

Ein automatisches Schwebstoff-Dauermeßgerät für den Einsatz im Wattenmeer und in Brandungszonen

Von Harald Göhren

Inhalt

1. Vorbemerkungen	8
2. Anlaß und Ziel der Geräteentwicklung	8
3. Funktion und Konstruktion des automatischen Schwebstoffmeßgerätes	10
4. Bau und Erprobung eines Prototyps	12
5. Eichung und Meßgenauigkeit	16
6. Erste Meßergebnisse und weitere Programmplanung	18
7. Zusammenfassung	19
8. Schrifttum	19

Summary

With financial support by the German Research Association (Deutsche Forschungsgemeinschaft) an instrument for automatic long-term measurement of suspended matter has been developed. It works on a settling method. A sample of 20 l of water is pumped into a conical settling bottle every hour. The suspended sediments settling in a measuring tube at the bottom of the bottle are recorded by a camera. Power is supplied by a windmill generator. Tests have been carried out in the tidal flats of the southern North Sea. Further observations at 3 stations including long-term measurements of suspended matter, currents, waves, wind and water temperature are in preparation to provide data for an investigation of wind-generated variations of suspended load in tidal flats.

1. Vorbemerkungen

Durch Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Schwerpunktprogramm „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ (5) wurde in den Jahren 1967 bis 1971 ein Meßgerät für Dauermessungen des Suspensionsgehaltes entwickelt, gebaut und erprobt. Über diese Geräteentwicklung ist vom Verfasser auf der Coastal Engineering Conference 1972 in Vancouver, Kanada, berichtet worden. Der nachfolgende Aufsatz enthält wesentliche Teile dieses Referats, das außerdem in den „Proceedings of the Thirteenth Coastal Engineering Conference“ erschienen ist (4), mit einigen Änderungen und Ergänzungen.

2. Anlaß und Ziel der Geräteentwicklung

Das Schwerpunktprogramm „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft, das 1967 begonnen worden ist, hat umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen zur Erweiterung und Vertiefung der Kenntnisse über die *Sandbewegung* im Küstengebiet zum Inhalt. In der ersten Phase dieses Programms, das im Jahre 1974 ausläuft, wurden vor allem neue Methoden und Geräteentwicklungen gefördert.

Bei dem überwiegend feinen Sohlenmaterial in den Ästuarien und Watten der Nordseeküste und den hier auftretenden starken Strömungen ist neben dem Geschiebetransport

der *Sandtransport in Suspension* von besonderer Bedeutung. Während bei feinem Sohlenmaterial der Geschiebetransport im Naturversuch bis heute immer noch nicht befriedigend genau und zuverlässig gemessen werden kann, läßt sich der Suspensionstransport aus Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten und der in der Volumeneinheit Wasser mitgeführten Feststoffanteile – wenn auch mit beträchtlichem Aufwand – bestimmen.

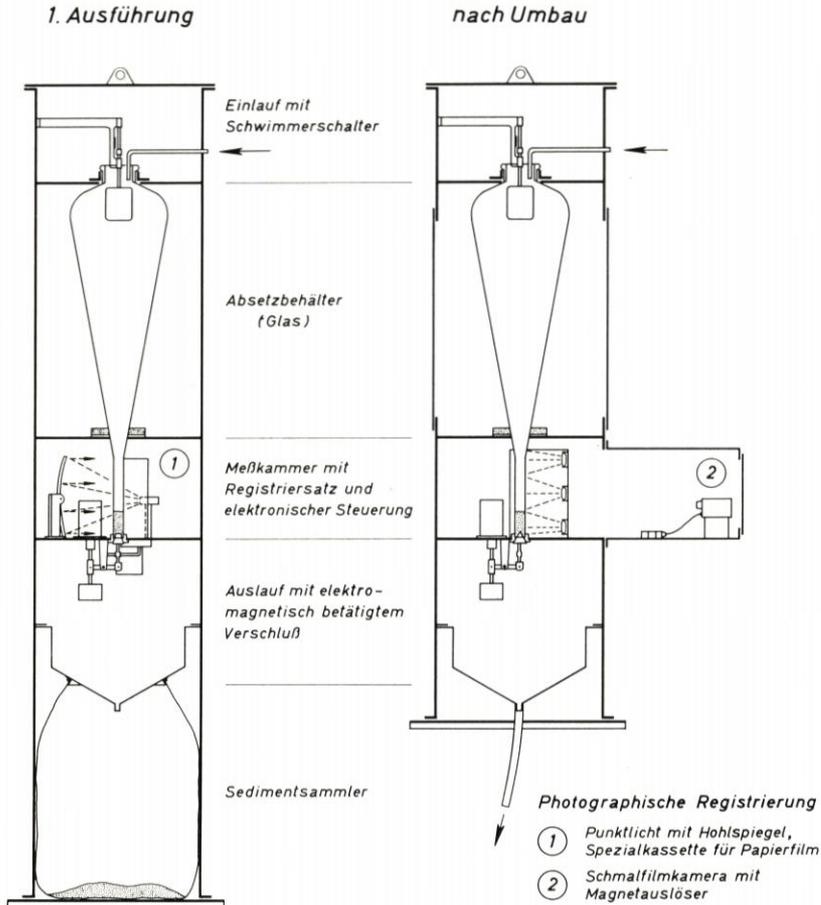


Abb. 1. Gerät zur Messung suspensierter Feststoffe (schematische Darstellung)

Zur Ermittlung des Feststoffgehaltes oder Suspensionsgehaltes im Wasser sind bisher verschiedene Verfahren entwickelt worden. Überwiegend sind es Verfahren zur Bestimmung der Feststoffanteile in Wasserproben, die durch geeignete Schöpfgeräte oder Pumpen entnommen werden. Die Messungen erfordern im allgemeinen eine manuelle Gerätebedienung, sind also für eine Automation wenig geeignet. Neben diesen unmittelbaren Feststoffmessungen sind fotoelektrische Meßverfahren (Trübungsmessung) entwickelt worden.

