

Dipl.-Geol. K.-W. R u c k

Inhalt

SONDIERUNGEN ZUR ERKUNDUNG UNTERHALB DER GEWÄSSERSOHL

Seite

VON SCHWIMMENDER ARBEITSPLATTFORM

1. Einleitung 123

2. Kite Soundings for Investigations below the Sea-Bottom from a swimming Platform 123

3. Weiter entwickelte Sondierverfahren zur Erkundung unterhalb der Gewässersohle 126

3.1. Untersuchungsverfahren mit fester Verbindung mit schwimmender Arbeitsplattform 126

3.1.1. Bodensonde 126

3.1.2. Stabsonde 127

3.1.3. Schnursonde 128

3.1.4. Vibrationssonde 129

3.2. Geräte mit fester Verbindung mit dem Schiff 131

3.2.1. Schiffsonden 131

3.2.2. Kamerasondierungen 134

3.2.3. Fingersondierungen 136

3.2.4. Lasersondierungen 138

3.3. Schall- und geoelektrische Verfahren 137

3.4. Spezialuntersuchungen 137

4. Anwendungsbeispiele 138

4.1. Großock HDW 138

4.2. Hafen Puerto Limon, Costa Rica 139

Zusammenfassung

Für Küsten- und Meeresforschungen, Wasserbaumaßnahmen, Lagerstättensuche im Seegebiet und andere Aufgaben sind Bodenaufschlüsse erforderlich. Die hierbei eingesetzten Geräte und Methoden werden beschrieben und Anwendungsbeispiele gegeben.

Summary

For offshore - and ocean research purposes, hydraulic construction problems, searching for deposits and other tasks subsurface investigations are indispensable. The equipment used and the methods are discussed and examples of their application are given.

I n h a l t

	Seite
1. Einleitung	123
2. Ältere Methoden	123
3. Weiter entwickelte sowie neu entwickelte Aufschlußmöglichkeiten zur Erkundung unterhalb der Gewässersohle	126
3.1 Untersuchungsmethoden mit loser Verbindung mit schwimmender Arbeitsplattform	126
3.1.1 Bodengreifer	126
3.1.2 Stoßröhren	127
3.1.3 Schußsonde	128
3.1.4 Vibrationskernsonde	129
3.2 Geräte mit fester "Verbindung mit dem Schiff"	131
3.2.1 Schlitzsonden	131
3.2.2 Rammsondierungen	134
3.2.3 Flügelsondierungen	136
3.2.4 Isotopensonierungen	136
3.3 Schallmeß- und geoelektrische Verfahren	137
3.4 Spezialuntersuchungen	137
4. Anwendungsbeispiele	138
4.1 Großdock HDW	138
4.2 Hafen Puerto Limon, Costa Rica	139
4.3 Vergleichende Messungen längs einer Reihe von Bohrungen im Fehmarnbelt mit Hilfe eines Sparkers der Firma Edgerton	141
5. Schlußbetrachtung	141
6. Literatur	142

1. Einleitung

Für Wasserbaumaßnahmen sowie Küsten- und Meeresforschung werden Bodenaufschlüsse unterhalb der Gewässersohle vor Baubeginn und Bodenuntersuchungen während der Bauzeit erforderlich. Weiterhin müssen Bodenaufschlüsse zur Lagerstättensuche unterhalb der Gewässersohle ausgeführt werden. Dies kann von festen Plattformen oder von schwimmenden Geräten erfolgen. Aufschlüsse von festen Plattformen, wie von Hubinseln, Bohrinseln kommen i.a. nur für tiefere Spezialbohrungen infrage und werden hier nicht weiter angesprochen, da sie sich in den Bohrmethoden kaum von den Arbeiten auf Land unterscheiden. Bis vor kurzem wurden hier überwiegend die auch auf Land eingesetzten Bohrmethoden zur Anwendung gebracht. Diese sind kostenaufwendig, da sie im Hinblick auf den erforderlichen Schiffspark aufwendig sind und zeitraubend durch die Arbeitsdauer.

Es war daher notwendig, weniger aufwendige Untersuchungsmethoden zu entwickeln. Von der Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste - Fachgruppe Geologie, deren Erfahrungen in diesem Bericht dargestellt werden, wurden schwimmende Aufschlußverfahren weiter und neu entwickelt, die einmal den Fahrzeugaufwand vermindern, zum anderen die Arbeitsdauer verkürzen. Besonders die Verkürzung der Arbeitsdauer führt zu besseren Ergebnissen, da häufig nur kurzfristige Zeiten mit brauchbarem Wetter zur Verfügung stehen und nur in dieser Zeit die Aufschlußarbeiten durchgeführt werden können und müssen.

Um hier eine weitere Verbesserung möglich zu machen, mußten auch Methoden gefunden werden, die größere Bewegungen des Bohrfahrzeuges zuließen, ohne daß das Bohrgerät dabei beschädigt oder zerstört wurde.

2. Ältere Methoden

Der Ansatz von Bohrungen in Gewässern von einer schwimmenden Plattform erfordert ein größeres Schiff bzw. Arbeitsfahrzeug. Das Bohrrohr wird von diesem Schiff aus abgeteuft und in den Boden eingetrieben. Bedingung dafür, daß das Rohr nicht durch Schiffsstoß verbogen bzw. abgeknickt wird, ist ein absolutes Festlegen des Schiffes mit geringsten Bewegungen. Dieses ist bei bewegter See nur selten möglich. Die Bohrungen können daher nur bei sehr günstigen Wetterbedingungen ausgeführt werden. Eine erste Verbesserung wurde bei Voruntersuchungen für eine Großbrücke im Fehmarn-Belt zwischen Deutschland und Dänemark angewendet. Hierbei wurde eine Kragbühne eingesetzt, bei der zwei Plattformen auf Rollen sich gegeneinander bewegen konnten, so daß gewisse kleinere Schiffsbewegungen aufgenommen werden konnten, ohne daß das Rohr verbogen oder abgeknickt wurde. (Abb.1). Bei etwas stärkerem Seegang ist hierbei das Bohrrohr ebenfalls gebrochen, d.h. es war nur eine bedingte Verbesserung, zumal die Ausführung einer Bohrung mehrere Tage dauert und in dieser Zeit häufig ungünstige Witterungsbedingungen plötzlich auftreten. Die Bohrung muß dann abgebrochen und neu angesetzt werden, so daß es passieren kann, daß eine Bohrung über eine bestimmte Tiefe nicht hinauskommt, da sie ständig durch Schlechtwetter in ihrer Ausführung gestört wird. Besondere Schwierigkeiten traten bei Spezialuntersuchungen auf, wie sie beim Bau des Elbe-Tiefwasserhafens in Brunsbüttel zum ersten Male erforderlich wurden. Hier ist ein Bodenaustauschverfahren unter Wasser durchgeführt worden. Dabei traten zwei Probleme auf:

- a) Untersuchung der Sohle der Unterwasserbaugrube auf noch verbliebene oder neu sedimentierte auszutauschende Weichschichten.
- b) Untersuchungen des mit Klappschuten eingefüllten Ersatzbodens rolliger Art auf Lagerungsdichte.



Abb. 1 Kragbühne

Die bisher auf Land üblichen Untersuchungsmethoden waren hierfür nicht anwendbar. Für die Untersuchung der Sohle wurde eine Sonderausfertigung eines Bodengreifers, System "Van-Veen" eingesetzt, mit dem die obersten Schichten erfaßt werden konnten. Die Mächtigkeit der noch verbliebenen Weichschicht konnte dabei nicht festgestellt werden. Hierfür wurde zum ersten Male die übliche Nutsonde, die auf Land als sog. "Geologensonde" bekannt war, angewendet. Damit gelang es, die noch auszubaggernden Mächtigkeiten festzustellen und zu kartieren. Beim Einsatz der Nutsonde, wie sie auf Land zur Anwendung kam, konnte hier ausreichend die Mächtigkeit des noch zu entfernenden nicht tragfähigen Bodens bestimmt werden, da es sich um einen bindigen Boden, einen Klei, handelte. Dieser Boden blieb in der Nut und wurde nicht ausgewaschen, auch wenn die Nut durch eine Wassertiefe von 22 m nach oben gezogen wurde. Wenn rollige Bodenarten, besonders wenn Feinsande und Mittelsande anstanden, wurde dieser Sand beim Ziehen der Nut ausgespült. Insofern mußten Möglichkeiten gefunden werden, dies Ausspülen des Bodens zu verhindern. Weiterhin wurde festgestellt, daß sich bei starker Strömung die Gestänge der Nutsonden im Wasser durchbogen und dann nicht mehr in den Boden unterhalb der Gewässersohle eintreiben ließen. Auch hier mußten Möglichkeiten gesucht werden, um die Sonde mit ausreichender Sicherheit anwenden zu können.

Für die Untersuchungen der Lagerungsdichte wurden zunächst Spitzendrucksonden eingesetzt. Diese Untersuchungsmethode war sehr aufwendig, da die Spitzendrucksonde nicht vom Schiff eingesetzt werden konnte und jeweils

ein Podest durch Einrammen oder Einspülen der Pfähle des Podestes geschaffen werden mußte, von dem dann die Spitzendrucksondierungen nur ausgeführt werden konnten.

