kommt, daß weder dichte Querschotte noch ein dichtes Längsschott im Laderaum vorhanden sind, um zusätzliche Turbulenz zu vermeiden.

Die Entleerung erfolgt durch je 9 Doppelklappenpaare in 2 Reihen, die von Stangen bewegt werden, die bis kurz über den Klappen senkrecht geführt sind. Die Betätigung

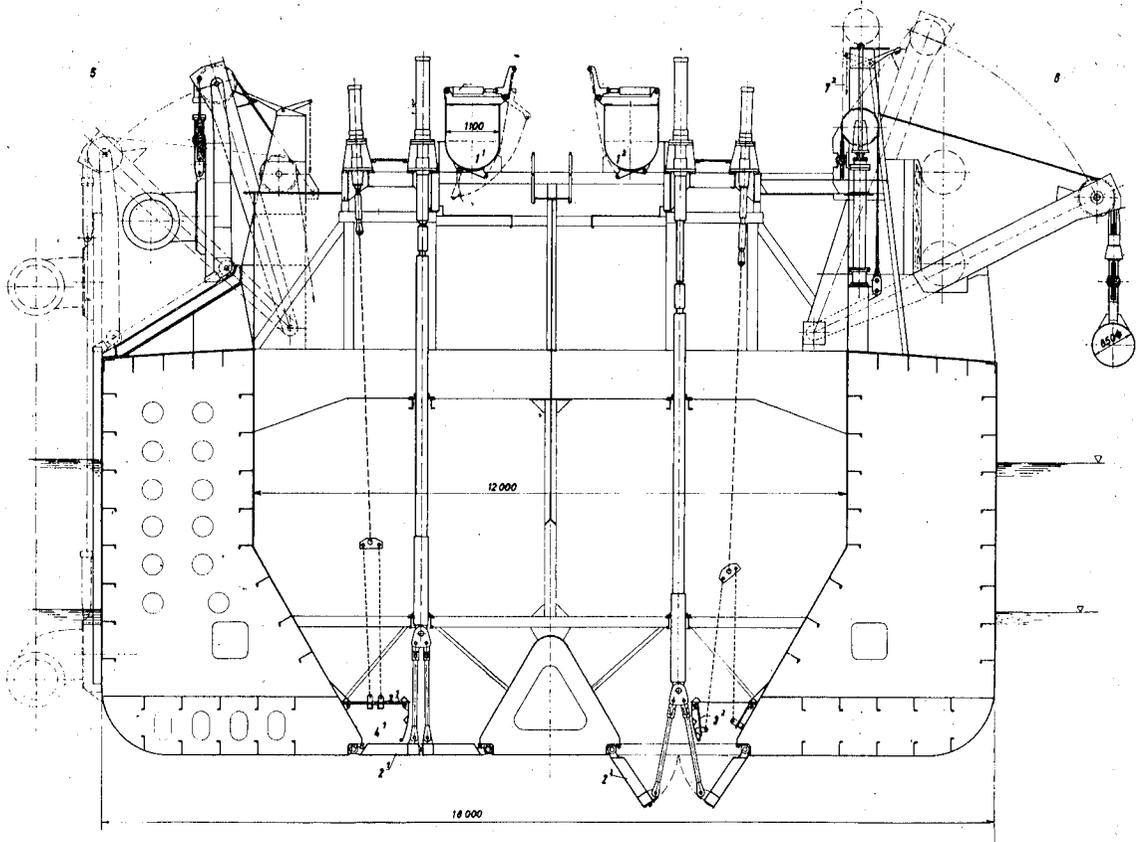


Bild 7

Querschnitt durch den Laderaum mit Saugrohrkränen und Bodenklappen — und Absaugklappenbetätigung

1 Beladerinnen, 2 Bodenklappen, 3 Oberklappen, 4 Absaugkanal, 5 Kran für Saugrohrkrümmer, 6 Saugrohrkran, 7 Dünungsausgleicher

erfolgt durch Oldruckzylinder. Über je einer Bodenklappentür befindet sich, ein Kanal zur Laderaumabsaugung, der gleichfalls durch Oldruckzylinder betätigte Oberklappen hat (Bild 7).

Die beiden Propeller, die Baggerpumpen und die Bugstrahlanlage werden elektrisch in einer geregelten Gleichstrom-Konstantstromschaltung betrieben. Das Dieselmotorwerk besteht auf den ersten beiden Baggern aus 4 und bei dritten aus 5 MAYBACH-Einheiten (Bild 8), aufgeladenen Viertaktmotoren in V-Anordnung mit je 1200 PS bei 1400 U/min und einem Einheitsgewicht von nur 4,25 kg/PS. Bei dem zwischen Baggern und Fahren zum Verklappen wechselnden Betrieb eines Hopperbaggers liegt der Vorteil des elektrischen Betriebs und der Konstantstromschaltung darin, daß die Summe der installierten Verbraucherleistungen größer als die der Erzeugerleistungen sein kann — hier wie 1,25 zu 1 —, und daß die verfügbare Kraftwerksenergie von der Brücke aus bequem und beliebig auf die Verbraucher verteilt werden kann, da Erzeuger und Verbraucher sämtlich in Reihe in einem Stromkreis liegen. Damit genügende Manövrierfähigkeit gesichert

bleibt, sorgt eine Lastverteilung selbsttätig dafür, daß die Propellermotoren und in zweiter Linie der Bugstrahlmotor bei Energiemangel bevorzugt gespeist werden.

Zwei weitere MAYBACH-Motore von je 600 PS bei 1400 U/min sind mit Bordnetzgeneratoren gekuppelt. Die ausgereiften schnelllaufenden Motoren eignen sich gut für den Kraftwerksbetrieb, benötigen im Betrieb nur geringe Wartung und ermöglichen kurze Werfliegezeiten. Das geringe Gewicht — der 1200 PS-Motor wiegt nur 5110 kg — gestattet den Ausbau zur Grundüberholung und den Ersatz durch Austauschmotor mit Bordmitteln in wenigen Stunden.

Alle Dieselmotoren sind in begehbaren Schallboxen (Bild 9) elastisch aufgestellt. Auch sonst ist zur Lärm- und Schwingungsbekämpfung weit mehr als das sonst auf Seeschiffen Übliche getan worden. Trotz der großen Maschinenleistungen und zahlreiche lärmabstrah-

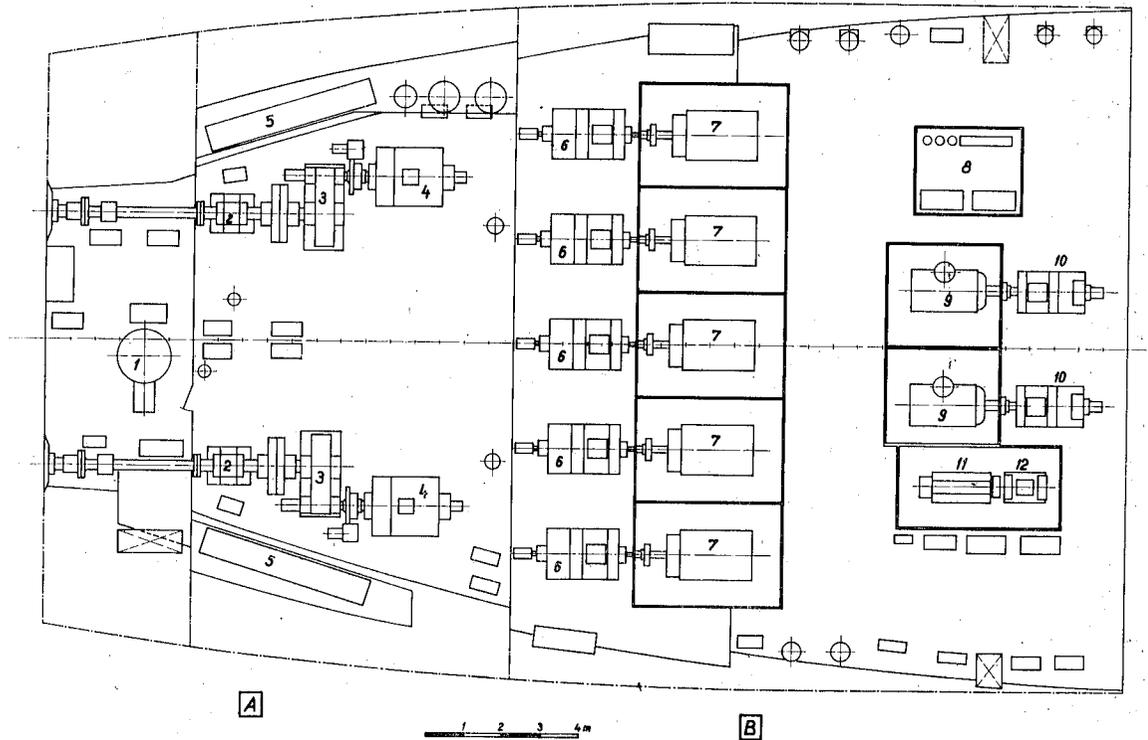


Bild 8

Hauptmaschinenanlage hinter dem Laderraum vom „Ludwig Franzius“

A. Fahrmotorenraum

- 1 Heizkessel, 2 Drucklager, 3 Getriebe,
- 4 Fahrmotoren, 5 Erregerumformer,
- 6 Konstantstrom-Generatoren

B. Dieselmotorenraum

- 7 MAYBACH-Dieselmotoren 12-Zylinder, 1200 PS/1400 min⁻¹, 8 Hydraulikpumpenanlagen für Baggereinrichtung,
- 9 MAYBACH-Dieselmotoren 6-Zylinder, 600 PS/1400 min⁻¹, 10 Bordnetzgeneratoren, 11 Hafendieselmotoren, 12 Hafengenerator

7, 8, 9, 11, 12 sind zum Schallschutz umkapselt, 6 und 10 haben Schallschutzstrecken in Kühlluft- Ein- und -Ausgängen

lenden Anlagen hat kein besetzter Maschinenraum über 90 DIN-phon (dB-B), der Leitstand 76, die Brücke 64 und die Wohnkammern zwischen 55 und 72 DIN-phon.