Suspensionsmessungen waren bislang nur als sog. „in-situ-Messungen“ möglich, also Messungen mit manueller Gerätebedienung von Schiffen oder Plattformen aus. Solche Messungen sind aber bekanntlich in der Regel „Schönwettermessungen“ und daher für eine

umfassende Erforschung der Sandbewegung in der Küstenregion nicht ausreichend. In weiten Bereichen unseres Nordseeküstengebietes, insbesondere in den flachen Wattenmeeren und an den Brandungsstränden, sind die winderzeugten Strömungsvorgänge (Brandungsströmungen, Orbitalströmungen und Triftströmungen) von entscheidender Bedeutung für den Sandtransport und die morphologische Prägung. Aus dieser Erkenntnis entstand immer wieder die Forderung nach automatischen und wetterunabhängig arbeitenden Meßgeräten für die Schwebstoffmessung, wie sie insbesondere WOHLBERG (11) formuliert hat.

Mehrere Versuche, automatische Probenschöpfer für das Watt zu entwickeln, brachten keinen entscheidenden Fortschritt, weil der Aufwand zum Wechseln der Behälter nach jeder Tide zu groß war und weil z. T. systematische Meßfehler auftraten (1, 2, 7, 9). Ein erneuter Versuch, in dieser für die küstenmorphologische Forschung so wichtigen meßtechnischen Frage voranzukommen, wurde mit der nachfolgend beschriebenen, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell geförderten Geräteentwicklung begonnen.

3. Funktion und Konstruktion des automatischen Schwebstoffmeßgerätes

Bei der Entwicklung der meßtechnischen Konzeption standen die beiden folgenden grundsätzlichen Verfahren zur Auswahl:

- a) Die direkte Bestimmung der Feststoffmasse in der Volumeneinheit Wasser.
- b) Die fotoelektrische Methode, das heißt, die Bestimmung der Lichtabsorption oder Rückstreuung einer durchleuchteten Wasserschicht (Trübungsmessung).

Das fotoelektrische Meßverfahren erscheint für die Entwicklung eines automatischen Dauermeßgerätes im Prinzip wesentlich besser geeignet. Es weist jedoch folgende entscheidende Nachteile auf und schied daher nach Auffassung des Verfassers bei den gegebenen Anforderungen aus: Die Lichtabsorption wie auch die Rückstreuung ändern sich nicht volumenproportional mit der Korngröße. Bei der optischen Messung ist die Querschnittsfläche des Einzelkornes die entscheidende Meßgröße, bei der Gewichtsbestimmung dagegen das Volumen. Es ist theoretisch nachzuweisen und bereits experimentell bestätigt, daß sich eine angenäherte funktionale Abweichung nach dem Korndurchmesser zwischen beiden Meßgrößen ergibt. Bei starken Schwankungen des Kornspektrums in der Suspension, die bei den instationären Strömungsverhältnissen im Gezeitengebiet stets vorausgesetzt werden müssen, ergeben sich erhebliche Fehler. Zu diesem verfahrensmäßig bedingten Nachteil tritt bei einem Meßgerät, welches ohne Kontrolle über längere Zeit arbeiten soll, die Gefahr des Bewuchses der Sichtöffnungen. Bewuchs oder Verschmutzung der optischen Einheiten würden vermutlich sehr schnell zu unkontrollierbaren Meßfehlern führen.

Nach diesen grundsätzlichen Überlegungen erschien es erforderlich, die unter a) genannte Konzeption zu verfolgen. Sie führte zu folgendem Geräteentwurf (Abb. 1): Eine Unterwasserpumpe fördert in regelmäßigen Zeitabständen eine Wasserprobe in ein trichterförmiges Absetzgefäß (Prinzip des IMHOFF-Bechers). Die suspendierten Feststoffe setzen sich in einem zylindrischen Meßrohr am unteren Ende des Gefäßes ab und werden am Ende des Sedimentiervorgangs fotografisch registriert. Durch einen magnetisch betätigten Verschuß am Ende des Meßrohres wird der Behälter danach geleert, worauf der Meßvorgang wiederholt werden kann.

Abb. 1 zeigt in einer Systemdarstellung den Aufbau des Meßgerätes. Dieses System, das grundsätzlich eine Anpassung an unterschiedliche Meßbedingungen zuläßt, wurde nach

entsprechenden Vorversuchen (s. u.) und unter Zugrundelegung der besonderen Verhältnisse an der Wattenmeerküste der Nordsee für den Bau des Prototyps folgendermaßen ausgelegt:

Volumen des Absetzgefäßes 20 l

Ansauggeschwindigkeit der Förderpumpe 50 cm/s

Pumpzeit ca. 5 Min.

Absetzzeit ca. 55 Min.

