

Kontinuierliche Beobachtungen der Gewässersohle mit einem Sandstandpegel

Von HELMUT MANZENRIEDER und BEREND SNIPPE

Zusammenfassung

Digitale Sandstandpegel wurden erstmalig mehr als ein Jahr im Niedrigwasserbereich der Nordseeküste eingesetzt. Derartige Meßsysteme zeichnen bei allen hydrologischen Bedingungen in einstellbaren Zeitschritten die Höhenlage der Gewässersohle auf. Die so gewonnenen Zeitreihen ergeben einen vertieften Einblick in die Dynamik der Gewässersohle besonders zu den energiereichen Phasen, die den Einsatz konventioneller Beobachtungsmethoden verhindern.

Summary

For the first time a digital sand level gauge was used for over a year in the coastal water zone of the North Sea. This type of measuring system records the vertical position of the sea bottom under all hydrological condition in adjustable time steps. The time series collected in this manner give deeper insights into the dynamics of the sea bottom, especially in the high energy phases which prevent the use of conventional observation methods.

Inhalt

1. Einleitung	255
2. Systembeschreibung und Betrieb	257
3. Ergebnisse	258
4. Ausblick	262
5. Schriftenverzeichnis	262

1. Einleitung

Die Kenntnis über die aktuelle Lage der Sohle der Küstengewässer ist seit jeher von hohem Interesse bzw., wie etwa bei der Schifffahrt, eine unabdingbare Voraussetzung für Bewegungen in begrenzten Wasserräumen. Bei allen Unterhaltungsaufgaben im Küstenbereich, aber auch bei entsprechenden Standsicherheitsbetrachtungen, bilden Planunterlagen die Grundlage, die durch hydrographische Vermessung (Seevermessung) mittels Echolotpeilung aufgenommen werden. Derartige Messungen liefern zu einem Zeitpunkt Aussagen für ein größeres Seegebiet. Diese Art der Beobachtung beinhaltet latent die Gefahr von Fehlinterpretationen; auf Abb. 1 ist dies schematisch dargestellt.

Am Beispiel eines sinusförmigen Verlaufes der Sohländerungen ist zu erkennen, daß hier jede Angabe zu dem Trend ohne weitere Informationen eine gewisse Risikobereitschaft erfordert. Diese Beschränkung wird überlagert von der Tatsache, daß derartige Seevermessungen bei zunehmender Seegangintensität mit einem überproportionalen Fehler behaftet sind bzw. bei rauher See vollständig verhindert werden.

Über diese äußeren Begrenzungen hinaus bestehen stochastische und deterministische Fehlerquellen, die sich zu einem wesentlichen Teil aus dem physikalischen Prinzip der