Nicht nur die Dieselmotoren, sondern auch alle anderen Maschinen und Geräte sind auf allen drei Baggern gleich, jeweils vom selben Hersteller und somit voll austauschbar, was den Reserveteildienst sehr erleichtert.

Die beiden Propellermotoren von je 1500 PS treiben mit Untersetzung von 800 auf 160 U/min die Wellen. Die Probefahrt des beladenen Baggers auf unbegrenzter Wassertiefe erbrachte 12,6 Knoten. Die Verdrängung betrug hierbei 8255 t bei 5,9 m Tiefgang und die Propulsionsleistung 2900 PS. Die gleiche Antriebsleistung ergab in leerem Zustand und nach Auspumpen des Restwassers aus dem Laderaum 13,5 Knoten; hierbei war die Verdrängung 4500 t und der Tiefgang vorn 2,6 m, hinten 4,4 m und im Mittel 3,5 m. Für die beiden ersten Bagger war die Möglichkeit zur Steigerung der Geschwindigkeit auf 14 Knoten vorgesehen mit Erhöhung der Wellenleistung auf 5400 PS und einer Erweiterung des Kraftwerks um 2×1200 PS. Dieser Ausbau wird aber unterbleiben, da eingehende Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nach den Betriebserfahrungen für die häufigsten Verklapp-Entfernungen von 2,5 bis 3 Seemeilen keine Verbilligung ergaben. Beim 3. Bagger wurde daher auf die Ausbaumöglichkeit verzichtet.

Die Brücke liegt hinter dem Laderaum, reicht von Bord zu Bord und gibt einen guten Überblick über alle Vorgänge. Von der Brücke werden alle Baggereinrichtungen bedient und gefahren (Bild 10). Personal befindet sich nur noch auf der Brücke und im Maschinenraum.

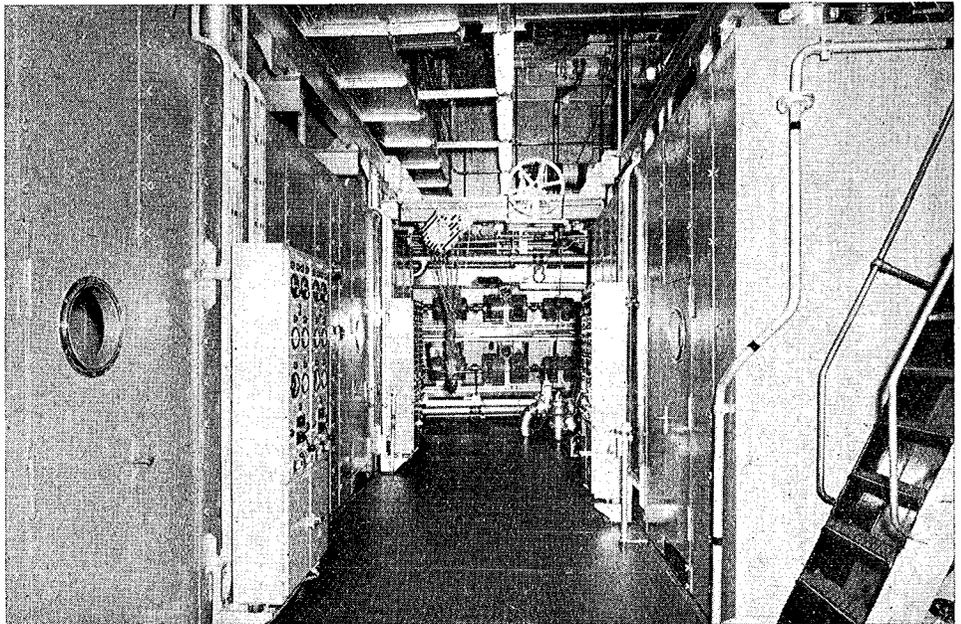


Bild 9

Quergang im Diesel-Maschinenraum mit Laufkran zum Ausbau der Dieselmotoren mit Bordmitteln
links die Boxen der Hauptdiesel, rechts die Boxen der Borddiesel

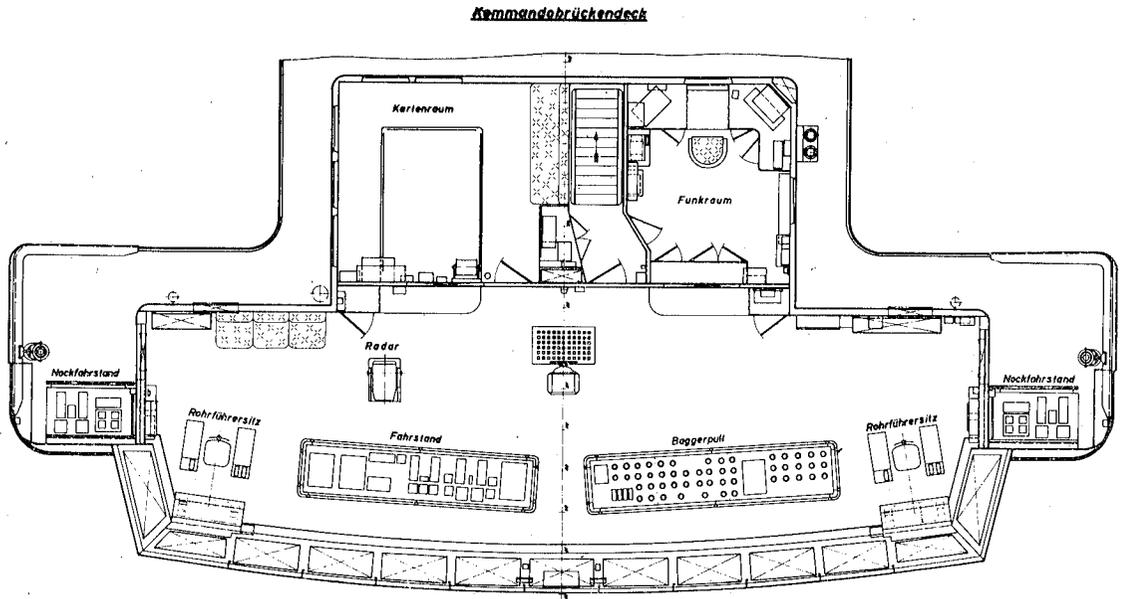


Bild 10
Kommandobrücke

2.2 Meßtechnische Erfassung der Baggervorgänge

Mit Methoden neuzeitlicher Meßtechnik können heute alle wichtigen Vorgänge im Arbeitsablauf eines Hopperbaggers gemessen und dem Baggermeister angezeigt werden. Sie können registriert und auch später im Büro ausgewertet werden. Diese Möglichkeit wurde auf allen 3 Baggern in großem Umfange genutzt. Zur Anwendung kamen schon bekannte sowie auch neuartige, auf Anregung der Verwaltung entwickelte Meßgeräte.

Der Feststoffmengenverbrauch wird durch Messung der Durchflußmenge und der Dichte des Förderstroms und die Kombination beider Anzeigen im Feststoffmengenmesser, der nach m^3 oder t geeicht werden kann, ermittelt. Die Durchflußmenge wird induktiv gemessen. Diese Methode kommt dem Bagger sehr entgegen, da sie den Rohrquerschnitt nicht verändert, sehr genau ist und nach heutigen Erfahrungen durch Ausmessen des magnetischen Kraftfeldes auch eine Nacheichung ermöglicht. Die Dichte des Förderstroms wird nach der Methode der Gammastrahlen-Absorption mit einem Kobalt 60-Strahler ermittelt. Diese Methode hat gegenüber der Dichtemessung durch Vergleich der elektrischen Leitfähigkeit des Fördergemisches mit dem von Wasser ohne Feststoffe vornehmlich im Brack- und Seewassergebiet Vorteile, da dort häufige Salzgehalts- und Temperaturänderungen vorkommen, die einen großen, schwer kompensierbaren Einfluß haben. Für die Messung der Feststoffmenge durch Multiplikation der Fördermenge mit der Dichte ist zu beachten, daß die Transportgeschwindigkeit der Feststoffe kleiner als die Wassergeschwindigkeit ist. Ihr Schlupf schwankt erheblich mit der Wassergeschwindigkeit und der Korngröße. Die Meßstrecke für die Mengen- und Dichtemessung befinden sich bei den ersten Baggern in den Saugleitungen der Baggerpumpen und beim 3. Bagger zur besseren Zugänglichkeit bei schwimmendem Schiff in den Druckleitungen.

Die Laderaumfüllung zeigt der Beladungsschreiber, ein heute vielfach angewendeter selbstschreibender Tiefgangsschreiber. Über eine Membran oder mit Druckluft

wird der Wasserdruck unter dem Schiffsboden gemessen und der entsprechende Tiefgang aufgetragen. Nach Korrektur für Krängung und Trimm, die laufend aufgezeichnet werden, ergibt sich der mittlere Tiefgang und damit das Ladungsgewicht nach Abzug des Schiffsgewichtes.

Systematische Baggerversuche zeigten, daß die Feststoffmengenrträge stark von der Schleppgeschwindigkeit abhängen und ein Log wertvoll wäre, das die Geschwindigkeit über den Grund anzeigt. Dies führt zur Entwicklung eines elektroakustisch arbeitenden Schallog's. Ein neben dem Steven angeordnetes Echolot lotet schräg nach vorn den Flußboden an. Nach dem Dopplerprinzip ändert sich die Frequenz des empfangenen Echos mit der Geschwindigkeit. Diese Änderung wird zur Geschwindigkeitsanzeige benutzt. Das Schallog ist besonders für kleine Geschwindigkeiten von 0 bis 4 Knoten eingerichtet, die es sehr genau mißt. Heute wird beim Baggern nach dem Schallog gefahren, das auch mit einem Distanzzähler verbunden ist.