Die vorgesehene Sedimentierzeit von rund 1 Stunde erschien ausreichend, nachdem in Vorversuchen ermittelt worden war, daß sich in dieser Zeit rund 70 % der Feststoffe absetzen (s. u.). Eine relativ lange Pumpzeit war anzustreben, um die kurzfristig sehr

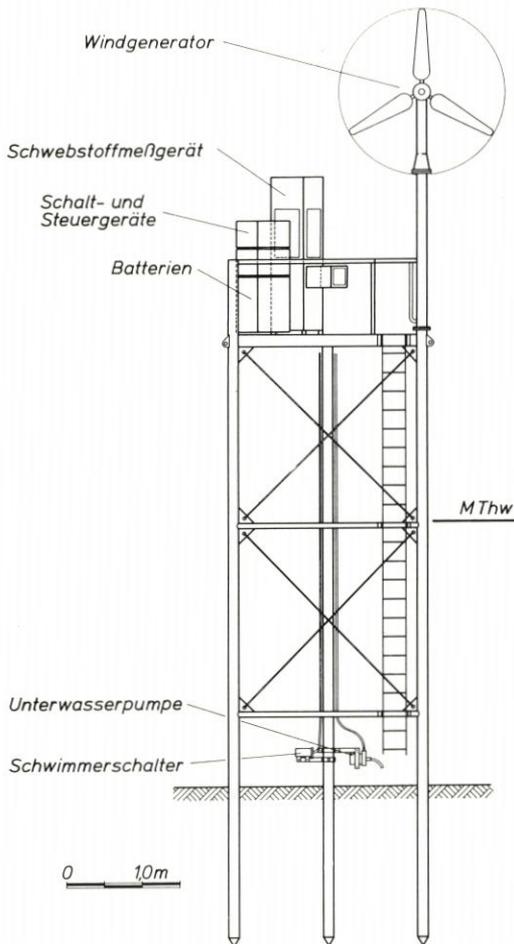


Abb. 2
Meßplattform mit Schwebstoffmeßgerät
und Windkraftgenerator für den Einsatz
im Watt

stark schwankenden Feststoffkonzentrationen auszugleichen. Durchmesser und Länge des unteren Meßrohres am Absetzgefäß wurden für eine maximale Konzentration von rund 2000 mg/l Feststoff bestimmt.

Da das Schwebstoffmeßgerät zum Einsatz auf einer autonomen Station gedacht war, war die Frage der Energieversorgung besonders wichtig. Vorgesehen wurde eine Energieversorgung durch einen Windkraftgenerator unter Zwischenschaltung von Pufferbatterien.

Der erste Entwurf sah schließlich vor, die einzelnen Sedimentproben nach Entleerung des Absetzbehälters in einem zweiten, größeren Gefäß zu sammeln, um sie später noch kornanalytisch bearbeiten zu können.

4. Bau und Erprobung eines Prototyps

Nach Festlegung der technischen Konzeption erhielten die Hydrowerkstätten GmbH in Kiel 1967 den Auftrag zum Bau eines Prototyps einschließlich der dazu notwendigen Entwurfs- und Entwicklungsarbeiten. Das Gerät wurde 1969 abgeliefert. Zur technischen

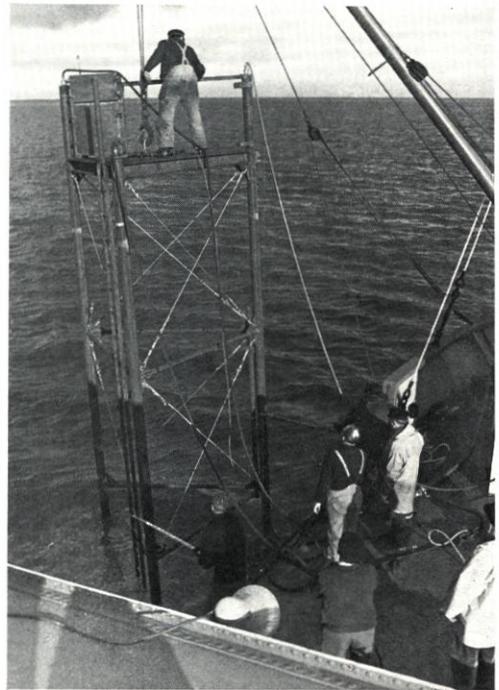


Abb. 3
Aufbau der Meßplattform im Neuwerker
Wattgebiet

Ausführung seien kurz folgende Angaben gemacht: Alle Geräteeinheiten sind in einem $50 \times 50 \times 250$ cm großen Stahlgehäuse untergebracht. Das Absetzgefäß im oberen Teil ist aus Glas gefertigt, um glatte, durchsichtige und korrosionsbeständige Wandungen zu erhalten. Ein schwimmergesteuerter Schalter schaltet die Pumpe nach Füllung des Absetzgefäßes ab. Zur Steuerung der verschiedenen Funktionen innerhalb des Meßzyklus wurde eine elektronische Steuereinheit entwickelt. Zur Registrierung des im Meßrohr abgesetzten Sedimentes wurde bei der ersten Ausführung eine Spezialkassette für einen 20 cm breiten Papierfilm eingebaut, welcher am Meßrohr vorbeigeführt wird und mit entsprechender Durchleuchtung die Sedimenthöhe im Maßstab 1:1 aufzeichnet. Dieses System hat sich später nicht bewährt und wurde durch eine Filmregistrierung ersetzt.

Der Verschuß am unteren Ende des Meßrohres wird durch einen Hubmagneten betätigt. Zur Förderung der 20 l Wasser in stündlichem Abstand wurde eine Flügelradpumpe der Firma BENTHOS, USA, beschafft, für die Stromerzeugung ein Windkraftgenerator der

Firma LUBING, Barnstorf. Als Pufferbatterien sind normale Autoakkumulatoren mit insgesamt 140 Ah installiert.

Nach Ablieferung des Meßgerätes begann eine mehrjährige Erprobung, zunächst im Hafengebiet von Cuxhaven, später im Neuwerker Watt. Da das Meßgerät hochwasserfrei aufgestellt werden muß, wurde ein besonderes, dreipfähliges Meßgerüst gebaut, das fertig montiert von einem Schiff eingespült werden kann (Abb. 2 bis 4).