Hier wurde zum ersten Male eine schwere Rammsonde vom Schiff aus eingesetzt, da die Eindringung unabhängig von einer Totlast war. Der Rammbar konnte dabei unabhängig vom Schiff auf die Sonde gesetzt werden und die Sonde eintreiben (Abb.2). Unbekannt war zunächst, welche Eindringungen einer ausreichenden Lagerungsdichte entsprachen. Hierfür wurden Vergleichssondierungen mit Spitzendrucksonden durchgeführt, und zwar wurde sowohl mit der Spitzendrucksonde - "holländisches System" - als auch mit der Spitzendrucksonde - "System Maihak" - gearbeitet, um sichere Vergleiche zu ermöglichen. Während eine Spitzendrucksondierung mit Herstellen des Podestes ca. 4 Tage bis 1 Woche dauerte, konnten an einem Tage mind. 2 schwere Rammsondierungen ausgeführt werden. Die Möglichkeiten der Lagerungsdichteuntersuchungen waren damit wesentlich erweitert. Es konnte im gleichen Zeitraum mit der schweren Rammsonde ein wesentlich dichteres Kontrollnetz über das Untersuchungsgebiet gezogen werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse und Erfahrungen begannen die Entwicklungen von Seesondierungsmethoden bei der Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste - Fachgruppe Geologie.

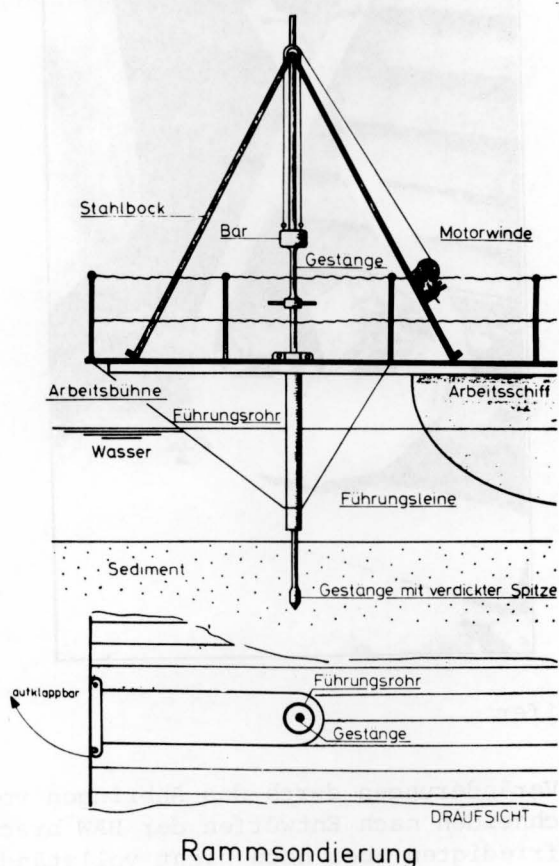


Abb. 2 Rammbar / Sonde

3. Weiter entwickelte sowie neu entwickelte Aufschlußmöglichkeiten zur Erkundung unterhalb der Gewässersohle

Die Aufschlußmethoden können nach verschiedenen Gesichtspunkten gegliedert werden. Es erscheint sinnvoll, sie nach der jeweiligen Abhängigkeit vom Schiff zu unterteilen.

3.1 Untersuchungsmethoden mit loser Verbindung mit schwimmender Arbeitsplattform

3.1.1 Bodengreifer

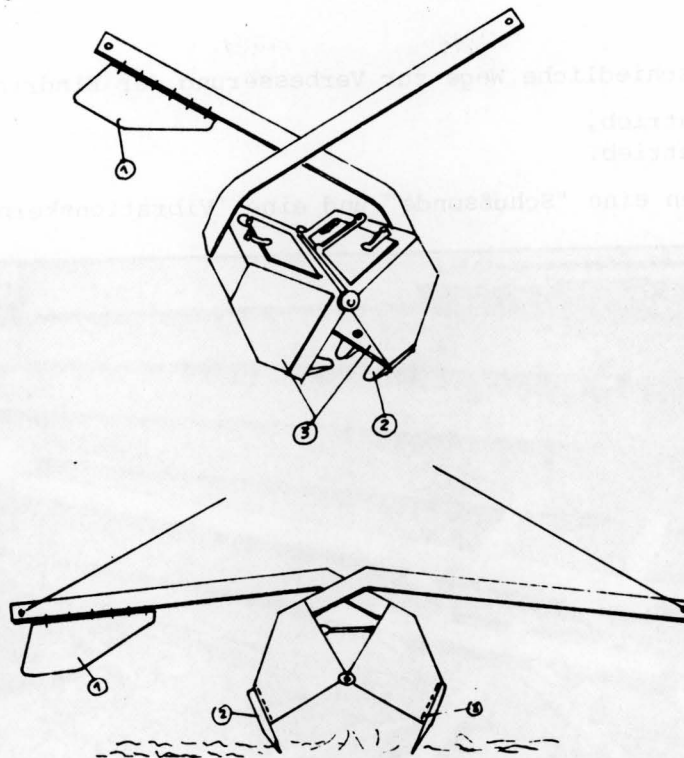
Hierfür stehen im allgemeinen die Greifer des Systems Van Veen zur Verfügung (Abb.3). Sie können allerdings nur die oberste Bodenschicht erfassen. Ihre maximale Eindringtiefe beträgt je nach Größe des Greifers ca. 0,10 bis 0,50 m. Diese Greifer können auch nur bei feinkörnigen rolligen oder weichplastischen bindigen Bodenarten erfolgreich angewendet werden. Bei starker Durchsetzung mit gröberen Körnungen von der Kiesfraktion ab schliessen die Greifer häufig nicht mehr und das Feinkorn läuft aus. Die Probe wird für die Beurteilung unbrauchbar.



Abb. 3 VAN VEEN-Greifer

Zusätzliche Veränderungen durch das Anbringen von Strömungsleitflossen und Zähnen und Schneiden nach Entwürfen der BAW brachten eine wesentliche Verbesserung, befriedigten aber noch nicht vollständig (Abb.4).

In diesem Falle kann ein anderes Greifersystem, und zwar ein "Schürfgreifer" eingesetzt werden. Dieser Schürfgreifer ist schwerer als der VAN-VEEN-Bodengreifer und gewinnt die Bodenproben mit einem Schürfkübel, der auf einem Zwangsweg im Halbkreis bewegt wird und dabei schürfend gefüllt wird. Auch hier ist die Eindringung bei einer Tiefe von ca. 0,25 bis 0,35 beendet.



Bodengreifer mit Strömungsleitflossen

Abb. 4 Strömungsleitflossen

3.1.2 Stoßröhren

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz einer "Stoßröhre" (Abb.5), die durch ihr Eigengewicht bzw. durch Belastung mit Gewichten in den Boden eindringt. Hier sind verschiedene Typen im Einsatz. Auch bei dieser Entnahmemethode sind sehr enge Grenzen in der Anwendung gesetzt. Im allgemeinen hat dies System nur bei sehr weichen Bodenarten bindigen Charakters Erfolg. Die Stoßröhre kann dann bis zu 2,0 m eindringen und Kerne gewinnen unter der Voraussetzung, daß der Boden breiig bis weichplastisch ist. Bei rolligen Bodenarten ist die Eindringung schon bei lockerer Lagerung durch Eigengewicht nicht mehr gegeben. Das Gerät dringt nur wenige Zentimeter ein, fällt dann um und dringt nicht weiter in den Boden ein. Durch Fallgewichte oder durch ein Rammgewicht kann eine etwas bessere Eindringung erzielt werden. Nach vorliegenden Erfahrungen ist die Eindringung im allgemeinen nicht stärker als 0,3 - 0,5 m, selbst bei Einsatz von Rammgewichten.

Diese Geräte befriedigten daher nicht. Besonders für Baugrundaufschlußzwecke war ihre Entnahme zu gering. Bei der Weiterentwicklung der Rammsonden mußte daher die Eintriebsenergie verstärkt werden, um eine ausreichende Aufschlußtiefe zu erreichen, besonders auch in rolligen Bodenarten mit dichter Lagerung. Bei rolligen Bodenarten war es weiterhin von Bedeutung, eine Möglichkeit zu finden, die Bodenproben sofort bei der Entnahme in ein entsprechendes Transportgefäß zu bringen, in dem die Proben ohne weitere Störung zur Untersuchung ins Labor transportiert werden konnten.

Die Bundesanstalt für Wasserbau - Fachgruppe Geologie - beschrift

hier zwei unterschiedliche Wege zur Verbesserung der Eindringung, und zwar

- a) Explosionseintrieb,
- b) Vibrationseintrieb.

Daraus entstanden eine "Schußsonde" und eine "Vibrationskernsonde".



