

ABSCHLUSSBERICHT ANHANG ED1

KFKI-VORHABEN : Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in
Ästuaren

BMFT-Vorhabenummer : 524-3891-MF 0296 2

Projektleitung : Dr.-Ing.H.Christiansen

Bearbeitet von : Dipl.Oz.L.J.R.Neumann

Dipl.Geogr.S.Haar

№28432 *lit -4*

21. Jan. 1988

ABSCHLUSSBERICHT ANHANG BD 1

KFKI-VORHABEN : Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in
Ästuaren

BMFT-Vorhabenummer : 524-3891-MF 0296 2

Projektleitung : Dr.-Ing.H.Christiansen

Bearbeitet von : Dipl.Oz.L.J.R.Neumann

Dipl.Geogr.S.Haar

No 28432

Inhalt

A N H A N G

Einführung

A. Untersuchungsberichte zu Gerätetests

- Zentrifuge
- Druckfiltrationsgerät
- Hydrozyklon
- Wassergütemeinheit
- Korngrößenanalysator

B. Hydrodynamisch-numerische Berechnungen

C. Datenerfassung, Verarbeitung und Analyseverfahren der Schwebstoffproben und Begleitparameter der AMO.

D. Hydrobiologische Untersuchungen und Ergebnisse

E. Geräteverzeichnis

A N H A N G

Einführung

Der Anhang des Abschlußberichtes "Schlick- und Schwebstoffe in Ästuaren" beinhaltet abgeschlossene Berichte über Untersuchungen, die zum einen Grundlage, zum anderen begleitende Forschungen des Vorhabens waren. Ergänzend sind Analyse- und Berechnungsverfahren, sowie das Geräteverzeichnis beigelegt.

Die abgeschlossenen Berichte von :

- Fa. Goepfert & Reimer und Partner
- R. Schubert
- N. Greiser

wurden unter finanzieller Förderung des BMFT erstellt. Die Berichte geben die Ergebnisse und Meinungen der Autoren wieder.

Untersuchungsberichte zu
Gerätetests

UNTERSUCHUNGSBERICHTE ZU GERÄTETESTS

Inhalt

Seite

Bericht über die Bestimmung der Feststoff-Abscheideleistung des Separators LAPX 202 BQT- 24 der Firma Alfa Laval.

A 0

Bericht über die Prüfung eines Druckfiltrationsgerätes für den Einsatz in einem automatisierten Trennsystem im Zusammenhang mit dem Betrieb einer " Meßstation für die kontinuierliche Sammlung von Schwebstoffen im Elbwasser".

A 25a

Bericht über die Bestimmung des Feststoff-Abscheidegrades eines Hydrozyklons des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten, Schleswig-Holstein.

A 41a

Bericht über die Inbetriebnahme und Kalibrierung der Wassergütemeßstation GTU 801 der Firma Gimat und über die Durchführung von Vergleichsmessungen.

A 51a

Korngrößenvergleich als Grundlage für die Beschaffung eines Gerätes zur Korngrößenmessung von Elbeschwebstoff im automatischen ON-Line-Verfahren.

A 71a

EINFÜHRUNG

Die Firma *Goepfert & Reimer und Partner, Hamburg* hat im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg, Amt für Strom- und Hafengebäudebau, Referat Hydrologie Unterelbe mehrere Gerätetests durchgeführt. Die Berichte zu diesen Tests sind im folgenden Abschnitt vollständig wiedergegeben.

Weiter wird über einen Korngrößenvergleich (NEUMANN) als Grundlage für die Beschaffung eines Gerätes zur Korngrößenmessung berichtet.

Bericht

über

die Bestimmung der Feststoff-Abscheideleistung
des Separators Labx 202 BQT - 24
der Firma Alfa Laval

Auftraggeber : Freie und Hansestadt Hamburg
Amt für Strom- und Hafengebäudebau
Referat Hydrologie Unterelbe

Auftragsschreiben : Nr. 242 vom 21.07.1982
Dienststelle - HU - RJ 1982

Ort der Versuchsdurchführung : Anleger Blankenese
Stromkilometer 634,30
in den Räumen der Behörde
für Bezirksangelegenheiten
Naturschutz und Umweltgestaltung

Projektnummer : 032 / 0100 / 67

Meßzeit : 23.03. bis 04.10.1982
(mit Unterbrechungen)

Sachbearbeiter : Frau Nack

Rufnummer : 040 / 692 00 110

Umfang des Berichtes : 26 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

- 1.0 Vorbemerkung und Aufgabenstellung
- 2.0 Beschreibung des Separators
- 3.0 Durchführung der Versuche,
Meßergebnisse
 - 3.1 Versuchsabschnitt 1,
Untersuchung der Betriebseigenschaften
des Separators
 - 3.2 Versuchsabschnitt 2,
Optimierung der Separationseigen-
schaften
 - 3.3 Versuchsabschnitt 3,
Bestimmung des Abscheideverhaltens
des modifizierten Separators in
Abhängigkeit von der Drehzahl
- 4.0 Zusammenfassung und Beurteilung
der Ergebnisse

1.0 Vorbemerkung und Aufgabenstellung

Für die Meßstation zur kontinuierlichen Sammlung von Schwebstoffen aus Elbwasser wurde am 7.1.1982 ein Separator Typ Labx 202 BQT - 24 (Laborausführung) der Firma Alfa Laval durch das Amt für Strom- und Hafengebäude beschafft. Die Inbetriebnahme erfolgte am 23.3.1982 durch einen Monteur der Firma Alfa Laval (AL) und einen Vertreter von Goepfert, Reimer & Partner (GRP).

Um den späteren automatischen Betrieb in einer geplanten Meßstation sicherstellen zu können, sollten vorab die Eigenschaften des Separators durch Erprobungsläufe näher untersucht werden.

Im einzelnen waren zu bestimmen:

- Abscheideleistung des Separators;
- Feinkornverlust in Abhängigkeit von der Trommeldrehzahl bei konstantem Durchfluß;
- Optimale Entschlammung durch Variieren der Betriebszeiten und Spülphasen;
- Verbleibender Feststoffanteil in der Trommel nach Entschlammung- und Spülphasen.

Die Ergebnisse sollten in einem Bericht dargestellt werden.

2.0 Beschreibung des Separators

Die Fest-Flüssig-Trennung in dem Separator der Firma Alfa Laval beruht auf den unterschiedlichen Massenkräften im Zentrifugalfeld.

Der Separator besteht aus einer Trommel, die über einen Motorantrieb in ihren Umdrehungen pro Zeiteinheit geregelt werden kann. Die Beschickung der Trommel mit der Probe erfolgt von oben über einen im Zentrum der Trommel feststehenden Stutzen. Dieser Stutzen läßt die Probe am Boden der Trommel in das Zentrifugalfeld eintreten. Die Trommel ist von drei Auffangebene mit Auslaßstutzen für die Fraktionen "leichte Flüssigkeit", "schwere Flüssigkeit", "Festkörper", umgeben.

Bei der Zweiphasentrennung (Klärung) kann die Probe kontinuierlich der Trommel zugeführt werden. Die Festkörper bewegen sich aufgrund der Zentrifugalkraft zur Trommelwand und setzen sich dort ab, während das geklärte Wasser zur Trommelmitte fließt, kontinuierlich durch die Öffnungen im Hals des Trommeldeckels die Trommel verläßt und über die Auffangebene für leichte Flüssigkeit aus dem Separator austritt (Abb 1, geschlossener Rotor).

Der Ausstoß des Feststoffes erfolgt in veränderbaren Intervallen mit Hilfe des Steuersystems durch einen Schlitz zwischen Trommelkörper und Trommeldeckel (Abb. 1, geöffneter Rotor).

Während der Feststoffsammelzeit wird der Schlitz durch einen Dichtungsring im Trommelkörper geschlossen. Dafür ist es notwendig, daß dem Steuersystem ständig Steuerflüssigkeit mit ca. 100 l/h zugeführt wird, die wiederum frei aus dem System ablaufen muß. Wird der Steuerflüssigkeitszulauf unterbrochen, gibt der Dichtungsring den Schlitz frei und die Trommel wird geöffnet.

Durch Einbauten in der Trommel (Tellerstapel) läßt sich der Abscheidegrad des Gerätes deutlich verbessern. Die einzelnen Teller sind mit jeweils vier dicht am Zentrum liegenden Öffnungen versehen, damit die Flüssigkeit diese passieren kann. Während die zum Teil geklärte Flüssigkeit von unten durch den Tellerstapel fließt, sedimentieren die Feststoffe zwischen den Tellern und werden relativ schnell an der Unterseite der Teller aufgrund der Tellerform zur Trommelwand in den Schlammsammelraum transportiert.

Weiterhin ist die Abscheidung abhängig von der Drehzahl der Trommel und dem Flüssigkeitsdurchsatz.

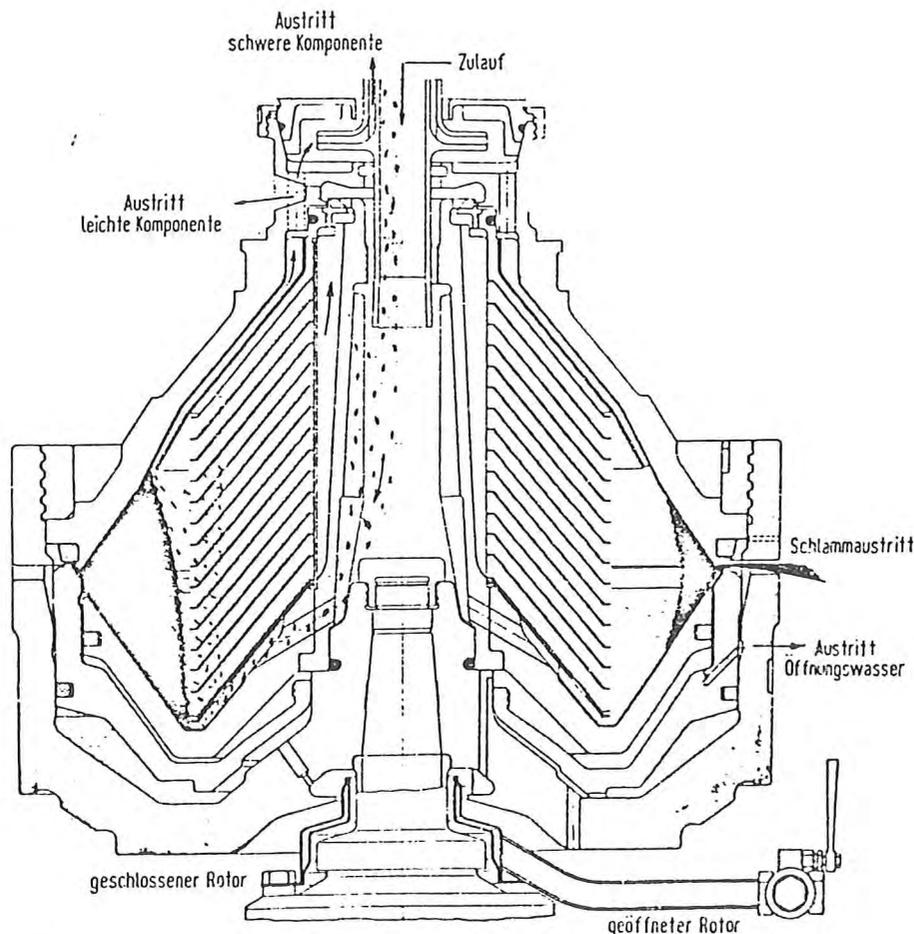


Abb. 1 Rotor eines selbstreinigenden Drei-Phasen-Separators

Goepfert, Reimer & Partner Hamburg	Meßbericht	Seite. A 5
		Projekt Nr.: 030 / 0100 / 67
		Sachbearbeiter: Frau Nack
Gruppe Messtechnik		

3.0 Durchführung der Versuche, Meßergebnisse

Die Versuchsreihen konnten in den Räumen der Behörde für Bezirksangelegenheiten, Naturschutz und Umweltgestaltung (BBNU) auf dem Fähranleger in Blankenese direkt mit dem Medium Elbwasser durchgeführt werden. Die BBNU betreibt dort eine kontinuierlich arbeitende Meßstation zur Erfassung der Wassergüte.

Für die Versuchsreihen wurde der Separator im By-paß zur Wassergütemeßstation durch die vorhandene Pumpe mit Elbwasser versorgt. Die Abscheideleistung sollte mit Hilfe einer gravimetrischen Bestimmung des Feststoffanteils in einer Teilmenge der ungeklärten Flüssigkeit (Elbwasser) sowie eine Teilmenge des Zentrats (geklärte Flüssigkeit) ermittelt werden. Zur Trennung der Feststoffe (Partikel $> 0,45 \mu\text{m}$) aus den gewonnenen Teilmengen stand in der Zeit vom 30.6. bis zum 24.9.1982 ein Filtrationsgerät der Firma Sartorius leihweise zur Verfügung. Die Verwiegung der Filter erfolgte auf einer Analysenwaage (Meßbereich 0 - 200 g, Nachweisgrenzen 0,00002 mg).

3.1 Versuchsabschnitt_1

Untersuchung der Betriebseigenschaften des Separators

Da von seiten der Firma Alfa Laval auf dem Gebiet der Feststoffabscheidung aus Flußwasser mit diesem Separatortyp noch keine Erfahrungen vorlagen, war es nach der Inbetriebnahme zunächst erforderlich ein geeignetes Ablaufschema für die manuelle Steuerung des Separators festzulegen. Nach einem Ablaufschema wurde der Separator wie folgt betrieben:

Anlauf:

- Hauptschalter der Steuereinheit einschalten;
- Betriebsschalter auf Stellung 2 schalten;
- Drehzahl von Hand langsam auf den gewünschten Wert einstellen;

Separierung:

- Steuerflüssigkeitszulauf öffnen;
- Probenzulauf öffnen;

Entleerung:

- Probenzulauf absperren;
- Steuerflüssigkeitszulauf absperren;

Spülung (wenn der Betrieb es erfordert):

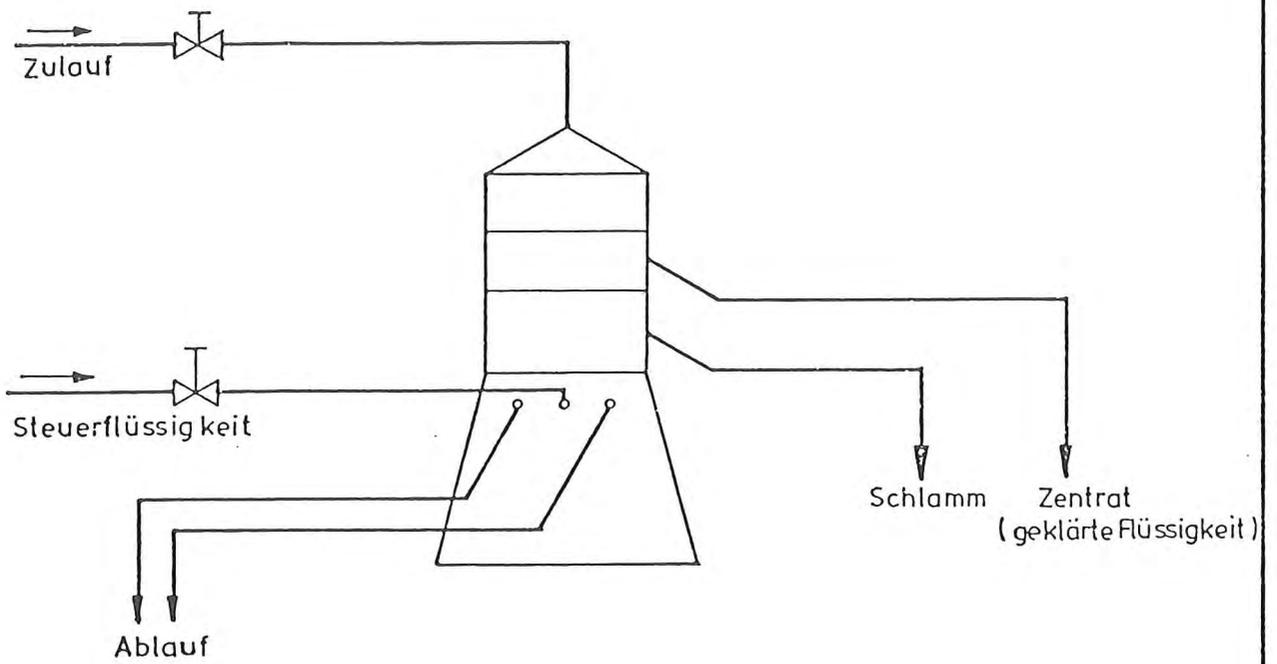
- Steuerflüssigkeit schließen;
- Probenzulauf öffnen;

Abschalten:

- Betriebsschalter der Steuereinheit, auf Stellung 1 schalten;
- Drehzahl von Hand langsam auf Null regeln;
- Hauptschalter ausschalten.

Als Steuerflüssigkeit wurde Leitungswasser verwendet.

Abbildung 2 : Versuchsaufbau



Es sollten nun mit Elbwasser erste Versuche durchgeführt werden, um die Betriebseigenschaften des Separators kennenzulernen. Dazu wurde das Gerät in der Zeit vom 23.3. bis 25.3.1982 mit einem Elbwasserdurchsatz von 6.250 bis 6.600 ml/min bei den Drehzahlen von 7.000; 9.000 und 10.000 U/min betrieben. Nach Separationszeiten von 5, 10, 15, 20, 25 und 30 min wurde jeweils die Trommel entleert und anschließend geöffnet, um die selbständige Entleerung zu kontrollieren.

Dabei zeigte sich, daß die vom Hersteller zugesagte vollständige Entleerung der Trommel nicht eintrat. Stattdessen bildete sich in der Trommel vor dem Austrittsspalt ein geschlossener Ring aus verdichtetem Schlamm, der die Trommel aufgrund seiner Konsistenz nicht verlassen konnte. Selbst ein an die Separation anschließender Spülvorgang änderte das Ergebnis nicht. Die Zerlegung und Reinigung der Trommel ließ erkennen, daß ein Feststoffanfall von ca. 80 % in ihr zurück blieb.

Nach Rücksprache mit der Firma Alfa Laval gab diese die Empfehlung, die Separationszeiten zwischen den Entleerungen zu verkürzen und den Dichtungsring der Trommel leicht zu fetten. Außerdem wurde vorgeschlagen, die Firma Askalia hinsichtlich chemischer Separations-Hilfsmittel anzusprechen.

Die Möglichkeit den Schlammaustrag durch Zusatz eines Hilfsstoffes im Zulauf zu verbessern, wurde jedoch vom Amt für Strom- und Hafengebäude grundsätzlich abgelehnt.

Während der Zeit vom 26.3. bis 29.3.1982 fanden erneut Versuche statt.

Versuchsablauf:

- Anlaufen des Separators
- Separierung
- Entleerung
- Abschalten des Separators
- Zerlegen der Trommel.

Bei jeweils 10.000 U/min und Separationszeiten von 1,3 und 10 min wurde der Austrag beobachtet. Dazu wurde nach Anweisung von Alfa Laval der Dichtungsring der Trommel mit verschiedenen Fetten (Silicon-Hochvakuumfett schwer, Fa. Wacker-Chemie GmbH, Exsikkatorfett, Fa. Merck und Hahnkückenfett, Fa. Wertheim) behandelt.

Unter diesen Bedingungen waren keine nennenswerten Verbesserungen des Austrages festzustellen.

AL wurde von den Ergebnissen in Kenntnis gesetzt. Es wurde zwischen Al und GRP vereinbart, daß bei einem weiteren Testlauf ein Monteur den Betrieb beobachten sollte.

Dieser Testlauf fand am 6.4.1982 statt. Zunächst erfolgte eine vollständige Verlegung der Trommel durch Alfa Laval. Hierbei sollte die Lage der einzelnen Bauteile (Teilerstapel) überprüft werden. Nach erneuter Montage fand ein Separationsversuch über 15 min bei einer Drehzahl von 10.000 U/min und einem Wasserdurchsatz von 144 l/h statt.

Versuchsablauf:

- Anlaufen des Separators
- Separierung
- Entleerung
- Abschalten
- Zerlegen der Trommel.

Die geöffnete Trommel wies Schlammablagerungen am Austrittspalt auf.

Nach Auffassung von AL wurde die Entleerung trotz der vorhandenen Ablagerungen als "vollständig" erklärt. GRP erklärte die Eigenschaften des Separators für die vorgesehene Aufgabe noch als unzureichend.

In weiteren Diskussionen mit AL wurde vereinbart, bei den folgenden Versuchen die Trommeldrehzahl erheblich herabzusetzen, um die Verdichtung des Schlammes zu vermeiden. Die dadurch zu erwartende geringere Abscheideleistung sollte durch die Drosselung des Zulaufes auf 100 l/h (längere Verweilzeit der Flüssigkeit im Separator) kompensiert werden. Außerdem sollten die Abscheideeigenschaften (Korngrößenverteilung des verbleibenden Feststoffes im Zentrat) in Abhängigkeit der Drehzahl halbqualitativ überprüft werden, um eine ggf. erforderliche Rückweisung des Gerätes begründen zu können.

Diese Untersuchung fand am 6.4.1982 statt. Als Korngrößenanalysator kam ein Laserpartikel-Particel-Sizer 2200 der Firma Malvern (Leihgabe der GKSS) zum Einsatz. Während des Versuches wurde der Separator mit einem Wasserdurchsatz von 100 l/h bei Drehzahlen von 4.000; 6.000; 8.000 und 10.000 U/min betrieben.

Versuchsablauf:

- Anlaufen
- Drehzahleinstellung
- Separierung
- Entleerung
- Abschalten.

Die Untersuchung ergab, daß in den genannten Drehzahlbereichen hohe Abscheideleistungen erreicht werden können. Der Feststoffgehalt im Zentrat betrug weniger als 5 mg/l. Bei diesen Konzentrationen konnten jedoch durch den Particel-Sizer keine sicheren Angaben über die Kornverteilungen gemacht werden.

Am 27.04.1982 erfolgte die Durchführung eines weiteren Versuches, Durchfluß 100 l/h, mit dem Ziel, die in der Trommel verbleibenden Feststoffmassen nach der automatischen Entleerung gravimetrisch zu bestimmen. Dazu wurden bei unterschiedlichen Separationszeiten und Drehzahlen von 3.000 U/min bzw. zum Vergleich von 6.000 U/min die ausgestoßenen und die in der Trommel verbleibenden Schlamm-massen nach Trocknung gewogen. Die an den Schlamm-massen anhaftenden Salzmassen mußten dabei vernachlässigt werden.

Versuchsablauf:

- Anlaufen
- Separierung
- Entleerung (Sedimentprobe)
- Abschalten
- Zerlegen der Trommel (Rückstandsprobe).

Die Meßergebnisse (Tab.1) zeigten, daß bei konstantem Durchfluß (100 l/h) und konstanter Separationszeit von 30 min der Schlamm-anteil in der Trommel nicht gravierend von der Drehzahl abhängt. Wird die Separationszeit bei konstantem Durchfluß (100 l/h) und konstanter Drehzahl 3.000 U/min auf 10 min verringert, nimmt der verbleibende Schlammanteil in der Trommel um ca. 50 % ab. Der Schlammanteil nimmt nur um ca. 20 % ab, wenn bei konstanter Drehzahl (3.000 U/min) und einer Separationszeit von 30 min eine Drosselung des Durchsatzes um 50 % erfolgt.

Aus den Ergebnissen wurde deutlich, daß der Schlammaustrag zwar durch kurze Separationszeiten bei gleichzeitig vermindertem Durchfluß begünstigt wird; ein vollständiger Austrag war jedoch ohne konstruktive Veränderungen am Separator kaum zu erwarten.

Ein weiteres Gespräch mit den Vertretern der Firma Alfa Laval fand am 25.7.1982 statt. Nach Diskussion der GRP-Ergebnisse schlugen die AL-Vertreter vor, konstruktive Veränderungen an der Trommel vornehmen zu wollen.

Meßbericht

Tabelle 1 : Meßergebnisse des Versuches am 27.4.1982

Drehzahl U/min	Separations- zeit min	Durchsatz l/h	Sedimentausstoß mit ca. 400 ml Flüssigkeit		Rückstand ohne Flüssigkeit	
			g	%	g	%
6.000	30	100	0,37	36,3	0,65	63,7
3.000	30	100	0,31	36,1	0,55	63,9
3.000	10	100	0,26	57,8	0,19	32,2
3.000	30	50	0,27	50,0	0,27	50,0

Der Einfluß auf das Austragsergebnis sollte in begleitenden Versuchen durch GRP quantitativ erfaßt werden.

3.2 Versuchsabschnitt 2

Optimierung der Separatoreigenschaften

Am 30.06.1982 fanden erneut Versuche, diesmal unter Leitung von AL, statt. Der ursprünglich gelieferte Dichtungsring wurde durch einen Dichtungsring aus weicherem Material (Perbunan) Teil Nr. 533565/87 ersetzt.

Zur quantitativen Bestimmung der partikelförmigen Stoffe wurde ein Druckfiltrationsgerät unter Einsatz von Nitrozellulose-Membran-Filtern (Durchmesser 100 mm; Porenweite 0,45 µm) durch GRP eingesetzt.

Versuchsablauf:

- Anlaufen
- Separierung
- Entleerung
- Abschalten
- Zerlegen der Trommel.

Bei einer Drehzahl von 8.000 U/min, einem Durchsatz von 135 l/h und einer Separationszeit von 30 min, konnten im Zentrat nur 2,9 mg/l Feststoff entsprechend ca. 6,5 % bei einer angenommenen Feststoffkonzentration im Rohwasser von 40 bis 50 mg/l ermittelt werden. Nach dem Zerlegen der Trommel mußte erneut ein unbefriedigender Austrag festgestellt werden. Daraufhin wurde die Trommel von AL ins Werk zwecks Umbau zurückgenommen.

Am 5.7.1982 kam die modifizierte Trommel zum Einsatz. Der Separatorbetrieb erfolgte wieder bei 8.000 U/min über die Zeit von 30 min mit dem Durchfluß von 125 l/h, um die Ergebnisse reproduzieren zu können. Gleich bei dem ersten Testlauf war festzustellen,

daß sich die Entleerung stoßartiger vollzog. Die durch AL vergrößerte Bohrung der Auslaßdüse führte zu einem schnelleren Druckabbau im Steuerflüssigkeitssystem.

Die Zerlegung der Trommel zeigte, daß nur noch vereinzelt Schlammrückstände auf dem Dichtungsring abgelagert waren. Es sollte nun geprüft werden, ob durch einen Spülvorgang Ablagerungen restlos zu entfernen waren. Der Spülvorgang sollte, um den gewünschten Erfolg zu erzielen, drucklos bei geöffnetem Sedimentaustrittsspalt erfolgen. Aus den Erkenntnissen dieses Versuches gab AL die Empfehlung für das Anschlußschema gemäß Abb. 3 im Abschnitt 3.3. Der Arbeitsablauf für die weiteren Versuche wird im Abschnitt 3.3 dargestellt.

3.3 Versuchsabschnitt 3

Bestimmung des Abscheideverhaltens des modifizierten Separators in Abhängigkeit von der Drehzahl

Der Versuchsaufbau laut Abb. 3 erfolgte am 26.7.1982. Der Arbeitsablauf ist dem folgenden Schema zu entnehmen.

Arbeitsablaufsschema

Anlagen des Separators:

- Steuereinheit: Hauptschalter einschalten;
Betriebsschalter auf Stellung 2 schalten;
- Drehzahl von Hand langsam auf die gewünschte Drehzahl einstellen;

Rohwasservorratsbehälter mit ca. 120 l füllen;

Rohwasserprobe entnehmen.

Separierung (Abb.4) :

- Steuerflüssigkeitszulauf (V_1) öffnen;
- Durchfluß von ca. 100 l/h einstellen (Trommel schließt mit ca. 50 sec Zeitverzögerung);
- Probenzulauf (V_2) öffnen.

Entleerung (Sedimentprobe, Abb.5) :

- Probenzulauf absperren;
- Steuerflüssigkeitszulauf absperren (Trommel öffnet mit einer Zeitverzögerung von ca. 50 sec).

Spülung (Probe, Abb. 6) :

- Spülflüssigkeitszufuhr (ca. 1 l) über den Trichter aufgeben;

Probe aus dem Reinwasservorratsbehälter entnehmen.

Abschalten des Separators:

- Betriebsschalter der Steuereinheit auf Stellung 1 (Wirbelstrombremse ist in Betrieb) schalten;
- Drehzahl von Hand langsam auf Null regeln;
- Hauptschalter ausschalten.

Trommel demontieren, reinigen (Rückstandsprobe) und montieren.

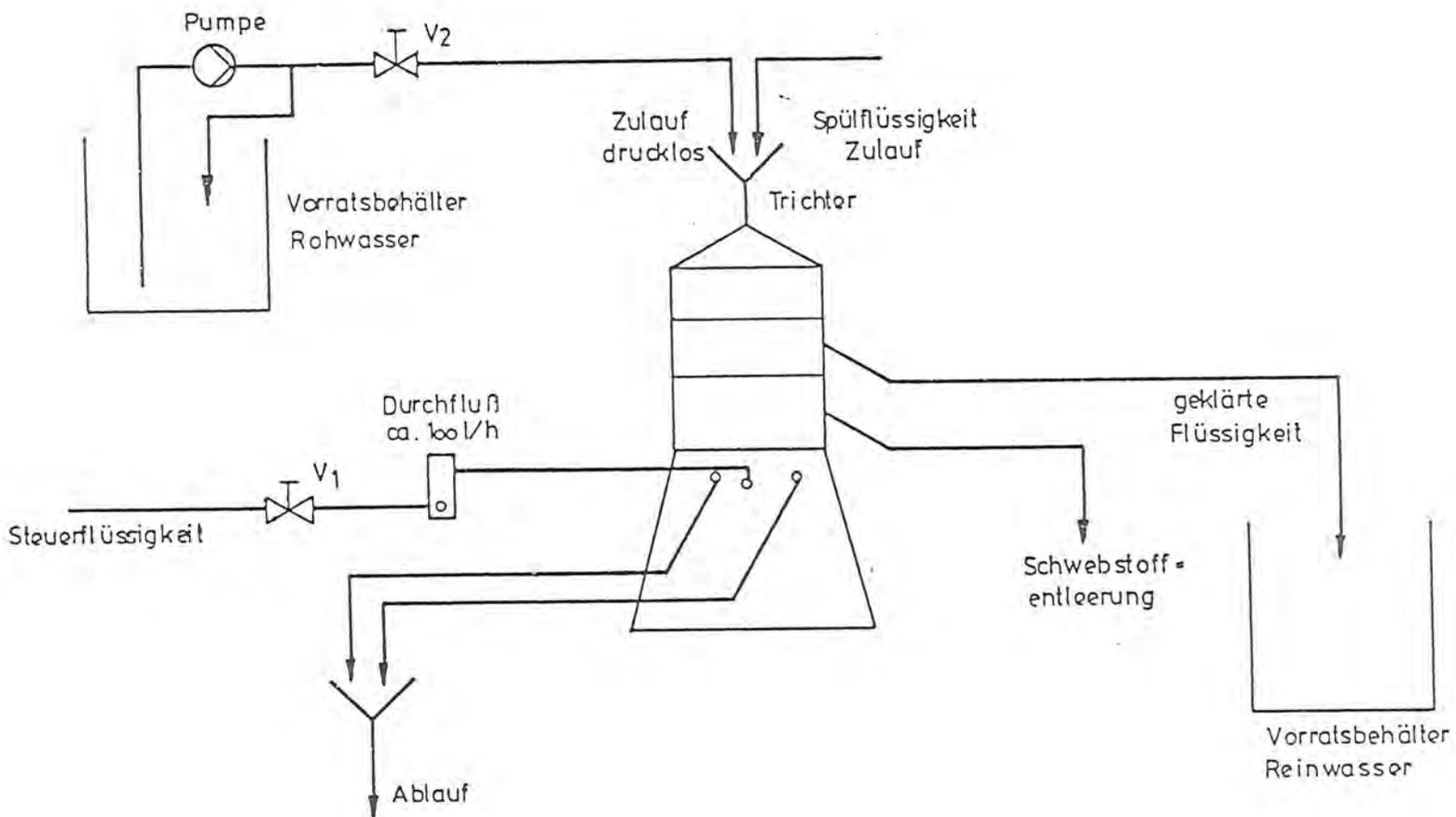


Abb. 3: Anschlußschema des Separators

Goepfert, Reimer & Partner Hamburg		Meßbericht	
Gruppe Meßtechnik			
Sachbearbeiter: Frau Nack		Projekt Nr. 030 / 0100 / 67	Seite A 16

Meßbericht

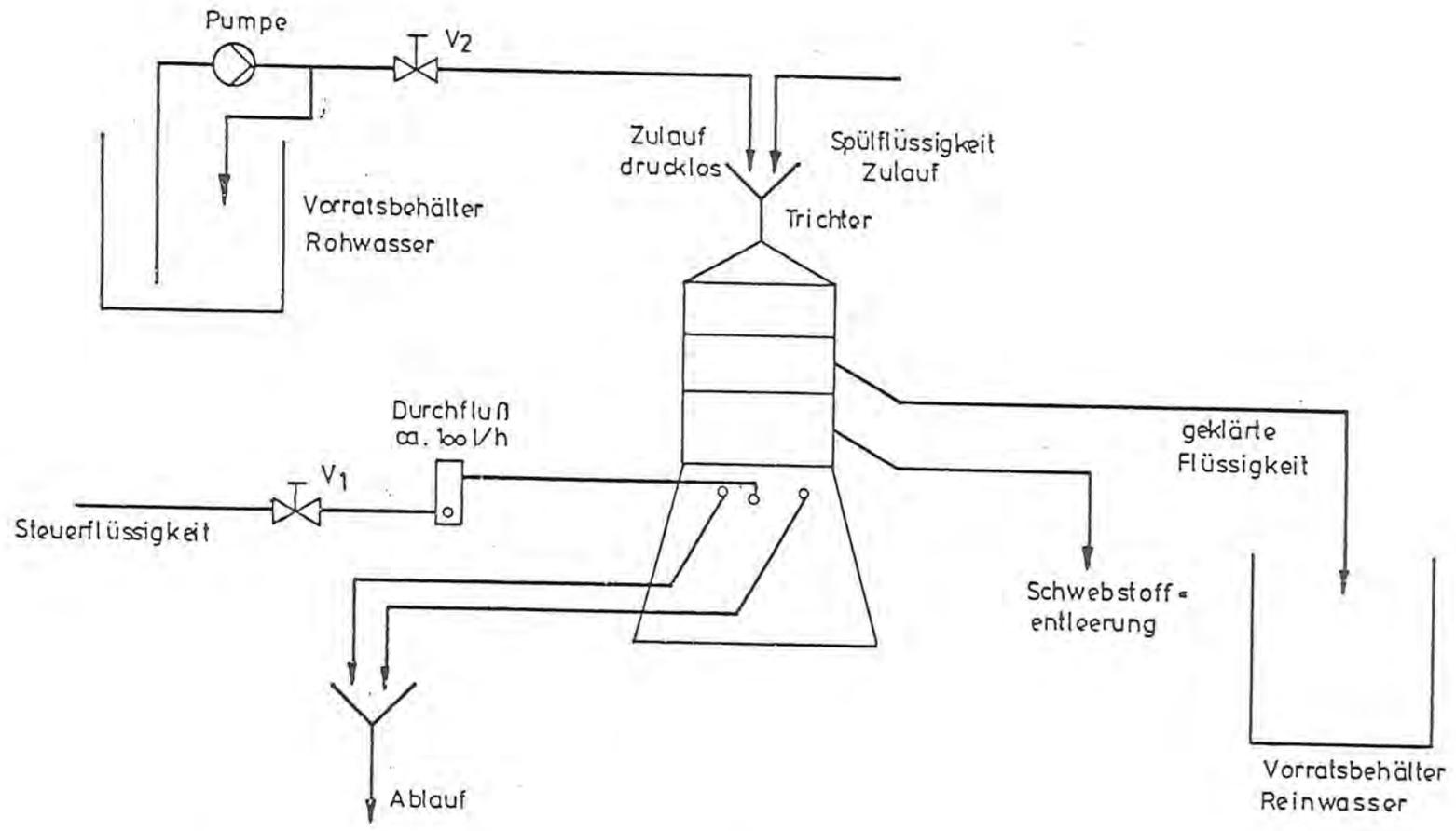


Abb. 4 : Fließschema der Funktion: Separierung

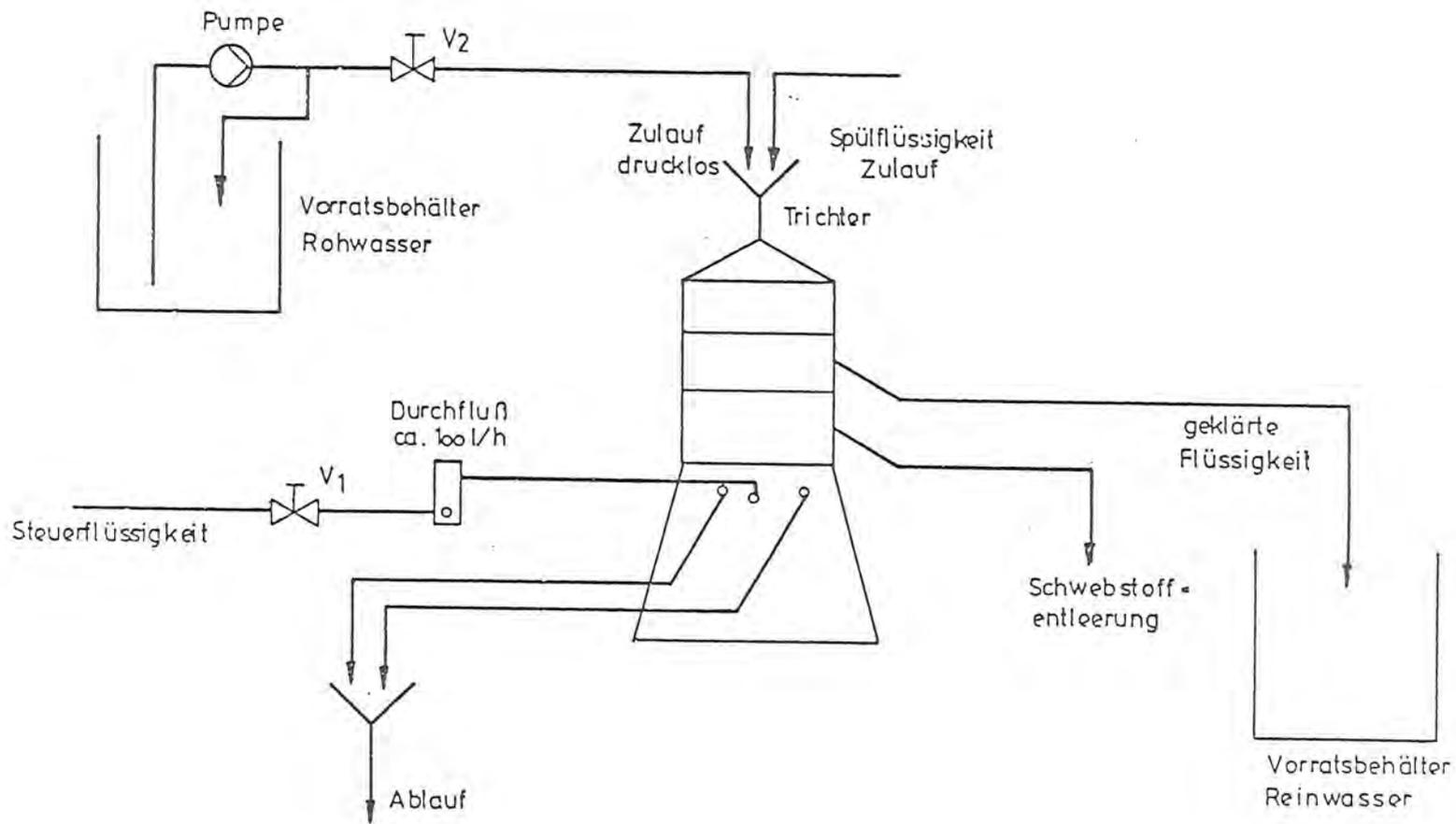


Abb 5 : Fließschema der Funktion : Entleerung

Meßbericht

Sachbearbeiter Frau Nack	Projekt Nr. 030 / 0100 / 67	Selle A 18
-----------------------------	--------------------------------	---------------

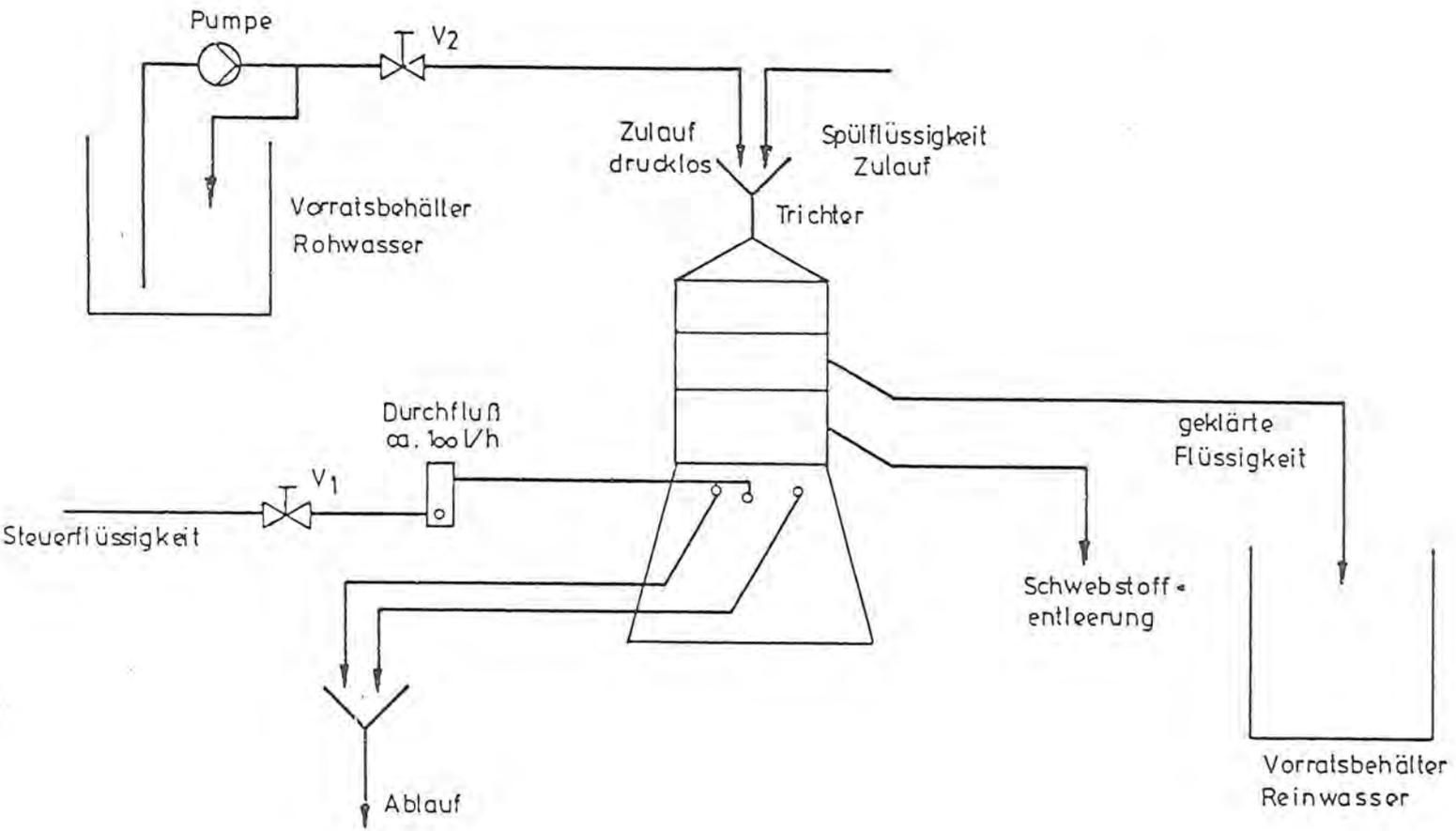


Abb 6 : Fließschema der Funktion : Spülung

Goepfert, Reimer & Partner Hamburg		<h1>Meßbericht</h1>	
Gruppe Meßtechnik			
Sachbearbeiter Frau Nack		Seite A 19	Projekt Nr. 030 / 0100 / 67

Entsprechend dem späteren Einsatz wurde dem Separator das Elbwasser drucklos zugeführt. Es stellte sich ein maximaler Durchsatz von ca. 350 l/h ein. Für die gravimetrische Bestimmung des Feststoffgehaltes des Rohwassers wurde eine Teilmenge nach dem homogenisieren aus dem Vorratsbehälter entnommen. Die Reinwasserprobe, entnommen aus dem Reinwasserbehälter, stellt eine Teilmenge der gesamten separierten Flüssigkeit dar. Die Gewinnung des Trommelrückstandes erfolgte durch Zerlegung und Reinigung der Einbauten in einer Schale durch Spülen mit Leitungswasser. Das in der Schale aufgefangene Spülwasser wurde in ein Probengefäß überspült und für die Druckfiltration bereitgestellt. Während der Versuche konnte die Drehzahl nur im Bereich 5.000 bis 10.000 U/min variiert werden, da bei Drehzahlen unter 5.000 U/min die geklärte Flüssigkeit dem Separator nicht mehr über die entsprechende Auffangebene verließ.

Die ermittelten Feststoffmassen sind in Tabelle 3 protokolliert. Die Werte (Tabelle 4) des bestimmten Feststoffanteils im Reinwasser zeigen keine Abhängigkeit von der Drehzahl.

Der ausgestoßene Feststoffanteil während der Entleerung erreicht bei der Drehzahl von 6.000 U/min ein Maximum (Abb. 7). Bei dieser Drehzahl wird der Rückstand in der Trommel geringer. Somit findet eine optimale Feststoffgewinnung bei dem Betrieb im Drehzahlbereich um 6.000 U/min statt. Die Feststoffkonzentration im Reinwasser (Tabelle 3) liegt im Mittel mit 8,3 mg/l über der Konzentration von 2,9 mg/l, die im Abschnitt 3.2 bei einem Durchsatz von ca. 135 l/h festgestellt wurde. Das bedeutet, daß in der geplanten Anlage der freie Zulauf zum Separator durch eine Querschnittsverengung verringert werden sollte.

Tabelle 3 : Meßwertprotokoll der Versuchsreihe 3.3

Datum : 26.07.1982

Drehzahl 8.000 U/min; durchgesetzte Rohwassermenge 128,0 l

	Rohwasser	Reinwasser	Entleerung	Spülung
Feststoffe mg entnommenes	23,1	60,2	1538,5	537,2
Probenvolumen ml	970	9637	388	
Konzentration mg/l	23,9	6,6		

Datum : 27.07.1982

Drehzahl 6.000 U/min; durchgesetzte Rohwassermenge 130,6 l

	Rohwasser	Reinwasser	Entleerung	Spülung
Feststoffe mg entnommenes	38,8	116,4	3020,3	727,6
Probenvolumen ml	929	10183	370	
Konzentration mg/l	41,8	11,4		

Datum : 28.07.1982

Drehzahl 10.000 U/min; durchgesetzte Rohwassermenge 129,9 l

	Rohwasser	Reinwasser	Entleerung	Spülung
Feststoffe mg entnommenes	28,7	18,7	1776,2	821,6
Probenvolumen ml	965	2579	369	
Konzentration mg/l	29,8	7,2		

Datum : 28.07.1982

Drehzahl 5.000 U/min; durchgesetzte Rohwassermenge 125,9 l

	Rohwasser	Reinwasser	Entleerung	Spülung
Feststoffe mg entnommenes	29,8	19,9	1999,5	720,2
Probenvolumen ml	945	2370	359	
Konzentration mg/l	31,6	8,4		

Tabelle 4 : Meßergebnisse des Versuchsabschnitts 3

Drehzahl U/min		10.000	8.000	6.000	5.000
Feststoff im Rohwasser	[g]	3,866	3,053	5,459	3,972
Feststoff im Reinwasser	[g]	0,939	0,800	1,492	1,059
ausgetragener Feststoff bei der Entleerung	[g]	1,776	1,539	3,020	2,000
ausgetragener Feststoff bei dem Spülvorgang	[g]	0,822	0,537	0,728	0,720
Rückstand in der Trommel	[g]	0,329	0,177	0,218	0,193
Feststoffanteil im Rein- wasser	[%]	24,3	26,2	27,3	26,7
Feststoffanteil im Spül- wasser	[%]	21,3	17,6	13,3	18,1
Rückstandsanteil in der Trommel	[%]	8,5	5,8	4,0	4,9

Gruppe Masstechnik
Goeplert, Reimer
& Partner
Hamburg

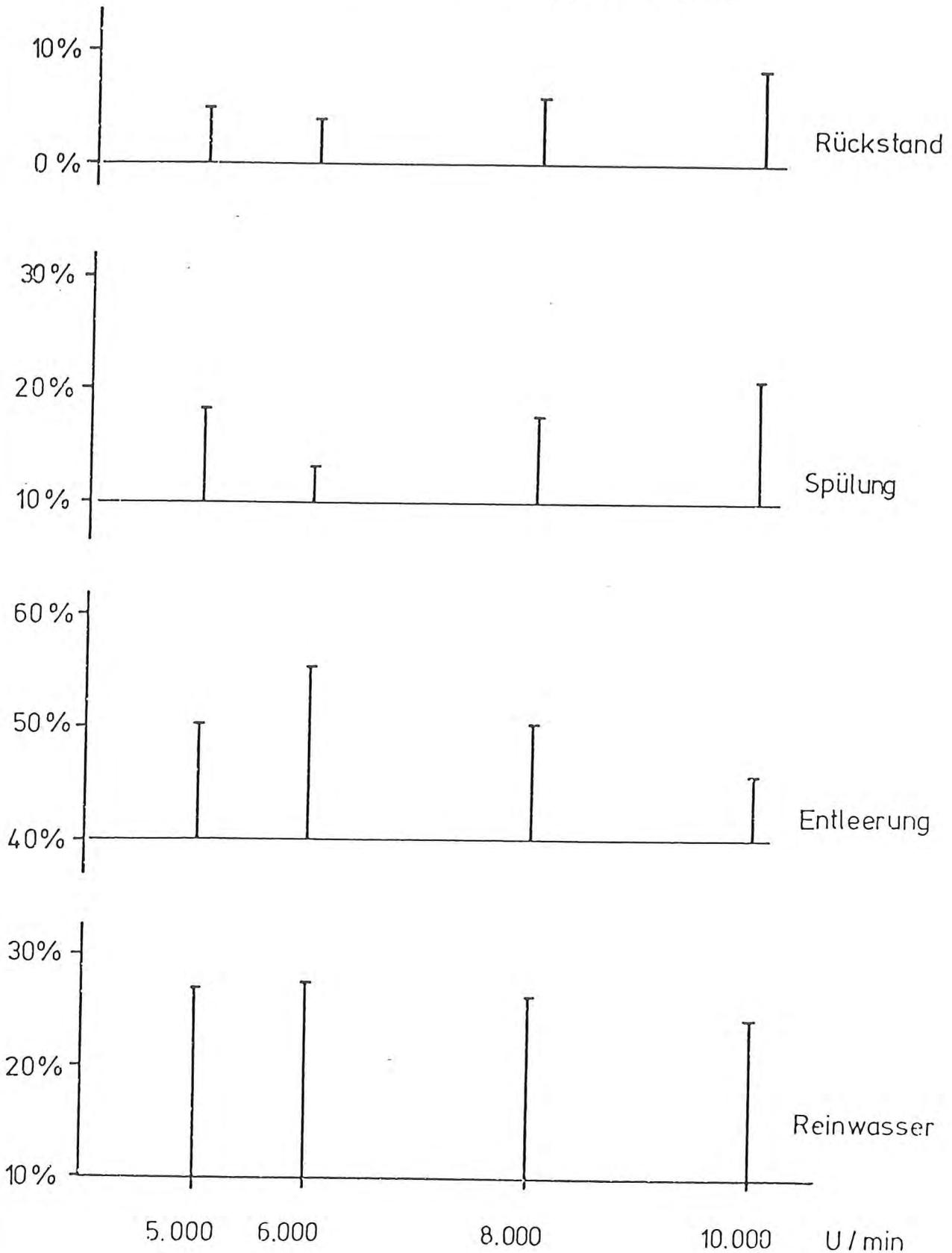
Meßbericht

Sachbearbeiter:
Frau Nack

Projekt Nr.:
030 / 0100 / 67

Seite A 22

Abb. 7 Darstellung der Feststoffanteile der Fraktionen bezogen auf den Feststoffanteil des Rohwassers bei den Drehzahlen 5.000, 6.000, 8.000 und 10.000 U/min



Ein weiterer Testlauf fand in der zukünftigen Meßstation in Oortkaten statt. Es sollte hier der kontinuierliche Separationsbetrieb simuliert werden.

Der Versuchsaufbau erfolgte entsprechend der Abbildung 2.

Versuchsablauf:

- Anlaufen des Separators
- Separierung, 20 min
- Entleerung
- Spülung
10x
- Abschalten des Separators
- Trommel demontieren.

Betriebsdaten:

Drehzahl 6.000 U/min

Freier maximaler Durchlaß ca. 350 l/h.

Während des Versuches wurden in 10 Durchläufen (Separierung, Entleerung, Spülung) ca. 1.200 l Elbwasser in drei Stunden und zwanzig Minuten durchgesetzt. Der verbleibende Rückstand in der Trommel nach dem Betrieb betrug ca. 200 mg. Der Schlamm lagerte sich im wesentlichen an der unteren Seite der Teller ab. In den 1.200 l Elbwasser sind 36 g Feststoff bei einer angenommenen Konzentration von 3,0 g/100 l enthalten, davon bleiben nach dem Spülvorgang ca. 1 % in der Trommel zurück.

4.0 Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse

In der Zeit vom 23.03. bis 04.10.1982 fanden Separationsversuche mit dem Separator Typ Labx 202 BQT-24 der Firma Alfa Laval statt. Die Versuche wurden mit dem Medium Elbwasser auf dem Fähranleger Blankenese, Stromkilometer 634,30 sowie in der zukünftigen Meßstation Oortkaten, Stromkilometer 707,50 durchgeführt.

Aus den Versuchsabschnitten ergaben sich folgende Abhängigkeiten, Betriebsdaten und Betriebsweise.

In dem Versuchsabschnitt 3.1 werden die Schwierigkeiten, die die Betriebsweise und besonders den Sedimentausstoß aus dem Separator betreffen, dargestellt. Nach der vom Hersteller empfohlenen Betriebsweise (Arbeitsablaufschemata des Versuchsabschnittes 3.1) stand nach der Separierung bei einer Drehzahl von 6.000 U/min nur ein geringer Feststoffanteil als Sedimentprobe zur Verfügung. Ein erheblicher Feststoffanteil lagerte sich in der Trommel ab. Dieser im Separator verbleibende Anteil ist hauptsächlich von der Drehzahl abhängig, während die Abscheideleistung wesentlich stärker von dem Eblwasserdurchsatz bestimmt wird.

Die Testläufe des Versuchsabschnittes 3.2 ließen erkennen, daß es notwendig war die bisherige Betriebsweise um einen Spülvorgang im Anschluß an die Entleerung zu erweitern.

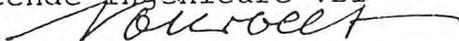
Aufgrund des hohen in der Trommel verbleibenden Feststoffanteils, wurden bauliche Veränderungen in der Trommel vorgenommen. Die Ergebnisse des Versuchsabschnittes 3.2 und 3.3 zeigen eine Verringerung dieses Feststoffanteils. Der aus dem Separator durch die Entleerung ausgetragene Feststoffanteil erhöhte sich und betrug 55,3 %. Dazu addiert sich der Feststoffanteil im Spülwasser von 13,3 % (Versuchsabschnitt 3.3). Es liegen somit 68,6 % des Feststoffes als Sedimentprobe bei einer Drehzahl von 6.000 U/min vor. Der Feststoffrückstand in der Trommel beträgt in dem Fall 4,0 %.

Die geklärte Flüssigkeit enthielt im Mittel eine restliche Feststoffkonzentration von 8,3 mg/l (Versuchsabschnitt 3.3) bei einem Wasserdurchsatz von ca. 350 l/h. In dem Versuchsabschnitt 3.2 wurde eine Restkonzentration von 2,9 mg/l bei einem Durchsatz von ca. 135 l/h ermittelt. Um die Abscheideleistung von dem Versuchsabschnitt 3.3 zu erhöhen, sollte eine Drosselung des Elbwasserzulaufes erfolgen.

Versuchsabschnitt 3.3 läßt weiter erkennen, daß ein automatischer Betrieb über sieben Tage voraussichtlich möglich ist. Es müßte allerdings eine gründliche Reinigung der demontierten Trommeleinbauten bei jedem Wartungsbesuch (7-tägiges Intervall) erfolgen.

Hamburg, den 29.11.1982
na-ku

Goepfert, Reimer & Partner
Beratende Ingenieure VBI



Bericht

über

die Prüfung eines Druckfiltrationsgerätes
für den Einsatz in einem automatisierten
Trennsystem im Zusammenhang mit dem Betrieb einer
"Meßstation für die kontinuierliche Sammlung von
Schwebstoffen im Elbwasser"

Auftraggeber : Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Wirtschaft, Verkehr
und Landwirtschaft
Amt für Strom- und Hafenaufbau
Referat Hydrologie Unterelbe

Auftragsschreiben : Nr. 57771 vom 12.10.1982

Dienststelle : SB-RJ 1982

Projektnummer : 032 / 0100 / 62

Meßzeit : 26.03. bis 01.04.1982

Sachbearbeiter : Frau Dipl.-Ing. B. Nack

Rufnummer : 040 / 692 00 110

Umfang des
Berichtes : 16 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

- 1.0 Vorbemerkungen und Aufgabenstellung
- 2.0 Gerätebeschreibung und Durchführung der Untersuchung
- 3.0 Ergebnisse
- 4.0 Zusammenfassung

1.0 Vorbemerkungen und Aufgabenstellung

Für den Betrieb einer Meßstation zur kontinuierlichen Sammlung und Bestimmung von Schwebstoffen im Elbwasser waren vom Amt für Strom- und Hafengebäude zwei Trennsysteme für partikelförmige Stoffe vorgesehen:

- Trennung unter Einsatz eines Laborseparators, Typ Labx 202 BQT-24 der Firma Alpha Laval;
- Trennung unter Einsatz eines Druckfiltrationsgerätes.

Beide Systeme sollten im späteren Betrieb in der Meßstation automatisch und unabhängig von einander Feststoff- bzw. hochkonzentrierte Schlammproben für chemische und physikalische Untersuchungsverfahren liefern.

In zwei Arbeitsabschnitten sollten die wesentlichen Apparateteile der Trennsysteme hinsichtlich ihrer Trenn- und Durchsatzeigenschaften untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung über den Labor-Separator wurden im GRP-Bericht Nr. 032-0003-82 vom 29.11.1982 dargestellt. Dieser Bericht beschreibt ausschließlich die Untersuchungen an einem Druckfiltrationsgerät.

Aus der Leistungsbeschreibung des Amtes für Strom- und Hafengebäude ließen sich folgende Bedingungen für die Gewinnung der Feststoffproben ableiten:

- Eine Feststoffprobe sollte durch Filtration von ca. 100 l Wasser, die innerhalb einer Halbtiede (6 Stunden) zu sammeln war, gebildet werden. Dabei war von einem Feststoffgehalt im Wasser von ca. 20 mg/l auszugehen.

- Kleinster abzuscheidender Grenzkorndurchmesser 0,45 μm .
- Das Probenmaterial sollte leicht vom Filtermaterial zu trennen sein.
- Eine Beeinflussung der Kornverteilung und der chemischen Zusammensetzung des Probenmaterials durch das Filtermaterial bzw. durch Korrosionsprodukte aus den Apparateilen sollte vermieden werden.
- Die Filterelemente sollten so dimensioniert werden, daß eine automatische Sammlung der Proben für ca. 7 Tage bei verminderter Temperatur ermöglicht werden sollte.

Schon zu Beginn der Untersuchung war zu vermuten, daß die angestrebten Filtrationsleistungen auch bei Anwendung hoher Drücke und großen Filterelementen nur schwer zu erreichen waren. H. Wirth berichtete in der Arbeit "Sedimentologie und Geochemie von Elbschwebstoffen zwischen Schnackenburg und Hamburg" unter anderem über Durchsatzleistungen von ca. 1 l Elbwasser in 24 Stunden bei Einsatz von Celluloseacetat-Filtern von 90 mm Durchmesser und Porenweiten $> 0,45 \mu\text{m}$, allerdings bei Anwendung der Vakuumfiltrationstechnik.

Um dem Auftraggeber Fehlinvestitionen zu ersparen, wurde durch Goepfert, Reimer & Partner für den Untersuchungszeitraum ein Druckfiltrationsgerät von der Firma Satorius leihweise beschafft. Dieses Gerät wurde bei allen Versuchen eingesetzt. Es wird im nachfolgenden Abschnitt kurz beschrieben.

2.0 Gerätebeschreibung und Durchführung der Untersuchung

Die Versuche wurden mit einem Druckfiltrationsgerät des Typs SM 16263 der Firma Satorius, geeignet für den Einsatz von Membranfiltern von 100 mm Durchmesser, durchgeführt. Ein Gerät dieser Serie wurde ausgewählt, da dieser Gerätetyp aus Edelstahl auch mit PTFE-beschichteten Innenflächen lieferbar ist. Eventuell zu befürchtende Kontaminationen des Probenmaterials durch Metallionen (Nickel, Chrom) aus dem Edelstahl können dadurch sicher ausgeschlossen werden.

Mit dem Oberteil des Gehäuses des Filterelementes ist bei diesem Gerät ein Aufgußraum für max. 4 bar Betriebsdruck mit einem Inhalt von 1 l direkt verbunden. (Für den Einsatz in der Meßstation müßte dieser Aufgußraum modifiziert und in seinem Volumen der durchzusetzenden Flüssigkeitsmenge angepaßt werden).

Das Filterelement besteht aus einem zweiteiligen Edelstahlgehäuse mit einer Lochplatte aus PTFE-beschichtetem Edelstahl zur Entlastung des Membranfilters. Als Filtermaterial wurde Cellulosenidrat vom Typ SM11302 mit einem Durchmesser von 100 mm verwendet.

Während der Filtration wurde der Aufgußraum mit Wasser gefüllt und anschließend mit dem Druckminderer einer Preßluftflasche verbunden. Durch Aufgabe von Preßluft wurde der Druck stufenweise mit Hilfe des Druckminderers bis zum maximalen Betriebsdruck von 4 bar erhöht.

Um den zeitlichen Verlauf der Untersuchungen zu beschleunigen, erfolgten die Filtrationsversuche zunächst nur mit Membranfiltern mit einer Porenweite von 3 μm . Mit den gewonnenen Ergebnissen sollte dann gegebenenfalls auf die Eigenschaften von Filtern von Porenweiten von 0,45 μm geschlossen werden.

3.0 Ergebnisse

Im ersten Versuch sollte zunächst abgeschätzt werden, ob die geforderten Durchsätze an Elbwasser mit Mebranfiltern der genannten Art erreicht werden können. Die Ergebnisse sind der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Versuch Nr. 1; Zeit : 26.03.1982

Filterart: Mebranfilter, Cellulosenitrat, 3,0 µm, wirksame
Filterfläche 60 cm² bei einem Durchmesser von 100 mm

Tabelle 1: Filtrationsvolumenstrom in Abhängigkeit von Druck und von der Filtrationszeit

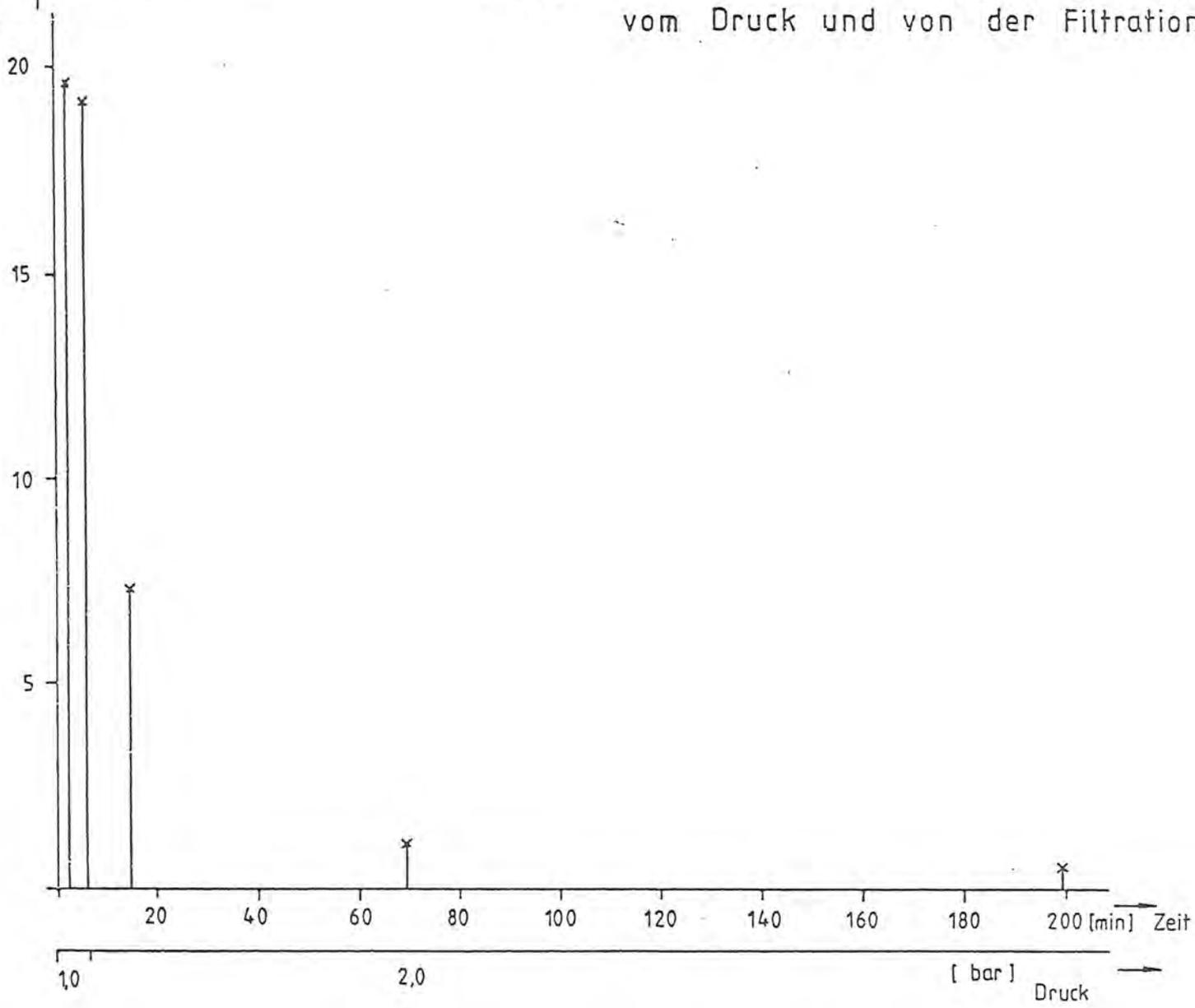
Filtrat l	Zeit min/sec	Druck bar	Durchsatz ml/min	l/h
1	3 / 5	1	327	19,62
1	3 /10	1	320	19,20
1	8 /15	2	121	7,26
1	55	2	18	1,08
0,77	130	2	8	0,48

Aus der Tabelle 1 wird erkennbar, daß der zu Beginn des Versuches noch hohe Filtrationsvolumenstrom von 327 ml/min entsprechend 118 l pro 6 Stunden schon nach einem Durchsatz von 3 l Flüssigkeit erheblich abnimmt (siehe auch Abbildung 1). Für die Filtration von insgesamt 4,77 l Wasser wurden bereits 3 Stunden, 19 Minuten und 30 Sekunden aufgewendet.

Im zweiten Versuch sollte der Einfluß kleiner Drucksprünge von 0,2 bar auf den Durchsatz untersucht werden. Dazu wurde das durchgesetzte Volumen bei konstantem Druck über 60 Minuten gemessen. Danach wurde das Aufgußgefäß erneut aufgefüllt und der Druck gegenüber dem Druck der letzten Filtrationsstufe um 0,2 bar erhöht. Oberhalb eines Überdruckes von 2 bar wurden dann

mittlerer Filtratdurchsatz
[l/h]

Abb.1 Mittlerer Filtratdurchsatz in Abhängigkeit
vom Druck und von der Filtrationszeit



die Drucksprünge statt um 0,2 bar um 0,5 erhöht, da nur noch unerhebliche Durchsatzsteigerungen zwischen zwei Drucksprüngen von 0,2 bar beobachtet wurden.

Tabelle 2 enthält Angaben über die Durchsätze an Flüssigkeit in Abhängigkeit von der Meßdauer (ml/min) und für die jeweilige Druckstufe in (ml/h) sowie die Summe des durchgesetzten Filtrats. Aus den Ergebnissen sowie den Abbildungen 2 und 3 wird erkennbar, daß die Durchsätze, auch bei Anwendung kleiner Drucksprünge, nur unwesentlich gesteigert werden können.

Für Filter mit Porenweiten um 0,45 µm sind noch erheblich geringere Durchsätze zu erwarten. Eine Steigerung der Durchsätze kann deshalb nur über eine Vergrößerung der wirksamen Filterfläche erfolgen. In erster Näherung ist von einer linearen Abhängigkeit des Durchsatzes von der Filterfläche auszugehen.

Eine Vergrößerung der Filterfläche bei Anwendung von Membranfiltern führt zwangsläufig zu erheblichem apparativen Aufwand. Da automatische Filterwechsler für Membranfilter serienmäßig zur Zeit nicht gefertigt werden, müssen für den automatischen Betrieb die Proben im Filtergehäuse über das Wartungsintervall von einer Woche in der Station verbleiben und selbstverständlich gekühlt werden. Für Filterdurchmesser von 100 mm ließe sich eine solche Technik, wenn auch mit erheblichem Aufwand, realisieren, nicht aber bei Einsatz wesentlich größerer Filter.

Bezüglich der aktiven Filterfläche wären als Alternative zu den Membranfiltern Membranfilterkerzen zu nennen, die bei geringerer Baugröße ein mehrfaches an Filterfläche bieten. Für das anstehende Problem scheinen diese Filtertypen jedoch nicht geeignet zu sein, da die Probengewinnung aufgrund der Verteilung des Materials innerhalb der Kerze erschwert wird.

Tabelle 2 : Filtrationsvolumen in Abhängigkeit von der Filtrationszeit bei stufenweiser Druckerhöhung

Druck bar	Meß- dauer min	mittlerer Durchsatz ml/min	Durchsatz pro Druck- stufe ml/h	Summe des durchge- setzten Filtrates ml	Bemerkung
druck-	1	302		302	
los	1	175		477	
	1	126		603	
	1	90		693	
	1	67		760	
	1	57		817	
	1	48		865	
	1	36		901	
	1	33		934	
	1	29		963	
	1	25		988	
	1	22		1010	Aufgußraum aufge-
	1	143		1153	füllt
	1	108		1261	
	1	82		1343	
	1	66		1409	
	1	57		1466	
	1	46		1512	
	1	40		1552	
	1	35		1587	
	1	31		1618	
	1	28		1646	
	1	25		1671	
	1	21		1692	
	1	20		1712	
	1	19		1731	
	1	17		1748	
	1	16		1764	
	1	15		1779	
	1	14		1793	
	1	13		1806	
	1	12		1818	
	1	12		1830	
	1	11		1841	
	1	11		1852	
	1	10		1862	
	1	9		1871	
	1	9		1880	
	1	9		1889	
	1	8		1897	
	1	8		1905	
	1	7		1912	
	2	7		1926	
	2	7		1940	
	2	6		1952	
	2	6		1964	
	2	5		1974	
	2	5		1984	
	2	4		1992	
	2	4		2000	
	2	4	2008	2008	

Druck bar	Meß- dauer min	mittlerer Durchsatz ml/min	Durchsatz pro Druck- stufe ml/h	Summe des durchge- setzten Filtrates ml	Bemerkung
0,2	1	316		2324	
	1	200		2524	
	1	130		2654	
	1	92		2746	
	1	66		2812	
	1	36		2848	
	1	26		2874	
	1	19		2893	
	1	15		2908	
	1	12		2920	Aufgußraum aufge- füllt
	1	26		2946	
	1	24		2970	
	1	22		2992	
	1	20		3012	
	1	19		3031	
	1	18		3049	
	1	17		3066	
	1	16		3082	
	1	16		3098	
	1	14		3112	
	1	14		3126	
	1	14		3140	
	1	14		3154	
	1	13		3167	
	1	13		3180	
	1	12		3192	
	1	12		3204	
	1	12		3216	
	1	11		3227	
	1	11		3238	
	2	11		3260	
	2	10		3280	
	2	10		3300	
	4	9		3336	
	10	8,0		3416	
	10	7,3	1489	3489	

Druck bar	Meß- dauer min	mittlerer Durchsatz ml/min	Durchsatz pro Druck- stufe ml/h	Summe des durchge- setzten Filtrates ml	Bemerkung
0,4	1	11		3500	
	1	10		3510	
	1	9		3519	
	1	9		3528	
	3	8		3552	
	3	8		3576	
	10	7,3		3649	
	10	7,2		3721	
	10	6,5		3786	
	10	6,1		3847	
	10	5,8	416	3905	
drucklos				4305	14 Nachtstunden
0,6	1	14		4319	
	1	14		4333	
	1	12		4345	
	1	11		4356	
	1	10		4366	
	1	10		4376	
	22	10		4396	
	2	9		4414	
	10	7,8		4492	
	10	6,9		4561	
	10	6,4		4625	
	10	5,4		4679	
	10	5,1	425	4730	
0,8	1	9		4739	
	1	7		4746	
	1	7		4753	
	1	7		4760	
	6	6		4796	
	10	5,8		4854	
	10	5,3		4907	
	10	5,3		4960	
	10	5,2		5012	
	10	5,2	334	5064	
	1,0	2	7		5078
2		7		5092	
2		6		5104	
2		6		5116	
2		6		5128	
10		5,5		5183	
10		5,2		5235	
10		5,1		5286	
10		5,2		5338	
10		5,2	326	5390	

Druck bar	Meß- dauer min	mittlerer Durchsatz ml/min	Durchsatz pro Druck- stufe ml/h	Summe des durchge- setzten Filtrates ml	Bemerkung
1,2	2	7		5404	
	2	6		5416	
	2	5		5426	
	2	5		5436	
	2	5		5446	
	10	4,9		5495	
	10	4,8		5543	
	10	4,6		5589	
	10	4,5		5634	
	10	4,4	288	5678	
1,4	2	7		5692	
	2	6		5704	
	2	6		5716	
	2	5		5726	
	2	5		5736	
	10	5,0		5786	
	10	5,2		5838	
	10	4,7		5885	
	10	4,5		5930	
	10	4,3	295	5973	
1,6	10	5,4		6027	
	10	5,5		6082	
	10	4,4		6126	
	10	4,4		6170	
	10	4,3		6213	
	10	4,2	282	6255	
1,8	10	4,8		6303	
	10	4,6		6348	
	10	4,5		6393	
	10	4,4		6437	
	10	4,3		6480	
	10	3,9	264	6519	
2,0	10	4,7		6566	
	10	4,4		6610	
	10	4,0		6650	
	10	3,9		6689	
	10	3,9		6728	
	10	3,8	247	6766	

Druck bar	Meß- dauer min	mittlerer Durchsatz ml/min	Durchsatz pro Druck- stufe ml/h	Summe des durchge- setzten Filtrates ml	Bemerkung
2,5	10	5,2		6818	
	10	4,1		6859	
	10	3,8		6897	
	10	3,6		6933	
	10	3,5		6968	
	10	3,4	236	7002	
3,0	10	4,4		7046	
	10	3,8		7084	
	10	3,7		7121	
	10	3,6		7157	
	10	3,5		7192	
	10	3,5	225	7227	
drucklos					über Nacht ohne Inhalt
3,5	10	7,9		7306	
	10	6,4		7370	
	10	5,5		7425	
	10	5,0		7475	
	10	5,0		7525	
	10	4,6	344	7571	
4,0	10	5,5		7626	
	10	4,6		7672	
	10	4,8		7720	
	10	4,4		7764	
	10	4,3		7807	
	10	4,1	277	7848	

Abb.2 Durchsatz pro Druckstufe in Abhängigkeit vom Druck und von der Filtrationszeit

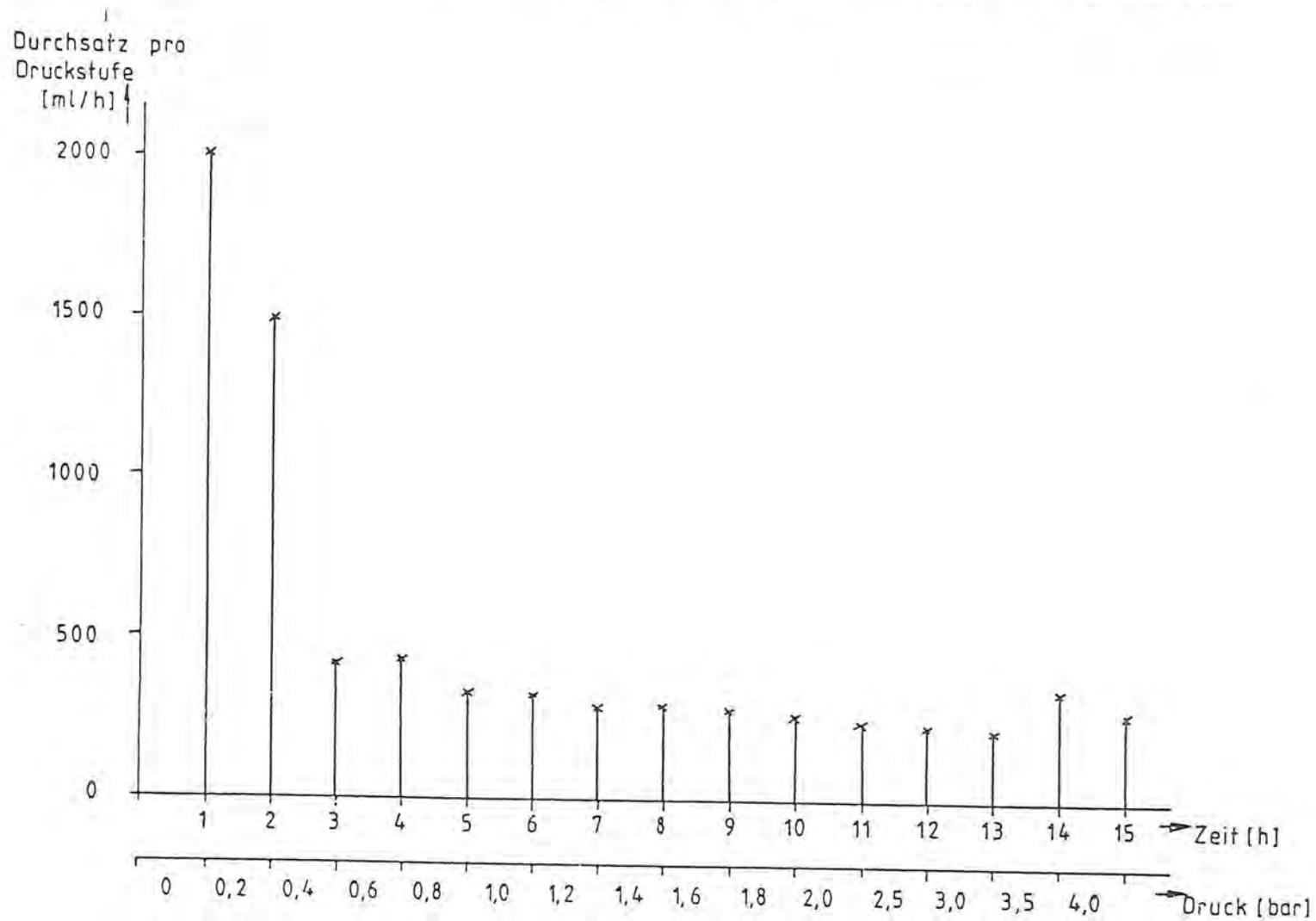
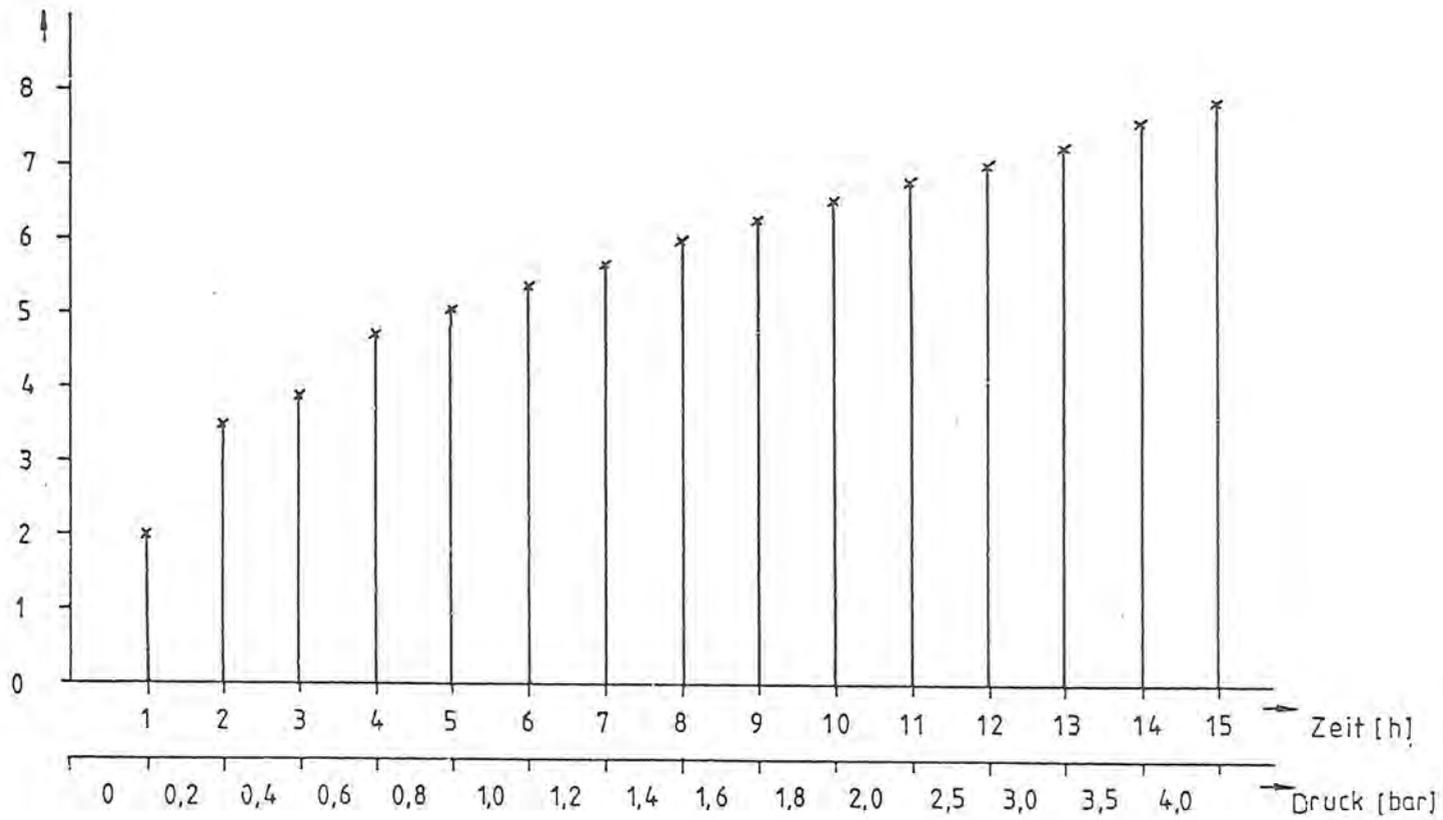


Abb. 3 Summe des durchgesetzten Filtrates in Abhängigkeit vom Druck und von der Filtrationszeit

Summe des durchgesetzten Filtrates [l]



Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist ferner zu berücksichtigen, daß die Meßwerte nur für die während der Beprobung vorherrschenden Gewässerzustände gültig sind. Einflüsse, wie zum Beispiel vermehrtes Algenwachstum, können die Filtrationsdurchsätze erheblich beeinflussen.