Im Laufe der Erprobung, die sich mit mehreren Unterbrechungen bis zum Jahre 1972 hinzog, wurden Messungen an verschiedenen Stationen im Neuwerker Watt durchgeführt. Sie ergaben bereits einige interessante Ergebnisse, insgesamt traten jedoch in dieser Zeit noch Störungen und Unterbrechungen auf, die zu Änderungen und Verbesserungen des gesamten Systems führten. Im wesentlichen wurde folgendes verändert bzw. ergänzt: Das im Prototyp eingebaute Registriersystem erwies sich als nicht ausreichend zuverlässig. Es



Abb. 4
Meßstation im
Neuwerker Watt
mit Schwebstoff-
meßgerät,
Wellenmeßgerät
(das Schwimmer-
rohr ist am
rechten Tragpfahl
der Plattform
angebracht) und
Wattdauerstrom-
messer (Vorder-
grund)

wurde ausgebaut und durch eine handelsübliche Schmalfilmkamera (8 mm) ersetzt, die in Einzelbildschaltung durch einen Magnetauslöser bedient wird. Diese Registrierung ist von hoher Zuverlässigkeit. Abb. 5 zeigt den Ausschnitt eines Registrierfilms. Die Filmkapazität reicht aus für eine Meßzeit von über 2 Monaten. Bei diesem einfachen Registriersystem konnte außerdem eine gute Zeitkontrolle in Form einer Kalenderuhr vorgesehen werden, die im Filmausschnitt mit abzulesen ist. Im Aufnahme-feld wurde ferner eine Kontroll-lampe angeordnet, die jeweils anzeigt, ob der Meßbehälter zur Aufnahmezeit mit Wasser gefüllt war oder nicht. (Lampe „aus“ bedeutet, daß entweder das Meßgerät zur Niedrig-wasserzeit ausgeschaltet ist, oder daß eine Funktionsstörung vorliegt.)

Große Schwierigkeiten und auch zeitliche Verzögerungen im Verlaufe der Erprobung entstanden durch die aus den USA beschaffte Unterwasserpumpe. Das als „Tiefsee-Pumpe“ annoncierte Gerät erwies sich – auch nach Reklamation, Reparatur und schließlich Umtausch – als nicht wasserdicht und wurde jeweils bereits nach kurzer Betriebszeit durch eindringendes Seewasser zerstört. Als Ersatz wurde schließlich eine wechselstrom-betriebene Tauchwasserpumpe (Fa. PROKOSCH) gefunden. Abb. 6 zeigt die Pumpe, die an einem Tragpfahl der Meßstation befestigt ist. Darüber angeordnet ist ein Schwimmer-schalter, der den Stromkreis bei Niedrigwasser unterbricht.

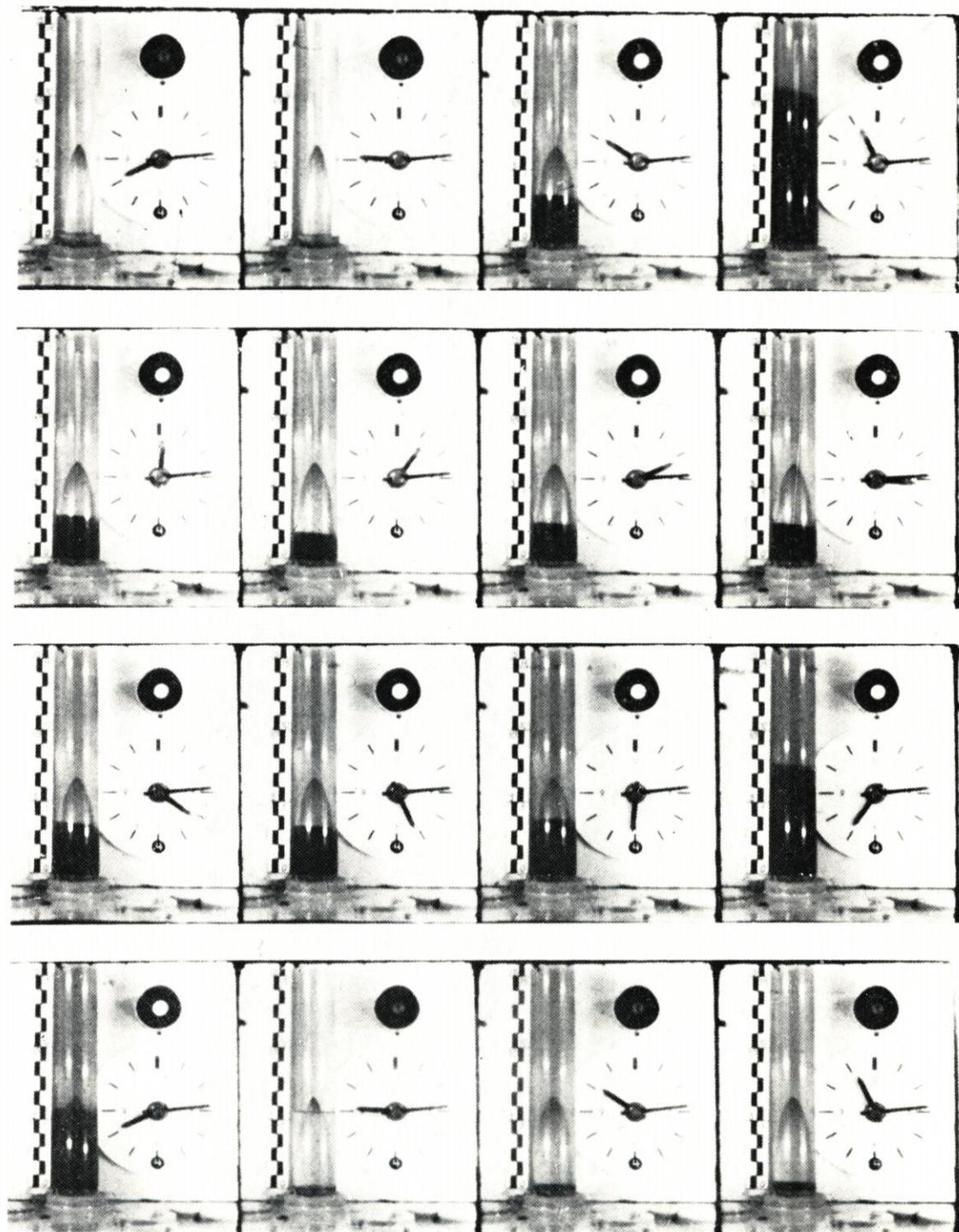


Abb. 5. Ausschnitt eines Registrierfilms (Original 8-mm-Film)