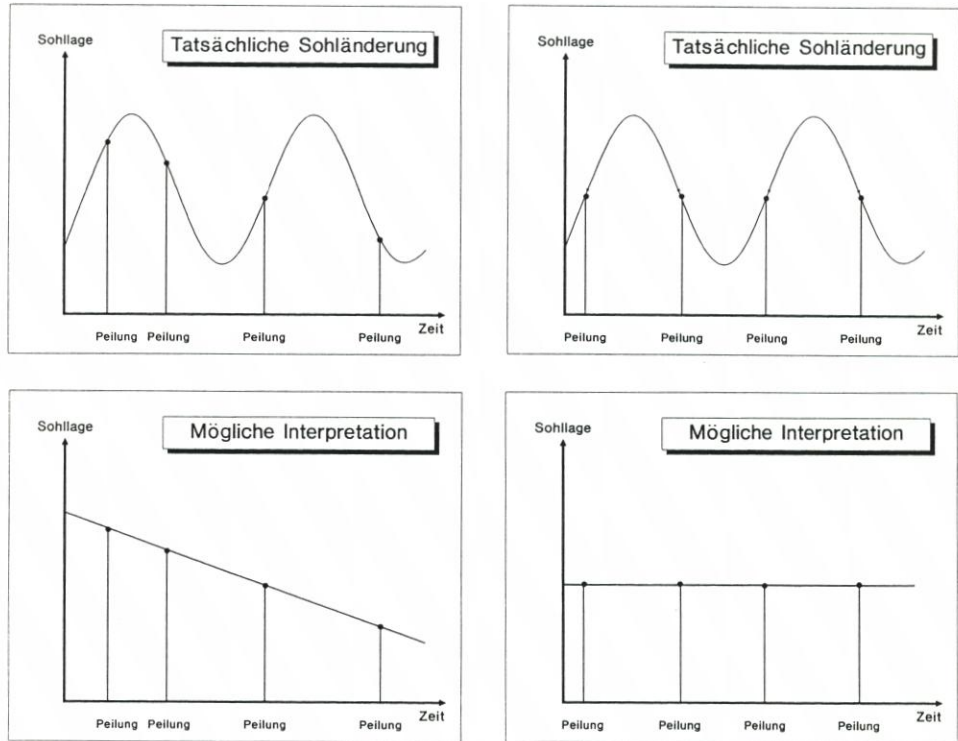


Abb. 1: Dynamische Sohlveränderungen und ihre Interpretation anhand von Peilungen (schematisch)

Echolotmessung ergeben. Allein die Dämpfung steiler Unterwasserneigungen, die als sog. Böschungsfehler bezeichnet wird, führt zu einem Fehler, der in extremen Fällen bis zu 10 % der Wassertiefe erreichen kann (MANZENRIEDER, WITTE, 1986). Nach Beendigung des umfangreichen, interdisziplinären Forschungsvorhabens – Sandbewegung im Küstenraum – wurde 1977 in dem Abschlußbericht auf diese bestehende Unschärfe bei der Betrachtung der dynamischen Vorgänge in folgender Weise hingewiesen (FÜHRBÖTER, 1977):

„Es sei an dieser Stelle – stellvertretend für alle Verfahren, bei denen versucht wird, aus Peilungen und Vermessungen in entweder festen oder variablen Zeitabständen morphologische Entwicklungen zu erkennen und zu verfolgen – darauf hingewiesen, daß diese großflächigen Veränderungen nach Möglichkeit durch zeitlich-kontinuierliche Messungen an einzelnen Punkten, die dafür besonders ausgesucht werden müssen, ergänzt werden sollten. Im Strandbereich von Sylt hat beispielsweise LAMPRECHT (1955) gezeigt, daß sich die Strandhöhe während einer Tide um mehr als einen Meter verändern kann. So werden sich an jedem Punkt tägliche (bei Sturmfluten vielleicht stündliche), monatliche und vor allem jahreszeitliche Veränderungen der Sohlhöhe ergeben, die wiederum stark von den jeweiligen meteorologischen Bedingungen abhängen können. Es ist daher an exponierten und wichtigen Stellen (z. B. an Rändern von Schifffahrtswegen, vor Häfen usw.) an den Einsatz von Sandstandpegeln zu denken, die es gestatten, mit geeigneten Abfrageprogrammen die genannten zeitlichen Einflüsse auf die Sohle zu erfassen. Langjährig betrieben und in Zusammenhang mit den – auf jeden Fall und immer notwendigen – Peilungen können sie, wenn auch auf einzelne (aber ausgesuchte!) Punkte beschränkt, den räumlichen Dimensionen eine kontinuierliche Zeitdimension hinzufügen und dadurch wesentlich vertiefte Einblicke in die Küstenprozesse ermöglichen.“

Initiiert von dieser Problemstellung wurden verschiedene Konzepte für ein geeignetes System geprüft (BASINSKI, 1989) und hinsichtlich der praktischen Eignung bewertet. Ein

und der 32 kByte Speichereinheit ermöglicht im Tidegebiet eine Datenentnahme ohne Ausbau des Systems vor Ort und somit eine direkte Koppelung aufeinanderfolgender Meßzeiträume. Die Erfahrungen zeigen aber, daß bei mehrmonatigen Meßreihen ein Rückbau des Systemes mit anschließender Systempflege sinnvoll ist.