4.0 Zusammenfassung

In der Zeit vom 26.03. bis 01.04.1982 wurde in Versuchen am Anleger Blankenese der Einsatz eines Druckfiltrationsgerätes zur Trennung von Schwebstoffen aus Elbwasser im Zusammenhang mit der Planung einer kontinuierlich arbeitenden Meßstation zur Sammlung von Elbschwebstoffen geprüft.

Zur Verfügung stand ein Druckfiltrationsgerät Typ SM 162 63 der Firma Satorius. Verwendet wurden Membranfilter von 100 mm Durchmesser mit einer Porenweite von 3 µm.

Der erste Versuch ergab in den ersten drei Minuten (Filtration bei einem Druck von 1 bar) einen Durchsatz von 19,62 l/h entsprechend 118 l in 6 Stunden, der sich jedoch nach 3 Stunden auf ca. 1,4 l/h verringerte. Im zweiten Versuch wurden trotz stufenweiser Druckerhöhung in der ersten Stunde (drucklose Filtration) ein Durchfluß von 2,1 l/h und über die gesamte Versuchszeit von 15 Stunden ein mittlerer Durchfluß von 0,52 l/h erreicht.

Aus den vorliegenden Ergebnissen ist abzuleiten, daß die an das Trennsystem gestellten Anforderungen gemäß Abschnitt 1.0 nicht ohne Einschränkung, beispielsweise durch Verminderung des Wasservolumens oder durch Verkürzung der Wartungsintervalle der Meßstation, erfüllt werden können.

Weitergehende Versuche zur Optimierung des Trennsystems sind erforderlich.

Hamburg, den 31.03.1983
na-ku

Goepfert, Reimer & Partner
~~Beratende Ingenieure VBI~~

na

Bericht

über die Bestimmung des Feststoff-Abscheidegrades eines Hydrozyklons des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten,
Schleswig-Holstein

Auftraggeber : Freie und Hansestadt Hamburg
Amt für Strom- und Hafenanbau
Referat Hydrologie Unterelbe

Standort der Anlage : Stackmeisterei Bunthaus

Auftragsschreiben Nr. 231 vom 1.6.82
Dienststelle - HU RG 1982

Projektnummer : 032/0100/66

Meßzeit : 10.6.1982

Sachbearbeiter : Nack

Rufnummer : (040) 692 00

Umfang des Berichtes : 10 Seiten

Meßbericht

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

- 1.0 Vorbemerkung und Aufgabenstellung
- 2.0 Beschreibung des Hydrozyklons
- 3.0 Durchführung der Versuchsmessung
- 4.0 Meßergebnisse
- 5.0 Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse

1.0 Vorbemerkung und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Planung einer Meßstation für die kontinuierliche Sammlung von Schwebstoffen aus Elbwasser sollen Verfahren zur Fest-Flüssig-Trennung untersucht werden.+

In diesem Versuchsbericht werden Maßergebnisse eines Testlaufes mit einem Hydrozyklon mitgeteilt. Das Gerät wurde vom Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten des Landes Schleswig-Holstein zur Verfügung gestellt. Der Versuch wurde am 10.6.1982 durchgeführt.

Gemäß dem Auftrag Nr. 231-HU-RJ-1982 vom 1.6.1982 wurde während eines eintägigen Meßeinsatzes auf dem Ponton der Meßstation der Behörde für Bezirksangelegenheiten Naturschutz und Umweltgestaltung (BBNU), Standort Stackmeisterei Bunthaus, der Abscheidegrad des Hydrozyklons bestimmt.

Der Hydrozyklon wurde von den Mitarbeitern des Landesamtes betrieben und optimal eingestellt, mit dem Ziel, einen hohen Abscheidgrad für Partikel $\geq 5 \mu\text{m}$ zu erreichen.

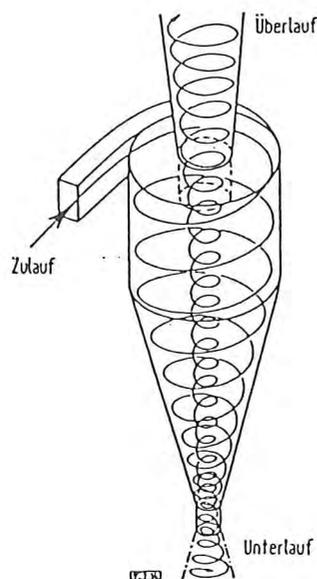
Die erstellte Massenbilanz bezieht sich auf den Feststoffanteil mit der Korngröße $\geq 0,45 \mu\text{m}$.

Nach Aussage von Herrn Dr. Renger (Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten) würde sich eine etwas modifizierte Ausführung des vom ihm konzipierten Hydrozyklons für diesen Anwendungsbereich u.U. eignen.

2.0 Beschreibung des Hydrozyklons

Das Trennverfahren des Hydrozyklons beruht auf der Sedimentation der Feststoffe im Zentrifugalfeld.

Der Hydrozyklon besteht aus einem langen Korus, der oben in einem zylinderförmigen Ansatz übergeht. Der Zulauf befindet sich im oberen Bereich des Zylinders. An der Engstelle des Konuses entweicht die eingedickte Phase (Unterlauf). Die geklärte Phase verläßt den Zyklon über ein Tauchrohr im Deckel des Zylinders (Überlauf).



Das Probegut wird unter Druck tangential zugeführt und strömt spiralförmig an der inneren Wand der Engstelle des Konuses zu. Dort wird durch den Gegendruck eine Umkehr der Strömung bewirkt. So entsteht im Inneren ein sich aufwärts bewegender Wirbel. Er transportiert die geklärte Phase.

Durch die hohe Umfangsgeschwindigkeit konzentrieren sich die Partikel im äußeren Wirbel und bewegen sich mit der Strömung abwärts. An der Engstelle tritt der Schlammstrom aus dem Zyklon.

Bei der vorgeführten Anlage gelangt das Wasser mit Hilfe einer Tauchpumpe aus ca. 3 m Tiefe über einen Volumenzähler in den Zyklon. Durch die Ventile im Zulauf, Überlauf und Unterlauf und mit Hilfe eines auf die einzelnen Ströme umschaltbaren Manometers lassen sich die erforderlichen Druckdifferenzen einstellen. Der Volumenstrom des Unterlaufes wurde volumetrisch bestimmt. Zur Feststoffgewinnung enthält die Anlage drei Vakuumfiltrationseinheiten. Das benötigte Volumen wird durch Niederdruckwasserstrahlpumpen erzeugt. Sie befinden sich in einem Teilstrom des Überlaufes und werden mit 0,5 bar Überdruck betrieben.

3.0 Durchführung der Versuchsmessung

Nach der Inbetriebnahme und optimaler Einstellung des Hydrozyklones wurden von den Mitarbeitern des Landesamtes die Betriebsdaten (Drücke und Durchflüsse der drei Ströme, Zulauf, Überlauf und Unterlauf) gemessen und protokolliert.

Über die Anschlüsse zur Druckmessung konnten zeitgleich drei etwa gleichgroße Teilströme entnommen werden.

Die Druckfiltration der gewonnenen Proben und die Bestimmung der Feststoffmassen erfolgte im G+R+P-Labor.

Um kürzere Filtrationszeiten zu erreichen, wurde aus den Proben Zulauf und Unterlauf zuerst die größte Masse des Feststoffanteils mit einem Faltenfilter abgetrennt. Über die Filtration einer Teilmenge des Faltenfiltrates mit einem Membranfilter (Porengröße $0,45 \mu\text{m}$) konnte der restliche Feststoffgehalt des Faltenfilterfiltrates bestimmt und damit die gesamte Feststoffkonzentration der Probe für Partikel $> 0,45 \mu\text{m}$ ermittelt werden.

Um eine erste Aussage über die im Überlauf vorhandene Schwebstoffkonzentration zu machen, wurde direkt am Probenahmeort eine Druckfiltration durchgeführt.

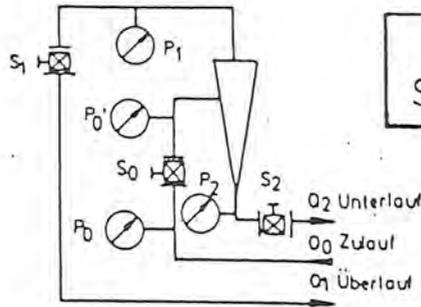
4.0 Meßergebnisse

Die Meßwerte der Untersuchungen sind den nachfolgenden Tabellen 1 - 3 zu entnehmen.

Die Betriebsdaten des Hydrozyklones gehen aus dem von den Mitarbeitern des Landesamtes erstellten Meßwertprotokoll (Tabelle 1) hervor. Tabelle 2 zeigt die von den Mitarbeitern des Landesamtes errechneten Sedimentkonzentrationen im Zulauf. Die Bezugsgröße der Werte ist der Sedimentanteil des Unterlaufes.

In Tabelle 3 sind die Massendurchsätze der einzelnen Teilströme angegeben. Die Differenz bei der Massendurchsatzbilanz ist auf Wägefehler zurückzuführen.

Da der Feststoffanteil im Überlauf bezogen auf den Zulauf noch 72,5 % beträgt, ist dieses Trennverfahren auch als Vorabscheider einer nachfolgenden Filtrationsstufe für den vorgesehenen Anwendungsfall nicht einzusetzen.



Meßwerteprotokoll
 Sedimentschrank 2a

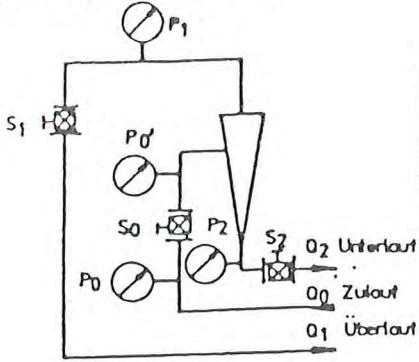
Blatt v Blättern 1
 Datum: 10. 6. 1982
 Protokoll Christiansen
 Gerat. C
 Einsatzort Hamburg/Bunt.

Ild Nr	Uhrzeit	Drücke					Durchflüsse								Bemerkung	
		P ₀	P ₀ '	P ₁	ΔP ₀₋₁	P ₂	Wasseruhr				Unterlauf		Überlauf			
							V _{w0}	V _{w1}	ΔV _w	Δt	Q ₀	ΔV ₂	Δt ₂	Q ₂		Q ₁
h, min	bar	bar	bar	bar	bar	m ³	m ³	l	s	l/s	cm ³	s	cm ³ /s	l/s		
-	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12=10:11	13	14	15=13:14	16=12-15	17
1	10.40	3,45	3,40	0,50	2,90	0,05	69,62	69,72	100	71,2	1,40	1000	42,2	23,70	---	-
2	10.55	3,43	3,35	0,47	2,88	0,045	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-
3	11.50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1000	125,0	80	---	mit 3-Hege-Hann
4	13.53	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2000	33,0	60,6	---	Zulauf
5	14.23	3,40	3,35	0,50	2,85	-0,1	79,80	79,90	100	72,2	1,39	1000	42,8	23,26	---	zur Probe von Strom- und Hafenanbau
																Ann:
																Höhe Einlauf Filtertop ca. 42 cm über Sohle Meßschrank

Seite A 49

Landesamt f. Wasserhott u. Kusten Schl.-Holst.
 LW 23a - 53402 - 07/60
 Zeichng.-Nr.: 82/34a

Blatt v. Blattern 1
 Datum: 10.6.1982
 Protokoll: Christiaus
 Anlage: C
 Standort: Hamburg/Bunthaus



Filterblätter
 Vakuumfiltrierung

Tax nach DHI
 HH St. Pauli: 15.00 Uhr

Fest einreguliert: Uhr
 $P_0 = \dots$ $P_1 = \dots$ $P_2 = \dots$ $P_0 = \dots$ [bar]
 Zwischenkontrolle: Uhr
 $P_0 = \dots$ $P_1 = \dots$ $P_2 = \dots$ $P_0 = \dots$ [bar]

lfd. Nr.	Meßwerte			Rechenwerte				Bemerkung
	Filterblatt - Nr.	Entn. Ort	Filterdauer von... bis...	Filtrierdauer	Sedimentgewicht	Durchfluß	Sedimentkonzentr.	
-	-	N	-	t	ΔG	Q ₀	C _{Tr}	-
-	h, min	-	-	min/s	mg	l/s	mg/l	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	HH-1-KH	Z	11.33-11.56	23' 0"	250	Durchfluß stark schwankend!		
2	HH-1H-K	"	"	"	0	/	/	H-Fi. gerissen (nachträg.)
3	HH-2-KH	U	11.10-	0' 46"	800	1,40	12,4	Übergießen
4	HH-2H-K	"	"	0' 46" 0' 45"	30	"	~ 0,25	H-Fi. gerissen (nachträg.)
5	HH-3-KH	O	11.10-11.33	23' 0"	190	Durchfluß stark schwankend!		
6	HH-3H-K	"	"	"	30	/	/	H-Fi. gerissen (nachträg.)
7	HH-45-KL	U	11.15-	0' 45"	470	1,40	7,46	
8	lfd. Nr. 4!	"	"	"	/	"	/	
9	HH-1-G	U	11.36-11.39	3' 21"	2.560	1,40	9,10	
10	HH-1H-G	U	"	3' 21" 9' 30"	130	"	~ 0,13	H-Fi. kaputt
11	HH-2-G	U	11.40-11.50	9' 30"	5.770	1,40	7,23	
12	lfd. Nr. 10	"	"	"	/	"	/	H-Fi. kaputt

TABELLE 3: Ergebnisse der Massenstrombilanzierung

	Zulauf	Überlauf	Unterlauf
Volumenstrom [ml/s]	1400	1376	24
Feststoff [mg]			
Faltenfilter	438,6	----	15774,3
Membranfilter	<u>59,1</u>	294,9	<u>124</u>
gesamt	497,7		15898,3
Probenvolumen [l]	15,2	12,8	31,9
Massenkonzentration [mg/l]	32,7	23,0	498,4
Massendurchsatz [mg/s]	45,8	31,7	12,0

Trennergebnis: Überlauf + Unterlauf = Zulauf
 31,7 mg/s + 12,0 mg/s = 43,7 mg/s

gemessener Wert (Zulauf) 45,9 mg/s
 Differenz 2,2 mg/s

Feststoffanteil im Überlauf: $\frac{\text{Überlauf}}{\text{Zulauf}} \times 100 = \frac{31,7}{43,7} \times 100 = 72,5 \%$

5.0 Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse

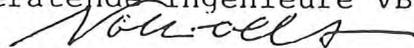
Am 10.6.82 wurde am Standort Stackmeisterei Bunthaus an der Elbe ein Hydrozyklon des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten, Schleswig-Holstein, für einen eintägigen Versuchsverlauf von den Mitarbeitern des Landesamtes betrieben.

Aus den Meßergebnissen ergab sich, daß unter den vorgefundenen Bedingungen der Hydrozyklon für die Fest-Flüssig-Trennung im Projekt "kontinuierliche Sammlung von Schwebstoffen aus Elbwasser" aufgrund seiner zu geringen Feststoffabscheidung nicht eingesetzt werden kann.

Auch als Vorabscheider in Verbindung mit einer nachgeschalteten Druckfiltration ermöglicht das Gerät trotz des erheblichen technischen Aufwandes keine Verkürzung der Filtrationszeiten, da gerade der Feinstpartikelanteil, der vom Zyklon nicht abgeschieden wird, zeitbestimmend für die Druckfiltration ist.

Hamburg, den 28.7.198
Na/hp

Goepfert, Reimer & Partner
Beratende Ingenieure VBI



Bericht

über die Inbetriebnahme und Kalibrierung
der Wassergütemeßstation GTU 801 der
Firma Gimat und über die Durchführung
von Vergleichsmessungen

Auftraggeber : Freie und Hansestadt Hamburg
Amt für Strom und Hafenaubau
Referat Hydrologie Unterelbe

Standort der Anlage : Meßstation für die kontinuierliche
Sammlung von Schwebstoffen aus
Elbwasser
Stromkilometer 607,5 (Oortkaten)

Auftragsschreiben : Nr. 57772 vom 12.10.1982
Dienststelle SB 44 - RJ 1982

Projektnummer : 032/100/62

Sachbearbeiter : Frau Nack

Rufnummer : (040) 692 00 110

Umfang des Berichtes : 20 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

- 1.0 Vorbemerkung und Aufgabenstellung
- 2.0 Gerätebeschreibung
- 3.0 Inbetriebnahme der Wassergütemeßstation
 - 3.1 Vorbereitung für die Inbetriebnahme
 - 3.2 Einschalten und Kalibrieren der Geräte
- 4.0 Durchführung von Vergleichsmessungen
- 5.0 Kontrolle der Kalibrierung
- 6.0 Zusammenfassung

Goepfert, Reimer & Partner Hamburg	Meßbericht	Seite A 54
		Projekt Nr. 032/100/62
		Sachbearbeiter: Frau Nack
Gruppe Messtechnik		

1.0 Vorbemerkung und Aufgabenstellung

Zur Bestimmung der chemisch-physikalischen Parameter im Elbwasser wurde vom Amt für Strom- und Hafenbau am 30.12.1981 eine Wasser-gütemeßstation vom Typ GTU 801 der Firma Gimat GmbH beschafft. Das Gerätesystem soll in einer Meßstation für die kontinuierliche Sammlung von Schwebstoffen aus Elbwasser die Parameter Wasser-temperatur, Sauerstoffgehalt, Wasserstoff-Ionenkonzentration (pH-Wert) und die elektrische Leitfähigkeit kontinuierlich erfassen. Die Aufgabe von Goepfert, Reimer & Partner bestand zunächst darin, dieses Gerätesystem in Betrieb zu nehmen und die erforderlichen Kalibrierungen auszuführen. Danach sollte in einem Funktionstest die Eigenschaften der einzelnen Baugruppen durch Vergleichsmessungen bestimmt werden.

2.0 Gerätebeschreibung

In der Wassergütemeßstation Typ GTU 801 der Firma Gimat GmbH ist der wasserführende und elektronische Teil räumlich getrennt in einem GFK-Schrank untergebracht.

Der wasserführende Teil besteht aus einem Rohrsystem, das von einer Unterwasserpumpe kontinuierlich mit Probenwasser mit einem minimalen Volumenstrom von 150 l/min versorgt wird. Dabei ist die minimale Anströmgeschwindigkeit für die korrekte Messung des gelösten Sauerstoffes mit dem Meßwertaufnehmer (Clark-Meßzelle) gewährleistet. In die einzelnen Meßzellen für die Parameter Sauerstoffgehalt, Wasserstoff-Ionenkonzentration (pH-Wert) und elektrische Leitfähigkeit, werden die jeweiligen Meßwertgeber (Elektroden) eingeschraubt (Abb. 1).

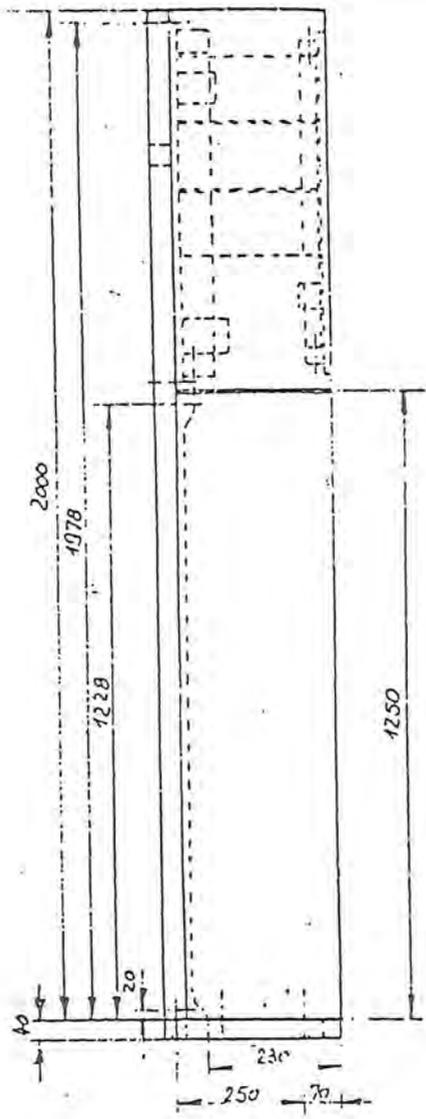
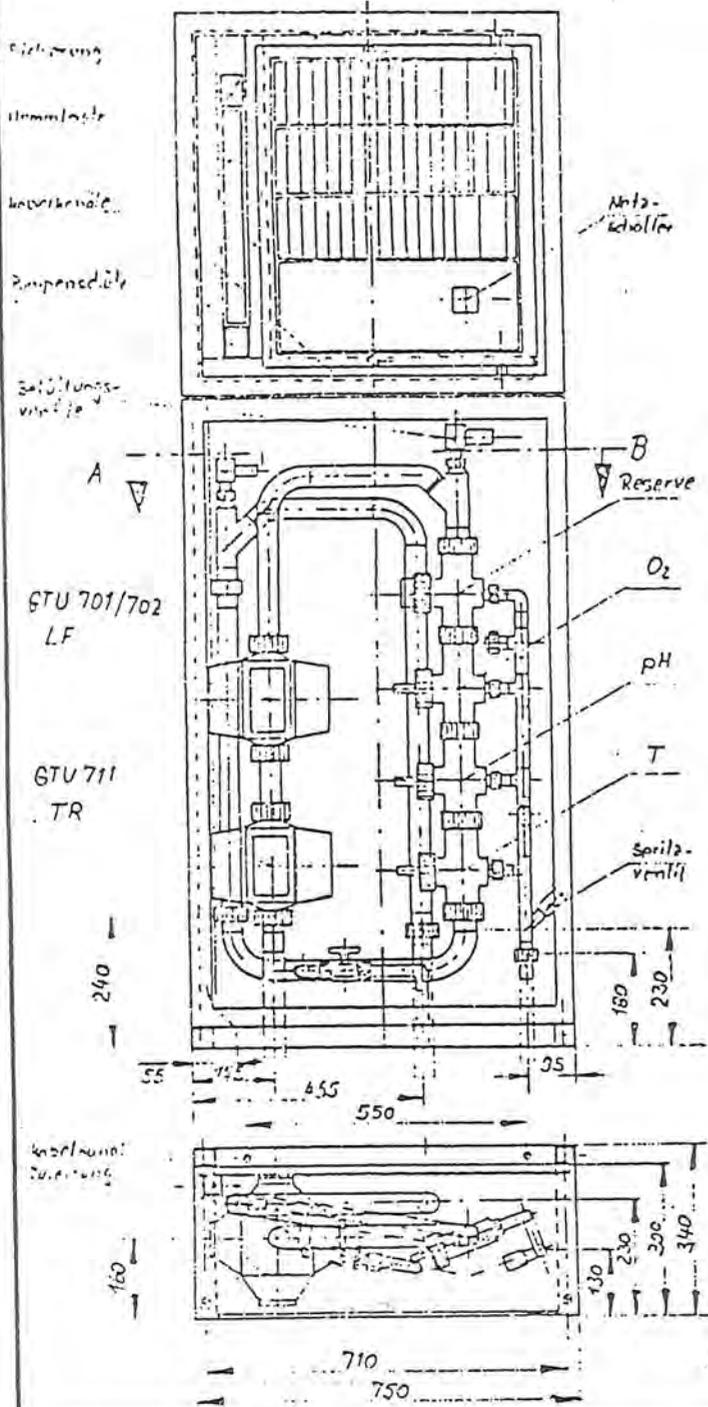
An Elektroden werden eingeschraubt:

pH-Wert-Messung: Glaselektrode Typ pH 722 Z-1-Gel

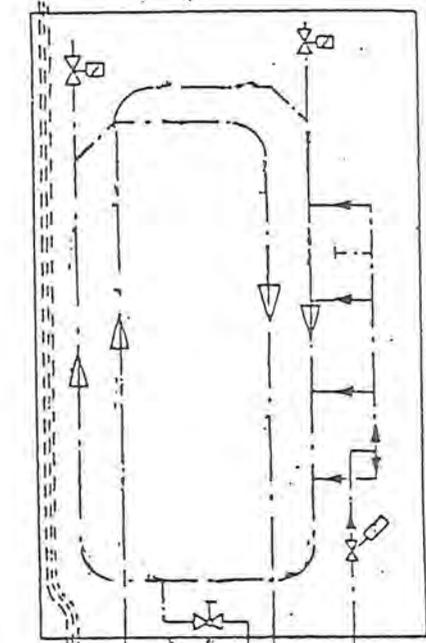
O₂-Messung : Clark-Meßzelle

LF-Messung : MLT-1/GTU 711

Für die Bestimmung der Wassertemperatur wurde als Meßwertgeber ein Widerstand vom Typ PT 100 eingesetzt, der jedoch nicht in der Wassergütemeßstation sondern direkt an der Wasserentnahmestelle im Strom installiert ist. Der Widerstand ist mit dem Elektronikteil in der Wassergütemeßstation durch ein in einem Bleischlauch geführtes Kabel verbunden.



Hilfsenergie für Pumpe
220/380V 50Hz nach Pumpenforderung/Kabel NYH/NYY
 Hilfsenergie für Hebeanlage 220V 50Hz 1/Kabel NYH/NYY
 Heßkreisausgänge x-y /Kabelart je nach Anforderung



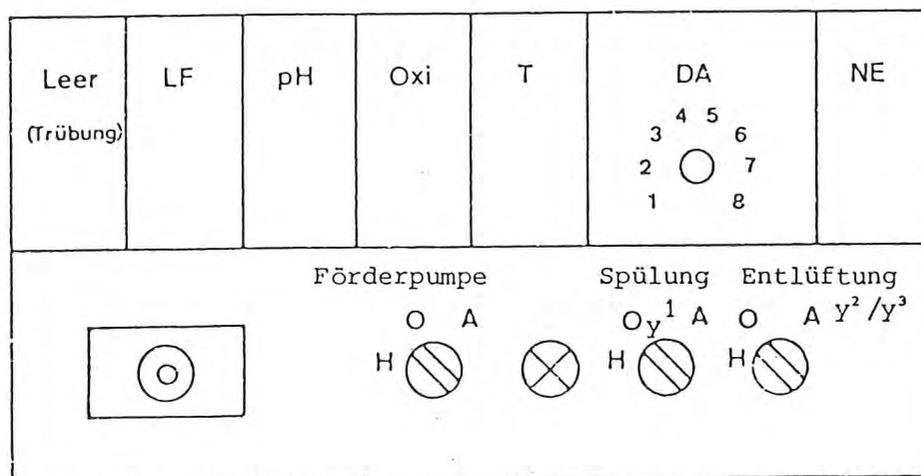
Kabel zulauf d=40 - Ablauf zulauf Spülwasser d=25
 MV 32
 40mm Ø 36
 Qmax 350l
 MV 20
 40mm Ø 36

Schnitt A3

Projekt Nr. _____ Maßstab: 1:10 Blatt: 1 von 1				Auftraggeber: _____ Auftrag: _____	
11.00 1.00 1.00 1.00 11.00 11.00 11.00 11.00 11.00 11.00				Auftrag: Wasserqualitätsmeßstation Typ GTU bei Leitungsl.v. unten	
DIMAT Gesellschaft für Industrielle Mess- u. Automatisierungstechnik mbH 8121 Paffing, Unterfranken, F.R.G.				Datum: 10.4.79.02	

Das Rohrsystem bietet eine Möglichkeit, ein Trübungsmeßgerät zu installieren. Es ist außerdem mit einem automatischen Reinigungssystem (Leitungswasserspülung) versehen. Die Anzahl und der Zeitpunkt der Reinigungsintervalle werden über eine Schaltuhr gesteuert. Die Spüldauer beträgt eine Minute.

Im Elektronikteil sind die Meßumformer, die digitale Anzeigeeinheit und die Netzversorgung in einem 19-Zoll-Einschub untergebracht (Abb. 2). Für die Messung der Leitfähigkeit (LF) ist in der Meßzelle im wasserführenden Teil zusätzlich ein Meßumformer installiert. Die Meßwerte der einzelnen Geräteeinheiten können durch manuelle Umschaltung im Display dargestellt werden. Eine Übertragung auf eine geplante Dantenerfassung ist möglich.



Frontplatte des Elektronikteils

3.0 Inbetriebnahme der Wassergütemeßstation

3.1 Vorbereitung für die Inbetriebnahme

Die Stromversorgung der Wassergütemeßstation erfolgt aus dem Netz (380 V Drehstrom) der Meßstation. Die Unterwasserdruckpumpe wurde auf einer beweglichen Bühne (Probenehmer) montiert und die Schlauchverbindung sowie die Stromversorgung hergestellt. Das Wasser wird nach der Messung über einen festverlegten Abfluß wieder der Elbe zugeführt. Das Reinigungssystem ist über einen Rohrtrenner mit dem städtischen Trinkwassernetz verbunden.

Die Meßstation ist für Hand- und Automatikbetrieb ausgelegt. Im Handbetrieb steht der Schalter "Förderpumpe" in der Stellung "H". Außerdem müssen die Schalter "Spülung" und "Entlüftung" in Stellung "0" sein, da sonst gleichzeitig zur Probegutförderung der Spülvorgang abläuft. Für den Spülvorgang (Schalter "Spülung" und "Entlüftung" auf "H") muß der Schalter "Förderpumpe" auf "0" stehen. Während des Handbetriebes ist die Überstromsicherung der Förderpumpe ausgeschaltet. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Wassergütemeßstation ohne Aufsicht nur im Automatikbetrieb zu betreiben. Dazu sind die 3 Schalter in Stellung "A" zu bringen. Der Spülvorgang wird automatisch entsprechend der Einstellung an der Zeitschaltuhr durchgeführt.

3.1.1 Konditionierung der Sauerstoffelektrode

Neue oder auch längere Zeit nicht verwendete Sauerstoffelektroden müssen vor der Messung frisch mit einem gelartigen Elektrolyten gefüllt und ca. 5 bis 6 Stunden mit 800 mV polarisiert werden. Der Elektrolyt (KCl-Gel) verbraucht sich bei der chemischen Reaktion und muß daher regelmäßig ersetzt werden. Die anschließende Polarisation ist erforderlich, damit sich an der Goldkathode eine atomare Wasserstoffschicht bildet, die die Reaktion mit dem Sauerstoff eingeht.

3.2 Einschalten und Kalibrieren der Geräte

Die Inbetriebnahme der Wassergütemeßstation erfolgte am 13.09.1982 von einem Mitarbeiter der Firma Goepfert, Reimer & Partner.

Die Kalibrierungen wurden entsprechend der Bedienungsanleitung der Firma Gimat vorgenommen und müssen im Abstand von 14 Tagen bis 3 Wochen wiederholt werden.

3.2.1 Kalibrierung der Sauerstoffmeßeinrichtung

Die Regenerierung und Polarisation der O₂-Elektrode (Clark-Meßzelle) erfolgte laut der Vorschrift der Firma Gimat (Anhang) am 13.09.1982. Am 14.09.1982 konnte die Meßeinrichtung kalibriert werden.

Geräte:

Quecksilberthermometer	(Meßbereich 10 - 100 °C; 0,2 °C/SKT)
Magnetrührer	
250 ml Becherglas	(breite Form)
50 ml Becherglas	(hohe Form)

Reagenzien:

Dest. Wasser	
25 ml Null-Lösung	(sauerstoff-freie Lösung, z.B. Lösung aus Natriumsulfit-Tabletten)

Arbeitsanweisung zur Nullpunkteinstellung:

- Die Elektrode mit dem Schutzkorb versehen;
- Den Stellknopf "Steilheit" am Meßwertverstärker bis zum rechten Anschlag drehen;
- Den Bereichsschalter "mg O₂/l" auf Stellung "5" legen;
- 25 ml Null-Lösung in das Becherglas (50 ml) geben;
- Die Elektrode eintauchen und nach ca. 3 min am Potentiometer "Null" den Anzeigewert auf Null einjustieren;

- Den Bereichsschalter auf Stellung "20" legen;
- Die Elektrode mit destilliertem Wasser gut abspülen.

Der Nullpunkt ließ sich nur auf 0,3 mg O₂/l statt genau auf 0,0 mg O₂/l einstellen. Trotzdem wurde mit der Elektrode eine Meßbereichseinstellung vorgenommen.

Arbeitsanweisung zum Einstellen des Meßbereiches (Steilheit) mit Hilfe von sauerstoffgesättigtem Wasser:

- Die Herstellung von sauerstoffgesättigtem Wasser erfolgt durch 20 min langes Aufquirlen von destilliertem Wasser mit dem Magnetrührer in einem Becherglas (250 ml);
- Die Temperatur in dem destillierten Wasser messen;
- Den Sauerstoffsättigungswert laut Tabelle (Anhang) ermitteln;
- Zur Luftdruckkorrektur mit dem Faktor 1,013 multiplizieren (mittlerer Luftdruck in Meereshöhe) und diesen Wert am Potentiometer "Steilheit" einregeln.

Die Sauerstoffmeßeinrichtung soll in dem aufgequirlten Wasser bei 18,0 °C und 1013 mbar einen Sauerstoffsättigungswert von 9,2 mg O₂/l anzeigen. Mit dem Potentiometer "Steilheit" konnte in seiner Anschlagstellung ein Wert von 9,9 mg O₂/l eingestellt werden.

Wenn sich, wie in diesem Fall, "Nullpunkt" und "Steilheit" nicht auf die Soll-Werte einstellen lassen, war die Elektrolyt-Füllung unzureichend oder Membran der Elektrode fehlerhaft. Die Elektrode muß dann laut Vorschrift erneut regeneriert werden. In diesem Fall erfolgte die Regenerierung am 19.10.1982. Am 20.10.1982 war die Polarisation abgeschlossen und die Kalibrierung konnte durchgeführt werden.

Es wurden folgende Werte eingestellt:

Null-Lösung 0,0 mg O₂/l

sauerstoffgesättigtes

Wasser (Soll-Wert 9,9 mg O₂/l bei 14,3 °C) 9,9 mg O₂/l

3.2.2 Kalibrierung der pH-Meßeinrichtung

Die Kalibrierung der pH-Meßeinrichtung erfolgte am 20.10.1982.

Geräte:

Quecksilberthermometer (Meßbereich 10 - 100 °C;
0,2 °C/SKT)

3 Stück Bechergläser (50 ml)

Reagenzien:

Dest. Wasser

jeweils 25 ml Pufferlösung I
mit pH = 6,88

Pufferlösung II
mit pH = 4,00

Pufferlösung III
mit pH = 9,22

Arbeitsanweisung

Die manuelle Temperaturkompensation erfolgt mit dem Stellknopf "°C".
Dazu muß der Schalter auf der Bereichstellung "TK" stehen.

Danach sind folgende Arbeitsschritte auszuführen:

- Die Bechergläser mit den Pufferlösungen füllen;
- Temperatur in den Lösungen messen und die Temperaturkompensation einstellen;
- Eintauchen der Elektrode in die Pufferlösung pH = 6,88;
- pH-Wert mit dem Stellknopf "pH₀" einstellen;
- danach gut mit destilliertem Wasser abspülen und mit Filterpapier trocknen. Die einmal verwendete Pufferlösung nicht in die Flasche zurückgeben.
- Die Elektrode in die Pufferlösung pH = 4,00 tauchen und den Wert 4,00 mit dem Stellknopf "mV/pH" einstellen;
- Die Elektrode spülen und mit Filterpapier abtrocknen;
- Kontrolle des Meßbereiches mit der Pufferlösung pH = 9,22.

Meßwerte der Kalibrierung:

	Soll-Wert	Ist-Wert
Pufferlösung I	6,90	6,90
Pufferlösung II	4,00	4,00
Pufferlösung III	9,27	9,25

3.2.3 Kalibrierung der Meßeinrichtung für die elektrische Leitfähigkeit

Die Durchführung der Kalibrierung erfolgte am 20.1.1982.

Geräte:

Quecksilberthermometer (Meßbereich 10 - 100 °C;
0,2 °C/SKT)

Heizplatte
1000 ml Becherglas

Arbeitsanweisung zum Einstellen des elektrischen Nullpunktes:

- Die Meßbereichssteckkarte in der Meßzelle (Meßumformer im Naßteil) gegen die Prüfkarte (aus dem Wartungskoffer) austauschen (Abb.3);
- Beide Schalter der Prüfkarte auf Position "Null" stellen;
- Wenn der Bereich 0 - 20 mA auf der Karte "VS20" eingestellt ist, kann mit dem Stellknopf "A" (Nullpunkt) der Anzeigewert 0 % eingestellt werden.

Arbeitsanweisung zum Einstellen des Endwertes:

- Die beiden Schalter der Prüfkarte in Stellung "Funktion" bringen;
- Die Temperaturkompensation mit dem linken Potentiometer der Steckkarte "Rechner-Baustein" zum rechten Anschlag stellen (Abb.3)
- Mit dem Stellknopf "E" der Karte "VS 20" einen Ausgangsstrom von 20 mA entsprechend einem Anzeigewert von 100 % einstellen.

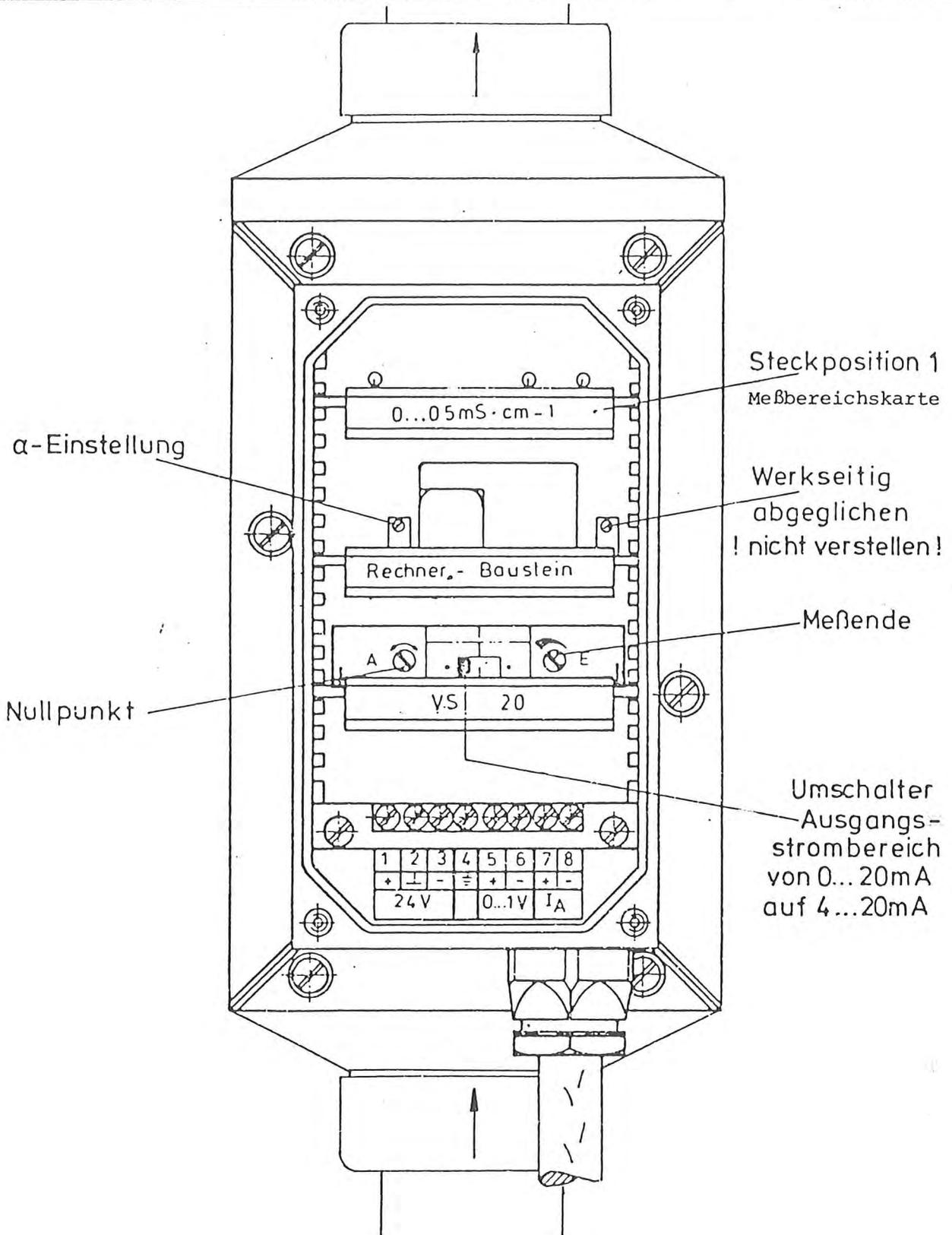


Abb. 3 : Frontansicht der Bedienungseinheit der LF-Meßzelle
(Meßumformer im Naßteil)

Die Einstellung konnte nur bis auf 99,7 % vorgenommen werden.
Für die Messung und die Einstellung der Temperaturkompensation
die Bereichssteckkarte (0 bis 5 ms/cm) einsetzen.

Einstellung der Temperaturkompensation:

- Die Meßzelle aus dem Rohrleitungssystem herausnehmen;
- Meßzelle an der unteren Seite verschließen und Wasser mit 20 °C einfüllen;
- Der angezeigte Wert entspricht der elektrischen Leitfähigkeit bei 20 °C und wird notiert;
- Die Meßzellen entleeren, dieses Wasser auf 30 °C aufheizen und wieder einfüllen;
- Nun wird mit dem linken Potentiometer der Steckkarte "Rechner-Baustein" der bei 20 °C gemessene Wert eingestellt;
- Meßzelle wird wieder in das Rohrsystem eingebaut.

Anzeigewerte für die Temperaturkompensatioeinstellung:

Gemessene Leitfähigkeit von 67,9 % (vom Meßbereich 0 bis 5 ms/cm)
bei 20 °C;

Eingestellte Leitfähigkeit von 67,5 % bei 30 °C.

3.2.4 Kalibrierung der Temperaturmeßeinrichtung

Am 12.11.1982 wurde ein Vergleich der Meßwerte des Temperatur-Meßwertgebers (Bleischlauch-Widerstandsthermometer) und der eines Quecksilber-Thermometers vorgenommen und aus den Daten eine Kurve erstellt. Der Temperaturvergleich erfolgte in einem Wasserbad. Das Wasser wurde unter ständigem Rühren stufenweise langsam erwärmt. Die Ablesung der Temperaturstufe erfolgte erst nach einem Temperaturausgleich im Medium, d.h. einem stehenden Meßwert.

Goepfert, Reimer
& Partner
Hamburg

Gruppe Messtechnik

Meßbericht

Seite A 66

Projekt Nr.:

030/100/62

Sachbearbeiter:

Frau Nack

In Tabelle 1 sind die Meßwerte protokolliert. Die Streuungen sind aus der Kurve (Abb.4) zu ersehen. Der Streubereich wurde mit $\pm 0,3$ °C errechnet und entspricht damit der Angabe des Herstellers.

Tabelle 1 : Meßwerte zur Kalibrierung des Bleichschlauch-
Widerstandsthermometers

Quecksilberthermometer

Bleichschlauch-Widerstands-
thermometer

Bereich: 10 - 100 °C

Ablesegenauigkeit 0,1 °C/SKT

13,3	13,4
14,5	14,8
16,3	16,5
19,4	19,6
21,8	21,7
25,0	25,2
26,8	27,0
27,8	28,1
30,6	30,6
32,8	32,8
35,8	35,6
40,4	40,7
49,9	50,0

$$\text{Streubereich} = t_p \sqrt{\frac{\sum (c_{i1} - c_{i2})^2}{2z}}$$

c_{i1}, c_{i2} : Ergebnisse der Doppelbestimmung

z : Anzahl der Doppelbestimmung

t_p : Studentfaktor für $P = 95\%$ und 13 Meßwertpaare = 2,20

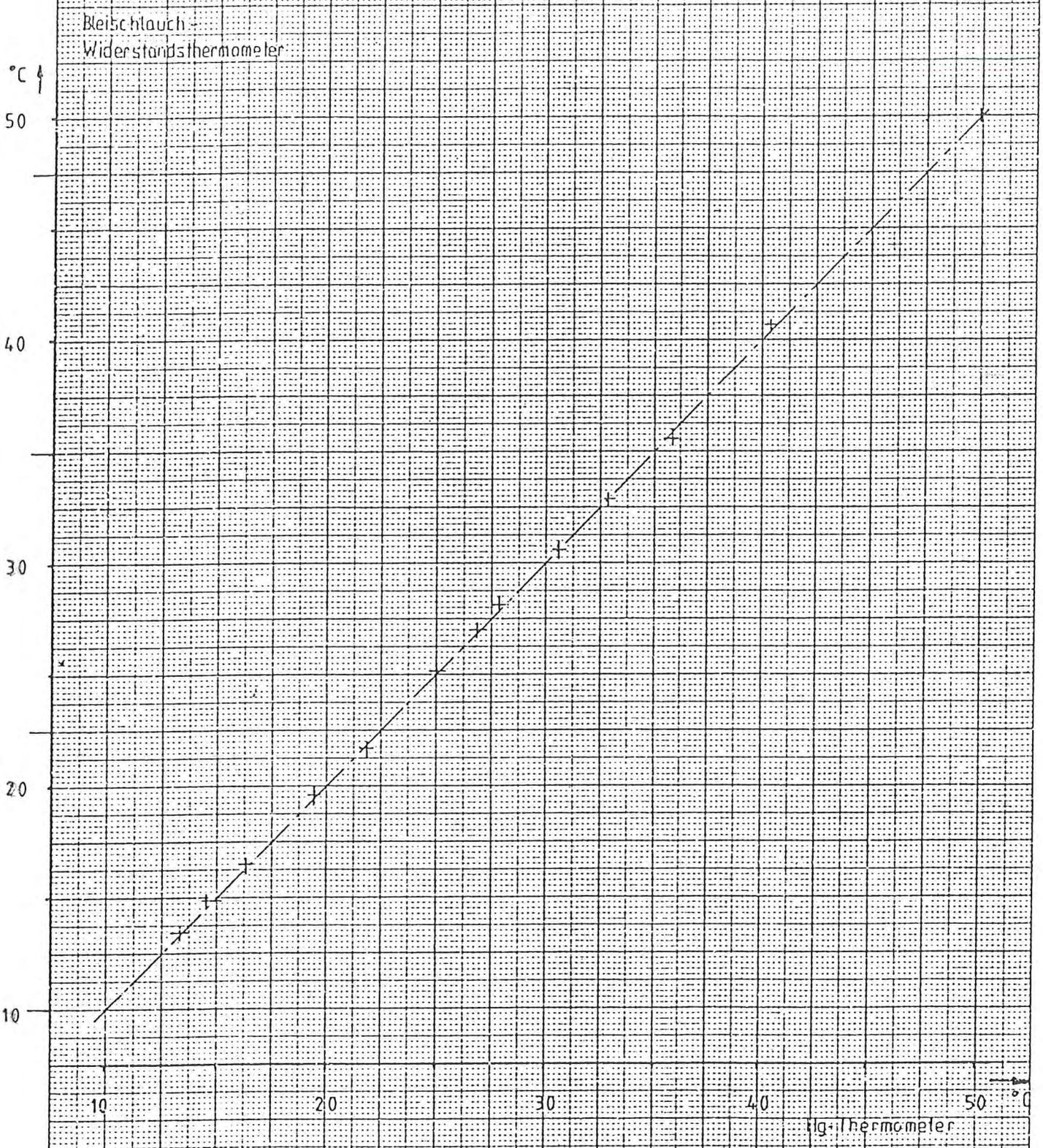


Abb. 4 Kalibrierkurve für das Bleischlauch-Widerstandsthermometer

4.0 Durchführung von Vergleichsmessungen

Die durch die Wassergütemeßstation der Firma Gimat am Standort Oortkaten gewonnenen Meßdaten können telefonisch mit den Meßwerten der Meßstation am Standort Stackmeisterei Bunthaus verglichen werden. Die Meßstation im Bunthaus wird von der Behörde für Bezirksangelegenheiten, Naturschutz und Umweltgestaltung (BBNU) unterhalten und in wöchentlichen Intervallen kalibriert. Der Vergleich der Daten fand am 25.10.1982 um 14.00 Uhr bei voll eingesetztem Ebbstrom statt.

	Wassergütemeß- station (Oortkaten)	BBNU-Station (Bunthaus)	Abweichung
pH-Wert	7,44	7,42	0,02
O ₂ -Gehalt	7,8 mg O ₂ /l	8,7 mg O ₂ /l	1,1 mg O ₂ /l
Leitfähigkeit	1360 µs/cm (Bereich 0-5 ms/cm)	930 µs/cm	430 µm/cm

Da das Bleischlauch-Widerstandsthermometer an seinem Meßort, der beweglichen Bühne, noch nicht vollständig installiert war, konnte ein Temperaturvergleich nicht erfolgen.

Die sich ergebenden Differenzen sind bei der Entfernung zwischen den Meßorten möglich. Zum Beispiel kann sich der Sauerstoffwert quer zur Flußrichtung in der auftretenden Größenordnung ändern, jeweils abhängig vom Untergrund und dessen Algenaktivität.

5.0 Kontrolle der Kalibrierung

Zur Ermittlung von Drifterscheinungen wurde am 1.11.1982 eine Überprüfung der Meßumformer entsprechend den Arbeitsanweisungen, Abschnitt 3.2, ohne Korrektur durchgeführt.

5.1 Sauerstoffgehalt

Der Nullpunkt lag bei $-0,3 \text{ mg O}_2/\text{l}$ und statt des Soll-Wertes von $10,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$ bei $11,6 \text{ }^\circ\text{C}$ in dem sauerstoffgesättigten Wasser stellte sich eine Anzeige von $10,4 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ein. Die Abweichungen von $0,1$ bis $0,3 \text{ mg O}_2/\text{l}$ liegen in der angegebenen Meßgenauigkeit von $\pm 3 \%$.

5.2 Wasserstoff-Ionenkonzentration

	Soll-Wert	Ist-Wert	Abweichung
Pufferlösung I	6,92	6,86	0,06
Pufferlösung II	4,00	4,00	0,0
Pufferlösung III	9,32	9,21	0,11

Die ermittelte Abweichung über die Zeitspanne von 7 Wochen ist unter Berücksichtigung der angegebenen Meßgenauigkeit von $\pm 0,1$ zu akzeptieren.

5.3 Leitfähigkeit

Bei der Nullpunktkontrolle ergab sich ein Anzeigewert von 0,1 % und bei der Bereichskontrolle ein Wert von 150,7 %.

Die Drift der Nullpunkteinstellung bewegt sich in der Meßgenauigkeit von 0,5 %. Die Abweichung der Bereichseinstellung von ca. 50 % muß durch erneute Kalibrierung und Kontrolle überprüft werden.

Die Kontrolle der Einstellung der Temperaturkompensation ergab einen Anzeigewert von 14,5 % bei 20 °C und bei 30 °C einen Wert von 15,0 %. Die Differenz liegt im Bereich der Genauigkeitsangabe von $\pm 1,0$ %.

6.0 Zusammenfassung

Am 13.09.1982 fand die Inbetriebnahme der Wassergütemeßstation der Fimra Gimat in der Meßstation für die kontinuierliche Sammlung von Schwebstoffen aus Elbwasser Standort Stromkilometer 607,5 (Oortkaten) statt.

Nach den in Abschnitt 3.2 beschriebenen Arbeitsanweisungen wurde am 20.10.1982 die Station kalibriert und am 1.11.1982 eine Kontrolle dieser Kalibrierung durchgeführt.

Ein Meßwertvergleich fand am 25.10.1982 mit den Daten, der von der BBNU unterhaltenen Meßstation im Bunthaus statt. Die Abweichungen bei der Kalibrierkontrolle und dem Meßwertvergleich hielten sich in vertretbaren Grenzen. Eine Ausnahme bildet die elektrische Leitfähigkeit, deren Kalibrierung aufgrund der Abweichung erneut durchgeführt und kontrolliert werden müßte. Die Meßwertverfälschungen durch Drift innerhalb eines Wartungsintervalles von 7 Tagen fallen in die Meßgenauigkeit der Geräte und können vernachlässigt werden.

Auf Wunsch des Amtes für Strom- und Hafengebäude sollte die Untersuchung in dem Stadium nicht weitergeführt werden.

L. Neumann

Korngrößenvergleich als Grundlage für die
Beschaffung eines Gerätes zur Korngrößenmessung
von Elbeschwebstoffen im automatischen
On-Line - Verfahren.

Inhalt:	Seite :
1. Anlaß	A 73
2. Geräte	A 74
3. Proben	A 75
4. Ergebnisse	A 76
5. Anlagen	A 77

1. Anlaß

Im Projekt "Schlick und Schwebstoffe in Ästuaren" sollte u.a. ein Korngrößenanalysator eingesetzt werden, der on line die Korngrößen des Elbeschwebstoffes ermittelt.

Nach vielfachen Besprechungen und Vorarbeiten entschloß man sich für ein automatisches Bildanalyse-System. Um eine Abschätzung der Ergebnisse zu bekommen, wurde nun im Vorwege ein Meßvergleich zweier Bildanalyse-Systeme und der Ultraschallmeßmethode vorgenommen. Mein besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang den Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Sommer und Herrn R. Fath von der Technischen Universität München und Herrn Prof. Dr. Müller von der Haegen sowie Herrn Dr. Chales de Beaulieu von der Fachhochschule Flensburg, die die Bildanalyse durchgeführt haben.

2. Geräte

Bei den Geräten handelte es sich in Flensburg um eine Eigenentwicklung der Fachhochschule, an der TU München stand das Leitz TAS plus-System zur Verfügung.

Beide Geräte arbeiten nach dem gleichen Verfahren; der Bildaufnahme über eine Videokamera mit anschließender Bildverarbeitung über einen Rechner.

Die von Strom- und Hafenbau durchgeführte Korngrößenanalyse wurde anhand einer Ultraschallsiebung mit anschließender Wägung bestimmt.

Im Anhang 1 sind die Ergebnisse aufgetragen.

Gerät A	- FH-Flensburg
Gerät B	- TU-München
Gerät C	- S+H-Hamburg

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse in den Anlagen 1-5 zeigen für die zentrifugierten Proben (1+2) eine gute Übereinstimmung. Die Abweichungen liegen hier i.A. unter 10 %.

Bei den unbehandelten Proben sind die Unterschiede größer. Dies ist durch nicht genügendes Homogenisieren der Proben bzw. bei Probe 3 dadurch zu erklären, daß mit A und B eine flächenmäßige, mit C eine gewichtsmäßige Korngrößenbestimmung vorgenommen wurde.

Herr Fath erklärt dazu:

"Nach meinem Ermessen sind die Verteilungen in das Feine verschoben, da durch die geringen Kontrastunterschiede viele Einzelpartikel in mehrere kleine Partikel aufgespalten werden."

Die natürliche Homogenität des Elbeschwebstoffs zeigt sich allein aus der Tatsache, daß der Trend aller Analysen derselbe ist, obwohl wie in 3. gezeigt wurde, nur eine minimale Partikelanzahl zu der vorhandenen untersucht wurde.

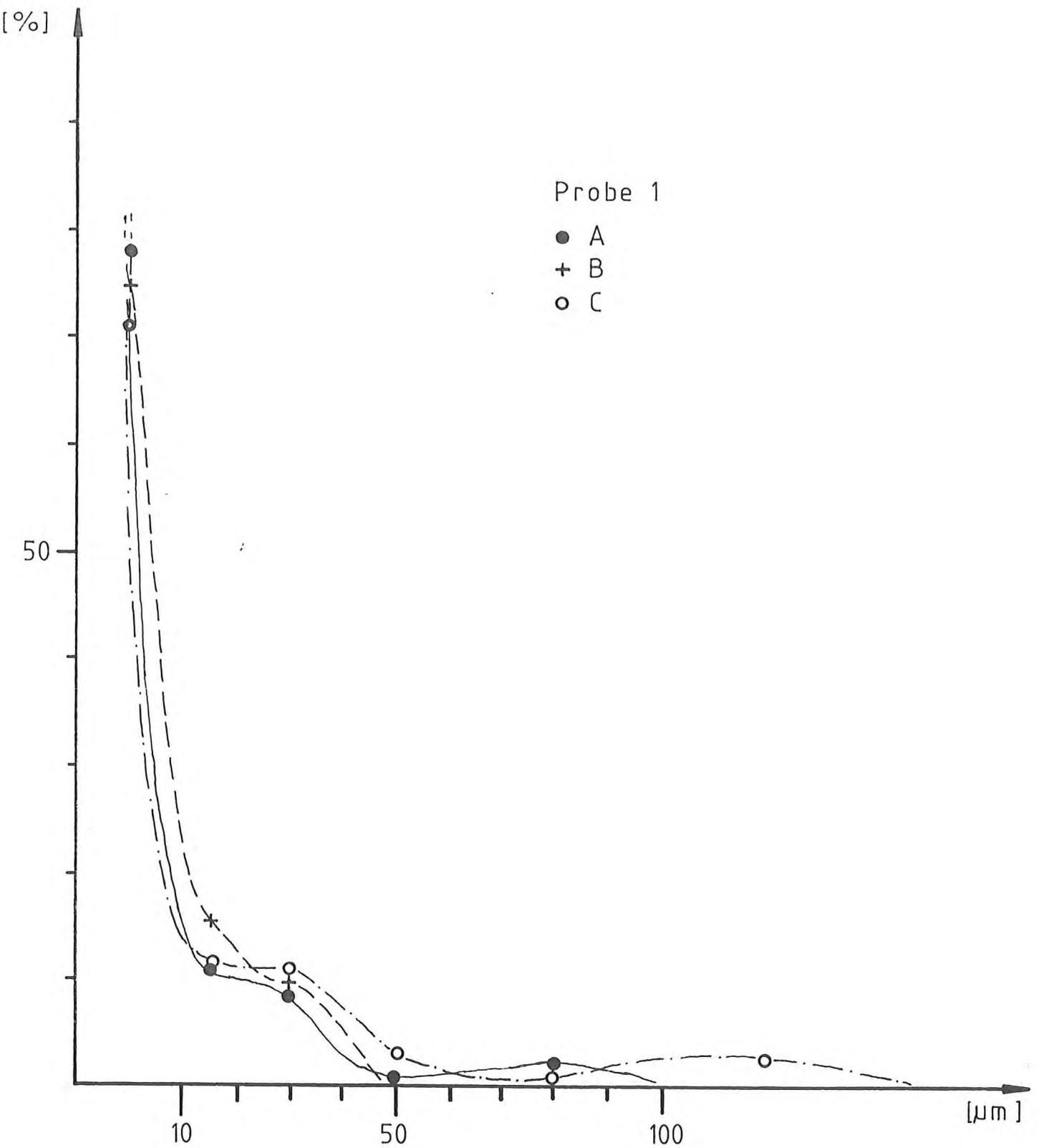
Als Resümee des Versuches kann festgestellt werden, daß bei einer automatisierten Bildanalyse und genügender Mitteilung vieler Proben die automatische Bildauswertung ein geeignetes Werkzeug zur Korngrößenbestimmung natürlicher Schwebstoffe darstellt.

Korngrößenvergleich (Angaben in % der vorhandenen Substanz)

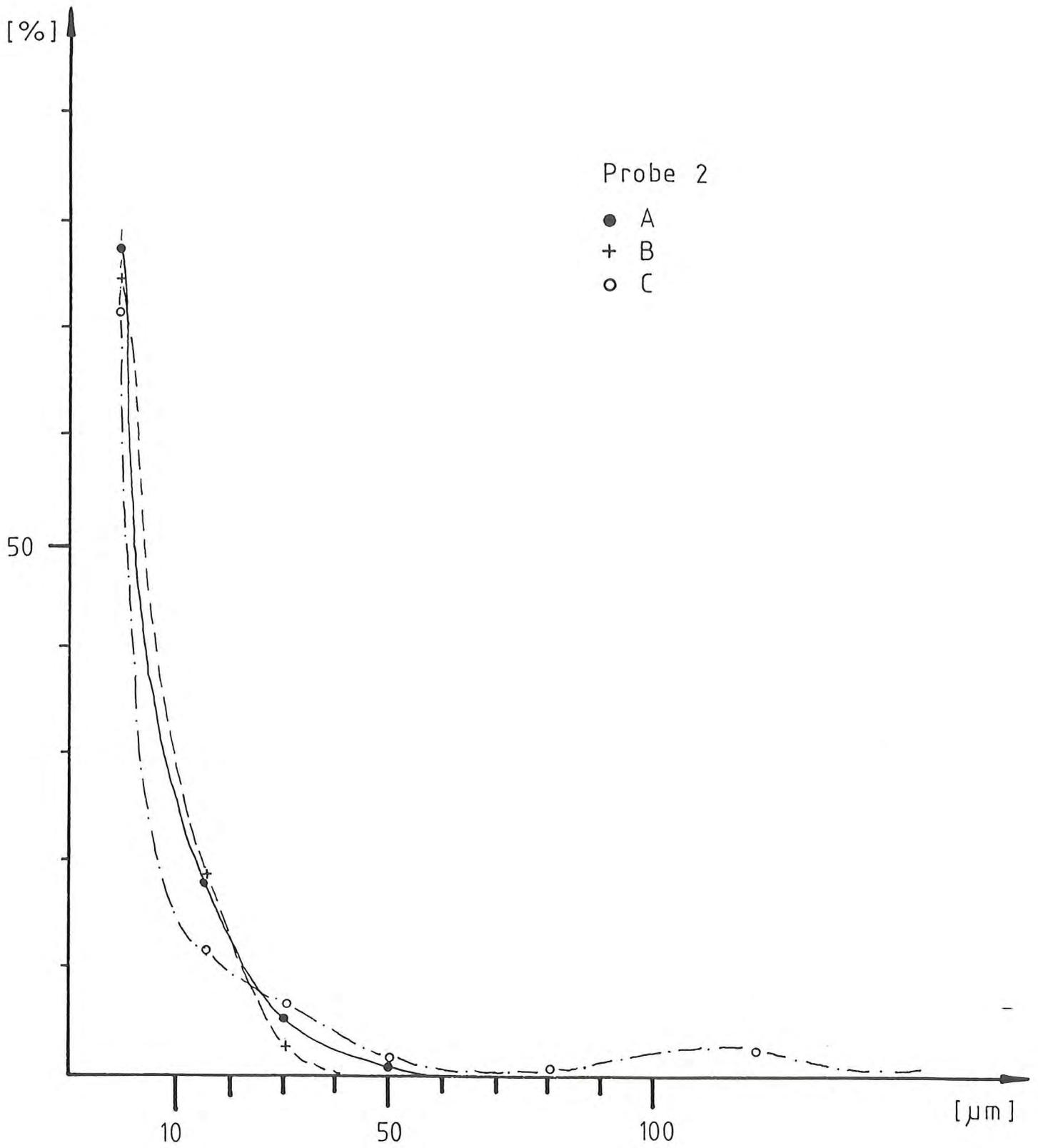
Anlage 1

Gerät	Probe-Nr.	10 µm	11-20 µm	21-40 µm	41-60 µm	60-100 µm	100 µm
A	1	77,9	10,5	8,7	0,9	2,1	0,0
B	1	75,0	15,5	9,5	0,0	0,0	0,0
C	1	71,0	11,3	10,4	2,9	1,6	2,8
A	2	74,6	18,4	5,7	1,2	0,0	0,0
B	2	78,5	18,5	3,0	0,0	0,0	0,0
C	2	75,3	11,0	6,7	2,4	1,6	3,0
A	3	81,5	10,2	5,2	3,0	0,0	0,0
B	3	52,5	22,5	17,5	7,5	0,0	0,0
C	3	37,0	8,0	20,5	14,3	16,8	3,4
A	4	85,8	11,1	2,9	0,4	0,0	0,0
B	4	61,5	19,5	14,0	6,0	0,0	0,0

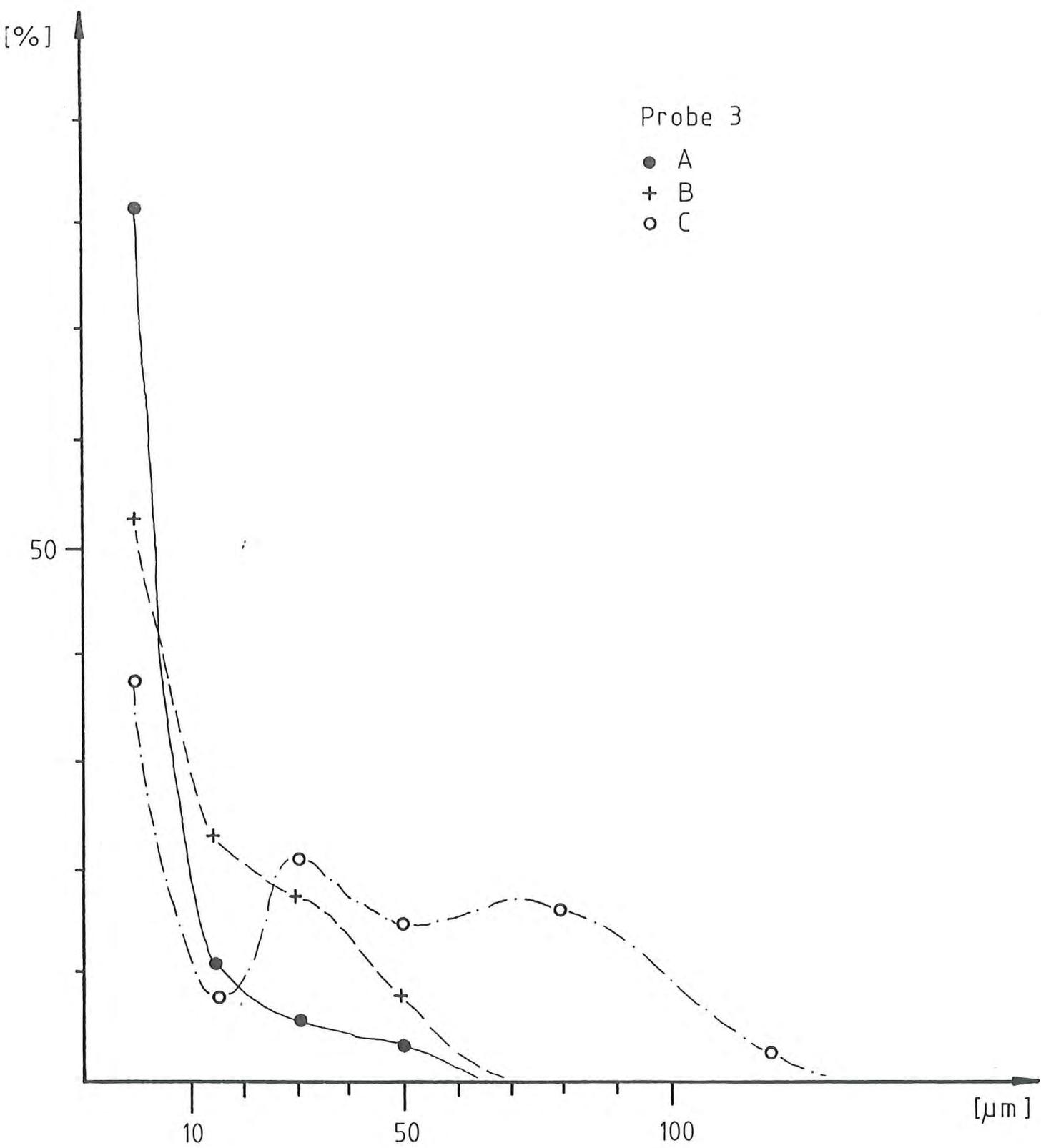
Anhang 2



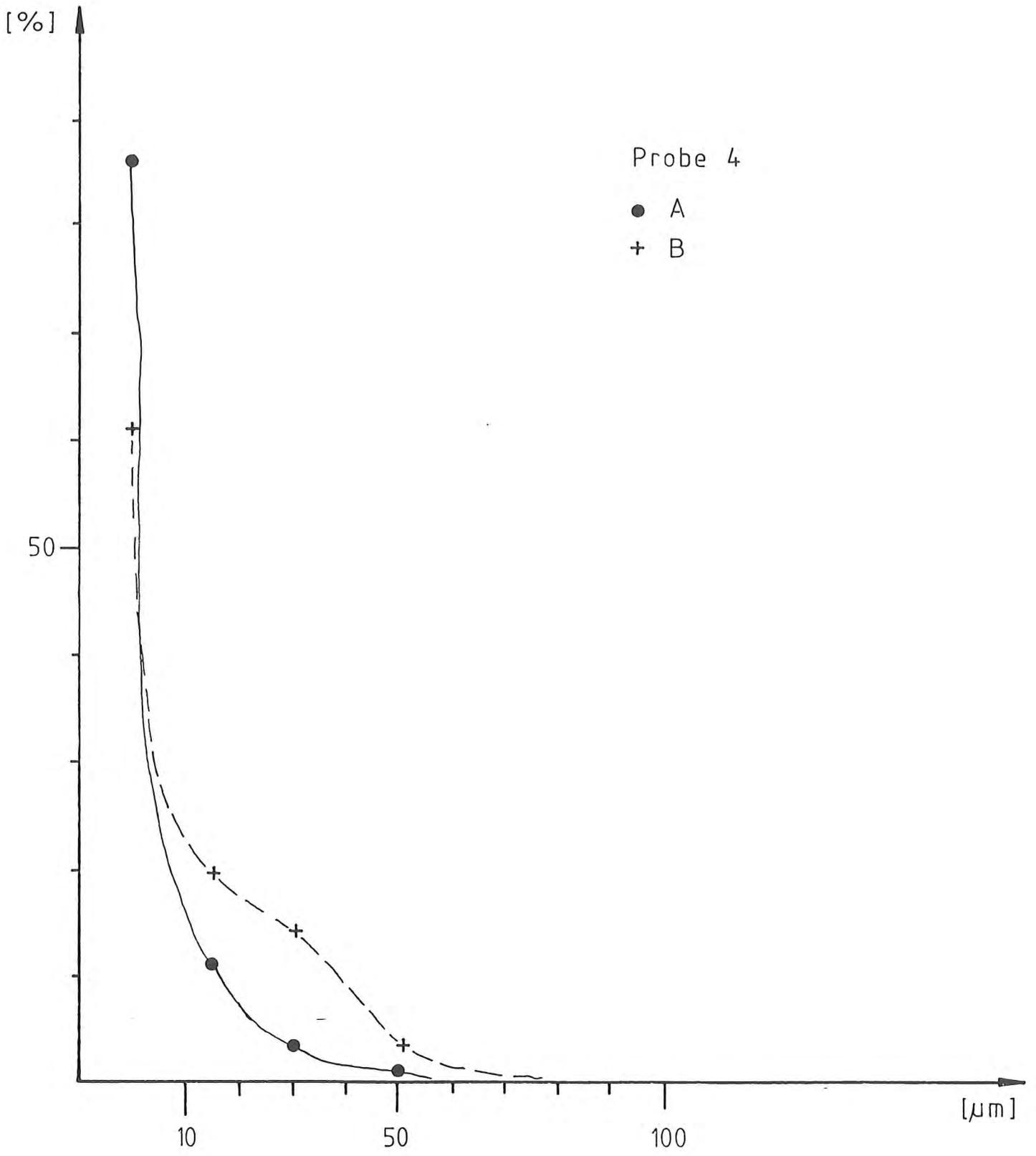
Anhang 3



Anhang 4



Anhang 5



Hydrodynamisch- numerische
Berechnungen

EINFÜHRUNG

Der Bericht über die numerische Simulation des Schwebstofftransportes an Hand der Daten der Meßkampagne MASEX '83 wurde unter Verwendung von Ergebnissen einer Arbeitsgruppe der Universität Hannover am Institut für Strömungsmechanik und elektronisches Rechnen im Bauwesen von Dipl.Ing.Schubert 1986 erstellt.

Bericht über die numerische Simulation des Schwebstoff-
transportes an Hand der Daten der Meßaktion MASEX '83

Dipl.-Ing. R. Schubert
Hannover, 1986

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>	Seite
I. Benutzte Bezeichnungen	B 3
II. Verzeichnis der Abbildungen	B 4
1. Zusammenfassung	
1.1. Grundlegende Gleichungen	B 13
1.2. Der Einsatz der Messungen von MASEX '83 im numerischen Modell	B 15
1.2.1. Pegelmessungen	B 16
1.2.2. Datenlücken	B 16
1.2.3. Attenuation	B 18
1.3. Die numerischen Ergebnisse	B 20
2. Beschreibung des numerischen Modelles TISWAT P3	
2.1. Die grundlegenden Gleichungen	B 25
2.2. Die Randbedingungen	B 27
2.3. Das numerische Modell	B 28
3. Eigenschaften von TISWAT P3	
3.1. Stationäres Konzentrationsprofil	B 33
3.2. Das zeitliche Verhalten vertikaler Konzen- trationsprofile	B 35
3.3. Sedimentation mit zeitweiliger (periodischer) Erosion	B 35
3.4. Das Trübungsmaximum im geschichteten Ästuar	B 40
3.4.1. Der Einfluß der Lage der Quelle auf das stationäre Trübungsmaximum	B 40
3.4.2. Der Einfluß des Oberwassers auf die Lage des stationären Trübungsmaximums	B 44

4.	Messungen bei MASEX '83	
4.1.	Lage Des Untersuchungsgebietes	B 46
4.2.	Messung der Pegel	B 46
4.3.	Messung des Salzgehaltes	B 51
4.4.	Messung der Attenuation	B 60
5.	Auswertung	
5.1.	Auswertung der GKSS	B 70
5.2.	Auswertung mit dem numerischen Modell	B 72
5.2.1.	Berechnete Geschwindigkeiten	B 73
5.2.2.	Berechneter Verlauf des Salzgehaltes	B 76
5.2.3.	Berechnung der Attenuation	B 80
6.	Schlußfolgerungen	
6.1.	Anwendbarkeit des Modelles und Forderungen an die Naturdaten	B 92
7.	Literaturverzeichnis	B 94
	Appendix A: Differenzen-Gleichungen	
	Appendix B: Gesteuerte Randbedingungen	

I. Benutzte Bezeichnungen

A_x, A_z	Komponenten der turbulenten Viskosität
b	lokale Breite des Ästuars
c	Konzentration von suspendiertem Material
c_w	Windschubkoeffizient
D	Tiefe des Ästuars
f_{SED}	Sedimentationsfaktor
g	Erdbeschleunigung
k	TAYLOR'scher Reibungsbeiwert
K_x, K_z	turbulente Dispersionskoeffizienten
M	Erosionskonstante
p	(hydrostatischer) Druck
q	Zu- bzw. Abflüsse
q_{ERO}	Erosionsfluß am Boden des Ästuars
q_{SED}	Sedimentationsfluß am Boden des Ästuars
R_r	RICHARDSON-Zahl
t	Zeit
T	Temperatur
u	Geschwindigkeit in Richtung des Ästuars
u_d	Antidiffusionsgeschwindigkeit
w	Vertikalgeschwindigkeit
w_s	Sinkgeschwindigkeit
x	Koordinate in Richtung des Ästuars
z	Vertikalkoordinate
Z	aktueller Wasserstand
T_{BMAX}	maximal auftretende Bodenschubspannung
T_{EER}	kritische Erosionsspannung
T_{SED}	kritische Sedimentationsspannung

II. Verzeichnis der Abbildungen		Seite
Abb. 1.1	Die Lage des Untersuchungsgebietes der Meßaktion MASEX '83	B 17
Abb. 1.2	Verlauf des gemessenen und interpo- lierten Pegels	B 17
Abb. 1.3	Vergleich der bei Position M6 gemes- senen Attenuationswerte mit den Dauer- messungen bei Station 5	B 19
Abb. 1.4	Vergleich der an der Station G1 be- rechneten Geschwindigkeiten in NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m Tiefe mit denen der an der Position 8 1.m über Grund ge- messenen	B 21
Abb. 1.5	Verlauf des berechneten und gemessenen Salzgehaltes an der Station G1 in NN-6.m Tiefe	B 21
Abb. 1.6	Abhängigkeit der erodierten und sedi- mentierten Schlickmenge von der momen- tanen Geschwindigkeit	B 22
Abb. 1.7	Der Verlauf der bei der Station G1 be- rechneten Attenuation mit den in NN-9.5m und NN-10.5m Tiefe gemessenen Werten. Berechnung ohne und mit Ero- sion und Sedimentation	B 24
Abb. 2.1	Die Randbedingungen zur Lösung der NAVIER-STOKES-Gleichung	B 27
Abb. 2.2	Die Randbedingungen zur Lösung der Transportgleichung	B 27

		Seite
Abb. 2.3	Die Parametrisierung von Erosion und Sedimentation	B 29
Abb. 2.4	Die Modellgeometrie	B 29
Abb. 2.5	Transportberechnung mit reinem Upstream-Verfahren	B 32
Abb. 2.6	Transportberechnung mit Antidiffusionsverfahren	B 32
Abb. 3.1	Stationäre Konzentrationsprofile	B 34
Abb. 3.2	Vertikales Konzentrationsprofil für Sedimentation ohne Erosion	B 36
Abb. 3.3	Zeitabhängige Konzentration in verschiedenen Tiefen bei periodischer Erosion	B 37
Abb. 3.4	Messungen bei Blexen in dem Weserästuar 1.m über Grund	B 39
Abb. 3.5	Geschwindigkeits- und Salzgehaltsverteilung in einem geschichteten Ästuar für $K_z=0.00010$ und $0.00001\text{m}^2/\text{s}$	B 41
Abb. 3.6	Normierte Trübung für w_{es}/K_z - Werte von 1:10 und 1:2 m^{-1} und Quelle der Trübung stromab und stromauf des Berechnungsgebietes	B 43
Abb. 3.7	Stationäres Trübungsmaximum bei unterschiedlichen Oberwasserzuflüssen	B 45
Abb. 4.1	Die Lage des Untersuchungsgebietes der Meßaktion MASEX '83	B 47
Abb. 4.2	Verlauf des gemessenen und des interpolierten Pegels	B 48

		Seite
Abb. 4.3	Berechnete Geschwindigkeiten mit dem interpolierten Wasserstand	B 50
Abb. 4.4	Gemessener und interpolierter Salzgehalt über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station M1	B 52
Abb. 4.5	Gemessener und interpolierter Salzgehalt über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station G1	B 53
Abb. 4.6	Gemessener und interpolierter Salzgehalt über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station M6	B 54
Abb. 4.7	Der an der Station M1 gemessene Salzgehalt für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen	B 57
Abb. 4.8	Der an der Station G1 gemessene Salzgehalt für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen	B 58
Abb. 4.9	Der an der Station M6 gemessene Salzgehalt für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen	B 59
Abb. 4.10	Vergleich der bei Position M6 gemessenen Attenuationswerte mit den Dauer-messungen bei Station 5	B 61
Abb. 4.11	Abhängigkeit der interpolierten Attenuation bei einer Abtastrate von 2h	

		Seite
	in Abhängigkeit des Anfangspunktes	B 62
Abb. 4.12	Gemessene und interpolierte Attenuation über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station M1	B 64
Abb. 4.13	Gemessene und interpolierte Attenuation über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station G1	B 65
Abb. 4.14	Gemessene und interpolierte Attenuation über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station M6	B 66
Abb. 4.15	Die an der Station M1 gemessene Attenuation für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen	B 67
Abb. 4.16	Die an der Station G1 gemessene Attenuation für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen	B 68
Abb. 4.17	Die an der Station M6 gemessene Attenuation für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen	B 69
Abb. 5.1	Mittlerer Salzgehaltsverlauf während MASEX '83	B 71
Abb. 5.2	Mittlerer Trübungsverlauf während MASEX '83	B 71
Abb. 5.3	Modellgeometrie des Untersuchungsgebietes von MASEX '83	B 74

- Abb. 5.4 Berechnete Geschwindigkeiten an der Station M1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m im Vergleich mit der an der Position 9 1.m über Grund gemessenen B 75
- Abb. 5.5 Berechnete Geschwindigkeiten an der Station G1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m im Vergleich mit der an der Position 8 1.m über Grund gemessenen B 75
- Abb. 5.6 Berechnete Geschwindigkeiten an der Station M6 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m im Vergleich mit der an der Position 6 1.m über Grund gemessenen B 75
- Abb. 5.7 Vergleich des berechneten mit dem gemessenen, bzw. interpolierten Salzgehaltes an der Station M1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m B 77
- Abb. 5.8 Vergleich des berechneten mit dem gemessenen, bzw. interpolierten Salzgehaltes an der Station G1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m B 78
- Abb. 5.9 Vergleich des berechneten mit dem gemessenen, bzw. interpolierten Salzgehaltes an der Station M6 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m B 79

	Seite
Abb. 5.10	Berechnete Attenuationen an der Station G1 für verschiedene w_B/K_z - Werte (ohne Erosion und Sedimentation) B 81
Abb. 5.11	Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m. Berechnung ohne Erosion und Sedimentation B 82
Abb. 5.12	Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station G1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m. Berechnung ohne Erosion und Sedimentation B 83
Abb. 5.13	Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M6 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m. Berechnung ohne Erosion und Sedimentation B 84
Abb. 5.14	Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m. Berechnung mit Erosion und Sedimentation B 86
Abb. 5.15	Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station G1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m. Berechnung mit Erosion und Sedimentation B 87

		Seite
Abb. 5.16	Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M6 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m. Berechnung mit Erosion und Sedimentation	B 88
Abb. 5.17	Berechneter Salzgehaltsverlauf im Untersuchungsgebiet	B 90
Abb. 5.18	Berechneter Trübungsverlauf im Untersuchungsgebiet	B 91

1. Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Sonderforschungsbereiches 205 der Universität Hannover ist ein 2-dimensionales, vertikal strukturiertes numerisches Modell zur Simulation der Entstehung und Ausbreitung von Schlick in der Brackwasserzone eines Ästuars in Entwicklung. Die Leistungsfähigkeit des Modelles ist an vielen Prinzipbeispielen gezeigt worden (siehe MARKOFISKY, LANG, SCHUBERT 1985 a,b). Gleichzeitig wurden vorhandene Naturmessungen der Meßkampagne MASEX '83 der KFKI-Projektgruppe herangezogen, um die komplexen Zusammenhänge zwischen Strömung, Salzgehalt, Temperatur und Schwebstoff am Naturfall zu untersuchen und damit einen Beitrag zur Interpretation der Meßergebnisse zu leisten.