Abb. 5 Stoßröhre

3.1.3 Schußsonde

Ein weiteres Gerät, ausschließlich bei der BAW entwickelt, das nur geringe Verbindung mit dem Schiff benötigt und aufrecht auf der Gewässersohle arbeitet, ist die sog. "Schußsonde" (Abb.6). Dieses Gerät arbeitet nach dem Prinzip eines Geschützes. Ein Kernentnahmestutzen lagert in einem Gestell mit einer belasteten Grundplatte und wird an einen Kopf, ähnlich dem Verschußstück eines Geschützes, in dem eine Kartusche eingelegt wird, angesetzt. Durch elektrische Zündung wird der Entnahmestutzen in den Boden eingeschossen. Hierbei wird ein Bodenkern sofort in einen Plastikschlauch eingezogen und kann nach der Aufnahme des Gerätes an Bord des Schiffes aus dem Entnahmestutzen entnommen werden und zur weiteren Untersuchung ins Labor transportiert werden. Das Gerät wurde zunächst mit einer Entnahmelänge von 1 m entwickelt. Die jetzige Weiterentwicklung ermöglicht eine Entnahmelänge von ca. 1,50 m. Die Kerne haben einen Durchmesser von 7 cm. Gehalten wird ähnlich wie bei der Vibrationskernsonde die Bodenprobe durch einen Federverschluß am unteren Ende des Entnahmestutzens. Ein lotrechtes Eindringen des Kernes wird dadurch gewährleistet, daß eine Zündungssperre in das Gerät eingebaut ist, so daß eine Zündung bei Schiefstellung verhindert wird. Dies Gerät kann vom vor einem Anker liegenden Schiff aus eingesetzt werden und hat somit den geringsten Aufwand beim Einsatz von Schiffen. Es können bei günstigen Bedingungen damit bis zu 12 Entnahmen pro Arbeitsschicht durchgeführt werden. Besonders bei Untersuchungen für Sohlbaggerungen in Wasserstraßen ist für dieses Gerät eine Einsatzmöglichkeit gegeben.

Auch für Untersuchungen von Sandmächtigkeiten über bindigen Böden ist das Gerät sehr gut verwendbar. Die Bodenprobe wird nur in ihrer Lagerungsdichte durch die Explosionswirkung gestört. Die Schichtenfolge, auch die der Feinschichtung, bleibt erhalten wie bei Schlauchkernbohrungen.

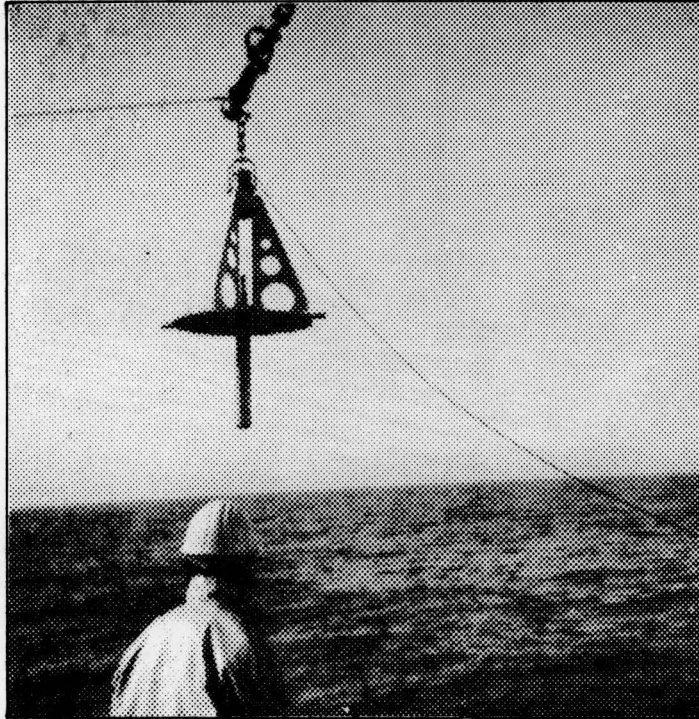


Abb. 6 Schußsonde

3.1.4 Vibrationskernsonde

Bei der Vibrationskernsonde wurde zunächst ein serienmäßiges Gerät beschafft und eingesetzt. Dieses Gerät befriedigte im Hinblick auf die Eindringtiefe und auf die Kontrolle der Vorgänge unter Wasser nicht (Abb.7). Daher mußte das Gerät weiter entwickelt werden. Aus der Erkenntnis, daß bei der Eindringung nicht allein die Stärke der Vibration, sondern auch das Eintriebsgewicht und das Zusammenspiel beider Faktoren von Bedeutung ist, wurde das Gerät daraufhin weiterentwickelt. Zusätzlich zur Vibration kamen Ballastierungen zum Einsatz. Damit gelang es dann nach zahlreichen Versuchen, Kerne von 5 m Länge auch in dicht gelagerten Sandböden zu entnehmen.

In das Kernentnahmerohr wird ein Plastikrohr eingesetzt, mit dem die Probe aus dem Kernentnahmerohr herausgenommen werden kann. Dieses Rohr kann verschlossen werden und ins Labor geliefert werden. Zur Kontrolle der Arbeitsvorgänge des Gerätes unter Wasser und der jeweiligen Eindringtiefe und Zeit wurden Meßgeräte auf dem Prinzip der U-Bootstiefmesser entwickelt und eingebaut, mit der sich die Eindringtiefe und Zeit unter Wasser verfolgen läßt. Zur Zeit ist eine Neuentwicklung in Arbeit, die es ermöglichen soll, Kerne bis zu 10 m Länge unterhalb der Gewässersohle zu entnehmen. Die Kerne der jetzigen Sonde haben bis 5 m Länge und 7 cm Durchmesser. Weiterhin können kürzere Rohre von 2 bis 3 m Länge mit größerem Durchmesser eingesetzt werden, die zur Entnahme von Bodenkernen in grobkörnigen Bodenarten geeignet sind.

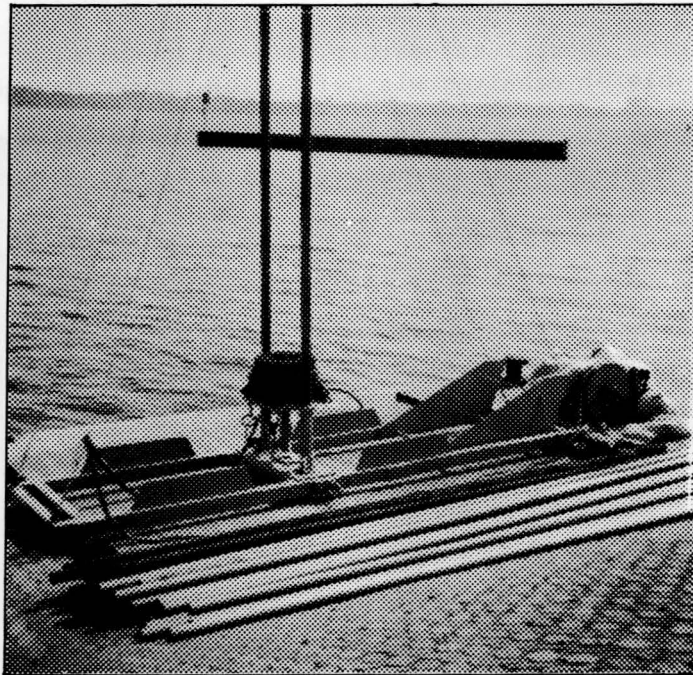


Abb. 7 Vibrationskernsonde

Damit lassen sich auch Grobkiesschichten und Geröllschichten durchfahren. Die entnommenen Kerne können an Ort und Stelle geöffnet und angesprochen werden (Abb.8), sie können aber auch im Plastikrohr ins Labor transportiert werden und dort geöffnet werden.