Einer eigenen Entwicklung entstammt ferner der Bodenkartenschreiber, der dem Bagger eine Tiefenkarte der Baggerstelle gibt. Er arbeitet elektroakustisch und lotet mit 30 quer unter dem Vorschiff und in zwei ausschwenkbaren Auslegern angeordneten Loten, die sekundlich nacheinander abgetastet werden, den Flußboden in 30 m Breite aus (Bild 11). Das Ergebnis wird auf einem Papierstreifen als Tiefenkarte mit Höhenschichten in 4 Schwärzungsstufen aufgezeichnet, die in 25 cm oder größerer Schichthöhe gewählt und in den erforderlichen Tiefenbereichen gelegt werden können (Bild 12). Da der Papiertransport durch das Schallog proportional der Geschwindigkeit über den Grund gesteuert wird, bleiben die Maßstäbe der Tiefenkarte konstant. Einer dauernden Änderung unterliegen aber der Tiefgang des Baggers und der Wasserstand im Tidegebiet und damit der Abstand der Lotschwinger von der Sollssole des Fahrwassers, die immer auf einer bestimmten Schwärzungsstufe liegen soll. Diese Änderungen müssen möglichst selbsttätig ausgeglichen werden. Den Tiefgang ermittelt ein Schwimmer in einem Rohr über den Schiffsboden und gibt ihn elektrisch in das Schreibgerät. Der Tideausgleich erfolgt halbautomatisch durch Abtastung von Pegelscheiben für die einzelnen Fahrwasserbereiche und Abruf der Pegelstände über UKW-Funk vom Bezugspegel bei Einschaltung des Schreibers. Die erzielte Genauigkeit ist ausreichend, da sich häufig nach Stunden

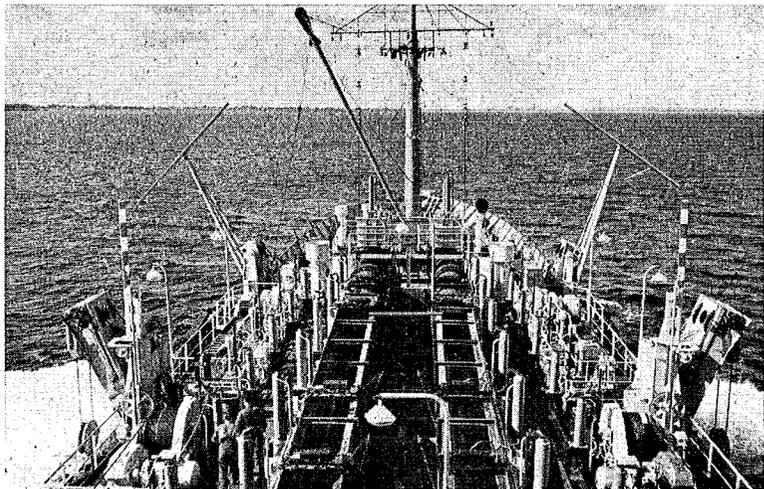


Bild 11

Die Ausleger für Bodenkartenschreiber beim Ausfahren

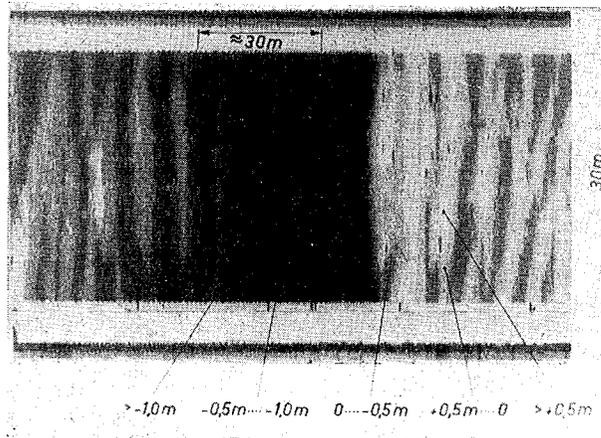


Bild 12

Echogramm des Bodenkartenschreibers

Tiefenwerte sind automatisch in Schwärzungsgrade umgewandelt
 0 m entspricht der eingestellten Soll-Tiefe, z. B. 12 m

weiß bedeutet Übertiefe	mehr als 0,5 m
hellgrau bedeutet Übertiefe	0,5 bis 0 m
mittelgrau bedeutet Mindertiefe	0 bis 0,5 m
dunkelgrau bedeutet Mindertiefe	0,5 bis 1 m
schwarz bedeutet Mindertiefe	mehr als 1,0 m.

Tiefenstufen sind einstellbar von 0,25 bis 2,0 m. Übergangslinie zwischen 2 Farbtönen entspricht auf ± 10 cm genau der entsprechenden Tiefenlinie

kein größerer Tiefenfehler als 30 cm ergab. Der Bodenkartenschreiber ist von besonderem Wert für Unterhaltungsbaggerungen, weil der Bagger Untiefen selbst erkundet und den Erfolg der Baggertätigkeit feststellen kann, ohne Einsatz eines besonderen Peilschiffes.

Selbstverständlich haben die Hopperbagger außerdem alle nautischen Einrichtungen und Nachrichtenmittel eines neuzeitlichen großen Seeschiffes.

2.3 Mechanisierung und Automation

Die objektive laufende selbsttätige Messung der für den Bagger wichtigen Vorgänge kennzeichnet die neuzeitlichen Hopperbagger ebenso wie die mechanische Betätigung aller Baggereinrichtungen. Von der Brücke aus werden sämtliche Klappen, Schieber, Überlaufwehre und die Ausleger für den Bodenkartenschreiber hydraulisch gesteuert. Auch die Saugrohre werden elektrisch von den Rohrführerständen auf der Brücke gefahren. Auch alle im vorhergehenden Absatz beschriebenen Meß- und Schreibgeräte befinden sich auf der Brücke. Diese Zusammenfassung ermöglicht die beste Übersicht und Handlungsfreiheit für den Baggermeister, der auf deutschen Baggern identisch mit dem Kapitän ist, und den geringsten Personalaufwand.

Die Fortführung dieser Entwicklung sollte zu einem noch höheren Grad der Rationalisierung in der Baggerei, nämlich zum automatischen Betrieb führen. Der Mensch auf dem Bagger leitet die Vorgänge ein und überwacht den Arbeitsablauf, und die durch Meßgeräte gesteuerten Baggereinrichtungen arbeiten selbsttätig mit optimaler Wirkung. So

utopisch das heute noch klingt, kann der Arbeitskräftemangel in hochindustrialisierten Ländern doch zu einer solchen Entwicklung führen und sie wirtschaftlich rechtfertigen. Ansätze für automatische Vorgänge bilden bereits die vorerwähnten Dünungsdämpfer der Saugrohraufhängung. Ferner arbeiten die Saugköpfe mit sich selbst dem Boden anpassenden Teilen weitgehend automatisch und mit besserem Erfolg. Bagger im ständigen Einsatz im Fahrwasserunterhaltungsdienst, deren dauernde Auslastung unter weitgehend gleichbleibenden Verhältnissen sicher ist, eignen sich vornehmlich für eine solche Entwicklung, die richtig ist, wenn sie die Ertragsleistung steigert und verbilligt und die Ausnutzung des Baggers verbessert und Personal einspart.

2.4 Senkung der spezifischen Kosten

Die Kosten für den gebaggerten m^3 Boden werden unter sonst gleichen Verhältnissen durch größere Baggereinheiten gesenkt, die verhältnismäßig weniger Personal erfordern, spezifisch geringere Brennstoffkosten verursachen und in Wind und Seegang ausgesetzten Baggergebieten weniger Ausfalltage haben. Da die Größe meistens durch die Abmessungen des auszubaggernden Fahrwassers begrenzt wird, kann diese Grenze durch besondere Manövriermöglichkeiten wie Aktivruder, Bugstrahlenanlagen oder Sonderantriebe wie VOITH-SCHNEIDER-Propeller heraufgesetzt werden.

Am wirksamsten ist aber, wenn die Verlustzeiten für das Fahren zwischen Bagger- und Klappstelle eingespart werden und kontinuierlich gebaggert wird. Dem in den letzten Jahren aus Amerika bekanntgewordenen Auslegerbagger ist daher ganz besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Das angesaugte Baggergut wird hier von den Baggerpumpen unmittelbar durch ein mit Hilfe eines Auslegers querab nach beiden Seiten schwenkbares Druckrohr über 100 m weit von Bord sofort wieder ausgestoßen. Die Förderung durch eine schwimmende Rohrleitung ist ein ähnlich wirtschaftliches Verfahren, das aber für einen Schleppkopfbagger und bei Seegang nicht möglich ist. Ein weiterer Vorteil hierbei ist, daß die Baggerpumpenleistung und damit das Leistungsvermögen bei einem Auslegerbagger bei gegebener Größe vervielfacht werden kann, da man an ein bestimmtes Verhältnis zwischen Pumpenförderleistung und Laderaumgröße, das durch einen genügenden Setzungsgrad der Feststoffteile im Laderaum bestimmt wird, nicht mehr gebunden ist.

Sicher ist das bisher nur in Venezuela durchgeführte Auslegerbaggern auch in vielen anderen Baggergebieten anwendbar, mit Ausnahme natürlich von Hafenbecken und solchen Wasserwegen, die von Ufer zu Ufer ausgebagertes Fahrwasser darstellen. Auch bei Hopperbaggern ist ein Rückfluß von Boden mit dem Überlauf, der bei ungünstiger Korngröße und Dichte 50 % des in den Laderaum geförderten Bodens erreichen kann, meistens unvermeidbar.

(Bild 13) zeigt eine Entwurfsstudie für einen Auslegerbagger großer Leistung mit dem sehr geringen Tiefgang von nur 3,5 m. Bei 156 m Länge und 35 m Breite sind für beschränkte Fahrwasserverhältnisse gute Manövriermöglichkeiten nötig, die durch 4 Voith-Schneider-Propeller von je 2000 PS gegeben sind. Hiermit kann nicht nur gleich gut voraus — wie zurückgefahren, sondern auch traversiert und auf der Stelle gedreht werden. Die ungewöhnliche Breite von 35 m ist nur wenig größer, als die Breite von 32 m, die die vorherbeschriebenen Hopperbagger mit ausgeschwenkten Saugarmen einnehmen.