In der normalen Verwendung wurden die Geräte landseitig auf den Einsatz vorbereitet; dies umfaßte folgende Schritte:

- Aufbringen eines geeigneten, transparenten Anti-Fouling-Anstriches vor allem im Bereich der Sensoren zusammen mit einer Zink-Opferanode. Dies ist vor allem in den Sommermonaten unabdingbar.
- Probetrieb mit Funktionskontrolle bei verkürztem Abtastintervall.
- Einstellen des Abtastintervalls (10, 30, 60, 120 oder 360 Minuten) unter Beachtung der erforderlichen Gesamtmeßzeit. Bei einem Abtastintervall von 60 Minuten konnte das System rd. 40 Tage betrieben werden.
- Auslösen des Systems unter Beachtung der Startzeit.

- Aufsetzen des zylindrischen Kopfteles über eine druckwasserdichte O-Ring-Dichtung. Der Einbau des Systems vor Ort erfolgte danach umgehend; dabei wurde der Pegel mit leichter Spülhilfe jeweils bis zur Mitte der Meßstrecke in den Bodenkörper eingebracht, um sowohl Erosionen als auch Sedimentationen zu erfassen. Sofern die Tendenz der Sohländerungen eindeutig ist, kann der gesamte Meßbereich genutzt werden.

3. Ergebnisse

Digitale Sandstandpegel wurden seit 1989 bisher für folgende Fragestellungen in deutschen Küstengewässern eingesetzt:

- Sedimentationsverlauf im Bereich einer zu unterhaltenden Hafenzufahrt
- Vergleich zwischen Ultraschallaufnahmen und terrestrischer Vermessung
- Beweissicherung für Muschelkulturen im Zuge von Unterhaltungsbaggerungen
- Sedimentationsverlauf einer Probegabgung zur Fahrwasservertiefung

Am Beispiel der Untersuchungen zu dem Sedimentationsverhalten im Bereich einer Hafenzufahrt, die für das Niedersächsische Hafenamt Wilhelmshaven vor Hooksiel durchgeführt wurden, werden die ersten Ergebnisse einer Langzeitbeobachtung nachfolgend vorgestellt.

Das Seegebiet vor dem Außenhafen Hooksiel befindet sich innerhalb einer Sedimentationszone im Nahbereich einer Seeschiffahrtsstraße, deren Trassenverlauf unter Einsatz massiver Baggerungen verlegt wurde. Für die uneingeschränkte Nutzung des Hafens waren verstärkt Unterhaltungsmaßnahmen erforderlich. Im Rahmen eines laufenden Untersuchungsprogrammes des Leichtweiß-Instituts der T. U. Braunschweig wurde ein Sandstandpegel an der Niedrigwasserlinie eingebaut und in dem Zeitraum April 1989 bis Juni 1990 betrieben (Abb. 3).

Für die Dauer von knapp 14 Monaten erfolgte damit an einem ausgewählten Punkt am Rand der eingeschnittenen Zufahrt die Messung der Sohlhöhe im konstanten Abstand von einer Stunde bei allen hydrologischen Bedingungen. Insgesamt wurden während rd. 800 Tiden 9246 Meßfolgen aufgenommen. Das Gerät wurde hierbei nach dem Einspülen in den Sedimentkörper (schluffiges Sandwatt) jeweils bis zu 40 Tagen betrieben, Detailbetrachtungen zeigten, daß der durch den Einspülvorgang erzeugte Anfangskolk innerhalb von 24 Stunden abgeklungen war. Am Ende jeder Meßphase wurde das System zur günstigen Niedrigwasserphase rückgebaut, wobei die Position durch einen mechanischen Hilfspegel gesichert wurde. Nach dem Datentransfer und der Systempflege erfolgte der erneute Einbau in aller Regel am