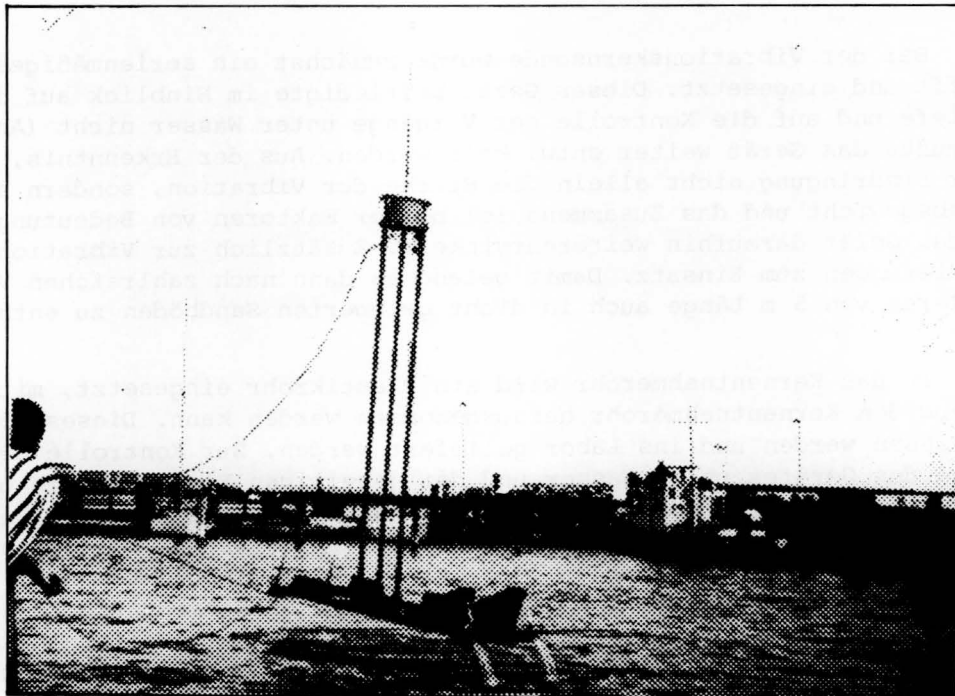


Abb. 8 Vibrationskern im Einsatz

Sie können dabei insgesamt geöffnet werden und aber auch in kleinere Teile zerschnitten und Stück für Stück zur Untersuchung herangezogen werden. Das Gerät wurde für Untersuchungen für Naßbaggerarbeiten bereits in zahlreichen Fällen mit Erfolg eingesetzt; auch bei Spezialuntersuchungen zur Klärung des Aufbaues von Rippeln in Tideflüssen konnten hiermit neuere Erkenntnisse gewonnen werden. Es war damit möglich, die Feinschichtung von Rippeln festzustellen und die Wanderung und Umlagerung von eingegebenem mit fluoreszierenden Farben markiertem Material, sog. "Luminophoren" innerhalb von Rippeln zu verfolgen, besonders die Umlagerung in die Tiefen von an der Oberfläche eingegebenem Material.

Die Entnahme einer Bodenprobe mit diesem Gerät benötigt einen Zeitaufwand von ca. 10 min. Das Schiff kann dabei entweder vor einem Anker liegen oder bei entsprechender Maschinenkraft mit der Maschine auf der Stelle gehalten werden. Im allgemeinen können mit dieser Methode unter normalen Umständen ca. 6 Proben pro Arbeitsschicht entnommen werden, max. wurden bis zu 12 Proben entnommen. Durch die Möglichkeit, die Eindringung des Gerätes festzuhalten und auch die Eindringgeschwindigkeiten zu messen, besteht in Zukunft die Möglichkeit, auch Aussagen über die Lagerungsdichte des anstehenden Bodens aus diesen Messungen zu erhalten. Die Qualität der Kerne entspricht denen von sogenannten "Schlauchkernbohrungen".

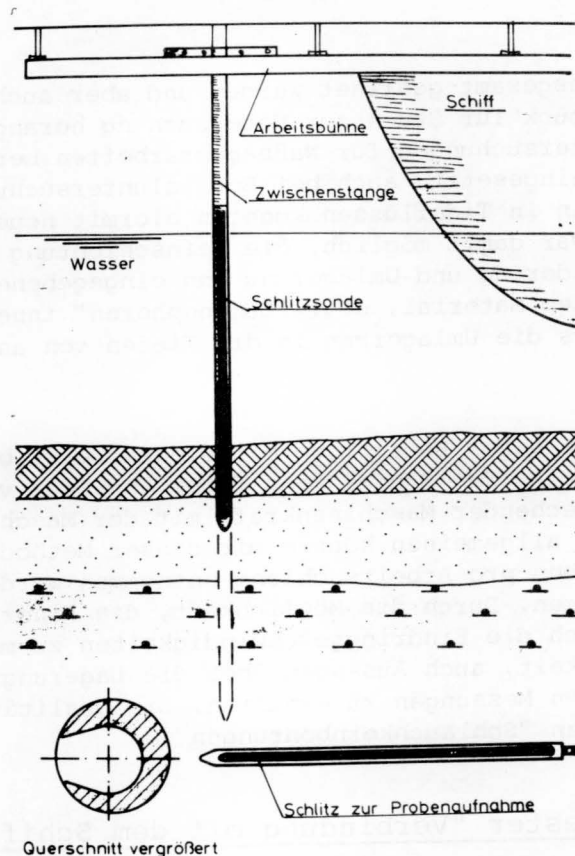
3.2 Geräte mit fester "Verbindung mit dem Schiff"

Die bisher beschriebenen Geräte haben zur Zeit eine maximale Aufschlußtiefe von 5 m unterhalb der Gewässersohle mit der Vibrationskernentnahmesonde. Für Wasserbaumaßnahmen werden aber öfter auch größere Aufschlußtiefen erforderlich.

3.2.1 Schlitzsonden

Um größere Aufschlußtiefen erreichen zu können, wurde auf das System der "Schlitzsondierungen" zurückgegriffen. Dieses Sondiersystem ist auf Land bereits seit langem im Einsatz. Bekannt ist die sogenannte "Geologensonde". Die Geologensonde wurde mit einer Entnahmenut von 1 m Länge, in der in einem Schlitz eine Probenentnahme möglich ist, früher mit Hämmern in den Boden eingeschlagen. Nachdem dies Gerät durch Einsatz von verschiedenen mechanisierten Eintriebsgeräten und hydraulischen Ziehgeräten verbessert wurde, kam es auch für einen Einsatz auf See infrage.

Es wurden zunächst Versuche angestellt und dabei festgestellt, daß mit zunehmender Wassertiefe der Einsatz immer schwieriger wurde, da durch Strömungen und besonders auch durch die starke Energie des Einschlaggerätes die Sonde im freien Wasser sich durchbog und damit ein Großteil der Eintriebsenergie verlorenging und die Sonde auch von der Lotrechten abwich. Mit dem zunächst eingesetzten auch an Land benutzten offenen Schlitz konnten nur bindige Bodenarten gezogen werden (Abb.9). Die rolligen Bodenarten fließen selbst bei geringen Wassertiefen durch Auswaschen aus. Das Ausbiegen des Gestänges der Sonde im Wasser wurde durch das Einführen eines "Führungsrohres" für die Sonde in einer Stärke von 1 1/2", in dem das Sondengestänge bis zur Gewässersohle geführt wurde, verhindert. Dabei durfte das Führungsrohr nicht in den Boden einbinden, um eine sogenannte "Verheiratung" des Sondengestänges mit dem Rohr und damit Verminderung der Eindringung zu verhindern.

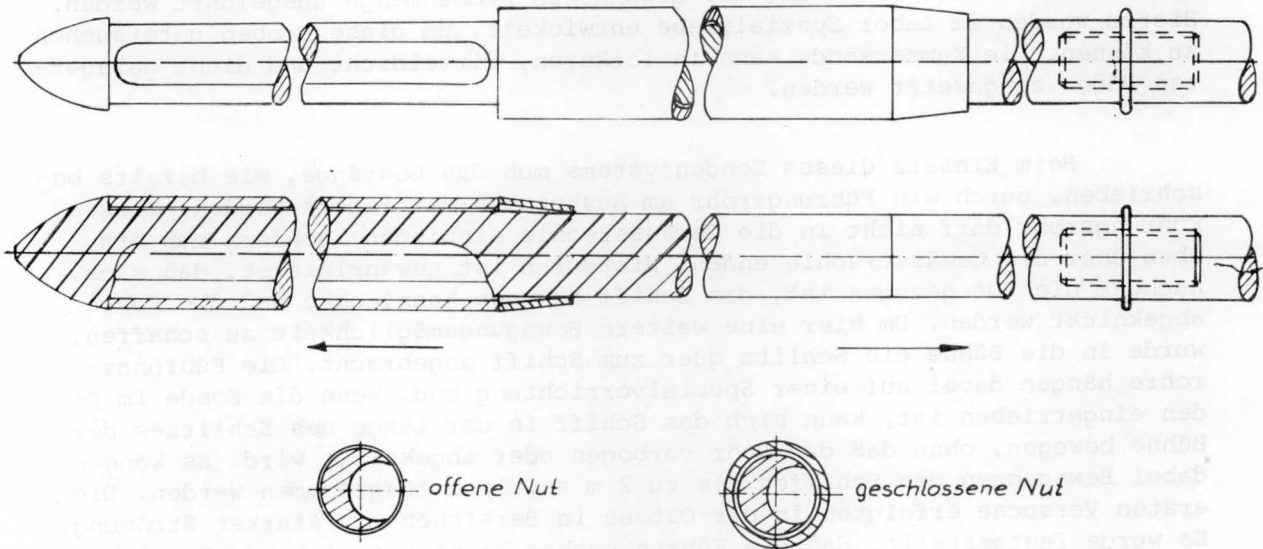


Schlitzsonde

Abb. 9 Sonde (offener Schlitz)