Die Ertragsleistungen eines solchen Auslegerbaggers vervielfachen sich gegenüber einem Hopperbagger, während die Kosten je m^3 geförderten Bodens auf einen Bruchteil sinken. Hierdurch verändern sich die bekannten Kosten-Maßstäbe für wasserbauliche Maßnahmen für Unterhaltung und Ausbau von Wasserwegen, weil Baggerungen wirtschaftlicher werden können, als der Bau kostspieliger Regulierungsbauwerke.

3. Arbeitsmethoden von Laderaumsaugbaggern in Flußmündungen und vor der Küste.

3.1 Baggern in den Laderaum und über Bord und Wahl der Abladestellen

Während beim Baggern mit Eimerkettenbaggern nur das Lösen und der Vertikaltransport des Bodens durch den Bagger, der Horizontaltransport und das Ablagern aber mit Schuten und Schleppern durchgeführt werden — beim Anlandspülen ist sogar noch ein weiteres Gerät erforderlich — werden beim Laderaumbagger alle Arbeitsgänge von einem Gerät ausgeführt. Dem Vorteil eines solchen Gerätes, auch bei rauher See noch arbeiten zu können, steht der Nachteil gegenüber, daß immer nur ein Arbeitsvorgang gleichzeitig durchgeführt werden kann. Die Einsatzzeit des Gerätes als Bagger vermindert sich um die für den Transport des Baggergutes benötigte Zeit. Um diese „Baggerfehlzeiten“ abzukürzen, ist man bestrebt, die Klappstellen so nahe wie möglich an die Baggerstelle zu legen, das heißt, im Grenzfall das Baggergut sofort wieder der Strömung zu übergeben, die den Horizontaltransport übernimmt. Nach amerikanischen Veröffentlichungen hat man mit diesem Verfahren gute Ergebnisse erzielt. Hierbei wurde das Baggergut über einen auf dem Schiff angebauten Ausleger in mehr oder weniger großer Entfernung vom Schiff dem Strom wieder zugeführt. Von der deutschen Wasser- und Schiffsverwaltung wurden ebenfalls Versuche mit Überbordbaggerungen mit den vorgeschriebenen Schleppkopfsaugbaggern ohne Ausleger durchgeführt. Diese kurzen Versuche ließen jedoch noch nicht erkennen, ob dieses Verfahren auch im deutschen Küstenbereich, in größerem Umfang vorteilhaft anzuwenden ist. Die beim Überbordbaggern zu erzielenden Baggermengen betragen zwar ein Vielfaches dessen, was mit einem gleich großen und gleich starken Gerät beim Laderaumbaggern gefördert werden kann. Sie sind jedoch noch kein Kriterium für die Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit eines Baggerverfahrens.

In der Regel bedeuten Baggern und Verklappen einen Eingriff in einen bestehenden Gleichgewichtszustand, dem sich die Natur widersetzt. An den vertieften Stellen wird es zu Ablagerungen kommen, an der Abladestelle wird das eingebrachte Baggergut nicht liegenbleiben. Durch die Energie von Strömung und Seegang ist immer Sand in Bewegung, der aus der tiefen See herangeführt wird und sich an den Baggerstellen ablagern kann. Die Menge des neu herangeführten Sandes ist jedoch begrenzt. Sind die Abladestellen falsch gewählt worden, oder liegen Bagger und Klappstellen zu dicht beieinander, so besteht die Gefahr, daß es an den Baggerstellen zu verstärkten Ablagerungen kommt. Bei richtiger Auswahl der Klappstellen oder beim Anlandspülen kann man zumindest erreichen, daß sich das Baggergut nicht mehr an der Entnahmestelle ablagert.

Selbstverständlich wird es Gebiete geben, wo auch das Verfahren des Überbordbaggerns mit Vorteil anzuwenden ist. Der günstigste Fall liegt vor, wenn die Strömung und damit die Transportrichtung nur nach einer Seite gerichtet und stromab einer Baggerstelle Übertiefen vorhanden sind, an denen sich das gebaggerte Material ohne Nachteil ablagern kann. Dieser Idealfall tritt bei Tideflüssen jedoch nur selten auf. Hier wird die Strömung meistens mit teils gleichen, teils verschiedenen Komponenten nach beiden Seiten gerichtet sein, so daß das mitgeführte Material eine hin- und hergehende oder eine in einem gewissen Winkel zueinander verlaufende Bewegung mit einer Resultierenden ausführt. Es bedarf also in jedem Einzelfalle einer eingehenden Untersuchung der örtlichen Gegebenheiten für das anzuwendende Baggerverfahren, um den optimalen Nutzeffekt zu erzielen. Durch neue Untersuchungsmethoden zur Feststellung der Sand- und Schlickbewegung mit Hilfe radioaktiver Isotope oder mit Luminophoren ist es möglich, eine Entscheidung für das eine oder das andere Baggerverfahren zu treffen und gegebenenfalls die Richtigkeit der gewählten Klappstelle zu prüfen.

3.2 Bodenart und Lagerungsdichte

Die Untergrundverhältnisse sind in den einzelnen Baggergebieten sehr unterschiedlich. Klei, Schlick, Torf, feiner bis grober Sand, kopfgroße Steine liegen oft nahe beieinander, so daß man das Gerät nicht für maximale Leistungen bei einer speziellen Bodenart auslegen kann. Lediglich die Betriebsweise des Gerätes kann man den jeweiligen Untergrundverhältnissen anpassen. Hierzu bestehen bei den freifahrenden Laderaumsaugbaggern mit Schleppköpfen viel mehr Möglichkeiten als beim Stoßrohrbagger. Mit den Saugbaggern „Rudolf Schmidt“ und „Johannes Gährs“, die vornehmlich Unterhaltungsbaggerungen ausführen, wurden systematische Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziele, für alle Baggergebiete optimale Betriebsweisen der Geräte zu finden.

Bei den Untersuchungen wurden allein bei Sandböden Schwankungen in der Füllzeit zwischen 55 min, wobei rund 3040 m³, und 150 min, wobei 2320 m³ Baggergut im Laderaum aufgemessen wurden, festgestellt. Das entspricht im ersten Falle einer Minutenleistung von rund 55 m³ und im zweiten Falle einer solchen von rund 15,5 m³. Die Ursachen dieser Leistungsunterschiede liegen allein in den Bodenverhältnissen, das heißt im Kornaufbau und in der Lagerungsdichte des Sandes. 55 m³ pro Baggerminute wurden bei einem Sand mit 3,8 % Kornanteil unter 0,2 mm Durchmesser und 15,5 m³ pro Baggerminute bei 72 % Kornanteil unter 0,2 mm Durchmesser erreicht.

Da eine vergleichende Messung der Lagerungsdichte am Grund während der Versuche nicht möglich war, konnte als Kriterium nur die Siebanalyse des Baggergutes herangezogen werden. Inzwischen wurde eine Sonde entwickelt, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand die Entnahme von Bodenproben gestattet und eine vergleichende Messung der Lagerungsdichte des Untergrundes ermöglicht. Die Sonde wird mit einer genormten Treibladung in den Untergrund geschossen und aus der Eindringtiefe auf die Lagerungsdichte geschlossen.

Daß der feinere Sand fester gelagert und für den Schleppkopfbagger schwerer zu lösen ist, geht auch aus den erreichten Förderstromkonzentrationen hervor. Im ersten Falle des grobkörnigen Bodens lagen die Feststoffkonzentrationen im Förderstrom zwischen 34 und 39 Volumen-Prozent (auf die Unterschiede wird noch eingegangen) und im zweiten Falle des feinsandigen Bodens nur zwischen 6,5 und 10 Volumen-Prozent. Ebenfalls ungünstig sind bei feinen Sanden die Absetzvorgänge im Laderaum. So wurden bei 34 und 39 Prozent Feststoff im Förderstrom nur rd. 2,5 Volumen-Prozent Feststoff im Überlauf gemessen, während bei 6,5 bis 10 Prozent Feststoff im Förderstrom rund 3 Volumen-Prozent im Überlauf waren.

Eine Leistungssteigerung kann einmal durch eine Erhöhung der Förderstromkonzentration und — wenn man von der Methode des Überbordbaggerns absieht — durch eine Verminderung der Überlaufkonzentration erreicht werden. Bei den Versuchen wurde einwandfrei festgestellt, daß durch eine Erhöhung der Fahrtgeschwindigkeit über Grund auch eine Steigerung der Förderstromkonzentration bei allen Bodenverhältnissen eintrat. In dem angeführten Beispiel des feinsandigen Bodens wurden Förderstromkonzentrationen zwischen 6,5 und 10 Volumen-Prozent gemessen. Dieser ziemlich linear verlaufende Anstieg konnte durch eine Steigerung der Geschwindigkeit über Grund von 0,8 auf 3,3 Knoten erreicht werden. Auch bei grobsandigem Boden war die Erhöhung der Fördergemischkonzentration von 34 auf 39 % durch eine Geschwindigkeitssteigerung von 2,5 auf 3,5 Knoten zu erzielen. Der Geschwindigkeit sind aber durch die Saugrohrkonstruktion und die installierte Maschinenleistung Grenzen gesetzt.

Eine Steigerung der Pumpenleistung erbrachte zwar eine Erhöhung der Gemischdurchflußmenge, aber nur bis zu einem gewissen Grade eine Steigerung der Feststoff-

förderung. Bei feinsandigem Baggergut wurde der erzielte Gewinn an geförderten Feststoffmenge durch einen ebenfalls höheren Feststoffanteil im Überlauf wieder aufgehoben. Bei beschränkter, für Vortrieb und Baggerpumpen gemeinsam verfügbarer Maschinenleistung ist es beim In-den-Laderaumbaggern günstiger, durch schnelleres Fahren eine hohe Förderstromkonzentration bei kleinerem Förderstrom anzustreben, als bei geringerer Fahrgeschwindigkeit einen hohen Förderstrom, der die Oberflächenbelastung des Laderaumes erhöht und damit das Absetzen des Baggergutes erschwert.