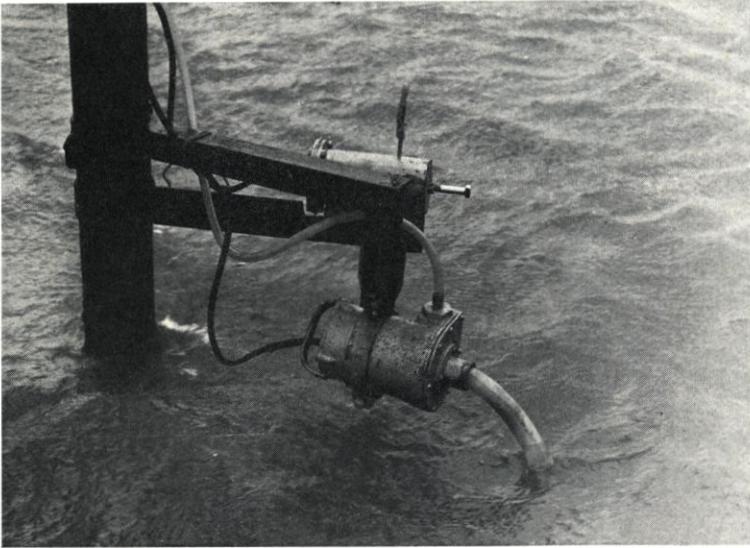


Abb. 6
Tauchpumpe
(unten) und
Schwimmer-
schalter (oben),
am Tragpfahl
der Meßplatt-
form befestigt

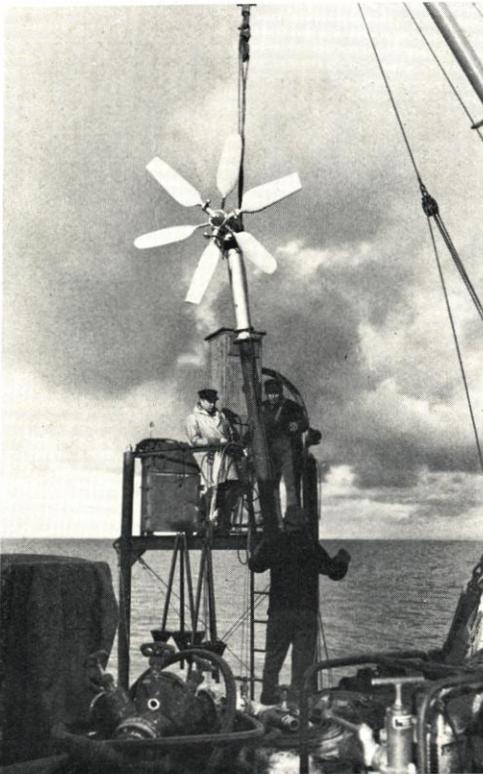


Abb. 7
Windkraftgenerator zur Stromversorgung
des Schwefelmeßgerätes

Zur Erzeugung der bei der Auslegung des Gesamtsystems nicht vorgesehenen Wechselspannung 220 V mußte zusätzlich ein transistorisierter Wechselrichter eingebaut werden. Als relativ zuverlässig erwies sich der für die Stromerzeugung angeschaffte Wind-

kraftgenerator (Abb. 7). Im Verlauf der gesamten Erprobungszeit ist es allerdings dreimal zum Bruch von Rotorblättern bei extrem hohen Windgeschwindigkeiten gekommen. Der Generator reicht zur Stromversorgung der Anlage bei Windstärken ab 3 Bft aus. Durch die Pufferbatterien können bei Flaute etwa zwei Tage überbrückt werden. Bei längeren Schönwetterperioden müssen Unterbrechungen in Kauf genommen werden, was jedoch im Hinblick auf die in Abschnitt 2 beschriebene Aufgabenstellung nicht als Nachteil angesehen wird.

Beim Prototyp wurde schließlich – um Abmessungen und Gewicht zu reduzieren – der untere Sedimenterraum abgetrennt (s. Abb. 1). Es ist noch vorgesehen, hierfür einen getrennten Behälter anzuschließen.

5. Eichung und Meßgenauigkeit

Das im Meßrohr abgesetzte Feststoffvolumen, das im vergrößerten Registrierfilm (Abb. 5) auf einer Skala abgelesen wird, ergibt – dividiert durch den Inhalt des Absetzbehälters (20 l) – die volumenmäßige Feststoffkonzentration in cm^3/l . Es ist der Volumenanteil der Feststoffe in lockerster Lagerung, der sich in dem 1 m hohen Absetzbehälter und bei der vorhandenen (nicht konstanten) Viskosität des Wassers in einer Stunde absetzt. Es