Um ein besseres Verbleiben des Bodens im Schlitz zu ermöglichen, wurde die Sonde verändert und die Öffnung der Sonde etwas verkleinert. Dadurch wurde das Festhalten der Probe etwas verbessert, aber bei rolligen Bodenarten blieben meist nur Reste im Schlitz. Es wurden daher zunächst Versuche gemacht, dieses Auswaschen zu verhindern. Beim Ziehen der Sonde ab Gewässersohle wurde durch ein von oben heruntergelassenes Stahlmantelrohr der Schlitz abgeschlossen, um die Probe so zu schützen. Diese Versuche befriedigten nicht, so daß weitere Entwicklungen erforderlich waren. Als nächstes kam der Versuch, ein Stahlrohr unmittelbar mit in den Boden einzutreiben und im Boden über den Entnahmeschlitz zu streifen, um dadurch den Boden am Ausfließen zu verhindern. Es kam dabei aber häufig kein Verschließen zustande, da durch größere Körner das Stahlrohr in seiner ursprünglichen Stellung festgehalten wurde und den Schlitz nicht schloß. Mit dem Einsatz von Plastikmaterial wurde eine Verbesserung erzielt. Es wurde eine Entnahmesonde entwickelt, bei der mit guter Sicherheit ein Plastikrohr mit in den Boden eingetrieben wird. Dieses wird durch eine Verdickung im Gestänge durch die Mantelreibung beim Eintreiben in den Boden unmittelbar über der Schlitzsonde gehalten. Beim Ziehen der Sonde wird wiederum durch die Mantelreibung des Bodens das Plastikrohr festgehalten und unmittelbar die Nutsonde in das Plastikrohr eingezogen. Das Plastikrohr wird dann durch eine vertiefte Spitze gehalten (Abb.10). Das Bodenmaterial wird so am Ausfließen gehindert und kommt relativ wenig gestört an die Oberfläche zur Probenbeurteilung. Der Schlitz konnte vergrößert werden, die Probenmasse reichte dadurch aus, um Laborversuche wie Kornverteilung, Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes und Bestimmung der Plastizitätsgrenzen durchführen zu können. Diese "Spezienschlitzsonde", wie sie genannt wird, ist 200 cm lang. Sie hat an ihrem unteren Ende einen Schlitz von 80 cm Länge zur Aufnahme der Probe, ein Polyesterrohr als Überziehröhr

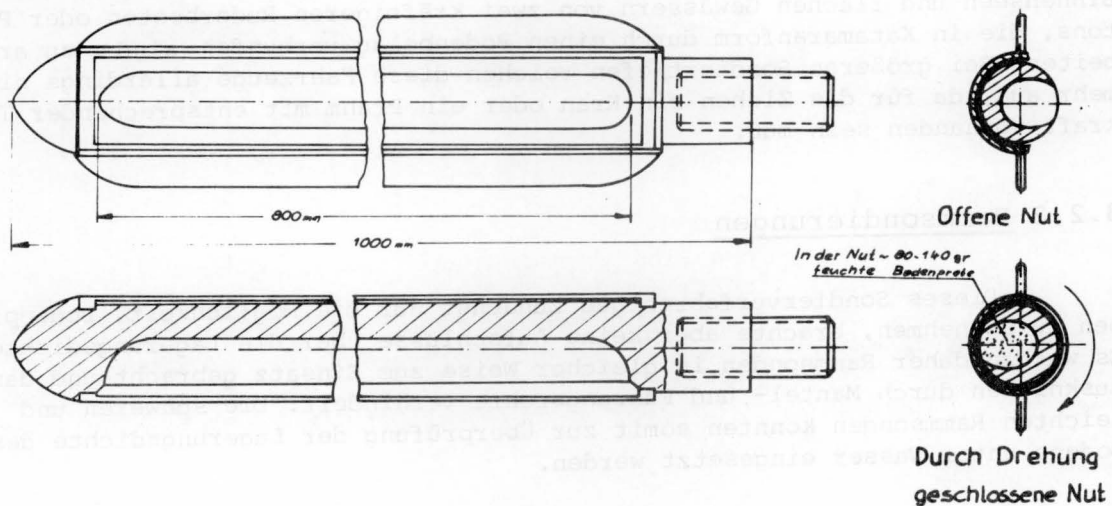
von 3,2 cm Außendurchmesser und 2,4 cm Innendurchmesser, 110 cm lang. Beim Ziehen wird das Polyesterrohr durch eine Scheibe unmittelbar über dem Schlitz gehalten. Es kann keine Probe auslaufen, das Gerät ist speziell für rollige Bodenarten unter Wasser geeignet. Dieses System wirkt aber nur, wenn durch die Lagerungsdichte des Bodens eine ausreichende Mantelreibung vorhanden ist, die zunächst die Plastikhülle in ihrer oberen Stellung festhält und dann bewirkt, daß die Nutsonde in die Plastikhülle hineingezogen wird.



Systemskizze Spezial - Nutsonde

Abb. 10 Nutsonde (Plastikrohr/vertiefte Spitze)

In den obersten Bodenschichten mit allgemein lockerer Lagerung, in denen der Sand auf der Gewässersohle liegt, ist dieses System nicht funktionsfähig. Hierfür wurde ein weiteres Gerät, die sogenannte "Kammersonde" entwickelt (Abb.11).



Systemskizze Kammersonde

11 Kammersonde

Diese Kammersonde besteht aus einer Schlitzsonde mit einem Mantel und zur Führung seitlich zwei Flacheisen, als Flügel ausgebildet. Bei Rechtsdrehung wird die Nut geschlossen und die Probe am Ausfließen gehindert. Die Sonde kann geschlossen in den Boden eingetrieben werden, dann geöffnet werden, während durch Tieferschlagen die Probe in den Schlitz eindringt. Anschließend wird die Kammer geschlossen. Der Probeninhalt beträgt im Schlitz ca. 100 - 140 g. Die Feinschichtung bleibt erhalten. Auch hier können entsprechende Laborversuche mit der gewonnenen Probenmenge ausgeführt werden. Hierzu wurden im Labor Spezialsiebe entwickelt, um diese Proben untersuchen zu können. Die Kammersonde kann in lockeren, mitteldicht und dicht gelagerten Böden eingesetzt werden.

Beim Einsatz dieses Sondensystems muß das Gestänge, wie bereits beschrieben, durch ein Führungsrohr am Ausknicken verhindert werden. Dieses Führungsrohr darf nicht in die Gewässersohle einbinden, sondern muß bis eben über die Gewässersohle enden. Hierdurch ist gewährleistet, daß sich, nachdem die Nut gezogen ist, das Schiff bewegen kann, ohne daß die Rohre abgeknickt werden. Um hier eine weitere Bewegungsmöglichkeit zu schaffen, wurde in die Bühne ein Schlitz quer zum Schiff angebracht. Die Führungsrohre hängen dabei auf einer Spezialvorrichtung und, wenn die Sonde im Boden eingetrieben ist, kann sich das Schiff in der Länge des Schlitzes der Bühne bewegen, ohne daß das Rohr verbogen oder abgeknickt wird. Es können dabei Bewegungen des Schiffes bis zu 2 m seitlich aufgenommen werden. Die ersten Versuche erfolgten in der Ostsee in Bereichen mit starker Strömung. Es wurde festgestellt, daß die Führungsrohre keine ausreichende Festigkeit gegen Durchbiegung durch Strömungsdruck boten. Hier wurde zusätzlich zum Führungsrohr ein Mantelrohr von größerer Knickfestigkeit eingesetzt. Dieses Mantelrohr verhindert ein Durchknicken des Führungsrohres, durch seine größere Festigkeit und höheres Gewicht hängt es lotrecht von der Bühne nach unten und gewährleistet, daß die Sonde lotrecht in den Boden eingetrieben werden kann (Abb.12). Die Systeme sind auch von kleineren Schiffen aus einsetzbar. Es wurde hierfür eine Arbeitsbühne, die als Kragbühne an das Schiff angehängt wird, entwickelt, die nach dem Baukastenprinzip entworfen wurde (Abb.13). Sondierungen wurden mit diesem Gerät bereits von mittleren Fischkuttern aus ausgeführt. Es besteht auch die Möglichkeit, in Binnenseen und flachen Gewässern von zwei kräftigeren Ruderbooten oder Pontons, die in Katamaranform durch einen Bodenbelag verbunden sind, zu arbeiten. Bei größeren Sondiertiefen reichen diese Fahrzeuge allerdings nicht mehr aus, da für das Ziehen ein Kran oder ein Prahm mit entsprechender Tragkraft vorhanden sein muß.

3.2.2 Rammsondierungen

Dieses Sondierverfahren gab zunächst nur die Möglichkeit, Bodenproben zu entnehmen, brachte aber keine Aufschlüsse über die Lagerungsdichte. Es wurden daher Rammsonden in gleicher Weise zum Einsatz gebracht und das Ausknicken durch Mantel- und Führungsrohre verhindert. Die schweren und leichten Rammsonden konnten somit zur Überprüfung der Lagerungsdichte des Bodens unter Wasser eingesetzt werden.