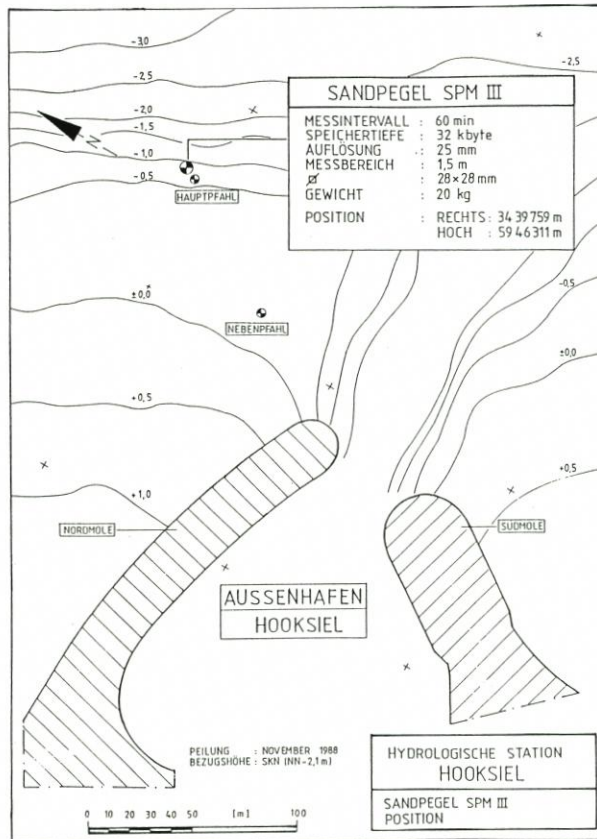


Abb. 3: Hydrologische Station Hooksiel mit Position des Sandstandpegels

folgenden Tag. Auf Abb. 4 ist eine Übersicht der Sohlveränderungen für den gesamten Meßzeitraum dargestellt.

- Folgende Aussagen können auf der Grundlage der digitalen Zeitreihe gemacht werden:
- Über den gesamten Meßzeitraum trat an dem Meßpunkt eine Sedimentation von rd. 1 m auf; dies entspricht einem mittleren Anstieg von rd. 7 cm pro Monat. Hierzu ist zu bemerken, daß die großräumigen Veränderungen der Sohle durch sog. Quartalspeilungen verfolgt wurden. Die Ergebnisse dieser Einzelmessungen korrelieren signifikant mit den punktuellen Messungen des Sandstandpegels.
 - Neben den Phasen unterschiedlicher Intensität sind vor allem zwei Sprungstellen auffällig. Bei dem ersten Ereignis am 28. August 1989 erfolgte innerhalb weniger Stunden ein Anstieg der Sohle von rd. 20 cm. Demgegenüber war das zweite Ereignis Anfang März 1990 durch einen Rückgang in ähnlicher Größe innerhalb weniger Stunden geprägt.

Die Ursachenanalyse für die Sprungstellen wurde dadurch erleichtert, daß neben den Daten der hydrologischen Station ab August 1989 auch kontinuierliche Windaufzeichnungen in die Beobachtungen einbezogen wurden. Auf Abb. 5 sind alle verfügbaren Informationen für August 1989 zusammengefaßt.

Die relative Sohländerung ist als Ausschnitt aus Abb. 4 dargestellt (links, oben). Die signifikanten Wellenhöhen $H_{1/3}$ (links, unten) als Maß der Seegangsintensität, die sich aus

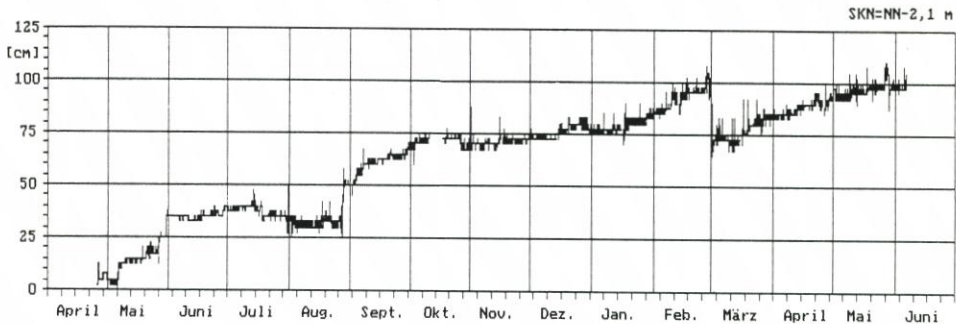


Abb. 4: Außenhafen Hooksiel – Gesamtübersicht der Sohlveränderung in dem Zeitraum April 1989 bis Juni 1990 (Intervall: 1 Stunde)