3.3 Füllung des Laderaumes

Bei den Untersuchungen über Ladungsmengen und Füllzeiten in den einzelnen Baggergebieten mit einheitlichem Boden wurde festgestellt, daß der Füllungsvorgang über die Zeit einer ganzen Baggerung hinweg nicht gleichmäßig verläuft, d. h. daß die im Laderaum verbleibende Feststoffmenge pro Zeiteinheit mit fortschreitender Füllzeit kleiner wird. Trägt man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem auf der Abszisse die Füllzeit und auf der Ordinate die im Laderaum aufgemessene Menge auf und stellt den Verlauf des Füllvorganges als Kurve dar, so ist die Füllungskurve gegen Ende der Füllung bekanntlich keine Gerade, sondern eine nach oben gekrümmte Kurve, die schließlich in eine Horizontale übergeht nämlich dann, wenn der Laderaum gefüllt ist und trotz Weiterbaggerns kein Baggergut mehr aufgenommen werden kann. Diese Verhältnisse wurden auf statistischem Weg näher untersucht, da ein genaues Laderaumaufmaß nur am Schluß der Baggerung, also nach Abschalten der Pumpen, möglich war. Auch aus den mit verhältnismäßig primitiven Mitteln durch Probenentnahme gewonnenen Konzentrationswerten der Überläufe sind exakte Ermittlungen während der Laderaumfüllung nicht möglich.

Unter Berücksichtigung der an den einzelnen Baggerstellen recht unterschiedlichen Verklappfahrzeiten — in den untersuchten Gebieten schwanken diese Zeiten zwischen 30 Minuten und 3 Stunden — lassen sich für die einzelnen Baggergebiete optimale Füllzeiten bzw. optimale Füllungsgrade des Laderaumes ermitteln, um möglichst große Tagesleistungen zu erzielen.

3.4 Örtliche Gegebenheiten

Wie schon ausgeführt, konnte durch schnellere Fahrt über Grund eine Steigerung der Feststoffkonzentration im Fördergemisch erzielt werden. Einzelne Baggerstellen haben jedoch eine so geringe Längenausdehnung, daß der Bagger bei schneller Fahrt häufiger wenden und neu ansetzen muß, wodurch zusätzliche Zeitverluste entstehen. Man wird in jedem Einzelfalle feststellen müssen, welche Betriebsweise die höchste Gesamtleistung erbringt. Bei einigen der untersuchten Baggerstellen zeigt der Untergrund eine starke Riffelbildung mit stellenweise über 4 m Höhenunterschied zwischen Berg und Tal bei einer Längenausdehnung der einzelnen Riffel von 50—60 m von Talpunkt zu Talpunkt. Da oftmals nur die Riffelspitzen 1—2 m über die Sollsohle ragen und abgebaggert werden müßten, war zu untersuchen, welche Baggermethode hier für die Dauer am erfolgreichsten sein würde. Läßt man das Schlepprohr ständig am Grund — also auch über die Riffeltäler hinweg — hätte das einen erheblichen Mehraushub zur Folge. Baggert man nur die Riffelspitzen ab, so besteht die Gefahr, daß sich die Spitzen schnell wieder neu bilden. Diese Frage konnte noch nicht abschließend beantwortet werden, da es nicht möglich war, die Großriffeln in den Tiefenplänen so zu erfassen, daß ihr Aussehen vor der Baggerung, ihre Veränderung durch die Baggerung und eine Zeitspanne nach der Baggerung infolge der natürlichen Einflüsse verfolgt werden konnte.

3.5 Sonstige Einflüsse

Allgemeingültige Untersuchungen der vorbeschriebenen Art mit einem arbeitenden Saugbagger sind insbesondere deshalb schwierig, weil es praktisch unmöglich ist, für eine gewisse Zeitdauer gleichmäßige und gleichbleibende Untersuchungsbedingungen aufrecht zu erhalten oder herzustellen. Auch sind die für den Prozeß des Baggerns maßgebenden Faktoren der Natur, des Gerätes, der Nautik und der Besatzung so eng miteinander verkettet, daß eine bestimmte gemessene Größe aus dem Baggerprozeß stets von mehreren solcher Faktoren beeinflußt wird, die jedoch nicht beliebig ein- oder ausgeschaltet werden können, weil sie sich zu einem großen Teil der Einflußnahme des Baggerführers entziehen. Auf Kornaufbau, Lagerungsdichte und Gestalt der Sohle wurde bereits eingegangen. Als weitere, den Baggerbetrieb und die Leistungsfähigkeit des Gerätes beeinflussende Größen sind zu nennen: Tidephase, ferner Strömung, Wind und Seegang nach Größe und Richtung, der bauliche Zustand des Gerätes und nicht zuletzt die persönlichen Eigentümlichkeiten der jeweiligen Schiffs- und Rohrführer. Aus diesem Grunde können allgemeingültige Empfehlungen für die zweckmäßigste Betriebsweise der Bagger an den einzelnen Baggerstellen nur aus langen Meßreihen gewonnen werden, wo sich die fälschenden Auswirkungen der nicht beeinflussbaren Größen aufheben.

4. Systematische Untersuchungen an Schleppsaugköpfen

4.1 Fördermerkmale von Schleppsaugköpfen

Drei Größen kennzeichnen in besonderem Maße die Arbeit eines Laderaumsaugbaggers:

V_{Ft} , die zeitlich geförderte Feststoffmenge soll groß sein, damit der Bagger eine gute Ertragsleistung erzielt.

V_F/V , die Feststoffkonzentration der transportierten Gemischmenge V sagt aus, wieviel Ballastwasser unnötig von der Sauganlage mitgeschleppt wird.

S , der Schubbedarf des Schiffes während des Baggerns soll klein sein, weil die für die freie Fahrt des Schiffes ausgelegten Propeller bei der langsamen Baggerfahrt in hochbelastetem Zustand mit sehr geringem Wirkungsgrad arbeiten.

Zur Beurteilung des Saugkopfes muß der Leistungsanteil der Baggerpumpe für die Saug- und Druckrohrleitung sowie der Anteil der Propellermotoren für den Schiffswiderstand ausgeschaltet bleiben. Deshalb werden die obengenannten Größen dem am Kopf umgesetzten Druckgefälle bzw. der Schleppleistung für die Kopfbewegung ins Verhältnis gesetzt. Mit derart gebildeten Kennwerten lassen sich die Einflüsse auf die Feststoffförderung von Schleppsaugköpfen erfassen und im einzelnen deuten.

4.2 Versuchsplanung

Die von der deutschen Wasser- und Schifffahrtsverwaltung beauftragte VERSUCHS-ANSTALT FÜR WASSERBAU UND SCHIFFBAU Berlin führte die Untersuchungen in den Jahren 1960 bis 1964 durch. Modellversuche sollten das Grundsätzliche klären und Meßfahrten an Bord die Übertragbarkeit der Vorgänge auf die Großausführung prüfen sowie die Erkenntnisse erhärten und erweitern.

4.21 Modellähnlichkeit

Da das Saugbaggern im wesentlichen ein Hubvorgang ist, wurde angenäherte Modellähnlichkeit nach Froude angestrebt. Der Modellboden besteht aus Quarzsand, dessen mittlere Korngröße von 0,12 mm gleich der des Originalbaggergutes ist, das sich wegen seiner Fäulnisneigung als Modellsand nicht verwenden läßt. Der Modellmaßstab ergab sich aus praktischen und versuchstechnischen Gesichtspunkten. Ein Meßbehälter auf einer Dezimalwaage sollte die während einer Modellversuchsfahrt gebaggerte Gemischmenge aufnehmen können. Daraus resultierte die Größe der Kreiselpumpe mit 40-mm-Rohranschluß, wonach sich handelsübliches Messingrohr von 39 mm lichter Weite als Saugrohr empfahl. Aus dem Verhältnis dieses Durchmessers zu dem des im Jahre 1960 eingesetzten Saugbaggers „Geheimrat Goeker“ von 650 mm ergab sich der Längenmodellmaßstab $\lambda = 16,7$.

4.22 Durchführung

Beim Modell zieht ein Schleppwagen mit angehängter Kreiselpumpe den Modellkopf über den eben abgezogenen Modellsand, der unter Wasser in dem 1 m breiten und 14 m langen Versuchstank mit Glaswänden liegt. Während der Fahrt über die Anlaufstrecke fließt das geförderte Gemisch zunächst in den Tank zurück und dann über die Meßstrecke in eine neben dem Tank angeordnete Auffangrinne, die in den Meßbehälter entleert, mit dem sich Volumen und Gewicht des Fördergutes bestimmen lassen. Wagenweg, Pumpenumdrehungen und Zeitkonstante registriert eine Schreibtrommel. Die Angaben über die Zugkraft werden von einem induktiven Geber mit Biegestab über eine Meßbrücke auf einen Schreiber und die Drücke von verschiedenen Stellen der Saug- und Druckleitung auf ein Flüssigkeitsmanometer an der Wagenbühne übertragen. Jede Modellkopfvariation wird bei den drei Geschwindigkeiten $v = 8, 14$ und 20 cm/s mit den drei Pumpenleistungen $N_P = 60, 80$ und 100 Skalenteile, was 320, 425 und 530 Watt an der Pumpenwelle entspricht, gefahren.

An Bord wird die Geschwindigkeit über Grund im Bereich von 0,3—2,8 m/s verändert und die Leistung jeder der zwei Baggerungen mit Stufe $N_P = 7,5, 8$ und 10 , was etwa 175 — 300 — 500 und 600 kW entspricht. Das eingekommene Feststoffvolumen V_{FP} ermittelt man durch eine Laderaumpeilung. Soll sich auch die Transportkonzentration feststellen lassen, darf nur bis zum Beginn des Wasserüberlaufs nach außenbords gebaggert werden.

4.23 Auswertung

Im Modell ergibt sich leicht aus dem Volumen V und Gewicht G des zugelaufenen Baggergutes die Gemischwichte γ und bei Kenntnis der Wichten des Wasser γ_W und des (Quarz-)Feststoffs γ_F der Feststoffanteil am Gesamtvolumen

$$(V_F/V) = (\gamma - \gamma_W) / (\gamma_F - \gamma_W) \text{ sowie die Feststoffmenge } V_F \text{ selbst.}$$

Wegen des Hohlraumverhältnisses $\epsilon = H/V_{FP}$ (Bild 21) von etwa 42% bei dem eingeschwemmten wassergesättigten Modellboden sind definitionsgemäß höchstens 58% Feststoff denkbar, wobei dann nur Porenwasser vorhanden ist. Dies wäre eine Praktiker-Konzentration von $(V_{FP}/V) = 100\%$, die natürlich nicht erreichbar ist, da ohne eine größere Menge Wasser kein Rohrtransportfähiges Gemisch entsteht.