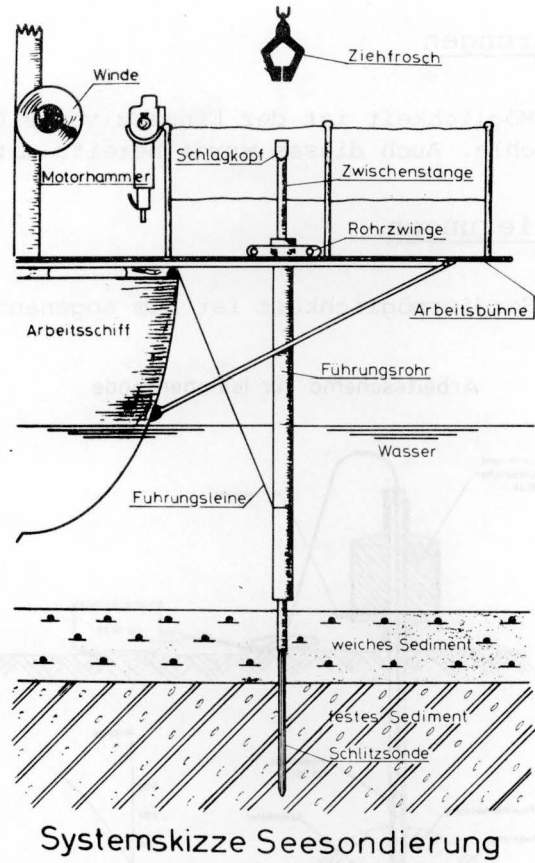


Abb. 12 Sonde (Mantelrohr/Führungsrohr)

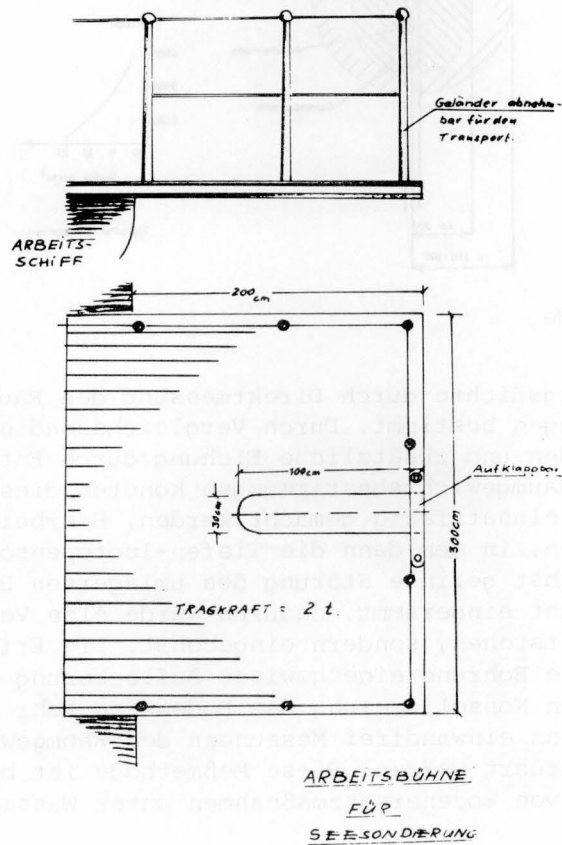


Abb. 13 Kragbühne

3.3 Schallmeß- und geoelektrische Verfahren

Ergänzungsmessungen, die ebenfalls in den Bereich Sondierungen zu rechnen sind, sind Untersuchungen mit Schallmeß- und geoelektrischen Verfahren. Mit diesen Verfahren zeichnen sich folgende Möglichkeiten ab:

- a) Erkundung des Untergrundes vor dem Einsatz von kostspieligen Bohrungen auf See, um diese Bohrungen gezielt ansetzen zu können, und zwar in Bereichen, in denen mit dieser Methode Schichtveränderungen festgestellt werden.
- b) Ermittlung von Schichtgrenzen, die bei mit großen Abständen angesetzten Bohrungen interpoliert werden müssen, um die Interpolierung zu kontrollieren und auf größere Genauigkeit zu bringen. Bei den bisher auf dem Markt vorhandenen Geräten konnten dabei nur Schichtgrenzen zwischen in ihren Eigenschaften sehr stark unterschiedlichen Bodenarten ermittelt werden. Besonders brauchbar sind diese Geräte, wenn Schichten mit sehr weicher Konsistenz über Schichten mit sehr fester Konsistenz oder großer Lagerungsdichte vorhanden sind. Die durchgeführten Meßversuche in Bereichen, in denen Bohrreihen vorhanden waren, zeigten, daß die vorhandenen Methoden bei unterschiedlichen Frequenzeinstellungen häufig sehr unterschiedliche Ergebnisse zeigten. Es ist, um diese Methoden einsatzfähig zu machen, erforderlich, umfangreiche Meßreihen an bekannten Bodenprofilen durchzuführen, um hier jeweils die erforderlichen Einstellwerte der Geräte zu ermitteln. Wahrscheinlich ist es notwendig, für die unterschiedlichen Bodenarten mit unterschiedlicher Durchdringbarkeit für die Methoden jeweils die entsprechenden Einstellungen zu ermitteln, um dann solche Geräte mit Erfolg einsetzen zu können. Sie würden umfangreiche Einsparungen kostspieliger Aufschlüsse durch Bohrungen und auch durch Sondierungen im Endeffekt bringen. Hierzu sind aber, wie gesagt, noch umfangreiche Entwicklungsarbeiten und langwierige Versuchsreihen im Feld erforderlich. Unter diesen Voraussetzungen können, wie eingangs in diesem Abschnitt gesagt, Voraussetzungen geschaffen werden und der Einsatz derartiger Geräte Erfolg zeigen.

3.4 Spezialuntersuchungen

Eine Spezialsonde wurde entwickelt, um die Tiefenlage von Dükern zu untersuchen. Diese Sonde ist als "stumpfe" Sonde ausgelegt, um einmal die Tiefenlage des Dükers unterhalb der Gewässersohle festzustellen, gleichzeitig die Bodenarten zu bestimmen, die den Düker jeweils überlagern. Mit den gleichen Sonden können Schiffswracks, die völlig im Sediment eingeschlossen sind bzw. Wrackteile durch rasterförmige Anordnung der Sondierungen erkundet werden. Sie zeigen ebenfalls die Tiefenlage des Wracks und die das Wrack überlagernden Sedimente.

4. Anwendungsbeispiele

4.1 Großdock HDW

Für das in Kiel im Bau befindliche Großdock der Howaldtswerke Deutsche Werft (HDW) zum Bau von Schiffen bis 700.000 NWT führte die BAW-Fachgruppe Geologie - umfangreiche Sondieruntersuchungen durch. Das Bauvorhaben sah einen Unterwasserbodenaustausch bis zu einer Tiefe von NN - 35 m vor.

Zur Durchführung eines Bodenaustausches waren folgende Fragen durch Untersuchungen zu klären:

1. Mögliche Sandentnahmestellen, in denen mehr als 2 Mio cbm Sand von bestimmter Kornzusammensetzung wirtschaftlich entnommen werden konnten, ohne daß hierdurch Gefährdungen der Küste hervorgerufen wurden.
2. Untersuchungen und Abnahme der Sohle der Unterwasserbaugrube bis zu einer Tiefe von NN - 35 m sowie Kontrolle des Verfüllvorganges.
3. Kontrolle und Prüfung der Lagerungsdichte des Bodenersatzmaterials unter Wasser.

Um diese Untersuchungen durchführen zu können, mußten teilweise neuartige Wege beschritten werden und neue Meßtechniken zur Anwendung kommen. Die Suche des Bodenersatzmaterials wurde mit Hilfe von räumlichen Seegrundkartierungen unter der Gewässersohle mit den Spezialsonden der Fachgruppe und besonders mit der Vibrationskernsonde ausgeführt. Die Vibrationskernsonde gewährleistete die Gewinnung ausreichender Probenmengen für die Laboruntersuchungen auf Eignung des Materials. Ein kombinierter Einsatz der verschiedenen Geräte wurde für den Bodenaustausch angesetzt. Die Untersuchung der Unterwasserbaugrube umfaßte eine Kartierung der Sohle der Baugrube auf die dort anstehenden Sedimente und etwaiges "Neusediment" und deren Mächtigkeit, die sich aus dem Baggervorgang ergaben. Für diese Untersuchungen wurden die Vibrationskernsonde und Spezialbodengreifer eingesetzt. Mit Hilfe der Vibrationskernsonde konnte die Lage der Baugrubensohle teilweise auch noch nach bereits erfolgter Überschüttung mit Bodenersatzmaterial festgestellt werden.

Für die Bestimmung der Lagerungsdichte des eingebrachten Bodenersatzmaterials wurden zunächst Spitzendrucksondierungen und schwere Rammsondierungen durchgeführt. Aufgrund von Vergleichssondierungen mit beiden Systemen war es möglich, Nomogramme zu entwickeln, mit deren Hilfe die Schlagzahlen der schweren Rammsonde auf Spitzendruck in kp/cm^2 umgerechnet wurden, um somit eine Einordnung in die verschiedenen Lagerungsdichten zu gewährleisten (Abb.15). Weitere Untersuchungen der Lagerungsdichte durch Direktmessung des Raumgewichtes mit Dichte-Feuchte-Messung erfolgten mit einer Isotopsonde. Hierzu wurden wiederum Vergleichssondierungen mit Spitzendruck- und Rammsonden ausgeführt und zusätzlich Eichungen durch Entnahme von ungestörten Bodenproben und Raumgewichtsbestimmungen daraus durchgeführt.