1.1. Die grundlegenden Gleichungen

Die mathematische Beschreibung von Transportprozessen geschieht durch die simultane Lösung der Bewegungsgleichungen, der Kontinuitätsgleichung und der Gleichung für den Stofftransport.

Die MASEX '83 Daten zeigen sowohl starke Längs- als auch Vertikalgradienten von Salzgehalt und Schwebstoff. Quermessungen lagen nicht vor. Daher wurde ein zweidimensionales, vertikal strukturiertes Modell zur Simulation der tide-abhängigen Strömungs-, Salzgehalts-, Temperatur- und Schwebstofffelder gewählt.

Die Turbulenz der Strömung ist durch sogenannte 'Dispersionskoeffizienten' parametrisiert. Die Koeffizienten sind im allgemeinen Funktionen der Geschwindigkeit, der Zeit und mit

der Dichte gekoppelt (RICHARDSON-Zahl).

Das Geschwindigkeitsfeld ist über den Druckterm mit dem Temperatur- und Salzgehaltsfeld gekoppelt.

Diese Parametrisierung wird vorgenommen, um eine übersichtliche Beschreibung der maßgebenden Parameter zu bekommen und zu überprüfen, ob mit verhältnismäßig einfachen Mitteln eine Interpretation der Ergebnisse möglich ist.

Zur Lösung der Gleichungen sind an allen Rändern des Lösungsgebietes Randbedingungen vorzugeben.

Die hydrodynamische Randbedingung an der Oberfläche ist bei Windstille durch einen vertikalen Geschwindigkeitsgradienten gekennzeichnet, d.h. es ist keine Scherspannung vorhanden. Diese tritt erst bei der Simulation von Wind auf, so daß ein Gradient in den Geschwindigkeiten auch an der Oberfläche vorhanden ist. Am Boden wird der Geschwindigkeitsgradient als proportional zum Quadrat der 1.0 m über Grund vorhandenen Geschwindigkeit ankommen.

Die Oberflächenrandbedingung für die Transportgleichung ist beschrieben durch ein Gleichgewicht zwischen dem nach unten gerichteten Transport durch die Oberfläche infolge der Sinkgeschwindigkeit und dem nach oben gerichteten Transport durch die Turbulenz. Dieses beschreibt die Randbedingung, daß kein Material durch die Oberfläche transportiert wird. Die Randbedingung am Boden wird genau so beschrieben, wenn keine Erosion oder Sedimentation stattfindet. Sonst werden zwei weitere Terme zur Beschreibung dieser Effekte in die Randbedingung eingeführt. Zur mathematischen Beschreibung von Erosion und Sedimentation gibt es viele Ansätze. Für die hier

betrachteten Teilchen mit einer Größe von $< 100 \mu\text{m}$ und damit geringen Sinkgeschwindigkeiten bietet sich der Ansatz von PARTHENIADES (1962) und KRONE (1962) an. Dieser Ansatz beinhaltet eine kritische Scherspannung für den Beginn der Erosion und eine kritische Scherspannung, bei der die Sedimentation aufhört. Wenn diese Scherspannungen erreicht werden, sind beide Phänomene direkt proportional dem Quadrat der Bodengeschwindigkeit (1.0 m über Grund).

An den geschlossenen Rändern des Gebietes wird die Geschwindigkeit = 0. gesetzt.

An den offenen Rändern ist immer der Wasserstand oder das vertikale Geschwindigkeitsfeld sowie die vertikale Verteilung der Temperatur, des Salzgehalt und der Schwebstoffkonzentration vorzugeben.

1.2. Der Einsatz der Messungen von MASEX '83 im numerischen Modell

Das Untersuchungsgebiet bei Nordenham hat eine Länge von 4.45 km und eine mittlere Tiefe von NN-12. m.

Es wurden die Parameter Salzgehalt, Temperatur und Attenuation an den 7 Stationen M1, M2, G1, G2, G3, M5 und M6 (Abb. 1.1) ca. alle 2 Stunden über 5 Tage in den Tiefen NN-2.m bis NN-10.m gemessen. An den Positionen 1 bis 9 (Abb. 1.1) wurden Dauermeßstationen eingerichtet, die in einer Tiefe von 1. m über Grund die Parameter Salzgehalt, Temperatur und Geschwindigkeit in Richtung und Betrag gemessen haben.

Während des Zeitraumes herrschte ein mittlerer Tidehub von 3.80 m und ein Oberwasserzufluß von $130.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.2.1 Pegelmessungen

Der einzige innerhalb des Gebietes vorhandene Pegel war der bei Nordenham (Strom-km. 58.00). Dieser Pegel wurde zur Steuerung des Wasserstandes am seeseitigen Rand benutzt. Der Pegel für den oberwasserseitigen Rand wurde durch eine lineare Interpolation zum Pegel Strohauser-Plate (Strom-km. 49.00) berechnet. Ein Vergleich der mit diesen Randbedingungen berechneten Geschwindigkeiten mit den gemessenen zeigen eine Differenz in dem Verlauf und als Auffälligstes eine deutliche Verschiebung der Kenterzeitpunkte. Der Verlauf des gemessenen Salzgehaltes (der zugleich ein Indikator für das Geschwindigkeitsfeld ist) deutet ebenfalls darauf hin, daß diese durch Interpolation gewonnene obere Randbedingung fehlerhaft ist. Der Pegel am oberen Rand wird so korrigiert, daß eine möglichst gute Übereinstimmung im Salztransport erzielt wird (s. Abb. 1.2).

1.2.2 Datenlücken

Für den Einsatz der Meßwerte in dem numerischen Modell ergeben sich etliche Schwierigkeiten, da folgende wichtige Größen nicht gemessen wurden:

1. Wasserstand am oberen Rand des Untersuchungsgebietes
2. Geschwindigkeitsverteilung in der Wassersäule
3. Sinkgeschwindigkeit des vorhandenen Schwebstoffes
4. Bodennahe Schwebstoff- und Salz-Konzentrationen

Diese vorhandenen Datenlücken zu schließen bedurfte es einiger Anstrengungen.

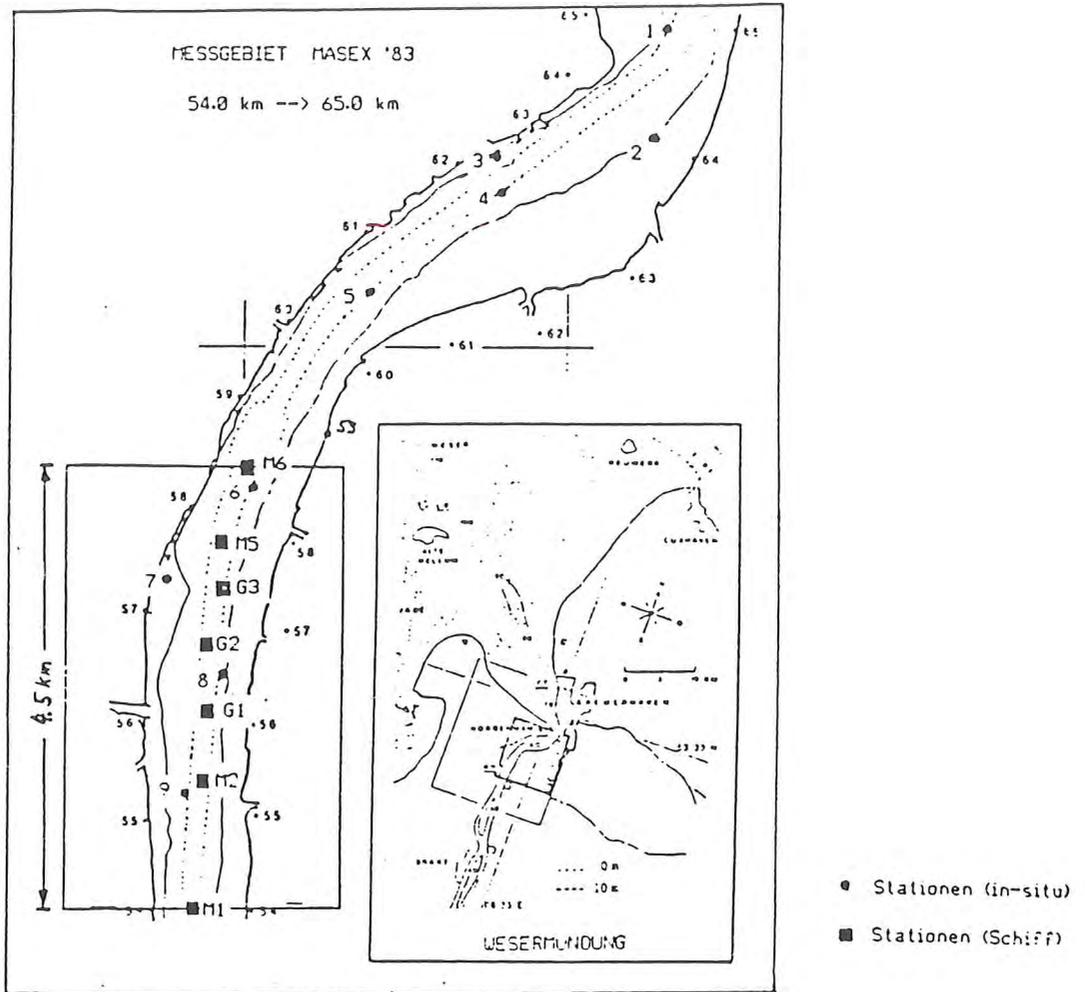


Abb. 1.1 Die Lage des Untersuchungsgebietes der Meßaktion MASEX '83

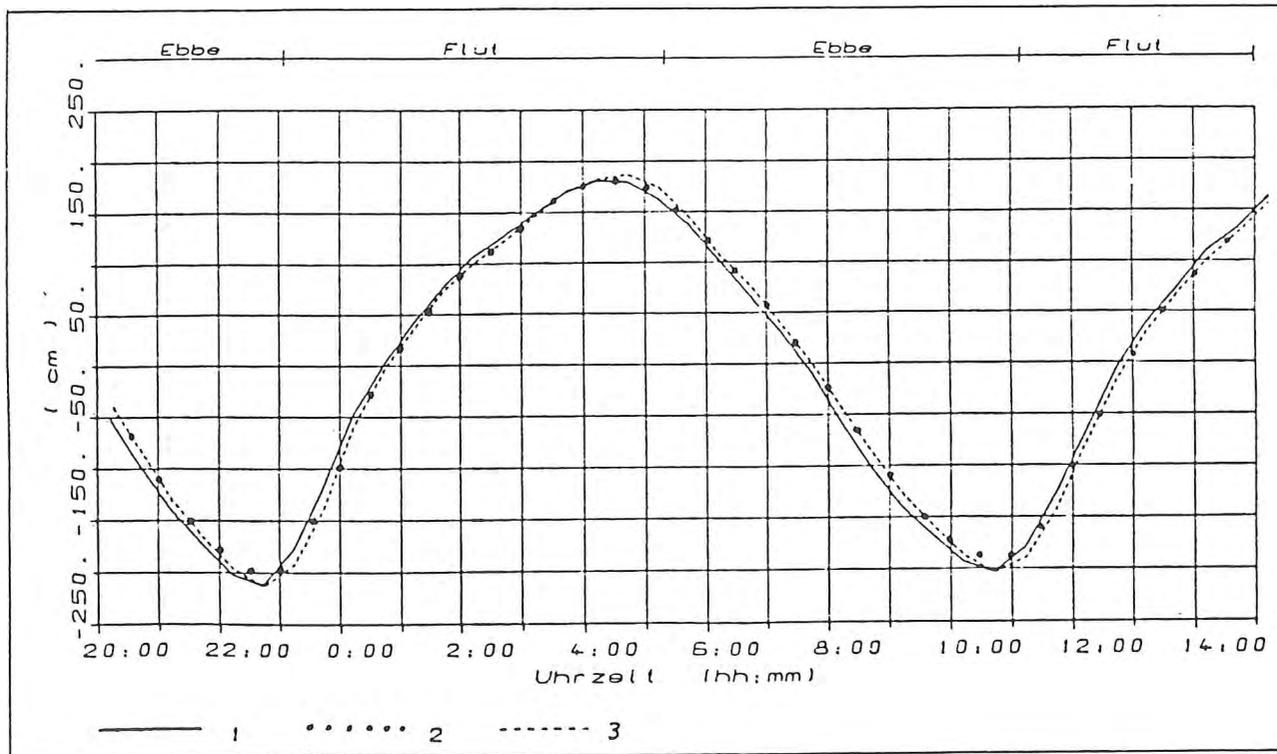


Abb. 1.2 Verlauf des gemessenen (1), des interpolierten (2) und des zusätzlich korrigierten (3) Pegels

Da doch sehr wesentliche Daten für die Steuerung des numerischen Modells fehlen und das Untersuchungsgebiet mit seiner Länge von 4.45 km sehr kurz für eine Modellrechnung ist, wurde beschlossen nur die Fahrwasserrinne zu simulieren. Damit ergibt sich für das numerische Modell ein Gitternetz mit 26 Elementen je 178.0 m in Längsrichtung (alle 200.0 m breit) und bis maximal 14 Elemente mit 1.0 m Höhe über die Tiefe.

1.2.3. Attenuation

Die vom Schiff aus eingesetzte Meßanordnung konnte Attenuationswerte nur bis $172. \text{ m}^{-1}$ erfassen. Gerade in Bodennähe wurde dieser Wert bei weitem überschritten.

Dieses zeigt Abb. 1.3 in der die vom Schiff aus gemessenen Attenuationswerte bei Pos. M6 mit denen der Station 5 der Dauermessungen gegenübergestellt sind. Die in den Tiefen von NN-10. m zu geringen Werte der Attenuation und der durch die Kappung der Werte unvollständig wiedergegebene Verlauf erschwert eine Analyse der berechneten Werte.

Das Meßintervall von ca. 2 h ist außerdem problematisch, wenn der zeitliche Verlauf der Trübung (s. Abb. 1.3) mit seinen großen zeitlichen Gradienten genau verfolgt werden soll. Bei der Interpretation der numerischen Ergebnisse muß daher berücksichtigt werden, daß die Aussagefähigkeit der berechneten Werte sehr stark von der Qualität der Randwerte abhängt.

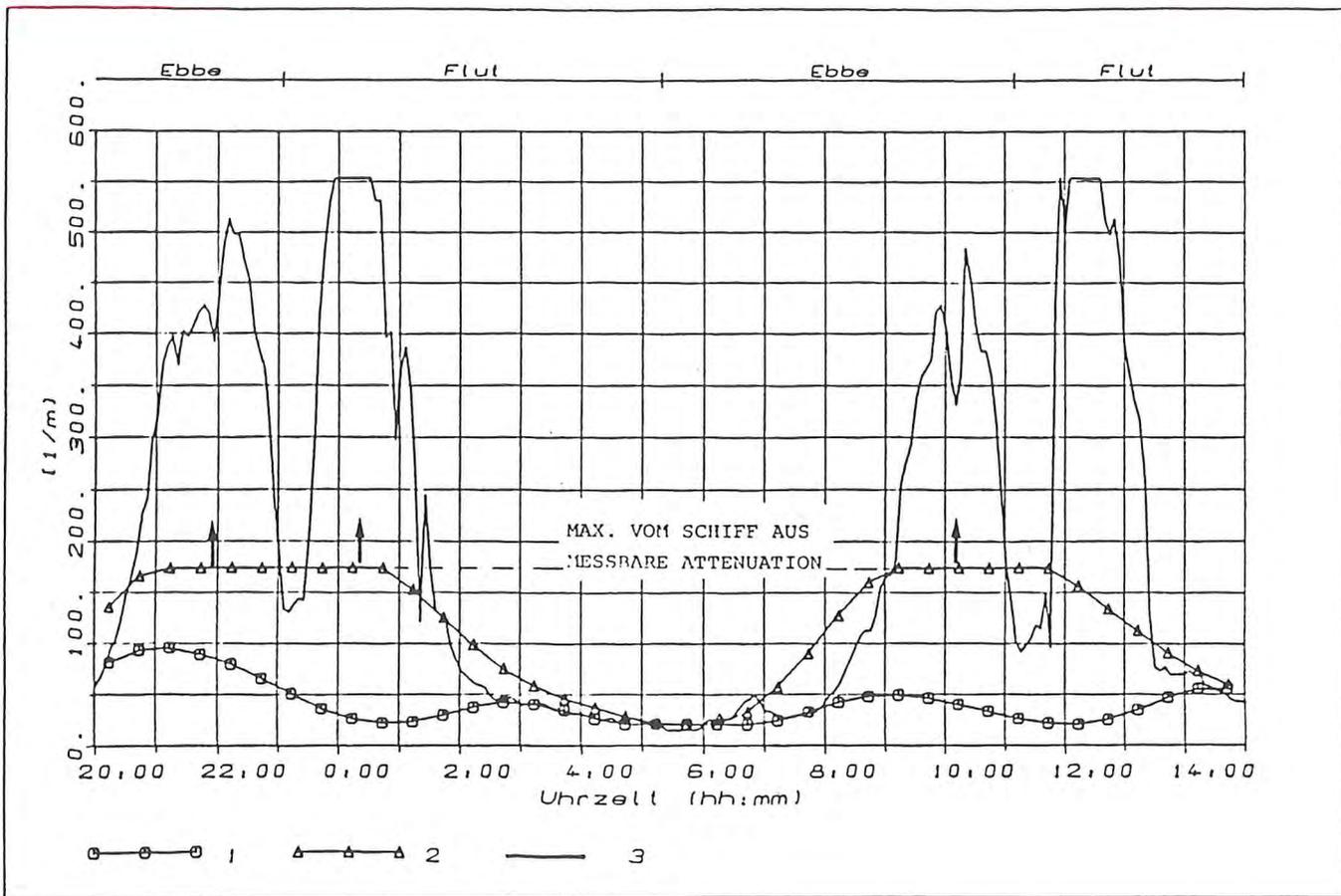


Abb. 1.3 Vergleich der bei Position M6 ((1) NN-3.m. (2) NN-10.m) gemessenen Attenuationswerte mit den Dauermessungen bei Station 5 (3)

1.3. Die numerischen Ergebnisse

Mit den vorhandenen Daten wurde als erstes eine Parameterstudie zur Reproduzierung des Geschwindigkeitsfeldes und des Salzgehalttransportes durchgeführt. Als die sich ergebenden Parameter wurden ermittelt

TAYLOR'scher Reibungsbeiwert $k = 0.004$

turbulente Viskosität $A_z = 0.050 \text{ m}^2/\text{s}$

turbulente Dispersion $K_z = 0.005 \text{ m}^2/\text{s}$

Typische erzielte Ergebnisse für die Geschwindigkeitsverteilung und den Salztransport zeigen die Abb. 1.4 und 1.5.

Für die Berechnung des Schlicktransportes sind außerdem die Parameter

- Sinkgeschwindigkeit
- kritische Spannung für Sedimentation
- Sedimentationsfaktor
- kritische Spannung für Erosion
- Erosionsfaktor

zu bestimmen.

Auch hier wurde eine Parameterstudie durch Variation dieser Werte durchgeführt. Als erstes wurde der Einfluß der Sinkgeschwindigkeit bei nichtvorhandener Erosion und Sedimentation untersucht. Die Abb. 1.7 zeigt typische Ergebnisse. Man sieht deutlich, daß ohne die Berücksichtigung von Erosion und Sedimentation der typische Verlauf der Trübung besonders in der Zeit 3 h vor bis 3 h nach Ebbekenterung nicht reproduziert werden kann.

Die Abb. 1.6 zeigt die Menge von erodierten und sedimentierten Material für die gefundene Parameterkombina-

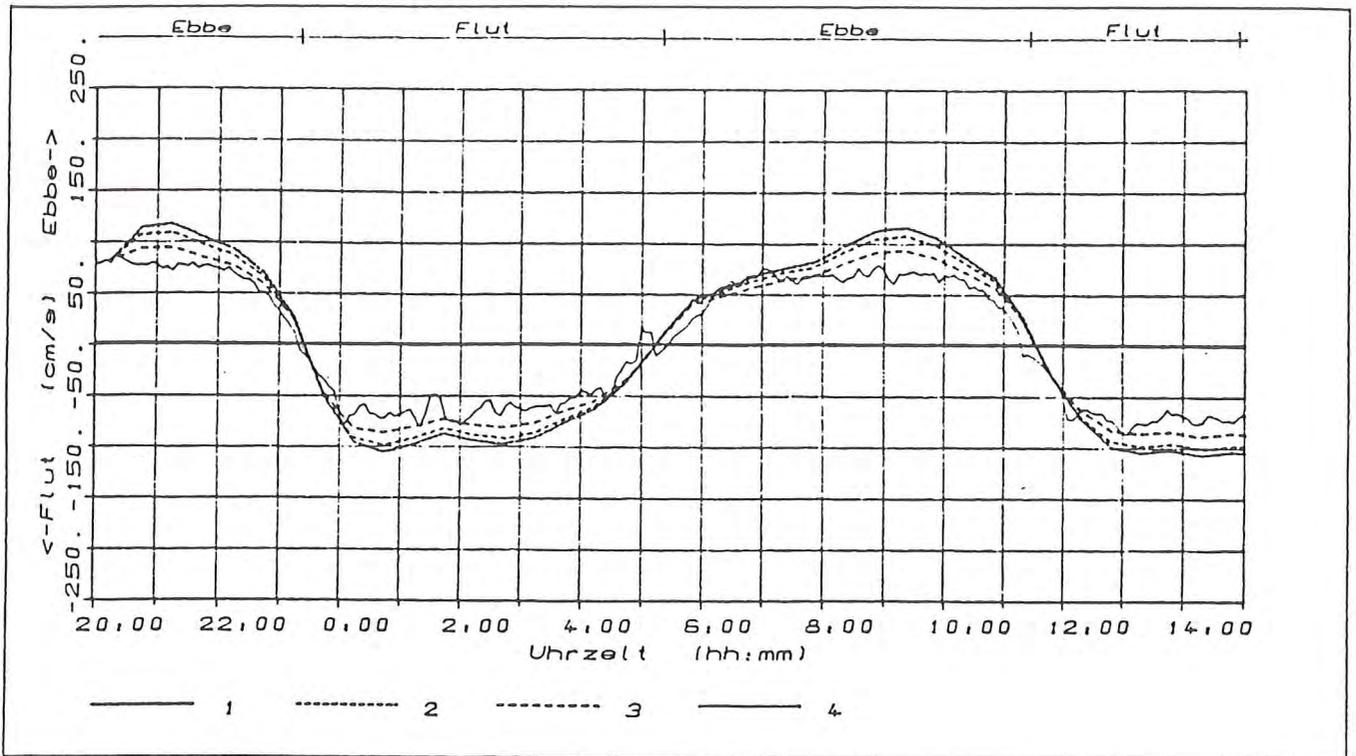


Abb. 1.4 Vergleich der an der Station G1 berechneten Geschwindigkeiten in (1) NN-2.m, (2) NN-6.m und (3) NN-10.m Tiefe mit denen der an der Position 8 1.m über Grund gemessenen.

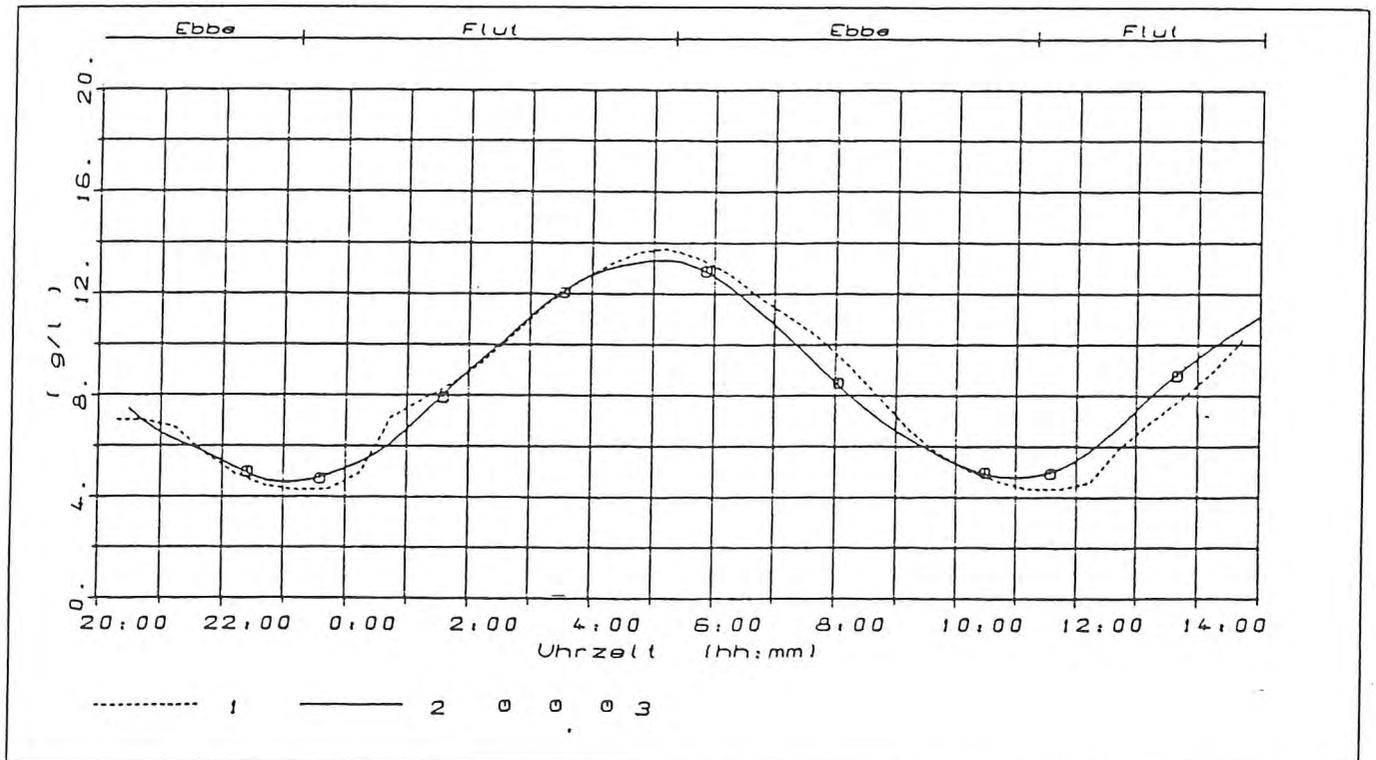


Abb. 1.5 Verlauf des berechneten (1) und des gemessenen (2) Salzgehaltes an der Station G1 in NN-6.m Tiefe

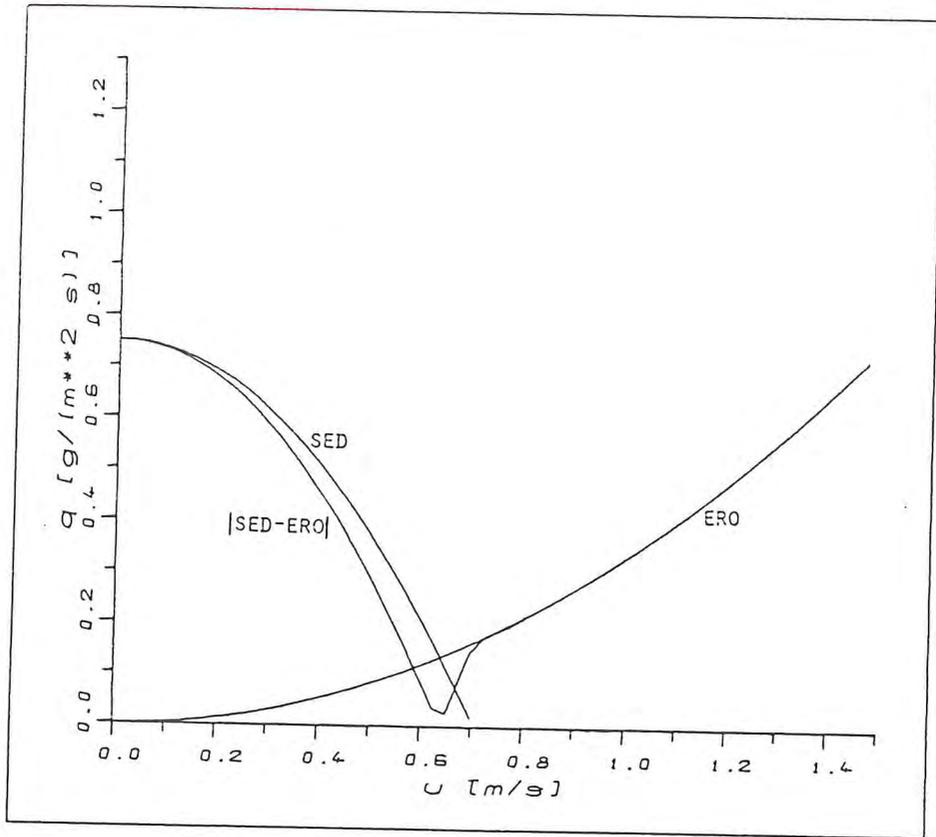


Abb. 1.6 Abhängigkeit der erodierten und sedimentierten Schlickmenge von der momentanen Geschwindigkeit

tion in Abhängigkeit von der momentanen Geschwindigkeit.

Die Größe der Parameter sind

Sinkgeschwindigkeit	w_{s}	=	0.002	m/s
Sedimentationsspannung	τ_{SCR}	=	2.0	N/m ²
Sedimentationsfaktor	f_{SED}	=	75	%
Erosionsspannung	τ_{ECR}	=	0.003	N/m ²
Erosionskonstante	M	=	0.25	g/m ³ s

Diese Werte liegen in der Größenordnung von im Labor gemessenen Werten (s. PARCHURE, 1984).

Den berechneten Trübungsverlauf unter Berücksichtigung von Erosion und Sedimentation zeigt die Abb. 1.8 . Der typische Verlauf wird jetzt wesentlich besser wiedergegeben.

Die Meßergebnisse MASEX '83 sind nur bedingt für die Simulation in einem numerischen Modell einsetzbar. Trotzdem kann mit ihnen schon eine Studie der vorhandenen Einflüsse (Erosion und Sedimentation) und eine annähernde Abschätzung der maßgebenden Parameter für den Schlicktransport erzielt werden. Die Erfahrungen mit den vorhandenen Daten sind in die Planung der Meßaktion MASEX '85 eingeflossen. Bei vorliegen dieser Meßwerte kann mit Hilfe des Modells eine umfassendere und besser fundierte Studie des Schlicktransportes und dessen Kausalitäten durchgeführt werden.

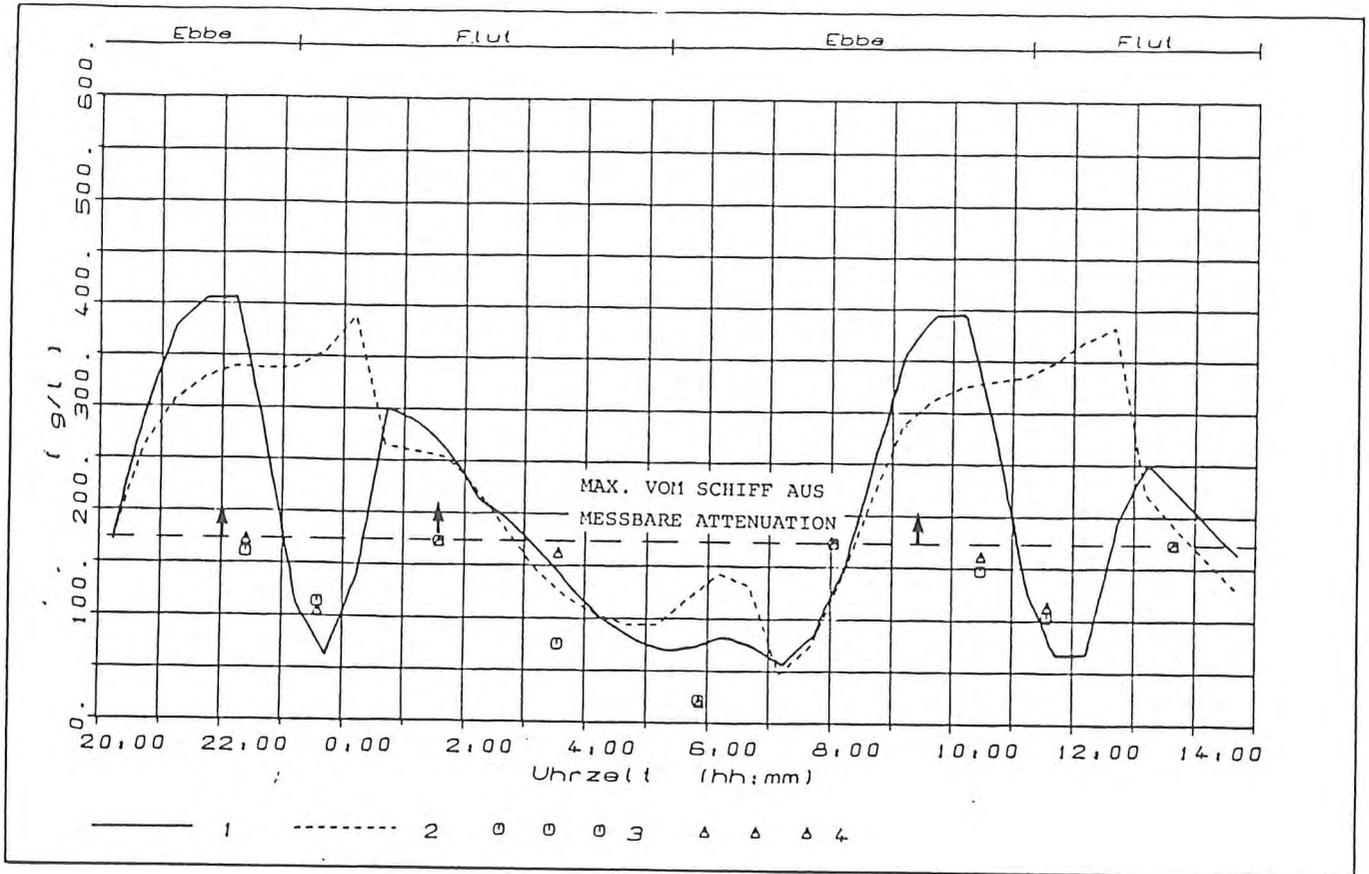


Abb. 1.7 Der Verlauf der bei Station G1 in NN-10.5m (4) und NN-9.5m (3) Tiefe gemessenen Attenuation mit der ohne (2) und mit (1) Erosion und Sedimentation berechneten Werte.

2. Beschreibung des Modells

Die MASEX '83 Daten zeigen sowohl starke Längs- als auch Vertikalgradienten von Salzgehalt und Schwebstoff. Messungen über den Querschnitt sind nicht durchgeführt worden. Daher wird eine 2-dimensionale, vertikal diskretisierte Beschreibung der Bewegungs-, Kontinuitäts- und Transportgleichung gewählt.

2.1. Die grundlegenden Gleichungen

Im einzelnen lauten diese Gleichungen:

1. Kontinuitätsgleichung

$$(bu)_{,x} + (bw)_{,z} - q = 0 \quad (1)$$

2. Bewegungsgleichung

$$u_{,t} + uu_{,x} + wu_{,z} + (uq)/b - \nu Au_{,xx} - \nu Au_{,zz} + p_x/\rho = 0 \quad (2)$$

3. Hydrostatische Druckverteilung

$$\frac{1}{\rho} p_x = gZ_x \frac{\rho_0}{\rho} + \frac{g}{\rho} \int_x^z p_x \, dz \quad (3)$$

4. Transportgleichung für Salz ($\varnothing=s$), Temperatur ($\varnothing=T$)
und Schwebstoff ($\varnothing=c$)

$$\varnothing_{,t} + (u\varnothing)_{,x} + b((w - w_s)\varnothing)_{,z} = \quad (4)$$

$$= {}^x K(b\varnothing_x)_{,x} + {}^z K(b\varnothing_z)_{,z} + q_{zu}\varnothing_{zu} - q_{ab}\varnothing$$

Für s und T ist $w_s = 0$. !

5. Zustandsgleichung

$$p = p_0 \{ 1 - [\beta(T-T_0) + 750s] 10^{-6} \} \quad (5)$$

mit $p_0 = 999.972 \text{ kg/m}^3$, $T_0 = 3.98 \text{ }^\circ\text{C}$ und β in

kg/m^3 , T in $^\circ\text{C}$ und s in ‰/‰ .

Die Zeit ist mit t bezeichnet, die horizontale bzw. vertikale Koordinate mit x bzw. z . Die abhängigen Variablen sind die Horizontalgeschwindigkeit u , die Vertikalgeschwindigkeit w , der aktuelle Wasserstand Z , der hydrostatische Druck p , die Dichte r , der Salzgehalt s , die Temperatur T und die Schwebstoffkonzentration c . Die mit Kommata bezeichneten Indizes x, z und t an diesen Variablen bezeichnen die (ggf. mehrfache) Ableitung nach der jeweiligen Größe. Als Eichparameter sind die turbulenten Zähigkeiten A_x und A_z sowie die turbulenten Diffusivitäten K_x und K_z eingeführt. Die lokale Breite des Ästuars ist mit b , mit q sind die seitlich eingeleiteten (Index zu) oder entnommenen (Index ab) Volumenströme pro Flächeneinheit bezeichnet. Die Erdbeschleunigung ist g , die Sinkgeschwindigkeit w_s . Die Turbulenz der Strömung ist durch sogenannte 'Dispersionskoeffizienten' parametrisiert. Die Koeffizienten sind im allgemeinen Funktionen der Geschwindigkeit, der Zeit und mit

der Dichte gekoppelt (RICHARDSON-Zahl).

Das Geschwindigkeitsfeld ist über den Druckterm mit dem Temperatur- und Salzgehaltsfeld gekoppelt.

2.2. Die Randbedingungen

Zur Lösung der Gleichungen sind an allen Rändern des Lösungsgebietes Randbedingungen vorzugeben. Die Abb. 2.1 zeigt die Randbedingungen an der Oberfläche und am Boden des Gewässers zur Lösung der Bewegungsgleichung. Abb. 2.2 dasselbe zur Lösung der Transportgleichung. Die hydrodynamische Randbedingung an der Oberfläche ist bei Windstille durch einen vertikalen Geschwindigkeitsgradienten gekennzeichnet, d.h. es ist keine Scherspannung vorhanden. Diese tritt erst bei der Simulation von Wind auf, so daß ein Gradient in den Geschwindigkeiten auch an der Oberfläche vorhanden ist. Am Boden wird der Geschwindigkeitsgradient als proportional zum Quadrat der 1.0 m über Grund vorhandenen Geschwindigkeit angenommen.

Die Oberflächenrandbedingung für die Transportgleichung ist beschrieben durch ein Gleichgewicht zwischen dem nach unten gerichteten Transport an der Oberfläche infolge der Sinkgeschwindigkeit und dem nach oben gerichteten Transport durch die Turbulenz. Dieses beschreibt die Randbedingung, daß kein Material durch die Oberfläche transportiert wird. Die Randbedingung am Boden wird in gleicher Weise beschrieben, wenn keine Erosion stattfindet. Sonst werden zwei weitere Terme zur Beschreibung dieser Effekte in die Randbedingung eingeführt (s. Abb. 2.2). Zur mathematischen Beschreibung von Erosion und Sedimentation gibt es viele Ansätze. Für die

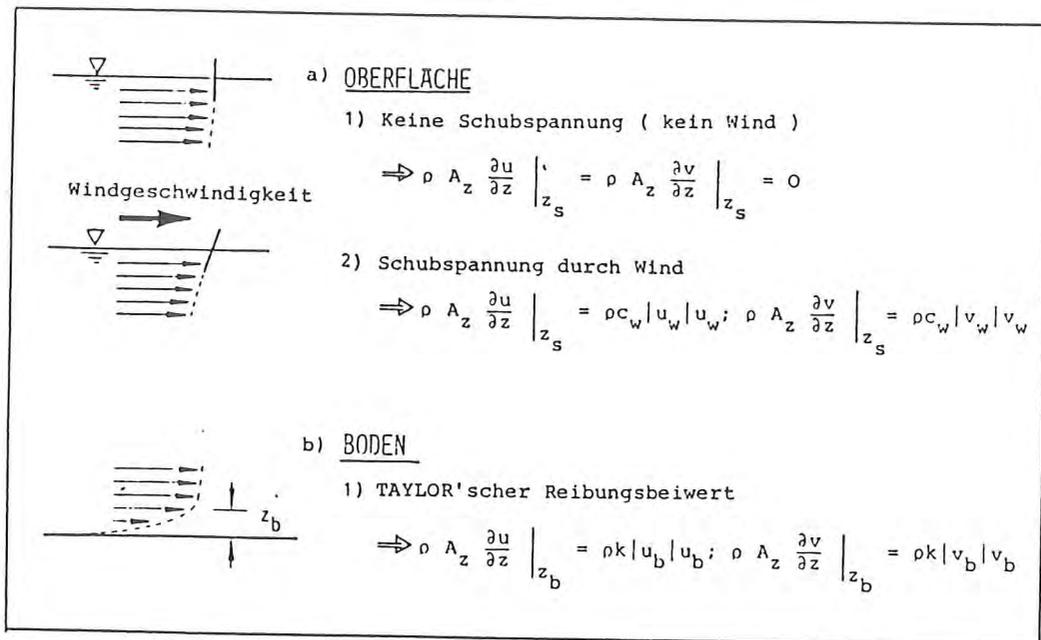


Abb. 2.1 Die Randbedingungen zur Lösung der NAVIER-STOKES-Gleichung

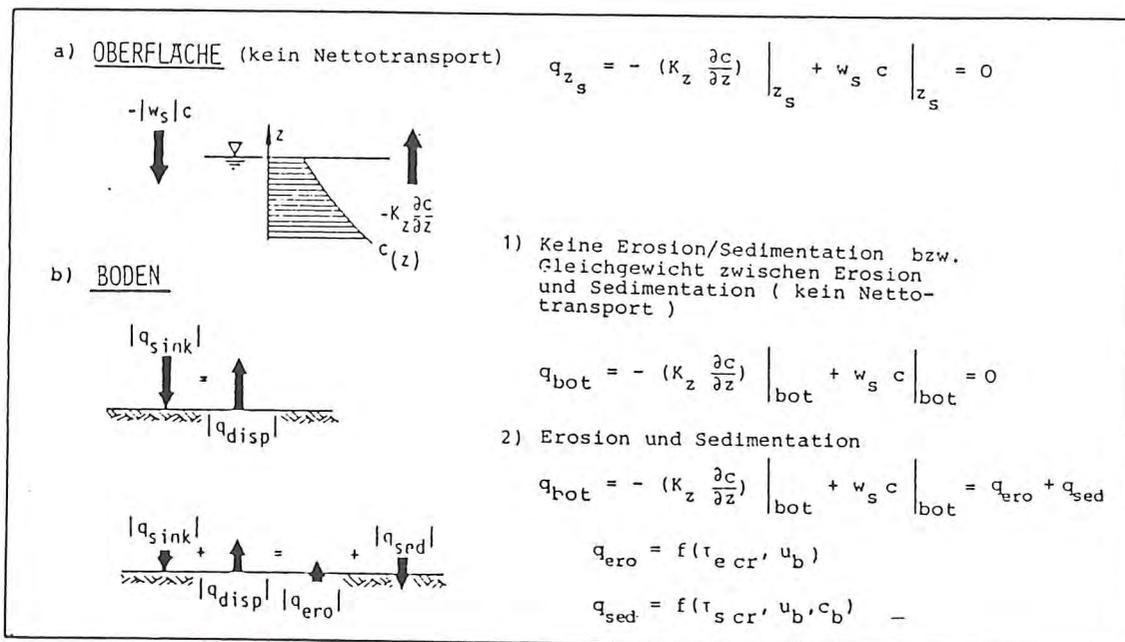


Abb. 2.2 Die Randbedingungen zur Lösung der Transportgleichung

hier betrachteten Teilchen mit einer Größe von $< 100 \mu\text{m}$ und damit geringen Sinkgeschwindigkeiten bietet sich der Ansatz von PARTHENIADES (1962) und KRONE (1962) an (Abb. 2.3). Dieser Ansatz beinhaltet eine kritische Scherspannung für den Beginn der Erosion und eine kritische Scherspannung, bei der die Sedimentation aufhört. Wenn diese Scherspannungen erreicht werden, sind beide Phänomene direkt proportional dem Quadrat der Bodengeschwindigkeit (1.0 m über Grund).

An den geschlossenen Rändern des Gebietes wird die Geschwindigkeit = 0. gesetzt.

An den offenen Rändern ist immer der Wasserstand oder das vertikale Geschwindigkeitsfeld sowie die vertikale Verteilung der Temperatur, des Salzgehalts und der Schwebstoffkonzentration vorzugeben.

2.3. Das numerische Modell

Diese 2-dimensionalen Gleichungen für Impuls, Kontinuität und Transport werden durch ein Finites- Differenzen- Verfahren gelöst. Es wird ein versetztes numerisches Gitternetz (staggered grid) eingesetzt. Dies besagt, daß die vom Volumen abhängigen Größen (Dichte, Temperatur, Salzgehalt und Konzentrationen) in der Mitte der Elemente berechnet werden, aber die Geschwindigkeiten an den Rändern.

Die Abb. 2.4 zeigt eine mögliche Modellgeometrie. Die Elemente können in Richtung der x-Achse verschiedene Breiten haben, die über die Tiefe konstant ist. Die Elementdicken z_i werden vorgegeben. Die Dicke der untersten Schicht wird aus

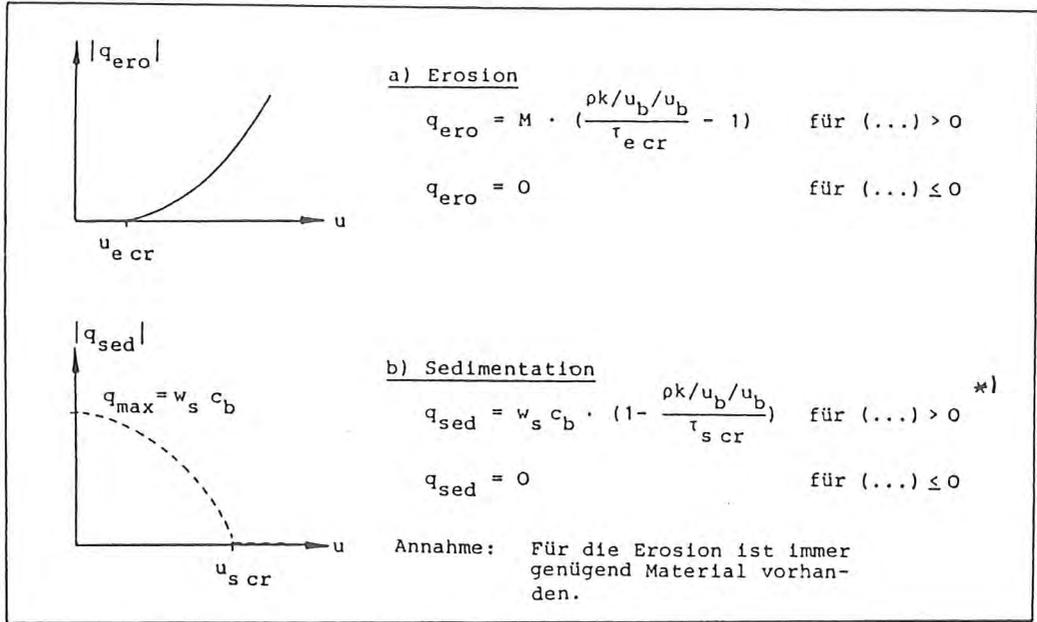


Abb. 2.3 Die Parametrisierung von Erosion und Sedimentation (nach PARATHENIADES (1962) und KRONE (1962))

*) In der Literatur wird bei der Sedimentation ein zusätzlicher Faktor eingeführt, um die Verkleinerung der Sinkgeschwindigkeit in Bodennähe zu erfassen (s. SHENG 1983). Dies ist auch im Modell berücksichtigt.

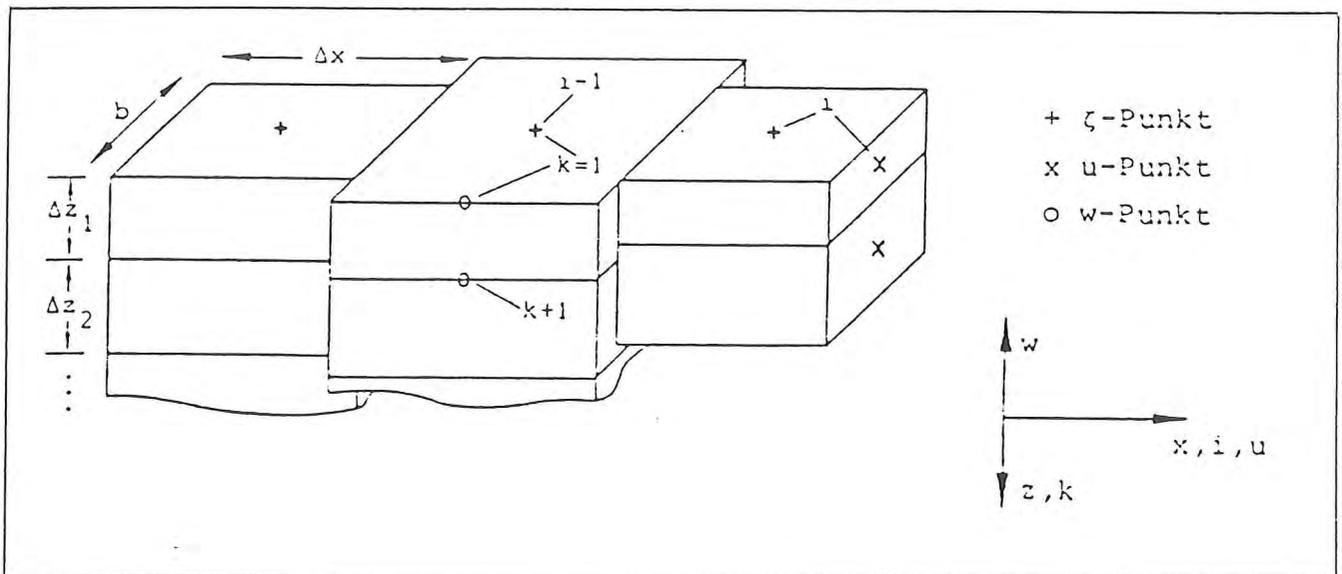


Abb. 2.4 Die Modellgeometrie

der Differenz der Gesamtwassertiefe und der Summe der Tiefenschritte gebildet, d.h. die unterste Schicht ist variable. Das oberste Element verfolgt mit seiner Elementhöhe den gesteuerten, bzw. berechneten Wasserstand. Daraus folgt, daß das oberste Element mindestens die Höhe des Ebbwasserstandes haben muß. Die maximale Höhe des Elementes ist die des Gesamttidehubes.

Im Anhang A sind die wichtigsten Differenzgleichungen angegeben. Die horizontalen advektiven und diffusiven Terme werden explizit berechnet, während die vertikalen konvektiven Terme implizit berechnet werden. Durch einen Wichtungsfaktor kann das Maß der Implizitheit bestimmt werden.

Es wird ein explizites upstream-Schema mit einem zusätzlichen Antidiffusionsschritt für die Berechnung des advektiven und konvektiven Transportes von Impuls, Temperatur und Substanzen benutzt. Der Antidiffusionsschritt versucht die Terme 2. Ordnung der TAYLOR-Reihe zu approximieren. Dieses Verfahren ist immer positiv definit, d.h. es treten in den numerischen Lösungen nie negative Werte für die Konzentrationen auf. Das Antidiffusionsverfahren besteht aus zwei aufeinanderfolgenden upstream-Schritten. In dem ersten Schritt wird der advektive Transport durch das Geschwindigkeitsfeld berechnet. Der zweite Schritt wird mit der Antidiffusionsgeschwindigkeit u_{ad} , gegeben durch

$$u_{ad} = \frac{u \Delta x (1 - u \Delta t / \Delta x)}{2 C + \epsilon}$$

durchgeführt. Für weitere Einzelheiten wird auf

SMOLARKIEWICZ (1983) verwiesen.

Die Abb. 2.5 und 2.6 zeigen Modellrechnungen an einem eindimensionalen Kanal mit 100 Elementen in der Längsrichtung. Die anfängliche Konzentrationsverteilung ist in den Abb. 2.5 und 2.6 zusammen mit den am Unterstromende für verschiedene COURANT-Zahlen (0.10, 0.25, 0.50, 1.00) berechneten dargestellt. Die Abbildungen zeigen, daß das Antidiffusionsverfahren von SMOLARKIEWICZ die numerische Dispersion sehr stark vermindert. Allerdings treten bei kleinen COURANT-Zahlen Phasenfehler auf.

Ein semi-implizites zentrales Differenzenschema wird zur Lösung der vertikalen Diffusion im Zusammenhang mit der Sinkgeschwindigkeit für Schwebstoffe eingesetzt.

Eine weitergehende Beschreibung über effektive Programmierung zur Lösung von Transportprozessen findet sich bei MARKOFISKY (1984).

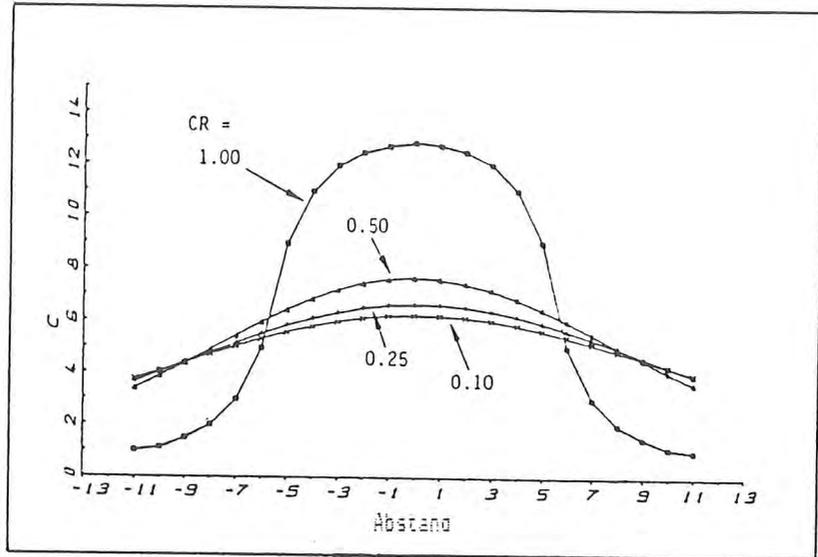


Abb. 2.5 Transportberechnung mit UPSTREAM-Verfahren für verschiedene Courant-Zahlen

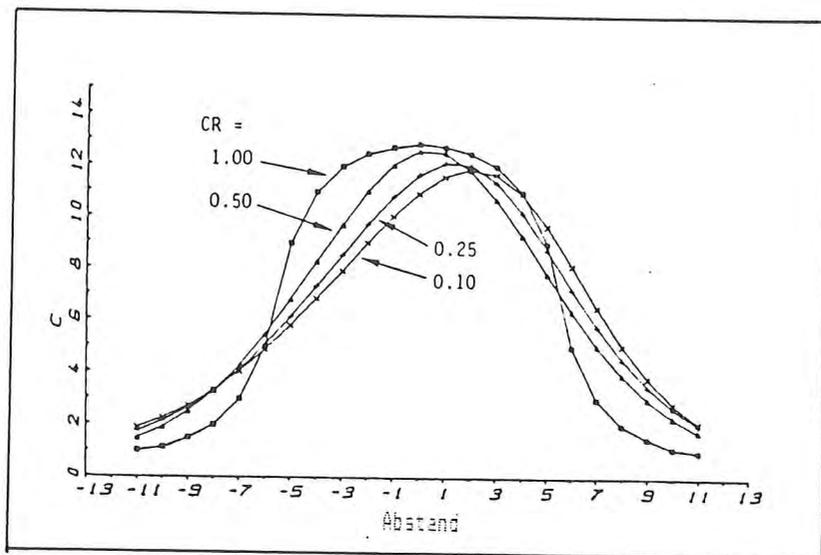


Abb. 2.6 Transportberechnung mit Antidiffusionsverfahren für verschiedene Courant-Zahlen

3. Eigenschaften des Modelles

3.1 Stationäres Konzentrationsprofil

Für die folgenden Bedingungen

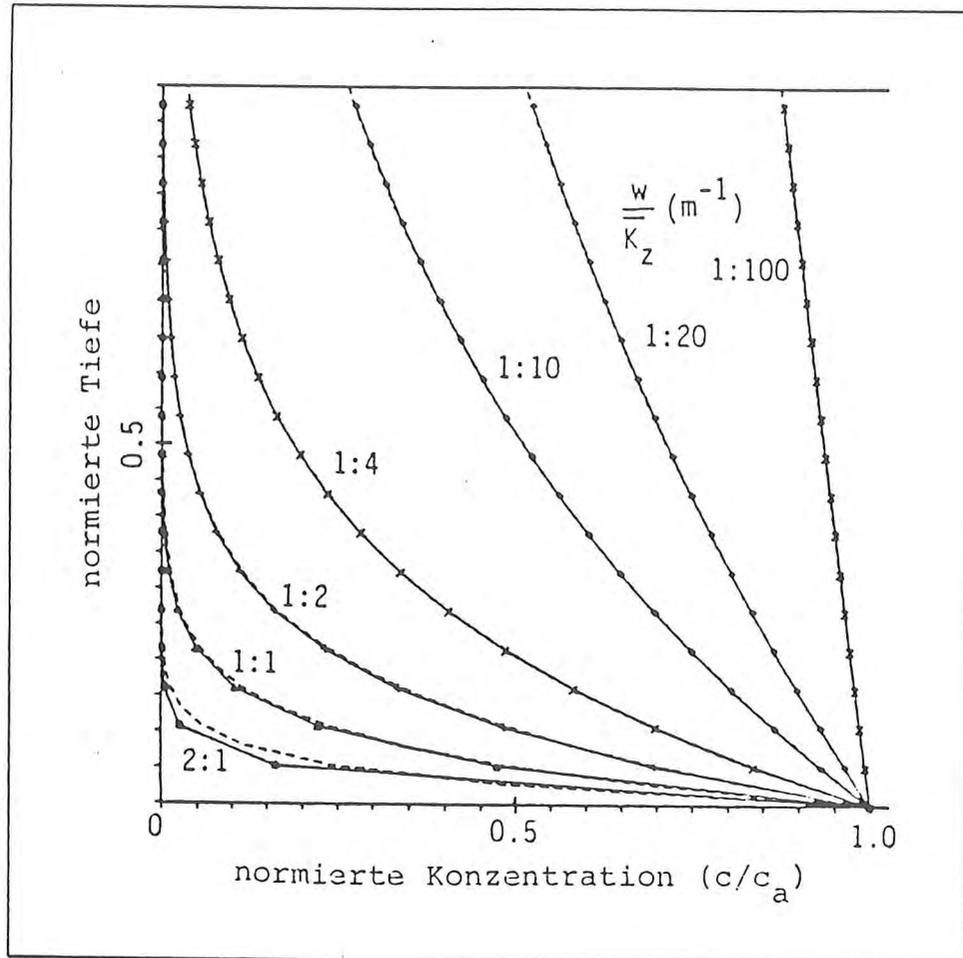
- über die Tiefe konstante Sinkgeschwindigkeit,
- über die Tiefe konstante turbulente Diffusivität
- keine Erosion und Sedimentation am Boden

erhält man ein stationäres Konzentrationsprofil das normiert nur von dem Verhältnis der Sinkgeschwindigkeit zur turbulenten Diffusivität (w_{es}/K_z) abhängt. Abb. 3.1 zeigt für verschiedene Verhältnisse von w_{es}/K_z einen Vergleich der analytischen zur numerischen Lösung. Die analytische Lösung wurde von ROUSE (1937) durch die Gleichung

$$C(z) = C_0 \exp \left(- \frac{|w_{es}|}{K_z} z \right)$$

gegeben.

Für große Werte von w_{es}/K_z , was einer hohen Sinkgeschwindigkeit entspricht, sammelt sich der Schwebstoff am Boden, während für kleine Werte von w_{es}/K_z sich eine fast konstante Konzentrationsverteilung über die Tiefe ergibt. Die Übereinstimmung der numerischen mit der analytischen Lösung kann als gut bezeichnet werden. Die vorhandenen Differenzen bei großen w_{es}/K_z - Werten in der Nähe des Bodens ergeben sich aus der im Beispiel gewählten konstanten Tiefenschichtung. Eine Verbesserung kann durch Wahl eines feineren Gitters in Bodennähe, wo große Gradienten in der Konzentration auftauchen, erreicht werden.



Anm.: Turbulente Diffusivität K_z konstant über die Tiefe, Sinkgeschwindigkeit w_s konstant über die Tiefe, keine Sedimentation / Erosion am Boden

Abb. 3.1 Stationäres Konzentrationsprofil

3.2 Das zeitliche Verhalten von vertikalen Konzentrationsprofilen

Das zeitliche Verhalten von suspendiertem Material in einem gleichförmigen Turbulenzfeld wurde erstmals experimentell von DOBBINS (1943) untersucht. Er leitete analytische Lösungen für zeitabhängige vertikale Konzentrationsprofile in Abhängigkeit von Erosion und Sedimentation her.

Zum Zeitpunkt $t = 0.0$ s wird mit einem exponentiellen Verlauf der Konzentration über die Tiefe begonnen. Der Sedimentfluß tritt dann verstärkt am Boden auf. Der Fluß durch die Wasseroberfläche ist gleich 0. In diesem Fall stellt sich zu Zeiten $t > 0.0$ s ein Nullgradient in der Konzentration am Boden ein. Abb. 3.2 zeigt vertikale Konzentrationsprofile zu 6 unterschiedlichen Zeiten nach dem Einsetzen der Sedimentation (numerische, analytische und experimentelle Ergebnisse).

Die Fähigkeit des Modelles auch den zeitlichen Verlauf des Konzentrationsprofiles richtig wiederzugeben, macht es möglich mit ihm auch den Transport von suspendiertem Material bei idealisierten Bedingungen zu berechnen.

3.3. Sedimentation mit zeitweiliger (periodischer) Erosion

Der Einfluß einer kritischen Scherspannung τ_{ECR} auf die Zeitabhängigkeit der Konzentration am Boden zeigt die Abb. 3.3. Die Bodenschubspannung wird wie in Abb. 3.0 dargestellt beschrieben. In diesem Beispiel wird die Geschwindigkeit u durch eine Sinusfunktion vorgegeben. Dies wird mit 2 verschiedenen Verhältnissen für τ_{ECR}/τ_{EMAX} (τ_{EMAX} - maximal auftretende Bodenschubspannung) durchgeführt;

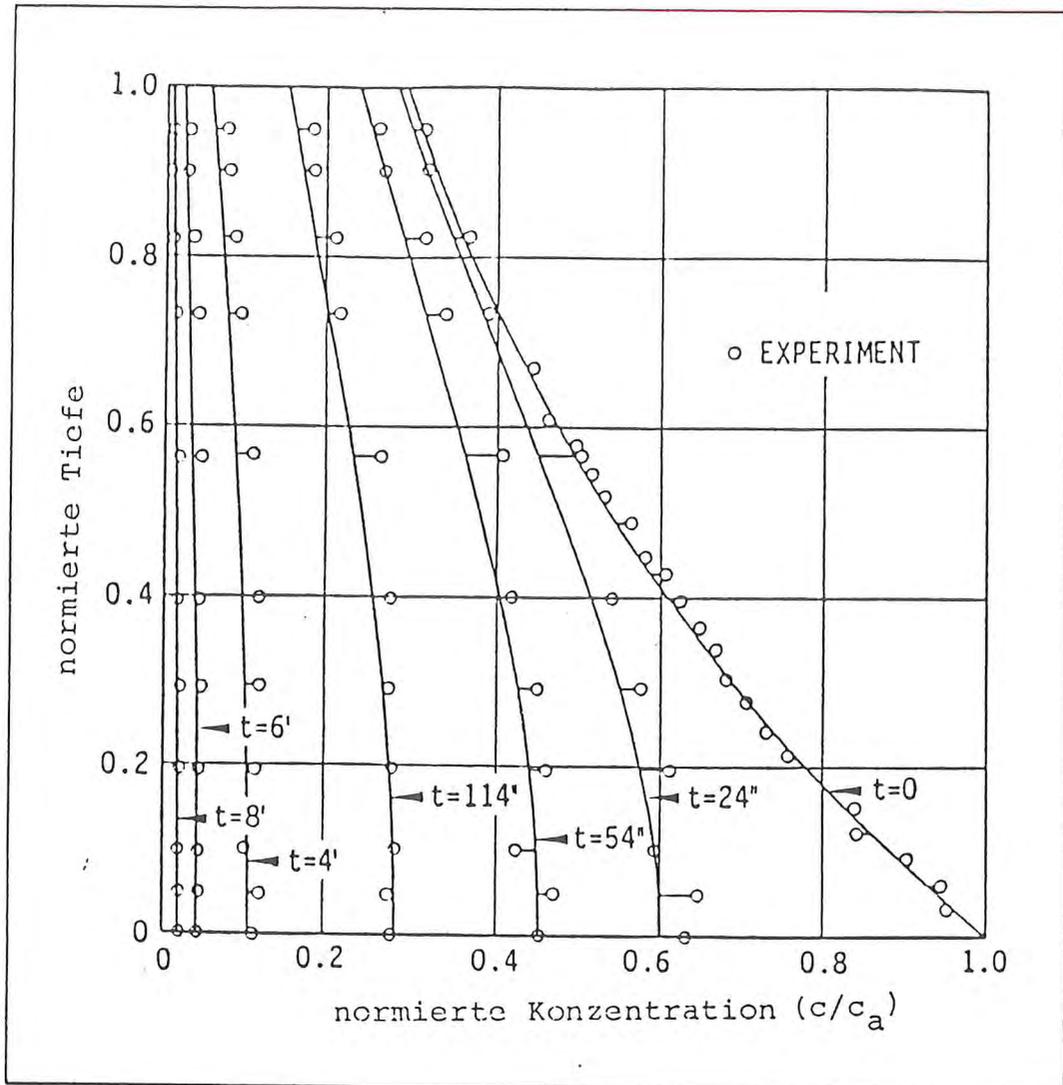


Abb. 3.2 Vertikales Konzentrationsprofil für Sedimentation ohne Erosion. Vergleich zwischen numerischer (———), analytischer (———) Lösung und experimentellen Daten (o) (s. DOBBINS 1943)
11 Elemente in der Vertikalen

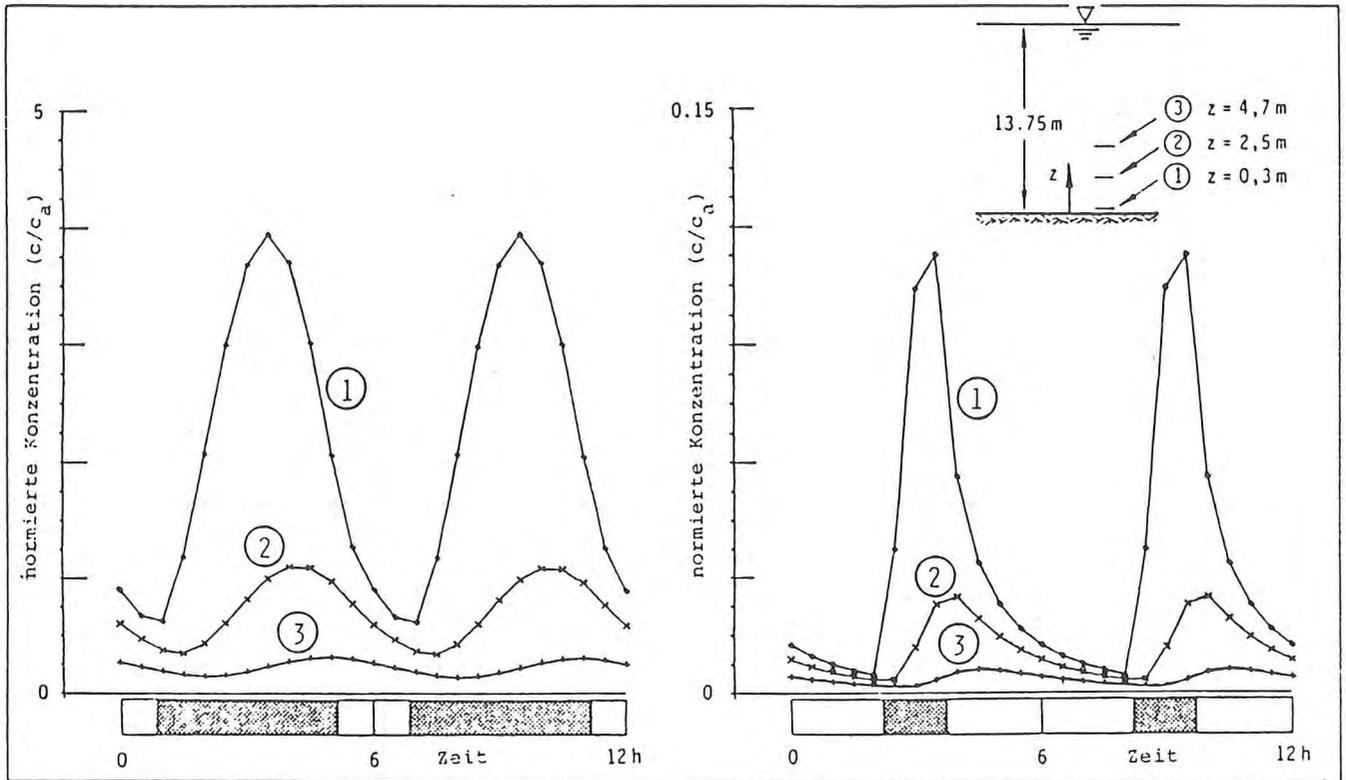


Abb. 3.3 Zeitabhängige Konzentration in verschiedenen Tiefen bei periodischer Erosion. Konstante Diffusivität. Die Konzentrationen sind auf die durch Gl. 6 am Boden gegebene Konzentration normiert.
linkes Bild : $T_{\text{MAX}}/T_{\text{ECR}} = 6.0$
rechtes Bild : $T_{\text{MAX}}/T_{\text{ECR}} = 1.2$
25 Elemente in der Vertikalen

nämlich 1:5 (hoher Erosionsanteil) und 5:6 (geringer Erosionsanteil). Während der durch eine Schraffur auf der Zeitachse gekennzeichneten Zeiten findet Erosion statt. Die Sedimentationsrate wird durch den Massentransport $T_{SED} = W_B * C_E$ beschrieben.

Man erhält die folgenden Ergebnisse:

- Je größer der Wert T_{ECR}/T_{EMAX} (5:6) ist, desto größer ist die Asymmetrie des zeitlichen Verlaufes der Konzentration. Obwohl der Zeitraum der Erosion kurz ist, wird schlagartig eine Menge Material in Suspension gebracht. Danach setzt eine lange Phase der Sedimentation ein (exponentieller Verlauf).
- In größerem Abstand vom Boden zeigen die Kurven immer mehr einen sinusförmigen Verlauf, da die höheren Frequenzanteile durch Diffusion gedämpft werden.
- Wenn T_{ECR}/T_{EMAX} kleiner wird (1:6) zeigen auch die Konzentrationen am Boden einen sinusförmigen Verlauf.

In der Abb. 3.4 werden die Ergebnisse von Messungen in der Trübungswolke im Weserästuar gezeigt. Der Verlauf der Trübung zeigt den aus dem vorherigen Beispiel typischen Verlauf der Konzentrationen; der schnelle und heftige Einsatz der Erosion bei Beginn der Flut und die allmähliche Sedimentation.

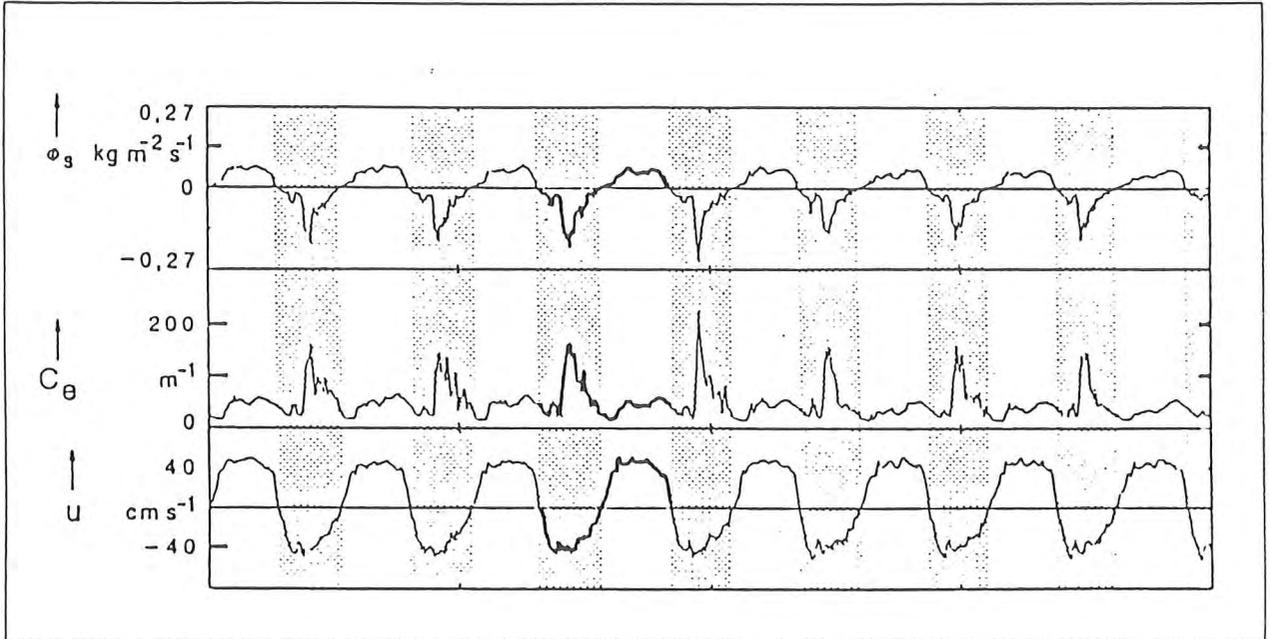


Abb. 3.4 Messungen bei Blexen in dem Weser-
ästuar 1.m über Grund

3.4. Das Trübungsmaximum in einem geschichteten Astuar

3.4.1. Stationäre Verteilung des Salzgehaltes und des suspendierten Sediments

Berechnungen für die stationäre Salzgehalts- und Sedimentverteilung werden für den Fall eines konstanten vertikalen Diffusionskoeffizienten K_z durchgeführt. Die Größe K_z der turbulenten Diffusion wird für den Salzgehalt und das suspendierte Material als gleich angenommen. Die Untersuchung beinhaltet zwei unterschiedliche Werte für K_z (10^{-4} und 10^{-5} m²/s) und eine Reihe von Werten für das Verhältnis w_s/K_z (1:1, 1:2, 1:10, 1:20 und 1:100). Die Simulationen werden für folgende Randbedingungen durchgeführt:

- konstanter Zufluß Q_r (5.1 m³/s/m ; Geschwindigkeit 0.37 m/s) und Salzgehalt = 0. ‰ am oberen Rand bei km 30.
- am unteren Rand ist der Salzgehalt in den oberen Schichten bis 6.8 m Tiefe = 0. ‰ und darunter konstant 30. ‰.

Die Gesamtwassertiefe beträgt im gesamten Gebiet konstant 13.75 m.

Zwei unterschiedliche Randbedingungen für das suspendierte Material werden untersucht:

- keine Trübung am unteren Rand und ein Gleichgewichtsprofil für das suspendierte Material am oberen Rand.
- Keine Trübung am oberen Rand und ein Gleichgewichtsprofil für das suspendierte Material am unteren Rand.

Die Länge des Gitternetzes in der Längsrichtung beträgt

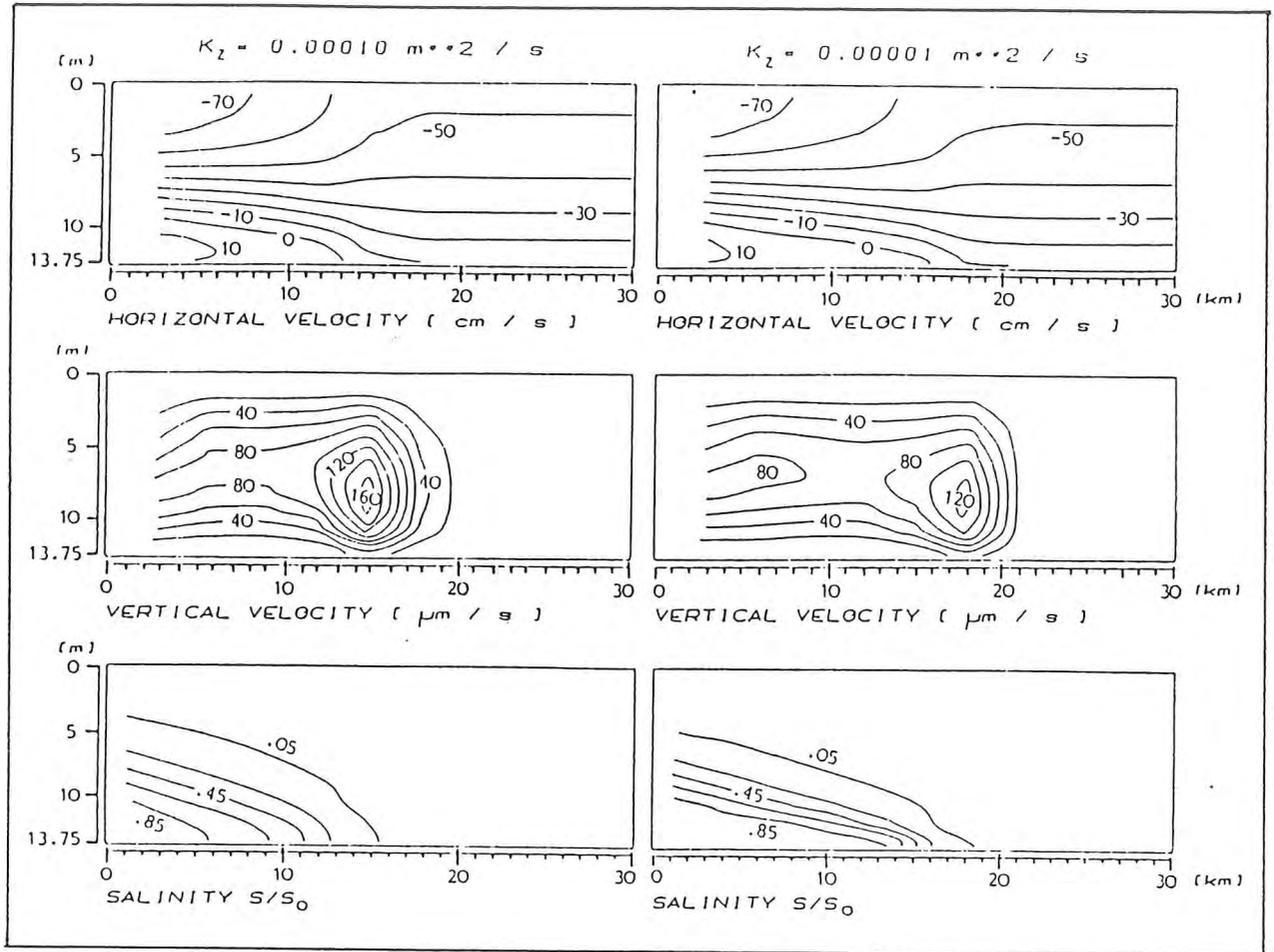


Abb. 3.5

Geschwindigkeits- und Salzgehalts-
verteilung in einem geschichteten
Ästuar für $K_z=0.00010$ und $0.00001\text{m}^2/\text{s}$

konstant 3.0 km. In der Vertikalen sind 12 Elemente mit Dicken von 1.38 bis 0.69 m vorhanden. Die horizontale Diffusivität wird zu $0.0 \text{ m}^2/\text{s}$ gewählt.

Isolinien der horizontalen und vertikalen Geschwindigkeitskomponenten zeigt die Abb. 3.5 zusammen mit den zugehörigen Salzgehaltsverteilungen. Der Salzkeil dringt für kleinere Werte von K_z weiter in das Ästuar ein. Dieses erzeugt eine Verschiebung des Maximums der Vertikalgeschwindigkeiten stromauf. Das Maximum liegt immer an der Spitze des Salzkeils.

Abb. 3.6 zeigt, daß für ein Verhältnis w_{S}/K_z von $1:10 \text{ m}^{-1}$ kein Trübungsmaximum an der Spitze des Salzkeils zu beobachten ist. Dies ist aber bei einem Verhältnis w_{S}/K_z von $1:2 \text{ m}^{-1}$ der Fall. Dabei ist es gleichgültig, ob die Quelle des suspendierten Materials am oberen oder unteren Rand des Gebietes liegt. Der Maximalwert der Trübung ist aber von der Lage der Quelle abhängig. Für das gleiche Profil für das suspendierte Material an einem der beiden Ränder des Ästuars ist die maximale Konzentration in dem Trübungsmaximum höher, wenn die Sedimentquelle im Ozean liegt ($w_{\text{S}}/K_z = 1:2 \text{ m}^{-1}$; $c/c_{\text{OMAX}} = 8.0$ oberer Rand).