2stündigen Meßintervallen ergaben, waren während des sprunghaften Anstiegs der Sohle mit Werten bis nahezu 2 m für das Seegebiet erheblich. Die außergewöhnliche Situation wird auch durch die Strömungsgeschwindigkeit, die an der gleichen Lokation rd. 20 cm über der Sohle aufgenommen wurde, ausgewiesen. Neben einer leichten Zunahme der Geschwindigkeit (Mitte, oben) während der intensiven Phase ist vor allem die Strömungsrichtung (Mitte, unten) zu beachten. Während ein steter Wechsel der Richtung mit der Tide als Normalfall zu erkennen ist, fällt der sprunghafte Anstieg der Gewässersohle mit einer Dominanz der Flutrichtung (SSE), bei vollständigem Ausfall der Ebbströmung, zusammen.

Die Windmessungen auf der naheliegenden Niedersachsenbrücke liefern für das Verhalten weitere Hinweise. Wird die mittlere Windgeschwindigkeit (rechts, oben) über den Monat als frische Brise (Bft 5) klassifiziert, so nimmt der Wind am Ende der vierten Woche zu und erreicht nahezu zeitgleich mit dem sprunghaften Anstieg der Sohle bei nördlichen Richtungen Sturmstärke (rechts, unten).

Ist für das singuläre Ereignis im August 1989 ein direkter Zusammenhang zwischen der Windbelastung, der hydrologischen Entwicklung und den hieraus resultierenden Veränderungen der Sohle herzustellen, so zeigt das gegenläufige Verhalten im März 1990 ein diffuses Bild. Zu diesem Zeitpunkt standen neben den Ergebnissen des Sandstandpegels allein die Windinformationen zur Verfügung; die Wellen- und Strömungsmeßgeräte waren zwischenzeitlich durch Versandung ausgefallen bzw. zeitweise gestört.

Innerhalb von 10 Stunden trat ein Rückgang der Sohle von bis zu 22,5 cm (9 Stufen) auf, der sich danach auf einen Effektivwert von 17,5 cm stabilisierte. Ein Sturm mit mittleren Windgeschwindigkeiten bis 23 m/s (Bft 9) aus dem Sektor SW war in dem Seegebiet wenige Tage vorher aufgetreten. Zum Zeitpunkt des sprunghaften Rückganges herrschten bei steifen Winden mit Geschwindigkeiten bis rd. 17 m/s (Bft 7) für die Jahreszeit keine ungewöhnlichen Bedingungen.

Eine eingehende Betrachtung der Ursachen zeigte, daß meßtechnische Fehler und selbstinduzierte Kolke mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen sind. Folgende Ursachen wurden diskutiert:

- Flächenhafte Erosion einer instabilen Sedimentauflage
- Böschungsrutschung, ausgelöst durch die eingeschnittene Hafenzufahrt
- Schraubenstahlerosion durch ein passierendes Fahrzeug
- Fernwirkung des benachbarten Meßpfahles (Abb. 3)

Eine eindeutige Zuordnung der auffälligen Veränderung konnte auch nach Auswertung der verfügbaren Peilunterlagen allein aus dem zeitlichen Abstand nicht erreicht und erwartet werden (vgl. Abb. 1).