An Bord kann wegen der Ungenauigkeit einer Ladungsgewichtsmessung nur die Feststoffablagerung, also V_{FP} (Bild 21) bestimmt werden. Es ergeben sich die absoluten Werte aus den Praktiker-Werten nach $V_F = (1 - \epsilon) \cdot V_{FP}$ und

$$(V_F/V) = (1 - \epsilon) \cdot (V_{FP}/V)$$

Der Zugbedarf für den Modellsaugkopf läßt sich direkt aus einer Eichkurve ableiten; der Zugbedarf für die Großausführung aus dem Propellerschub unter Abzug des Schiffswiderstandes gemäß der Schiffsgeschwindigkeit v_S im Wasser.

4.3 Baggern ohne Bodenaufbereitung

Herauslösen und Transport des Feststoffes erfolgen allein durch Saugwasser.

4.31 Modellversuche

4.311 Konstruktionsprinzipien

Nur Modelle von praktisch einsetzbaren Schleppsaugköpfen sollen erprobt werden. Deshalb bestehen für die Konstruktion betriebstechnische Forderungen:

1. Der Kopf muß gezogen werden.
2. Allein durch Eigengewichte soll der Bodenanschluß stattfinden.
3. Der Kopf muß über festgesetzte Hindernisse hinweggleiten können.
4. Eine Verstopfungsgefahr der Förderanlage soll durch geeignete Ausbildung des Kopfes umgangen werden. Feste und einstellbare Köpfe sollen nur, soweit zur Klärung grundsätzlicher Fragen erforderlich, untersucht werden. Im übrigen werden nur Köpfe mit sich selbststellenden Teilen gebaut, die bei den immer wechselnden Baggerbedingungen am besten arbeiten.

4.312 Funktionelles Verhalten

Die Größen und Kennwerte nach Kapitel 4.1 ermöglichten eine umfassende Beurteilung aller von den einzelnen Köpfen nach Abschnitt 4.22 des Kapitels 4.2 durchgeführten Modellbaggerungen. Die Ergebnisse stellen sich in aller Kürze folgendermaßen dar:

Vorherrschend bei den durch reines Saugen fördernden Schleppsaugköpfen ist das Ansteigen der Feststoffförderung durch Konzentrationserhöhung bei wachsender Fahrgeschwindigkeit infolge Beschränkung einer Freisaug-Möglichkeit. Dazu kommt, daß ein schnell über den Boden geführter Saugkopf mehr von der Oberfläche und dadurch mit weniger Leistungsaufwand das Bodenmaterial räumt. Steigende Pumpenleistung bewirkt eine Vergrößerung der zeitlichen Feststoffförderung, doch meist auch eine Konzentrationsabnahme wegen verstärkten Freisaugens. Der Zugbedarf steigt mit einem verbesserten Bodenanschluß, also im allgemeinen mit verbesserter Feststoffförderung. Im einzelnen zeigt sich:

1. Seitenverhältnis des Saugquerschnittes: Breite Köpfe saugen Feststoff besser als schmale, weil sie aus geringerer Tiefe abtragen.
2. Saugweg: In der Mitte der Saugkopfhinterkante wird gegenüber den Seiten stärker und konzentrierter gefördert, weil der Abstand von der Mitte zum Saugrohr kleiner ist als von den seitlichen Kopfecken und mithin das Druckgefälle größer. Außerdem saugt sich seitlich der Kopf leicht frei, was das Gemisch unzweckmäßig verdünnt.
3. Saugmundneigung: Bild 14 zeigt den Modellkopf mit verstellbarer Neigung, der dem schürfenden Frühling-Kopf des Saugbaggers „Geheimrat Goeker“ ähnelt, der jedoch im Modell wegen des leicht saugbaren Bodens nicht schürfte. Die Förderung verbessert sich zunächst mit vergrößertem Anstellwinkel bis bei 30° und der größten Geschwindigkeit $v = 20$ cm/s die zeitlich abzusaugende Menge, die sich aus Kopfbreite mal Fahrgeschwindigkeit mal Abklapptiefe bei der Anstellung ergibt, auch bei der größten Pumpenleistung $N_p = 100$ Skalenteile nicht mehr abgesaugt wer-

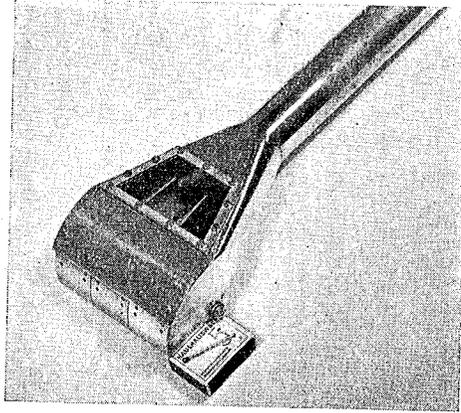


Bild 14

Modell eines Saugkopfes mit verstellbarem Saugmund

den kann. Der Kopf hebt sich nun aus dem Boden heraus, womit Wasser von vorn her in den Saugquerschnitt tritt und Konzentration und Feststoffförderung gegen Null gehen.

4. Saugspalt: Der dem Holländer-Kopf der Saugbagger „Johannes Gährs“ und „Rudolf Schmidt“ nachgebaute Visierkopf (Bild 15) stellt die richtige Saugmundneigung dem Gemischfördervermögen der Baggerpumpe entsprechend selbst ein. Die Konzentration sinkt jedoch bei abnehmender Fahrtgeschwindigkeit stärker, weil sich der Spalt wegen der Anordnung der Visiergleitschuhe hinter dem Visier mit größerer Abklapptiefe vergrößert.
5. Visierform: Eine konvexe Wölbung der hinteren Visierseite zum Boden hin ver gleichmäßig die Saugwege (Punkt 2.) und wirkt verbessernd auf die Feststoffaufnahme.

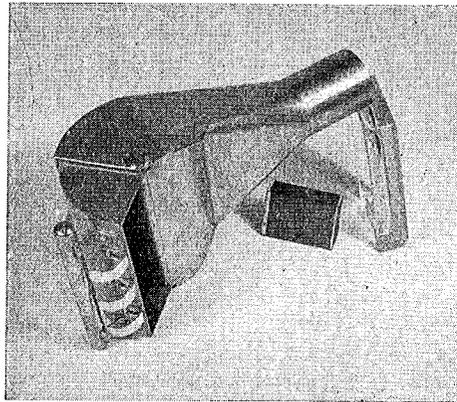


Bild 15

Modell eines Saugkopfes mit sich selbst einstellendem Visier

6. Gewichtsbelastung: Nur als Funktionssicherheit für das Visier und das Bringen des Kopfes an den Grund ist ein gewisses Gewicht erforderlich. Während der Arbeit preßt sich der Kopf infolge Druckdifferenzen in der Umgebung und im Innern des Kopfes an den Boden an.
7. Geteilte Saugfläche: Nur bei Baggerungen in besonders kurzweilig unebenem Boden könnte eine Unterteilung sich selbst einstellender Glieder vorteilhaft sein.
8. Kopfgröße: Der Kopf kann in gewissen Grenzen um so größer sein, je weicher der Boden oder je kleiner die Fahrgeschwindigkeit ist.
9. Getrennter Eintritt von Sand und Wasser: Ein Schürfen des Feststoffes von vorn und ein Wasserzutritt von hinten in den Kopf ist prinzipiell möglich, aber besonders wegen des hohen Zugbedarfs nicht vorteilhaft.
10. Reibung zwischen Saugkopf und Boden: Durch einen Rollkörper an Stelle des Gleit-
schuhs läßt sich der Zugbedarf wesentlich senken, im Modell bis gegen 50%. Eine
Walze ist auch auf dem Bild 19 zu erkennen. Die seitlich angeordneten Spikes sind
eine Rollhilfe für die Walze, die in den relativ weichen Modellboden einsinkt, was
ihr Rollen behindert. Die Gemischkonzentration ist bei den rollenden Köpfen etwas
kleiner, weil kein Seitenwall vorhanden ist.
11. Seitenwall: Bei den Gleitköpfen fließt das von dem Sandstau vor dem Kopf her-
rührende Feststoffmaterial seitlich ab und bildet einen Seitenwall, der einerseits
den Kopfabschluß gegen Ballastwasser verbessert und andererseits als zusätzliches
Baggergut in den Seitengriff des Saugkopfes gerät. Bei fehlendem Seitenwall müssen
begrenzende Seitenflächen tiefer herabgezogen werden.

4.32 Großversuche (Saugbagger „Johannes Gähns“)

4.321 Fahrt über Grund

Die Visiersaugköpfe (Bild 16) fördern bei gleicher Pumpenleistung N_p zeitlich um so mehr Feststoff V_{Ft} , je schneller sie über den Grund geführt werden, weil sie aus geringerer Tiefe ansaugen, weil durch schnellere Fahrt das seitliche Freisaugen behindert und der Saugspalt infolge der Gleitschuanordnung durch die geringere Abklapptiefe des Visiers verkleinert wird.

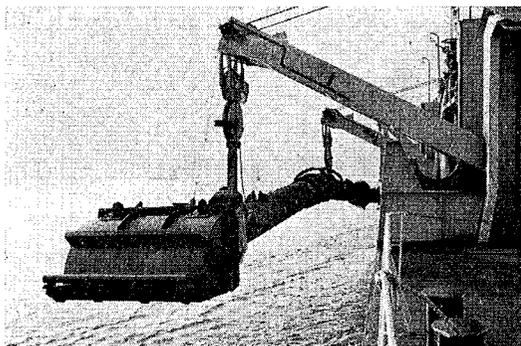


Bild 16
Backbord-Saugkopf des „Johannes Gähns“

4.322 Fahrt mit und gegen den Strom

Bei gleicher Geschwindigkeit gegen den Grund wurden mit der Tide fahrend 55 % mehr Feststoff gebaggert als gegen die Tide (Meßfahrt am 16. 11. 1961). Da die Köpfe von hinten ansaugen, unterstützt bei Fahrt mit der Tide die am Boden vorhandene Strömung die Arbeit der Baggerpumpe. Außerdem wird an Propulsionsleistung für das Schiff gespart.