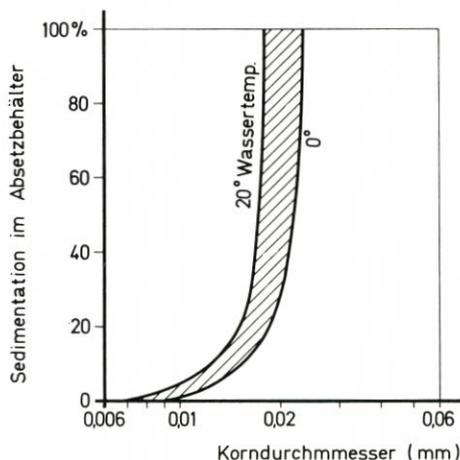


Abb. 8
Theoretische Sedimentationsrate in Abhängigkeit von Korndurchmesser und Wassertemperatur

handelt sich also auch hier um eine Meßgröße, die von anderen Faktoren abhängt und nicht ohne besondere Eichung in eine genormte Größe (Trockengewicht der Feststoffe in 1 l Wasser) umgerechnet werden kann. Das Absetzverfahren bedingt, daß suspendierte Stoffe mit sehr kleinem Korndurchmesser theoretisch nicht erfaßt werden. Nach dem STOKESSchen Gesetz ergibt sich aus den Dimensionen des Absetzbehälters die in Abb. 8 dargestellte Beziehung zwischen der Sedimentationsrate und dem Korndurchmesser. Danach würde die Grenze der Erfasbarkeit etwa beim Korndurchmesser 0,02 mm liegen. Dieses Gesetz läßt sich jedoch für die Sedimentationsvorgänge in den Küstengewässern nicht anwenden, weil hier erfahrungsgemäß unter dem Einfluß elektrochemischer und auch biologischer Faktoren die Flockenbildung eine maßgebende Rolle spielt. Dabei schließen sich in erheblichem Umfang Feinstbestandteile zu größeren Sedimentationsaggregaten zusammen, die schneller absinken, als es der Fallgeschwindigkeit der Einzelpartikel entspricht (6, 12).

Zur Eichung des Gerätes wurden mit Wasserproben aus dem Elbmündungsgebiet umfangreiche Laborversuche durchgeführt. Ein wichtiges Ergebnis dieser Versuche ist in Abb. 9 dargestellt. Die Kurve zeigt die zeitliche Sedimentationsrate und läßt erkennen, daß bei der gewählten Absetzzeit von 55 Min. rd. 70 % des gesamten absetzfähigen Materials gemessen werden. Die Untersuchungen ergaben ferner ein Verhältnis zwischen Feststoffvolumen und Trockengewicht von 3,3 mit einer Streuung von rund 33 %. Diese verhältnismäßig große Streuung ist erklärlich, weil das Verhältnis von der Lagerungsdichte und damit indirekt von der Korngröße abhängt.

Abbildung 10 zeigt die nach den Vorversuchen ermittelte Eichbeziehung für das automatische Schwebstoffmeßgerät. Der nichtlineare Verlauf der Kurve im unteren Bereich ist auf eine Querschnittsverengung des Meßrohrs im Verschlußteil zurückzuführen. Dadurch wird die Anzeigenauigkeit im Bereich niedrigerer Konzentrationen erhöht.

Normierte Absetzkurve für Meßbehälter
(ermittelt aus 16 Einzelversuchen)

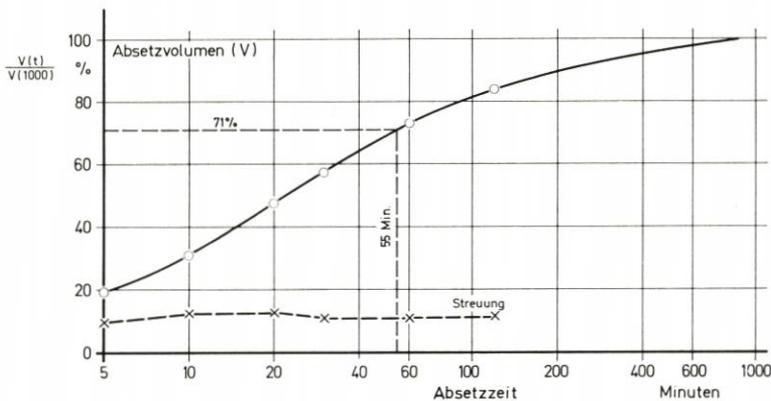


Abb. 9. Normierte Absetzkurve, ermittelt aus einer Serie von Absetzversuchen mit Schöpfproben aus dem Neuwerker Watt (Wassertemp. 10 bis 15°, Salzgehalt 1,5 bis 2,0 ‰)

Bei der Abschätzung der Gesamtgenauigkeit dieses Meßverfahrens sind außerdem die Fehler zu berücksichtigen, die durch die Wasserprobenentnahme entstehen können. Die Art der Probennahme gilt bekanntlich bei allen Feststoffmessungen in fließendem Wasser als besonders problematisch, weil jedes Entnahmeggerät eine Störung des Fließvorgangs hervorruft und damit Fehler bewirken kann. Hierüber sind bereits in den USA sehr ausführliche Untersuchungen durchgeführt worden. Bei der gegebenen Ansauggeschwindigkeit von 50 cm/sec ergeben sich nach den Untersuchungen von NELSON und BENEDIKT (8) sowie WATTS (10) Fehler (Abweichung der gemessenen Konzentration von der vorhandenen) unter 20 %, soweit es sich bei dem suspendierten Material um Schluff und Feinsand handelt.

Insgesamt zeigt sich, daß auch mit diesem Meßverfahren nur eine begrenzte Meßgenauigkeit zu erreichen ist. Im Hinblick auf den Absetzvorgang im Meßbehälter und die damit zusammenhängenden Eichprobleme ist jedoch darauf hinzuweisen, daß es sich hier nicht unbedingt um einen verfahrensmäßigen Nachteil handeln muß. Denn auch das Trockengewicht aller in Suspension befindlichen Stoffe darf nicht als die ideale Meßgröße angesehen werden. Mit dem Absetzverfahren werden alle Bestandteile gemessen, die sich

in einem beruhigten Wasserkörper in einer begrenzten Zeit absetzen können. Das sind aber genau die Stoffe, die im Rahmen unserer küstenmorphologischen Forschung eine Rolle spielen. Dabei ist besonders zu beachten, daß sich der in der Natur entscheidende Prozeß der Flockenbildung auch im Absetzbehälter vollzieht.