Die Berechnungen zeigen, daß nicht nur das Verhältnis w_{S}/K_z die Entwicklung eines Trübungsmaximums beeinflusst, sondern auch die absolute Größe von K_z . Abb. 3.6 zeigt, daß für $w_{\text{S}}/K_z = 1:2 \text{ m}^{-1}$ die maximale Konzentration bei einem Wert von $K_z = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ kleiner ist als bei $K_z = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Dies ist auf eine größere relative Sinkgeschwindigkeit ($w_{\text{S}}+w$) durch die größere turbulente Diffusivität, bei der w_{S}/K_z konstant gehalten wird, zurückzuführen. D.h. die Sinkgeschwindigkeit

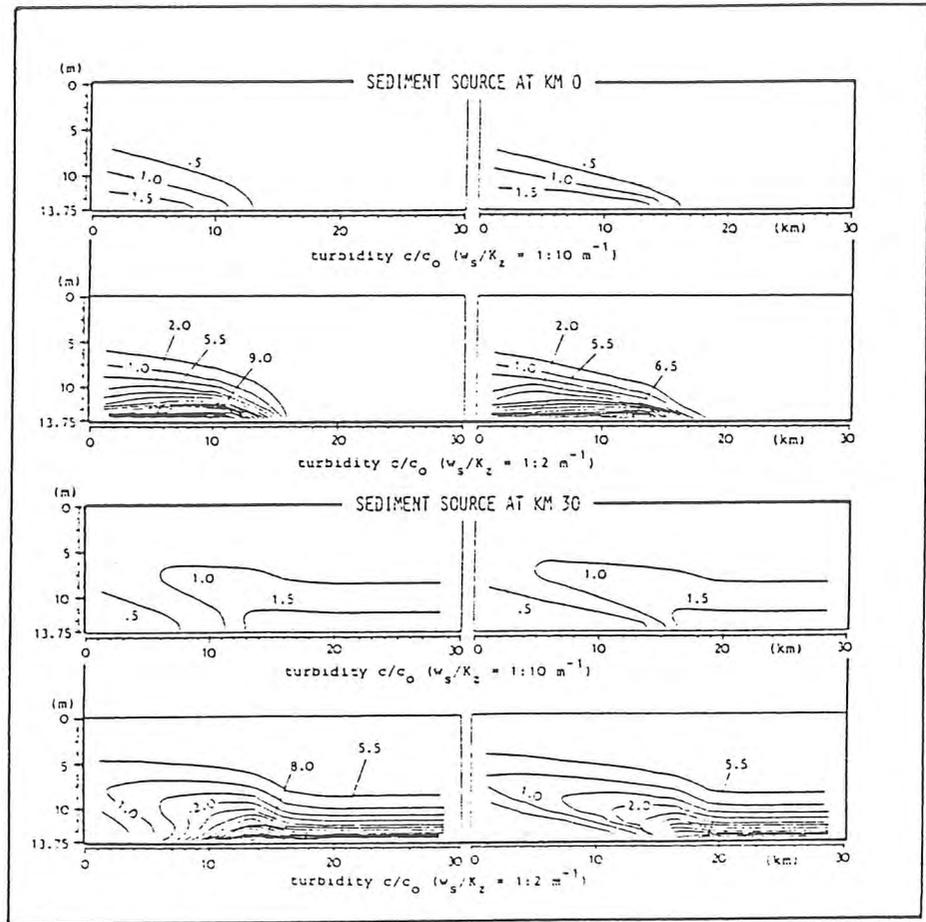


Abb. 3.6

Normierte Trübung für w_s/K_z - Werte von $1:10$ und $1:2 \text{ m}^{-1}$ und Quelle der Trübung stromab und stromauf des Berechnungsgebietes

w_{∞} ist bei einem Wert von $K_z = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ um den Faktor 10 größer als bei $K_z = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Die vertikalen Geschwindigkeiten für $K_z = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ sind im allgemeinen um den Faktor 2 größer als bei $K_z = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

3.4.2 Quasistationäres Trübungsmaximum

Abb. 3.7 zeigt den Einfluß des Oberwassers auf ein berechnetes Trübungsmaximum für ein Ästuar. Das Rechenbeispiel ist an die Weser angepaßt. Es wurde ein 120. km langer, 300. m breiter Kanal simuliert. Am linken Rand wurde ein Salzgehalt s von 24 ‰ an der Oberfläche und 30 ‰ am Boden, eine Schwebstoffkonzentration $c=0$. und ein konstanter Wasserstand vorgegeben. Am rechten Rand wurde der Salzgehalt mit $s=0$. und ein Gleichgewichtsprofil für c nach Gl. (6) vorgegeben, wobei $w_{\infty}/K_z = 1:10 \text{ m}^{-1}$ angenommen wurde. Zwei Oberwasserzuflüsse, $100. \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 3.7a) und $300. \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 3.7b), wurden simuliert. Abb. 3.7 zeigt, daß mit zunehmendem Oberwasser sowohl der Salzkeil als auch das Trübungsmaximum stromab transportiert wird (hier fast 30. km).

Im Naturfall sind die hier untersuchten idealisierten Fälle aber noch überlagert durch die Bodenerosion und das Absetzverhalten zu den Kenterzeiten, durch instationäre und ungleichmäßige Geschwindigkeiten und zeitlich variable Randbedingungen. Dies unterscheidet den Naturfall stark von den idealisierten Fällen. Um das Modell auf den Naturfall anwenden zu können sind Naturmessungen erforderlich. Damit soll eine Eichung durchgeführt werden, d.h. die wesentlichen Parameterwerte sollen durch einen Vergleich

Messung / Rechnung bestimmt werden. Auf die Frage, inwieweit die MASEX '83 Daten dazu geeignet sind, wird jetzt eingegangen.

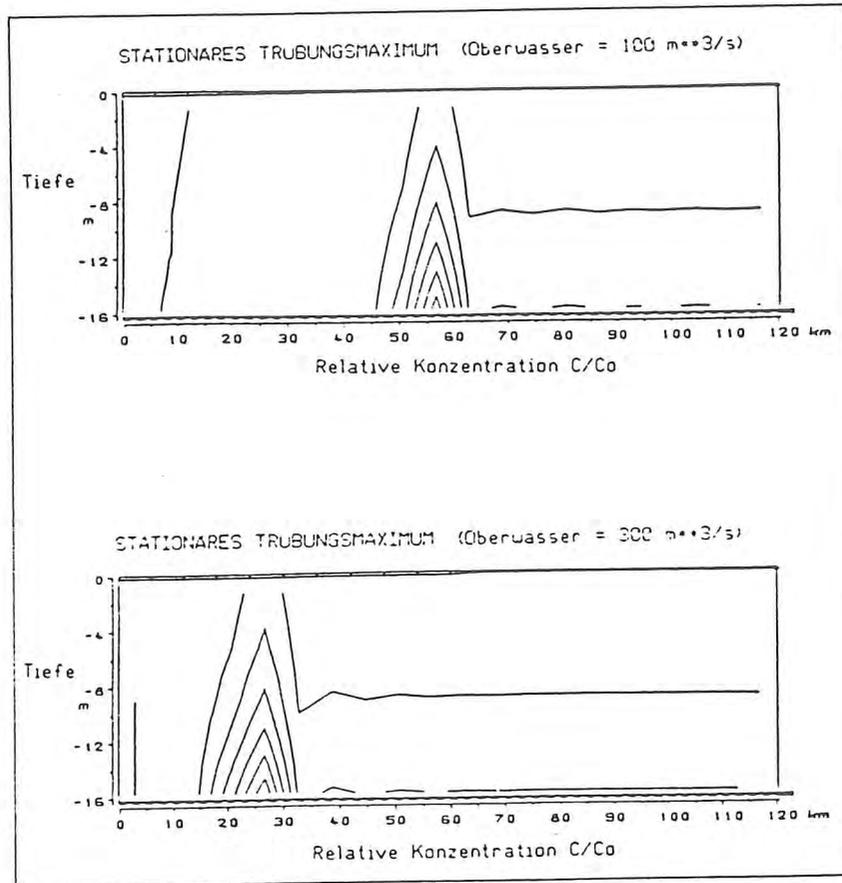


Abb. 3.7 Stationäres Trübungsmaximum bei unterschiedlichen Oberwasserzuflüssen. $w_s/K_z = 1:10$
Randbedingungen :
rechts Salzgehalt = 0, vertikales Gleichgewichtsprofil für die Trübung
links Salzgehalt = 24‰ oben, 30‰ am Boden, Trübung = 0

4. Messungen bei MASEX '83

4.1 Lage des Meßgebietes

Im Herbst 1983 führte die KFKI-Forschungsgruppe " Schwebstoff und Schlick in Ästuaren " im Gebiet der Wesermündung (Abb. 4.1) eine Meßaktion durch.

Es wurden Vertikalprofile von Salzgehalt, Temperatur und Attenuation an den 7 Stationen M1, M2, G1, G2, G3, M5 und M6 (Abb. 4.1) circa alle 2 Stunden über 5 Tage in den Tiefen NN- 2.m bis NN-10.m gemessen. Das Gebiet hat eine Länge von 4.45 km und eine mittlere Tiefe von NN-12.m . Während des Zeitraumes herrschte ein mittlerer Tidehub von 3.80 m und ein mittlerer Oberwasserzufluß von $130. \text{ m}^3/\text{s}$.

An den Positionen 1 bis 9 (Abb. 4.1) standen in-situ-Dauermeßstationen zur Verfügung, die in der Tiefe von 1. m über Grund die Parameter Salzgehalt, Temperatur und Geschwindigkeit in Richtung und Betrag gemessen haben. An den Positionen 2, 3, 5 und 8 waren Attenuationsmesser montiert, von denen aber nur die Stationen 3 und 8 arbeiteten.

4.2 Messung der Pegel

Als einziger innerhalb des Gebietes vorhandener Pegel war der bei Nordenham (Strom-km. 58.0) gemessene vorhanden. Dieser Pegel wurde zur Steuerung des Wasserstandes am seeseitigen Rand benutzt. Der Pegel für den oberwasserseitigen Rand wurde durch eine lineare Interpolation zum Pegel Strohauser-Plate (Strom-km. 49.0) berechnet (Abb. 4.2). Ein Vergleich der mit diesen Wasserständen als Randbedingung berechneten Geschwindigkeiten mit den durch die Dauermeßgeräte gemessenen zeigen eine Differenz in dem Verlauf und als Auffälligstes

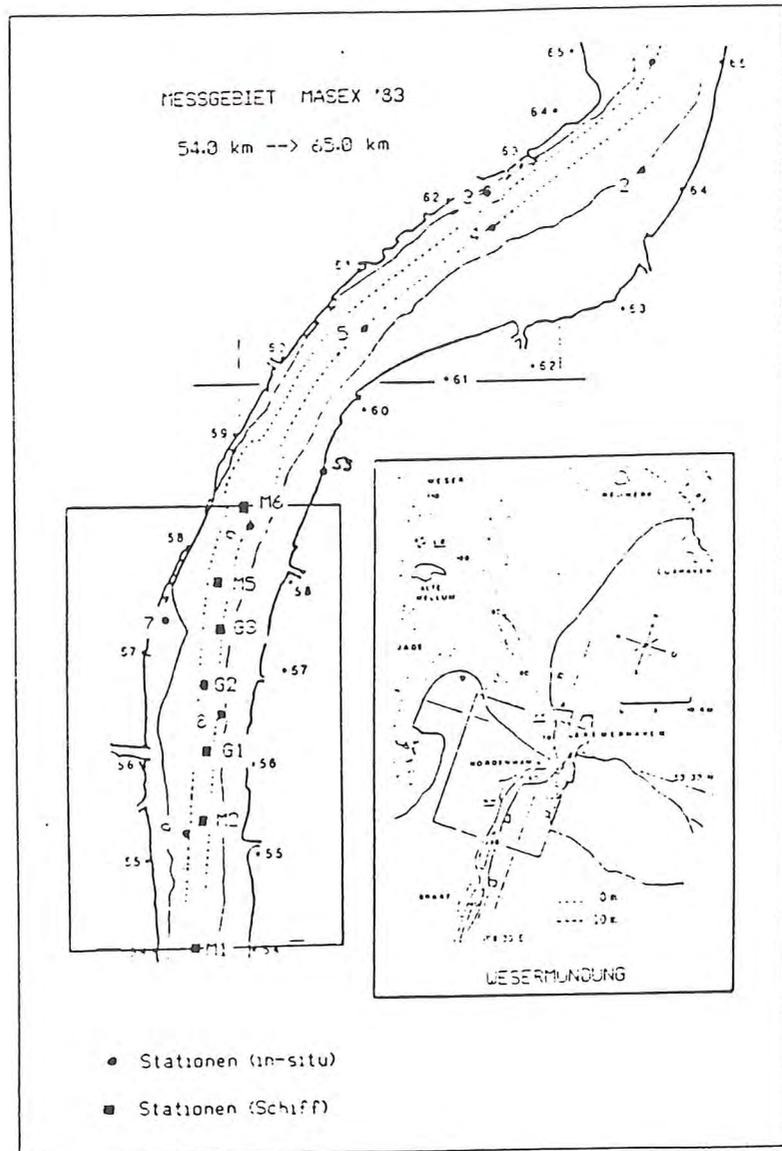


Abb. 4.1 Die Lage des Untersuchungsgebietes der Meßaktion MASEX '83

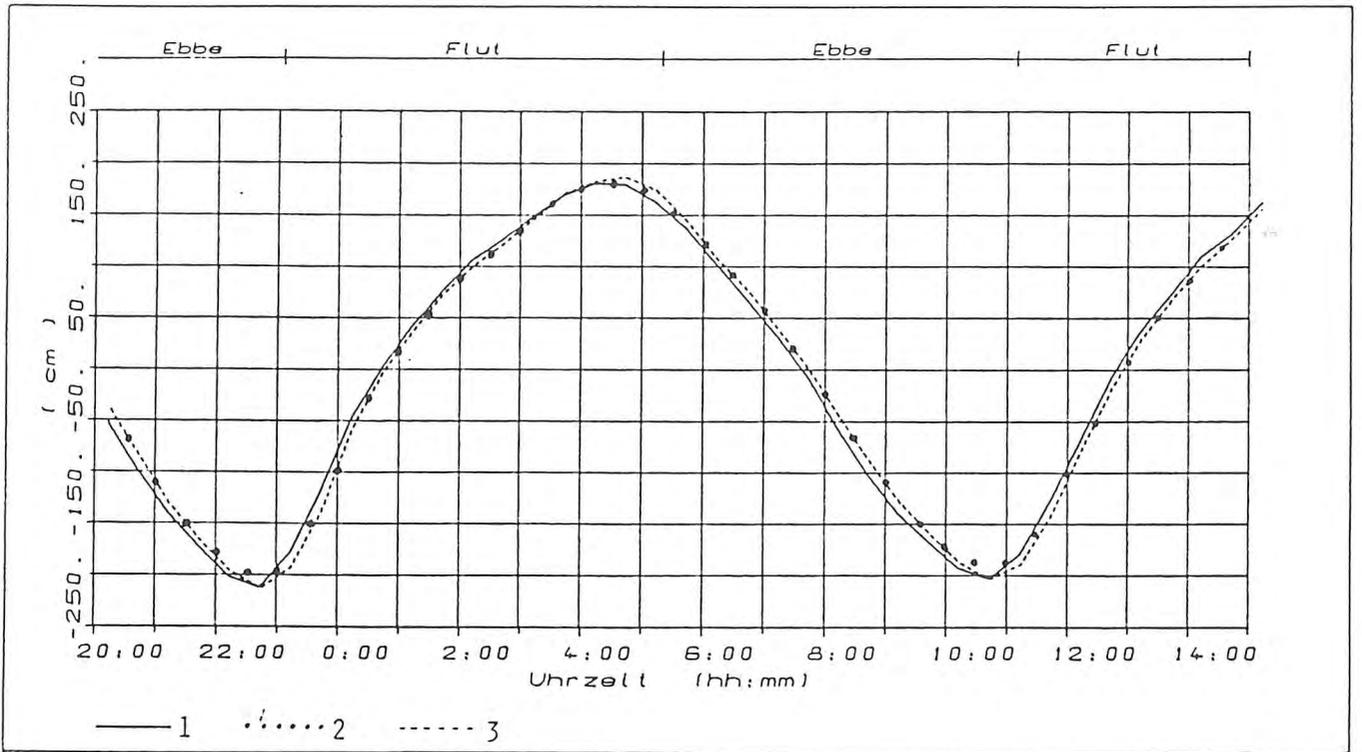


Abb. 4.2 Verlauf des gemessenen (1), des interpolierten (2) und des zusätzlich korrigierten (3) Pegels

eine deutliche Verschiebung der Kenterzeitpunkte (Abb. 4.3). Ein Versuch den oberwasserseitigen Wasserstand durch eine kubische Spline-Interpolation zwischen den Pegeln Brake (Strom-km. 39.0), Strohauser-Plate (Strom-km. 49.0), Nordenham (Strom-km. 58.0) und Bremerhaven (Strom-km. 66.7) brachte keine Verbesserung der Übereinstimmung.

Da keine weiteren Informationen über den oberwasserseitigen Pegel zu erhalten waren und sämtliche Versuche die Übereinstimmung der Geschwindigkeiten durch geeignete Wahl der im Modell vorhandenen Eichparameter; wie Reibungsbeiwert, horizontaler und vertikaler Austauschkoefizient; zu erreichen fehlschlagen, wurde durch gezielte Manipulation des Pegels eine Verbesserung angestrebt.

Die Eichung der Geschwindigkeiten kann nur durch den Vergleich mit den Messungen 1. m über Grund und durch Vergleich mit bekannten mittleren maximalen Oberflächen- und Sohlgeschwindigkeiten möglich. Hierzu standen die Angaben des Wasser- und Schifffahrtsamtes Bremerhaven zur Verfügung. Danach ergeben sich :

	Flut	Ebbe
max. Oberflächen- geschwindigkeit	122 cm/s	161 cm/s
max. Sohlgeschwindigkeit	80 cm/s	87 cm/s
(1.m über Grund)		

Der mit dieser Geschwindigkeitsverteilung berechnete Salzgehaltstransport zeigt eine zu hohe Transportgeschwindigkeit, so daß der Salzgehalt als Indikator für die Eichung des Geschwindigkeitsfeldes gewählt wurde.

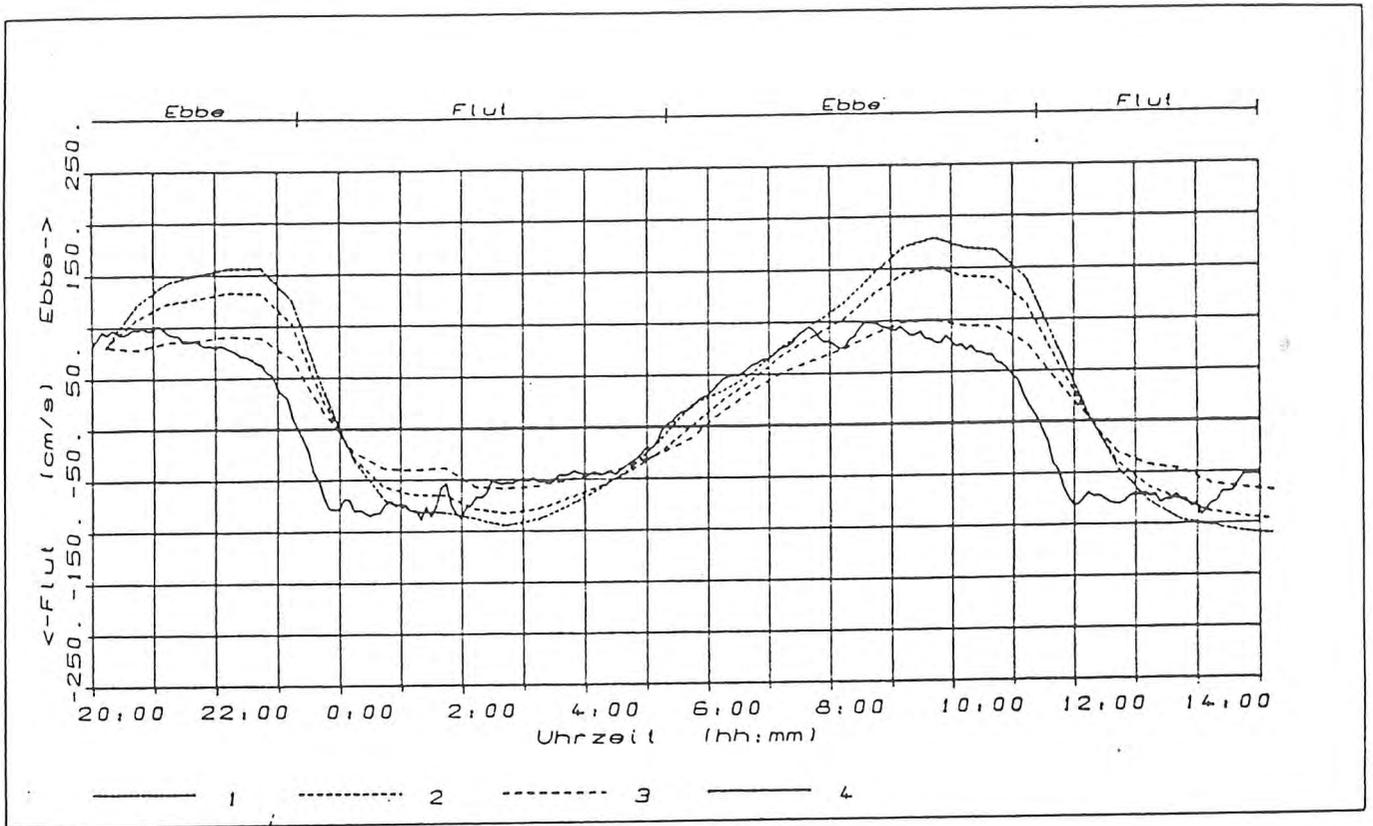


Abb. 4.3

Berechnete Geschwindigkeiten mit dem interpolierten Wasserstand

4.2. Messung des Salzgehaltes

Die Auswertung der gemessenen Profile über die Tiefe erfordert eine Datenaufbereitung die aus den folgenden Punkten besteht:

- i) Interpolation über die Tiefe auf konstante vorgegebene Tiefen. Hier wurde eine lineare Interpolation gewählt, da die Meßwerte in ausreichender Dichte vorlagen.
- ii) Interpolation in den konstanten Tiefen über die Zeit, um alle die Werte für alle Stationen zu gleichen, äquidistanten Zeitpunkten vorliegen zu haben. Durch die großen zeitlichen Abstände von ca. 2 h wird eine kubische Splineinterpolation gewählt.

Diese Aufbereitung der Daten ist von der GKSS - Geesthacht - durchgeführt worden.

Eine Gegenüberstellung der gemessenen und interpolierten Werte für den Salzgehalt in den Tiefen von NN-2.m, NN-6.m und NN-10. m für die Stationen M1, G1 und M6 ist in den Abb. 4.4 bis 4.6 zu sehen.

Hierzu sind einige Anmerkungen zu machen:

In der Natur ist eine stabile Schichtung im Salzgehalt vorhanden, d.h. der Salzgehalt nimmt über die Tiefe zu.

Die Extrema im Salzgehalt treten zu den Kenterzeitpunkten der Geschwindigkeit auf; maximaler Salzgehalt bei Flutkenterung, minimaler bei Ebbekenterung. Dieses zeigen auch die in-situ-Dauermessungen.

Bei den Messungen MASEX '83 betrug, bedingt durch die Fahrzeit des Schiffes, die Meßabstände für eine Station bis

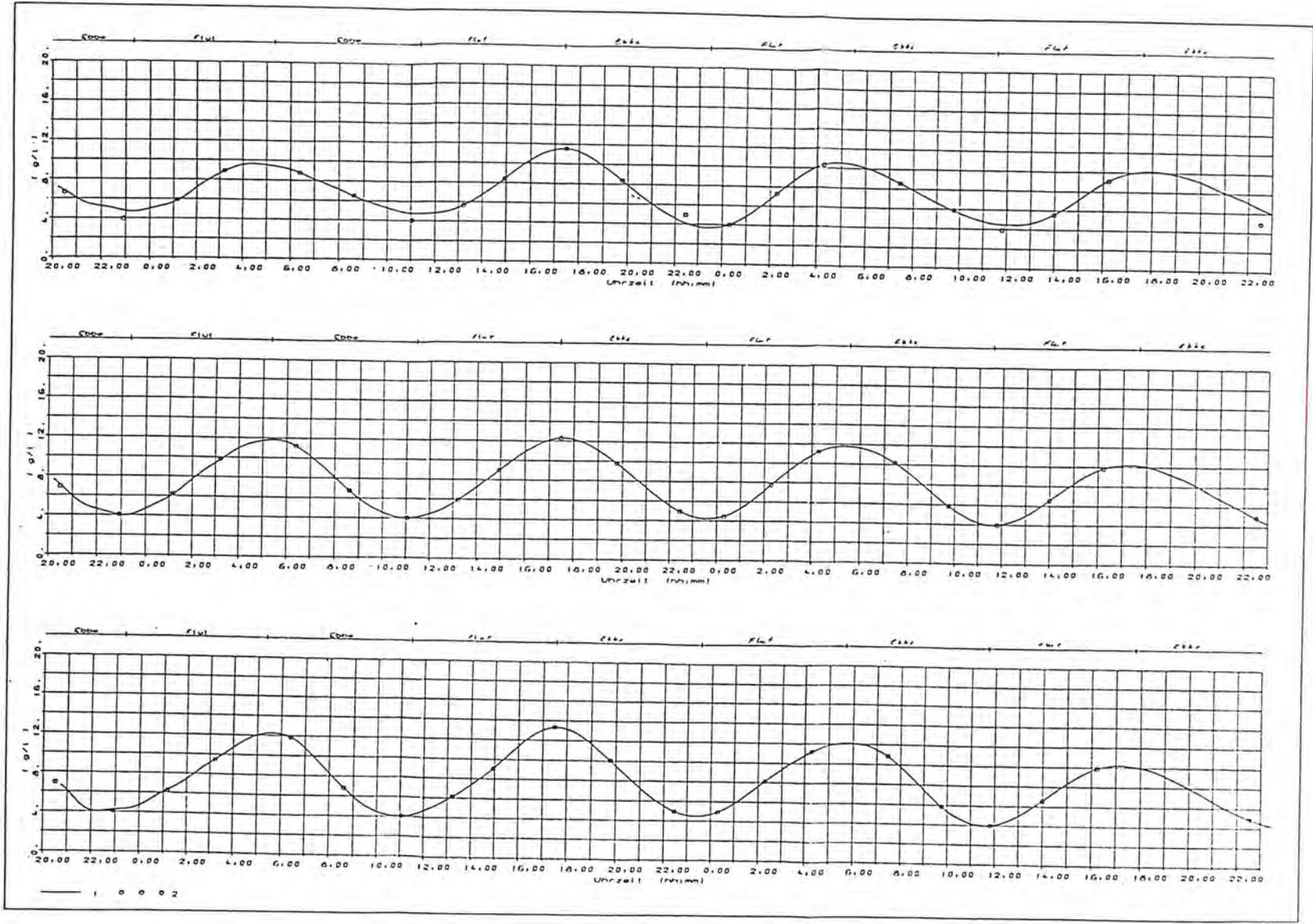


Abb. 4.4 Gemessener und interpolierter Salzgehalt über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2m, (b) NN-6m und NN-10m an der Station M1

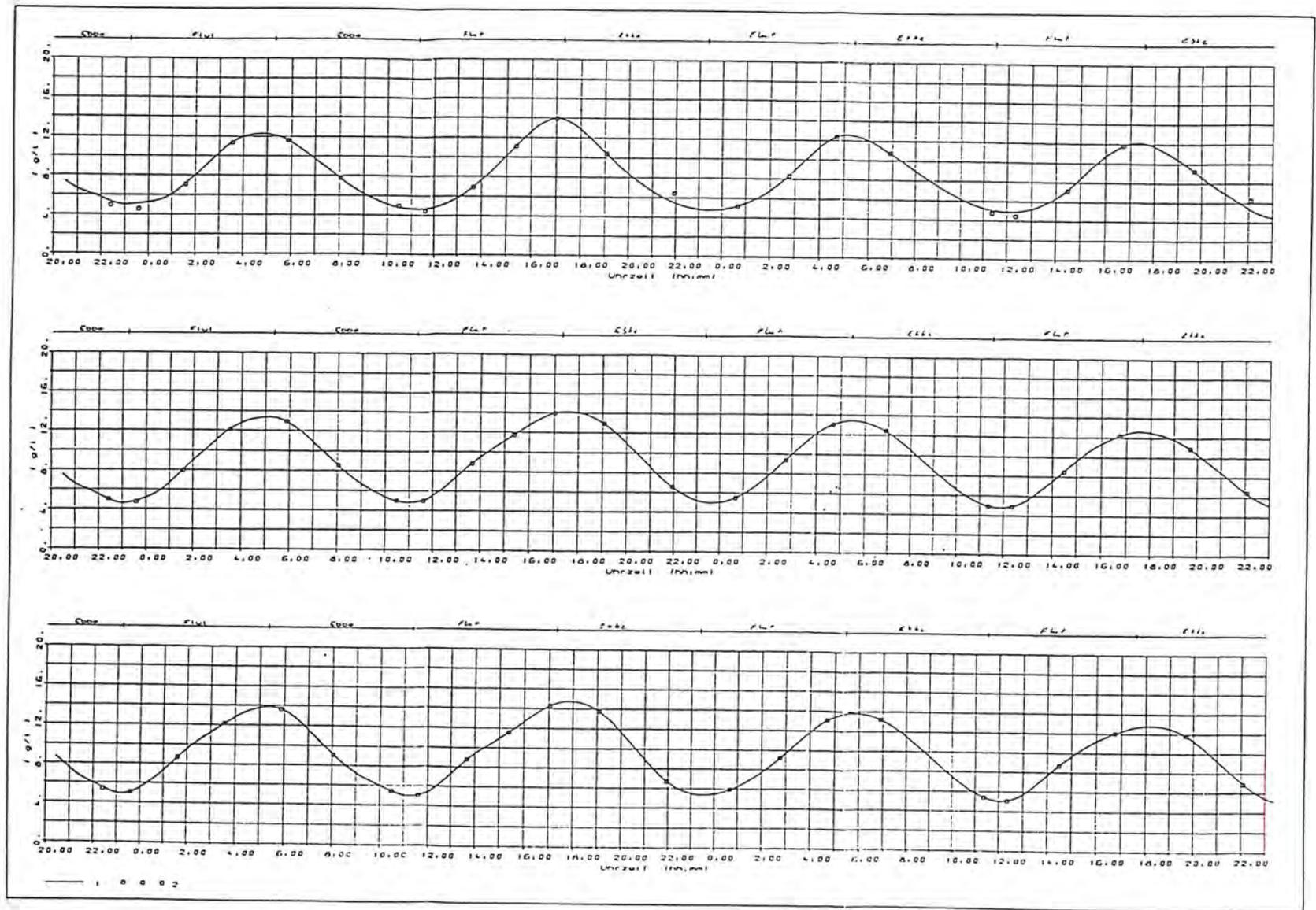


Abb. 4.4 Gemessener und interpolierter Salzgehalt über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2m, (b) NN-6m und NN-10m an der Station G1

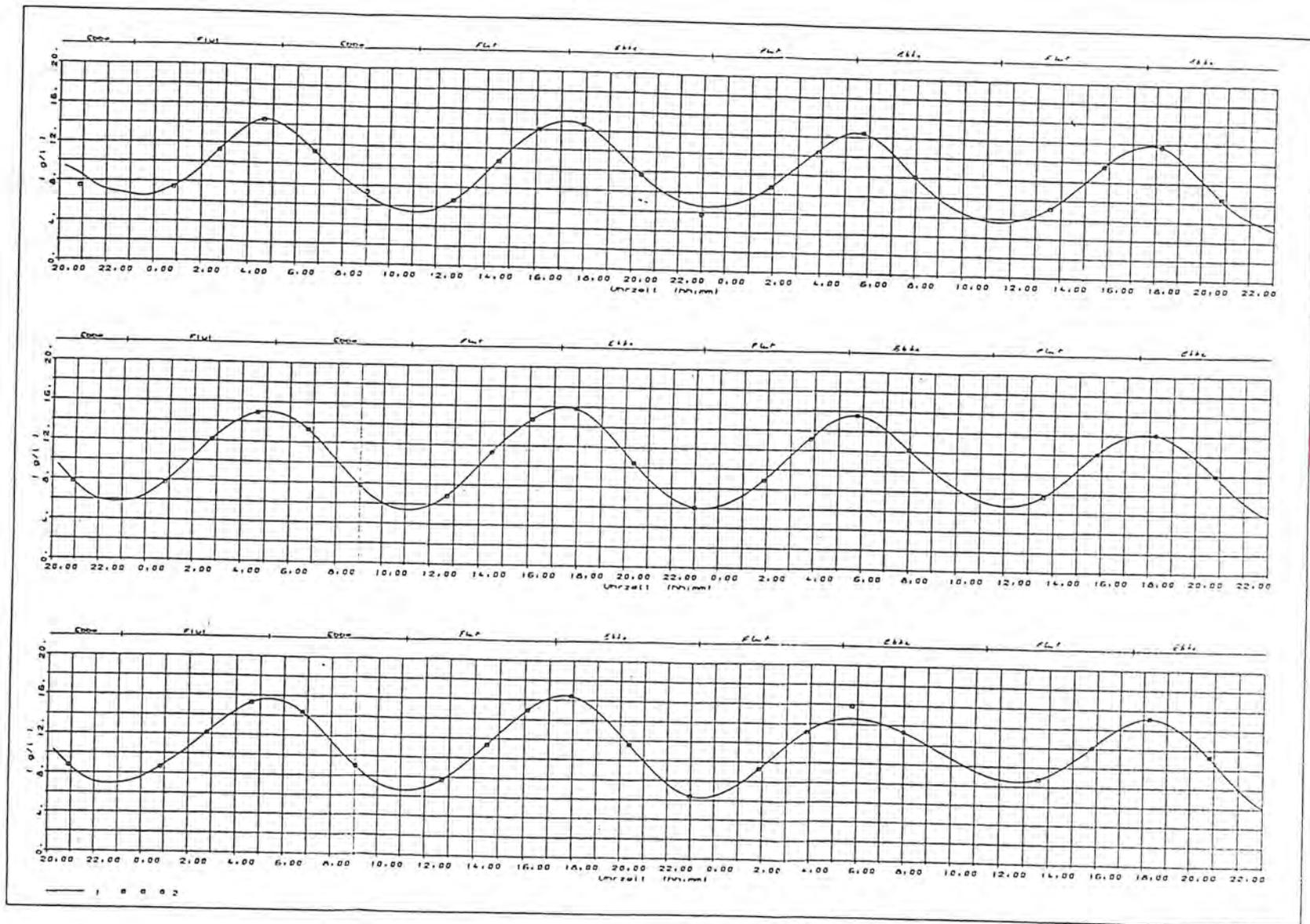


Abb. 4.6

Gemessener und interpolierter Salzgehalt über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.0m, (b) NN-6.0m und NN-10.0m an der Station M6

zu 2 h, so daß die Kenterpunkte in den seltensten Fällen getroffen wurden. Dieses wirkt sich in der Interpolation dahin aus, daß die Extremwerte nicht berücksichtigt werden. D.h. bei Flutkenterung werden zu geringe und bei Ebbekenterung zu hohe Salzkonzentrationen durch die Interpolation berechnet werden. Dieser Effekt ist in den Abb. 4.4 bis 4.6 zu erkennen. Werden die Meßpunkte der 4 dargestellten Tiden auf die Tidephase bezogen (hier Ebbekenterung) und in einem Bild dargestellt, sieht man, daß die Extremwerte annäherd gleich sind (Abb. 4.7 - 4.9). Die Extremwerte des Salzgehaltes sind in erster Näherung abhängig vom Oberwasser und des Tidehubes. Da sich diese beiden Parameter in dem betrachteten Zeitraum nur unwesentlich geändert haben, ist eine große Änderung der Extremwerte nicht zu erwarten.

In der Darstellung der Werte bei NN-2. m ist für Meßzeitpunkte, bei denen die Tiefe von NN-2. m teilweise nicht erfaßt wurden (Ebbekenterung) die Tiefe der ersten Messung angegeben. Man sieht, daß durch die nicht Berücksichtigung dieser Informationen die Salzgehalte falsch interpoliert werden.

Bei dem Einsatz dieser interpolierten Werte in dem numerischen Modell sind folgende Schwierigkeiten zu beachten:

- Die physikalisch nicht zulässige instabile Schichtung durch die Interpolation

- Die in den Extremwerten nicht zueinander passenden Randbedingungen.

Gerade der letzte Punkt ist bei der Simulation dieses kurzen Untersuchungsgebietes von großem Einfluß. Die instabile Schichtung an den Randbedingungen ist durch eine Korrektur der Salzgehaltsverläufe ausgebessert worden.

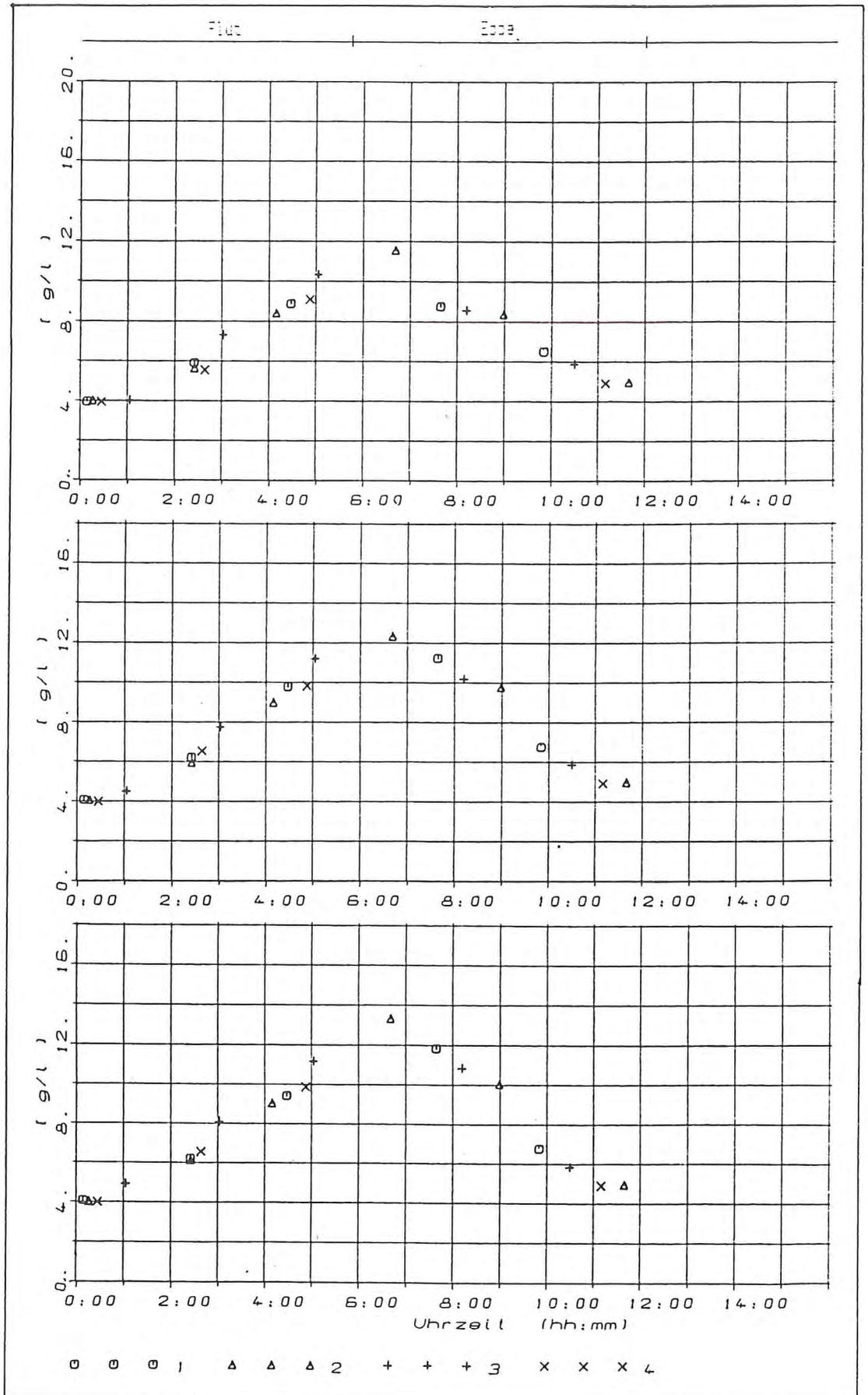


Abb. 4.7

Der an der Station M1 gemessene Salzgehalt für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen

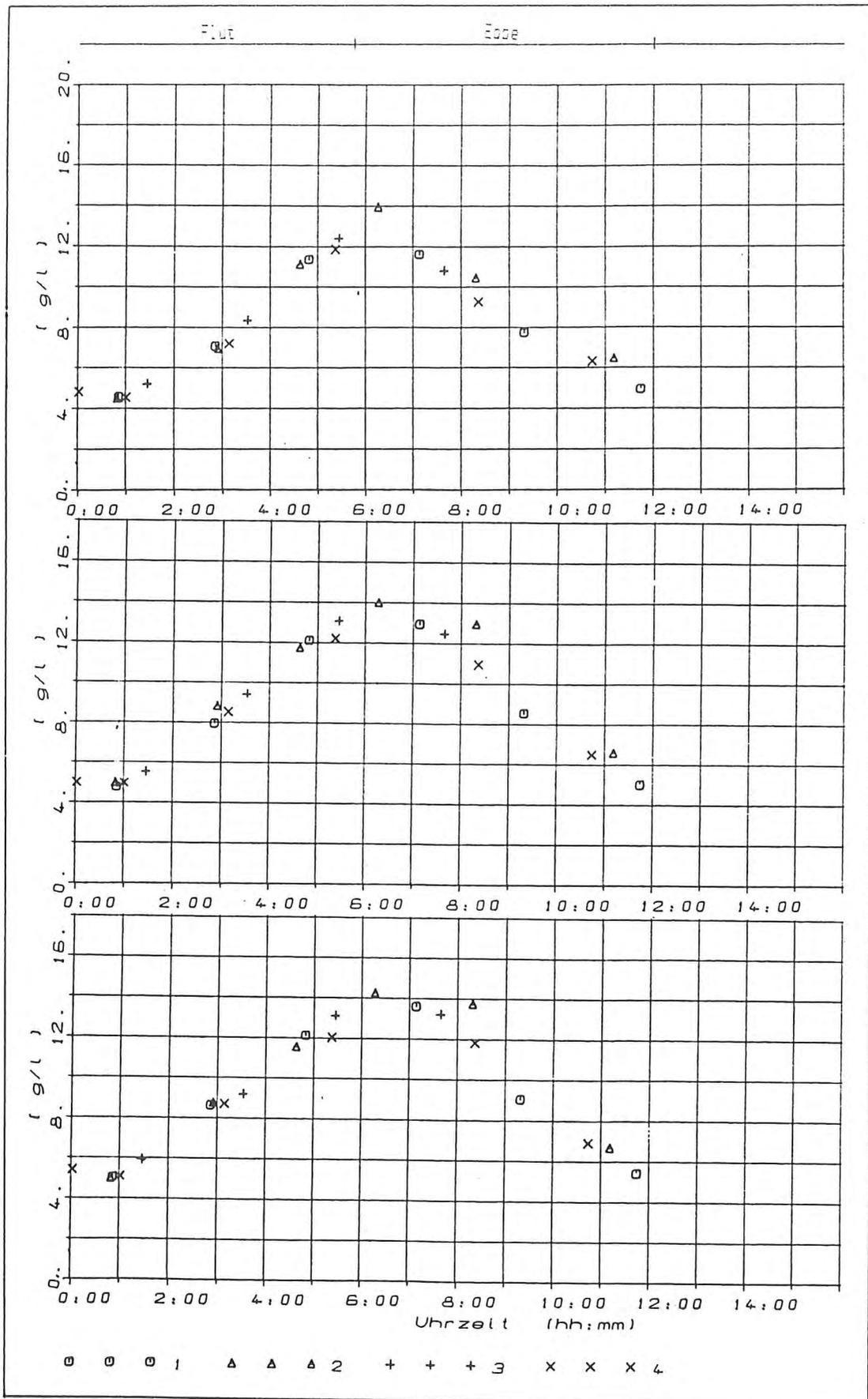


Abb. 4.8

Der an der Station G1 gemessene Salzgehalt für die Tiefen NN-2.m. NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen

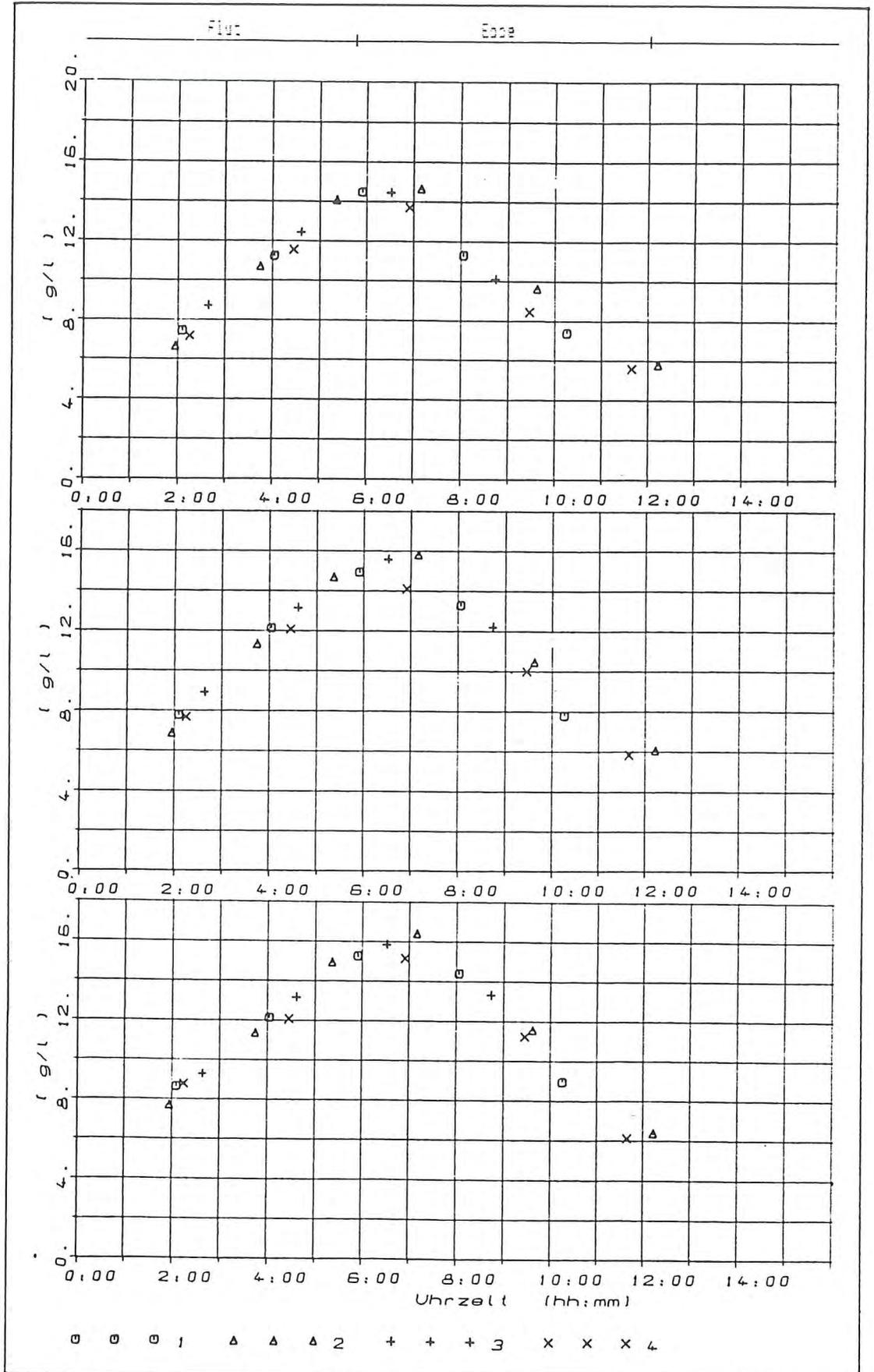


Abb. 4.9

Der an der Station M6 gemessene Salz-
gehalt für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m
und NN-10.m auf die Tidephase bezogen

4.4. Messung der Attenuation

Da keinerlei Information über den Zusammenhang zwischen den gemessenen Attenuationswerten und der Konzentration des suspendierten Materials vorhanden waren, wird davon ausgegangen, daß sich beide nur durch einen konstanten Faktor (normalerweise ≈ 2.5) unterscheiden. Es wird somit im Modell direkt mit den Attenuationswerten gerechnet.

Die für die Messung der Attenuation eingesetzte Meßanordnung hatte eine so große Meßstrecke, daß nur Attenuationswerte bis $172. \text{ m}^{-1}$ aufgezeichnet werden konnten. Aber gerade in Bodennähe werden diese Werte bei weitem überschritten. Dieses belegt die Abb. 4.10, in der die gemessenen Attenuationswerte an der Position M6 mit denen der Station 5 der Dauermessungen gegenübergestellt sind.

Der in der Abb. 4.10 durch die Dauermessung gegebene Verlauf der Attenuation zeigt sehr steile Gradienten, welche gerade zu Ebbekenterung zu einem starken Einbruch in der Attenuation führt. Dieser Verlauf ist durch eine Abtastrate von 2 h, wie sie hier bei den Messungen vom Schiff aus vorhanden war, nicht zu reproduzieren. Die Abb. 4.11 zeigt, welchen Verlauf die Attenuationswerte bei einer linearen Interpolation von im Abstand von 2 h gemessenen Werten von dem zufällig gewählten Anfangszeitpunkt der Messung haben. Die Kappung der Werte bei $172. \text{ m}^{-1}$ ist nicht mit berücksichtigt. Deutlich ist die große Variationsbreite zu erkennen.

Die Abb. 4.12 bis 4.14 zeigen den zeitlichen Verlauf der Attenuation in den Tiefen von NN-2., NN-6. und NN-10. m an den Stationen M1, G1 und M6. In diesen Darstellungen sind die vorher diskutierten Einflüsse deutlich zu erkennen.

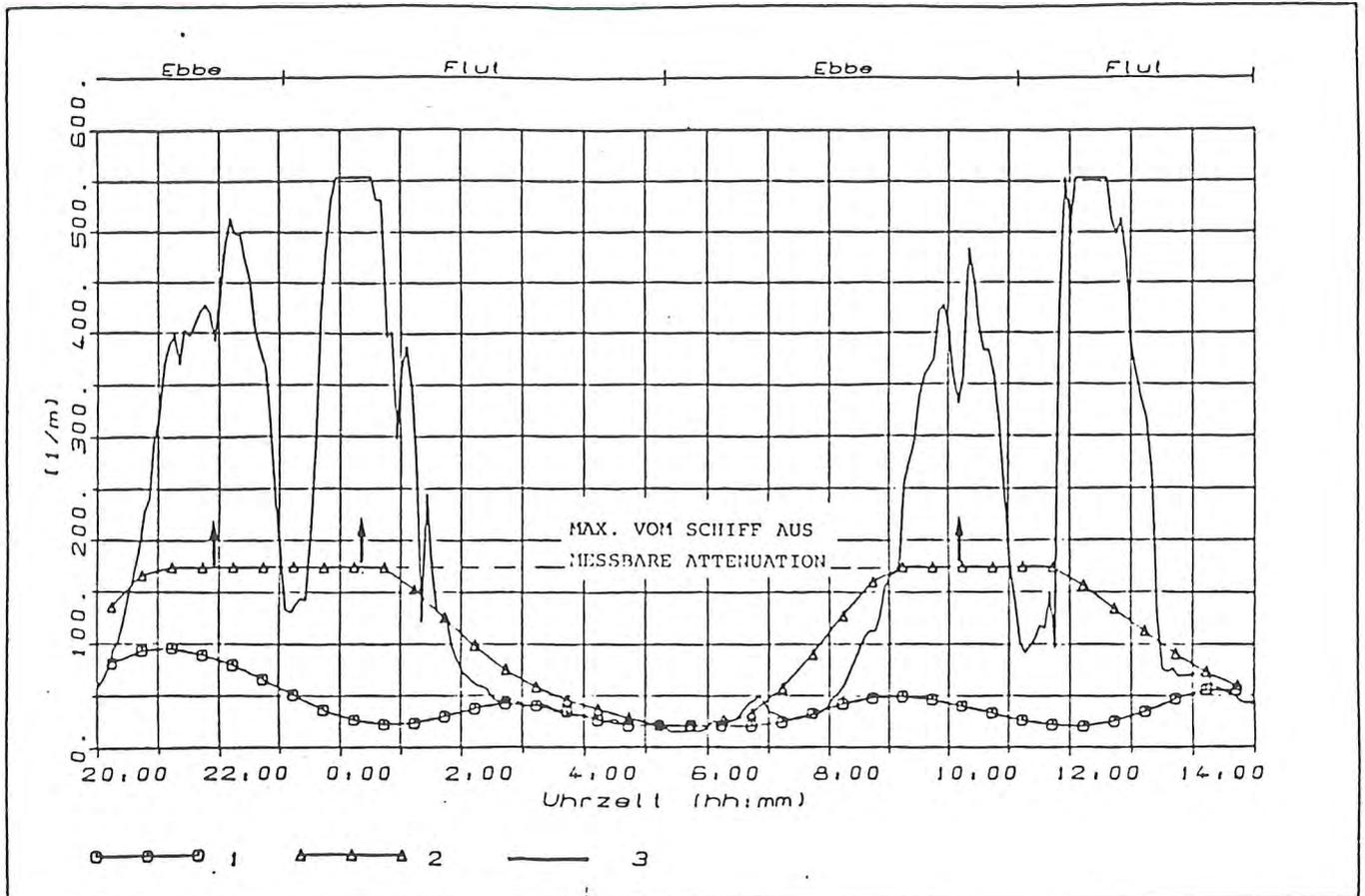


Abb. 4.10

Vergleich der bei Position M6 gemessenen Attenuationswerte mit den Dauer-messungen bei Station 5

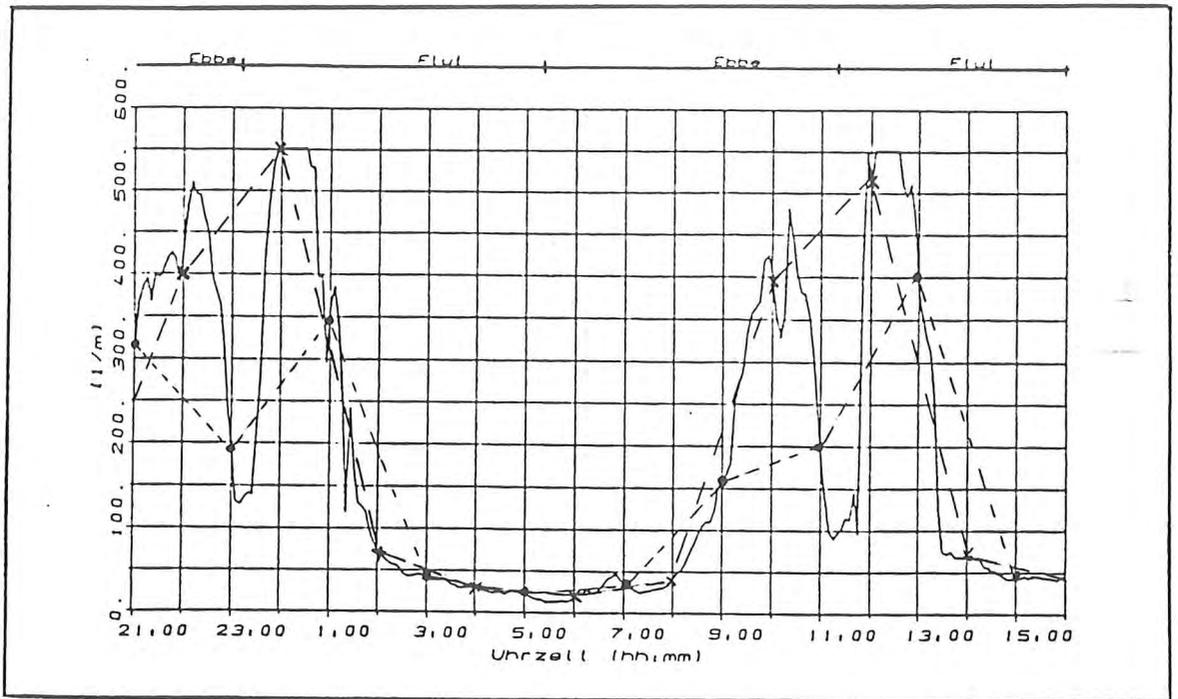


Abb. 4.11

Abhängigkeit der interpolierten Attenuation bei einer Abtastrate von 2h in Abhängigkeit des Anfangspunktes

Die in den Tiefen unterhalb von NN-10. m durch die Kappung zu geringen Werten der Attenuation und der durch die zufällige Wahl des Meßzeitpunktes stark beeinflusste Verlauf der Attenuationswerte führt zu Problemen der Interpretation der Kausalitäten des Schlicktransportes und in noch stärkerem Maße der durch das numerische Modell berechneten Ergebnisse. Die Abb. 4.15 bis 4.17 zeigen die auf die Tidephase bezogenen Messungen der 4 Tiden. Hier bei den Attenuationskoeffizienten ist kein eindeutiger Verlauf über die Tide zu erkennen. Somit ist es nicht möglich den Verlauf der Attenuationwerte durch die Anschauung zu koorigieren, wie es z.B. beim Salzgehalt möglich war.

Die Abb. 4.15 bis 4.17 belegen aber auch, daß der Verlauf der Attenuation sehr schwierig zu beschreiben ist, da trotz der sich nur unwesentlich geänderten Tidebedingungen, wie der Salzgehalt zeigt, die Attenuationswerte doch in einem weiten Bereich streuen.

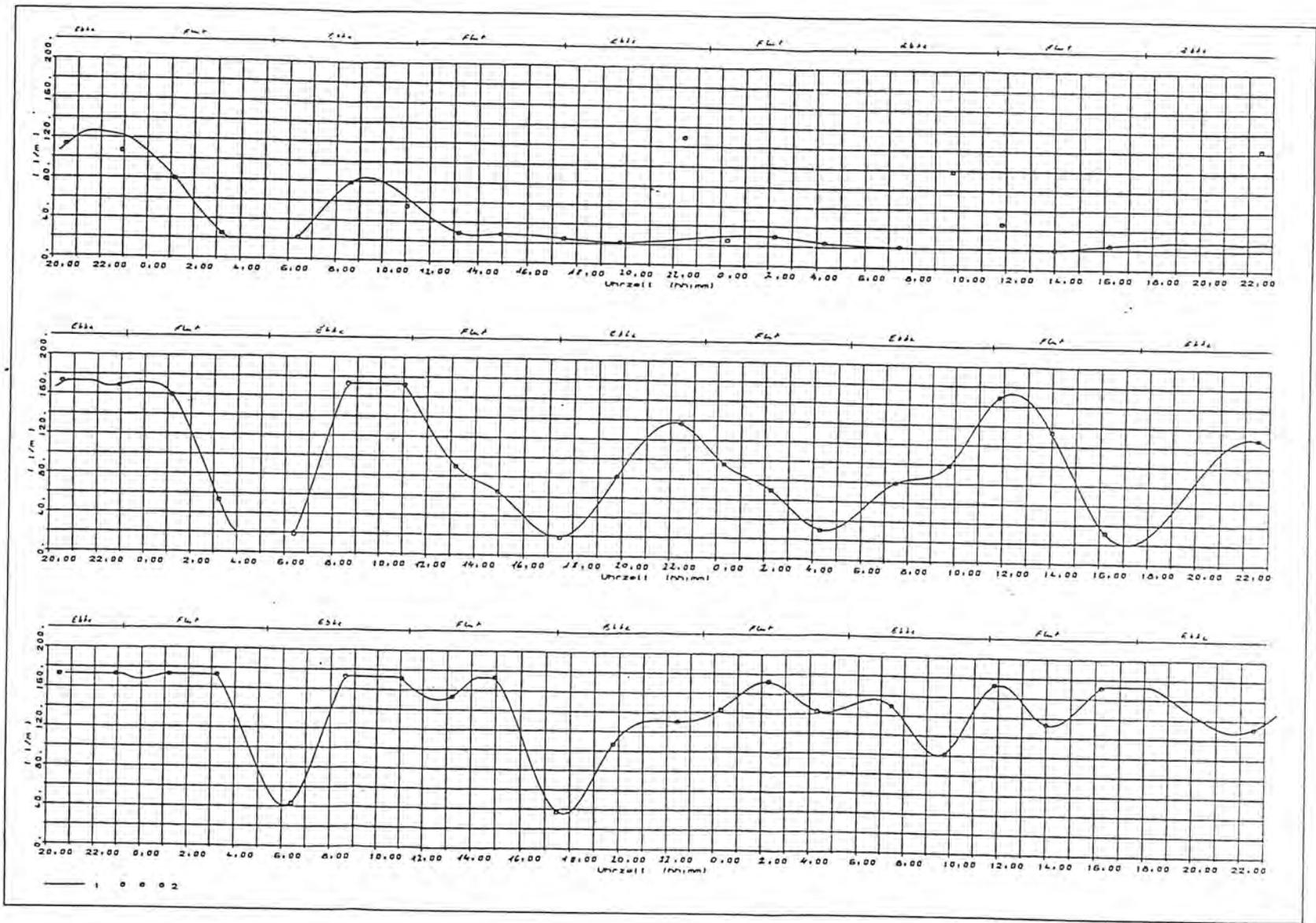


Abb. 4.12 Gemessene und interpolierte Attenuation über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station M1

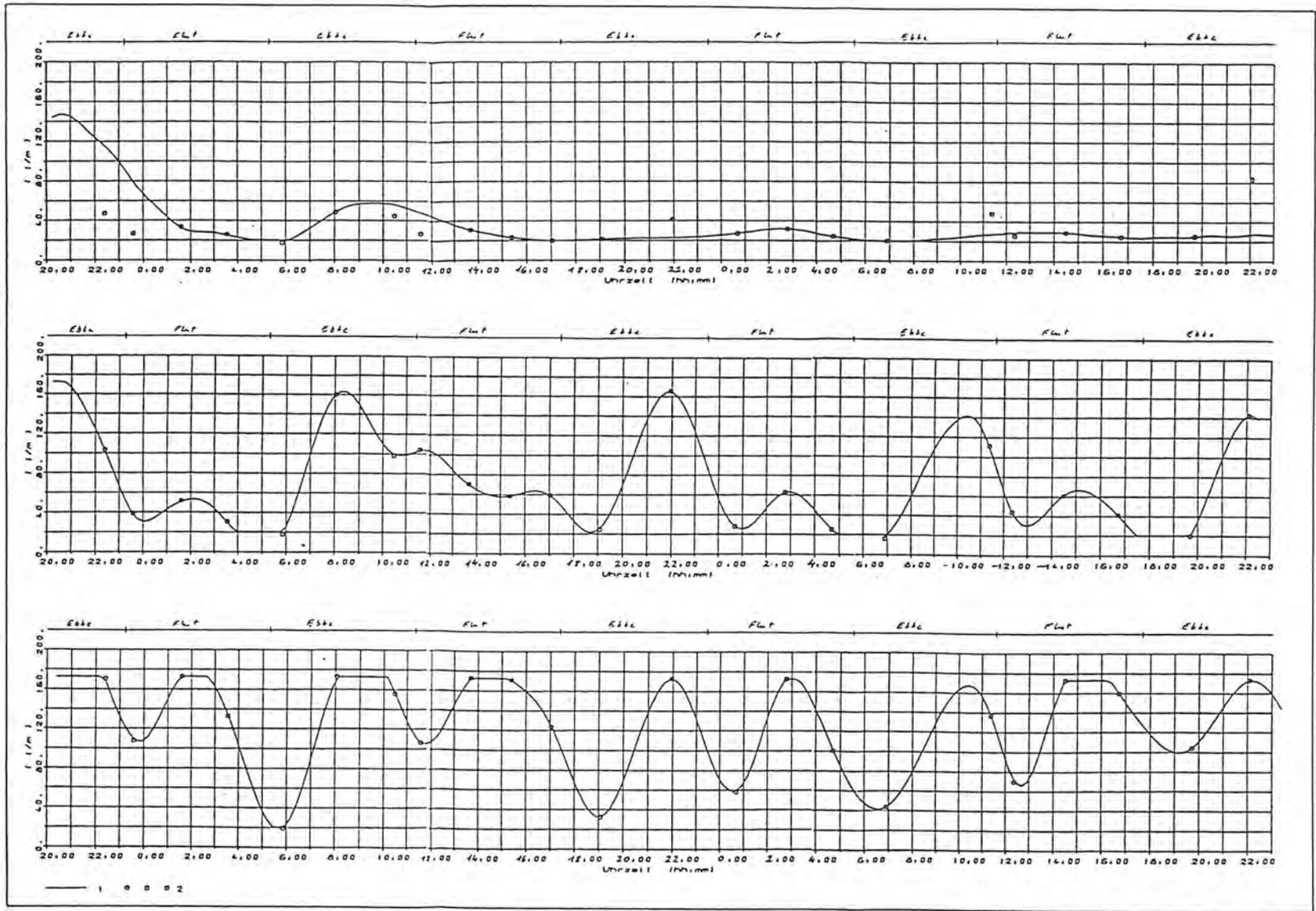


Abb. 4.13 Gemessene und interpolierte Attenuation über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station G1

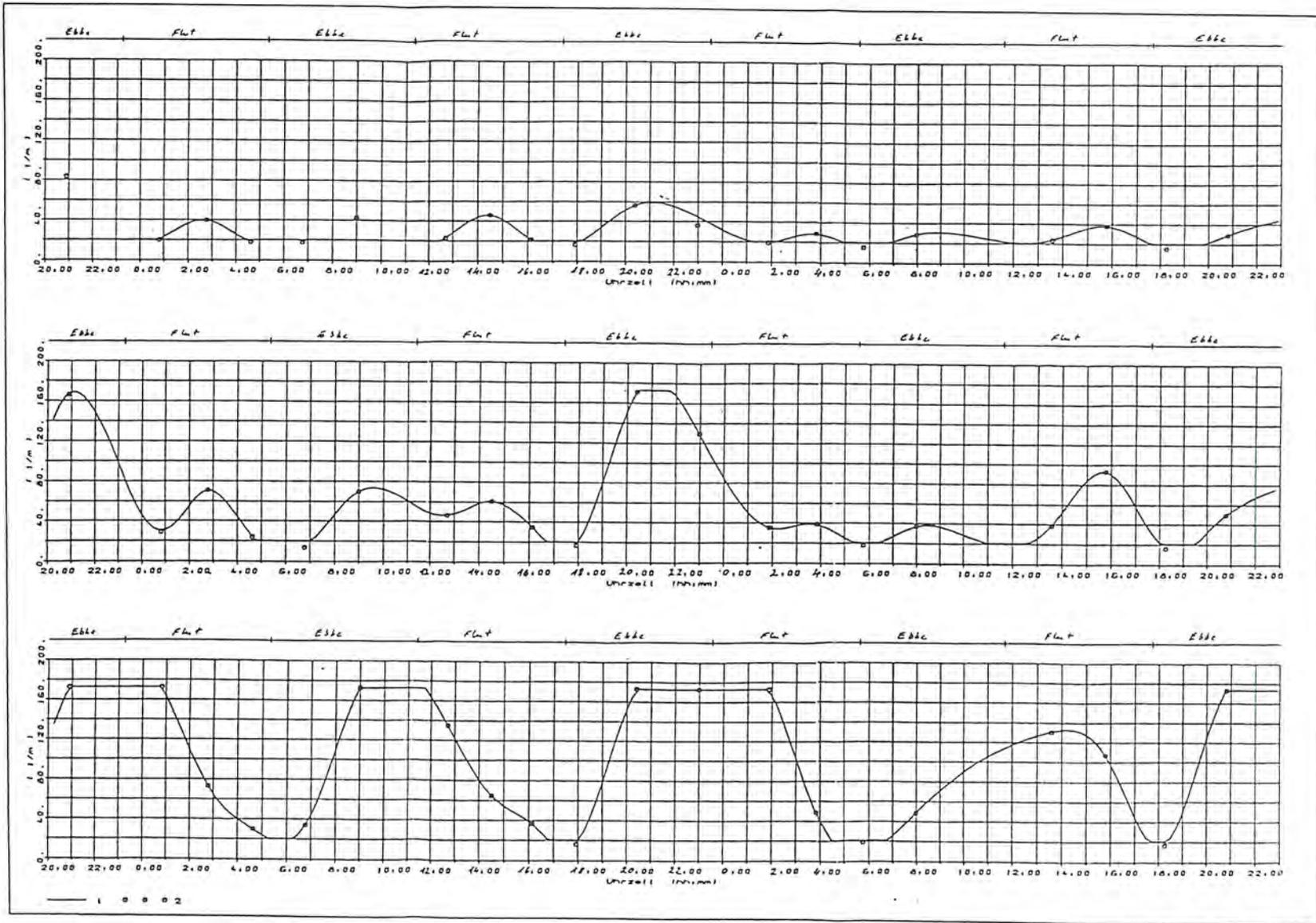


Abb. 4.14 Gemessene und interpolierte Attenuation über 4 Tiden in den Tiefen (a) NN-2.m, (b) NN-6.m und NN-10.m an der Station M6

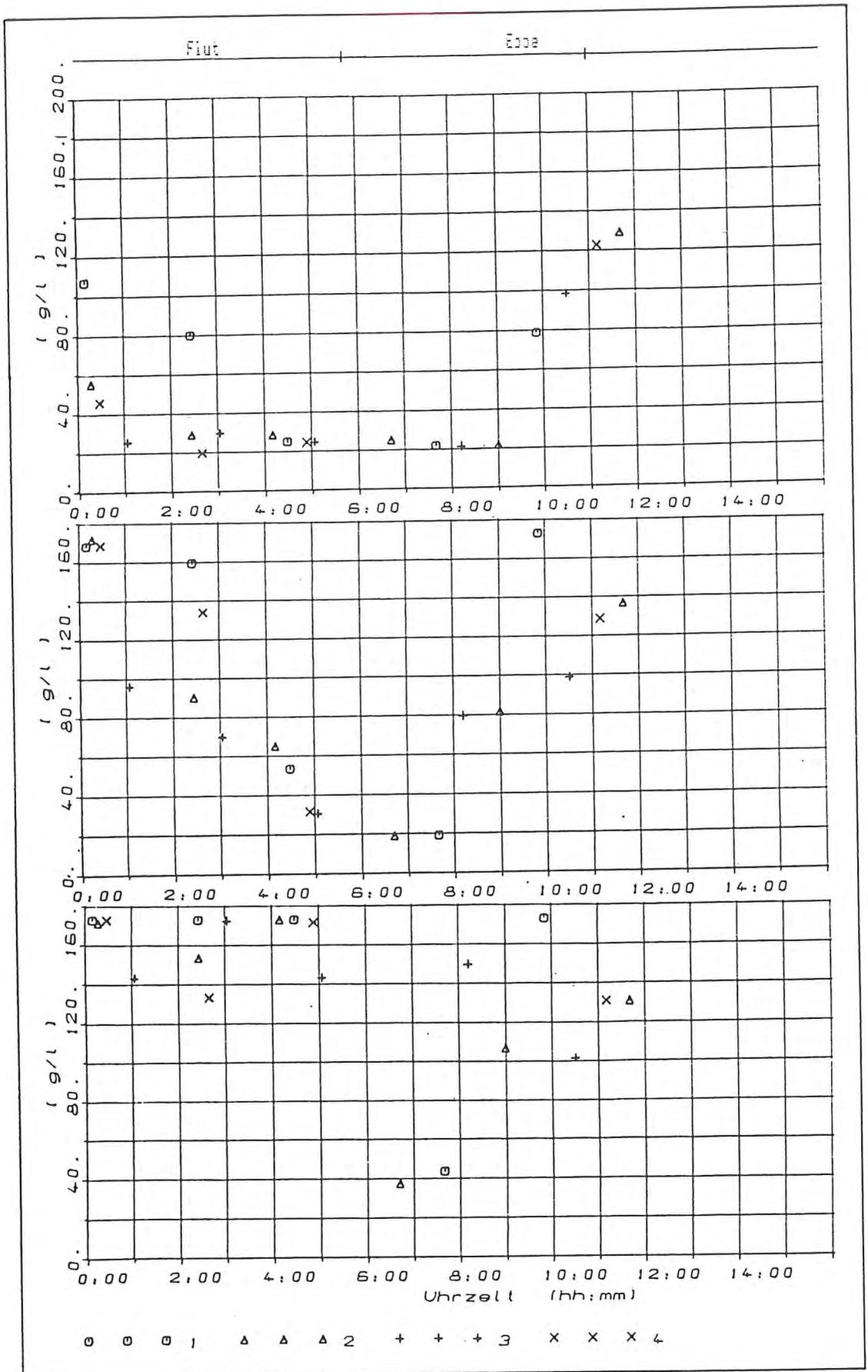


Abb. 4.15 Die an der Station M1 gemessene Attenuation für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen

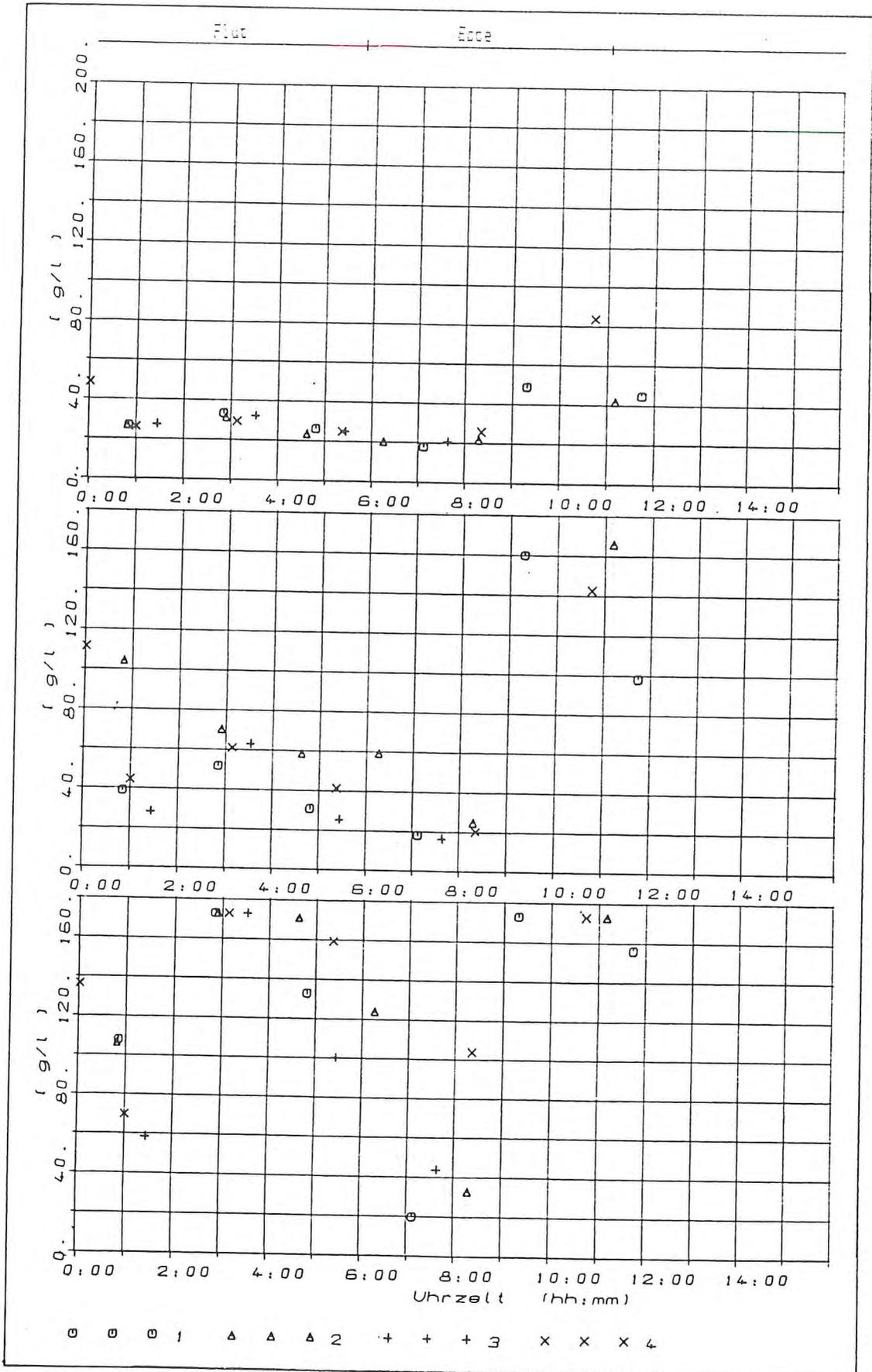


Abb. 4.16

Die an der Station G1 gemessene Attenuation für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen

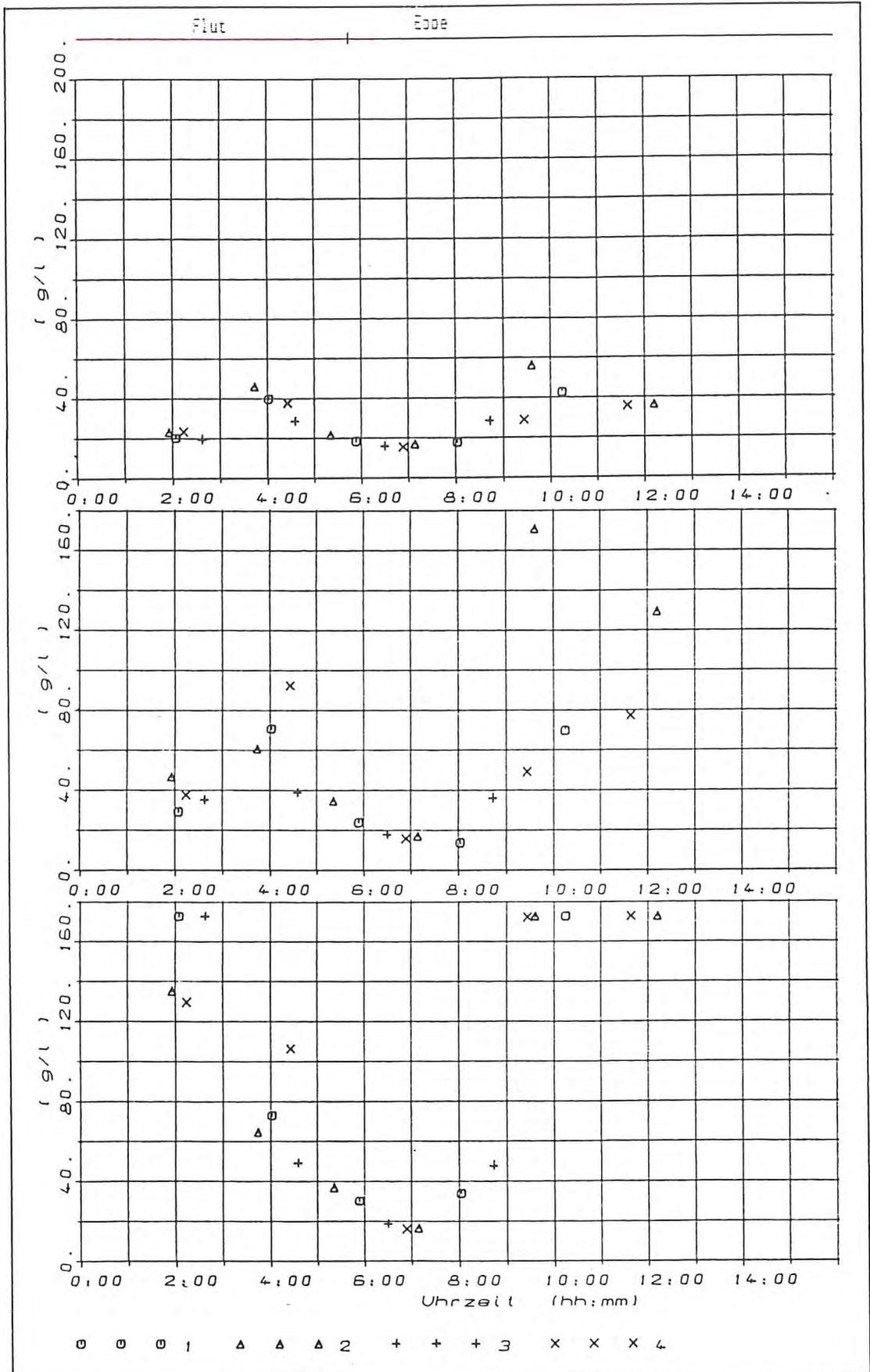


Abb. 4.17

Die an der Station M6 gemessene Attenuation für die Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m auf die Tidephase bezogen

5. Auswertung der Daten

5.1. Die Auswertung der MASEX-Arbeitsgruppe

Die Abb. 5.1 und 5.2 zeigen die Auswertung der Daten für Salzgehalt und Attenuation der MASEX-Arbeitsgruppe. Diese wurde von FANGER et. all. (1984) veröffentlicht.

Es werden die Isolinien in dem Untersuchungsgebiet für Salzgehalt und Attenuation für bestimmte Zeitpunkte dargestellt. Die Werte wurden durch eine Mittelwertbildung über 4 Tiden der interpolierten Werte erhalten.

Die Eindringung des Salzkeiles in das Gebiet mit der Flut und seine Rückwanderung mit der Ebbe ist zu erkennen.

Betrachtet man die Attenuation, so sieht man, daß mit der Flut das klare Wasser der Nordsee in das Gebiet transportiert wird. Eine Erhöhung der Attenuationswerte zeigt sich nur bei Einsetzen der Flut dicht am Boden. Hier wird durch die vorhandene Geschwindigkeit Material vom Boden erodiert.

Mit der Ebbe scheint trübes Wasser mit dem Oberwasser in das Gebiet transportiert zu werden. Auch ist eine Erosion innerhalb des Gebietes anzunehmen, da die Ebbgeschwindigkeiten in der gleichen Größenordnung liegen wie die Flutgeschwindigkeiten. Auch sind die Erhöhungen am seeseitigen Rand nicht allein aus dem advektiven Transport zu erklären, da sonst auch in den oberen Schichten schon das Material um mindestens die gleiche Strecke transportiert sein würde. Am Ende der Ebbe ist eine starke Sedimentation in der Mitte des Gebietes zu beobachten.