4.323 Leistungsverteilung auf Propellerwellen und Baggerpumpen

Wegen Ausfalls eines Generators an Bord wurde mit Pumpenstufe 10 und Fahrstufe 7,5 gebaggert. Nach umgekehrter Aufteilung der Kraftwerksleistung, nämlich Fahrt mit Fahrstufe 10 und Pumpenstufe 8 ließen sich zeitlich 53 % mehr Feststoff fördern (Meßfahrt am 15. 8. 1962). Es zeigt sich die starke Verbesserung durch die gesteigerte Fahrgeschwindigkeit von $v_G = 0,3$ auf 1,0 m/s trotz verminderter Pumpenleistung.

4.324 Druckgefälle am Saugkopf

Bei gutkonzentrierter Baggerung mittelfesten Bodens beträgt das zum Herauslösen des Feststoffes und zum Heben und Beschleunigen des Gemisches verbrauchte Druckgefälle am Visiersaugkopf 4 m WS (Meßfahrt am 21. 3. 1963).

4.4 Baggern mit Bodenaufbereitung

4.41 Bodenaufbereitung

Der reine, oberflächlich angreifende Saugstrom löst hartgepackte feine Sande nur unbefriedigend aus ihrem Bodenverband, weshalb eine Lockerung des Materials vor dem Angriff des Saugstroms wünschenswert ist.

4.411 Schneiden

Feststehend oder rotierend am Schleppsaugköpfen angebrachte Schneiden ergaben im Ganzen keine Verbesserung. Die Feststoffförderung steigerte sich geringfügig, während der Zugbedarf des Kopfes anstieg und der Verschleiß groß war. Schneiden ist überhaupt nicht das richtige Verfahren zur Aufbereitung vor allem eingeschwemmter Sande. Deshalb mußten auch Versuche mit einzelnen starken Wasserstrahlen, durch hohle Reißzähne oder vom Niveau der Bodenoberfläche her in den Boden gebracht, erfolglos bleiben.

4.412 Schwemmen

Die Aufbereitung eingeschwemmter Sande, wie sie im Küstengebiet allgemein anfallen, geschieht zweckmäßigerweise durch erneutes Aufschwemmen. Ein geeignetes Verfahren besteht darin, daß ein höheres Druckpotential in eine gewünschte Tiefe unter die Baggergrundoberfläche in den Bereich des durchlaufenden Schleppsaugkopfes gelegt wird. Es soll sich eine über die Kopfbreite erstreckende Potentiallinie bilden, wozu die Strahldüsen in einer Reihe so eng nebeneinanderstehen, daß das Wasser der einzelnen Strahlen in der größten Strahleindringtiefe gerade eben ineinanderfließt. Wegen des Kopffortschreitens mit der Schleppgeschwindigkeit entwickelt sich die Potentiallinie zu einer Fläche mit zum Kopfende hin abnehmendem Potential, weil der Überdruck in der Potentiallinie sich bodenartabhängig mit einer gewissen Geschwindigkeit entspannt. Dadurch lassen sich Kapillar- und Reibungskräfte zwischen den Feststoffteilen aus dem Gleichgewicht bringen, die Auftriebskräfte am einzelnen Korn erhöhen und das wassergefüllte Porenvolumen vergrößern. Darin besteht die Bodenentfestigung, wobei gleichzeitig ein Teil des Transportwassers zum Absaugen des gebildeten Wasser-Sand-Gemisches eingebracht ist (Bild 17).

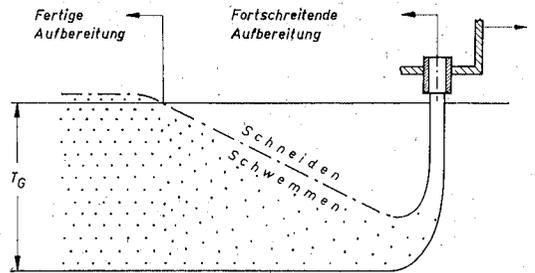


Bild 17

Prinzip der Bodenauflbereitung durch Druckwasserstrahlen

Nur soviel Baggergrundmaterial soll aufbereitet werden, wie dem Gemischfördervermögen der Förderanlage entspricht, d. h. ein bestimmtes Volumen je Zeiteinheit. Gemäß dem gewünschten Aufschwemmgrad ergibt sich die zeitlich einzubringende Druckwassermenge und der auf eine Düse entfallende Anteil. Strahl- und Düsendurchmesser leiten sich hieraus und aus der zu erwartenden Absaugtiefe T_G ab.

4.42 Modellversuche mit Druckwasser

Vorversuche zeigten, wie die Eindringtiefe von Wasserstrahlen in einem Modellboden von dem Düsendurchmesser, dem Strahl- und der Fortschrittgeschwindigkeit gegenüber dem Boden abhängt. Folglich kamen nur Durchmesser bis 3 mm für den vorhandenen Wasserleitungsdruck bis 45 m WS in Frage.

4.421 Visiergleitkopf mit schwenkbaren Strahldüsen

Fünf über die Kopfbreite von 130 mm verteilte Strahldüsen vor der Saugöffnung sind im Durchmesser austauschbar und bis 30° gegen die Lotrechte vorwärts und rückwärts neigbar. Eine Neigung nach hinten ist ungünstig, weil die Bodenauflbereitung erst hinter der durchlaufenden Saugöffnung erfolgt und damit wirkungslos ist. Ein gewisser Vorhalt ist bei schneller Fahrt angebracht, bei der auch etwas höhere Strahl-Drücke einsetzbar sind. Höhere Drücke verschlechtern beim Einsatz größerer Düsen die Feststoffförderung, weil zuviel Wasser eingebracht wird. Mit zu kleinen Düsen wird selbst bei weiterer Drucksteigerung kein ausreichender Quelleffekt erzielt.

Durch Verdichten mit einem Plattenrüttler ist der ursprünglich rollig-weiße Sandboden derart verfestigt worden, daß ein Prüfkegel nicht mehr 24 mm, sondern nur noch 17 mm tief in den Boden eindrang. Der harte Modellboden läßt sich gegenüber reiner Saugförderung bei mittlerer Fahrtgeschwindigkeit v und Pumpenleistung N_P durch die Wirkung von 5 mit einem Druck von 35 m WS strahlenden 1-mm-Düsen in über vierfacher Menge je Zeiteinheit fördern, während die Feststoffförderung des weichen Modellbodens bei dem gleichen Druckwasseraufwand noch um die Hälfte steigt (Bild 18). Außerdem sinkt der Zugbedarf des Kopfes mit fortschreitender Aufweichung, weil wegen des leichteren Nachgebens des Bodens das am Kopf verbrauchte Druckgefälle und der daraus resultierende Anpreßdruck des Kopfes an den Boden geringer ist.

4.422 Flachgleitkopf mit Flachvisier

Wenn die Gemischbildung durch Druckwasser erfolgt, ist die Einlauform strömungsgünstig und länger ausführbar. Diese Kopfverlängerung ist vorteilhaft, weil auch bei schnellerer Fahrt noch genügend Zeit zur Ausbildung des Quelleffektes vorhanden ist.

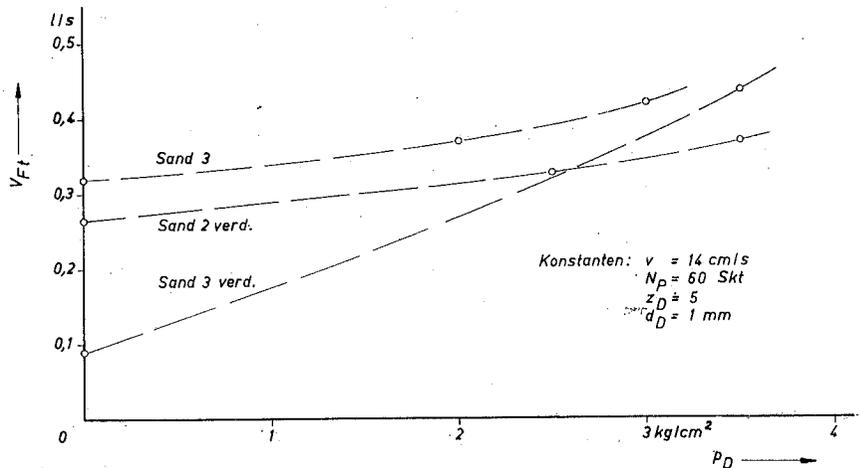


Bild 18

Abhängigkeit der Feststoffförderung V_{Ft} vom Strahlendruck p_D und Modellboden

Die Art der gestreckten Einlauform ist an den Köpfen nach Bild 19 und 20 erkennbar. Es läßt sich damit gleichzeitig die durch den reinen Sektoreinlauf des früheren Visiers konstruktionsbedingte große Kopfhöhe verkleinern, dadurch die Geschwindigkeit erhöhen und dem Entmischungsbestreben wegen kleiner Fließgeschwindigkeit entgegenwirken. Läufe entmischter Feststoff als Geschiebe, entzieht er sich in ungünstiger Weise zum Teil der transportierenden Kraft des Wassers.

4.423 Walzenkopf mit Flachvisier (Bild 19)

Nach den Erfahrungen mit den obengenannten Köpfen werden fünf senkrecht strahlende Düsen von 1,75 mm Durchmesser eingeschraubt und der Strahlendruck von 0 bis 30 m WS gesteigert. Durch die rollende Walze wird der schon durch die Bodenaufweichung verringerte Zugbedarf noch weiter vermindert. Die tiefergezogenen Seitenteile des Einlaufs schließen den Kopf trotz fehlenden Seitenwalls gut ab. Die Gleitschuhe sind dem Einlauf profilparallel und sorgen für eine von der Abklapptiefe unabhängige Saugspaltweite. Bei Einbau eines Visiers als Kreissektor wird deutlich, daß der Kopf zu kurz ist; wenn schneller gefahren wird, liegt die Feststoffförderung bei sonst gleichen äußeren Bedingungen niedriger als beim Einsatz des längeren Flachvisiers.