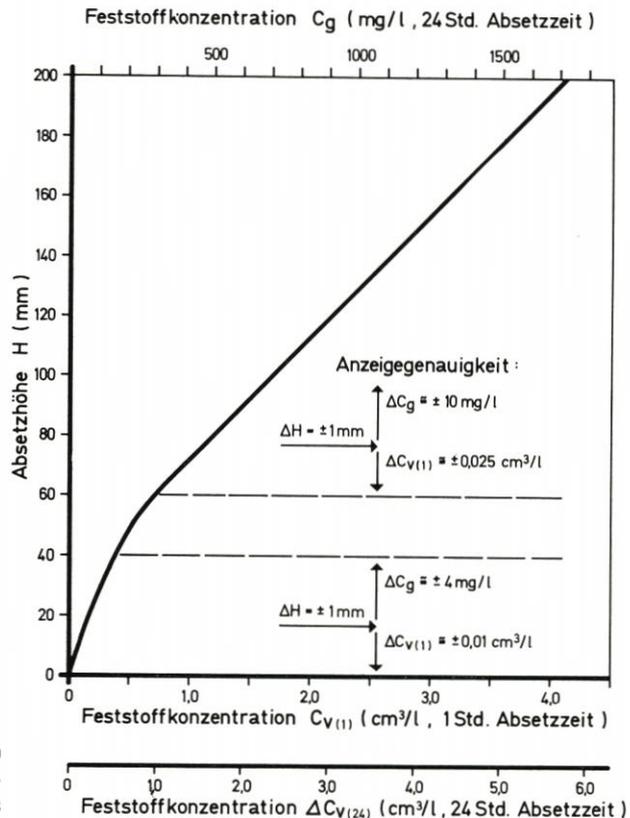


Abb. 10
Eichfunktion des Schwebstoff-
meßgerätes

6. Erste Meßergebnisse und weitere Programmplanung

Ziel der nach der Erprobungszeit geplanten langfristigen Stationsmessungen ist es, die Abhängigkeit des Gehaltes suspendierter Feststoffe im Wasserkörper der Ästuare und Wattenmeere der Nordseeküste von den Gezeitenströmungen und den meteorologischen Einflüssen sowie anderen maßgebenden Parametern zu untersuchen. Zu diesem Zweck werden an der Meßstation gleichzeitig Strömungsmessungen und Seegangsmessungen durchgeführt (s. Abb. 4).

Die bei den Geräteproben erhaltenen Meßdaten haben wegen der häufigen Störungen und Unterbrechungen noch kein ausreichendes Material für eine gründliche statistische Analyse ergeben. Seit 1972 konnten erste zusammenhängende und erfolgversprechende Meßreihen gewonnen werden. Über diese Ergebnisse wird später zu berichten sein. Abb. 11 zeigt als Beispiel eine Auftragung des an der Station Scharhörn im November/Dezember 1972 gemessenen Schwebstoffgehaltes. Diese Station liegt im exponierten Wattgebiet und ist in besonderem Maße dem Seegang und der Brandung ausgesetzt. Während der Feststoffgehalt in einer Höhe von 35 cm über der Sohle bei ruhigem Wetter etwa