Die Untersuchungen ergaben wertvolle Aufschlüsse und neue Erkenntnisse über das Verhalten von unter Wasser verklappten rolligen Bodenarten und deren Lagerungsdichten.

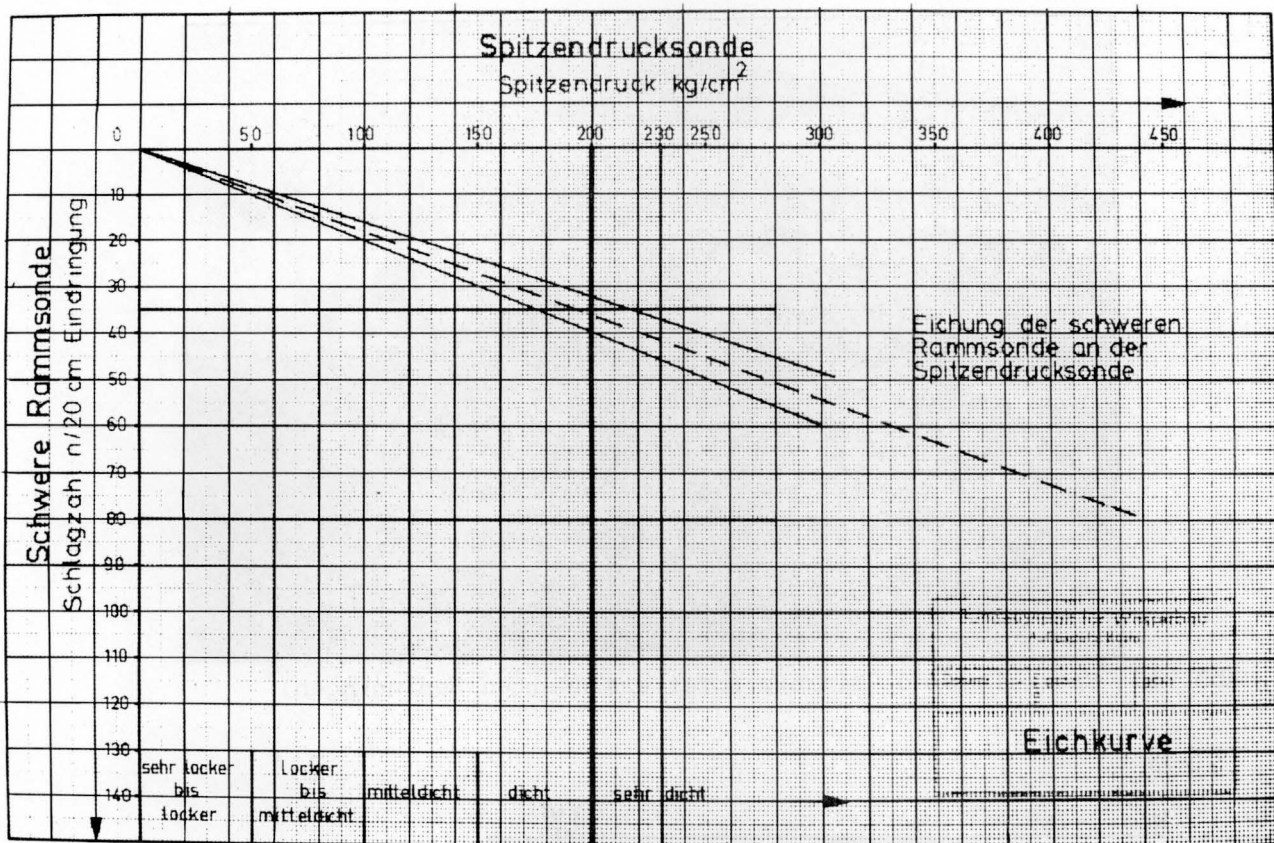


Abb. 15 Vergleich Spitzendrucksonde - schwere Rammsonde

4.2 Hafen Puerto Limon, Costa Rica, Mittelamerika

Bei den weiteren Untersuchungen Ende des Jahres 1973 stellte die Fachgruppe Geologie ein Arbeitsprogramm für Baugrund- und Baustoffuntersuchungen für den Hafen Puerto Limon, Costa Rica im Rahmen der deutschen technischen Hilfe auf. Die Spezialsondiergeräte wurden für diesen Einsatz besonders vorbereitet. Die Untersuchungsarbeiten wurden im Januar 1974 ausgeführt. In den Monaten Januar bis Mai wurden Felduntersuchungen mit den Spezialsondiergeräten für den Bau einer Molen- und Kajenanlage an Ort und Stelle durchgeführt. Ein Teil der Bodenproben wurde in einem Feldlabor ausgewertet, der Rest im Labor in Kiel-Holtenau. Bei diesen Untersuchungen zeigten sich die Variationsmöglichkeiten der Spezialsonden unter erschwerten Bedingungen sowohl von der Wasserbewegung (schwere Dünung) her als auch für den Einsatz von Schiffen ohne Sonderausrüstung (Abb.16).

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde die Auswertung der Eindringgeschwindigkeit der Sonden im Hinblick auf die Festigkeit des Bodens durch vergleichende Laboruntersuchungen weiterentwickelt. Durch Vergleiche zwischen den Eindringgeschwindigkeiten der Sonden je lfdm. mit den Plastizitätsgrenzen und dem natürlichen Wassergehalt ließen sich durch die Sonden Eindringungen einwandfreie Rückschlüsse auf die Konsistenz des anstehenden Bodens ziehen. Diese Vergleichsuntersuchungen wurden auch im deutschen Küstenbereich erarbeitet und auch für rollige Bodenarten ermittelt. Hierbei wurden ebenfalls zum Vergleich die Ergebnisse von Rammsondierungen und Spitzendrucksondierungen verwandt (Abb.17).

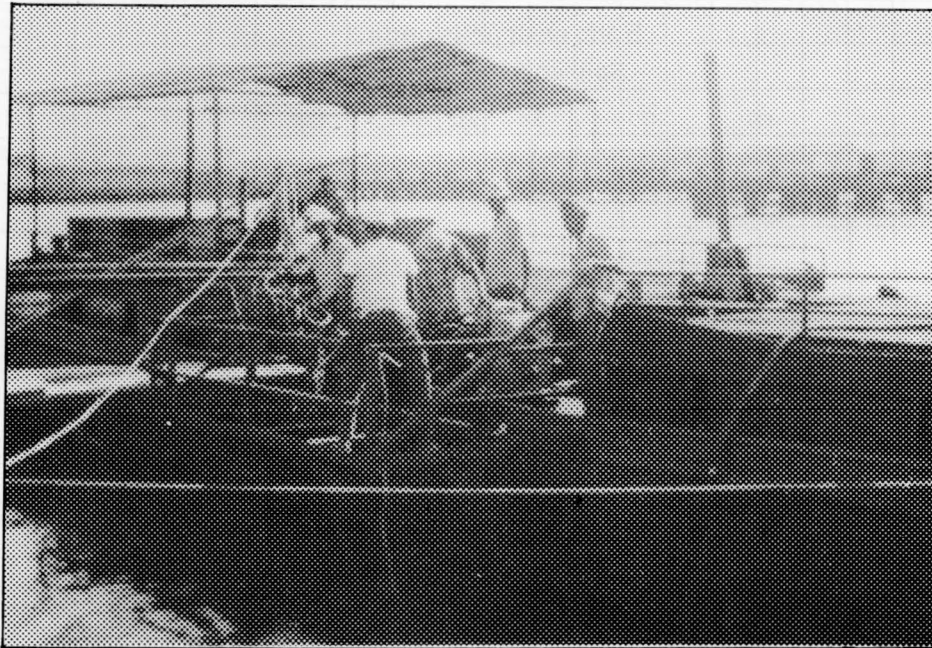


Abb. 16 Spezialsonden (Einsatz unter erschwerten Bedingungen)