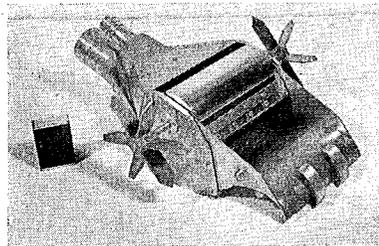


Bild 19

Modell eines rollenden Saugkopfes mit Flachvisier

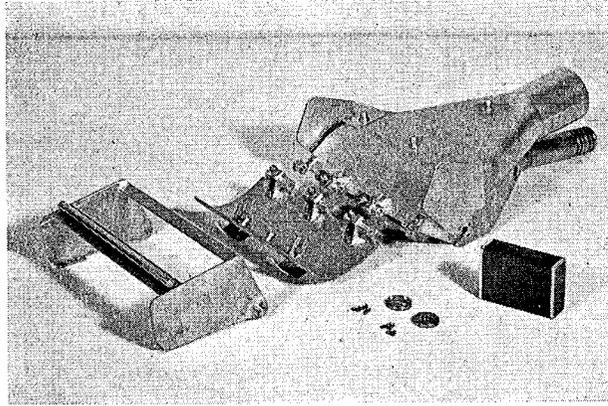


Bild 20
Modell eines Saugkopfes mit Spaltklappe und Seitenvisier

4.424 Flachgleitkopf mit Spaltklappe und Seitenvisier (Bild 20)

Die Spaltklappe sorgt für einen günstigen Saugspalt und das von ihr unabhängige Seitenvisier für einen immer guten seitlichen Abschluß, woraus sich die im Vergleich zu den anderen Köpfen höchstens Werte für die Feststoffförderung erklären. Infolge der Kopfkonstruktion wird die Tendenz der allgemeinen Förderverbesserung durch schnelleres Fahren geändert. Bei $v = 14 \text{ cm/s}$, der mittleren der drei Fahrtgeschwindigkeiten ergeben sich nun die besten Werte, die um 20 % und 30 % höher liegen als bei der größten und kleinsten Schleppgeschwindigkeit.

4.5 Gemischstrom

4.51 Konzentration

Jedenfalls in horizontalen und steigenden Rohrleitungen schlüpft der schwerere Feststoff im Wasser, d. h. die Geschwindigkeit des Feststoffs c_F ist kleiner als die des transportierenden Wassers c_W . Im Auffangbehälter wird als Effekt der Förderung die Transportkonzentration $\mu = V_{F(t)} / V(t)$ festgestellt. Im Rohrquerschnitt nimmt der Fest-

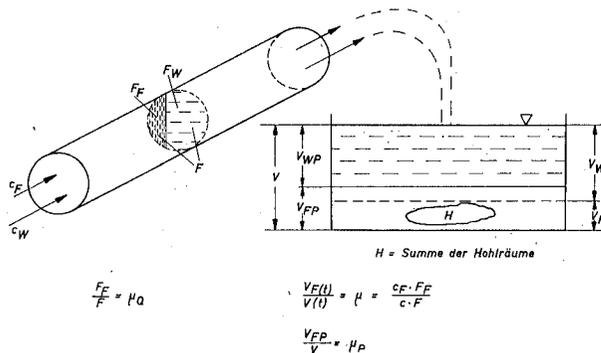


Bild 21
Querschnitt — (μ_Q) und Transport — (μ) Konzentration

stoff wegen des Schlupfes einen größeren Anteil als im Behälter ein; Die Querschnittskonzentration $\mu_Q = F_F / F$ ist größer als die Transportkonzentration (Bild 21).

$$\frac{1}{\mu_Q} - 1 = \frac{c_F}{c_W} \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right).$$

Je größer der Schlupf infolge größeren Kornes oder größerer spezifischer Schwere des Feststoffes ist, um so größer ist auch der Unterschied zwischen Querschnitts- und Transportkonzentration. μ resultiert aus den Angaben des Auffangbehälters (Meßbehälter bei Modellversuchen, Laderaum bei Großversuchen). Der Schlupf läßt sich durch Messung von c_W über $F_W = V_{Wt}/c_W$, $F_F = F - F_W$ und $c_F = V_{Ft}/F_F$ oder durch Bestimmung von μ_Q aus der Rohrgemischwichte γ_Q ableiten. c_W ist nach dem Induktionsprinzip von Faraday, γ_Q durch Messung des statischen Drucks an zwei übereinander liegenden Stellen eines senkrechten Rohrleitungsstückes oder durch ein radioaktives Absorptionsverfahren mit Rohrdurchstrahlung ermittelbar. Durch die Messung des statischen Drucks ergab sich das mittlere Verhältnis der Geschwindigkeiten von Feststoff zu Wasser im senkrecht steigenden Druckrohr des Baggers bei der Förderung feinen Sandes von etwa 0,1 mm Korndurchmesser zu $(c_F/c_W) > 0,9$ (Meßfahrt am 21. 3. 1963) und im engeren Modellsaugrohr zu $0,8 < (c_F/c_W) < 0,9$.

4.52 Steigerung der Konzentration

Während sich feinkörniger Feststoff besser in Rohrleitungen transportieren läßt als grobkörniger, ist grobkörniger durch den Saugstrom des Kopfes leichter aus dem Bodenverband zu lösen als feinkörniger, der meist fest gelagert ist. Mit wachsender Baggertiefe steigert sich die Abreißgefahr des Saugstroms, wenn durch vergrößerten Feststoffgehalt die Gemischwichte ansteigt oder der Schlupf infolge wachsender Korngröße zunimmt. Die größere Hubarbeit und die mit steigender Konzentration wachsende Reibung vermindern die Fließgeschwindigkeit in der Rohrleitung (Meßfahrt am 15. und 16. 11. 1961).

Die geförderte Feststoffmenge V_{Ft} ergibt sich aus dem Produkt vom Rohrquerschnitt F , der Fließgeschwindigkeit c und der Transportkonzentration (V_F/V). Die beiden veränderlichen Teilfaktoren c und (V_F/V) sollten so kombiniert werden, daß ihr Produkt ein Maximum wird. Demnach hat es keinen Zweck, eine höhere Transport-Gemischwichte als $\gamma = 1,4 \text{ t/m}^3$ anzustreben.

4.6 Folgerungen

Gemäß den bisher aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnissen läßt sich über sandbaggernde Schleppsaugköpfe folgendes aussagen.

1. Nur Schleppsaugköpfe mit sich selbst einstellenden Teilen saugen Feststoff allgemein befriedigen.
2. Die zeitliche Feststoffförderung steigt mit der Fahrtgeschwindigkeit, wobei sich der Zugbedarf ebenfalls erhöht.
3. Breite Köpfe fördern Feststoff besser als schmale.
4. Die Aufteilung eines Saugquerschnittes ist nur in besonderen Fällen günstig.
5. Eine getrennte Zuführung von Sand und Wasser ist prinzipiell möglich, aber nicht vorteilhafter.

6. Mit einem verbesserten seitlichen Abschluß des Kopfes gegen den Grund läßt sich die Konzentration des Baggergemisches steigern.
7. Durch einen Rollkörper anstelle des Schleppschuhs ermäßigt sich der Zugbedarf wesentlich.
8. Fahren vor der Tide bringt eine Ersparnis an Fahrtleistung und unterstützt bei den wesentlichen von hinten ansaugenden Köpfen die Arbeit der Baggerpumpe.
9. Im Falle eines Energiemangels ist der Fahrtleistung gegenüber der Pumpenleistung der Vorzug zu geben.
10. Allein durch Ändern der Baggertechnik läßt sich die Ertragsleistung der eingesetzten Geräte steigern.
11. Die Aufbereitung eines Baggergrundes aus feinkörnigem, hart gepacktem Sand geschieht zweckmäßigerweise durch Aufschwemmen.
12. Besonders die Förderung festgelagerter Böden läßt sich mit Hilfe von Druckwasser beträchtlich erhöhen.
13. Die richtige Druckwassermenge hängt von der anfallenden Bodenart ab.
14. Eine Strahldüsenreihe soll vor dem Saugquerschnitt dicht über dem Boden liegen und das Aufbereitungswasser gut verteilt, jedoch in gleicher Richtung etwa senkrecht in den Boden drücken.
15. Die unterste Begrenzung der Quellzone ist durch Abstimmung von Durchmesser und Druck der Strahlen in die Tiefe der nachfolgend vom Saugkopf hergestellten Grabensohle zu legen.
16. Der Zugbedarf des Kopfes sinkt mit fortschreitender Bodenaufweichung.
17. Mit Druckwasseraufbereitung arbeitende Köpfe müssen länger sein und können hinsichtlich der Gemischführung strömungsgünstiger gebaut werden.
18. Es ist vorteilhafter, Druckwasser zur Bodenaufbereitung einzusetzen, als die Baggerpumpen zu verstärken.
19. Richtiger Druckwassereinsatz zur Bodenaufbereitung erhöht die Wirtschaftlichkeit von Laderaumsaugbaggern.

Schrittumsverzeichnis

- [1] Frederich C. SCHEFFAUER, The hopper dredge — Editor in Chief. United States Government Printing Office, Washington.
- [2] H. WAAS, H. WALTER und andere. „Rudolf Schmidt“ und „Johannes Gähns“ zwei neue Laderaumsaugbaggern für die Fahrwasserunterhaltung an der deutschen Nordseeküste. Schiffstechnik, 8. Band, 43. Heft, Seite 177—234 Sept. 1961.
- [3] Henry G. A. HAYWARD. Sidecast (Boom) dredging. Foreign experience and local application — Bulletin of the Permanent International Association of Navigation Congresses, 1962/Vol. II, No. 4.
- [4] BLAUM/v. MARNITZ. Die Schwimmbagger. Erster Band: Bodentechnische Grundlagen Saugbagger — Springer-Verlag Berlin.