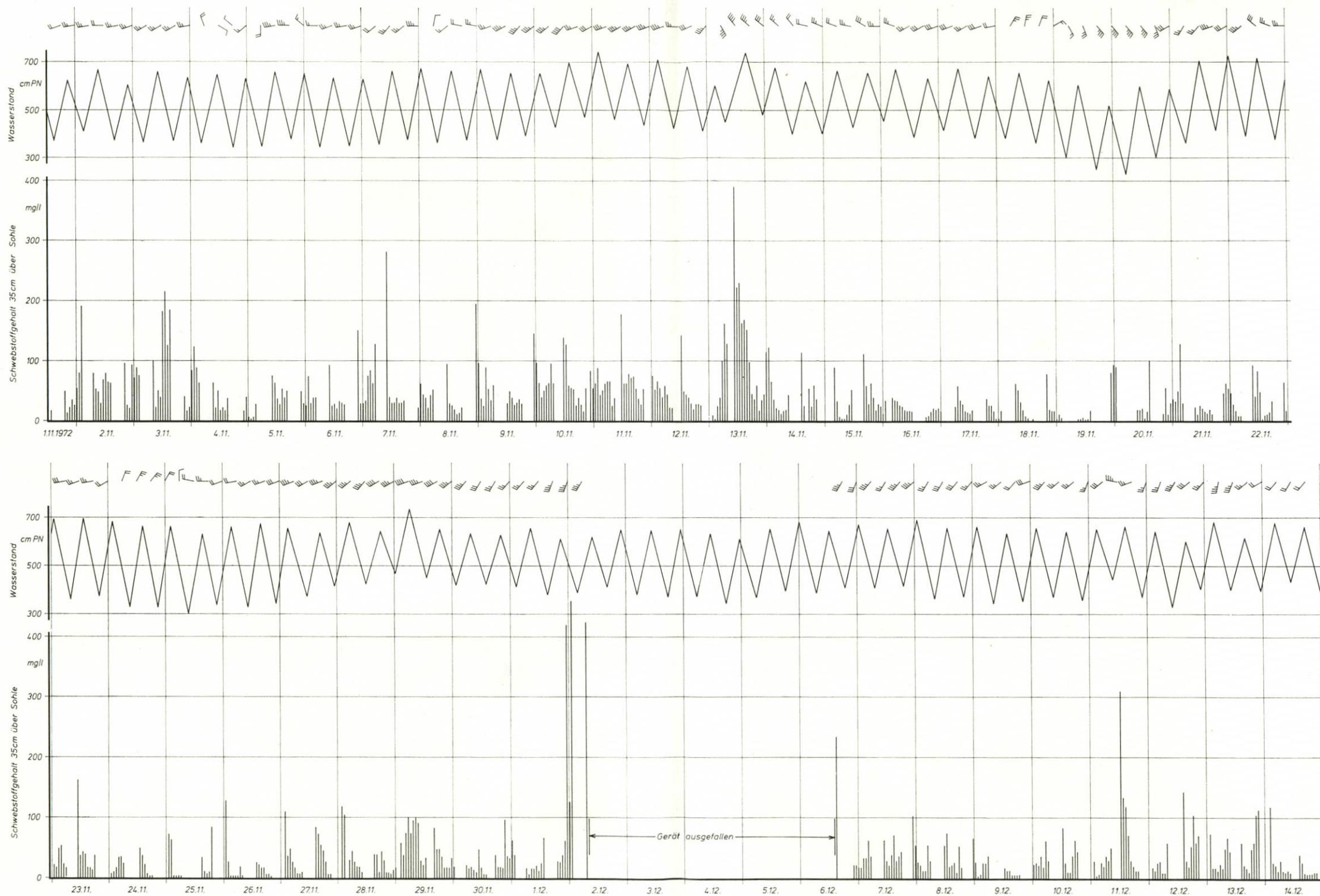


Abb. 11. Ergebnis einer Meßreihe im Watt nördlich von Scharhörn (Außenelbe). Windgeschwindigkeit und -richtung sind als 3-Stunden-Mittel der Meßstation Scharhörn angegeben

10 bis 50 mg/l beträgt, steigt er im Verlauf der mehrfach auftretenden Starkwind- und Sturmperioden auf über 100 mg bis maximal 400 mg/l. Es sei besonders darauf hingewiesen, daß das Schwebstoffmeßgerät bei dem orkanartigen Sturm vom 13. 11. 72 ohne Störungen und Unterbrechungen durchgearbeitet hat. Die inzwischen erreichte Zuverlässigkeit und Funktionssicherheit auch unter rauen Einsatzbedingungen ist damit unter Beweis gestellt.

Im Rahmen des auslaufenden Schwerpunktprogramms Sandbewegung sind von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zwei weitere Meßgeräte dieses Typs zur Verfügung gestellt worden. Ab 1974 sollen mit insgesamt 3 Stationen in einem küstennormalen Profil auf dem Neuwerker Watt langfristige Messungen begonnen werden. Nur durch mehrjährige, ununterbrochene Meßserien wird es gelingen, über die bisherigen Erkenntnisse hinausgehende quantitative Zusammenhänge zwischen den windbeeinflussten hydrodynamischen Faktoren und dem Feststofftransport im Wattenmeer zu gewinnen.

7. Zusammenfassung

Zur Messung suspendierter Feststoffe in den Küstengewässern der Nordsee wurde mit Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft ein automatisches Dauermeßgerät mit Registrierung und autonomer Energieversorgung entwickelt. Gemessen werden die Feststoffe, die sich in einem trichterförmigen Absetzgefäß in einer Stunde aus einer Wasserprobe von 20 l absetzen. Konzeption, Geräteentwicklung, Ergebnisse und Erfahrungen der Geräteerprobung und erste Meßergebnisse werden mitgeteilt. Eine Serie von 3 Geräten soll für stationäre Dauermessungen im Gebiet der Elbmündung eingesetzt werden, um die meteorologischen Einflüsse auf Sandtransport und Morphologie der Küstengewässer weiter zu erforschen. Die ersten vorliegenden Meßergebnisse bestätigen erneut, daß bei starkwindigen und stürmischen Wetterlagen der Feststoffgehalt des Wassers im Wattenmeer stark zunimmt.

8. Schrifttum

1. GÖHREN, H.: Ein neues Schöpfgerät für Schwebstoffuntersuchungen im Watt. Die Küste, Jg. 13, 1965.
2. GÖHREN, H.: Beobachtungen über Schwebstoffkonzentrationen im Watt. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 11. Jg. H. 1, 1967.
3. GÖHREN, H. und LAUCHT, H.: Entwicklung eines Gerätes zur Dauermessung suspendierter Feststoffe. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, H. 3, 1972.
4. GÖHREN, H. und LAUCHT, H.: Instrument for Long-Term Measurement of Suspended Matter. Proceed. 13th Coastal Engineering Conference 1972.
5. LAUCHT, H.: Entwicklung eines automatischen Schwebstoffmeßgerätes für den Brandungsbereich. Forschungsbericht - Sandbewegung im Küstenraum. Deutsche Forschungsgemeinschaft, 1971.
6. LUCK, G.: Beobachtung der Sedimentbewegung mit einer Unterwasser-Fernsehanlage. Die Küste, H. 21, 1971.
7. MÜLLER, G. D.: Fauna und Sediment in der Leybucht. Jahresbericht 1959 der Forschungsstelle Norderney, 1960.
8. NELSON, M. und BENEDICT, C.: Measurement and Analysis of Sediment Load on Streams. Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 76, 1950.
9. PLATH, M.: Ein im Gezeitenbereich des Wattenmeeres selbsttätig arbeitendes Sinkstoff-Schöpfgerät und die Bedeutung der Wattfauna für die Bildung von Sinkstoffen. Die Küste, Jg. 13, 1965.
10. WATTS, G. M.: Development and Field Test of a Sampler for Suspended Sediment in Wave Action. Beach Erosion Board, Techn. Mem. 34, 1953.
11. WOHLNBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste, Jg. 2, 1954, H. 2.
12. WUNDERLICH, F.: Studien zur Sedimentbewegung. Senckenbergiana maritima, 1, 1969.