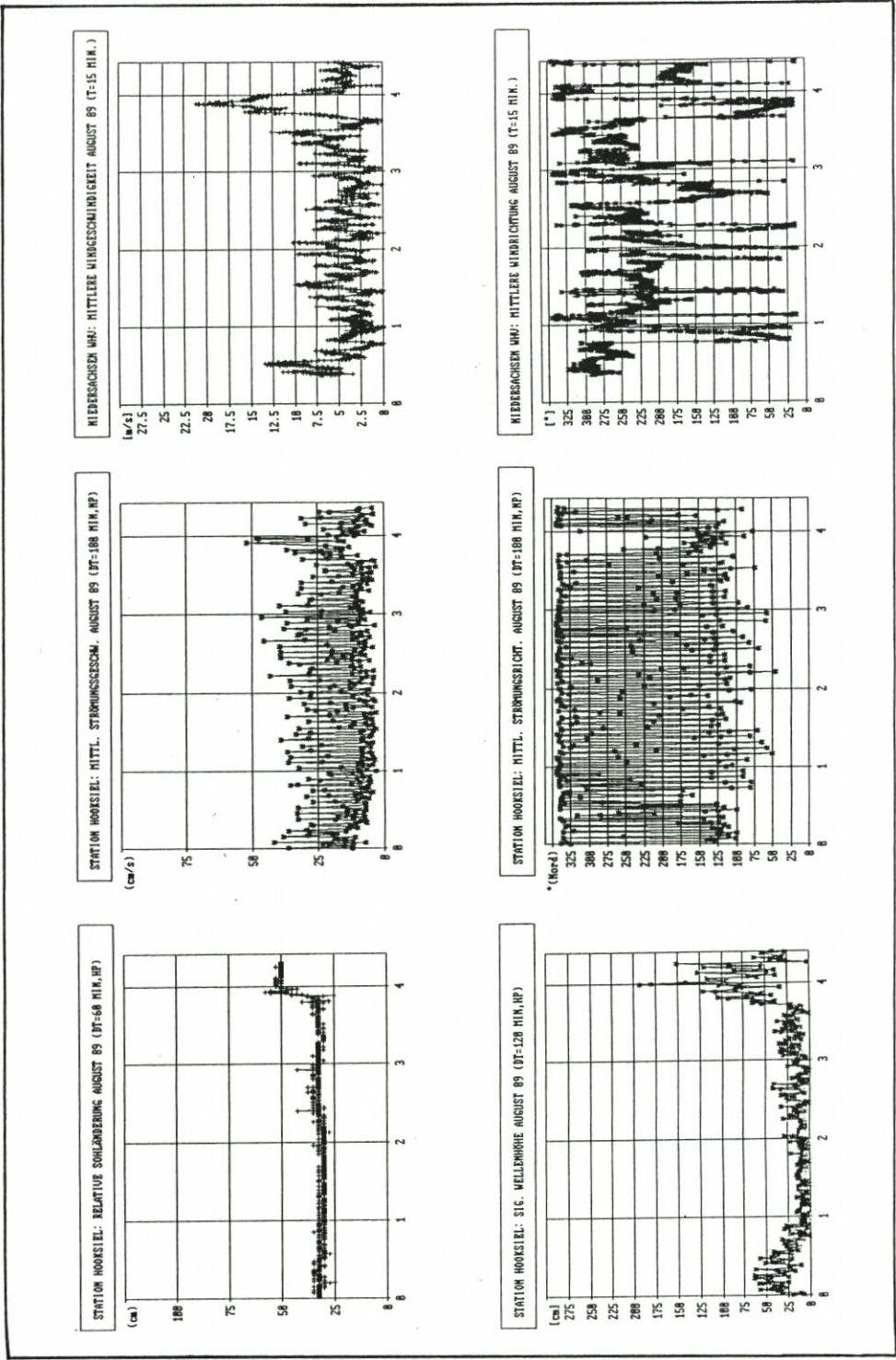


Abb. 5: August 1989 – Veränderungen an der Gewässersohle in Verbindung mit den hydrologischen und meteorologischen Bedingungen

Zusammenfassend ist aus den Messungen zu entnehmen, daß die Gewässersohle an dem Meßort im Beobachtungszeitraum absolut um 1 m anstieg. Ein Sturmereignis lieferte innerhalb weniger Stunden allein einen Beitrag von rd. 20 %. Die Ursachen des sprunghaften Rückganges, der nur durch die mikroskopartige Betrachtung festzustellen war, verbleiben im Bereich der Spekulation.

4. Ausblick

Für die intermittierende Aufnahme der Oberflächengestalt von Gewässersohlen werden moderne Ultraschall-Echolote verwendet.