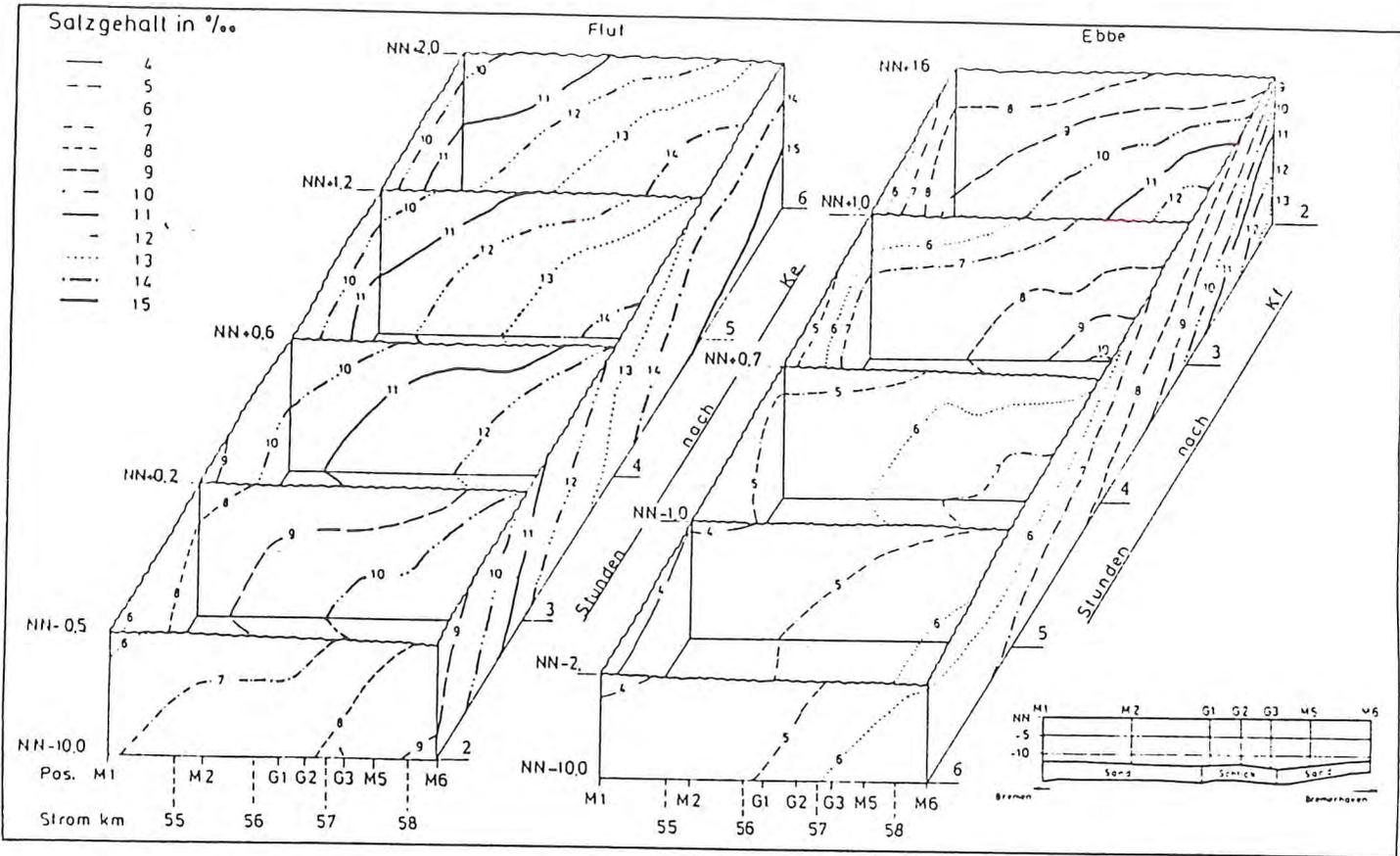


Abb. 5.1 Mittlerer Salzgehaltsverlauf während MASEX '83

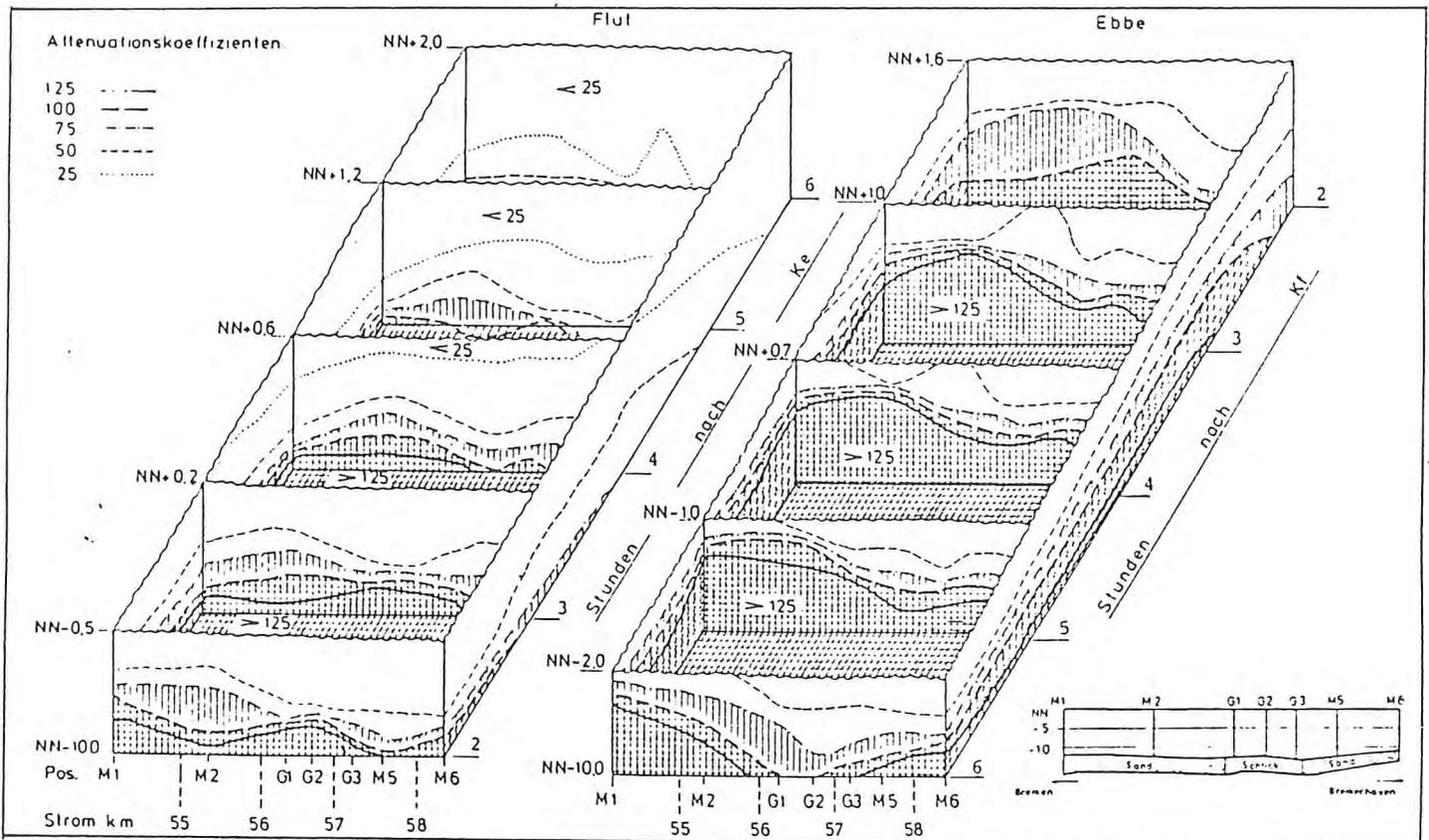


Abb. 5.2 Mittlerer Trübungsverlauf während MASEX '83

5.2 Auswertung mit dem numerischen Modell

Wie in den vorherigen Absätzen beschrieben, ist das Datenmaterial sehr lückenhaft und unzureichend für eine Simulation mit dem numerischen Modell. Außerdem ist das Gebiet mit 4.45 km Länge sehr kurz für eine Modellrechnung, da die Ränder sich gegenseitig beeinflussen. Daher wurde beschlossen nur die Fahrwasserrinne zu simulieren. Damit ergibt sich für das numerische Modell ein Gitternetz mit 26 Elementen je 178. m in Längsrichtung (alle 200. m breit) und bis maximal 14 Elemente mit 1.0 m Höhe über die Tiefe (s. Abb. 5.3).

Für die Simulation ist es nicht möglich, die über die 4 Tiden gemittelten Datenwerte zu benutzen, da hier die Randbedingungen durch den Mittelungsprozeß noch mehr in den Extremwerten geglättet werden. Außerdem ist die Bestimmung von "mittleren" Wasserständen zur Berechnung einer "mittleren" Dynamik nicht durchführbar.

Deshalb wurde aus dem vorliegenden Datenmaterial die Tide vom 26. auf den 27. Sept. 1985 als Simulationszeitraum gewählt. Die Abb. 4.12 bis 4.14 zeigen, daß in diesem Zeitraum der Verlauf der Attenuationswerte noch eine den Dauermessungen entsprechende Struktur aufweisen.

Die Abb. im Anhang B zeigen die gesteuerten Randbedingungen für die Wasserstände und für alle Tiefenschritte die für Salzgehalt und Attenuation. In den Tiefen unterhalb von NN-10.m wurden die bei NN-10. m gemessenen Werte übernommen, obwohl sowohl der Salzgehalt als auch die Attenuation mit der Tiefe zunehmen wird.

Als Randbedingungen für den Wasserstand werden bei Station

M6 der gemessene Pegel und an der Station M1 der interpolierte und korrigierte, wie in Abs. 4. beschrieben, genommen.

Als Vergleichspunkt von berechneten und gemessenen Werten wird die Station G1 gewählt, die ungefähr in der Mitte des Gebietes liegt. An den Rändern wird auch ein Vergleich durchgeführt. Während der Flut kann an der Stelle M1 und während der Ebbe an der Stelle M6 die Übereinstimmung kontrolliert werden.

Einen Vergleich von berechnetem und gemessenen Wasserstand innerhalb des Gebietes ist nicht möglich, da diese Information wie schon beschrieben nicht vorliegt.

5.2.1. Berechnete Geschwindigkeiten

Die Abb. 5.4 bis 5.6 zeigen die mit diesen Randbedingungen berechneten Geschwindigkeiten an den beiden Rändern und in der Mitte des Gebietes. In den Abb. ist als Vergleich die an den Positionen 9, 8 und 6 1.m über Grund durch die Dauermeßgeräte erfaßten Geschwindigkeiten eingezeichnet.

Wie in Abs. 4.2 schon beschrieben, wird die relativ gute Übereinstimmung in den Kenterpunkten nur durch eine Korrektur des oberwasserseitigen Wasserstandes erreicht. Eine Information über die Verteilung der Geschwindigkeit über die Tiefe war an keiner Station vorhanden. So ist diese Verteilung nur über den Transport des Salzgehaltes zu bestimmen. Als erstes wird durch den Reibungsbeiwert die Transportgeschwindigkeit in Bodennähe festgelegt. Danach wird durch den vertikalen turbulenten Austauschbeiwert die Geschwindigkeitsverteilung über die Tiefe festgelegt.

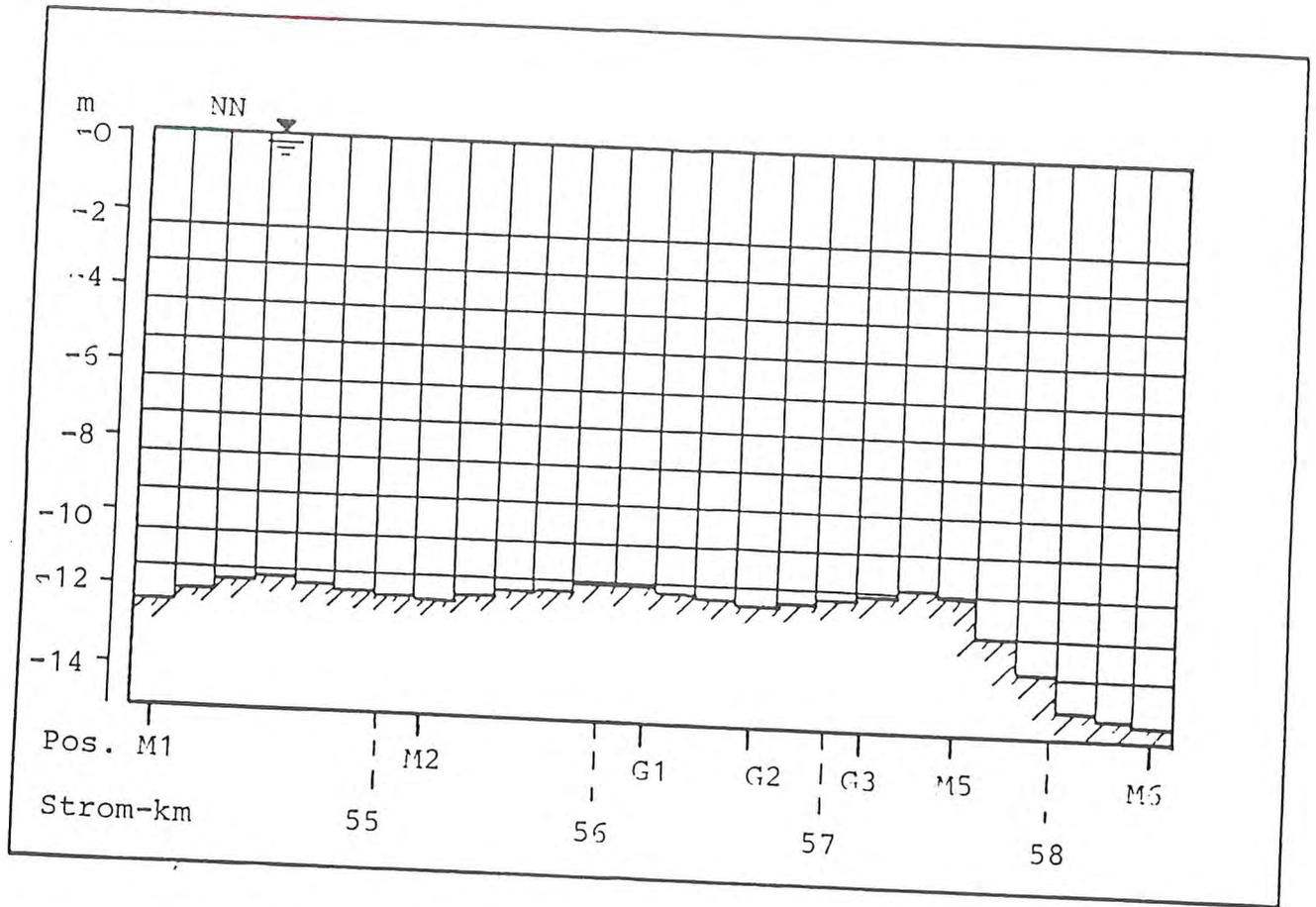


Abb. 5.3

Modellgeometrie des Untersuchungs-
gebietes von MASEX '83

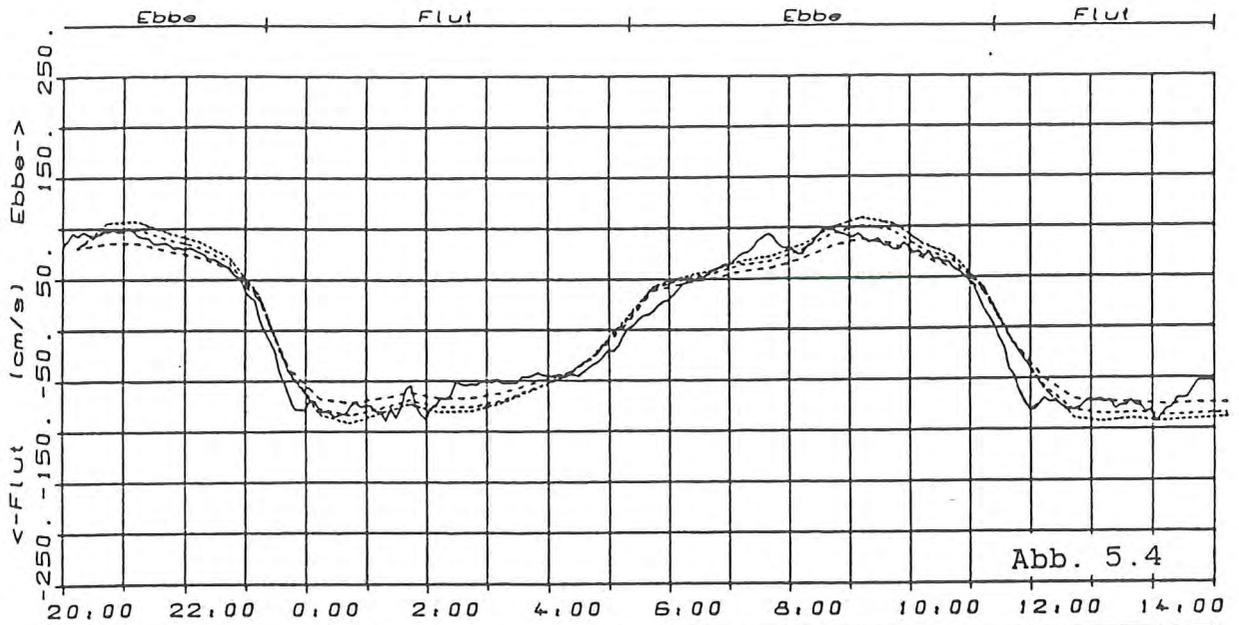


Abb. 5.4

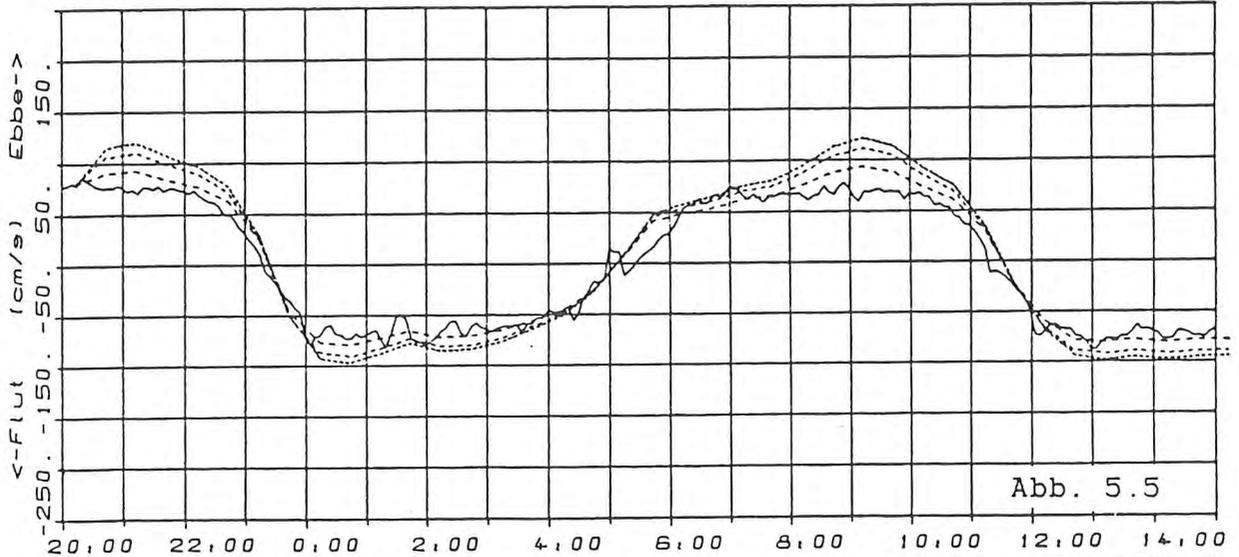


Abb. 5.5

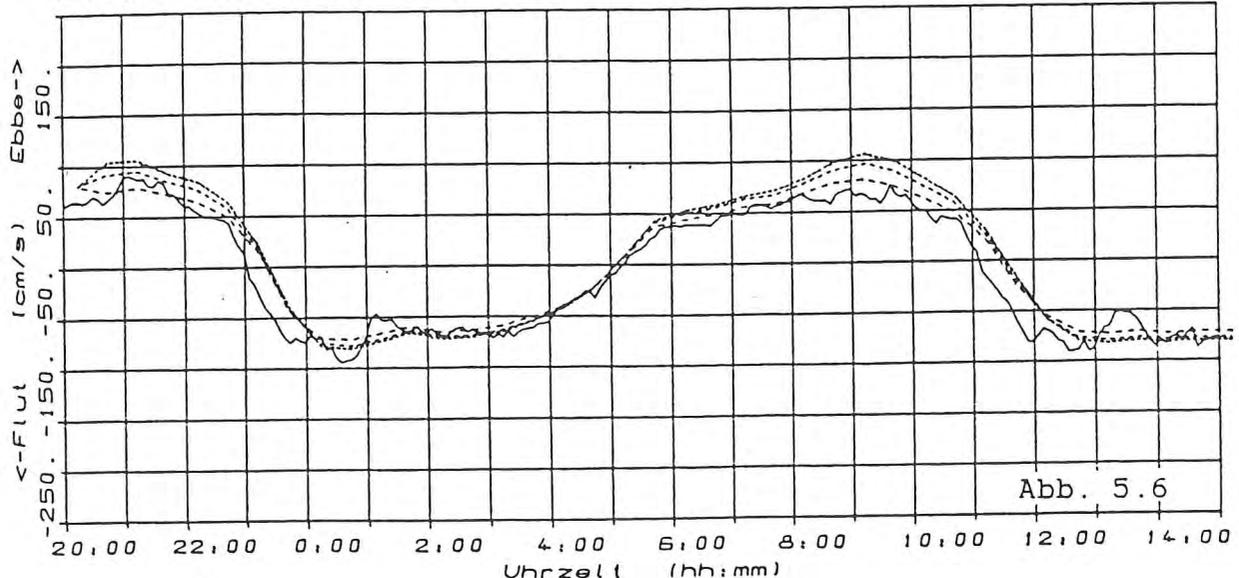


Abb. 5.6

----- 1 - - - - - 2 - . - . - 3 ——— 4

Abb. 5.4-5.6 Berechnete Geschwindigkeiten an den Stationen M1, G1 und M6 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m im Vergleich mit den an den Positionen 9,8 und 6 1.m über Grund gemessenen

Als Ergebnisse von zahlreichen Rechenläufen ergibt sich:

TAYLOR'scher Reibungsbeiwert $k = 0.004$

turbulente Viskosität $A_z = 0.050 \text{ m}^2/\text{s}$.

Die horizontale turbulente Viskosität ist bei realen Bedingungen um Größenordnungen kleiner als die vertikale. Da keine weiteren Informationen vorlagen, wurde der horizontale Anteil $A_z = 0$. gesetzt.

5.2.2. Berechneter Verlauf des Salzgehaltes

Zur Berechnung des Salztransportes sind außerdem die turbulenten Dispersionsbeiwerte zu bestimmen. Auch hier wurde der horizontale Anteil $= 0$. gesetzt. Für den vertikalen turbulenten Dispersionskoeffizienten wird um den vorhandenen starken Gradienten aufrecht zu erhalten ein möglichst kleiner, aber realistischer Wert gewählt. Es ergibt sich:

turbulente Dispersion $K_z = 0.005 \text{ m}^2/\text{s}$.

Die Abb. 5.7 bis 5.9 zeigen die Ergebnisse an den Stationen M1, G1 und M6 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m. Die gute Übereinstimmung in den Tiefen NN-6.m und NN-10.m zeigt, daß mit dem korrigierten Wasserstand und den gefundenen Parametern die vertikale Verteilung der Transportgeschwindigkeit gut reproduziert wird. Die relativ großen Abweichungen in der obersten Schicht bei NN-2.m ist auf die Beschreibung der Oberfläche durch das Modell (s. Abs. 2.3) zurückzuführen, die für eine so detaillierte Auflösung unzureichend ist.

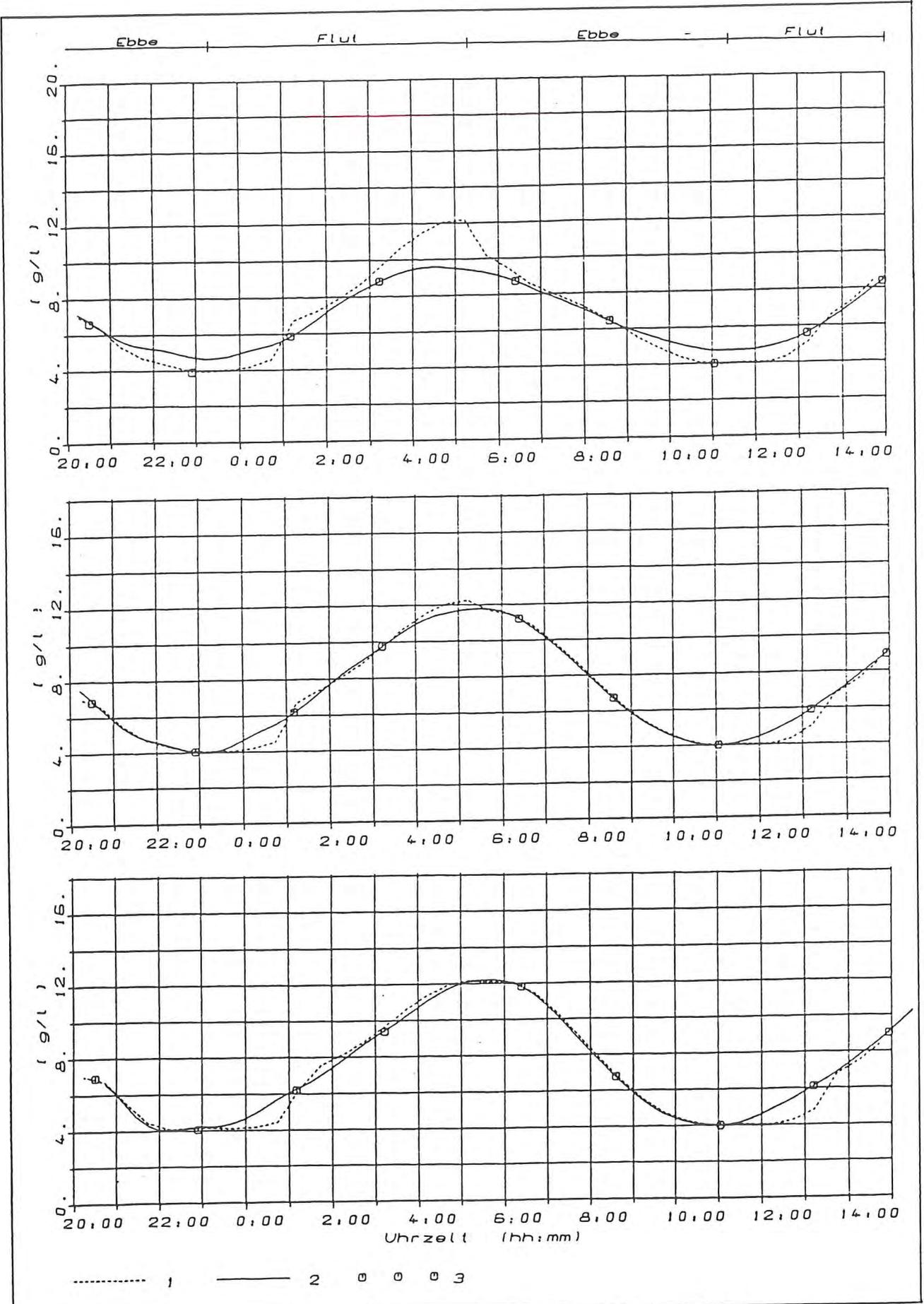


Abb. 5.7

Vergleich des berechneten mit dem gemessenen, bzw. interpolierten Salzgehaltes an der Station M1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m

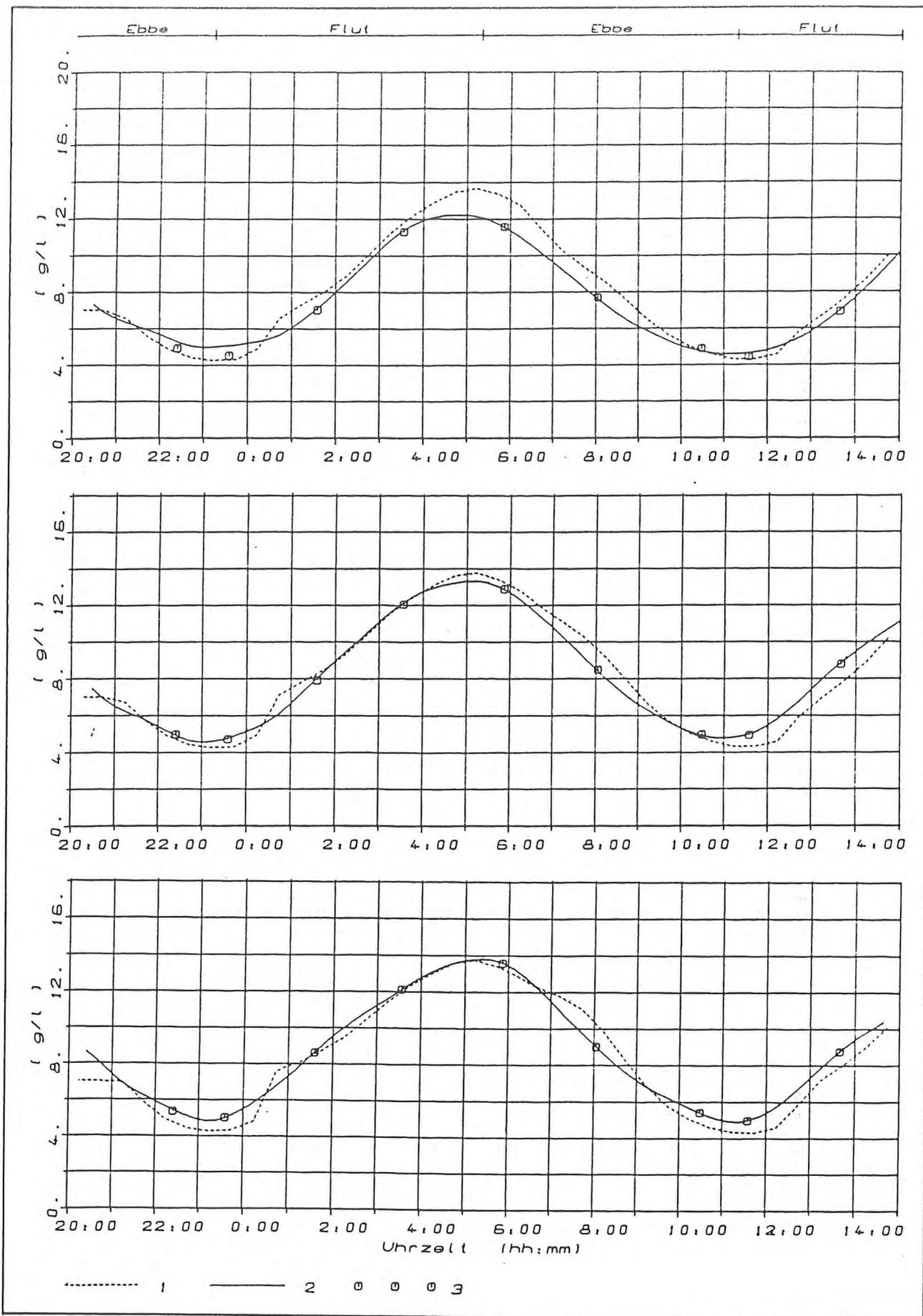


Abb. 5.8

Vergleich des berechneten mit dem gemessenen, bzw. interpolierten Salzgehaltes an der Station G1 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m

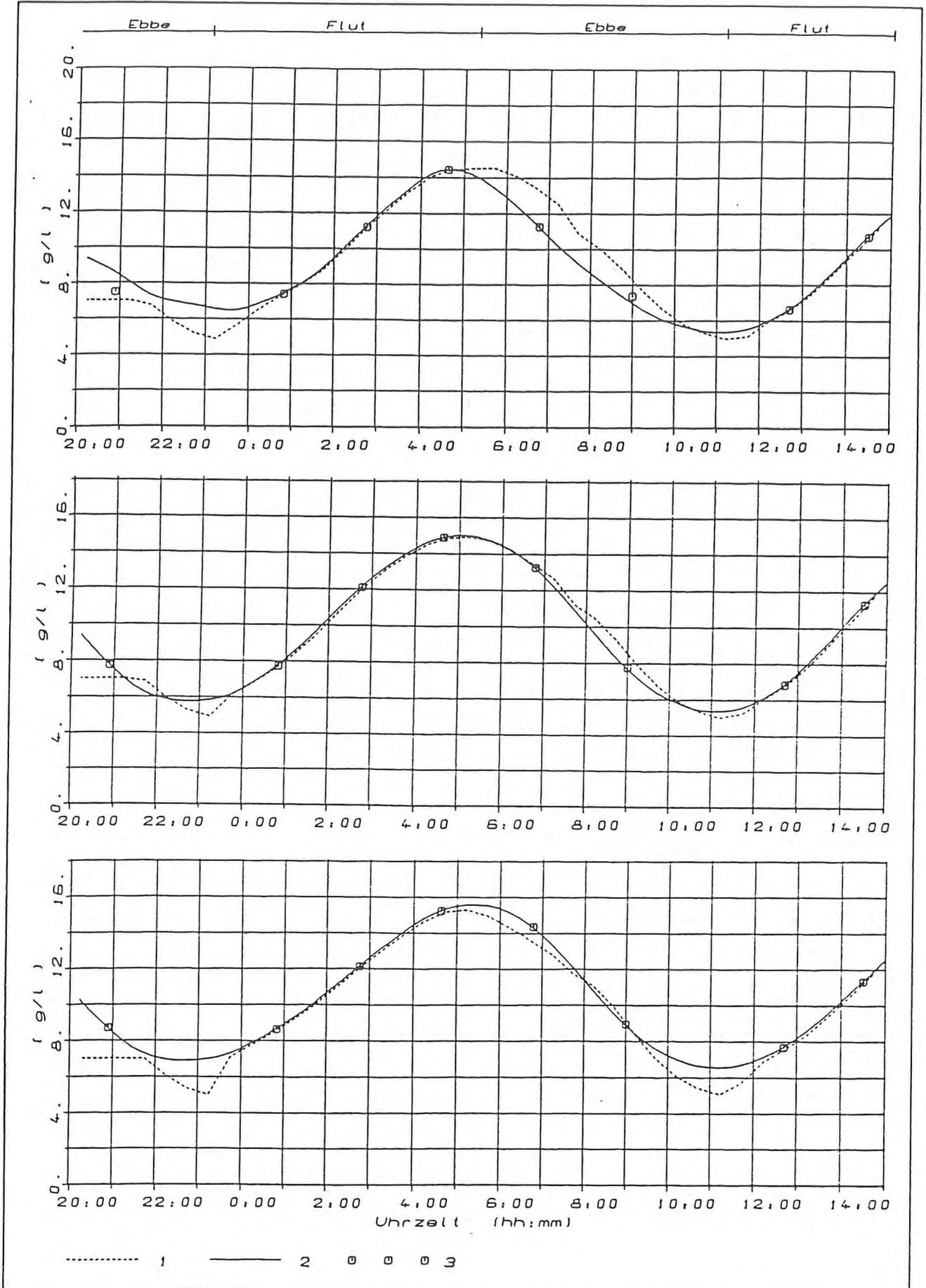


Abb. 5.9

Vergleich des berechneten mit dem gemessenen, bzw. interpolierten Salzgehaltes an der Station M6 in den Tiefen NN-2.m, NN-6.m und NN-10.m

5.2.3. Berechnung der Attenuation

Die Eichung der Dynamik ist über den Salzgehaltstransport erfolgt, so daß der advective und dispersive Transport von schwerelosen Teilchen richtig beschrieben wird. Für die Berechnung des Transportes von Schwebstoffteilchen sind aber noch die Parameter, die die Sinkbewegung und am Boden die Sedimentation und Erosion beschreiben zu bestimmen. Diese sind nach dem gewählten Ansatz von PARATHENIADES (s. Abs. 2.2.) die Sinkgeschwindigkeit w_s , die kritische Spannung für die Sedimentation τ_{SCR} und Erosion τ_{ER} und die zugehörigen Faktoren f_{SED} und M .

Die Abb. 5.10 zeigt beispielhaft den Einfluß des Verhältnisses von Sinkgeschwindigkeit zu turbulenter Dispersion w_s/K_z (ohne Erosion und Sedimentation) für die Werte von 1:10, 1:5 und 1:2 auf den Verlauf der Attenuation an der Station G1. Dabei bedeutet eine Erhöhung des w_s/K_z -Wertes eine Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit, da der vertikale turbulente Austauschterm K_z konstant auf den durch den Salztransport gefundenen Wert gehalten wird. Durch weitere Rechenläufe wird ein Verhältnis von $w_s/K_z = 1/2.5$ als optimaler Wert bestimmt.

Die Abb. 5.11 bis 5.13 zeigen die berechneten Attenuationsverläufe, die sich ohne Erosion und Sedimentation einstellen. Da sich hier bei der Attenuation die in den Abs. 4.3 und 4.5 beschriebene Problematik der Meßwerte sehr stark bemerkbar macht, ist es nicht sinnvoll, die berechneten Werte mit den interpolierten zu vergleichen. In den Abb. sind daher den berechneten Werten, die Meßwerte in den Tiefen von $\pm 0.5m$ gegenüber der betrachteten eingezeichnet.

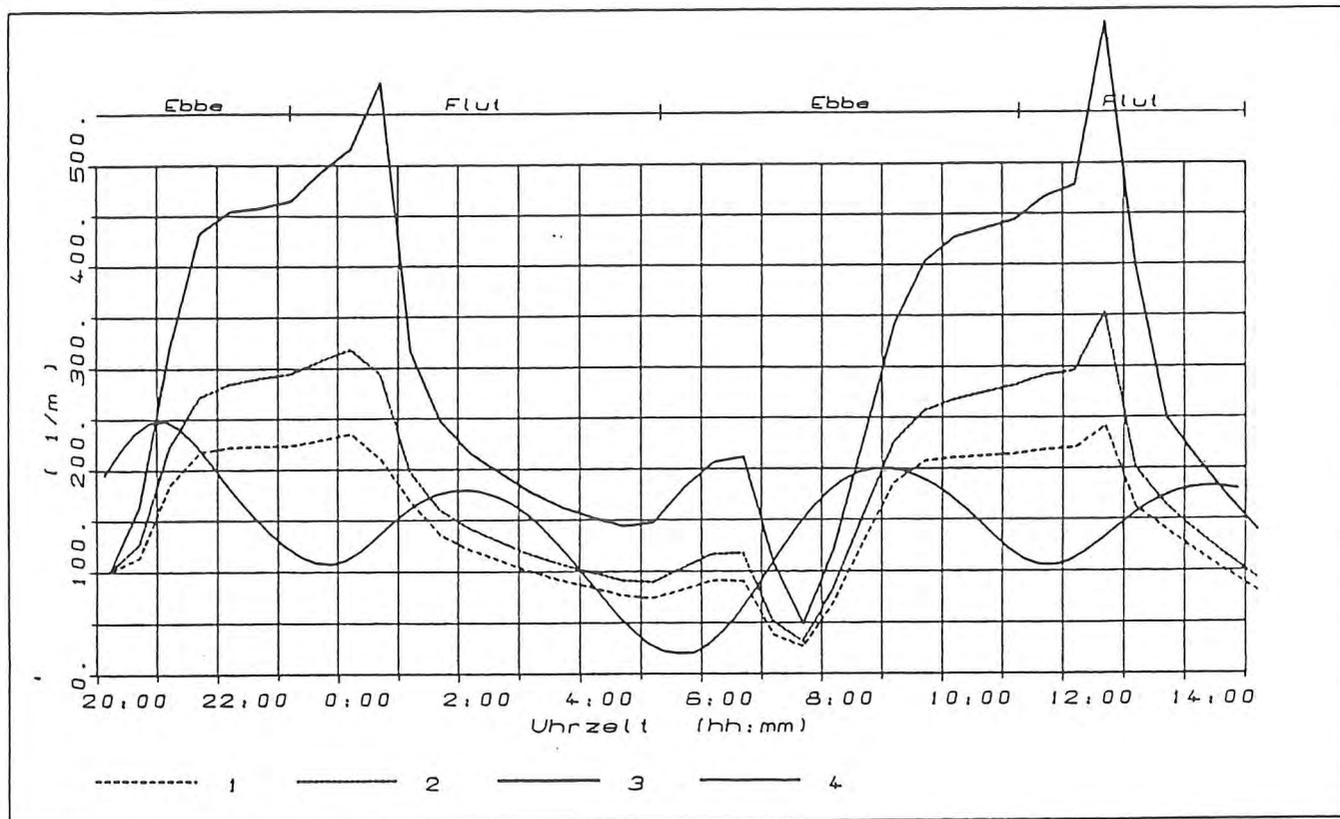


Abb. 5.10

Berechnete Attenuationen an der Station G1 für verschiedene w_{Es}/K_z - Werte:

(1) $w_{Es}/K_z = 1:2$ (2) $w_{Es}/K_z = 1:5$

(1) $w_{Es}/K_z = 1:2$

(ohne Erosion und Sedimentation)

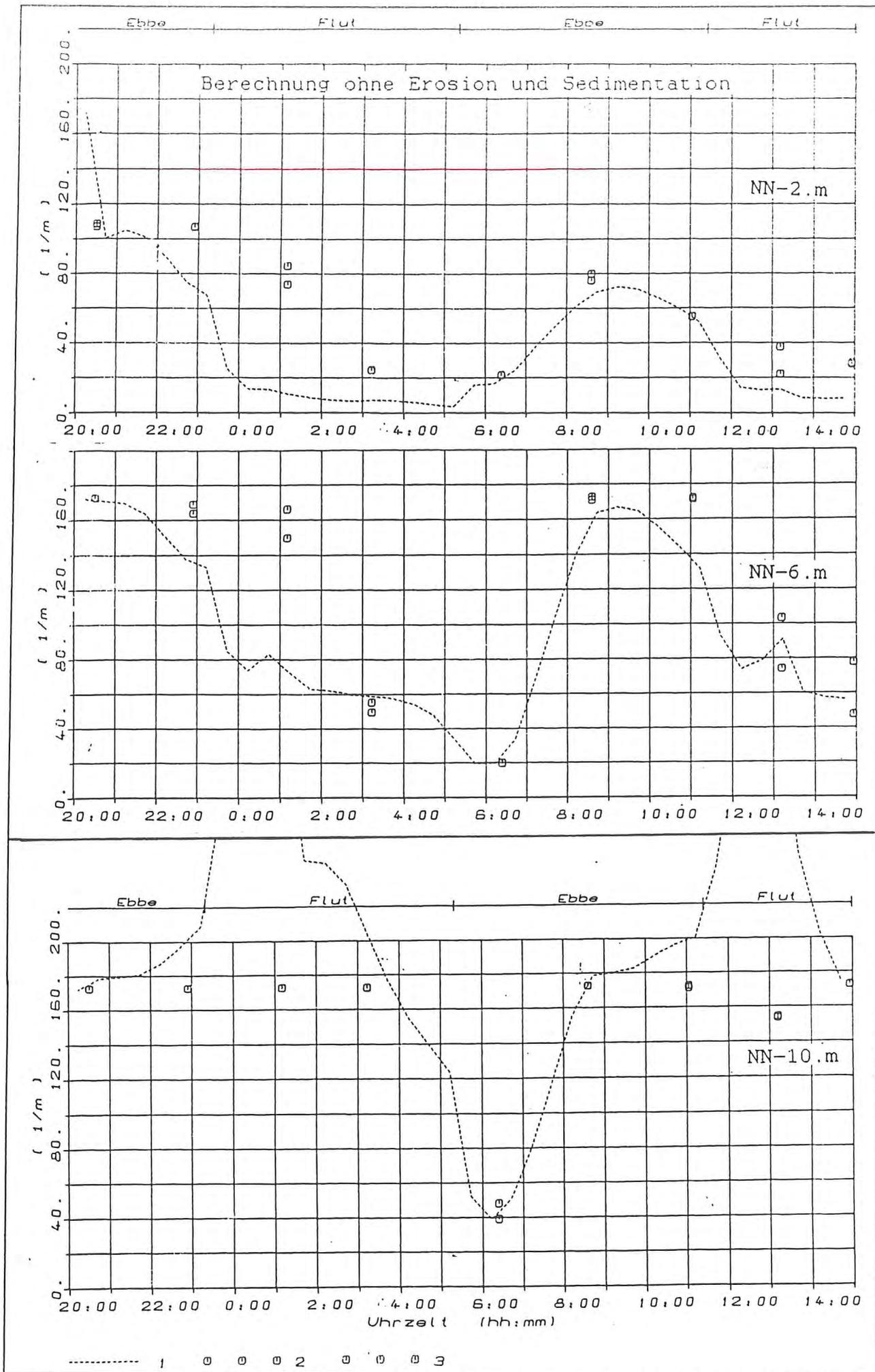


Abb. 5.11

Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M1

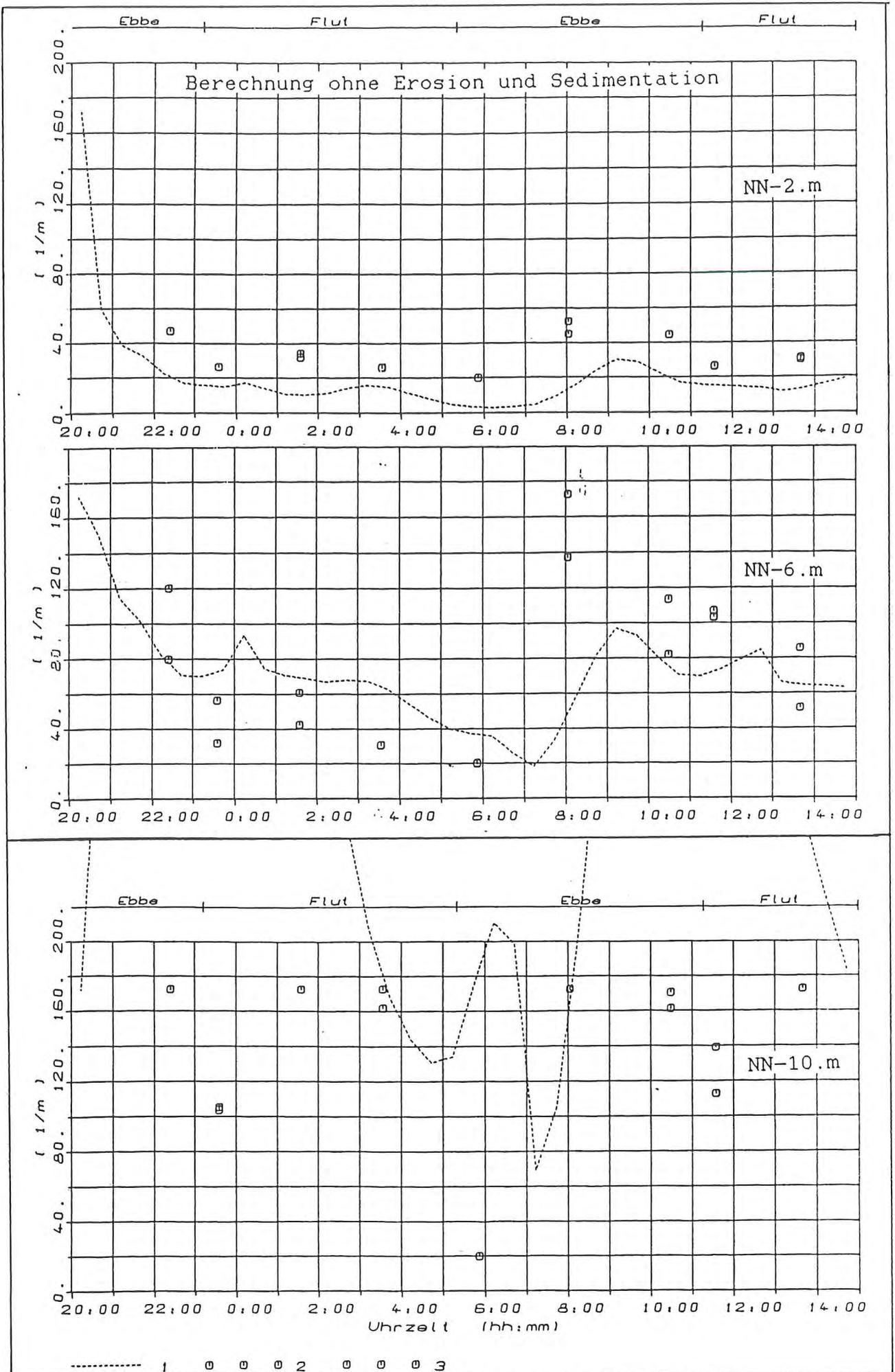


Abb. 5.12

Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station G1

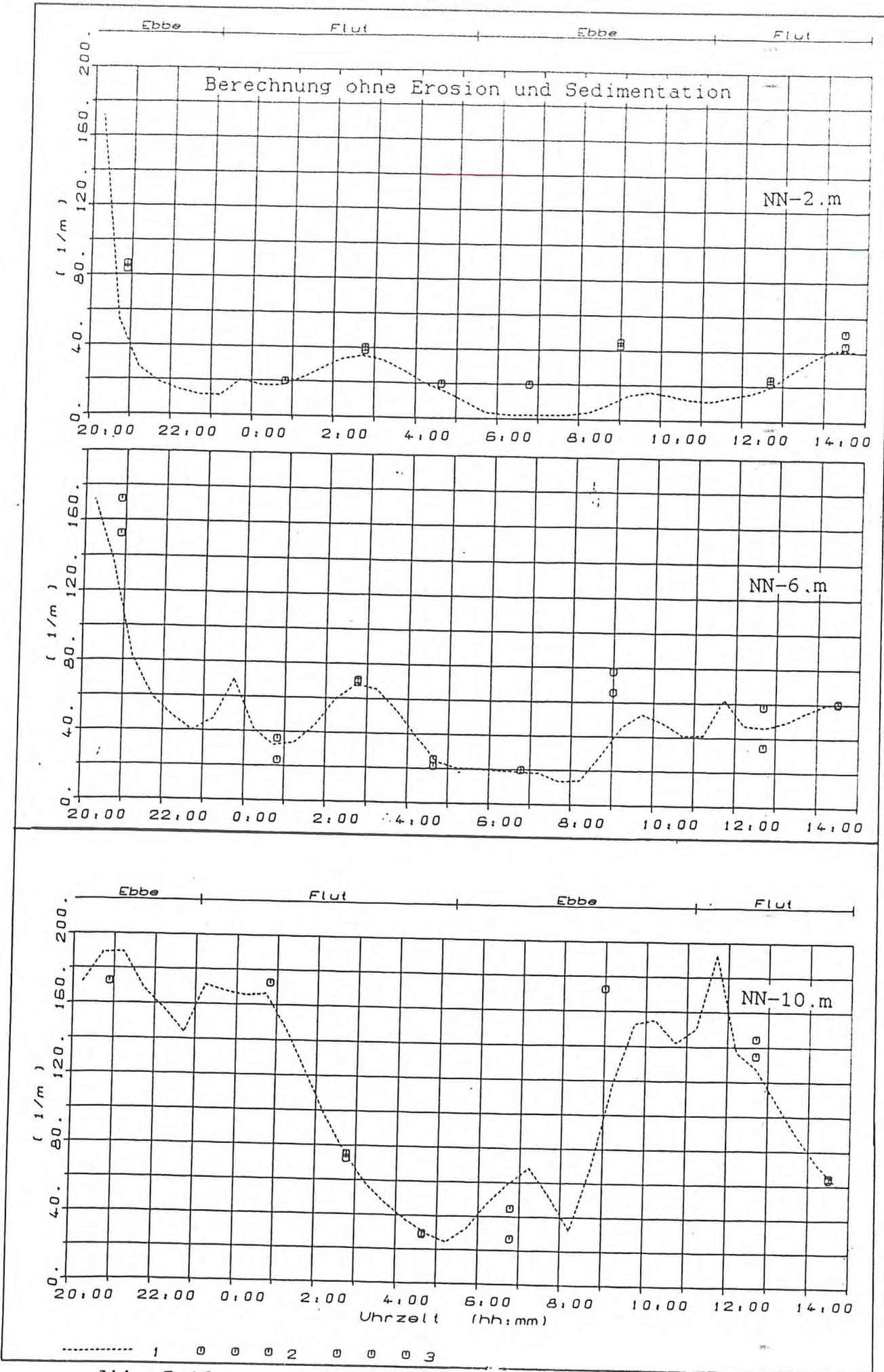


Abb. 5.13

Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M6

Man sieht, daß der typische Verlauf der Attenuation, der durch einen starken Einbruch zu den Kenterzeiten gekennzeichnet ist, nicht reproduziert wird. Um diesen Verlauf zu beschreiben ist eine starke Sedimentation erforderlich.

Durch weitere Rechenläufe sind die Parameter für die Erosion und Sedimentation bestimmt worden. Als endgültige Größe der Parameter sind die folgenden bestimmt worden:

Sinkgeschwindigkeit	w_{sb}	= 0.002 m/s
Sedimentationsspannung	τ_{sckr}	= 2.0 N/m ²
Sedimentationsfaktor	f_{sed}	= 75 %
Erosionsspannung	τ_{eckr}	= 0.003 N/m ²
Erosionskonstante	M	= 0.25 g/m ² s

Die Abb. 5.14 bis 5.16 zeigen die mit diesen Parametern bestimmten Attenuationsverläufe. Die Darstellung entspricht den der Abb. 5.11 bis 5.13. Der Verlauf der Attenuationswerte in der Tiefe von NN-10.m zeigt die starke Sedimentation zu den Kenterzeitpunkten und die Erosion zu Beginn der Flut und Ebbe. Durch die Kappung der Meßwerte bei Attenuationskoeffizienten von $170.m^{-1}$ ist die absolute Höhe der Attenuation nicht zu bestimmen. Dies macht sich auch in den darüberliegenden Schichten bemerkbar. So ist die Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Attenuationswerte nicht befriedigend. Eine noch weitergehende Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Werten zu erhalten ist nur mit sehr großen Aufwand zu erreichen und würde auch stark von dem subjektiven Gefühl des Betrachters abhängen. Deshalb sind detailliertere Aussagen über die Kausalitäten zwischen den dynamischen Effekten und dem Schwebstofftransport mit dem vorliegenden Messungen nicht

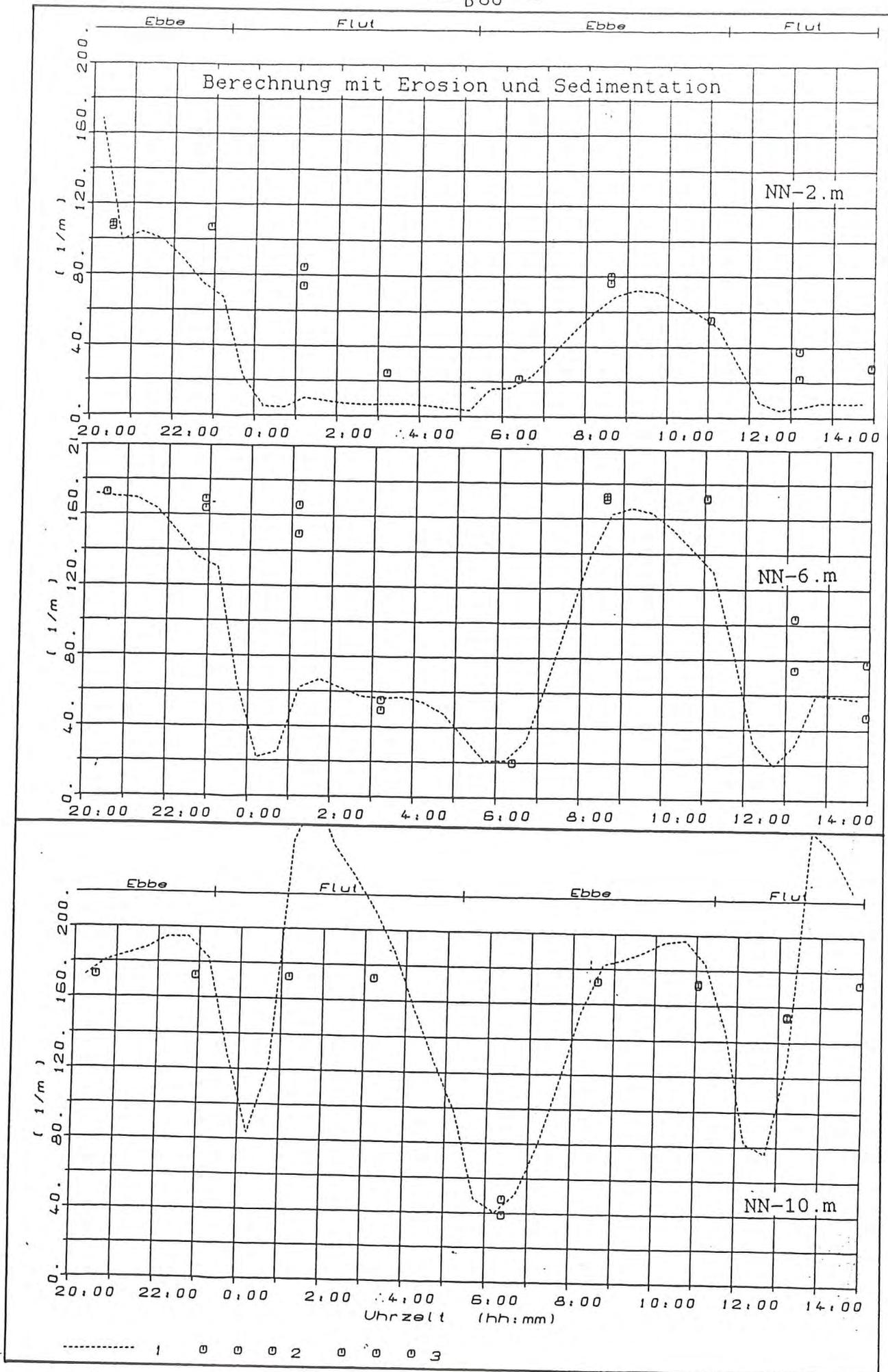


Abb. 5.14

Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M1

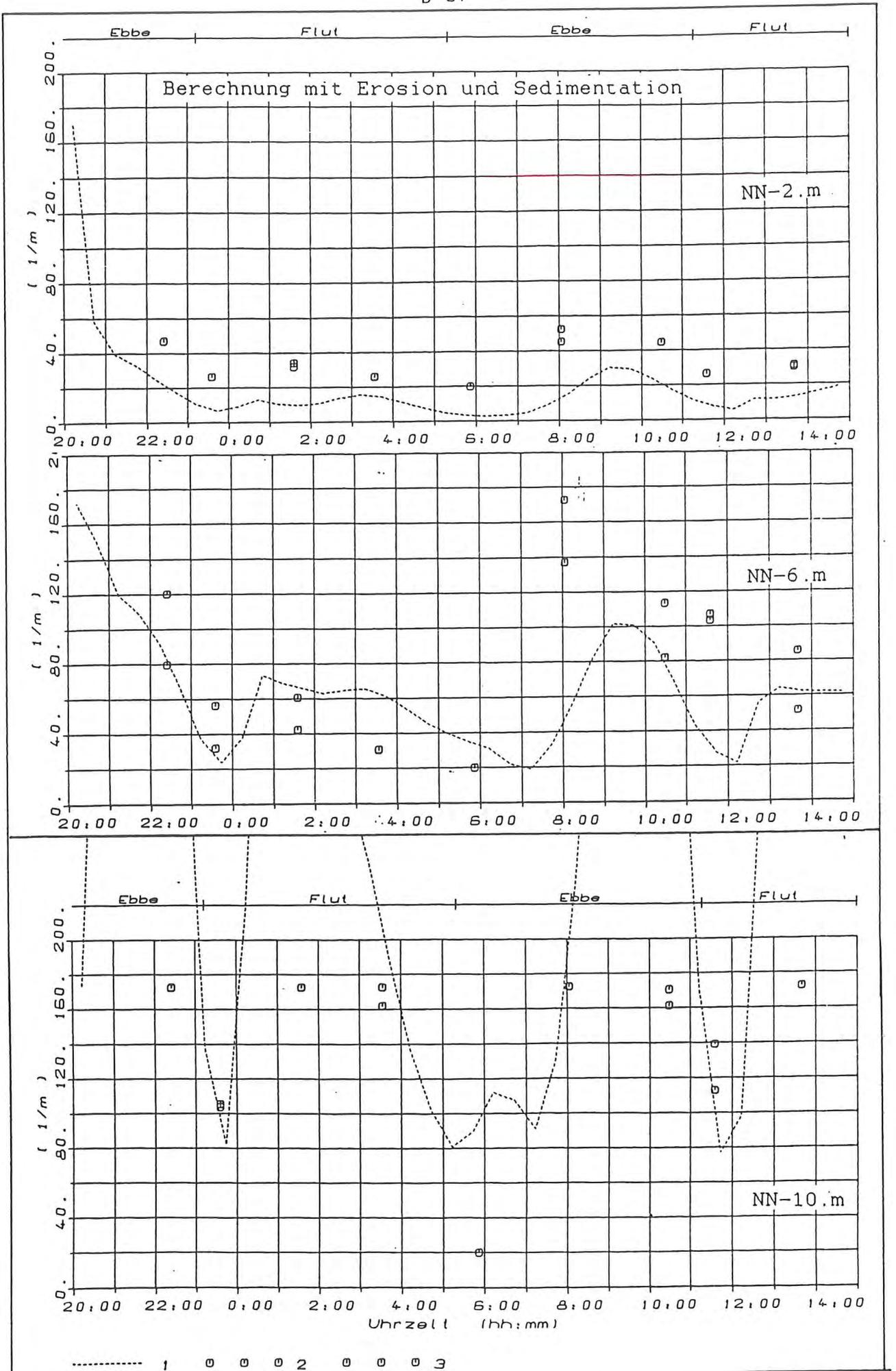


Abb. 5.15

Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station G1

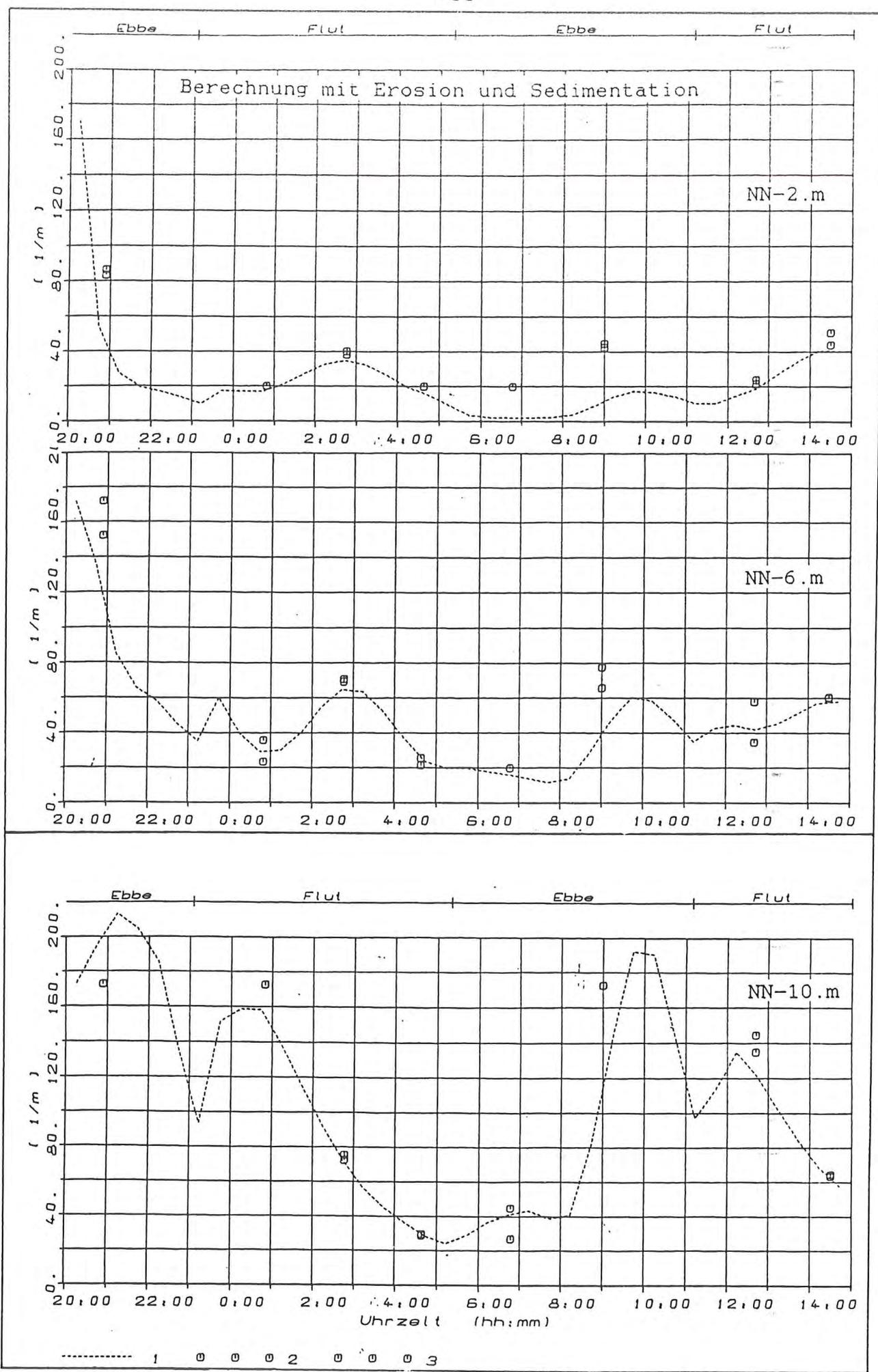


Abb. 5.16 Vergleich der berechneten mit der gemessenen Attenuation an der Station M6

möglich.

In den Abb. 5.17 und 5.18 ist entsprechend der Auswertung der MASEX-Arbeitsgruppe (s. Abs. 5.1.) eine Darstellung der berechneten Salz- und Attenuationsverteilung für verschiedene Tidephasen zu sehen. Ein Vergleich mit den Abb. 5.1 und 5.2 zeigt eine gute Übereinstimmung in dem mittleren Transport des Salzgehaltes und der Attenuation.

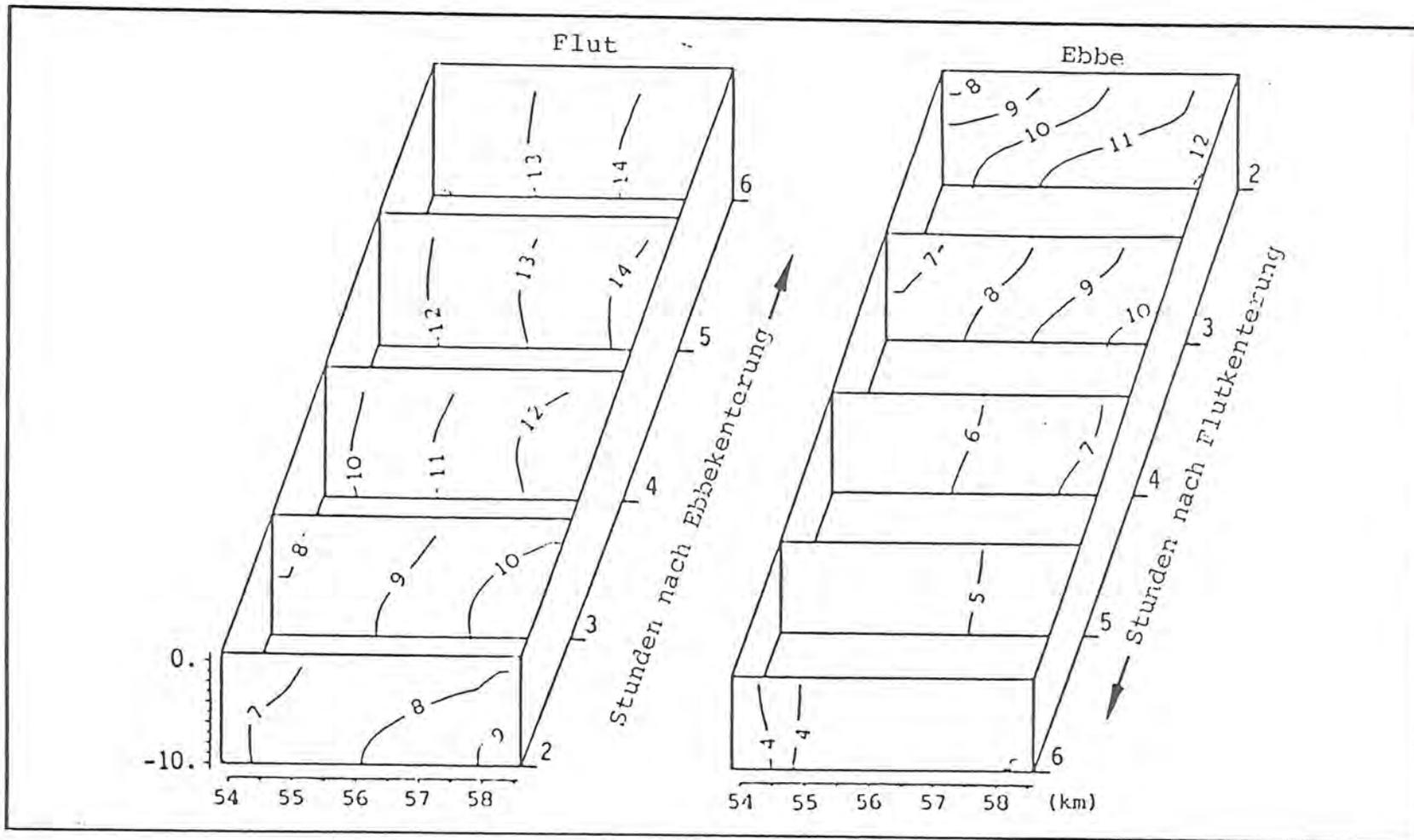


Abb. 5.17

Berechneter Salzgehaltsverlauf im
im Untersuchungsgebiet

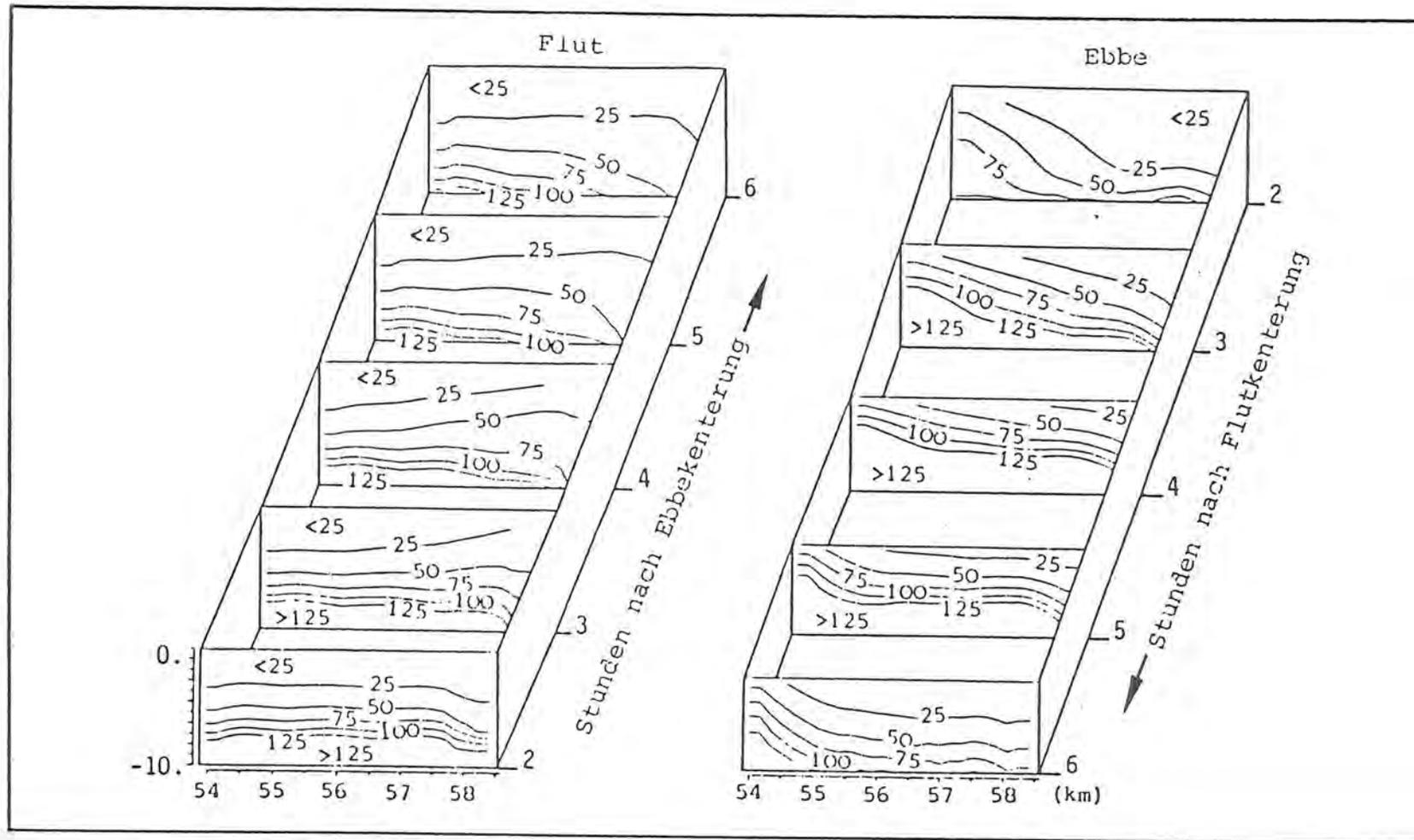


Abb. 5.18

Berechneter Trübungsverlauf im Untersuchungsgebiet

6. Schlußfolgerungen

6.1. Anwendbarkeit des numerischen Modells

In den vorherigen Kapiteln ist die Leistungsfähigkeit des numerischen Modelles an akademischen Beispielen und in der Anwendung auf ein reales Untersuchungsgebiet in der Weser gezeigt worden.

In den akademischen Beispielen ist die Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Werten als sehr gut zu bezeichnen. Für die homogenen Suspensionen mit konstanter Sinkgeschwindigkeit wird der Effekt der Sedimentation durch die gewählten Gleichungen exakt beschrieben. Keinerlei Berücksichtigung finden aber Änderungen der stofflichen Eigenschaften oder Flockungsprozesse. Für die Erosion liegen keine so genauen Untersuchungen vor, da hier doch viele schwer zu beschreibene Eigenschaften vorliegen. Hier ist z.B. die zeitliche Dauer der Ablagerung und damit die Stärke der Sedimentierung und die wirksame Schubspannung des Fluids auf die abgelagerten Stoffe u.a. zu nennen.

Soll der Transportprozess einer in der Natur vorhandenen Suspension in den Tideästuaren untersucht werden, ist die Bestimmung der vorhandenen Eigenschaften mit großen Schwierigkeiten verbunden. Erstens liegt kein homogener Stoff vor, sondern ein Gemisch aus organischen und anorganischen Verbindungen. Zweitens sind die Meßorte nur schwer zugänglich. So ist z.B. die Bestimmung der Verfestigung des Sedimentes am Boden des Gewässers nicht möglich. Außerdem sind die Eigenschaften stark von den lokalen Bedingungen abhängig. Daher ist auch eine sehr detaillierte Messung in dem Untersuchungsgebiet notwendig. Dies erfordert einen sehr großen

meßtechnischen Aufwand. Die Auswertung der dann vorhandenen großen Datenmenge ist ebenfalls nur mit Mühe zu erreichen. Die Anwendung von in der Praxis gemessenen Daten in einem numerischen Modell stellt sehr extreme Anforderungen an diese. In den vorherigen Kapiteln ist auf diesen Punkt ausführlich eingegangen worden. Der schwerwiegendste Mangel der vorliegenden Daten liegt an dem für ein numerisches Modell zu kurze Untersuchungsgebiet. Dadurch beeinflussen sich die Ränder sehr stark und es kein von den Randbedingungen unabhängiges Lösungsgebiet, in dem die Störungen der Randbedingungen abgeklungen sind, vorhanden. So können die in dieser Untersuchung gewonnenen numerischen Ergebnisse nur als Näherung betrachtet werden. Trotzdem zeigen die Ergebnisse, daß das numerische Modell zur Untersuchung des Transportes von suspendiertem Material geeignet ist. Eine erste Bestimmung von den hauptsächlich Parametern ist erfolgt. Um detailliertere Aussagen über den Transport suspendierten Materials machen zu können sind Messungen in einem größeren Gebiet erforderlich. Bei vorliegen des entsprechenden Zahlenmaterials sind weitere Untersuchungen mit dem numerischen Modell möglich.

7. Literaturverzeichnis:

- DOBBINS, W.E. 1943
Effect of Turbulence on Sedimentation.
American Society of Civil Engineers, Transactions, 109
page 629-656
- FANGER, H.-U. , NEUMANN, L.J.R. , OHM, K. , RIETHMÜLLER, R. 1985
MASEX '83 eine Untersuchung in der Trübungszone der
Unterweser
Die Küste, Heft 42, 1985
- KRONE, R.B. 1962
Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial
Shoaling Processes.
Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering
Laboratory, University of California, Berkeley
- MARKOFFSKY, M. 1984
A Technique for Reducing the Computation Time of Two-
Dimensional Thermal and Water Quality Explicit Finite
Difference Scheme and Finite Element Numerical Models
Publ. in: Proc. 4th Congr. Asian and Pacific Regional
Division, International Association for Hydraulic Research,
Chiang Mai, Thailand
- MARKOFFSKY, M. / LANG, G. / SCHUBERT, R. 1985 a
Numerical Simulation of Unsteady Suspended Sediment
Transport.
Euromech 192: Transport of suspended solids in open
channels, München, FRG, June 1985. Balkema Publishers,
Netherlands, 1985
- MARKOFFSKY, M. / LANG, G. / SCHUBERT, R. 1985 b
Suspended Sediment Transport in Tidal Waters: Turbidity

Maximum, Numerical Simulation, Physical Aspects.

Proc. 21th Congress of the IAHR, Vol. 4, Melbourne,

Aug. 1985

PARCHURE, T.M.

1984

Deposited Cohesive Sediments.

Coastle & Oceanographic Engineering Department, University
of Florida, 1984

PARTHENIADES, E.

1962

A Study of Erosion and Deposition of Cohesive Soils in Salt
Water

Thesis, University of Carlifornia, Berkley

ROUSE, H.

1938

Experiments on the Mechanics of Sediment Suspension

Proc. 5th Int. Congr. for Applied Mechanics, Cambridge,
Mass.

SMOLARKIEWICZ, P.K.

1983

A Simple Positive Definite Advection Scheme with Small
Implicit Diffusion

Monthly Weather Revue, 111, pp. 479-486, 3.1983

APPENDIX A : Finite Differenzen Gleichungen

A.1 Bewegungsgleichungen

A.1.1 FD-Diskretisierung für Gl. 1 (u-Geschwindigkeit)

$$u, t \rightarrow \frac{u_{ijk}^{n+1} - u_{ijk}^n}{\Delta t_m}$$

$$uu, x \rightarrow u_{ijk}^n \left\{ \begin{array}{ll} \frac{u_{ijk}^n - u_{i-1jk}^n}{\Delta x_i} & \text{if } u_{ijk}^n > 0 \\ \frac{u_{i+1jk}^n - u_{ijk}^n}{\Delta x_{i+1}} & \text{if } u_{ijk}^n < 0 \end{array} \right.$$

$$vu, y \rightarrow v^n \left\{ \begin{array}{ll} \frac{u_{ijk}^n - u_{ij+1k}^n}{0.5 (\Delta y_j + \Delta y_{j+1})} & \text{if } v^n > 0 \\ \frac{u_{ij-1k}^n - u_{ijk}^n}{0.5 (\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} & \text{if } v^n < 0 \end{array} \right.$$

mit $v^n = 0.25 (v_{ijk}^n + v_{i+1jk}^n + v_{i+1j+1k}^n + v_{ij+1k}^n)$

$f v \rightarrow f v^n$

$$\frac{1}{\rho} p, x \rightarrow \frac{p_{i+1jk}^n - p_{ijk}^n}{0.25 (\rho_{i+1jk}^n + \rho_{ijk}^n) (\Delta x_{i+1} + \Delta x_i)}$$

$$(A_x u, x), x \rightarrow \left[\frac{A_x^n_{i+1jk} (u_{i+1jk}^n - u_{ijk}^n)}{\Delta x_{i+1}} \right]$$

$$\left[\frac{A_x^n \text{ ijk} (u_{ijk}^n - u_{i-1jk}^n)}{\Delta x_i} \right] (0.5 (\Delta x_{i+1} + \Delta x_i))^{-1}$$

$$(A_y u, y), y \rightarrow \left[\frac{A_y^n \text{ r} (u_{ij-1k}^n - u_{ijk}^n)}{0.5 (\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)} - \frac{A_y^n \text{ l} (u_{ijk}^n - u_{ij+1k}^n)}{0.5 (\Delta y_j + \Delta y_{j+1})} \right] \Delta y_j^{-1}$$

mit $A_y^n \text{ r} = 0.25 (A_y^n \text{ ijk} + A_y^n \text{ i+1jk} + A_y^n \text{ i+1j-1k} + A_y^n \text{ ij-1k})$

$A_y^n \text{ l} = 0.25 (A_y^n \text{ ijk} + A_y^n \text{ i+1jk} + A_y^n \text{ i+1j+1k} + A_y^n \text{ ij+1k})$

$$(A_z u, z), z \rightarrow \left[\frac{A_z^n \text{ u} (u_{ijk-1}^{n+1} - u_{ijk}^{n+1})}{0.5 (\Delta z_{k-1} + \Delta z_k)} - \frac{A_z^n \text{ d} (u_{ijk}^{n+1} - u_{ijk+1}^{n+1})}{0.5 (\Delta z_k + \Delta z_{k+1})} \right] \Delta z_k^{-1}$$

mit $A_z^n \text{ u} = 0.25 (A_z^n \text{ ijk} + A_z^n \text{ ijk-1} + A_z^n \text{ i+1jk} + A_z^n \text{ i+1jk+1})$

$A_z^n \text{ d} = 0.25 (A_z^n \text{ ijk} + A_z^n \text{ ijk+1} + A_z^n \text{ i+1jk} + A_z^n \text{ i+1jk+1})$

An den Rändern sind geeignete Randbedingungen in die obigen Gleichungen einzusetzen.

Randbedingung an der Oberfläche:

$$A_z u, z \Big|_{\text{Oberfl.}} = C_{\text{wind}} |u_{ij_{\text{wind}}}^n| u_{ij_{\text{wind}}}^n$$

Randbedingung am Boden:

$$A_z u, z \Big|_{\text{Boden}} = k' |u_{ijk_{\text{bot}}}^n| (u_{ijk_{\text{bot}}}^n + u_{ijk_{\text{bot}}}^{n+1}) 0.5$$

A.1.2 FD-Diskretisierung für Gl. 2 (v-Geschwindigkeit)

$$v, t \rightarrow \frac{v_{ijk}^{n+1} - v_{ijk}^n}{\Delta t_m}$$

$$v v, y \rightarrow v_{ijk}^n \left[\begin{array}{ll} \frac{v_{ijk}^n - v_{ij+1k}^n}{\Delta y_j} & \text{if } v_{ijk}^n > 0 \\ \frac{v_{ij-1k}^n - v_{ijk}^n}{\Delta y_{j-1}} & \text{if } v_{ijk}^n < 0 \end{array} \right.$$

$$u v, x \rightarrow u^{n+1} \left[\begin{array}{ll} \frac{v_{ijk}^n - v_{i-1jk}^n}{0.5 (\Delta x_i + \Delta x_{i-1})} & \text{if } u^{n+1} > 0 \\ \frac{v_{i+1jk}^n - v_{ijk}^n}{0.5 (\Delta x_{i+1} + \Delta x_i)} & \text{if } u^{n+1} < 0 \end{array} \right.$$

mit $u^{n+1} = 0.25 (u_{ijk}^{n+1} + u_{i-1jk}^{n+1} + u_{i-1j-1k}^{n+1} + u_{ij-1k}^{n+1})$

$$f u = f u^{n+1}$$

$$\frac{1}{\rho} p, y = \frac{p_{ij-1k}^n - p_{ijk}^n}{0.25 (p_{ij-1k}^n + p_{ijk}^n) (\Delta y_{j-1} + \Delta y_j)}$$

$$(A_y v, y), y \rightarrow \left[\begin{array}{l} \frac{A_y^n_{ij-1k} (v_{ij-1k}^n - v_{ijk}^n)}{\Delta y_{j-1}} \\ - \frac{A_y^n_{ijk} (v_{ijk}^n - v_{ij+1k}^n)}{\Delta y_j} \end{array} \right] (0.5 (\Delta y_{j-1} + \Delta y_j))^{-1}$$

$$(A_x v, x), x \rightarrow \left[\frac{A_x^n r (v_{i+1jk}^n - v_{ijk}^n)}{0.5 (\Delta x_{i+1} + \Delta x_i)} - \frac{A_x^n l (v_{ijk}^n - v_{i-1jk}^n)}{0.5 (\Delta x_i + \Delta x_{i-1})} \right] \Delta x_i^{-1}$$

mit $A_x^n r = 0.25 (A_x^n_{ijk} + A_x^n_{i+1jk} + A_x^n_{i+1j-1k} + A_x^n_{ij-1k})$

$A_x^n l = 0.25 (A_x^n_{ijk} + A_x^n_{i-1jk} + A_x^n_{i-1j-1k} + A_x^n_{ij-1k})$

$$(A_z v, z), z \rightarrow \left[\frac{A_z^n u (v_{ijk-1}^{n+1} - v_{ijk}^{n+1})}{0.5 (\Delta z_{k-1} + \Delta z_k)} - \frac{A_z^n d (v_{ijk}^{n+1} - v_{ijk+1}^{n+1})}{0.5 (\Delta z_k + \Delta z_{k+1})} \right] \Delta z_k^{-1}$$

mit $A_z^n u = 0.25 (A_z^n_{ijk} + A_z^n_{ijk-1} + A_z^n_{ij-1k} + A_z^n_{ij-1k-1})$

$A_z^n d = 0.25 (A_z^n_{ijk} + A_z^n_{ijk+1} + A_z^n_{ij-1k} + A_z^n_{ij-1k+1})$

An den Rändern sind geeignete Randbedingungen in die obigen Gleichungen einzusetzen.