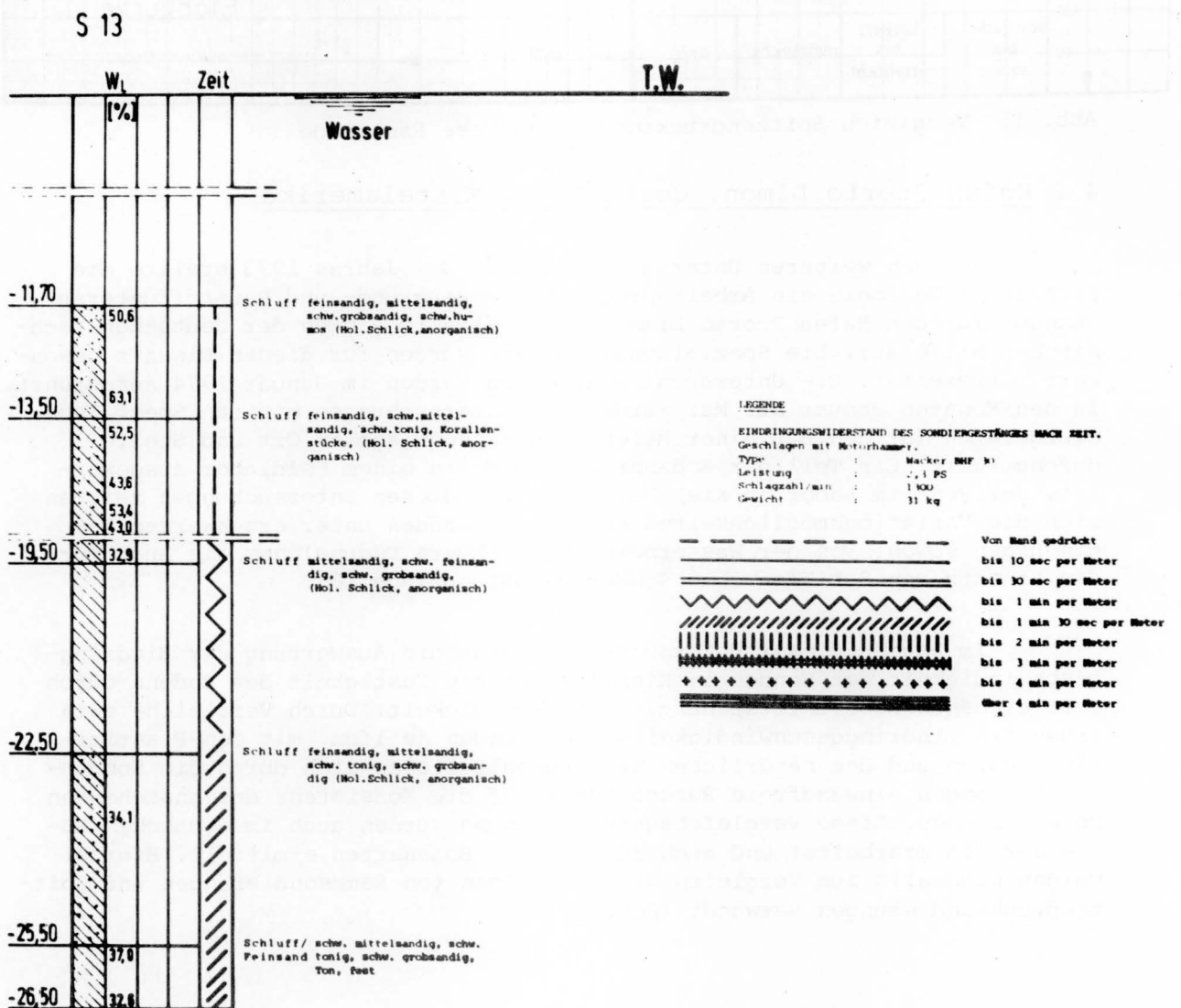


Abb. 17 Vergleich Ergebnisse Rammsondierungen zu Spitzendrucksondierungen

4.3 Vergleichende Messungen längs einer Reihe von Bohrungen im Fehmarnbelt mit Hilfe eines Sparkers der Firma Edgerton

Zur Ergänzung und Verbesserung der Interpolationsgrundlagen bei einer mit großen Abständen durchgeführten Bohrreihe quer zum Fehmarnbelt wurden mit einem Sparker der Firma Edgerton Messungen von Bohrung zu Bohrung durchgeführt. Die Ergebnisse der Bohrungen zeigten, daß folgende Schichtenreihe vorhanden war:

1. Holozäne Sedimente (Sand, Torf, Gytja). Die holozänen Sande sind nur im Küstenbereich mit etwas größerer Mächtigkeit vorhanden. Im Bereich des Fehmarnbeltes selbst ist nur ein geringer Schleier zu beobachten gewesen, der sich ständig verlagert. Hier steht der Meeresboden unter Erosion. Es steht Geschiebemergel ohne Überdeckung an.
2. Pleistozäner Beckenton. Dieser Beckenton ist ein Stillwassersediment aus der Rückzugszeit der jüngsten Vereisung, der eine alte pleistozäne Schmelzwasserrinne ausgefüllt hat und nur örtlich ansteht.
3. Pleistozäner Geschiebemergel mit Linsen aus tertiärem Tarras, pleistozänem Beckenton und pleistozänen Sanden.
4. Als tiefste erbohrte Schicht steht tertiärer Tarras an. Es handelt sich um einen Colloid-Ton aus dem Untereozän IV. Diese Tarrasschicht wurde nur in einigen Bohrungen erreicht und mußte auf große Entfernung interpoliert werden. Die Grenze Geschiebemergel-Tarras war die Hauptgrenze, die bei der Kontrollmessung erfaßt werden sollte. Typisches Merkmal ist eine starke Aufwölbung im südlichen Teil des Profils nördlich der Insel Fehmarn. Diese Aufwölbung wird in dem überhöhten Profil stärker sichtbar.

In den weiteren Bereichen ist eine relativ horizontale Grenze zwischen Geschiebemergel und Tarras zu beobachten, die ebenfalls auf sehr weite Entfernung interpoliert werden mußte. Dieses Profil war für die geplante Untersuchung die Möglichkeit, bereits eine Anwendungsform des "Sparkers" zu überprüfen, und zwar die Möglichkeit, bei weiten Bohrabständen einen markanten Horizont, der eine Hauptgrenze im Schichtenaufbau darstellt, zu verfolgen und von Bohrung zu Bohrung zu interpolieren. Das Ergebnis der Messung und das interpolierte Profil nach den Bohrungen zeigen aufgetragen, daß die Grenze Pleistozän-Tertiär mit dem Sparker erfaßt werden konnte. Weitere Schichtgrenzen konnten nicht ausreichend genau ermittelt werden.

5. Schlußbetrachtung

Um ausreichende Sicherheiten über die Genauigkeit der neuen Sondiermethoden zu erhalten, sind vergleichende Meßreihen mit Bohrungen zur Eichung dieser neuen Geräte durchgeführt worden.

Weiterhin wurden wie bereits erwähnt Erfahrungswerte gewonnen, die es zulassen, aus der Eintriebsgeschwindigkeit der Sonde pro lfdm. bei gegebener Antriebsenergie Rückschlüsse über die Lagerungsdichte von rolligen Böden bzw. die Konsistenz von bindigen Böden zu ziehen. Durch Vergleichsuntersuchungen mit Spitzendrucksondierungen und Laboruntersuchungen, und zwar hier durch Vergleiche zwischen den Eindringgeschwindigkeiten der Sonden je lfdm. mit den Plastizitätsgrenzen und dem natürlichen Wassergehalt ließen sich durch die Sondeneindringung einwandfreie Rückschlüsse auf die Lagerungsdichte von rolligen Böden und die Konsistenz von bindigen Böden ziehen. Zum weiteren Vergleich wurden hier die Ergebnisse von schweren und leichten Rammsondierungen und anderen Feldergebnissen herangezogen. Durch diese Erweiterung

der Untersuchungsmöglichkeiten mit Sonden zur Beurteilung von Lagerungsdichten und Konsistenz verbunden mit der ebenfalls entwickelten Möglichkeit, gestörte und ungestörte Proben mit den Sondiergeräten zu gewinnen, lassen sich für die Voruntersuchungen von Wasserbauten mittlerweile zahlreiche kostenaufwendige Bohrungen einsparen und durch Sondierungen ersetzen. Durch die Aussagen der Felduntersuchungen kann häufig auch der Umfang der Laborarbeiten vermindert werden. Diese Möglichkeiten können für einfache Bauwerke auch ohne, teilweise nur sehr schwierig durchführbare Bohrungen ausreichende Untersuchungsergebnisse liefern, wie es z.B. beim Bau von Dalben, Meßpegel u.ä. bereits erfolgt ist. Bei komplizierten Bauwerken lassen sich zumindest die Bohrungen in ihrer Anzahl einschränken und damit ebenfalls Kosten und Zeit einsparen. Mit Hilfe von zwischengeschalteten Sondierungen kann mit den neuen Methoden das Informationsnetz über den Untergrund wesentlich erweitert und verbessert werden, da mit Sondierungen mit geringerem Kostenaufwand ein dichteres Untersuchungsnetz möglich ist.

6. Literatur

- [1] RUCK, K.-W. : Voruntersuchungen und Baugrundverhältnisse für eine Brücke über den Fehmarn-Belt.
"Der Bauingenieur" 44. Jahrgg. 1969, Heft 5,
Berlin 1969, Springer-Verlag
- [2] RUCK, K.-W. : Baugeologie der Lockergesteine im Nord- und Ostseeraum.
"Grundbau-Taschenbuch", Bd. I, Ergänzungsband
1971, Verlag von Wilh. Ernst u. Sohn, Berlin,
München, Düsseldorf.
Tätigkeitsbericht der Bundesanstalt für Wasserbau 1968/69.