In Zonen mit stark wechselnder Morphologie, wie sie für den Küstenbereich von Tidegewässern typisch sind, ist der Einsatz spezieller Instrumente zur permanenten Beobachtung der Gewässersohle als Ergänzung im Zeitbereich sinnvoll (Abb. 6). Die punktuelle Messung bleibt stets ein systemimmanenter Nachteil; gleichwohl läßt die kombinierte Anwendung der verschiedenen Systeme eine Vertiefung des Kenntnisstandes für die ingenieurpraktischen, aber auch für die wissenschaftlichen Fragestellungen erwarten. Die vorgestellten Messungen sind hierfür ein Beispiel.

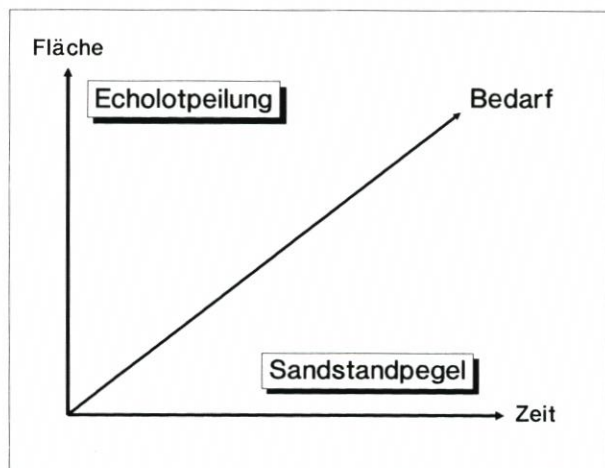


Abb. 6: Verfahren zur Aufnahme der Gewässersohle (schematisch)

Eine nächste Generation derartiger Geräte sollte eine erhöhte Auflösung bei vergrößerter Meßdauer erreichen. Die Mikroelektronik stellt heute bereits die Komponenten zur Verfügung. Die Standfestigkeit aller Komponenten unter den extrem rauen Bedingungen wird hierbei stets der Prüfstein für die Verwendungsfähigkeit sein.

5. Schriftenverzeichnis

- BASINSKI, T.: Field Studies on Sand Movement in the Coastal Zone, Polish Academy of Sciences, Institute of Hydroengineering, Gdansk, 1989.
 FÜHRBÖTER, A.: Sandbewegung im Küstenraum: Rückschau, Ergebnisse und Ausblicke. DFG, Boppard, Boldt, 1979.

- FÜHRBÖTER, A., DETTE, H.-H. u. MANZENRIEDER, H.: Optimierung der Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich des Hafens Hooksiel. Leichtweiß-Institut für Wasserbau der T.U. Braunschweig, Abt. Hydromechanik und Küstenwasserbau, Bericht Nr. 634 (unveröff.), 1986.
- FÜHRBÖTER, A., DETTE, H.-H. u. MANZENRIEDER, H.: Hydrologische Station Hooksiel, Meßzeitraum Dezember 1987–Mai 1989. Leichtweiß-Institut für Wasserbau der T.U. Braunschweig, Abt. Hydromechanik und Küstenwasserbau, Bericht Nr. 683 (unveröff.), 1989.
- LERCH, D., MANZENRIEDER, H. u. WITTE, H.-H.: Ein digitaler Sandpegel zur permanenten Beobachtung der Gewässersohle. Hansa, Nr. 1/2, 1990.
- LAMPRECHT, H.-O.: Wellendruck und druckerzeugender Seegang. Mitteilungen des Franzius-Instituts der T.U. Hannover, H. 8, 1955.
- MANZENRIEDER, H. u. WITTE, H.-H.: Aufnahme von dynamischen Veränderungen an Gewässersohlen – Verfahren, Einschränkungen und neue Methoden. Leichtweiß-Institut für Wasserbau der T.U. Braunschweig, Heft 93, 1986.
- MANZENRIEDER, H.: Veränderungen der Gewässersohle im Tidebereich vor Hooksiel, Zeitraum April–Oktober 1989. (Unveröff.), 1989.
- MANZENRIEDER, H.: Veränderungen der Gewässersohle im Tidebereich vor Hooksiel, Zeitraum Oktober 1989–Juni 1990. (Unveröff.), 1990.