Randbedingung an der Oberfläche:

$A_z v, z \mid \text{Oberfl.} = C_{wind} |v_{ijwind}^n| v_{ijwind}^n$

Randbedingung am Boden:

$A_z v, z \mid \text{Boden} = k' |v_{ijkbot}^n| (v_{ijkbot}^n + v_{ijkbot}^{n+1}) 0.5$

A.1.3 FD-Diskretisierung für Gl. 3 (hydrostatische Druckverteilung)

Diskretisierung des Druckterms.

$$p_{ijk} = \sum_{l=2}^k (0.5 (\rho_{ijl-1}^n \Delta z_{l-1} + \rho_{ijl}^n \Delta z_l)) + 0.5 \rho_{ij1}^n \Delta z_1 + \eta_{ij}^n \rho_{ij1}^n$$

- - - - -

A.1.4 FD-Diskretisierung für Gl. 4 (Kontinuitätsgleichung)

$$0 = \frac{w_{ijk}^{n+1} - w_{ijk+1}^{n+1}}{\Delta z_k} + \frac{u_{i+1jk}^{n+1} - u_{ijk}^{n+1}}{\Delta x_i} + \frac{v_{ij-1k}^{n+1} - v_{ijk}^{n+1}}{\Delta y_j}$$

Bem.: $w_{ijk_{bot}}^{n+1} = 0$

- - - - -

A.1.5 Berechnung des Wasserstandes

$$\eta_{ij}^{n+1} = \eta_{ij}^n + \Delta t_m w_{ij1}^{n+1}$$

- - - - -

A.2 Konvektions-Diffusions-Gleichung

A.2.1 FD-Diskretisierung für Gl. 5 (konservative Form)

$$c, t \rightarrow \frac{c_{ijk}^{n+1} - c_{ijk}^n}{\Delta t_d}$$

- - - - -

$$(uc), x \rightarrow \left[\begin{array}{l} \frac{u_{ijk}^{n+1} c_1^n - u_{i-1jk}^{n+1} c_2^n}{\Delta x_i} \\ \text{mit } c_1^n = c_{ijk}^n (c_{i+1jk}^n) \quad \text{if } u_{ijk}^{n+1} > (<) 0 \\ \text{mit } c_2^n = c_{i-1jk}^n (c_{ijk}^n) \quad \text{if } u_{i-1jk}^{n+1} > (<) 0 \end{array} \right.$$

$$(v_c), y \rightarrow \left[\begin{array}{l} \frac{v_{ijk}^{n+1} c_1^n - v_{ij+1k}^{n+1} c_2^n}{\Delta y_j} \\ \text{mit } c_1^n = c_{ijk}^n (c_{ij-1k}^n) \quad \text{if } v_{ijk}^{n+1} < (\epsilon) \theta \\ \text{mit } c_2^n = c_{ij+1k}^n (c_{ijk}^n) \quad \text{if } v_{ij+1k}^{n+1} < (\epsilon) \theta \end{array} \right.$$

$$(K_x c, x), x \rightarrow \left[\begin{array}{l} \frac{(K_x^n{}_{ijk} + K_x^n{}_{i+1jk}) (c_{i+1jk}^n - c_{ijk}^n)}{\Delta x_{i+1} + \Delta x_i} \\ \frac{(K_x^n{}_{i-1jk} + K_x^n{}_{ijk}) (c_{ijk}^n - c_{i-1jk}^n)}{\Delta x_{i-1} + \Delta x_i} \end{array} \right] \Delta x_i^{-1}$$

$$(K_y c, y), y \rightarrow \left[\begin{array}{l} \frac{(K_y^n{}_{ijk} + K_y^n{}_{ij-1k}) (c_{ij-1k}^n - c_{ijk}^n)}{\Delta y_{j-1} + \Delta y_j} \\ \frac{(K_y^n{}_{ij+1k} + K_y^n{}_{ijk}) (c_{ijk}^n - c_{ij+1k}^n)}{\Delta y_{j+1} + \Delta y_j} \end{array} \right] \Delta y_j^{-1}$$

$$(K_z c, - (w+w_s) c), z \rightarrow$$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{K_z^n u ((1-\theta) (c_{ijk-1}^n - c_{ijk}^n) + \theta (c_{ijk-1}^{n+1} - c_{ijk}^{n+1})) - \dots}{0.5 (\Delta z_{k-1} + \dots)} \\ \dots \frac{ - (w_{ijk}^{n+1} + w_s) ((1-\theta) c_u^n + \theta c_u^{n+1})}{+ \Delta z_k } \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{K_z^n d \left((1-\theta)(c_{ijk}^n - c_{ijk+1}^n) + \theta(c_{ijk}^{n+1} - c_{ijk+1}^{n+1}) \right)}{0.5 (\Delta z_k + \dots)} \dots \\
 & \dots \left. \frac{- (w_{ijk+1}^{n+1} + w_s) \left((1-\theta)c_d^n + \theta c_d^{n+1} \right)}{+ \Delta z_{k+1}} \right] \Delta z_k^{-1}
 \end{aligned}$$

mit $K_z^n u = 0.50 (K_z^n_{ijk} + K_z^n_{ijk-1})$

$K_z^n d = 0.50 (K_z^n_{ijk} + K_z^n_{ijk+1})$

$c_u^n = c_{ijk}^n + \frac{\Delta z_k}{\Delta z_{k-1} + \Delta z_k} (c_{ijk-1}^n - c_{ijk}^n)$

$c_d^n = c_{ijk}^n + \frac{\Delta z_k}{\Delta z_k + \Delta z_{k+1}} (c_{ijk+1}^n - c_{ijk}^n)$

An den Rändern sind geeignete Randbedingungen in die obigen Gleichungen einzusetzen;

Randbedingung an der Oberfläche: kein Massenfluß, dafür muß der zugehörige Term in der FD-Diskretisierung Null sein:

$K_z c_{,z} - (w+w_s)c \Big|_{\text{Oberfl.}} = 0$

Randbedingung am Boden:

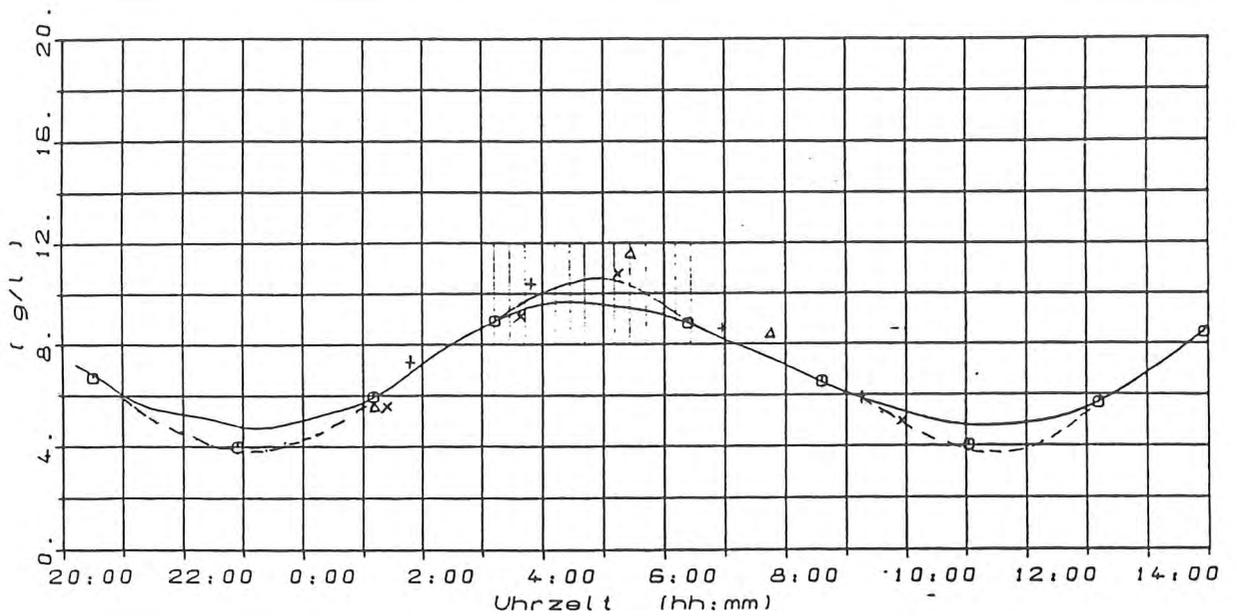
$K_z c_{,z} - w_s c \Big|_{\text{Boden}} =$
 $- w_s \left((1-\theta)c_{ijk_{bot}}^n + \theta c_{ijk_{bot}}^{n+1} \right) \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{s cr}} \right) - m \left(\frac{\tau_b}{\tau_{e cr}} - 1 \right)$

Stabilitätskriterium für die Bewegungs- und Transportgleichung:

$\Delta t_m = \min \left(\frac{\Delta x}{u + (2g(D+\eta))^{1/2}}, \frac{\Delta y}{v + (2g(D+\eta))^{1/2}} \right)$

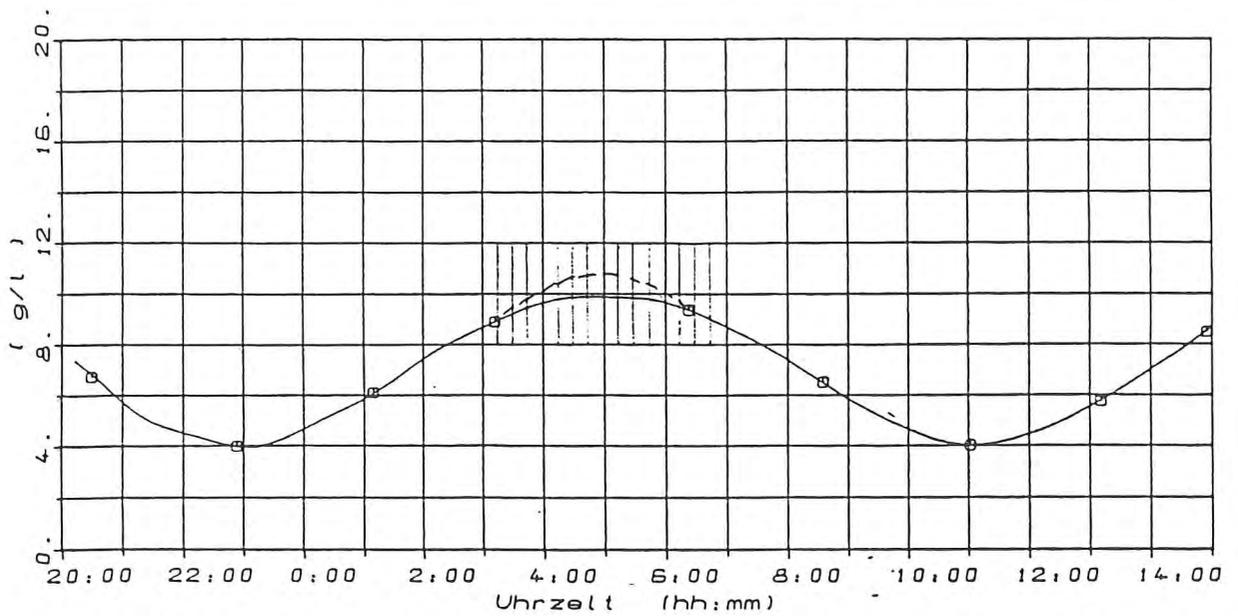
$\Delta t_d = \min \left(\frac{\Delta x \Delta y}{2K_x + 2K_y + |u| \Delta x + |v| \Delta y} \right)$

APPENDIX B: Die an den Stationen M1 und M6 gesteuerte Randbedingungen für Salz und Attenuation



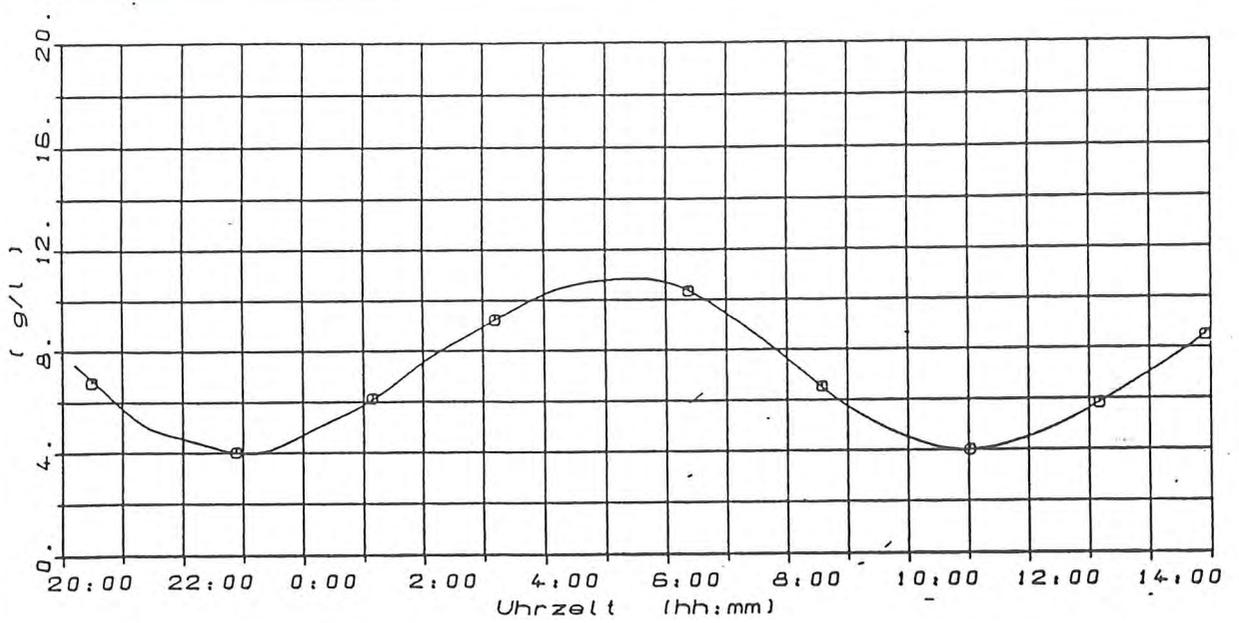
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 2.m 26. -27.Sept.1983



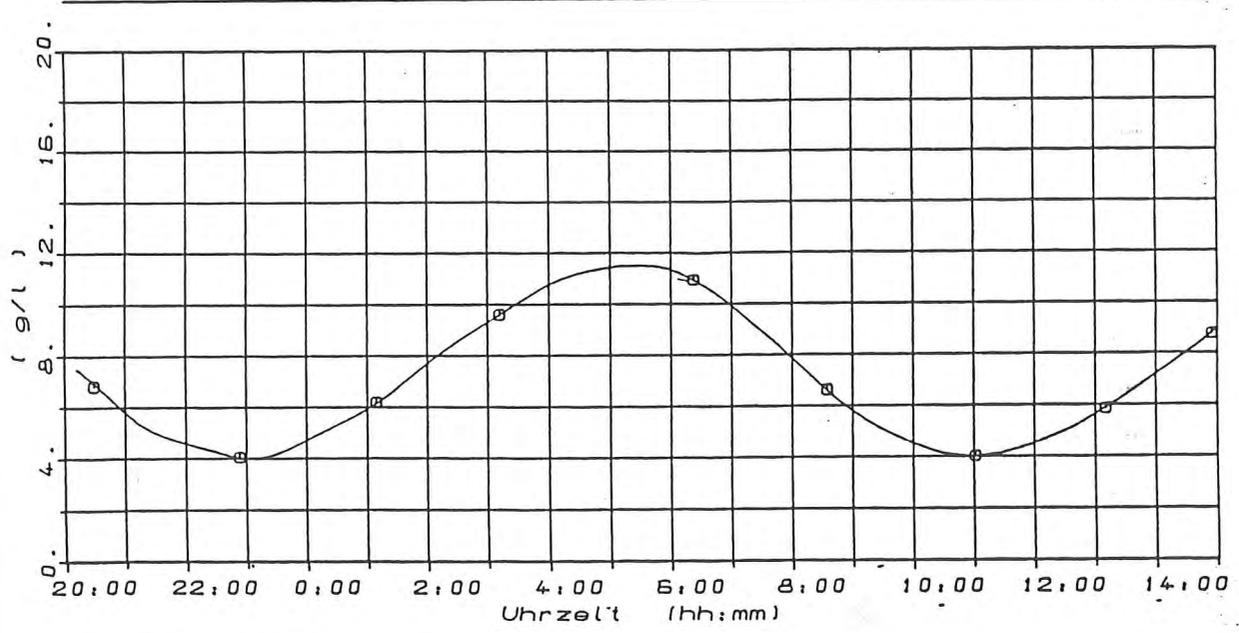
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 3.m 26. -27.Sept.1983



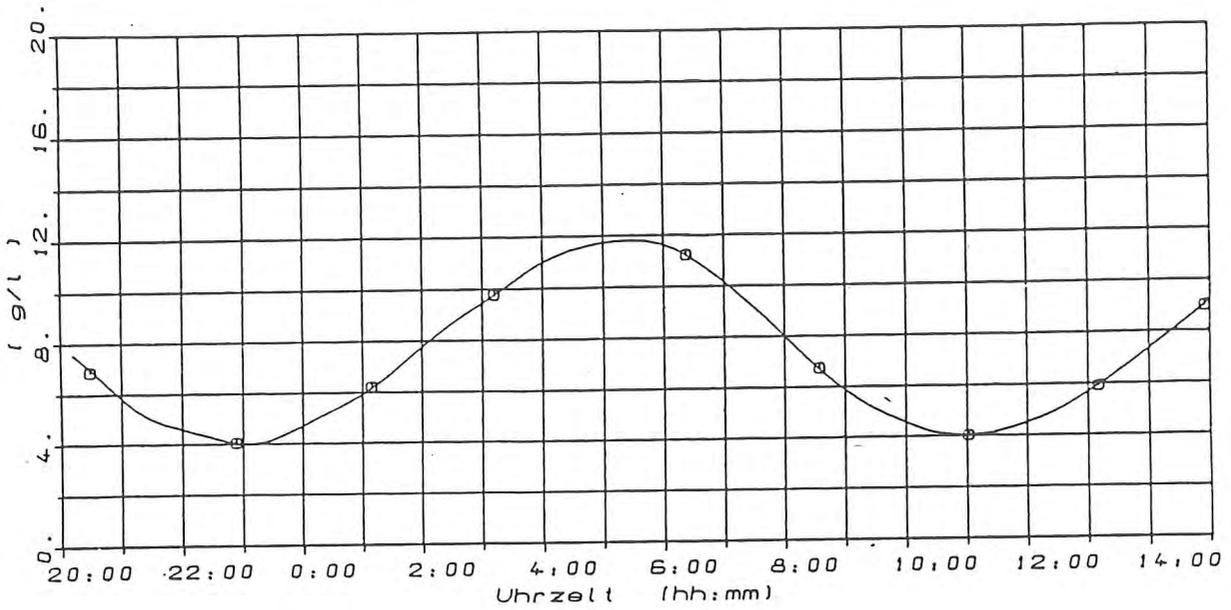
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 4.m 26. -27. Sept. 1983



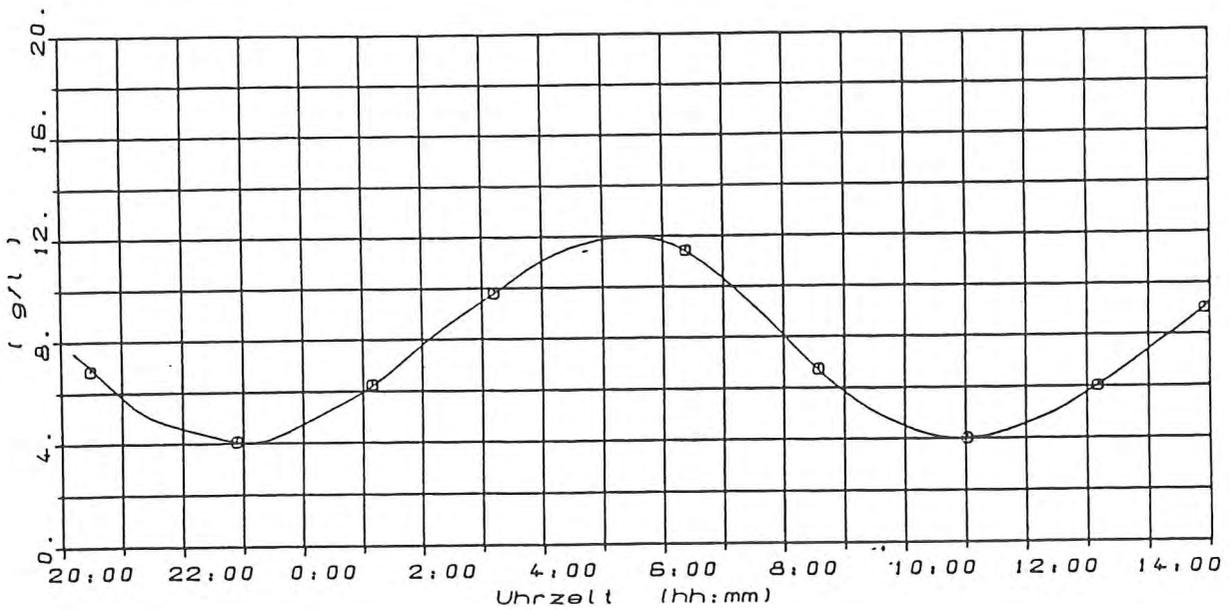
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 5.m 26. -27. Sept. 1983



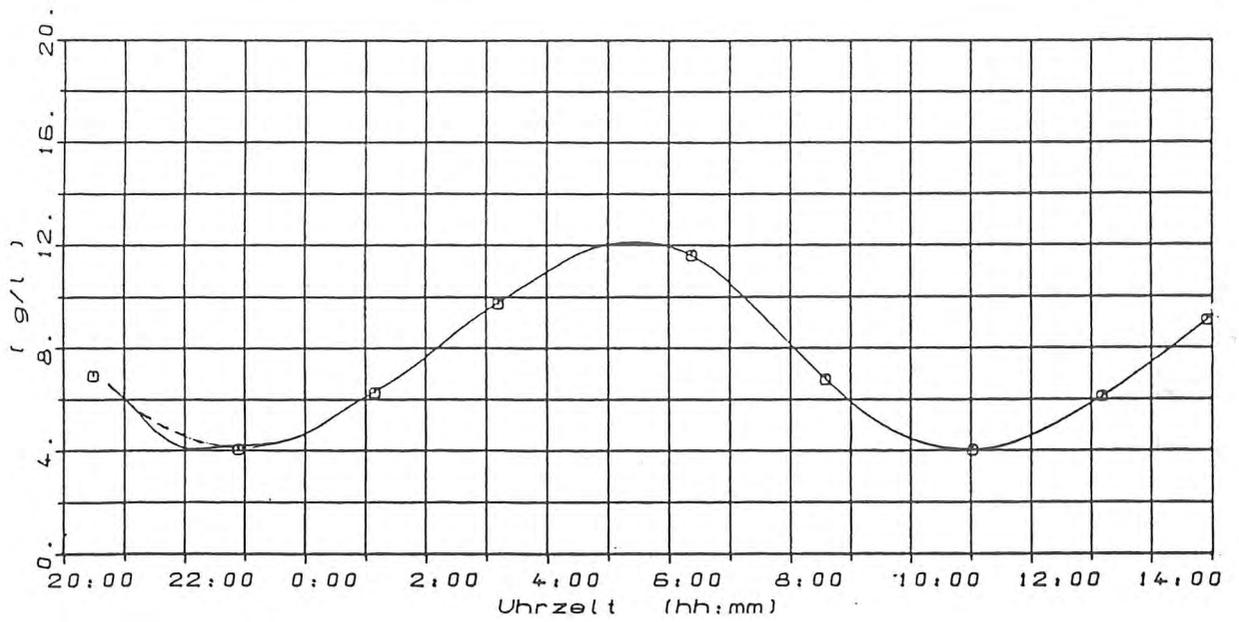
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 6.m 26. -27. Sept. 1983



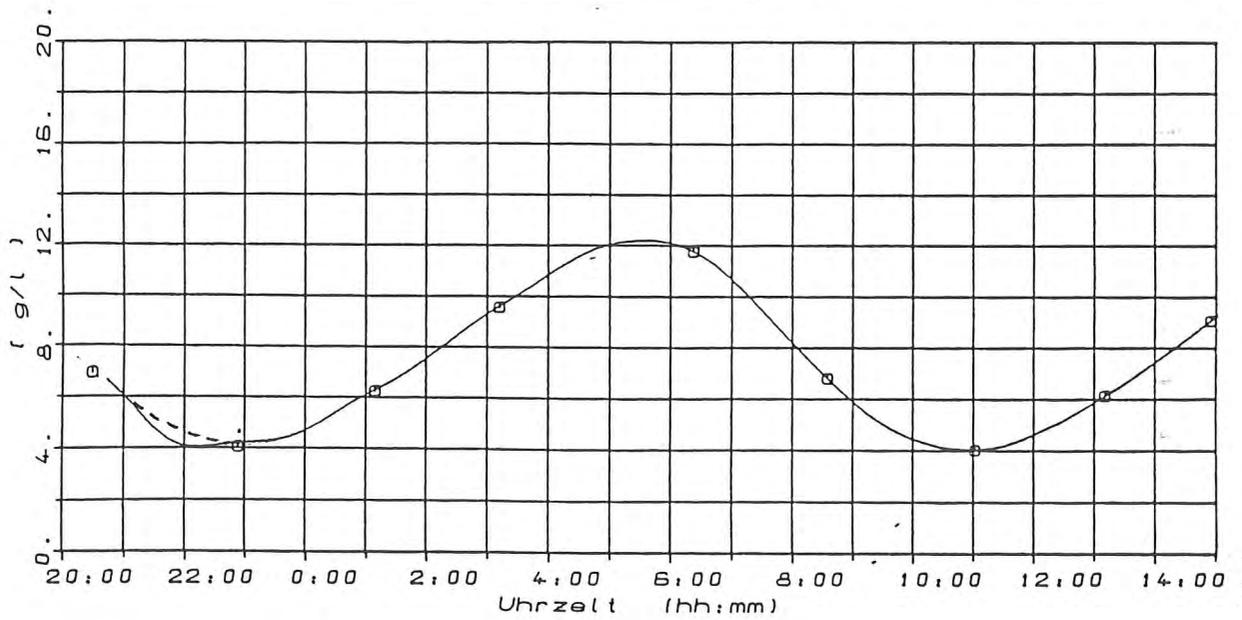
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 7.m 26. -27. Sept. 1983



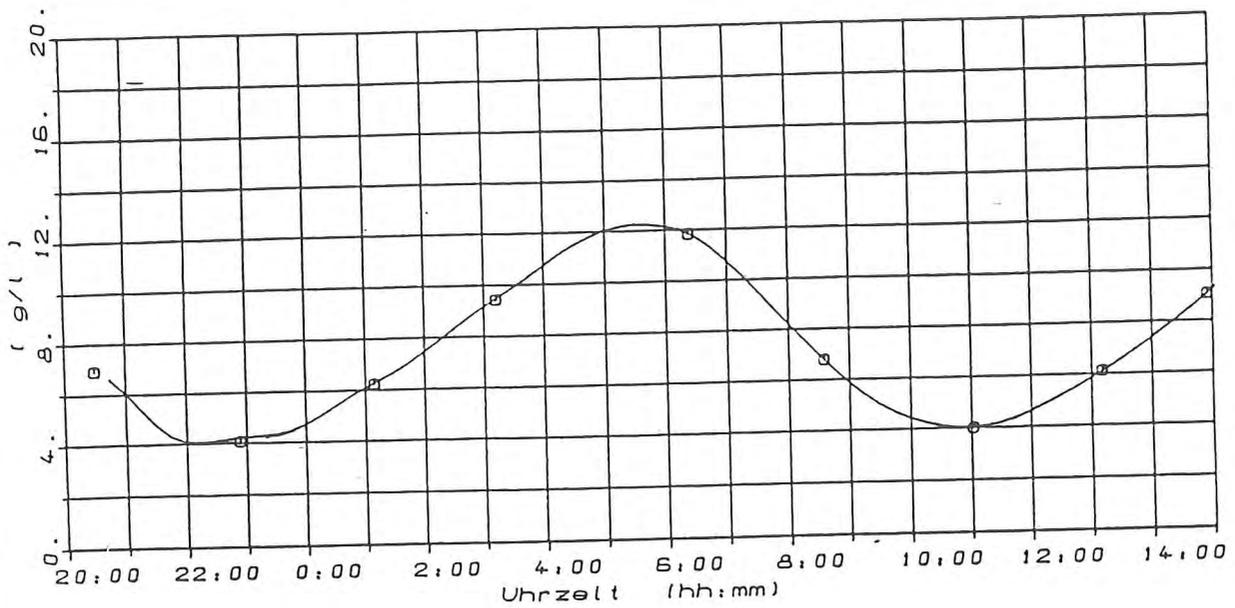
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 8.m 26. -27. Sept. 1983



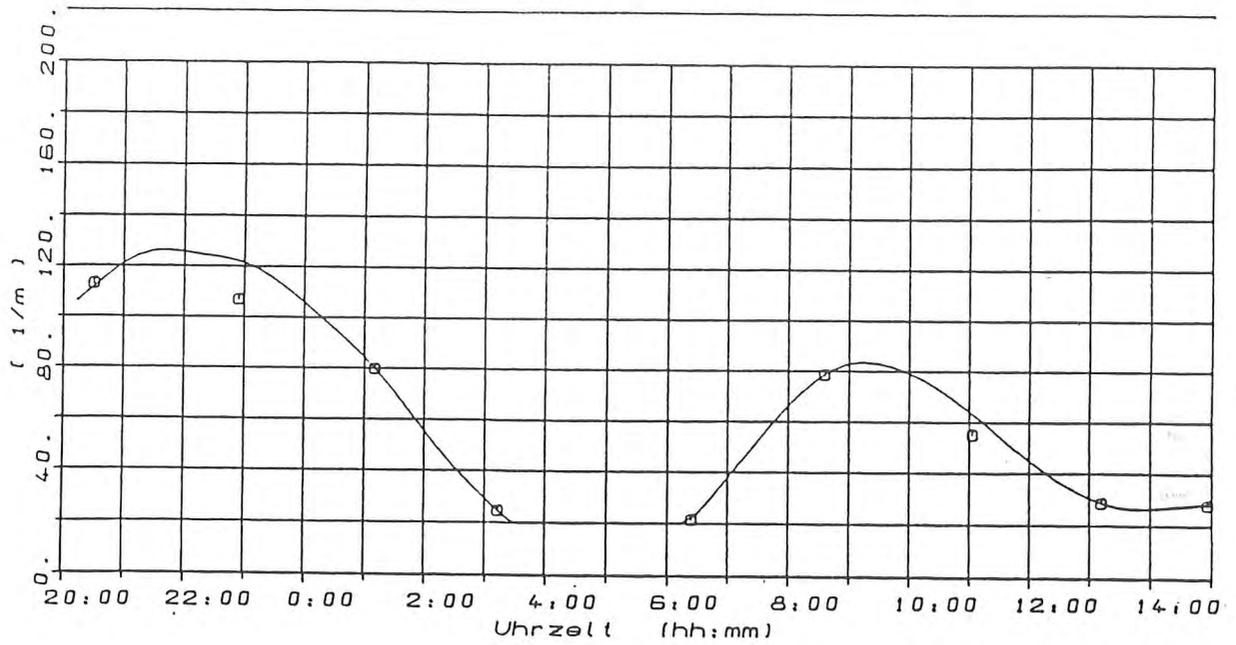
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN- 9.m 26. -27. Sept. 1983



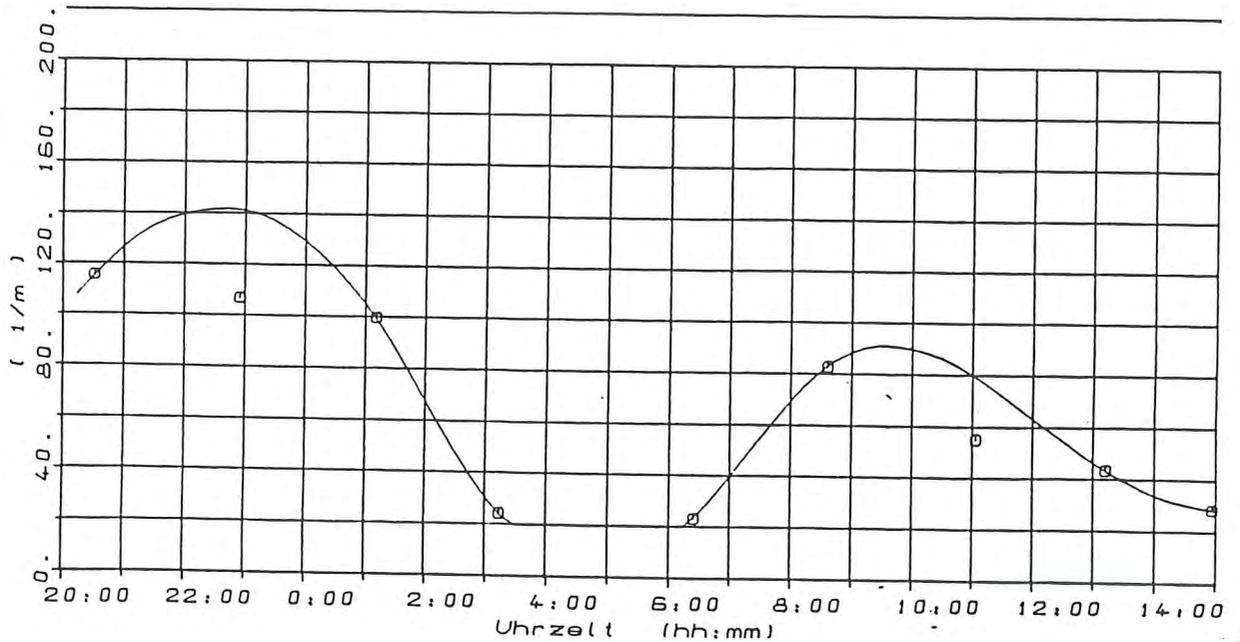
— 1 □ □ □ 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M1 Tiefe NN-10.m 26. -27. Sept. 1983



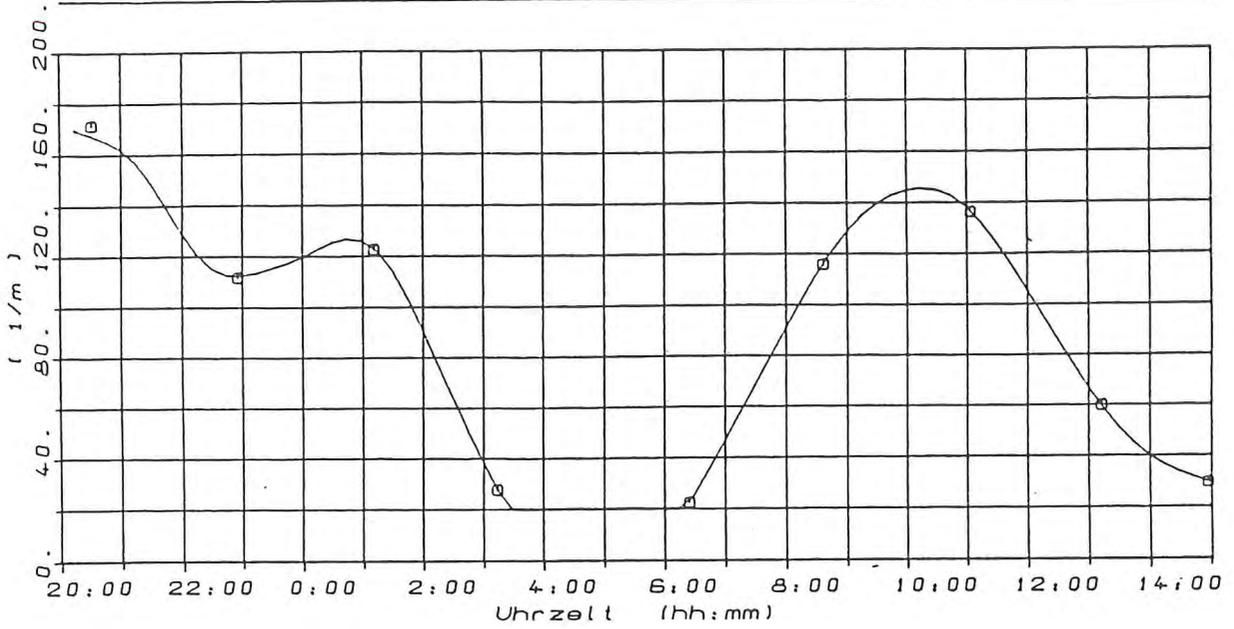
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 2.m 26. -27. Sept. 1983



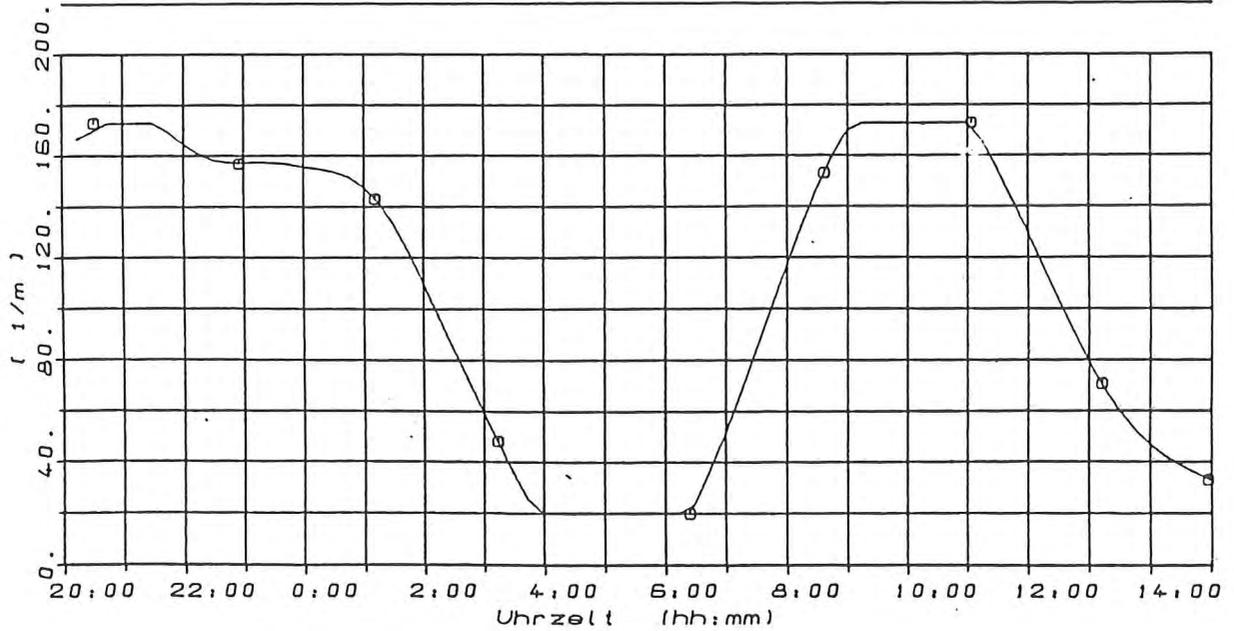
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 3.m 26. -27. Sept. 1983



— 1 □ □ □ 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 4.m 26. -27.Sept.1983



— 1 □ □ □ 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 5.m 26. -27.Sept.1983

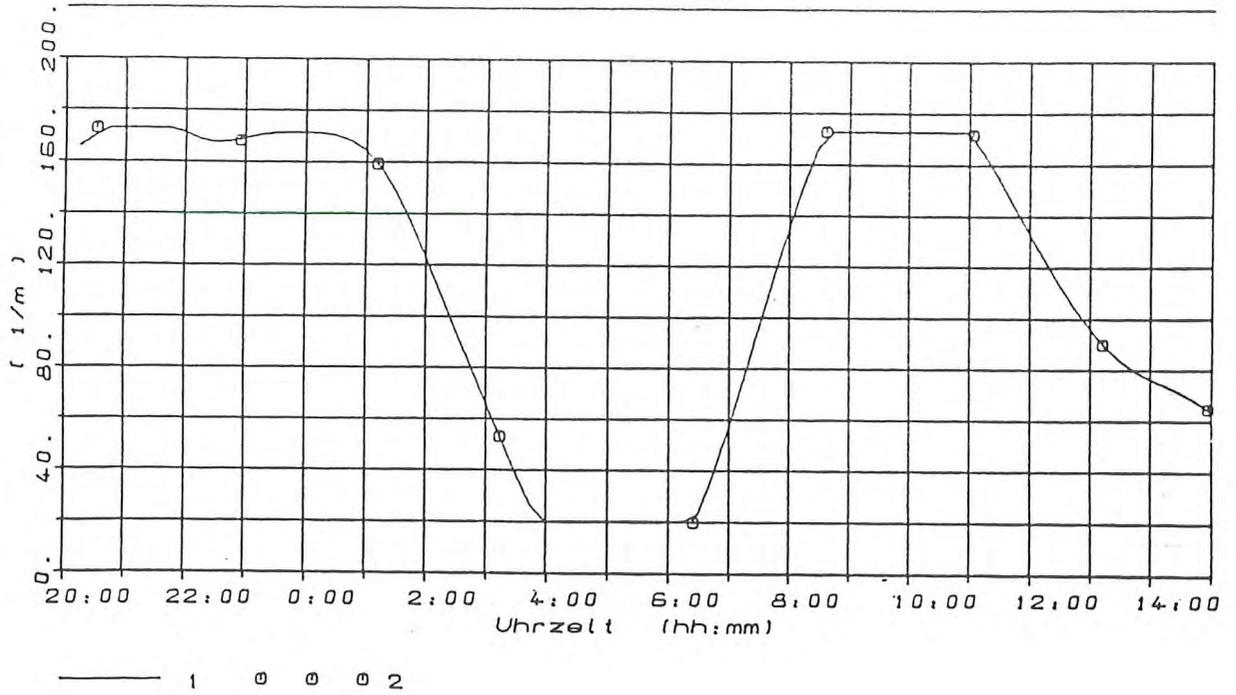


Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 6.m 26. -27.Sept.1983

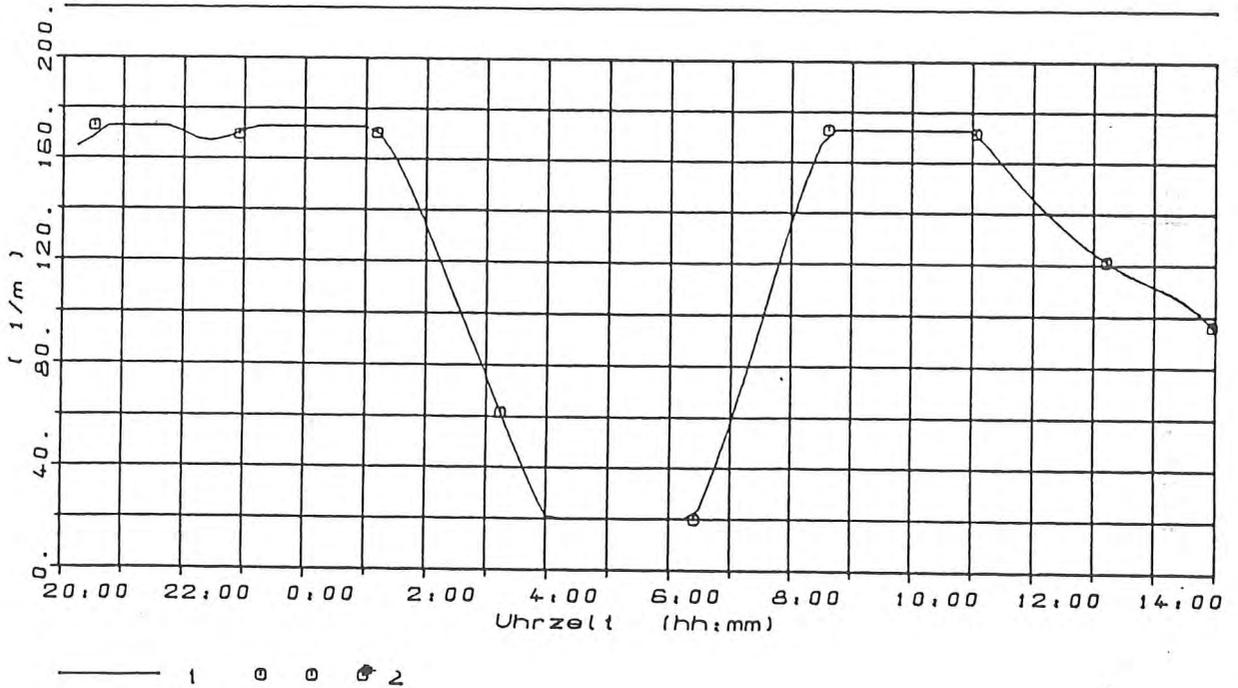
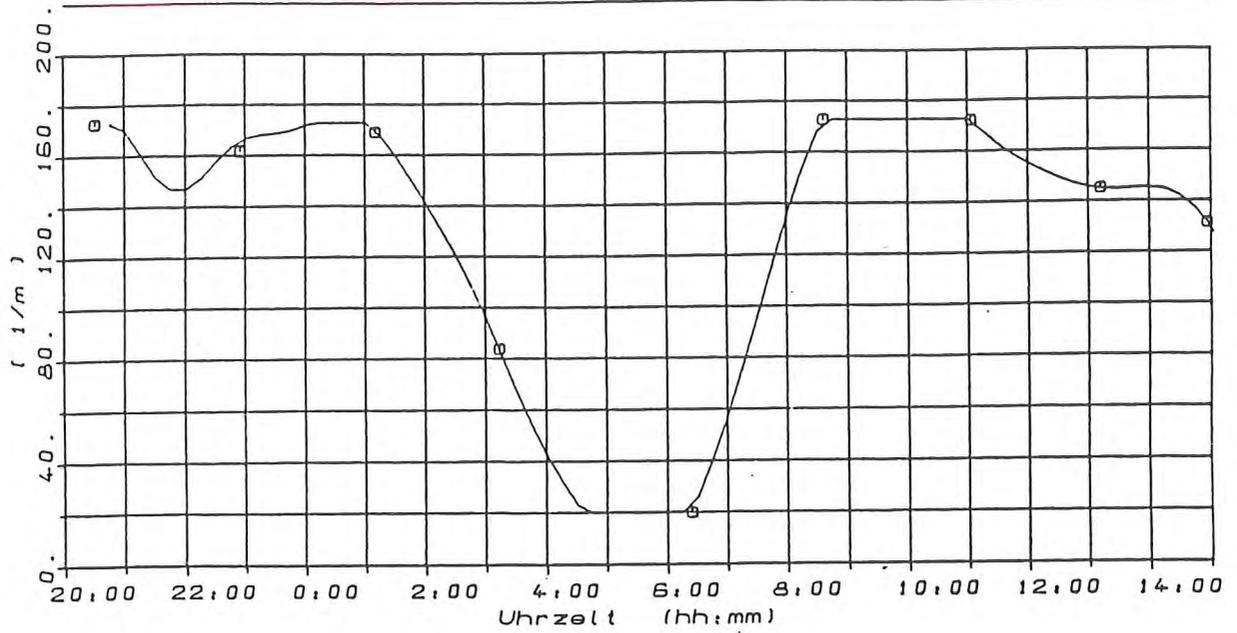
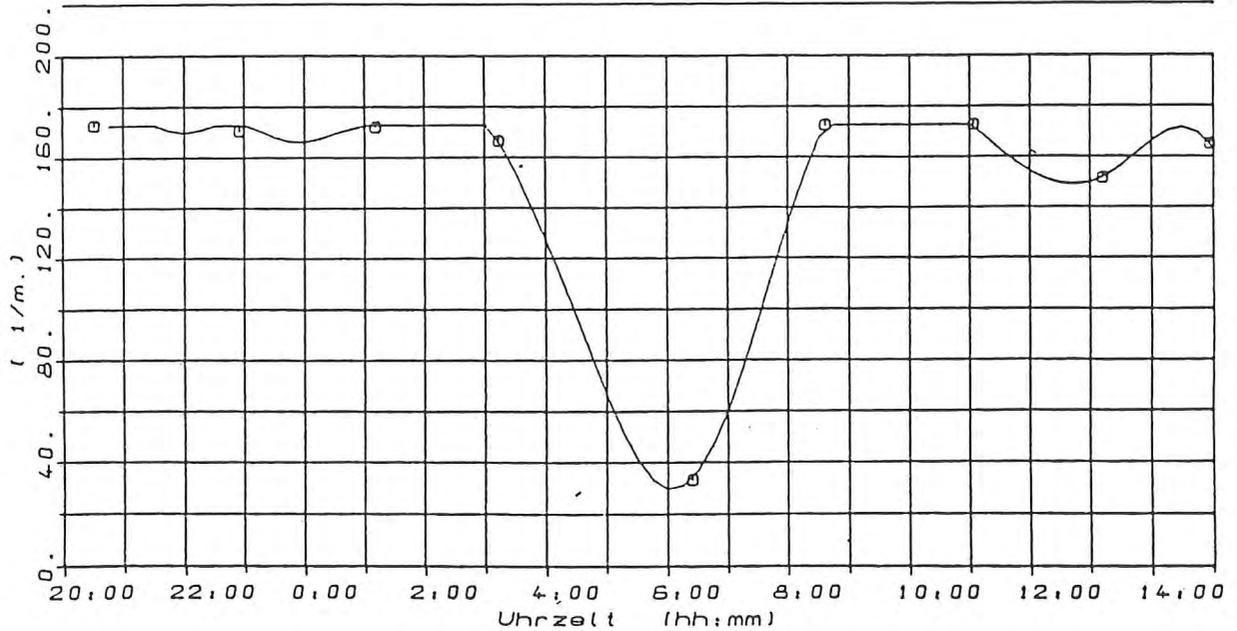


Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 7.m 26. -27.Sept.1983



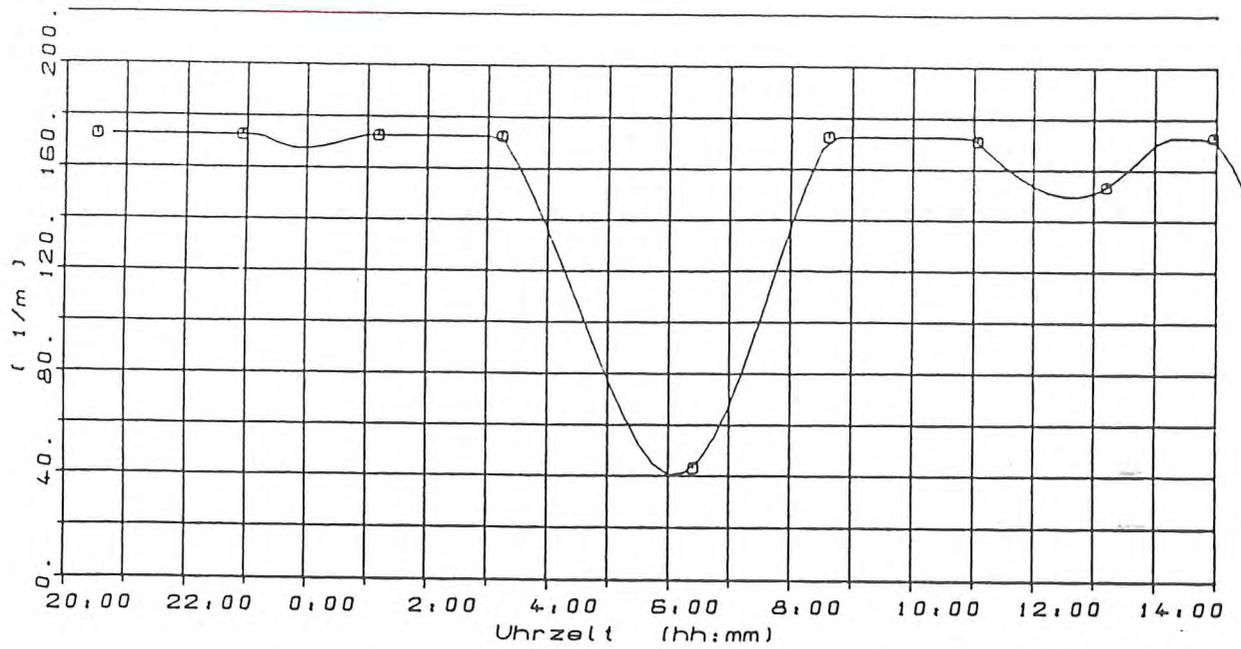
— 1 □ □ □ 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 8.m 26. -27. Sept. 1983



— 1 □ □ □ 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN- 9.m 26. -27. Sept. 1983



— 1 □ □ □ 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M1 Tiefe NN-10.m 26. -27. Sept. 1983

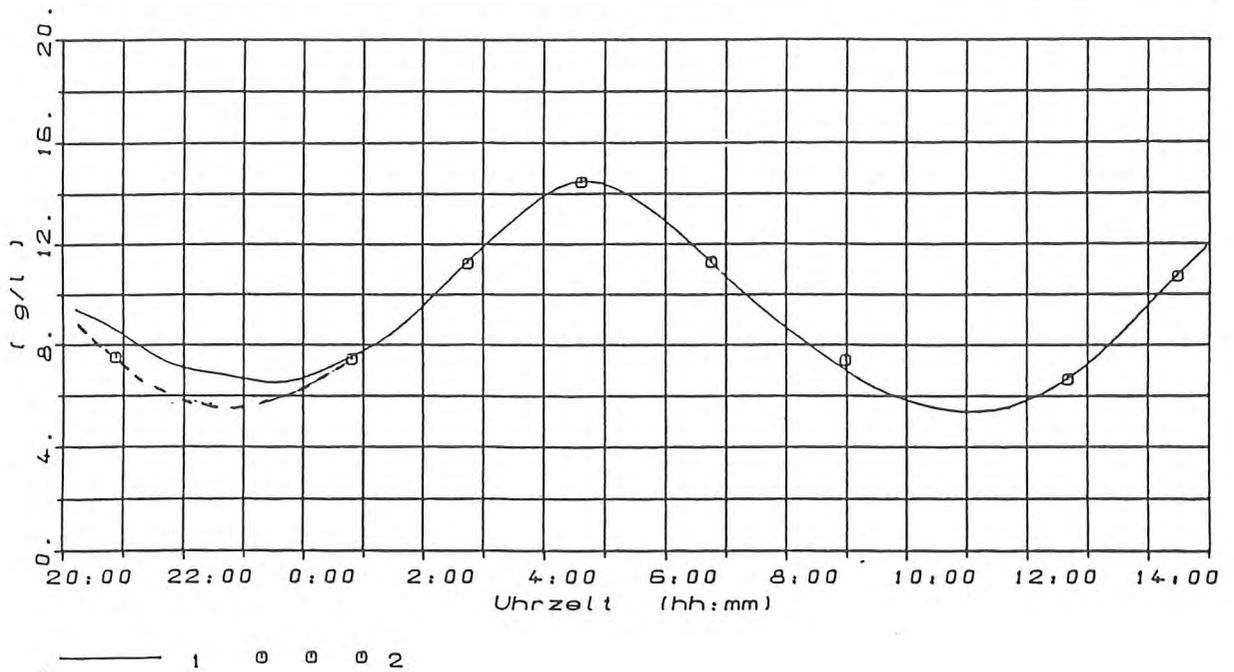


Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 2.m 26. -27.Sept.1983

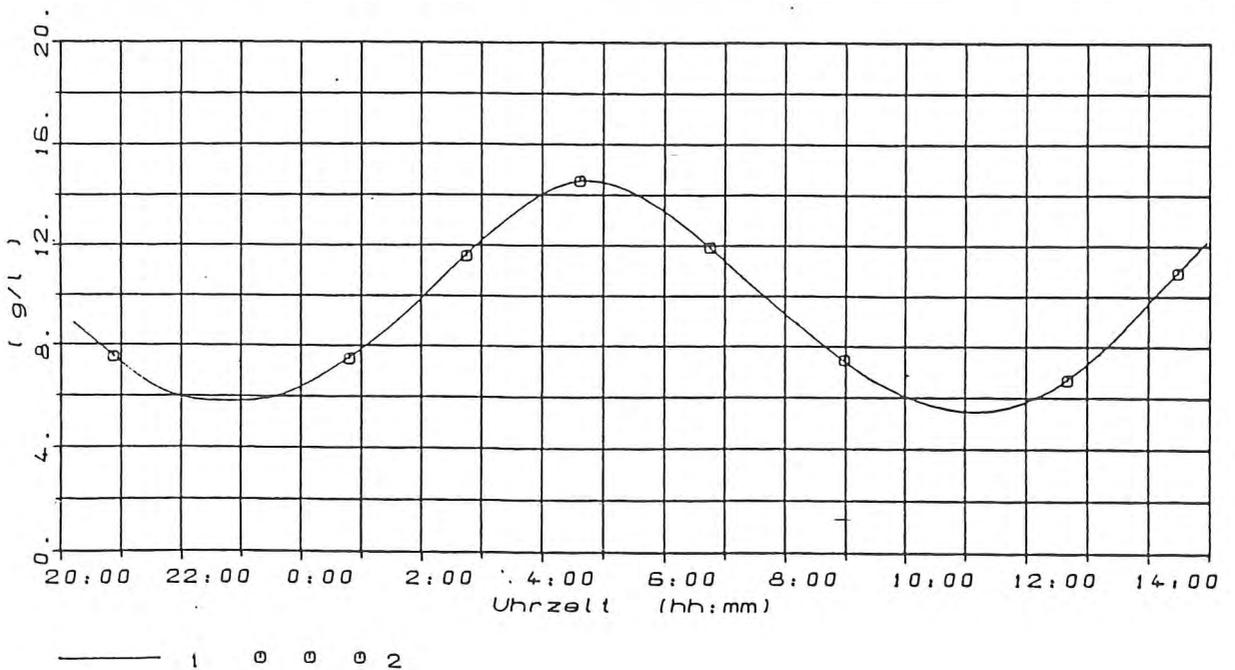


Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 3.m 26. -27.Sept.1983

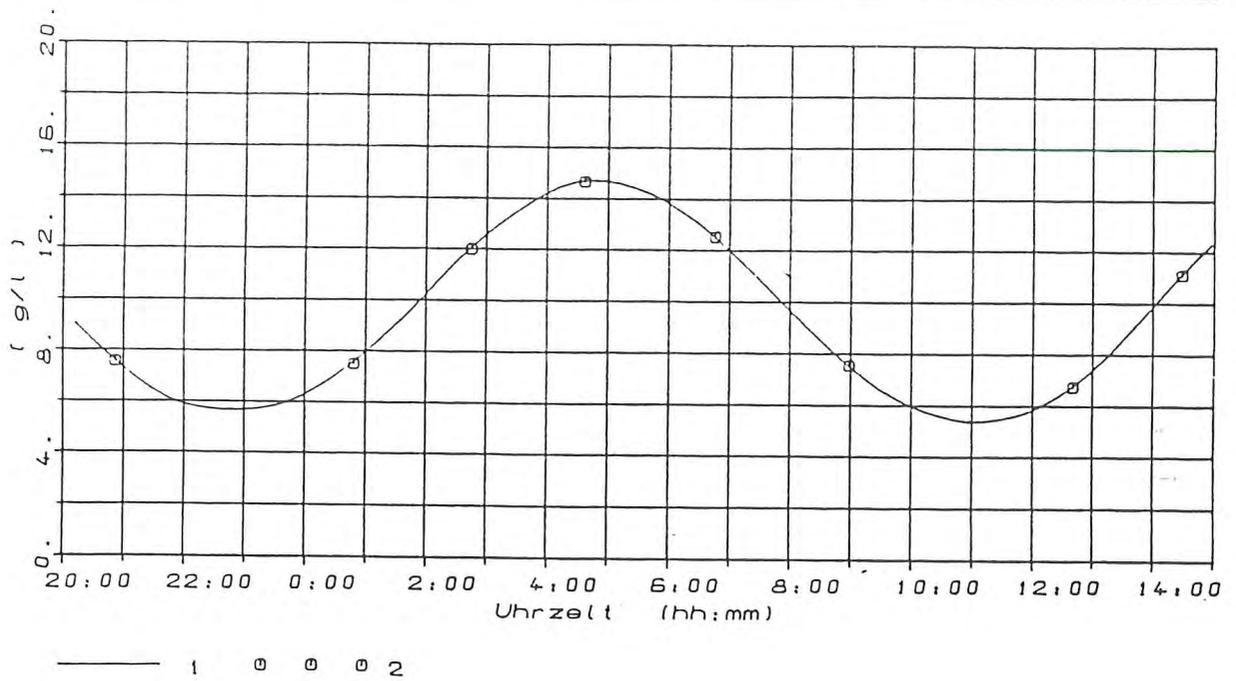


Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 4.m 26. -27. Sept. 1983

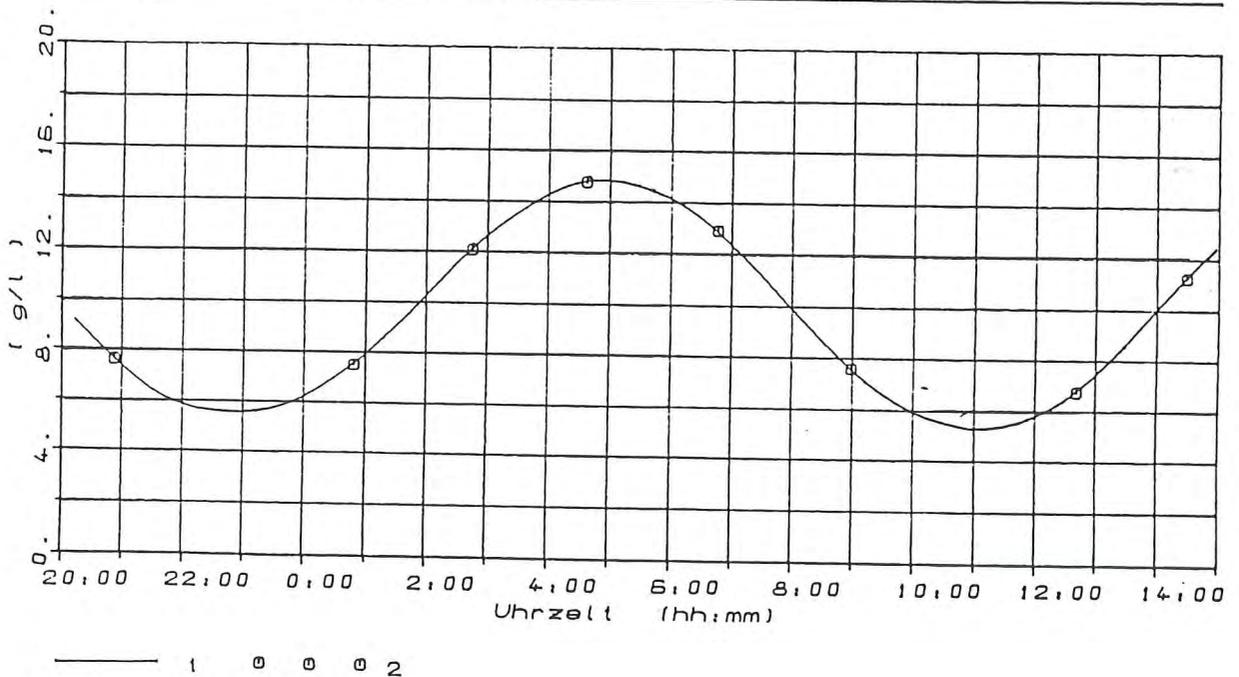
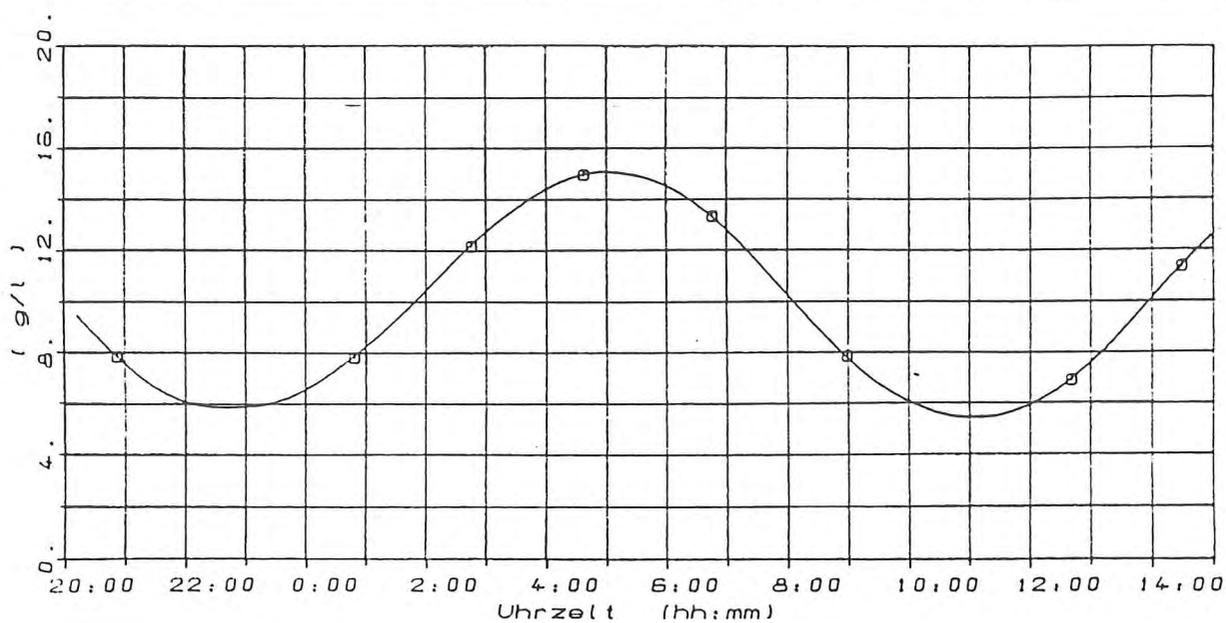
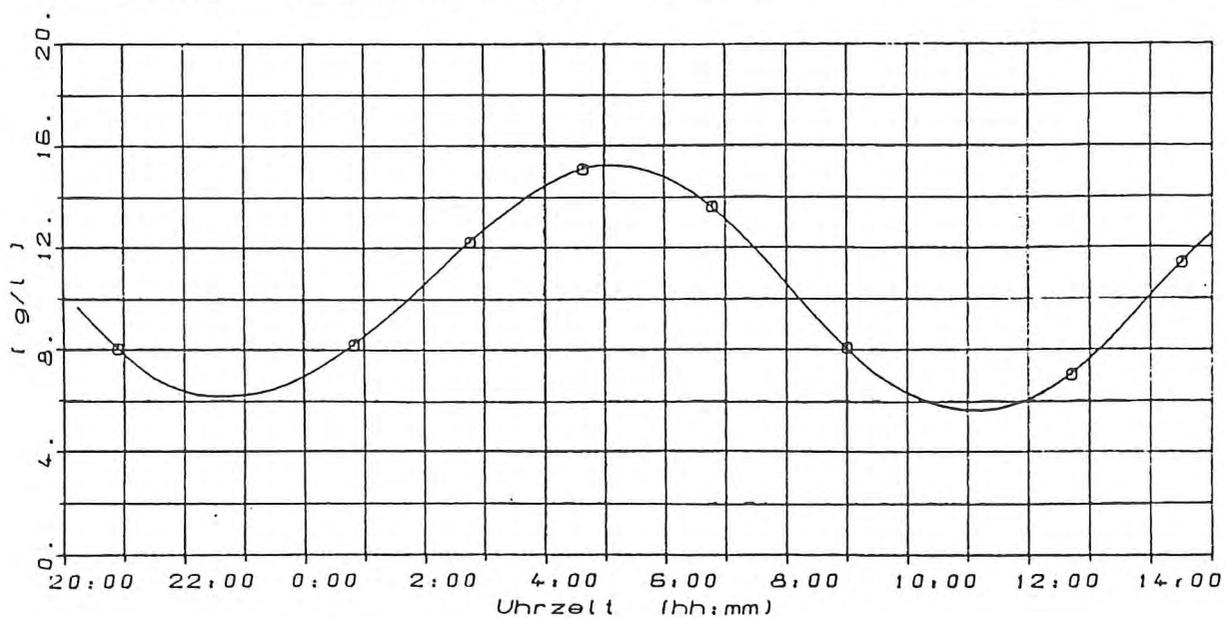


Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 5.m 26. -27. Sept. 1983



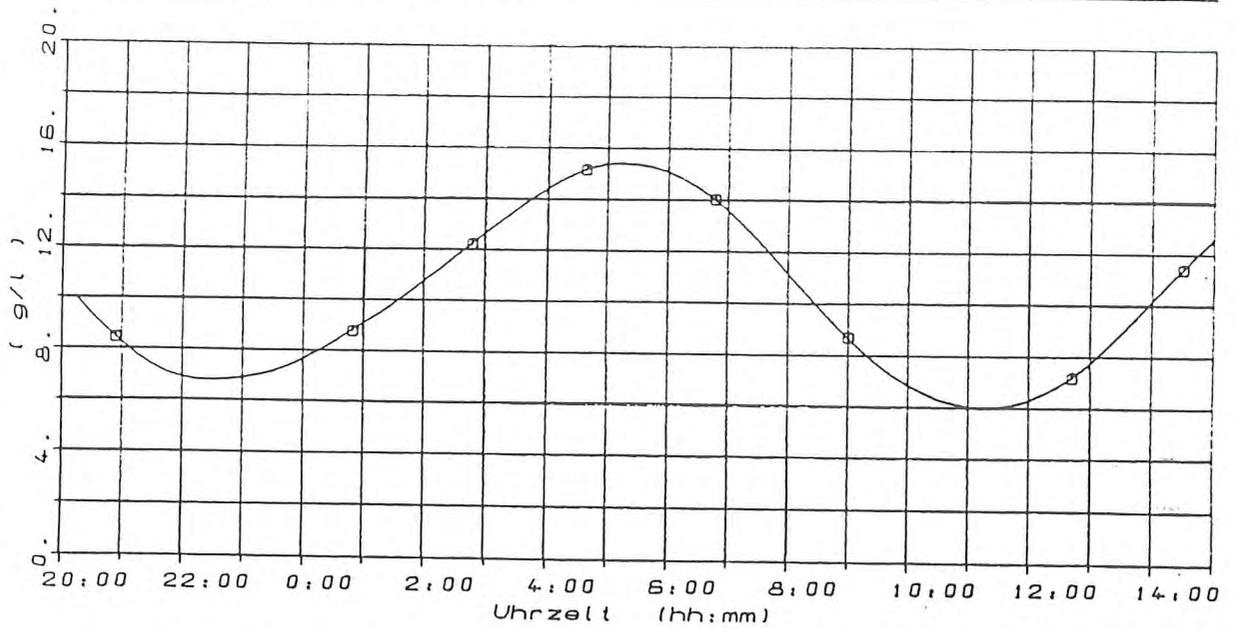
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 6.m 26. -27.Sept.1983



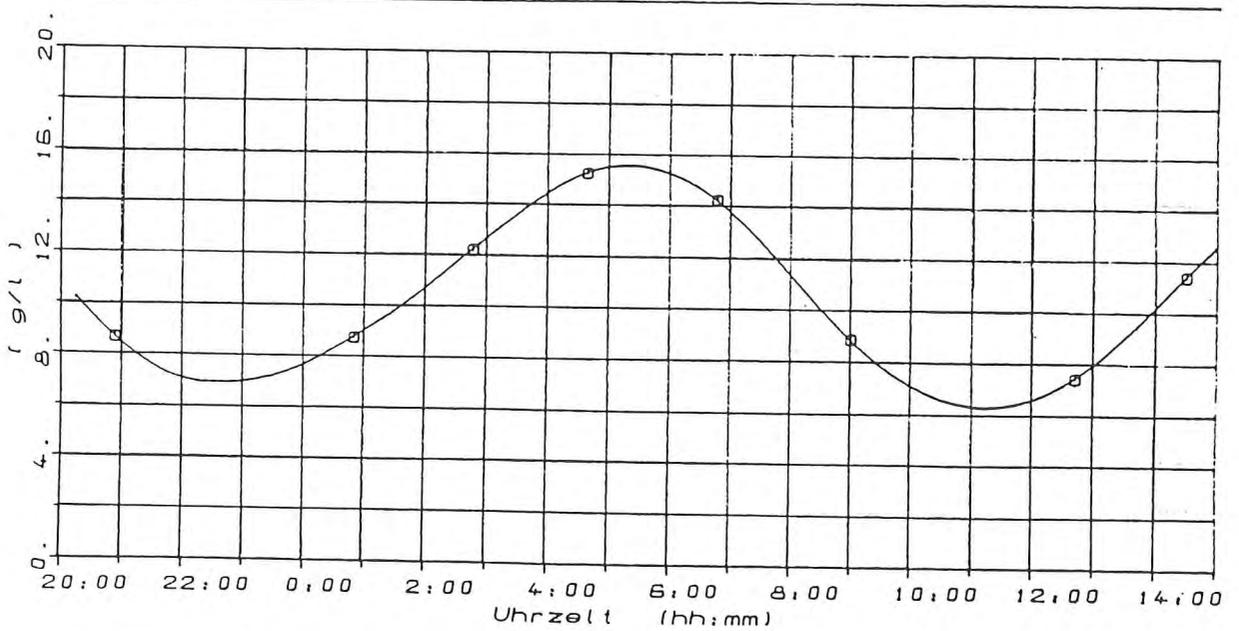
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 7.m 26. -27.Sept.1983



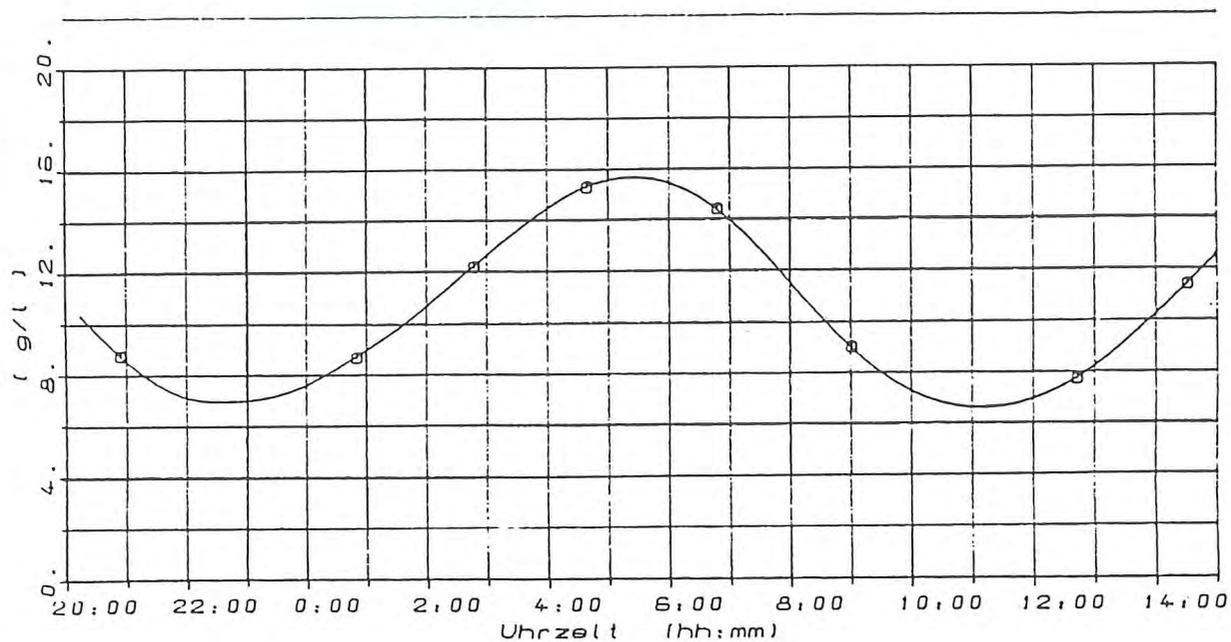
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 8.m 26. -27.Sept.1983



— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und Int. (2) Salzgehalte
Station M6 Tiefe NN- 9.m 26. -27.Sept.1983



— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich gem. (1) und (nt. (2) Salzgehalte
Station M6 . Tiefe NN-10.m 26. -27.Sept.1983

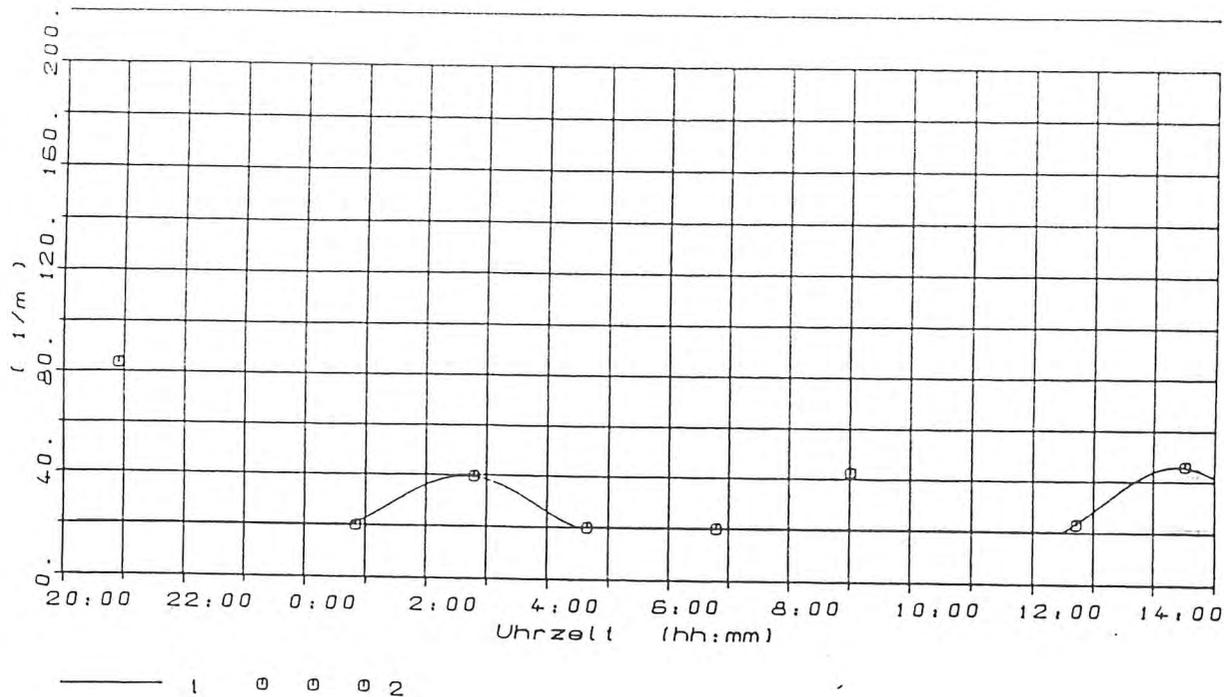


Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M6 Tiefe NN- 2.m 26. -27. Sept. 1983

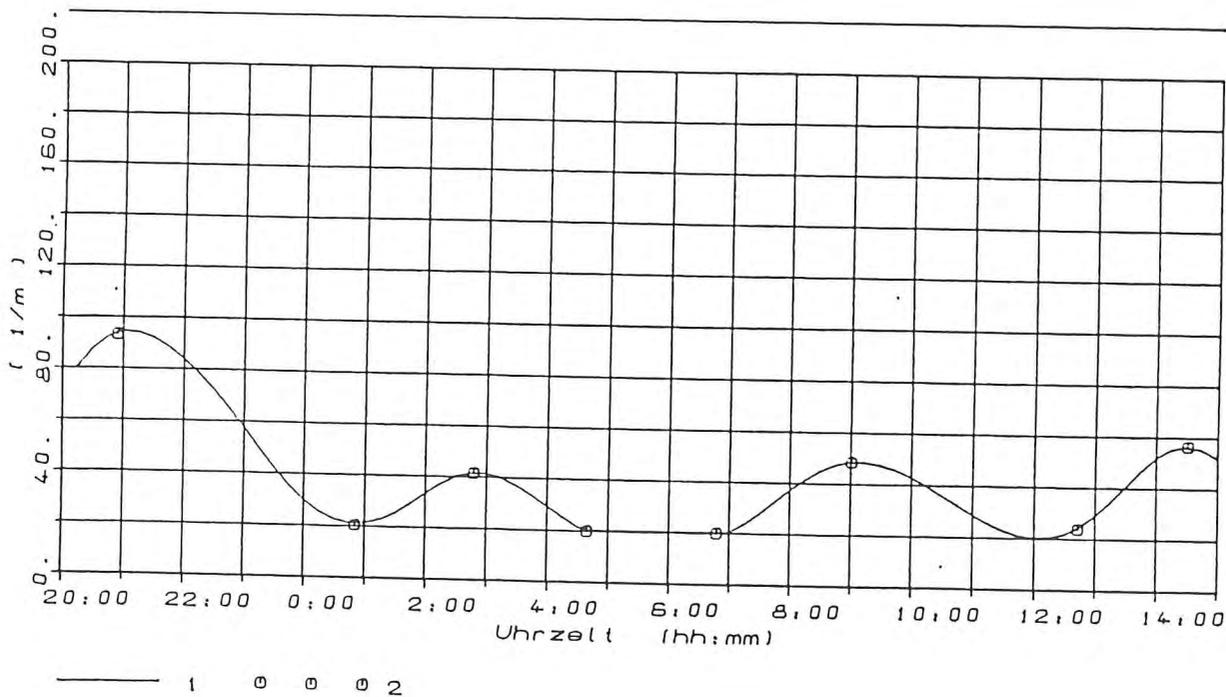
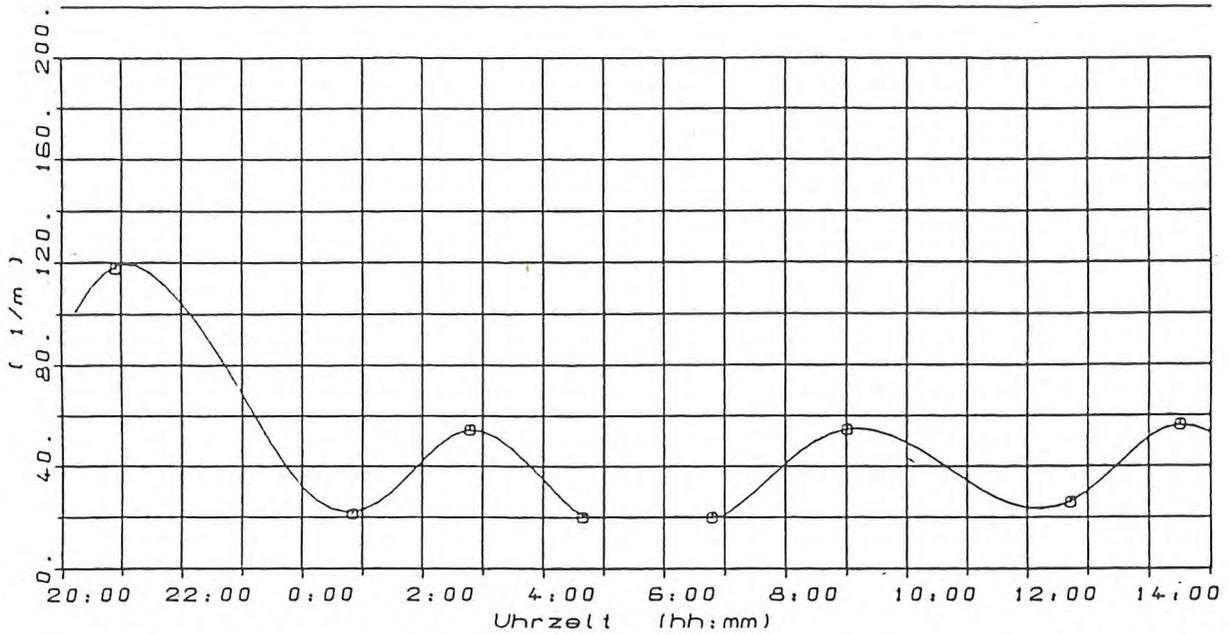
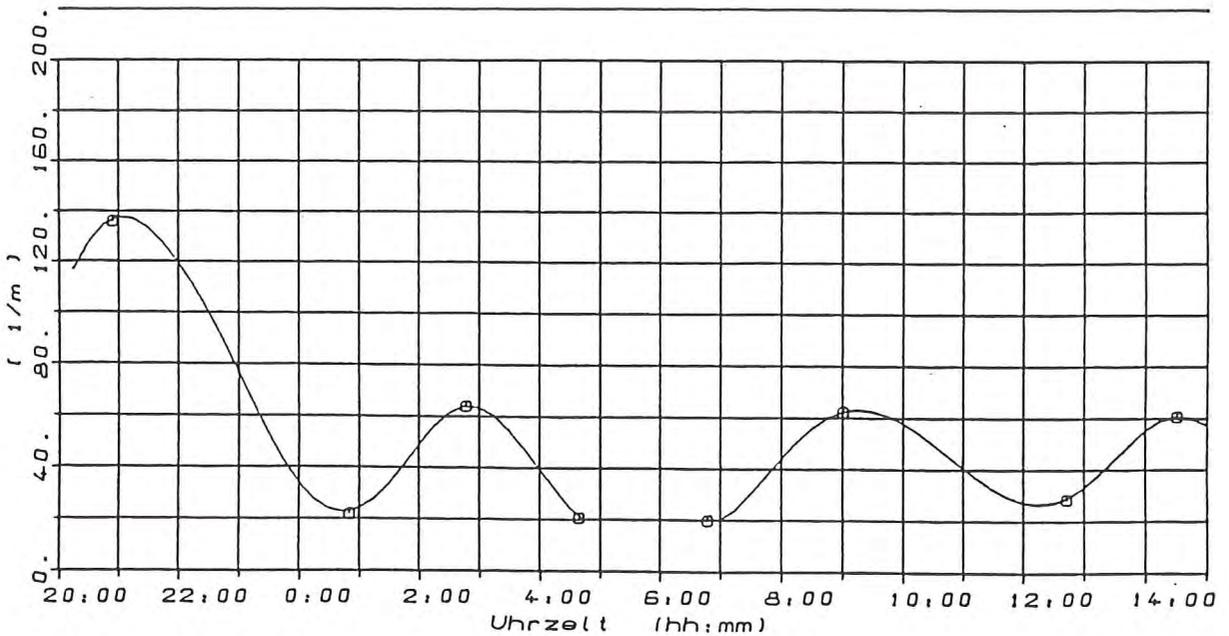


Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M6 Tiefe NN- 3.m 26. -27. Sept. 1983



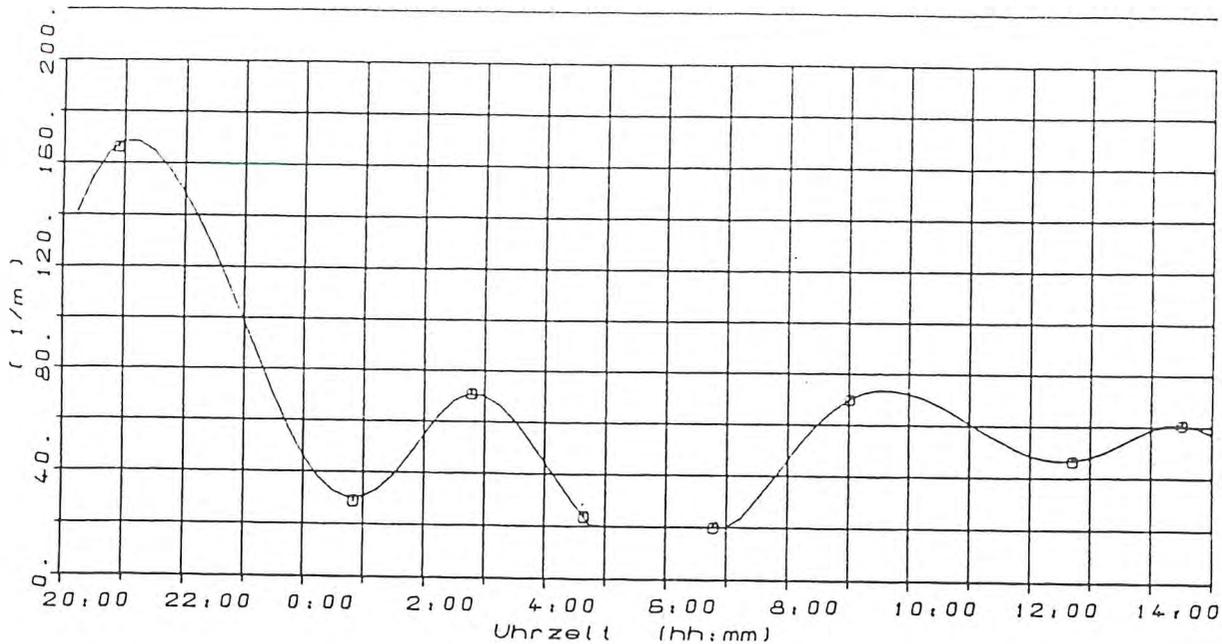
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M6 Tiefe NN- 4.m 26. -27.Sept.1983



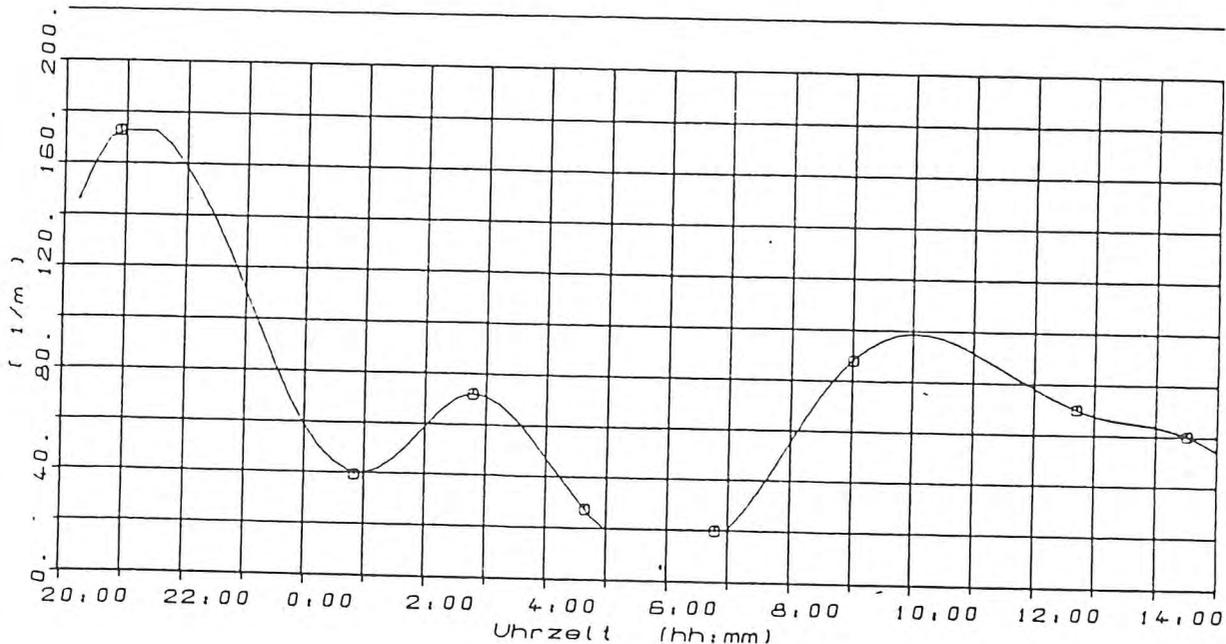
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M6 Tiefe NN- 5.m 26. -27.Sept.1983



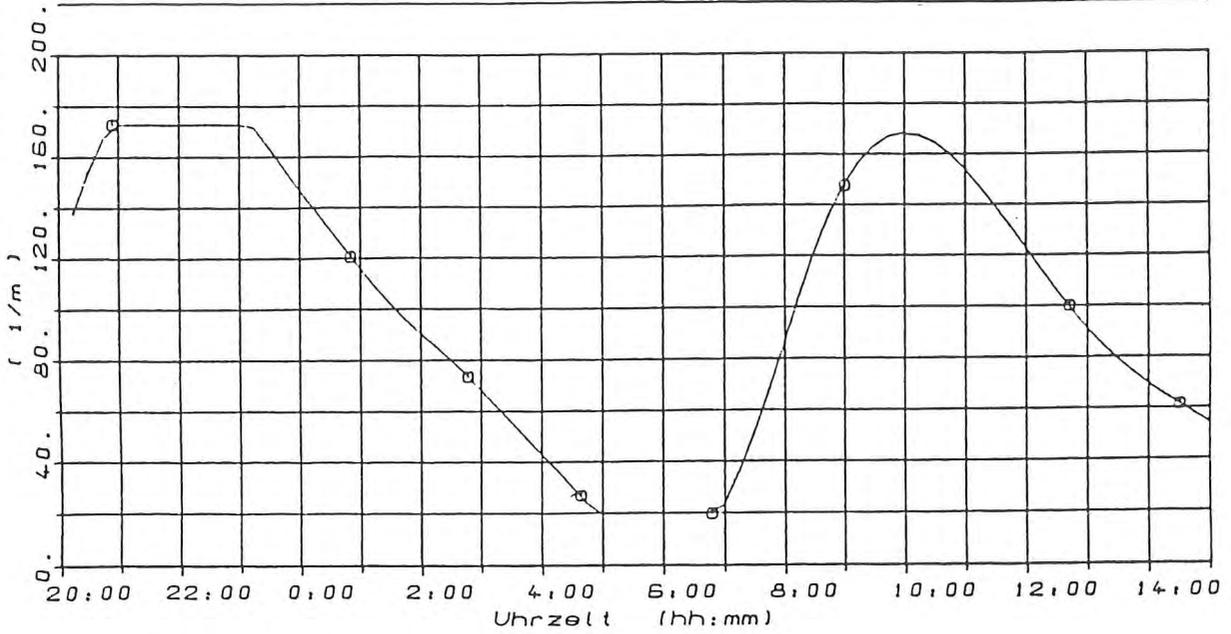
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M6 Tiefe NN- 6.m 26. -27. Sept. 1983



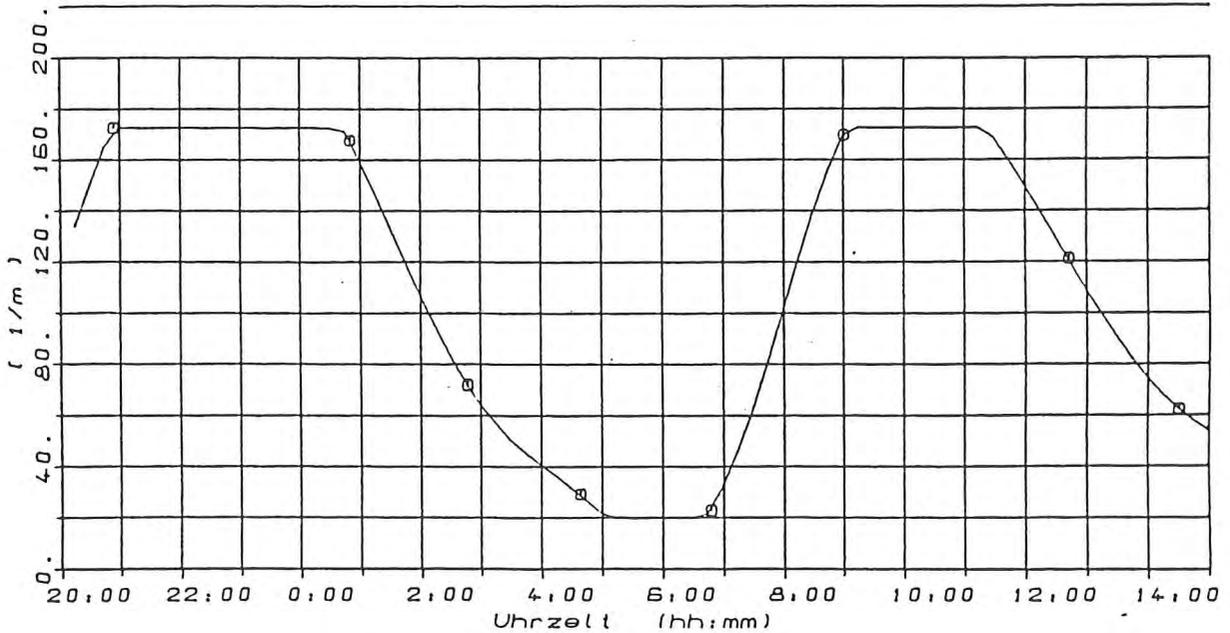
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M6 Tiefe NN- 7.m 26. -27. Sept. 1983



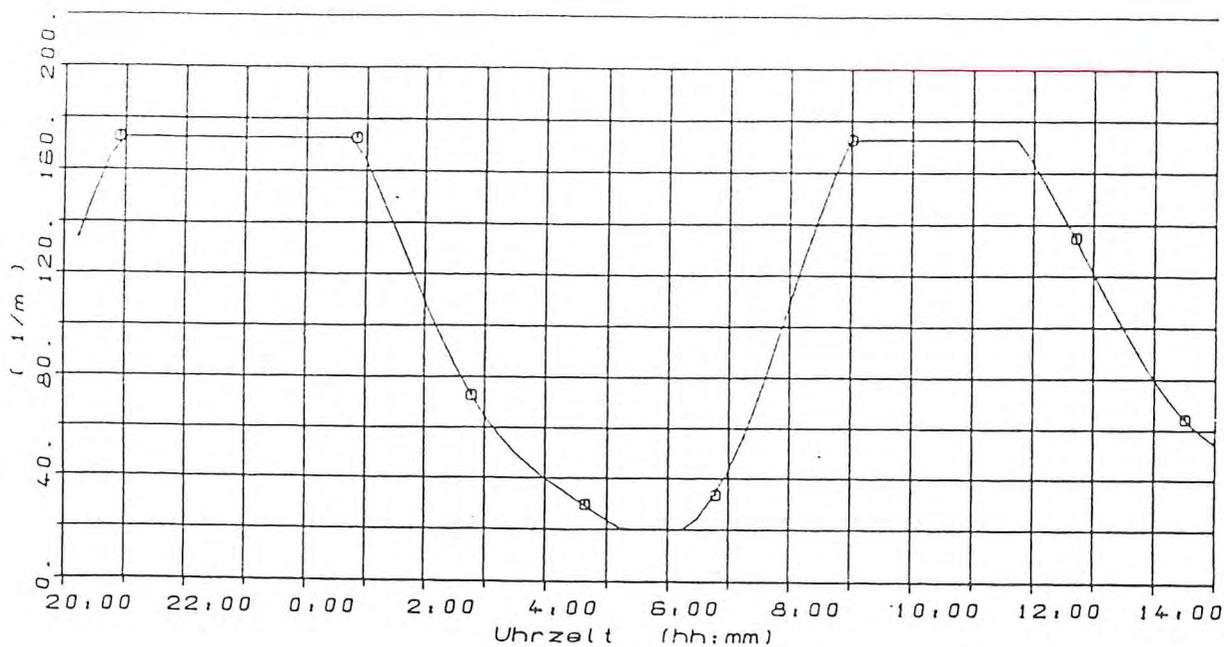
— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station MB Tiefe NN- 8.m 26. -27. Sept. 1983



— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station MB Tiefe NN- 9.m 26. -27. Sept. 1983



— 1 0 0 0 2

Abb. Vergleich Int. (1) und gem. (2) Attenuation
Station M6 Tiefe NN-10.m 26.-27.Sept.1983

Datenerfassung, Verarbeitung
und Analyseverfahren der
Schwebstoffproben und
Begleitparameter der AMO

Datenerfassung, Verarbeitung und Analyseverfahren der
Schwebstoffproben und Begleitparameter der AMO

Inhalt	Seite
A. Einführung	C 1
B. Datenerfassung auf der Meßstation Dortkaten (AMO)	C 2
1. Meßparameter	C 2
2. Datenerfassung	C 3
C. Datenverarbeitung	C 7
1. On - Line - Verarbeitung im Meßcontainer	C 7
2. Berechnungen im Meßcontainer	C 7
3. Datenverarbeitung auf einem Großrechner	C 10
D. Analyseverfahren	C 14
1. Suspensionsgehaltsbestimmung	C 15
2. Glühverlustbestimmung	C 15
3. Korngrößenbestimmung	C 16
E. Ergänzungen	C 16
EA. Mostra-Methode	C 17
EB. Systemabläufe im AMO-Rechner	C 20

A. EINFÜHRUNG

Die Meßstation Oortkaten (AMO) wurde als Prototyp im Rahmen eines KFKI-Projektes ("Schlick- und Schwebstoffe in Ästuar-aren") unter finanzieller Förderung durch das BMFT entwickelt.

Die Grundlage aller wissenschaftlicher Aussagen sind zuverlässige Meßergebnisse, gewonnen durch korrekte Datenerfassungssysteme und Meßstrategien, sowie durch exakte, auf das Untersuchungsmedium abgestimmte, Analyseverfahren.

Auf Grund dieser Erkenntnis wurde im o.a. Projekt von Beginn an größter Wert auf die Einhaltung dieser Prämissen gelegt.

Der vorliegende Bericht gibt zum einen Einblicke in die Durchführung der Messungen, ihren Möglichkeiten und Grenzen, zum anderen werden die Berechnungs- und Analyseverfahren vorgestellt.

Eine Bewertung der meßtechnisch bzw. analytisch oder numerisch bedingten Fehler wird hier nur am Rande erwähnt, da eine ausführliche Fehlerbetrachtung in Teil III vorgenommen wurde.

B. DATENERFASSUNG AUF DER MEßSTATION OORTKATEN (AMO)

1. Meßparameter

Auf der Meßstation werden folgende Parameter -in situ- gemessen:

- Temperatur
- Leitfähigkeit
- Sauerstoffgehalt
- ph-Wert
- Attenuation
- Strömungsgeschwindigkeit
- Strömungsrichtung
- Wasserstand (über Grund an der Stelle der Meßstation)
- Wassermenge, die als Probenwasser dient

Alle diese Meßdaten werden zunächst als Strom von 0 - 20 mA gemessen.

Neben diesen -in situ- Messungen werden "vor Ort" auf der Grundlage der gespeicherten Meßdaten:

- Mittelwerte aller obigen Parameter berechnet
- der theoretische Durchfluß auf 1m Flußbreite (sog. spezifischer Durchfluß) und
- der theoretische Durchfluß durch den Flußquerschnitt berechnet und gespeichert.

Die Untersuchung der gesammelten Schwebstoffproben wird in einem Labor durchgeführt. Neben einigen Parametern (Multi-elementanalyse), die nicht Thema des Forschungsvorhabens sind, werden diese Proben untersucht auf:

- Korngrößenverteilung für die Klassen
 - > 100 um
 - 60 - 100 um
 - 40 - 60 um
 - 20 - 40 um
 - 10 - 20 um
 - < 10 um

- Glühverlustgehalt und
- Schwebstoffgehalt.

Parallel zu den automatisch gesammelten Proben wurden von Herrn N. Greiser im Rahmen seines Auftrages, einer Untersuchung der biologischen Einflüsse auf den Schwebstoffgehalt, Proben genommen, z.T. aus den automatisch gesammelten Proben, z.T. parallel dazu einzelne Handproben mit einem Wasserschöpfer.

Die Untersuchungsparameter und die Untersuchungsmethoden dieser biologischen Analysen sind im Anhang Teil D ausführlich dargestellt und werden in diesem Kapitel nicht weiter behandelt.

2. Datenerfassung

Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt werden in einem Meßschrank on-line gemessen. Die Meßfühler werden dabei mit Elbwasser beaufschlagt, das durch eine 25m lange Leitung bis zum Meßschrank gepumpt wird. Die dabei auftretende Verzögerung zur Messung in der Elbe beträgt ca. 60 Sekunden. Veränderungen der Zustandsgrößen sind von Parameter zu Parameter unterschiedlich und steigen für Temperatur und Sauerstoff um ca. 10 bis 20 % an, während für die Leitfähigkeit die selben Werte im Meßschrank wie im Fluß gemessen werden.

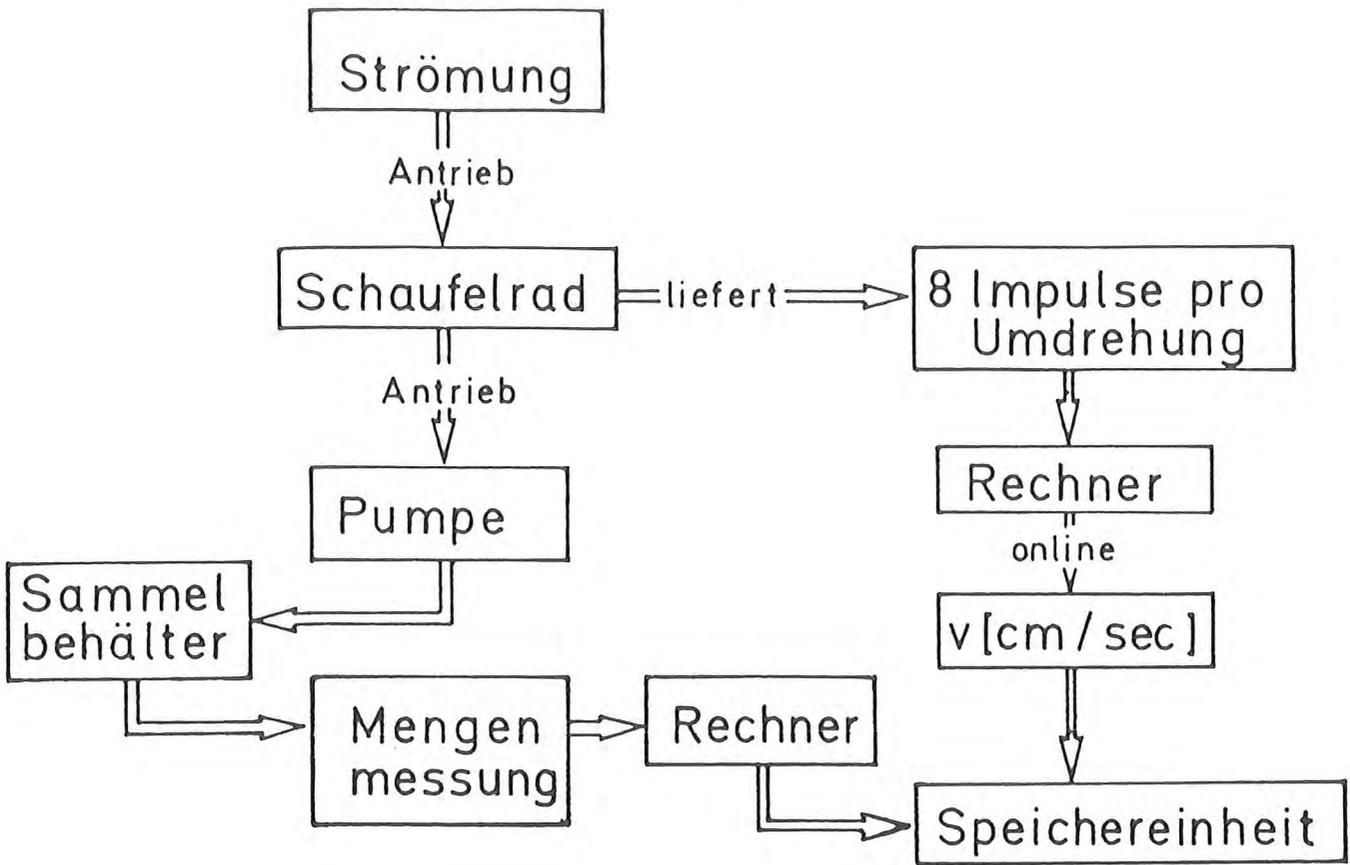
Strömungsmessung und Attenuationsmessung erfolgen auf der Meßbühne zwischen den beiden Meßpfählen. Die gute Durchspü-

lung, die auf Grund des Venturi-Effektes eintritt, verhindert ein frühzeitiges Verschmutzen des Attenuationsmeters, so daß diese Daten als zuverlässig anzusehen sind. Die Strömungsmessung ergibt jedoch innerhalb der Pfähle erheblich höhere Werte als im umgebenden Flußbereich. Daher wurde eine entsprechende Anpassung der Strömungsmessung an die ungestörten Verhältnisse vor den Pfählen vorgenommen. Ein Einfluß des Pontons auf die Messungen konnte trotz mehrmaliger Feldversuche nicht festgestellt werden. An dieser Stelle muß erwähnt werden, daß für den Zeitraum Juli 1984 bis Ende 1984 das IKARUS-System zur Strömungsmessung eingesetzt wurde. Mit Beginn der Messungen 1985 bis Ende 1986 wurde dann ein akustischer Strömungsmesser der Fa. *Meerestechnik Elektronik* eingesetzt, bei dem größere Eichungen im Juli 1985 und April 1986 notwendig waren.

Die Wasserstandsmessungen wurden mit einem Druckmesser durchgeführt. Dieser war mit einem Druckausgleichsschlauch für den atmosphärischen Druck ausgestattet. Die für solche Geräte bekannte Temperaturabhängigkeit konnten im Meßzeitraum nicht berücksichtigt werden. Dadurch auftretende Fehler bzw. Gänge in den Meßprotokollen wurden jedoch bislang nicht erkannt. Das läßt darauf schließen, daß bei der Meßwerterfassung über den Drucksensor Temperaturänderungen nicht zu entscheidenden Meßfehlern geführt haben.

Die Erfassung der Probewassermenge wurde mit induktiv arbeitenden Füllstandsmessern durchgeführt. Da es bei der schnellen Messung zu Ungenauigkeiten der Ergebnisse bei Bewegungen im Tank kam, wurde von vornherein das Ergebnis dieser Messung nur als Vergleichswert betrachtet. Für die spätere

(Isokinetische Ansaugregelung u. Strömungsmesser)



IKARUS - PRINZIPIESKIZZE

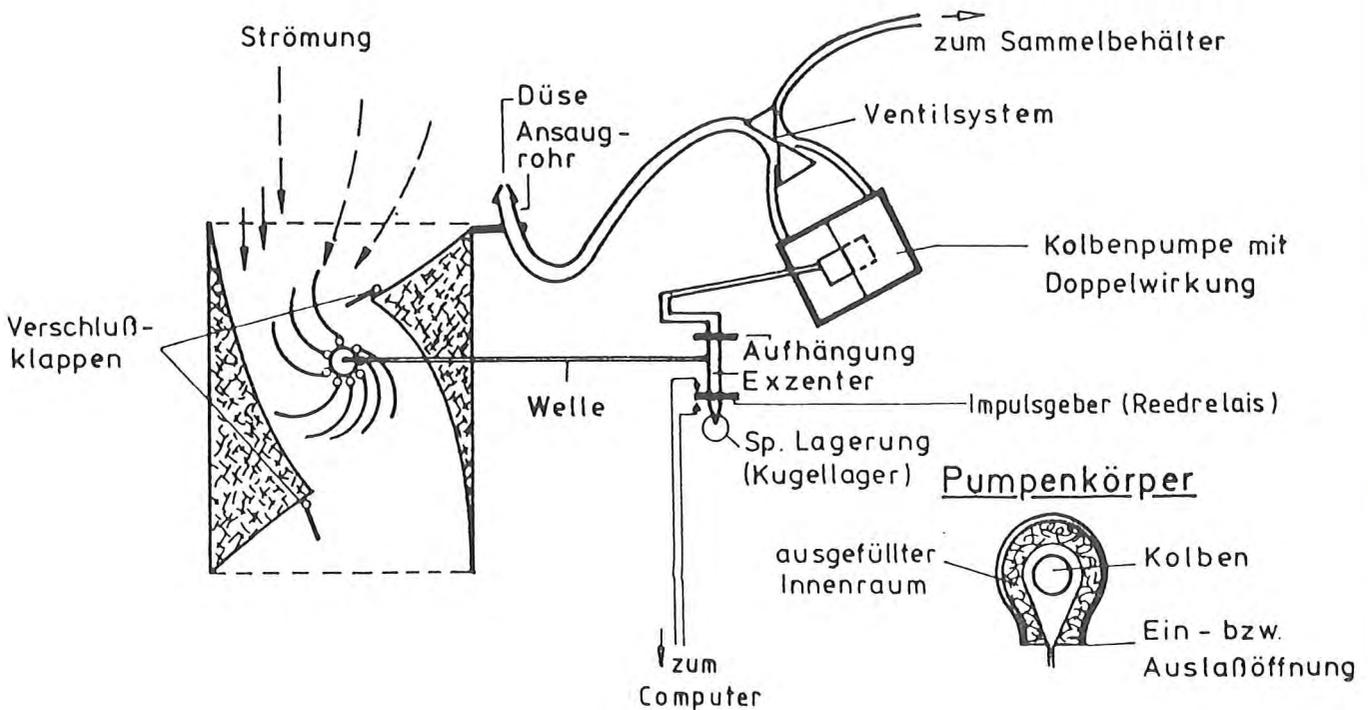


Abb. B.2.1

Datenverarbeitung und Umrechnung der zentrifugierten Probenmenge auf die Tankinhalte wurde bis Ende 1984 die Taktfolge des IKARUS-Systems benutzt. (Pro Umdrehung des Systems wurden 8 Impulse abgegeben, die einer definierten geförderten Wassermenge entsprachen, siehe Abb. B.2.1).

Ab 1985 bis Ende der Messungen 1986 wurde eine Kippschau-
feleinrichtung (Abb. B.2.2) zur Messung der Tankzulaufmengen
benutzt, die ebenfalls Takte lieferte, die der Schaufelmenge
entsprachen. Da für detaillierte Untersuchungen bzw. weiter-
führende Forschungen auf dem Gebiet der Mengenmessung keine
Zeit war, mußte mit diesem Gerät gearbeitet werden. Ein
Fehler von +/- 5% ist dabei nicht auszuschließen.

KIPPSCHAUFELMECHANISMUS ZUR VOLUMENMESSUNG

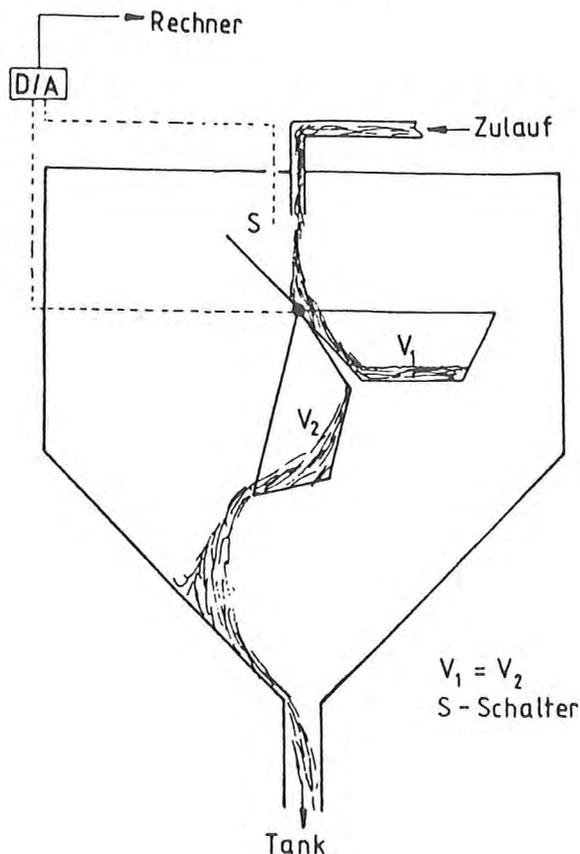


Abb. B.2.2

C. DATENVERARBEITUNG

1. On-Line - Verarbeitung im Meßcontainer

Die Meßparameter aus Abschnitt B.1, die einem Strom von 0-20 mA entsprachen, wurden in einem Prozeßrechner über Eichkurven auf physikalische Werte umgerechnet. Die entsprechenden Eichkurven, die natürlich für jeden Parameter unterschiedlich waren, wurden nach jeder Eichung (ca. 1 mal wöchentlich) neu angepaßt. Die dabei entstehenden Sprünge wurden später auf der Großrechenanlage korrigiert (s. Abschnitt C.3).

Die auf jeder Meßposition erfaßten und dann umgerechneten Werte wurden gespeichert bis ein Durchlauf zwischen Oberfläche und Boden abgelaufen war. Danach wurden alle gespeicherten Werte zu einem sogenannten Durchlaufwert gemittelt. Parallel zu dem Durchlaufwert wurden Gruppenwerte der Tiefenstufen 0-1m, 1-3m und 3-6m über Grund gemittelt. Diese Mittelwerte wurden nun in einem Zwischenspeicher im Rechner abgelegt und auf einer Kassette gespeichert. Den genannten Ablauf der Berechnungen und Mittelungen zeigt Abb.C.1.1.

2. Berechnungen im Meßcontainer

Neben der eigentlichen Datenspeicherung werden die Parameter Durchfluß und spezifischer Durchfluß vor der Datenspeicherung aus den physikalischen Daten berechnet und anschließend

STEUERUNGSROUTINEN DES AMO-PROZESSRECHNERS

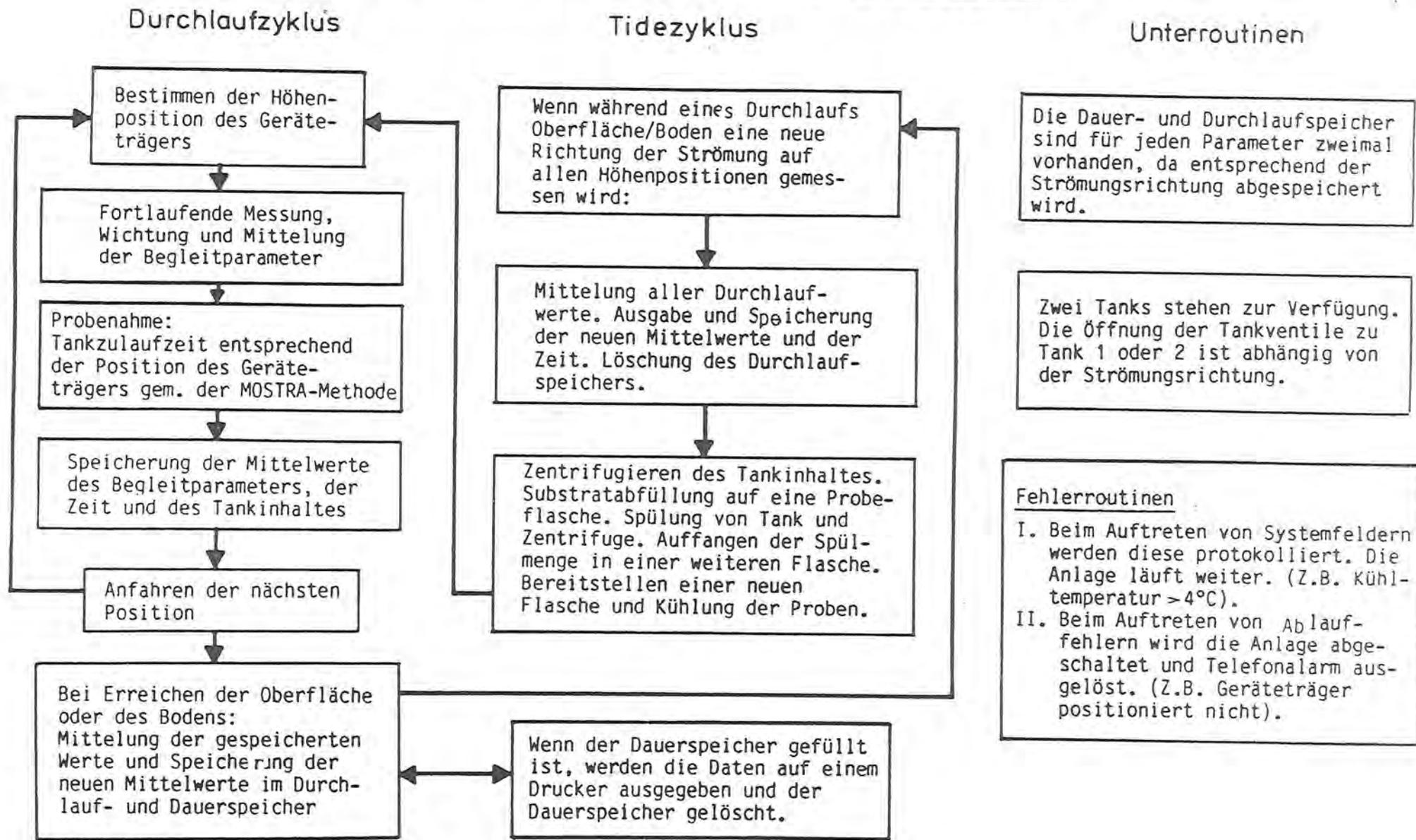


Abb. C.1.1

Ausdruck der Speicherkassette

Kennung*	Datum	Uhrzeit	pH-Wert	Wasserstand	Geschwindigkeit**	spez. Durchfluß	Durchfluß	Trübung	Tankinhalt		
/DL	18.11.86	00.20	7.380	09.20	1.263	08.201	05.70	0.35	00.55	098.75	096.07
/G01	18.11.86	00.20	7.380	09.20	1.264	08.201	05.70	0.35	00.55	103.34	102.60
/G02	18.11.86	00.20	7.380	09.20	1.264	08.184	05.47	0.35	00.55	103.34	102.60
/DL	18.11.86	00.45	7.380	09.20	1.264	08.201	05.70	0.35	00.55	110.99	108.27
/G01	18.11.86	00.45	7.380	09.20	1.264	08.184	05.47	0.35	00.55	110.99	108.27
/G02	18.11.86	00.45	7.380	09.20	1.264	08.221	05.45	1.03	02.06	110.99	108.27
/DL	18.11.86	01.11	7.380	09.20	1.265	08.224	05.29	0.95	05.07	116.65	114.20
/G01	18.11.86	01.11	7.380	09.20	1.264	08.250	05.29	0.55	00.55	116.65	114.20
/G02	18.11.86	01.11	7.380	09.20	1.264	08.231	05.29	1.11	02.23	116.65	114.20
/DL	18.11.86	01.34	7.380	09.20	1.266	08.279	05.15	0.96	04.97	122.93	121.40
/G01	18.11.86	01.34	7.380	09.20	1.264	08.281	05.16	0.57	00.57	122.93	121.40
/G02	18.11.86	01.34	7.380	09.20	1.265	08.279	05.15	1.11	02.22	122.93	121.40
/DL	18.11.86	01.58	7.380	09.20	1.268	08.290	05.01	0.97	04.88	122.93	121.40
/G01	18.11.86	01.58	7.380	09.20	1.265	08.292	05.02	0.56	00.56	122.93	121.40
/G02	18.11.86	01.58	7.380	09.20	1.267	08.290	05.01	1.12	02.25	122.93	121.40
/DL	18.11.86	02.21	7.380	09.20	1.269	08.288	04.94	0.89	04.40	122.93	121.40
/G01	18.11.86	02.21	7.380	09.20	1.272	08.292	04.97	0.46	00.46	122.93	121.40
/DL	18.11.86	02.47	7.378	09.20	1.272	08.297	05.32	0.13	00.70	122.93	121.40
/G01	18.11.86	02.47	7.380	09.20	1.273	08.292	05.34	0.06	00.06	122.93	121.40
/G02	18.11.86	02.47	7.380	09.20	1.270	08.295	05.32	0.12	00.25	122.93	121.40
/TE	18.11.86	02.36	7.393	09.20	1.261	07.885	06.37	0.86	05.49	006.93	039.56
/DL	18.11.86	03.17	7.380	09.20	1.273	08.292	06.03	-0.46	02.83	006.93	039.56
						08.287	06.03	-0.53	01.07	018.90	039.56
								-0.59	03.90	018.90	039.56
									0031.30	018.90	039.56

*Kennung : 001 = 0-1 ■ Ub.Grund
 002 = 1-3 ■ Ub.Grund
 003 = 3-6 ■ Ub.Grund
 DL = Mittel Grund-Oberfläche
 TE = Mittel Ebbe

**Geschwindigkeit : Vorzeichen - :Flut
 Vorzeichen + :Ebbe

B

62	Tide	: Ebbe	Zeit	04.07.86:11.51
63				
64				
65	PH-Wert	=	000007.27	
66	O2-Wert	=	000005.84	
67	Leitfaehigkeit	=	000001.21	
68	Temperatur	=	000025.20	Probe Nr. 20
69	Wasserstand	=	000005.77	
70	Stroemung	=	000000.72	
71	Spez. Durchfl.	=	000004.19	Spülung Nr. 21
72	Durchfluß	=	001022.84	
73	Truebung	=	000000.00	
74	Pulsg.-Fuellst.	=	000079.04	
75	Analog-Fuellst.	=	000075.69	
76				
77				
78	Tide	: Flut	Zeit	04.07.86:16.40
79				
80				
81	PH-Wert	=	000007.18	
82	O2-Wert	=	000006.00	
83	Leitfaehigkeit	=	000001.23	
84	Temperatur	=	000025.17	Probe Nr. 22
85	Wasserstand	=	000006.87	
86	Stroemung	=	000000.32	
87	Spez. Durchfl.	=	-00002.25	Spülung Nr. 23
88	Durchfluß	=	-00598.99	
89	Truebung	=	000000.00	
90	Pulsg.-Fuellst.	=	000013.20	
91	Analog-Fuellst.	=	000039.56	

Gemittelte Durchlaufwerte

Abb. C.2.1

im Zwischenspeicher und auf Kassette abgespeichert. Einen Ausdruck der Speicherkassette zeigt Abb. C.2.1A. Die im Speicher des Prozeßrechners enthaltenen Durchlaufwerte werden nun nach jeder Halbtide erneut gemittelt und auf Kassette gespeichert (Ausdruck s. Abb. C.2.1B).

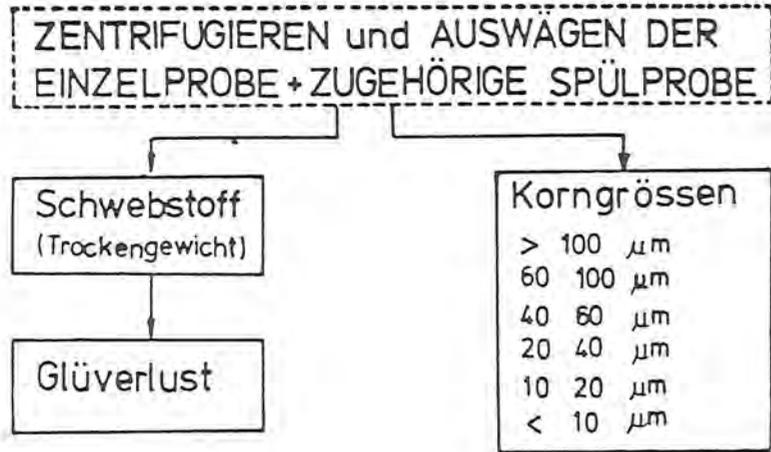
Die Art der Datenwichtung und -verarbeitung ist angepaßt an die MOSTRA-Methode (siehe Ergänzung A). Daneben wird in Ergänzung B die Softwarebeschreibung des Prozeßrechners vorgestellt. Diese Ergänzung gibt einen Überblick über die Datenverarbeitung der eingehenden Meßdaten, sowie der eingehenden Systemzustände.

3. Datenverarbeitung auf einer Großrechenanlage

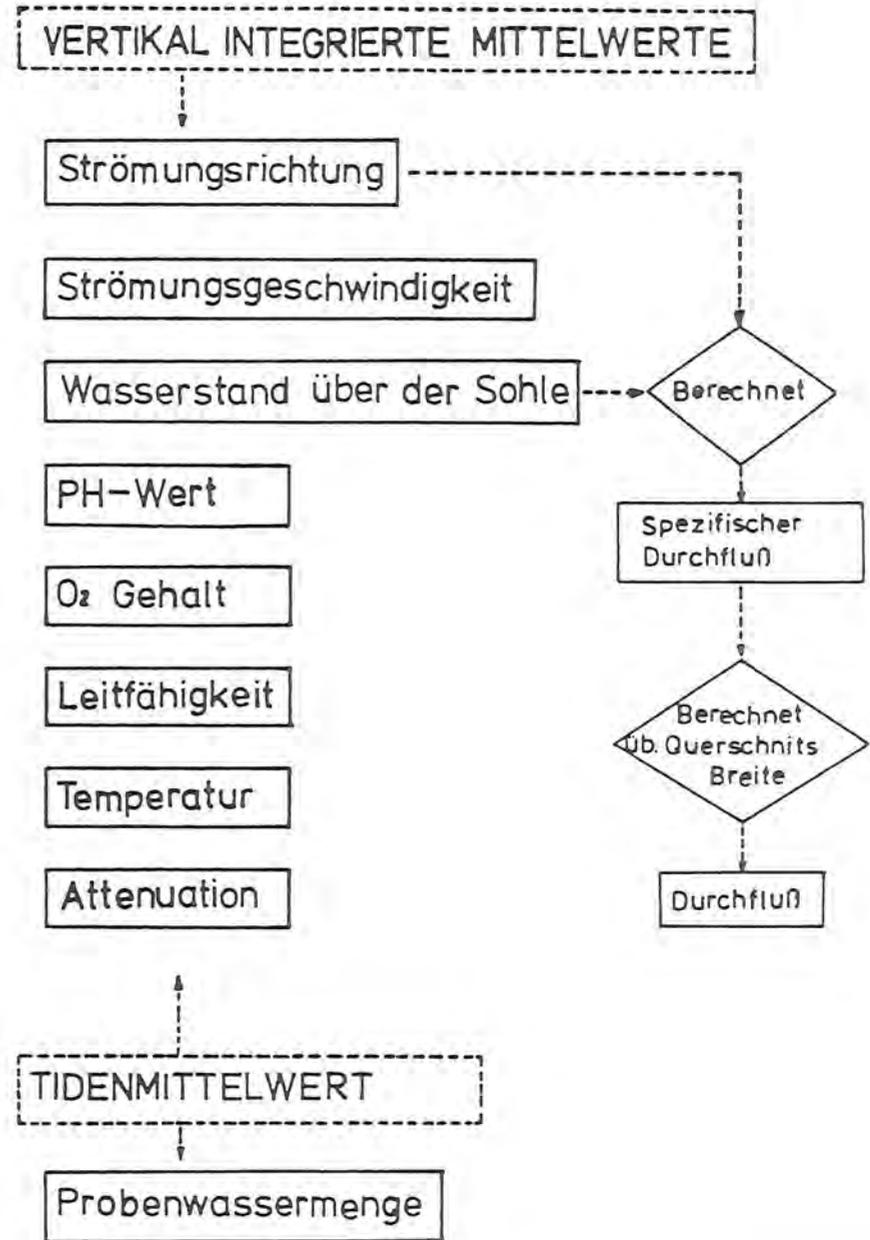
Eine entgeltige Datenverarbeitung ist auf Grund der Datenmenge (ca. $1,5 \times 10^6$) nur noch auf einer Großrechenanlage möglich. Hierzu wurde die Siemens-Anlage der Hamburger Verwaltung eingesetzt. Benutzt wurde das Betriebssystem BS 2000. Hierfür sind auch alle Prozeduren (Jobkarten) ausgelegt.

Die folgende Beschreibung wird anhand der Abb. C.3.1 und C.3.2 erläutert. Die AMO-Daten werden in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe (Stationsdaten) ist direkt von der Meßstation gemessen und auf Kassette gespeichert worden. Dazu gehören die Daten pH-Wert, Sauerstoff, Leitfähigkeit, Temperatur, Attenuation, Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit, Durchfluß, spezifischer Durchfluß und Tankinhalt. Sie sind als Durchlaufwerte gespeichert, d.h. als arithmetische

LABOR PARAMETER



IN-SITU PARAMETER



BERECHNUNGSFORMALISMUS DER

AMO-DATEN

Transporte

a) Ebbe

$$T_E = K_E \cdot Q_E$$

b) Flut

$$T_F = K_F \cdot Q_F$$

c) Netto

$$T_N = T_E - T_F$$

 $T_E/T_F/T_N$ - Transport Ebbe/Flut/Netto

K_E/K_F - Konzentration Ebbe/Flut

Q_E/Q_F - Wassermenge Ebbe/Flut

Transporte pro Sekunde

a) Ebbe

$$T_{ES} = T_E/\text{Ebbedauer}$$

b) Flut

$$T_{FS} = T_F/\text{Flutdauer}$$

c) Netto

$$T_{NS} = T_N/(\text{Ebbedauer} + \text{Flutdauer})$$

 $T_{ES}/T_{FS}/T_{NS}$ - Transporte pro Sekunde Ebbe/Flut/Netto

Tidenmittelwerte

a) allgemein gilt

$$K_N = (K_E \cdot Q_E + K_F \cdot Q_F)/(Q_E + Q_F)$$

b) Ausnahme:

$$V_R = \frac{(V_E \cdot \text{Ebbedauer} - V_F \cdot \text{Flutdauer})}{(\text{Ebbedauer} + \text{Flutdauer})}$$

$$Q_o = \frac{(Q_E \cdot \text{Ebbedauer} - Q_F \cdot \text{Flutdauer})}{(\text{Ebbedauer} + \text{Flutdauer})}$$

 K_N - Konzentration Netto

K_E - Konzentration Ebbe

K_F - Konzentration Flut

Q_E - Durchfluß Ebbe

Q_F - Durchfluß Flut

V_N - Reststromgeschwindigkeit

V_E - Strömungsgeschwindigkeit, Ebbe

V_F - Strömungsgeschwindigkeit, Flut

Q_o - Abfluß

Mittelwerte aus einem Meßzyklus der Bühne zwischen Sohle und Wasseroberfläche. Die zweite Datengruppe (Analyse-Daten) wurde im Labor ermittelt und auf einem computerlesbaren Band gespeichert. Vor der weiteren Bearbeitung sind alle Stations- und Analysedaten korrigiert worden.

Aus den Stationsdaten wurden nun numerische Halbtidenmittelwerte gebildet und den Analysedaten zugeordnet. So entstand der Grunddatensatz der Halbtidenmittelwerte. Die Grunddaten wurden als Basis zur Berechnung der Transporte und der Wochenmittelwerte benutzt. Weiterhin diente der Rohdatensatz als Grundlage für die Transportberechnungen pro Sekunde und die Korrelationsberechnung.

Der für die Berechnungen zu Grunde gelegte Formalismus ist in Abb. C.3.3 dargestellt.

D. ANALYSEVERFAHREN

Die Schwebstoffproben der AMO wurden während des gesamten Meßzeitraumes von Juli 1984 bis November 1986 im *Institut für Chemie des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht-GmbH* analysiert. Die Meßfehler im Analyseverfahren sind gering ($< 5\%$). Auch die Vermutung, daß beim Dekantieren Verluste auftreten können, wurden durch Vergleichsmessungen ausgeschlossen. Lediglich die Abnahme einer repräsentativen Teilmenge zur Korngrößenbestimmung erscheint nicht unproblematisch.

1. Suspensionsgehaltsbestimmung

Nach Anlieferung beim Labor wurden zunächst die beiden zusammengehörigen Proben (Spülprobe 750 ccm und Probe ca. 500 ccm) vereint. Anschließend wurde diese Gesamtprobe 20 Minuten lang bei 3000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert. Im Anschluß daran wurde das überstehende Wasser bis auf 100 ccm dekantiert.

Am Tage darauf wurden diese 100 ccm in ein vorgewogenes Zentrifugenglas überspült und 20 Minuten lang bei 3500 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert. Das überstehende Wasser wurde dekantiert, Zentrifugenglas und Schwebstoff ausgewogen. (Zeitpunkt AAA: siehe Korngrößenbestimmung D.3). Eine definierte Teilmenge des Schwebstoffes wurde nun in einer Porzellanschale gewogen und 90 Minuten lang bei 110°C getrocknet.

Am dritten Tag wurden die Wägungen des getrockneten Schwebstoffes vorgenommen und die erhaltenen Werte zu Konzentrationsangaben in (mg) Schwebstoff zu (dm) Wasser hochgerechnet (Zeitpunkt BBB: siehe Glühverlustbestimmung D.2).

2. Glühverlustbestimmung

Zum Zeitpunkt BBB (siehe D.1) werden ca. 100 mg des trockenen Schwebstoffes in einem Tigel gewogen. Danach wird die Probe bei 650°C 90 Minuten lang im Muffelofen geblüht und danach erneut gewogen.

Die Differenz beider Wägungen ergibt bei dem Bezug auf

die gesamte Probenmenge den prozentualen Anteil des verglühten ("biotischen") Materials zum nicht-verglühten (mineralischen oder abiotischen).

3. Korngrößenbestimmung

Zum Zeitpunkt AAA (siehe D.2) wird vom feuchten Schwebstoff ca. 500 - 1000 mg Substanz für die Korngrößenanalyse entnommen.

Die Unterprobe wird jetzt gewogen und in einer Ultraschallsiebanlage durch Schlämzung gesiebt, wobei die Siebe mit Lochdurchmessern von 100, 60, 40, 20 und 10 µm ausgestattet waren. Der Versuch, auch 5 µm Lochdurchmesser zu verwenden, schlug fehl, da die Durchlaufzeiten zu lang waren. Die Siebinhalte werden anschließend getrocknet und ausgewogen.

Die Berechnung ergibt dann den prozentualen Anteil der Siebmenge zur Gesamtprobe, wobei der verlorengegangene Teil (<10 µm) additiv aus der Summe der anderen Siebinhalte ermittelt wird.

E. ERGÄNZUNGEN

EA: MOSTRA - Methode

EB: Systemabläufe im AMO - Rechner

EA: MOSTRA — Verfahren zur strömungs- und morphologieadäquaten Bilanzierung von suspendierten Feststoffen und Begleitparametern

Von L. J. R. NEUMANN

Beschreibung des Verfahrens

Das Meßverfahren bezieht den Meßwert bzw. die Probemenge auf die Wassermenge, die während der Meßzeit den Teil des Querschnitts (Abb. 1) durchfließt, für den der Meßwert bzw. die Probe repräsentativ sein soll. Je kleiner dabei der Querschnittsbereich ist, desto aussagekräftiger ist der Meßwert. Bei sehr heterogenen Verhältnissen im Querschnitt ist daher die Messung in mehreren Profilen, bei homogenen Verhältnissen nur in einem Profil notwendig. Bei letzterem sollte jedoch in regelmäßigen Abständen die Repräsentanz des Meßprofils für die Zustände im gesamten Querschnitt mit Vielpunktmessungen überprüft werden.

Voraussetzung für die Erfassung von Meßparametern ist zunächst die Kenntnis der Querschnittsfläche (Qf) als Funktion der Wasserhöhe (d) über der Sohle (Abb. 2) sowie die Strömungsgeschwindigkeit an der Meßposition. Der relevante Meßbereich (Mb) des Querschnitts für eine Meßposition (MP) ergibt sich dann zu:

$$Mb_{MP} = Qf(d_2) - Qf(d_1), \text{ mit } d_2 > d_1$$

Hieraus wird deutlich, daß die Meßpositionen im Profil im Vorwege festgelegt werden müssen. Unter der Annahme einer konstanten Meßzeit an allen Meßpositionen folgt für den gewichteten Meßwert (MWg) an einer Meßposition:

$$MWg(n) = MW \cdot [Mb_{MP}(n) \cdot v(n)]$$

- mit n = Nr. der Meßposition
- MW = Meßwert
- v = Strömungsgeschwindigkeit

Schematisierter Querschnitt eines Tideflusses

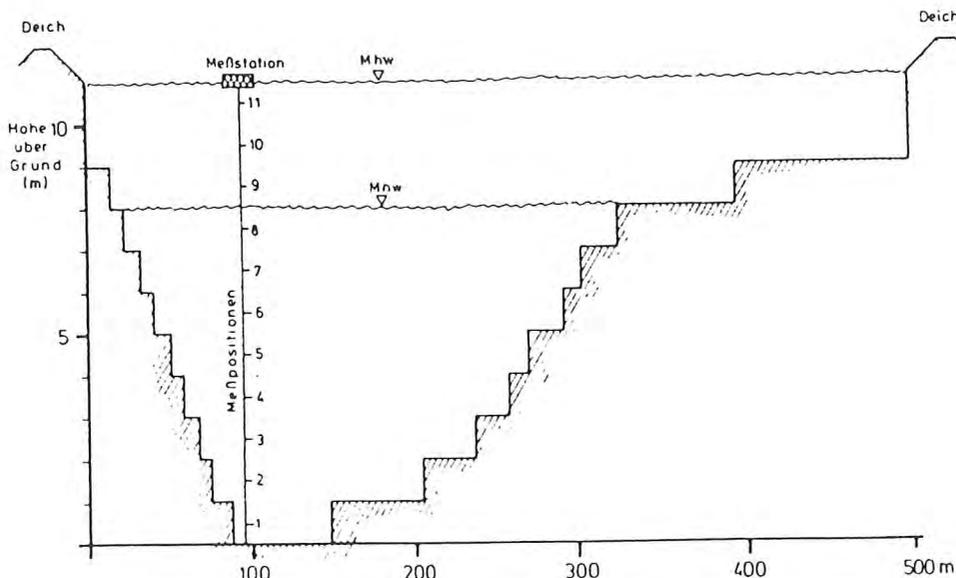


Abb. 1. Fiktiver Querschnitt eines Tideflusses

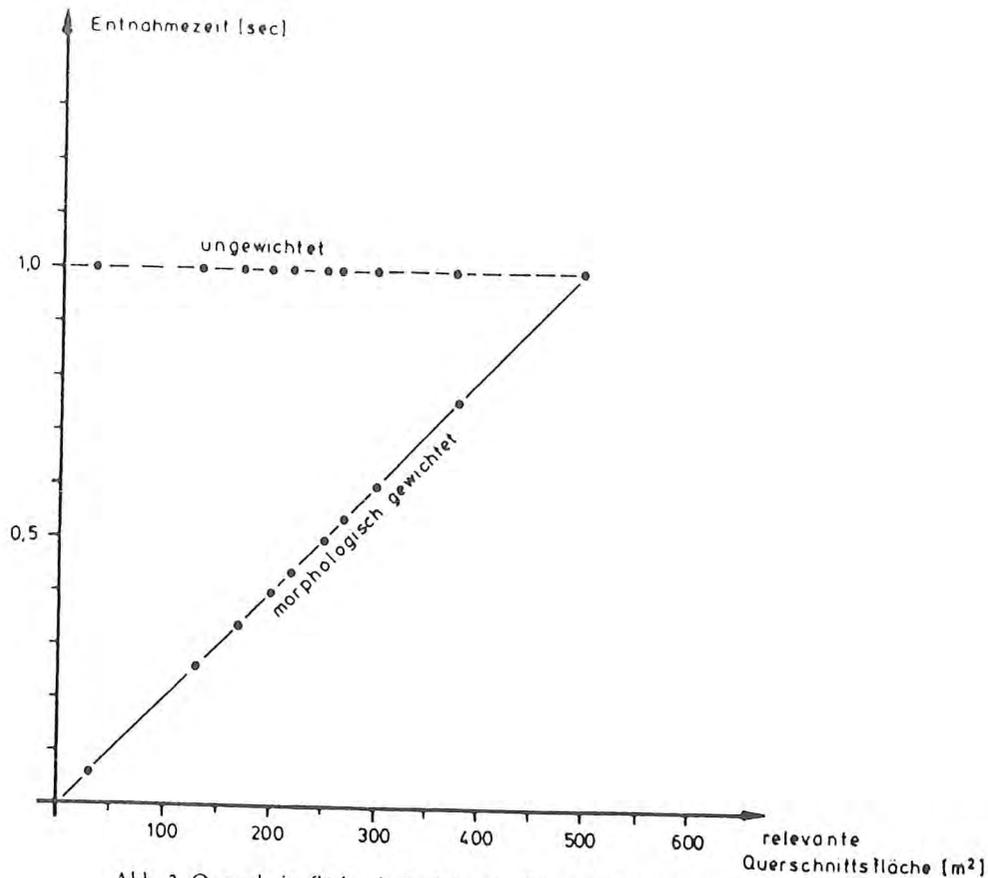


Abb. 2. Querschnittsfläche als Funktion der Wasserhöhe über der Sohle gemäß Abb. 1

Die Berechnung des vertikalen Mittelwertes (VM) erfolgt jetzt aus den gewichteten Meßwerten (MW_g):

$$VM = \frac{\sum_{n=1}^m MW_g(n)}{\sum_{n=1}^m [Mb_{MP}(n) \cdot v(n)]}$$

mit m - Anzahl der Meßpositionen im Vertikalprofil.

Der zeitliche Versatz in der Aufnahme der gewichteten Meßwerte ist bei homogenen Verhältnissen vernachlässigbar, wenn die Messung im Vertikalprofil weniger als 10 Minuten dauert. Bei sehr heterogenen Verhältnissen und häufig auftretenden Variationen der Werte der Parameter darf die Aufnahme des Vertikalprofils nicht die Zeitdauer der Variationen überschreiten.

Zur Berechnung von Mittelwerten über längere Zeiträume werden bei konstantem Wasserstand und Zeitabstand der Meßwertaufnahme die vertikal integrierten Werte arithmetisch gemittelt.

Bei wechselnden Wasserständen (W), z. B. im Tidegebiet, muß zur Berechnung von Langzeitmitteln (LMW), z. B. für eine Tide oder Halbtide, die Mittelbildung aus den gewichteten Meßwerten der einzelnen Positionen erfolgen:

$$LMW(W) = \frac{\sum_{n=1}^k MW_g(n)}{\sum_{n=1}^k [Mb_{MP}(n) \cdot v(n)]}$$

mit k = Anzahl der Messungen im Langzeitraum.

Hierbei ist eine Zeitkonstanz zwischen den einzelnen Meßwertaufnahmen Bedingung.

Da aber, insbesondere bei Messungen in mehreren Profilen, durch Schiffsverkehr, Geräteausfall etc. die Zeitkonstanz in der Regel nicht einzuhalten ist, sollte bei der Mittelung der Langzeitmessungen der Zeitabstand (ZA) zwischen der Aufnahme der einzelnen Vertikalprofile und der wechselnde Wasserstand in die Wichtung mit eingehen:

$$LMW(W, ZA) = \frac{\sum_{n=1}^l [VM(n) \cdot ZA(t) \cdot W(t)]}{\sum_{n=1}^l [ZA(t) \cdot W(t)]}$$

mit $ZA(t) = \frac{1}{2} [ZP(n) - ZP(n-1)] + [ZP(n+1) - ZP(n)]$
 $W(t) = \frac{1}{2} [W(n) - W(n-1)] + [W(n+1) - W(n)]$
 ZP = Zeitpunkt der Messung
 l = Anzahl der Vertikalprofile im Langzeitraum

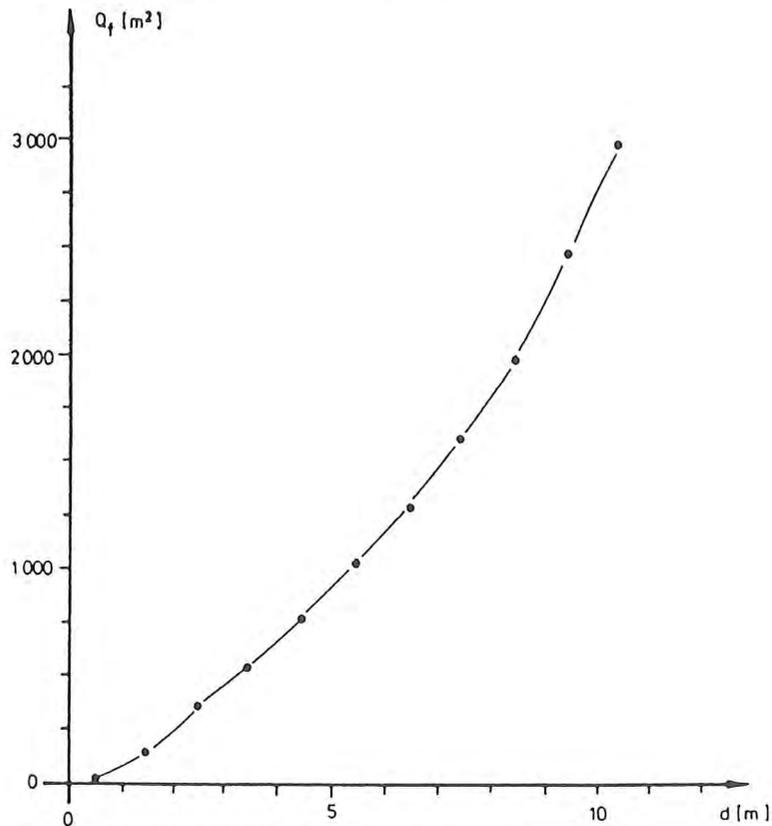


Abb. 3. Entnahmezzeit für Wasserproben als Funktion der relevanten Querschnittsfläche für die Meßposition (Grundlage: Profil in Abb. 1)

Bei Anwendung der MOSTRA-Methode auf die Entnahme von Wasserproben ist die Wichtung nicht über eine Berechnung möglich. Um strömungsabhängig zu beproben, muß die Entnahme isokinetisch, d. h. ohne Stau oder Sunk im Einlaßquerschnitt der Probeleitung, erfolgen. Die Morphologierelevanz wird parallel dazu über die Entnahmezzeit geregelt, die sich von Meßposition zu Meßposition ändert und an der Oberfläche ihren größten Wert im Profil erreicht. Hierfür ist es nötig, eine Eichkurve der Entnahmezzeit als Funktion der relevanten Querschnittsfläche, für die die Beprobung repräsentativ sein soll, zu erstellen (Abb. 3).

Eine parallele Anwendung der MOSTRA-Methode auf mehrere Parameter und die Probenahme gestattet es, im Anschluß an die Analyse der Proben einen direkten Vergleich zwischen Analyseergebnissen und Parametern durchzuführen.

EB: Systemabläufe im AMO-Rechner

Inhalt

- A. Systemstatus
- B. Kommando-Tabelle
- C. Daten der Kassette
- D. Fehlermeldungen
- E. Ablauf der Voll-Automatik
- F. Relais Steuerprogramm
- G. Abkürzungen

A. SYSTEMSTATUS

Die Rechnersteuerung der Meßstation hat 3 verschiedene Betriebsarten:

1. Hand-Betrieb

Ist der Eingabekontakt "Automatik" geöffnet, schaltet der Rechner auf Hand-Betrieb. Alle Ansteuerungen werden unterbrochen. Die Tasten "Debug" und "Messwt" können weiterhin bedient werden, die anderen Funktionstasten sind nicht aktiv. Eine laufende Druckerausgabe wird zuende geführt.

2. Halb-Automatik

Wird der Eingabekontakt "Automatik" geschlossen, schaltet der Rechner auf Halb-Automatik. Verschiedene Steuerfunktionen können ausgeführt werden:

- Bühnensteuerung
- Probensteuerung
- Ausspülen

3. Voll-Automatik

Der Rechner schaltet auf Voll-Automatik nach Betätigung der Funktionstasten:

- Meßzyklus: Neustart
- oder
- Fortsetzen

B. KOMANDOTABELLE

Kommando	System-Status

Meßzyklus: Neustart	Halb-Automatik
Stop	Voll-Automatik
Fortsetzen	Halb-Automatik
Bühnen- steuerung: aufw	Halb-Automatik
abw	Halb-Automatik
stop	Halb- und Voll-Automatik
Proben- steuerung: Tank 1	Halb-Automatik
Tank 2	Halb-Automatik
stop	Halb- und Voll-Automatik
Flaschentr	Halb-Automatik
Sonstiges: Aussp	Halb-Automatik
Meßwt-Ausg	Halb- und Voll-Automatik
Meßwt löschen	Halb- und Voll-Automatik
Fehlerm löschen	Halb- und Voll-Automatik
Debug	Halb-Automatik, Voll-Automatik
Meßwt	und Hand-Betrieb

C. DATEN DER KASSETTE

Es erfolgt die Aufzeichnung folgender Werte auf die Kasette:

1. Tidenwerte nach jedem Tidenwechsel oder bei vollem Tank.
2. Durchlaufwerte und Gruppenwerte nach jedem Bühnendurchlauf.

Kennzeichnung der Kassettendaten:

1. TE TT.MM.JJ.hh.mm Wert Wert usw: Tidenwerte für Ebbe
2. TF TT.MM.JJ.hh.mm Wert Wert usw: Tidenwerte für Flut
3. DL TT.MM.JJ.hh.mm Wert Wert usw: Durchlaufwerte
4. G01 TT.MM.JJ.hh.mm Wert Wert usw: Werte für Gruppe 1
5. G02 TT.MM.JJ.hh.mm Wert Wert usw: Werte für Gruppe 2
6. G03 TT.MM.JJ.hh.mm Wert Wert usw: Werte für Gruppe 3
7. G04 TT.MM.JJ.hh.mm Wert Wert usw: Werte für Gruppe 4

(TT=Tag, MM=Monat, JJ=Jahr, hh=Stunde, mm=Minute)
(Werte= 11 Meßwerte, Vor- und Nachkommastellen sind einstellbar)

1. Wert --> pH-Wert
2. Wert --> Sauerstoff-Wert
3. Wert --> Leitfähigkeit
4. Wert --> Temperatur
5. Wert --> Wasserstand
6. Wert --> Strömung
7. Wert --> Spez. Durchfluß
8. Wert --> Durchfluß
9. Wert --> Trübung (Attenuation)
10. Wert --> Füllstand (digital)
11. Wert --> Füllstand (analog)

D. FEHLERMELDUNGEN

Fehlermeldungen werden gespeichert und können bei Bedarf abgerufen werden.

Es gibt zwei Fehlerarten:

1. Störungen des Meßablaufes (der Meßablauf kann fortgesetzt werden)
2. Abbruch des Meßablaufes (die Messung kann nicht fortgesetzt werden). Umschalten auf Halb-Automatik

Treten Fehler der Gruppe 2 auf, wird die Messung abgebrochen und Telefonalarm gegeben.

Es werden folgende Fehlerarten erfaßt:

Fehlerart	Fehlergruppe
-Kein Wasserdruck für Schließwasser	2
-Vibraswitch der Zentrifuge hat angesprochen	2
-60. Flasche erreicht	2
-Flasche positioniert nicht	2
-Bühne positioniert nicht	2
-Tankentleerung defekt	2
-Überlast Tankfüllung (muß 1 Minute anstehen)	2
-Temperatur < 4 Grad (Meldung, wenn wieder > 4 Grad)	1
-Differenz zwischen Füllstandsmessern digital/analog	1
-Tank nicht bereit für Wasserzulauf	1

E. ABLAUF DER VOLL-AUTOMATIK

Es wird zwischen drei Zyklen unterschieden:

1. Wasserentnahmezyklus
2. Tidenzyklus
3. Wochenzyklus

1. Wasserentnahmezyklus

Aufgabe: Entnahme von Wasserproben aus unterschiedlichen Wasserhöhen in Vorratsbehälter.

Ablauf:

1. Bestimmung des folgenden Höhepunktes. Die Höhepunkte werden mit "Abstand-Meßpunkte" bestimmt.
2. Anfahren der gewünschten Höhe. Die Fahrzeit wird aus $Weg \times V$ -Winde errechnet. Die V -Winde wird in den vorgegebenen Grenzen (V -Winde-Toleranz) korrigiert. (Fehlermeldung erfolgt, wenn die festgelegten Grenzen überschritten werden).
3. Bestimmung des Gewichtungsfaktors aus Strömung \times Morphologietabelle (Bünnenstand).
4. Fortlaufende Messung und Mittelung folgender Meßwerte:

- pH-Wert
- Sauerstoff-Wert
- Leitfähigkeit
- Temperatur
- Wasserhöhe
- Strömung
- Trübung

5. Speicherung der Gruppen- und Durchlaufwerte zusammen mit der Uhrzeit in komprimierter Form im gepufferten RAM.
6. Ermittlung und Anzeige folgender Werte am Ende eines Durchlaufes:
 - Spez. Durchfluß aus Strömung x Bühnenstand
 - Durchfluß aus Spez. Durchfluß
 - x Morphologietabelle (Bst)
 - x Morphologiefaktor

Aus den Messungen bei jeder Wasserentnahme werden folgende gewichtete Mittelwerte gebildet:

1. Für jede in der Gruppentabelle angegebene Höhengruppe
2. Für jeden Durchlauf
3. Für jede Halbtide

2. Tidenzyklus

Alle Werte des Wasserentnahmezyklus werden abhängig von der Strömungsrichtung bis zum Tidenwechsel oder bis ein Tank gefüllt ist in zwei Meßwertspeichern aufsummiert:

1. Meßwertspeicher für Flut
2. Meßwertspeicher für Ebbe

Die Speicher enthalten folgende Werte:

- Ph-Wert
- Sauerstoff-Wert

- Leitfähigkeit
- Temperatur
- Wasserhöhe
- Strömung
- Spez. Durchfluß
- Durchfluß
- Trübung (Attenuation)

Der Tidenwechsel ist eingetreten, wenn die Strömungsrichtung der aktuellen Halbtide bei einem Bühnendurchlauf nicht mehr auftritt und die entgegengesetzte Strömungsrichtung mindestens einmal.

Es wird jeweils ein Sammelbehälter für Ebbe und Flut gefüllt. Bei der Füllung werden die Ventile periodisch zwischen Sammelbehälter und Überlauf umgeschaltet. Das Tastverhältnis wird durch Tastverh-Ebbe bzw. Tastverh-Flut x Morphologietabelle (Bühnenstand) bestimmt.

Der Inhalt eines Sammelbehälters wird zentrifugiert und in den Probebehälter geleitet. Es wird außerdem ein neuer Probenbehälter positioniert, der Tank gespült usw. Abläufe hierzu sind in "Relais-Steuerprogramm" beschrieben.

Nach dem Tidenwechsel oder wenn ein Tank voll ist, werden die Mittelwerte auf dem Drucker ausgegeben und auf der Digitalkassette gespeichert.

3. Wochenzyklus

Der Wochenzyklus ist im wesentlichen durch die Abfrage und Ausgabe der Daten durch die Bedienperson bestimmt.

Es können folgende Funktionen realisiert werden:

- graphische Ausgabe der Meßwerte
(Protokollausdruck)
- löschen der Meßwertspeicher
- Ausgabe der Kassetteninhalte

F. RELAIS STEUERPROGRAMM

Es wird unterschieden:

1. Steuerung des Wasserzulaufes
2. Ausspülen
3. Rührzyklus
4. Steuerung der Probenfüllung

1. Steuerung des Wasserzulaufes

Durch das Meßprogramm können drei Zustände gewählt werden:

- 1.1 Zulauf Flußwasser in Tank 1
- 1.2 Zulauf Flußwasser in Tank 2
- 1.3 Zulauf Flußwasser in den Überlauf

2. Ausspülen

Diese Funktion wird nach "Aussp-Pause-Minute" Minuten aufgerufen, wenn keine Strömungsimpulse gemessen werden. Es gelten folgende Ventilstellungen:

- Absperrventil schließen
- Spülventil öffnen
- Spülm-Zeit
- Spülventil schließen
- Frischwasserventil öffnen
- Ausspülzeit
- Frischwasserventil schließen
- Absperrventil öffnen

3. Rührzyklus

Die Rührwerke werden nach dem Ende der Probenfüllung ausgeschaltet. Erneutes Einschalten erfolgt nach der Zeit der Rührpause-Minuten.

4. Steuerung der Probenfüllung

Dieses Programm wird nach jeder Tide oder dann, wenn ein Probenbehälter gefüllt wurde oder wenn 100% vom Schalter-überlast aufgerufen wurde.

1. Test kein Wasserdruck
2. Start Zentrifuge
(Hochlaufzentrifuge)
3. Schließwasserventil öffnen
(Schl-Vent-Verzöger)

4. Tankventil öffnen (1 oder 2)
(Maximale Tankleerzeit: Tankleerung-Minuten)
5. Nachlaufzeit Tankentleerung
(Nachlauf-Tankleer)
6. Schließwasserventil schließen
(Flaschenfüllzeit)
7. nächste Flasche positionieren
8. Spülventil (1 oder 2) öffnen
(Spülfl-Füllzeit)
9. Spülventil (1 oder 2) schließen
(1 Minute warten)
10. Zentrifuge abschalten
Ablaufventil (1 oder 2) schließen
neue Flasche positionieren

G. ABKÜRZUNGEN

Die im Text verwendeten Abkürzungen entsprechen entweder Programmkommandos oder sind Fachbegriffe. Eine Unterscheidung wird in der folgenden Tabelle nicht vorgenommen.

Abkürzung	Bedeutung
Debug (Taste)	Programmaufruf
Messwt (Taste)	Meßwertspeicher
aufw	aufwärts
abw	abwärts
Flaschentr	Flaschentransport
Aussp	ausspülen
Meßwt-Ausg	Meßwertausgabe
Meßwt	Meßwert
Fehlerm	Fehlermeldung
RAM	Random-access memory (Speicher mit wahlfreiem Zugriff)
Bst	Bühnenstand
Tastverh	Tastverhältnis
Spülm-Zeit	Spülmittelzufuhrzeit
Schl-Vent-Verzöger	Schließventilverzögerungszeit
Spülfl-Füllzeit	Spülflaschenfüllzeit

**Hydrobiologische Untersuchungen
und Ergebnisse**

Hydrobiologische Untersuchungen und Ergebnisse

Inhalt

Einführung

Auszug aus DIE KÜSTE, Heft 42 :

"Die Bedeutung biologischer Faktoren für die
Schwebstoffbildung in der Elbe - Untersuchungsmethoden
und erste Ergebnisse."

EINFÜHRUNG

Die hydrobiologischen Untersuchungen wurden im Rahmen einer Hochschulzusammenarbeit mit der Universität Hamburg, Institut für Hydrobiologie, von Herrn N. Greiser durchgeführt. Seine Ergebnisse werden in Form einer Doktorarbeit dokumentiert werden, die im Anschluß an diesen Abschlußbericht erscheinen wird. Daher können an dieser Stelle keine Ergebnisse der neueren Untersuchungen angegeben werden.

Als erstes Ergebnis wird die Veröffentlichung von Herrn Greiser in der Zeitschrift DIE KÜSTE wiedergegeben.

Diese ersten Ergebnisse zeigen jedoch schon, daß der biologische Einfluß bei der Schwebstoffbildung und dessen Transport größer ist als bislang angenommen wurde. Inwieweit die verschiedenen biologischen Parameter dominieren, wird in der o.a. Doktorarbeit dokumentiert werden.

Die Bedeutung biologischer Faktoren für die Schwebstoffbildung in der Elbe – Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse*

Von NORBERT GREISER

Zusammenfassung

Im Rahmen des KFKI-Projekts „Schlick und Schwebstoffe in Ästuaren“ werden seit Januar 1984 biologische Untersuchungen zur Entstehung und Umbildung von Schwebstoffpartikeln in der Elbe durchgeführt. Zur Analyse des Schwebstoffmaterials werden chemische und biochemische Summenparameter (Trockengewicht, Glühverlust, Protein, Gesamtadenylat, Adenosin-triphosphat und Energy Charge) herangezogen. Parallel dazu werden mikroskopische Analysen (Fluoreszenzmikroskopie mit der FITC-Technik) vorgenommen.

Die Probennahme und zusätzliche Messung von hydrologischen, physikalischen und chemischen Begleitparametern erfolgt weitgehend automatisiert mit Hilfe einer Schwebstoffmeßstation oberhalb Hamburgs bei Oortkaten.

Die ersten Ergebnisse zeigen, daß die Schwebstoffdynamik entscheidend von der lebenden Biomasse mitbestimmt wird. So besteht volumenmäßig das Schwebstoffmaterial zu 80–90 % aus lebender Biomasse. Weiterhin besteht eine enge Beziehung zwischen dem mineralischen und dem Anteil der lebenden Biomasse am Schwebstoffmaterial.

Es wird diskutiert, inwieweit aufgrund dieser Ergebnisse zahlreiche Schlußfolgerungen im Zusammenhang mit der Schwebstoffproblematik neu überdacht werden müssen.

Summary

Investigations on the biological aspects of the formation and degradation of suspended matter in the Elbe Estuary have been conducted since January 1984 as part of the KFKI research program "Mud and Suspended Matter in Estuaries". The dry weight, ash free dry weight, protein, total adenylates, ATP and energy charge were determined. The particulate matter was separated by fractional centrifugation and examined under a microscope using fluorescein isothiocyanate (FITC) as a stain in order to analyse the components of the suspended particles.

This yields a quantitative picture of the microorganisms present on or within the particles. Most of the samples were taken from an investigation platform constructed especially to continuously collect suspended matter and to measure hydrological, physical and chemical parameters throughout the year. The platform is located in the Elbe Estuary near Oortkaten upstream of Hamburg Harbor.

First results show the important role of microorganisms in the seasonal dynamics of the suspended matter. On a volume basis, 80–90 % of the suspended material consisted of living biomass. The microorganisms seem to build up a fluffy texture around mineral particles. There is a good correlation between the amount of living biomass and the mineral fraction of suspended matter during the year.

These results imply that earlier conclusions on suspended matter and mud dynamics in the Elbe Estuary have to be revised.

*) Dieser Beitrag ist eine vom Promotionsausschuß des Fachbereichs Biologie der Universität Hamburg genehmigte Vorabveröffentlichung von Teilergebnissen einer Dissertation.

Inhalt

1. Einleitung
2. Material und Methoden
 - 2.1 Probennahme und -aufarbeitung
 - 2.2 Laboranalysen
 - 2.2.1 Trockengewicht und Glühverlust
 - 2.2.2 Proteinbestimmung
 - 2.2.3 ATP, Gesamtadenylat, Energy Charge (EC)
 - 2.2.4 Chlorophyll und Phaeopigmente
 - 2.2.5 Ammonium (NH₄), Nitrit (NO₂), Nitrat (NO₃)
 - 2.2.6 Mikroskopische Analyse
3. Ergebnisse
 - 3.1 Schwebstoffstruktur und -zusammensetzung
 - 3.2 Jahreszeitliche Veränderungen
4. Diskussion
 - 4.1 Allgemeine Wertung
 - 4.2 Wertung der Ergebnisse
5. Schriftenverzeichnis

1. Einleitung

Die Elbe transportiert im Jahreslauf erhebliche Mengen partikulären Materials. Dieses Material (Schwebstoffe) gilt zum einen als Sedimentationspotential für die Schlickbildung und zum anderen als Transportvehikel für zahllose organische und anorganische Stoffe, von denen wiederum die toxischen Bestandteile wie z. B. Chlorkohlenwasserstoffe und Schwermetalle Probleme aufwerfen. Ein Beispiel dafür ist die Belastung des Baggerguts mit derartigen Schadstoffen im Zusammenhang mit der Entsorgungsnotwendigkeit. Weiterhin führt eine starke Aufschlickung zu häufigen Baggerungen und somit hohen Kosten.

Es wäre daher wichtig, zu wissen, welche Faktoren für die Bildung und Sedimentation der Schwebstoffe und ihre Belastung mit Schadstoffen in erster Linie verantwortlich sind. Nur die Kenntnis dieser Faktoren bietet die Möglichkeit, langfristig regulierend in die Dynamik dieser Prozesse einzugreifen mit dem Ziel, den Schlickanfall und die Schadstoffbelastung zu vermindern.

In diesem Zusammenhang muß berücksichtigt werden, inwieweit neben physikalischen, hydrologischen und chemischen Faktoren biologische Prozesse beteiligt sind. Ist dieser Einfluß bedeutsam, so muß z. B. die Schwebstoffbildung als ein dynamischer Prozeß betrachtet werden, der vor allem durch die Bioaktivität von Mikroorganismen gesteuert wird. Wichtige Kontrollparameter wären dann die Nährstoffversorgung (Kläranlagen!) sowie abiotische Faktoren wie Temperatur und Sauerstoffgehalt des Wassers.

Weiterhin erklärt sich, ausgehend vom biologischen Aspekt, die Schadstoffbelastung der Schwebstoffe als ein *aktiver* Anreicherungsprozeß, der notwendig zu einem Herausfiltern der Schadstoffe aus dem Wasser und zu einer potenzierten Konzentration im Schwebstoffmaterial führt! Dies wiederum könnte eine Erklärung für die hohe Schadstoffbelastung des Schlicks liefern.

Vor diesem Hintergrund wurde seit Januar 1984 ein zusätzliches Untersuchungsprogramm in das KFKI-Projekt „Schlick und Schwebstoffe in Ästuaren“ aufgenommen, das die biologischen Komponenten der Schwebstoffe in der Elbe erfassen soll. Im Rahmen dieser Forschungstätigkeit sollten zunächst chemische und biochemische Summenparameter auf ihre Anwendbarkeit bei dem weitgehend automatisierten Meß- und Probennahmeprogramm

2. Material und Methoden

2.1 Probennahme und -aufarbeitung

Aus dem Sammeltank der Automatischen Meßstation Oortkaten (AMO) werden jeweils 5 l Elbewasser abgefüllt und zur weiteren Bearbeitung auf direktem Wege zum Labor transportiert. Der Probennahmezeitpunkt ist jeweils kurz vor Beendigung einer Ebbe-Phase. Parallel zur Tankprobe wird eine Schöpfprobe aus der Elbe gewonnen. Dieses Probenmaterial dient zur Bestimmung der Bioaktivität. Da durch die Tankkühlung (4 °C) eine Veränderung der Bioaktivität eintritt, würden die gemessenen Werte aus einer Tankprobe nicht den in-situ- (vor Ort vorhandenen) Werten der Elbe entsprechen.

Ein wesentlicher Vorteil der Probennahmetechnik besteht darin, daß der Tank der AMO bereits eine halbtide-integrierte Probe enthält, die durch ein Rührwerk gleichmäßig durchmischt wird, so daß die 5-l-Teilprobe im hohen Maße repräsentativ für den Wasserkörper der Elbe ist.

Im Labor wird das Probenmaterial zunächst in mehrere Fraktionen aufgeteilt, die darüber Aufschluß geben, welcher Anteil der Biomasse und -aktivität an größere Partikel gebunden ist. Dazu wird die Probe durch Zentrifugieren in drei Sedimentationsklassen fraktioniert. Aus Vorversuchen ging hervor, daß bei 200 U/Min., 400 U/Min. und 1000 U/Min. mit einer oberen Grenze von 4000 U/Min. jeweils ein wesentlicher Anteil des suspendierten Materials sedimentiert. Diese drei Sedimentationsklassen wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum beibehalten. Die Zentrifugationszeit beträgt einheitlich 20 Minuten. Die Gewinnung der Proben für die Trockengewicht- und Glühverlustbestimmung erfolgt durch Vakuumfiltration. Eine Übersicht über die Laboranalysen wird in Abb. 2 gegeben.

2.2 Laboranalysen

2.2.1 Trockengewicht und Glühverlust

Die Vakuumfiltration erfolgt über Glasfaserfilter der Fa. SARTORIUS, die zuvor in Aqua dest. gespült, bei 500 °C zwei Stunden geglüht und anschließend gewogen werden. Mit diesem Filtertyp werden Partikel größer als 0,5 µm erfaßt. Der Vorteil bei der Verwendung von Glasfaserfiltern liegt vor allem darin, daß diese nicht hygroskopisch sind und daher dementsprechende Wägefehler nicht auftreten. Zur verlässlichen Bestimmung des Trockengewichts und Glühverlusts der Schwebstoffe genügt bei guter Durchmischung der Probe (Magnetrührer!) ein Filtrationsvolumen von 0,5 l bei drei Parallelproben. Das Trocknen der Filter erfolgt bei 60 °C über 12 Stunden, das Glühen der Filter bei einer Temperatur von 500 °C über eine Zeitdauer von zwei Stunden. Zur Wägung wird eine auf 0,01 mg genaue Analysenwaage der Fa. SARTORIUS benutzt.

2.2.2 Proteinbestimmung

Die Bestimmung erfolgt photometrisch nach BRADFORD (1976). Einer Proteinlösung wird dazu der Farbstoff „Coomassie Brilliant Blue“ zugesetzt. Bei der Bildung des Farbstoffkomplexes Coomassie Brilliant Blue-Protein tritt proportional zur eingesetzten Proteinmenge eine Blaufärbung mit einem Absorptionsmaximum bei 595 nm auf. Diese Bestimmungsmethode ist über einen weiten Konzentrationsbereich von 1–1400 µg Protein/ml anwendbar und

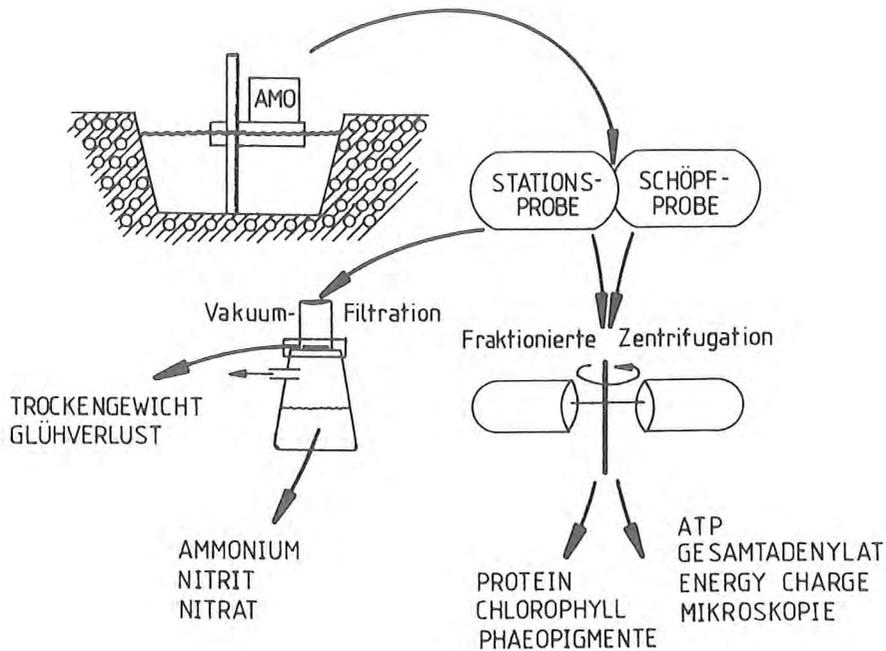


Abb. 2. Übersicht über die Probenahme und Laboranalysen

als Standardmethode mit entsprechenden Reagenziensätzen entwickelt (BIO RAD LABORATORIES, 1976). Modifikationen der Methode zur Steigerung der Nachweisempfindlichkeit sind möglich (BEARDEN, 1978; SPECTOR, 1978).

Zur Gewinnung der Proteine wird das Pellet einer zentrifugierten Teilprobe (s. Abschn. 2.1) von 50 ml mit 1 ml 0,5 n NaOH zwei Stunden bei 60°C extrahiert. Nach dem Abzentrifugieren der Partikelreste werden je Probe (4 Parallelen) 0,5 ml des Überstandes (Proteinlösung) mit 2 ml der Farbstofflösung versetzt. Nach fünf Minuten Inkubationszeit wird die Extinktion im Photometer ($\lambda = 595 \text{ nm}$) gegen die reine Farbstofflösung gemessen.

Diese Proteinbestimmungsmethode liefert gut reproduzierbare Ergebnisse, ist einfach zu handhaben, zeitsparend und weitgehend automatisierbar. Sie ist ebenfalls für Sedimentproben geeignet (FRAUENHEIM, 1984).

2.2.3 ATP, Gesamtadenylat, Energy Charge (EC)

Diese Parameter dienen häufig bei Freilanduntersuchungen zur Bestimmung der Biomasse und -aktivität in Sediment- und Planktonproben (BREZONIK et al., 1973; GRAF et al., 1982; WITZEL, 1979). Die Interpretation der erhaltenen Werte ist aufgrund zahlreicher Faktoren, die in der Probenahme- und Analysetechnik begründet liegen, schwierig und kann daher nur bei genauer Kenntnis der möglichen Störquellen sinnvoll erfolgen (GREISER, 1982).

Die Vorteile der Bestimmungsmethode, ihre hohe Nachweisempfindlichkeit und relativ einfache Handhabung rechtfertigen jedoch ihren Einsatz bei biologischen Untersuchungsprogrammen.

Grundlage des Verfahrens ist die Möglichkeit, mit Hilfe von Biolumineszenz-Enzymsystemen Adenosintriphosphat (ATP) quantitativ zu bestimmen (STREHLER, 1968). Am häufigsten wird für derartige Messungen ein Enzymextrakt (Luciferin-Luciferase-Enzymsystem) aus den Leuchtorganen des Leuchtkäfers *Photinus pyralis* verwendet. Das hier einge-

setzte Präparat (FLE-50, Firefly-Lantern-Extract) stammt von der Fa. SIGMA Chemie. Die Messung der Biolumineszenz erfolgt in einem Luminometer der Fa. LKB.

Zur Gewinnung des Adenylatextraktes wird das Pellet einer zentrifugierten Probe (s. Abschn. 2.1) von 10 ml (4 Parallelen) mit 3 ml Glycinpuffer 15 Min. bei 90°C extrahiert (KALBHEN und KOCH, 1967). ATP kann dann direkt gemessen werden, während die übrigen Adenylate, Adenosindiphosphat (ADP) und Adenosinmonophosphat (AMP) zunächst enzymatisch in ATP umgewandelt werden müssen. Dies geschieht nach der Methode von PRADET (1967), modifiziert nach EIGENER (1973) und SUNDERMEYER (1979). Zur reproduzierbaren ATP-Messung genügt ein Probenextraktvolumen von 0,1 ml. Diese Menge wird in die mit 1 ml Arsenatpuffer gefüllten Meßküvetten gegeben und 15 Sek. nach der anschließenden Firefly-Enzym-Zugabe gemessen.

Der EC-Wert (ATKINSON und WALTON, 1967; ATKINSON, 1968) errechnet sich aus den erhaltenen Mengen von ATP, ADP und AMP wie folgt:

$$EC = \frac{ATP + \frac{1}{2} ADP}{ATP + ADP + AMP}$$

Der Gesamtdenylatwert ist die Summe aus ATP + ADP + AMP.

2.2.4 Chlorophyll und Phaeopigmente

Die Extraktion der Proben-Pellets erfolgt mit 5 ml 90 % Aceton bei 5°C über zwei Stunden. Da diese Werte für die Schwebstoffanalyse in erster Linie Begleitparameter darstellen, erfolgt eine Differenzierung des Probenmaterials hier nur nach zwei Sedimentationsklassen, der 200-400-U/Min.-Fraktion und der 4000-U/Min.-Fraktion.

Die Messung der Probenextrakte wird mit einem TURNER Fluorometer durchgeführt. Die fluorometrische Bestimmung hat im Vergleich zur photometrischen Bestimmung den Vorteil, daß bereits kleine Mengen Probenmaterial, in diesem Fall eine Teilprobe von 10 ml (4 Parallelen), genügen, um reproduzierbare Meßergebnisse zu erhalten.

Der Chlorophyllgehalt wird direkt aus dem Acetonextrakt nach dem Abzentrifugieren des extrahierten suspendierten Materials gemessen, der Phaeopigmentgehalt aus dem gleichen Extrakt nach Zugabe von einem Tropfen 1 n HCl. Bei hohen Chlorophyllgehalten muß der Extrakt zuvor mit 90 % Aceton verdünnt werden.

2.2.5 Ammonium (NH₄), Nitrit (NO₂), Nitrat (NO₃)

Die Bestimmung erfolgt jeweils photometrisch. Zum NH₄-Nachweis werden 0,1 ml Neßler's Reagenz + 0,1 ml K-Na-tartrat-Lösung (50 g in 100 ml Aqua dest. + 0,5 ml Neßler's Reagenz) mit 5 ml filtriertem Elbwasser versetzt und die Extinktion bei 425 nm gemessen. Der NO₂-Nachweis erfolgt ebenfalls nach einem Standardverfahren (mit Sulfanilamid- und N-[Naphthyl]-ethylendiamin-dihydrochlorid-Lösung) bei einer Wellenlänge von 540 nm (DREWS, 1983). NO₃ wird mit einem Diphenylamin-Schwefelsäure-Reagenz (DREWS, 1983) nachgewiesen und bei 324 nm gemessen.

Die Umrechnung der Extinktionswerte erfolgt über Eichkurven. Die Standardkurven für NH₄ und NO₂ sollten jeweils nach dem Neuansetzen der Nachweisreagenzien neu bestimmt werden. Für den störanfälligeren NO₃-Nachweis empfiehlt es sich parallel zur Probe einen Eichstandard mitzumessen.

2.2.6 Mikroskopische Analyse

Zur differenzierten Analyse der Schwebstoffpartikel-Morphologie und -Zusammensetzung wurde zunächst ein fluoreszenzmikroskopisches Verfahren ausgewählt. Als Färbereagenz wird Fluorescein-Isothiocyanat (FITC) verwendet. Der Farbstoff bindet an Proteine und macht somit direkt die biologisch-organische Substanz sichtbar. Anorganische Partikel werden nicht gefärbt (BABJUK und PAUL, 1969). Mit der FITC-Technik können die quantifizierten Proteine (s. Abschn. 2.2.2) definierten Strukturen zugeordnet werden.

Präparate von den fraktionierten Schwebstoffproben werden wie folgt hergestellt: Ein Tropfen der Partikelsuspension wird auf einem Objektträger luftgetrocknet und anschließend vorsichtig über einer Bunsenbrennerflamme hitzefixiert. Der eigentliche Färbevorgang mit FITC dauert zwei Minuten, dann wird der überschüssige Farbstoff mit Pufferlösungen ausgewaschen und das Präparat in einem für die Epifluoreszenz-Technik ausgerüsteten Mikroskop der Fa. ZEISS betrachtet und fotografiert. Im mikroskopischen Bild lassen sich deutlich die Schwebstofftextur und die Zellen der verschiedenen Gruppen von Mikroorganismen identifizieren. Weiterhin können tote und lebende Zellen voneinander unterschieden werden. Um ein möglichst unverfälschtes Bild von den Schwebstoffpartikeln zu erhalten, wird nur Schöpfprobenmaterial analysiert.

3. Ergebnisse

3.1 Schwebstoffstruktur und -zusammensetzung

Allgemein zeigen die Partikel eine sehr unregelmäßige Gestalt aus größtenteils amorphem Material (Abb. 3). Betrachtet man im Mikroskop nacheinander mehrere Schärfenebenen, so wird deutlich, daß aufgrund der komplexen dreidimensionalen Struktur eine Angabe definierter Partikelgrößen im Sinne einer Korngrößenanalyse nicht möglich ist (Abb. 4).

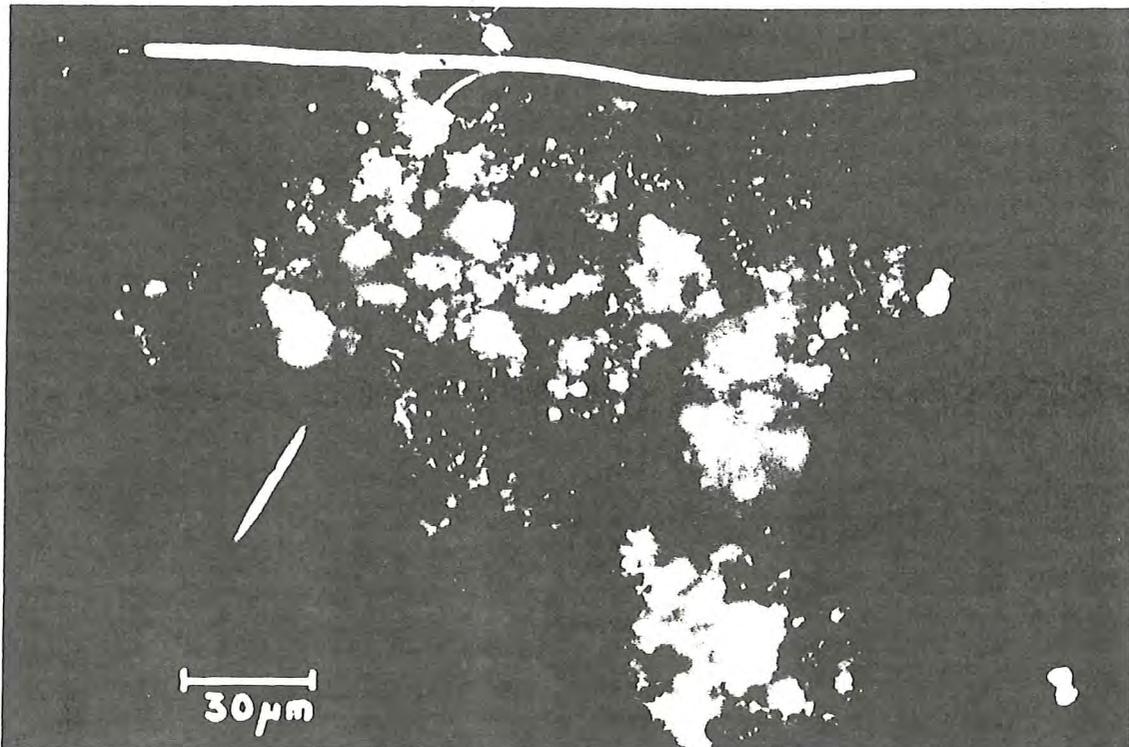


Abb. 3. Schwebstoffpartikel der 200-U/Min.-Fraktion

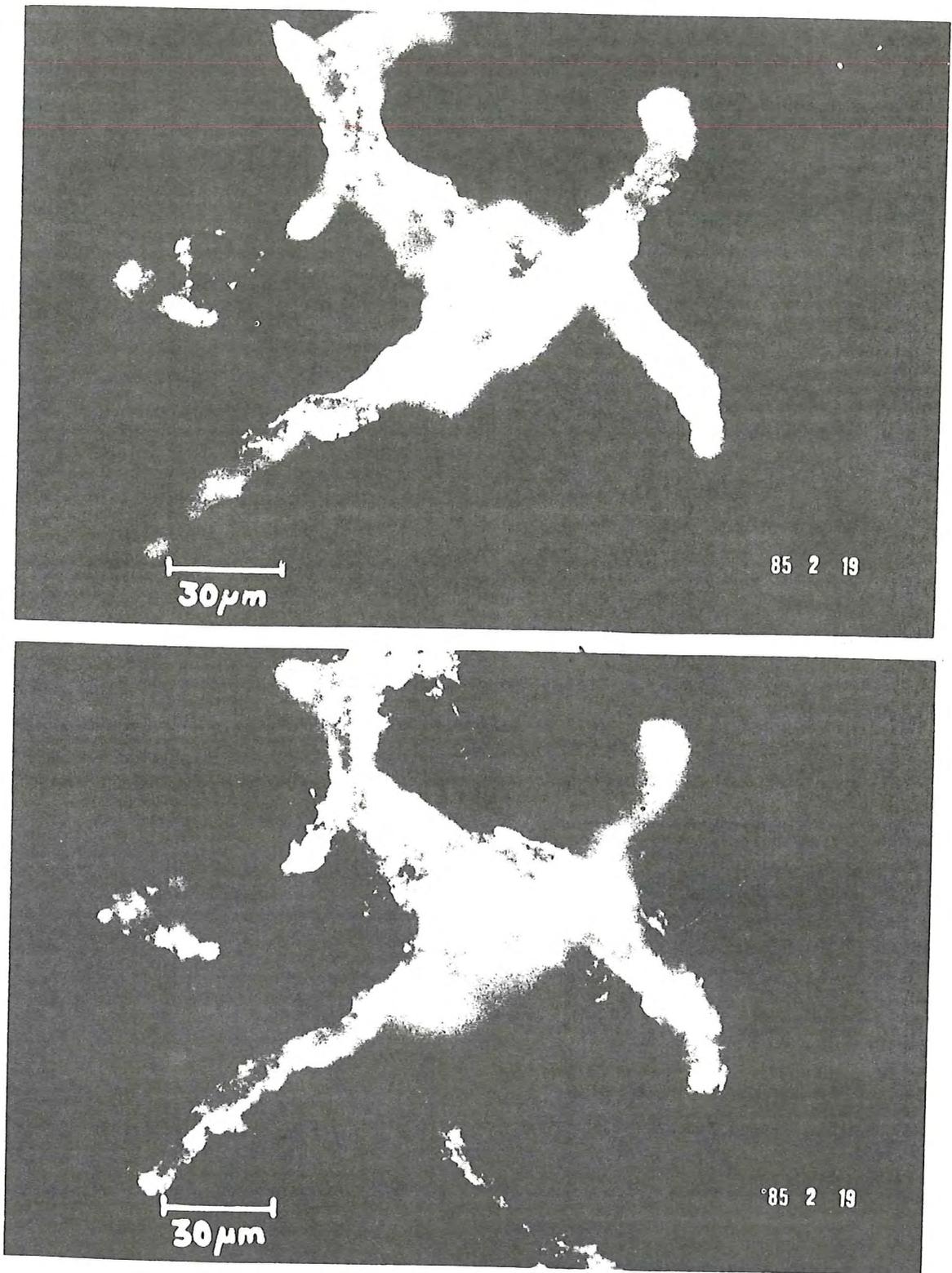


Abb. 4. Schwebstoffpartikel. Fotografiert in 2 unterschiedlichen Schärfenebenen

Eine eingehende Betrachtung zeigt, daß anorganische Partikel zumeist volumenmäßig kaum ins Gewicht fallen. Sie sind fast vollständig in eine biologisch-organische Matrix eingebettet (Abb. 5). Diese Matrix besteht vor allem aus Bakterienzellen mit ihren Schleimabsonderungen. Aus den Fotos wird deutlich, daß der biologisch-organische Anteil volumenmäßig bis zu 90 % betragen kann.

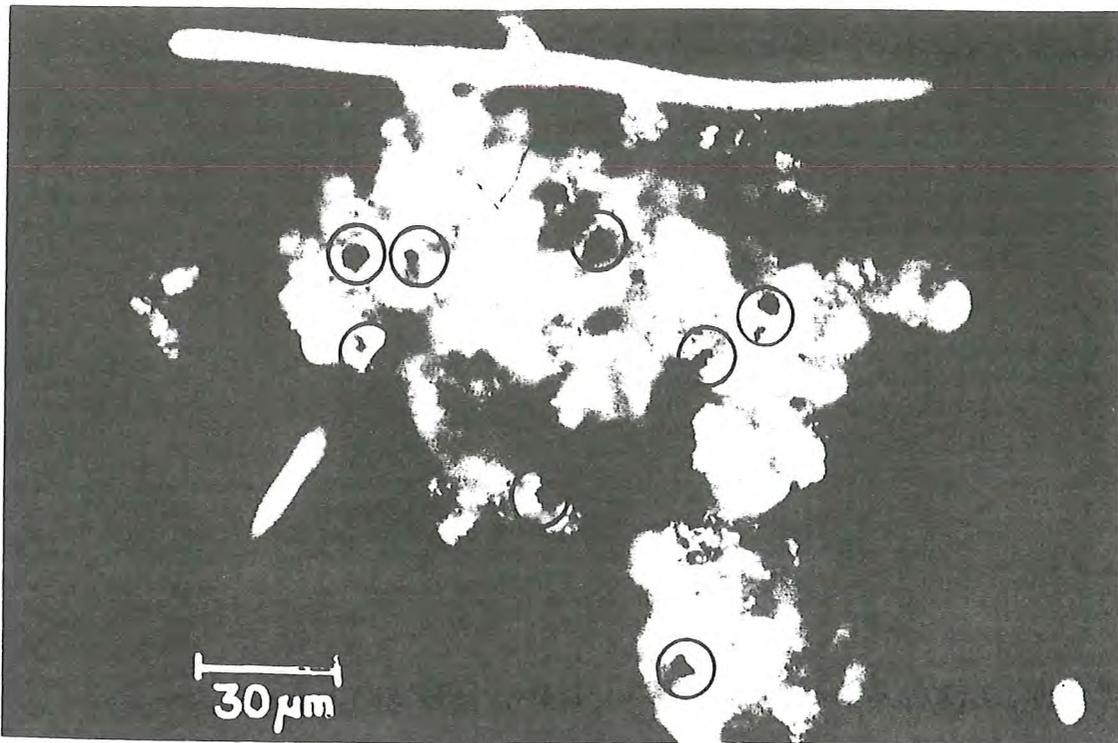


Abb. 5. Schwebstoffpartikel mit gekennzeichneten anorganischen Teilchen

Differenziert man nach Sedimentationsklassen, so ist in der 200- und 400-U/Min.-Fraktion zwar der Anteil von großen Partikeln am höchsten, jedoch scheinen auch andere Faktoren das Sedimentationsverhalten mit zu beeinflussen:

- Der Anteil der anorganischen Partikel in den Schwebstoffen beschleunigt vermutlich durch das höhere spezifische Gewicht die Sedimentation. So findet sich vor allem in der 200-U/Min.-Fraktion ein hoher Anteil anorganischer Bestandteile.
- Fädige Strukturen (z. B. Zellfäden von *Cyanobakterien*, Pilzen u. a.) vergrößern das Oberflächen/Volumen-Verhältnis und halten entsprechende Schwebstoffteilchen leichter in der Schwebe (Abb. 6). Vermutlich zeigt daher die 4000-U/Min.-Fraktion bei größeren Partikeln eine Dominanz fädiger Strukturen.

Mit Hilfe der mikroskopischen Analyse läßt sich schon jetzt feststellen, daß die Schwebstoffe erhebliche Mengen von Biomasse transportieren und daß zumindest während des bisher dokumentierten Untersuchungszeitraums nur ein geringer Teil der Mikroorganismen nicht an Partikel gebunden ist.

Die mikroskopische Analyse wird durch die Parameter Protein und Glühverlust voll bestätigt. Der Glühverlust beträgt im Mittel 40 bis 50 % des Schwebstofftrockengewichts. Nimmt man einen mittleren Proteingehalt von 50 % pro Bakterienzelle an (SCHLEGEL, 1976), so errechnet sich aus den Schwebstoffproteinwerten ein mittlerer gewichtsmäßiger Anteil der lebenden Biomasse von 80 bis 90 % am Glühverlust). In Tabelle 1 sind die bisher ermittelten Trockengewicht-, Glühverlust- und Proteinwerte zusammengestellt.

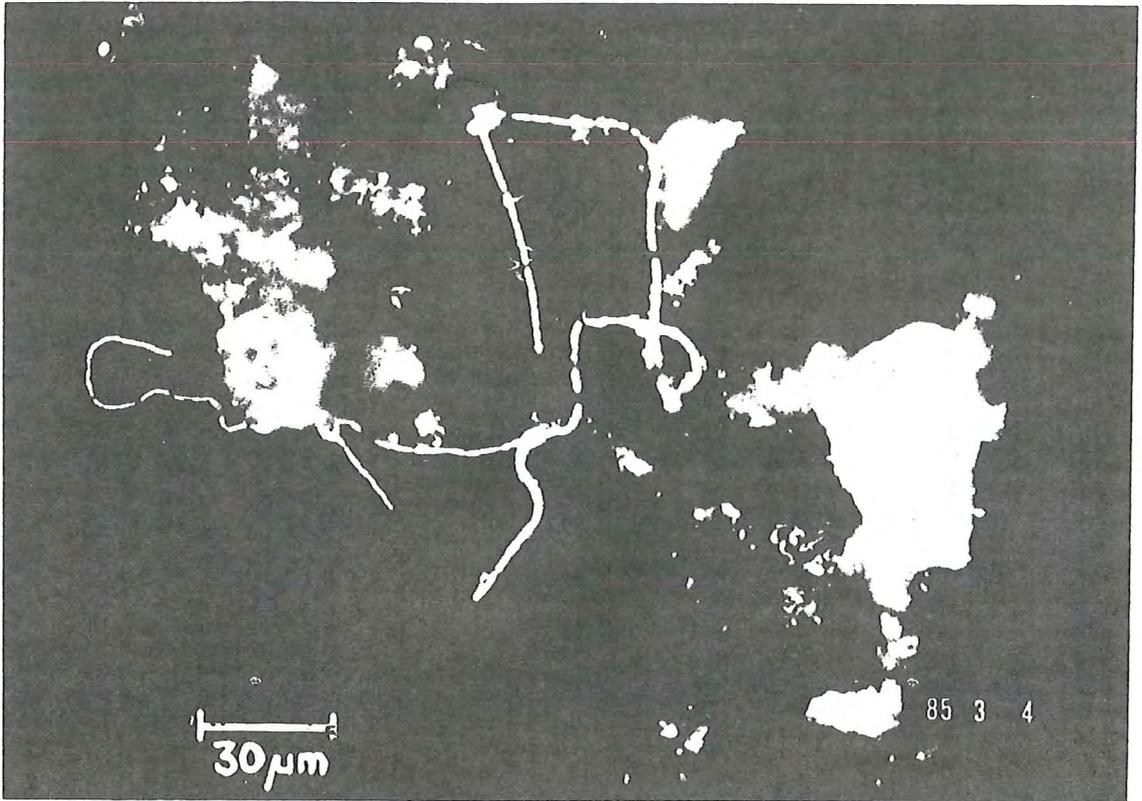


Abb. 6. Schwebstoffpartikel mit Zellfäden von Bakterien

Tabelle 1

Trockengewicht-, Glühverlust- und Proteinwerte von Juli 1984 bis März 1985. Die Proteinwerte sind die Proteingehalte der 200- + 400-U/Min.-Fraktion. Die Angaben sind in mg/l

Zeit	Trockengewicht	Glühverlust	Protein
18.07.	36,2 ± 1,1	12,6 ± 1,1	6,7 ± 0,3
23.07.	29,7 ± 0,3	11,1 ± 0,3	4,8 ± 0,4
01.08.	32,6 ± 0,3	14,4 ± 0,1	4,9 ± 0,2
08.08.	29,4 ± 0,3	11,9 ± 0,4	5,3 ± 0,4
03.10.	12,6 ± 0,1	6,3 ± 0,2	2,4 ± 0,6
24.10.	11,7 ± 1,4	5,5 ± 0,9	2,1 ± 0,1
28.11.	19,4 ± 0,7	8,2 ± 0,2	5,3 ± 1,0
05.12.	23,6 ± 0,3	9,4 ± 0,2	4,5 ± 0,6
12.12.	21,3 ± 0,3	9,2 ± 0,1	4,2 ± 0,1
18.12.	17,2 ± 0,3	8,1 ± 0,3	3,1 ± 0,1
10.01.	11,3 ± 0,4	4,8 ± 0,3	2,4 ± 0,2
07.02.	28,7 ± 0,5	10,3 ± 0,3	5,5 ± 0,5
13.02.	17,2 ± 1,8	6,0 ± 0,5	0,9 ± 0,2
19.02.	11,7 ± 0,3	4,9 ± 0,1	1,2 ± 0,4
27.02.	14,9 ± 0	7,4 ± 0,1	0,7 ± 0,1
07.03.	18,0 ± 1,0	10,4 ± 0,9	1,0 ± 0,1

3.2 Jahreszeitliche Veränderungen

Aus Tab. 1 geht hervor, daß besonders hohe Schwebstoffkonzentrationen in den Sommermonaten auftreten. Sie liegen im Vergleich zu den Herbst- und Wintermonaten im Mittel doppelt so hoch. Betrachtet man die qualitative Zusammensetzung des Schwebstoffmaterials im Jahresverlauf, so weist der organische Anteil, ausgedrückt als Glühverlust in % vom Trockengewicht, keine erkennbar jahreszeitlich bedingten Maxima oder Minima auf. Die Werte liegen zwischen 35 und 50 %, sieht man einmal von dem hohen März-Wert ab. Betrachtet man dazu parallel den Proteinanteil am Glühverlust, so scheint der Anteil der lebenden Biomasse am Schwebstoffmaterial stärkeren Schwankungen zu unterliegen. Diese sind besonders intensiv im Herbst und Winter bei niedrigen Wassertemperaturen (Abb. 7).

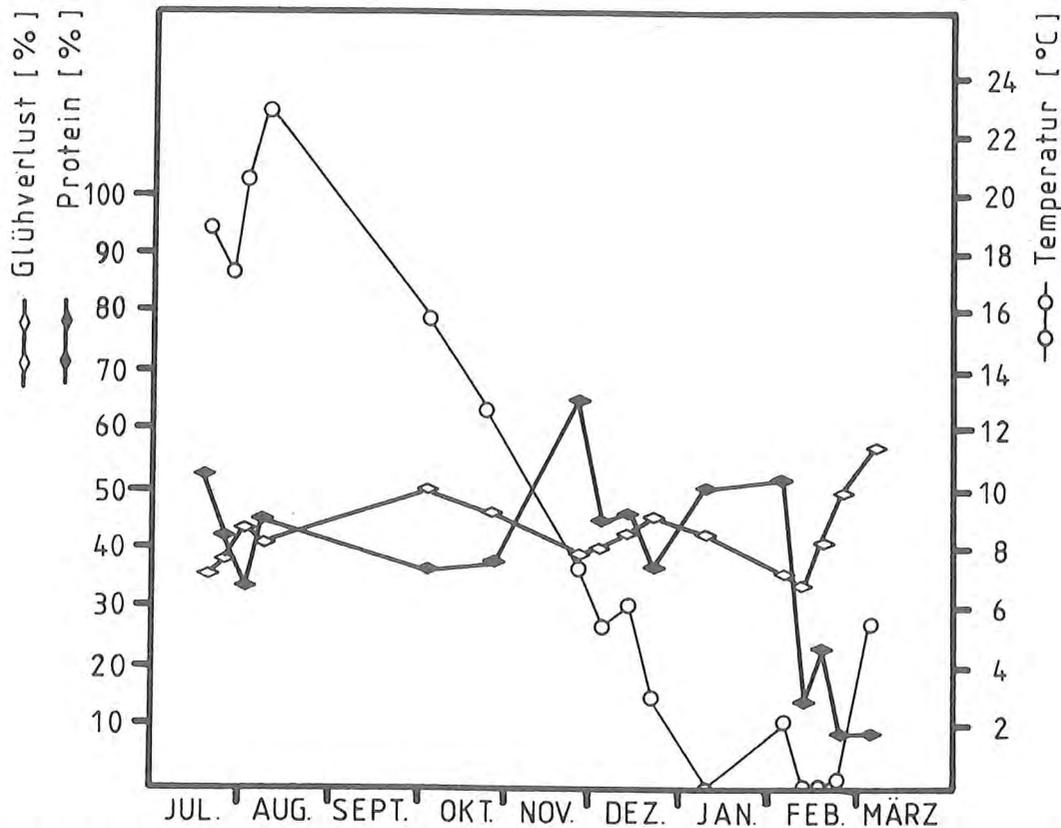


Abb. 7. Entwicklung des gesamtorganischen Anteils und der lebenden Biomasse im Jahreslauf

Abb. 8 bestätigt diesen jahreszeitlich bedingten verstärkten Ab- und Aufbau der lebenden Biomasse: Betrachtet man den Verlauf der Ammoniumkonzentrationen im Wasser als Parameter für den Proteinabbau im Zusammenhang mit den Proteinwerten, so entspricht einem niedrigen Proteinwert ein hoher Ammoniumwert und umgekehrt.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum scheint eine enge Beziehung zwischen dem mineralischen Anteil der Schwebstoffe (Aschegehalt) und dem Anteil der lebenden Biomasse (Protein) zu bestehen (Abb. 8). Beide Kurven zeigen einen auffallend parallelen Verlauf. Dies legt die Vermutung nahe, daß vor allem die lebende Biomasse die mineralischen Partikel in der Schwebstoffe hält. Umweltbedingungen, die günstige Lebensumstände für die Mikroorganismen darstellen, wie z. B. höhere Wassertemperaturen, zahlreich vorhandene Nährstoffe und ausreichende Sauerstoffkonzentrationen, sollten sich daher im Jahresverlauf auch in den Schwebstoffkonzentrationen widerspiegeln. In diesem Sinne sind daher vermutlich auch die hohen Schwebstoffwerte in den Sommermonaten zu interpretieren.

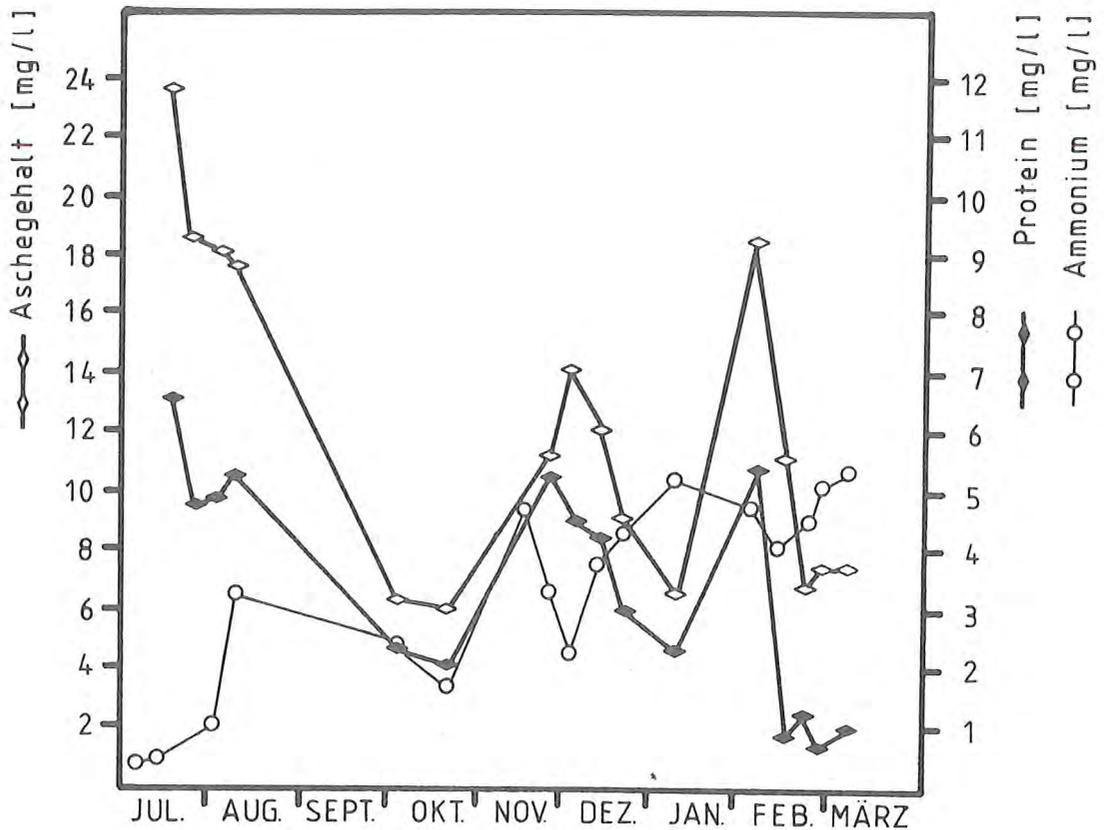


Abb. 8. Mineralischer Anteil, lebende Biomasse und Ammoniumwerte im Jahreslauf

4. Diskussion

4.1 Allgemeine Wertung

Bisherige biologische Untersuchungen beschränken sich lediglich auf Einzelaspekte. So wurden z. B. die Besiedlung von Schwebstoffpartikeln mit Mikroorganismen untersucht (JANNASCH, 1972; JOINT und POMROY, 1982; KANNE, 1981; LINLEY und FIELD, 1982; PEDRÓS-ALIÓ und BROCK, 1983), jahreszeitliche Veränderungen der Biomasse und -aktivität festgestellt (LEIGHTON, 1981; MANUELS und POSTMA, 1973), Veränderungen der Bioaktivität unter definierten Laborbedingungen (FARRAH und BITTON, 1983) sowie derartige Veränderungen in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung (HANSON, 1982). Quantifizierende Aussagen in bezug auf die Inhaltsstoffe von Schwebstoffmaterial gibt es über den Anteil der lebenden Biomasse im Belebtschlamm (KANNE, 1981), über die Mengen an organisch-gebundenem Kohlenstoff (HAMILTON-GALAT und GALAT, 1983; OGURA et al., 1981; WASSMANN, 1983), organisch gebundenen Stickstoff (HANSON, 1982; WASSMANN, 1983), Kohlenhydrate (JANNASCH, 1972; OTSUKI et al., 1983), Aminosäuren (OTSUKI et al., 1983) und ATP (HAMILTON-GALAT und GALAT, 1983; KANNE, 1981; MANUELS und POSTMA, 1973; POSTMA, 1982).

Allen Untersuchungsergebnissen liegen jedoch nur punktuelle Probennahmen zugrunde; weiterhin wurden wichtige physikalische und chemische Begleitparameter nicht mitgemessen, da dies i. d. R. zur Verfügung stehende zeitliche und personelle Kapazitäten übersteigt. Dies führt bei den erhaltenen Meßergebnissen zu allgemein bekannten Interpretationsschwierigkeiten, die bei dem vorliegenden Untersuchungsprogramm aufgrund des weitgehend automati-

sierten Probennahme- und Meßverfahrens vermieden werden. So geben auch die bereits vorliegenden Ergebnisse schon jetzt einen Einblick in die möglichen Kausalzusammenhänge, die die Schwebstoffdynamik bestimmen.

4.2 Wertung der Ergebnisse

Angaben in der Literatur bezüglich der Besiedlungsdichte von Schwebstoffen mit Mikroorganismen, speziell Bakterien, sind sehr unterschiedlich und aufgrund der verschiedenen Probennahmeorte und Aufarbeitungstechniken nur schlecht vergleichbar. JOINT und POMROY (1982) sowie REUTER (1979) berichten übereinstimmend, daß in Ästuaren mehr als 50 % der Bakterien an Partikel gebunden sind. LINLEY und FIELD (1982) geben für marine Proben entsprechende Werte von 34 % an und PEDRÓS-ALIÓ und BROCK (1983) für den Lake Mendota (Wisconsin, USA) Werte von 1 bis 30 %. Die eigenen Untersuchungen zeigen, daß im Jahresmittel mindestens 80 % der Biomasse an größere Partikel gebunden ist.

Das Auftreten besonders hoher Schwebstoffmengen im Sommer wird von HINRICH (1975) für die Elbe bestätigt und ebenfalls für die Weser und Ems angegeben. Die These, daß dafür vor allem die lebende Biomasse verantwortlich sein könnte (über die Stabilisierung der Schwebstoffpartikel durch die Verklebung mineralischer und organischer Substanz), wird indirekt durch OGURA et al. (1981) bestätigt. Bei ihren Untersuchungen von suspendiertem Material in Süßwasserproben fand sich besonders in der grob-partikulären Fraktion ein hoher relativer Anteil an organisch gebundenem Kohlenstoff im Vergleich zur feinputikulären Fraktion. Weiterhin zeigen Laborexperimente (ROBERTSON et al., 1982), daß Bakterien in der Lage sind, gelöste organische Substanzen zu Aggregaten umzuformen. OGURA et al. (1981) konnten zeigen, daß im Sommer bei günstigen Bedingungen für die Mikroorganismen der Gehalt an biologisch-organischen Bestandteilen im partikulären Material drastisch zunimmt. Ähnliche Indizien für eine starke Beteiligung der Biologie an der jahreszeitlichen Schwebstoffdynamik findet man bei CHRISTIANSEN (1985) durch einen Vergleich der Schwebstoffkonzentrationen in der Elbe im Zusammenhang mit den jährlichen Wassertemperaturen.

Dies alles sind Hinweise auf eine zentrale Rolle der Mikroorganismen bei der Bildung und Umbildung von Schwebstoffmaterial. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, daß herkömmliche Parameter, wie Trockengewicht und Glühverlust, allein diese Phänomene nicht beschreiben können, ja vermutlich sogar zu gravierenden Fehleinschätzungen bei verschiedenen mit den Schwebstoffen zusammenhängenden Problemen führen. So werden z. B. in den Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern Berechnungen über den jährlichen Abtrag in t/km^3 durch das Wassereinzugsgebiet der Elbe angeführt. Diesen Berechnungen liegen Schwebstoff-Trockengewichtsmessungen bei Hitzacker zugrunde. Da aber nachgewiesenermaßen ein großer Teil des Schwebstoffmaterials aus lebender Biomasse besteht, die sich aufgrund der Charakteristik der Schwebstofftextur erst in der Elbe gebildet haben kann, liegen diese Werte wesentlich zu hoch. Weitere Fehleinschätzungen gibt es vermutlich bei gleichen falschen Grundannahmen über die Natur der Schwebstoffe für die Akkumulation und mögliche Herkunft von Schadstoffen im Schwebstoffmaterial. Auf diese Problematik wurde schon in der Einleitung hingewiesen.

Es zeigt sich, daß der biologische Aspekt nicht den bestehenden Interpretationsschwierigkeiten neue hinzufügt, sondern, im Gegenteil, bedeutsame Ansätze für ein Erklärungsmodell der Schwebstoffdynamik liefert.

5. Schriftenverzeichnis

- ATKINSON, D. E. u. WALTON, M.: Adenosine triphosphate conservation in metabolic regulation – Rat liver cleavage enzyme. *J. Biol. Chem.*, 242, 1967.
- ATKINSON, D. E.: The energy charge of the adenylate pool as a regulatory parameter. Interaction with feedback modifiers. *Biochemistry*, 7, 1968.
- BABIUK, L. A. u. PAUL, E. A.: The use of fluorescein isothiocyanate in the determination of the bacterial biomass of grassland soil. *Can. J. Microbiol.*, 16, 1969.
- BEARDEN, J.: Quantitation of sub-microgram quantities of protein by an improved protein-dye binding assay. *Biochem. Biophys. Acta*, 533, 1978.
- BIO RAD LABORATORIES: Bio-Rad protein assay. Bulletin 1069 EG, 1979.
- BRADFORD, M.: A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72, 1976.
- BREZONIK, P. L., BROWNE, F. X. u. FOX, J. L.: Application of ATP to plankton biomass and bioassay studies. *Water Research*, 9, 1973.
- CHRISTIANSEN, H.: Erste Ergebnisse an Schwebstoffmessungen mit dem CUX-SAMPLER in der Elbe. *Die Küste*, H. 42, 1985.
- DREWS, G.: Mikrobiologisches Praktikum. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, 4. Aufl. ISBN 3-540-11836-5, 1983.
- EIGENER, U.: Adenine nucleotide pool variations in intact *Nitrobacter winogradskyi* cells. *Arch. Mikrobiol.*, 102, 1975.
- FARRAH, S. R. u. BITTON, G.: Bacterial survival and association with sludgeflocs during aerobic and anaerobic digestion of waste-water sludge under laboratory conditions. *Appl. Env. Microbiol.*, 45, 1983.
- FRAUENHEIM, K.: Gesamtprotein im Sediment als Biomasse-Indikator – Untersuchungen im Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika. Diplomarbeit, Universität Hamburg, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, 1984.
- GRAF, G., BENGTSOON, W., DIESNER, U., SCHULZ, R. u. THEEDE, H.: Benthic response to sedimentation of a spring phytoplankton bloom: process and budget. *Mar. Biol.*, 66, 1982.
- GREISER, N.: Methodische Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung von Adenosintriphosphat und Energy Charge in Prokaryonten und Eukaryonten. Diplomarbeit, Universität Hamburg, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, 1982.
- HAMILTON-GALAT, K. u. GALAT, D. L.: Seasonal variation of nutrients, organic carbon, ATP, and microbial standing crops in a vertical profile of Pyramid Lake, Nevada. *Hydrobiologica*, 105, 1983.
- HANSON, R. B.: Organic nitrogen and caloric content of detritus. II Microbial biomass and activity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 14, 1982.
- HINRICH, H.: Die Schwebstoffbelastung der Weser und der Vergleich mit Elbe und Ems. *Dt. Gewässerkd. Mit.*, 19, Sonderheft, 1975.
- JANNASCH, H. W.: Bacterial content of particulate matter in offshore surface waters. *Limnol. Oceanogr.*, 18, 1972.
- JOINT, I. R. u. POMROY, A. J.: Aspects of microbial heterotrophic production in a highly turbid estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 58, 1982.
- KALBHEN, D. A. u. KOCH, H. J.: Methodische Untersuchungen zur quantitativen Mikrobestimmung von ATP in biologischem Material mit dem Firefly-Enzymsystem. *Z. Klin. Chem. u. Klin. Biochem.*, 5, 1967.
- KANNE, R.: Die quantitative Bestimmung von ATP als Parameter für die physiologische Aktivität von Belebtschlämmen. *Vom Wasser*, 57, 1981.
- LEIGHTON, G.: Biomass relationships between phytoplankton, zooplankton and heterotrophic aerobic bacteria in a reservoir. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21, 1981.
- LINLEY, E. A. S. u. FIELD, J. G.: The nature and ecological significance of bacterial aggregation in a nearshore upwelling ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 14, 1982.
- MANUELS, M. W. u. POSTMA, H.: Measurements of ATP and organic carbon in suspended matter of the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 8, 1973.
- NEUMANN, L. J. R.: a) AMO – die Automatische Meßstation Oortkaten: Meßsystem zur Sammlung von Schwebstoffproben und Messung von Begleitparametern. *Die Küste*, H. 42, 1985. b) MOSTRA – ein neues Verfahren zur strömungs- und morphologieadäqua-

- ten Bilanzierung von suspendierten Feststoffen und Begleitparametern in geschichteten Ästuaren. Die Küste, H. 42, 1985.
- OGURA, K., YAMAMOTO, K., NAITOH, Y. u. FUKUSHIMA, K.: The role of clay minerals and humic substances on the behaviour of organic and inorganic compounds in fresh water. Verh. Internat. Verein. Limnol., 21, 1981.
- OTSUKI, A., MIYOSHI, T., UNNO, T. u. SEKI, H.: Biochemical constituents of particulate matter in a mesotrophic irrigation pond. Arch. Hydrobiol., 98, 1983.
- PEDRÓS-ALIÓ, C. u. BROCK, T. D.: The importance of attachment to particles for planktonic bacteria. Arch. Hydrobiol., 98, 1983.
- POSTMA, H. u. DIJKEMA, K. S.: Hydrography of the Wadden Sea: movements and properties of water and particulate matter. Report 2 of the Wadden Sea Working Group ISBN 90 6191 0528, 1982.
- REUTER, J. H.: Chemical interactions involving the biosphere and fluxes of organic material in estuaries. River Inputs to Ocean Systems, Proceedings of a Review Workshop, Rome, Italy, 1979.
- ROBERTSON, M. L., MILLS, A. L. u. ZIEMAN, J. C.: Microbial synthesis of detritus-like particulates from dissolved organic carbon released by tropical seagrasses. Mar. Ecol. Prog. Ser., 7, 1982.
- SCHLEGEL, H. G.: Allgemeine Mikrobiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, ISBN 3 13 444604 9, 1975.
- SPECTOR, T.: Refinement of Coomassie Blue method of protein quantitation - Simple and linear spectrophotometric assay for less-than-or-equal-to 0,5 to 50 microgram of protein. Anal. Biochem., 86, 1978.
- STREHLER, B. L.: Bioluminescence assay: principles and practise. Meth. of Biochem. Anal., 18, 1968.
- SUNDERMEYER, H.: Vergleichende Untersuchungen am Energie-Stoffwechsel von unterschiedlich angezogenen *Nitrobacter*-Zellen. Dissertation, Universität Hamburg, Institut für Allgemeine Botanik, 1979.
- WASSMANN, P.: Sedimentation of organic and inorganic particulate material in Lindaspollene, a stratified, land-locked fjord in Western Norway. Mar. Ecol. Prog. Ser., 13, 1983.
- WITZEL, K. P.: The adenylate energy charge as a measure of microbial activities in aquatic habitats. Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn. Limnol., 12, 1979.

Geräteverzeichnis

GERÄTEVERZEICHNIS

Inhalt

Einführung

Beschreibung der Meßstation Oortkaten
(Auszug aus DIE KÜSTE, Heft 42)

Beschreibung der Gammasonde
(Auszug aus DIE KÜSTE, Heft 42)

Beschreibung des CUX-SAMPLERS
(Auszug aus DIE KÜSTE, Heft 42)

EINFÜHRUNG

Phase I (Gerätebeschaffung) und Phase II (Gerätetest) des Forschungsvorhabens beinhalteten Beschaffung, Entwicklung und Test verschiedener Geräte der Bereiche Wasseruntersuchungstechnik, Verfahrenstechnik und Elektronik. Es wurden Meßverfahren entwickelt, die auf die Geräte abgestimmt waren oder die Geräte wurden ihrerseits dem vorgegebenen Verfahren angepaßt (Riethmüller, 1985; Neumann, 1985).

Die Erfahrungen anderer Projekte, sowie der Stand der Technik 1982 führten bei der anspruchsvollen Aufgabenstellung des Vorhabens zur Entscheidung, neben marktfähigen Geräten neue Geräte zu entwickeln und zu bauen. Drei dieser Neuentwicklungen sind im Anschluß an diese Einführung beschrieben: die Meßstation Oortkaten, die Gammasonde, die eine Entwicklung der GKSS ist und der CUX-SAMPLER (Entwicklung: Strom- und Hafengebäude), der zur Eichung der Meßstation Oortkaten diente (Ergebnisse siehe Teil III).

Ein erster Erfolg der Geräteentwicklung läßt sich darin erkennen, daß die Geräte heute z.T. in anderen Bereichen eingesetzt werden, bzw. als neuester Stand der Technik angesehen werden.

Neben den drei Großgeräten wurden im Rahmen des Projektes eine Reihe weiterer Geräte angeschafft, die in der u.a. Tabelle zusammengefaßt sind. Erfahrungen mit diesen Geräten wurden vielfach in internen Berichten beschrieben und können auch bei der Projektleitung (Strom- und Hafengebäude, Hamburg; Abt. SB 41) erfragt werden.

GERÄTEKARTEI

Stand : 31.12.1986 KFKI-Vorhaben : "Schlick- und Schwebstoffe
in Ästuaren"

Gerät und Zubehör	Hersteller	Anzahl	Lagerort	Kommentar
Sondensystem MOBY kompl. mit Datenerfassung und Trägereinheit	Meerestechnik Elektronik	1	Bremerhaven	Alfred-Wegener Institut
Trübungsmesser P 082	Hydrowerkstätten Kiel	1	Bremerhaven	"
Windkraftgenerator mit Batterien und Elektronikteil	Lubing Bremerhaven	1	Bremerhaven	W S A
Meßcontainer	Heinrich	1	Hamburg	Strom- und Hafenaub
Wassergütemeßstation GIMAT	GIMAT Polling	1	Hamburg	"
Zentrifuge LAPX 202 mit Steuerschrank	ALFA LAVAL Reinbek	1	Hamburg	"
Tauchpumpe mit Zubehör	MINI	1	Hamburg	"
Interface für MOBY-Einheit als Verbindung zu einem NOVA-Rechner	PD-Computer Köln	1	Bremerhaven	Alfred-Wegener Institut
Mehrkanal-Batterieschreiber	GAT	1	Bremerhaven	"
Elektroschrank mit Anlagensteuerung	PETERS Hamburg	3	Hamburg	Strom- und Hafenaub
Probenverteilungsanlage und Entnahmevorrichtung	BERG Hamburg	1	Hamburg	"
Winde	Hitachi	1	Hamburg	"
Pegel mit Meßumformern	Hartmann & Braun	2	Hamburg	"
Strömungsmesser (akust.) mit Elektronikumformer dig/ana	Meerestechnik Elektronik	1	Hamburg	"
Monopumpe mit Steuerungsvorrichtung	NETSCH / STÖVER	1	Hamburg	"
Prozessrechner mit Bedieneinheit	HEYDEN-Mikrocomputer-technik	1	Hamburg	"
Bedieneinheit mit Akustikkoppler	SANYO	1	Hamburg	"

Auszug aus DIE KÜSTE, Heft 42, 1985

AMO – die Automatische Meßstation Oortkaten – Meßsystem zur Sammlung von Schwebstoffproben und Messung von Begleitparametern

Von L. J. R. NEUMANN

Zusammenfassung

Zur Messung und Bilanzierung suspendierter Feststoffe und Begleitparameter wurde im Rahmen des KFKI-Projektes „Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in Ästuaren“ mit Unterstützung des BMFT und Strom- und Hafenausbau, Hamburg, das Automatische Meßsystem Oortkaten (AMO) entwickelt. Unter Berücksichtigung eines neuen Meßprinzips (MOSTRA) erfolgt die Messung morphologie- und strömungsadäquat. Das Ergebnis ist damit ein mittlerer Wert der Parameter über den Querschnitt. Der Meßablauf und die Meßparameter werden neben dem technischen Instrumentarium der AMO beschrieben. Die ersten Ergebnisse zeigen die Ganglinien der Parameter während der Meßperiode 1984.

Summary

The automated measurement station at Oortkaten (AMO) was established in order to determine the mass balance of suspended sediment and associated parameters. Morphological and velocity weighted averaged samples are taken using the newly developed MOSTRA-method. This results in a cross-sectional averaged value. The measurement technique and instrumentation are described. The initial results illustrate the variation of various parameters during the 1984 data collection period.

Inhalt

1. Einführung	151
2. Meßprinzip	152
3. Systemaufbau und Meßablauf	153
4. Meßparameter	154
5. Technische Beschreibung der AMO	155
6. Ausblick und erste Ergebnisse	157
7. Schriftenverzeichnis	161

5. Technische Beschreibung der AMO

Die AMO besteht aus vier Gerätekomplexen, die erst in ihrem Zusammenwirken das neue Meßsystem darstellen*). Im einzelnen handelt es sich dabei um das System IKARUS, welches die Aufgaben der isokinetischen Probenahme, Strömungsgeschwindigkeits- und richtungsmessung übernimmt und als Unterwassergeräteträger dient.

Die Probenahmeöffnungen und der Strömungsmesser sind starr in Richtung der beiden Hauptströmungen ausgerichtet. Der dadurch entstehende Fehler ist vernachlässigbar, da Querströmungen im Querschnitt Oortkaten während einer Tide einen Anteil von weniger als 1 % haben.

Bei Einsätzen des Gerätes in Gebieten mit wechselnden Strömungsrichtungen ist eine sich selbstausrichtende Geräteträgeranordnung notwendig, da nur bei senkrechtem Eintritt der Strombahnen in den Querschnitt der Entnahmeöffnung sich Feststoff und Flüssigkeitsme-

*) Die Entwicklung und der Bau der Anlage wurde in enger Zusammenarbeit mit der Fa. Erich Berg in Hamburg und der Heyden Microcomputertechnik GMBH, Hamburg, durchgeführt.

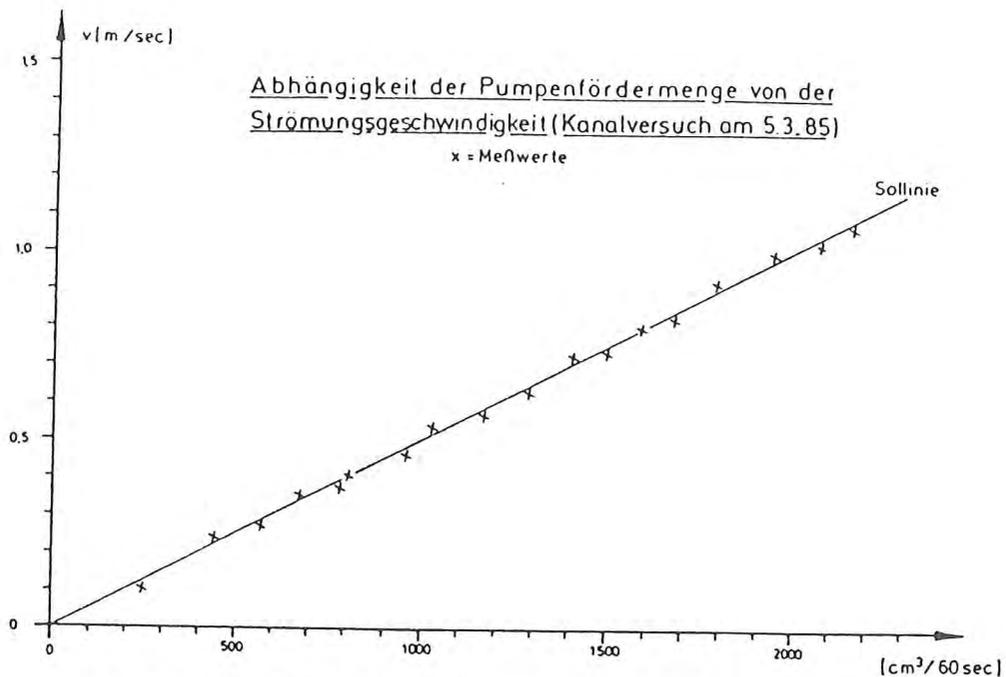


Abb. 3. Fördermenge als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit. Meßergebnis eines Versuchs im Strömungskanal der FH Hamburg am 5. 3. 1985

dium in ihrer Bewegung gleich verhalten (WOHLENBERG, 1950; NELSON u. BENEDICT, 1946). Um nun die senkrecht auf den Entnahmeöffnungsquerschnitt treffenden Strombahnen durch Stau und Sunk nicht zu verändern, ist eine lineare Abhängigkeit der Fördermenge der Pumpe entsprechend der Strömungsgeschwindigkeit Voraussetzung. Hierfür werden auf der AMO eine Netsch-Monopumpe Typ 3NU10 und ein akustischer Strömungsmesser der Fa. Meerestechnik Elektronik (ME) Typ SM 124 eingesetzt. Die Linearität des Systems konnte in einem Strömungskanal nachgewiesen werden (Abb. 3).

In der zweiten Komponente der AMO, dem System ABULO (Abb. 4), werden die Wasserproben gesammelt. Zwei Tanks stehen hierfür mit einer maximalen Kapazität von je 180 l zur Verfügung. Zum Abscheiden des Schwebstoffs wird eine Durchlaufzentrifuge vom Typ ALFA LAVAL LAPX 202 eingesetzt. Der Abscheidegrad beträgt $0,45 \mu\text{m}$ bei einer Durchlaufmenge von 2,5 l/min und einer Drehzahl von 6000 U/min. Zur Unterbindung der biologischen Aktivität des lebenden Anteils der Feststoffe hält ein Kühlsystem mit einer Leistung von 3300 kcal den Innenraum von ABULO auf einer Temperatur von $+4^\circ\text{C}$. Die Wasserführung zwischen Tankeinlauf, Bypass und Tankablaß wird mit Koaxialmagnetventilen gesteuert. Nach jedem Tidewechsel tritt eine Spülautomatik in Kraft, die Tanks, Zentrifuge und Probeleitungen reinigt.

Die Messung der Begleitparameter erfolgt im Meßcontainer. Die Meßsonden werden hier mit Elbwasser versorgt, welches eine Pumpe vom Geräteträger aus fördert. Ausgenommen hiervon ist das Attenuationsmeter, Typ IFM-Bremerhaven. Dieser Meßwertaufnehmer ist direkt neben den Einlaßöffnungen der Probenahmeleitung installiert.

Das Zusammenwirken der Einzelkomponenten wird erst möglich durch den Einsatz eines Steuerrechners. Hierbei handelt es sich um einen 16-bit-Rechner der Fa. HEYDEN

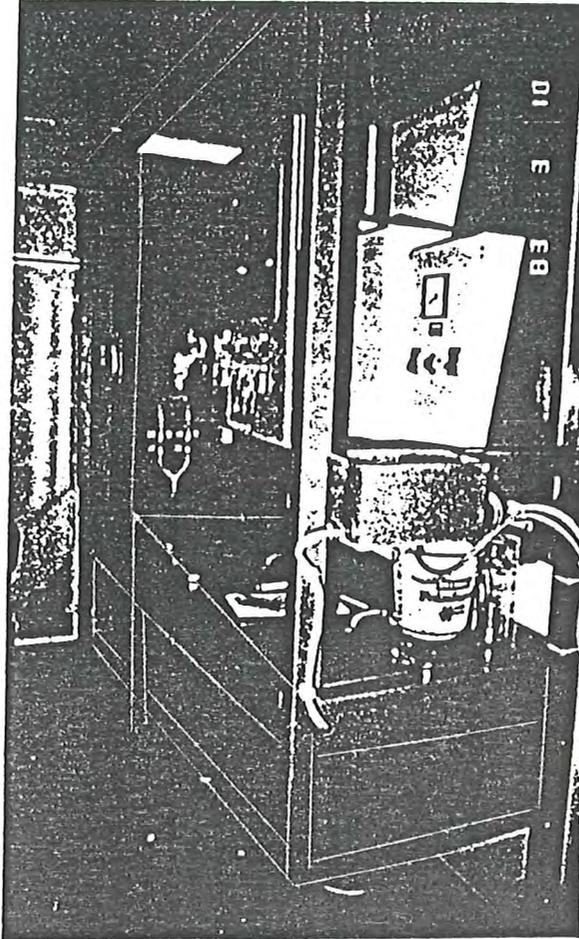


Abb. 4. Kühlraum der Systemkomponente ABULO. Unter den Abdeckungen befinden sich die Flaschenbahn und die Zentrifuge

GmbH. Das Zusammenwirken der verschiedenen Steuerungsrou-tinen zeigt Abb. 6. Ausgelegt ist der Rechner mit einer Speicherkapazität, die einen 7-Tage-Betrieb der AMO gewährleistet. Neben den Steuerungs- und Meßdatenerfassungsfunktionen hat der Computer die Aufgabe, Störungen im Betriebsablauf anzuzeigen und die AMO in einen Wartezustand zu versetzen. Eine Meldung dieser Störungen erfolgt über einen Telefonalarm an die zuständigen Stellen, die daraufhin über eine Datenleitung die Möglichkeit haben, den Fehler, soweit dies möglich ist, zu beheben und die Anlage neu zu starten.

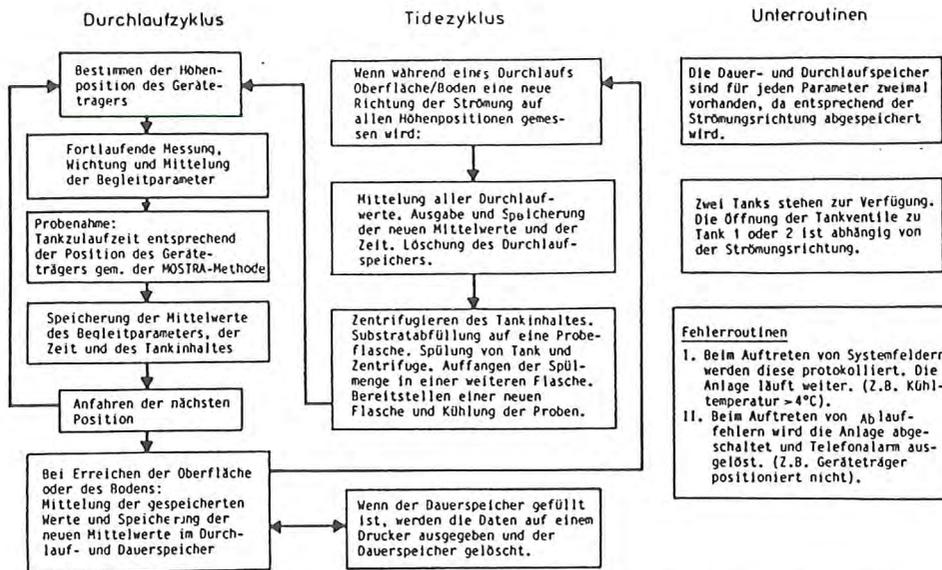


Abb. 6. Steuerungsabläufe beim Durchlaufen der Wassersäule und beim Halbtidenwechsel

Auszug aus DIE KÜSTE, Heft 42, 1985

Eine Gammasonde zur Schlickdichte-Bestimmung: ihre Entwicklung, Erprobung und Bewährung im Feldeinsatz

Von H.-U. FANGER, E. BÖSSOW und H. KUHN

Zusammenfassung

Im Rahmen des KFKI-Projekts „Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in Ästuaren“ wurde eine tauchbare Gammasonde zur Schlickdichte-Bestimmung in Transmissionsgeometrie entwickelt, gebaut, in mehreren Feldeinsätzen im Hamburger Hafen sowie in der Unterweser erprobt und für erste Vermessungsaufgaben verwendet. In Abgrenzung zu anderen Verfahren werden Methode, Merkmale der Sonde und Ergebnisse beschrieben.

Summary

A submersible gamma probe for determining density based on transmission geometry measurements was developed for off-ship use in the context of the KFKI project "Mud and Suspended Matter in Estuaries". The gamma probe was tested in Hamburg Harbor and in the Lower Weser Estuary. The probe is described, the measurement technique compared with others, and results are presented.

Inhalt

1. Einführung	190
2. In-situ-Verfahren zur Untersuchung der Gewässersole	190
2.1 Echolotung	190
2.2 Radiometrie	191
3. Radiometrische Dichtemessung	192
3.1 Prinzip	192
3.2 Wahl des Verfahrens	193
3.3 Kalibrierbarkeit	193
4. Zum Aufbau der Gammasonde	195
4.1 Mechanische Ausführung und Strahlungsverhältnisse	195
4.2 Sensoren	197
4.3 Signalverarbeitung	197
5. Tests und Erprobungen	198
5.1 Mechanische Eigenschaften	198
5.2 Auflösung und Statistik	198
5.3 Reproduzierbarkeit und Richtigkeit	200
6. Meßeinsätze	201
6.1 Unterweser	201
6.2 Hamburger Hafen	203
7. Weiterentwicklung	204
8. Schriftenverzeichnis	206

4. Zum Aufbau der Gammasonde

4.1 Mechanische Ausführung und Strahlungsverhältnisse

Abb. 5 zeigt den konstruktiven Aufbau der Gammasonde. Sie besteht aus einem ca. 3 m langen Rohrkörper, der in einen Schenkel die Strahlenquelle, auf gleicher Höhe im anderen Schenkel einen Szintillationsdetektor enthält. Dabei ist die Quelle in einem Wolfram-Vollzylinder untergebracht, der zugleich als hochwertige Abschirmung und als Kollimator dient. Die Achse der konusförmigen, 25 cm langen Transmissionsmeßstrecke befindet sich etwa 20 cm oberhalb der Spitzen. Zur Gewährleistung der Längenkonstanz der Meßstrecke, die

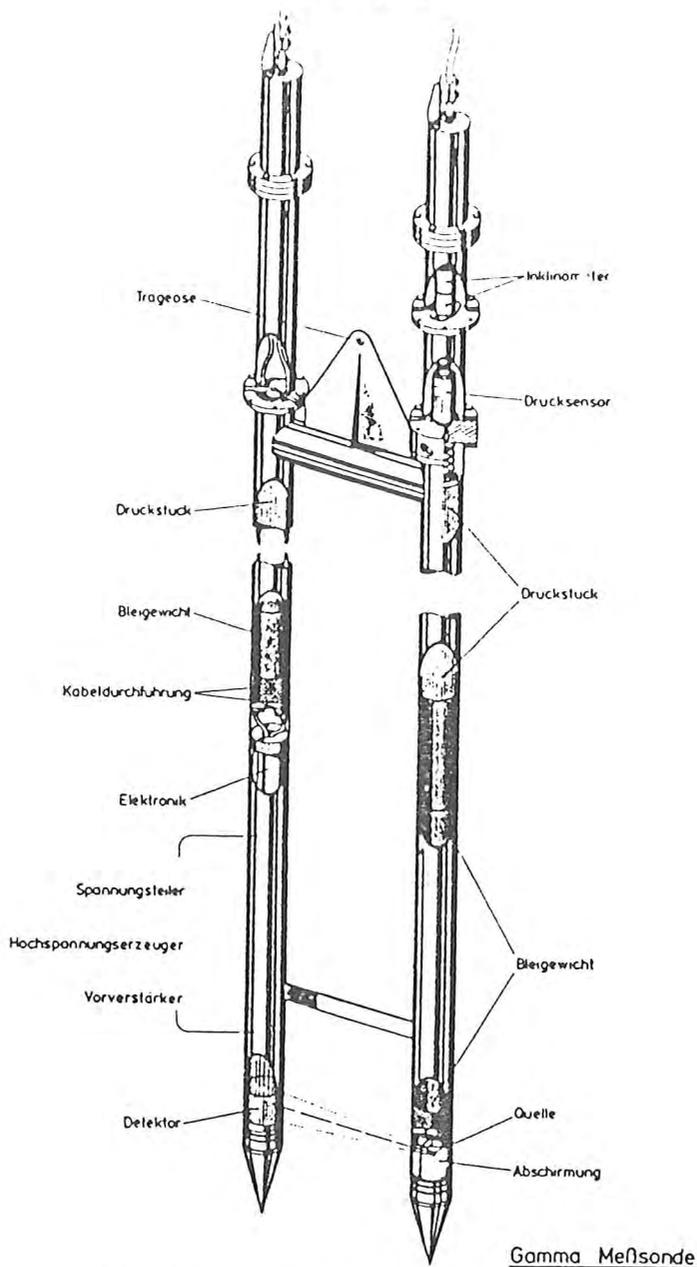


Abb. 5. Konstruktiver Aufbau der GKSS-Gammasonde

mitentscheidend für die Reproduzierbarkeit der Dichtebestimmung ist, wurde zur Versteifung ein flacher Steg in etwa doppelter Höhe angebracht. In den Freiräumen über Detektor und Elektronik bzw. über der Strahlenquelle sind zur zusätzlichen Beschwerung der Sonde Bleigewichte eingesetzt, so daß die Sonde, am Stahldraht gefiert, auch ohne kinetische Energie aus der Fiergeschwindigkeit, nur aufgrund ihres Eigengewichtes, in schlickige Böden einzudringen in der Lage ist.

Über dem Querrohr befindet sich im Abstand von 234 cm oberhalb der Transmissionsmeßstrecke der Drucksensor mit einer Öffnung nach außen; mit dem Signal dieses Sensors, als Vorsichtsmaßnahme zur Vermeidung einer Verstopfung durch Schlick bewußt hoch angebracht, wird die momentane Eintauchtiefe bestimmt. Da starke Schräglagen der Gammasonde zu Fehlmessungen führen könnten und Abweichungen von der vertikalen Lage in jedem Fall für die Berechnung der Tiefendifferenz von Dichtemeßstrecke und Drucksensor berücksichtigt werden müssen, wird auch die Neigung der Sonde in der Rohrebene sowie senkrecht dazu mit zwei Inklinometern gemessen.

Als Strahlenquelle wird ein 0,37-GBq-Cs-137-Präparat mit der Gammaenergie von 662 keV und einer Halbwertszeit von 30,17 Jahren verwendet. An Luft beträgt die Äquivalentdosisleistung in 10 cm Abstand vom Quellrohr ca. 25 µSv/h, in Strahlrichtung direkt hinter dem Detektor ca. 100 µSv/h. Für den Transport wurde eine am Quersteg fixierbare, asymmetrische, ringförmige Abschirmung aus Edelstahl gefertigt. In längeren Meßpausen kann die Sonde in einem Bleibehälter oder in einer mit Wasser gefüllten Tonne gefahrlos gelagert werden.

4.2 Sensoren

Als Strahlendetektor in der Transmissionsmeßstrecke ist ein NaJ-(Tl-)Kristall für einen Temperaturbereich zwischen -20° und 100°C sowie für eine Stoßfestigkeit bis 10 g eingebaut. Zur Wandlung der im Kristall durch die Gammastrahlung erzeugten Lichtblitze (Szintillationen) in elektrische Ströme und zu deren millionenfachen Verstärkung dient ein Photomultiplier (Sekundärelektronenvervielfacher), auf den der Kristall mit einem optischen Kitt montiert ist.

Für die Tiefenmessung wird ein Präzisionsdruckaufnehmer verwendet, der ein Stromsignal nach dem DMS-(Dehnmeßstreifen-)Verfahren erzeugt. Der Gesamtmeßbereich ist 5 bar abs. bei einer Genauigkeit von 0,1 % v. E., also ± 5 cm WS. Nach dem Prinzip eines elektromagnetisch kompensierten Pendels arbeiten die in der Sonde eingesetzten Zweiachsen-Neigungswinkelgeber (Inklinometer). Ihre Genauigkeit ist unter $0,5^{\circ}$ bis zu 10° , unter $2,0^{\circ}$ bis zu 90° Schräglage.

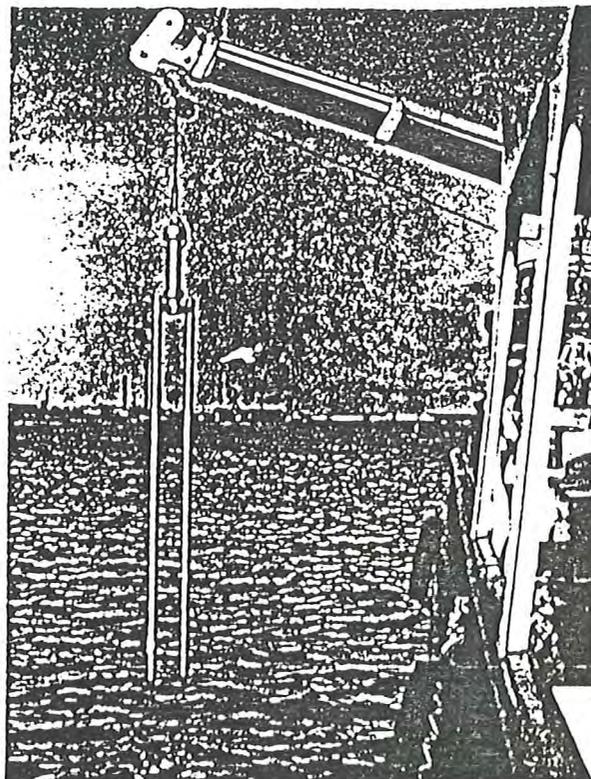
4.3 Signalverarbeitung

Bei der hier beschriebenen Version eines Vorprototyps der Gammasonde, die im Rahmen der in Kapitel 7 beschriebenen Weiterentwicklung gerade bezüglich der Datenübertragung und Signalverarbeitung merkliche Änderungen erfahren hat, wird die Spannungsversorgung und die Analogsignalübertragung über mehradrige Kabel bewerkstelligt.

Die aus dem Szintillationsdetektor der Sonde zum Bordgerät übermittelten Impulse mit energie-proportionalen Amplituden werden in einem Einkanaldiskriminator sortiert, so daß nur die dem Photopeak entsprechenden Ereignisse als Zählrate im Takt von $1/10$ s erfaßt und einem Mikroprozessor zugeführt werden. Nach jedem dieser kurzen Meßintervalle wird die Zählrate über eine einprogrammierte Kalibrierfunktion mit manuell änderbaren Konstanten in Dichtewerte umgerechnet und über DA-Wandler als analoge Größe auf einem xy-Schreiber als Funktion der Tiefe aufgetragen. Die der Tiefe entsprechende Analoggröße wird mit vorwählbarer Nullpunktsunterdrückung nach angepaßter Verzögerungszeit aus der Differenz der Druckwerte des erwähnten Sondensensors und eines zweiten Sensors im Bordgerät

abgeleitet, um auch Luftdruckschwankungen zu berücksichtigen. Der Neigungswinkel aus dem Inklinometer erscheint in digitaler Anzeige und steht für Aufzeichnungen auch analog zur Verfügung. Erst in der späteren Version wird auch die Tiefenkorrektur über den Neigungswinkel vom Rechner übernommen.

Wegen der erwähnten Einkanaldiskriminierung ist die Stabilität der Verstärkung für die Reproduzierbarkeit der Dichtemessungen von großer Bedeutung. Sie wird durch eine auf die Multiplier-Spannung einwirkende Zweikanal-Stabilisierungsschaltung auf zuverlässige Weise erreicht. - Weitere Einzelheiten können in diesem Rahmen nicht erläutert werden.



Auszug aus DIE KÜSTE, Heft 42, 1985

Erste Ergebnisse aus Schwebstoffmessungen mit dem CUX-SAMPLER in der Elbe

Von HERMANN CHRISTIANSEN

Zusammenfassung

Seit 1980 werden von Strom- und Hafenanbau, Hamburg, Schwebstoffmessungen an der Oberelbe bei Oortkaten durchgeführt. Sie dienen der Ermittlung von Schwebstofffrachten nach Hamburg, die Grundlage für die Erforschung von Sedimentationsvorgängen in den Häfen sind. Gleichzeitig soll mit den Messungen eine Eichung der an der automatischen Meßstation Oortkaten ermittelten Daten für Repräsentativaussagen über den gesamten Flußquerschnitt durchgeführt werden. Die angewandte Meßstrategie, die Funktion des bei den Messungen eingesetzten CUX-SAMPLER und die Ergebnisse werden mitgeteilt. Der Beitrag soll gleichzeitig einen Eindruck darüber vermitteln, daß die Erforschung von Zusammenhängen der Schwebstofffracht in Tideflüssen ein sehr komplexes Unternehmen ist, das unter größter Sorgfalt zu planen und durchzuführen ist.

Summary

Suspended matter measurements have been conducted at Oortkaten since 1980 by Strom- und Hafenanbau, Hamburg. These data are used to determine the suspended sediment transport toward Hamburg which can then serve as a basis for investigating the sedimentation characteristics in Hamburg Harbor. The data were also taken in order to calibrate the measurement station at Oortkaten where cross-sectional averaged measurements are taken automatically. Discussions are given of the measurement procedures and the role played by the CUX-SAMPLER. First results are presented. This paper also helps to show how complex research on suspended matter transport in tidal flow is and how such programs must be carefully planned and carried out.

Inhalt

1. Anlaß	123
2. Meßstrategie im Tidegebiet	124
2.1 Vorbemerkungen	124
2.2 Meßsysteme und -ablauf	125
3. Der CUX-SAMPLER	126
4. Messungen bei Oortkaten und Aufbereitung der Daten	128
5. Ergebnisse	131
5.1 Schwebstoffkonzentrationen	131
5.2 Schwebstofftransporte	131
5.3 Eichdaten für die Dauermeßstation	133
6. Schlußbetrachtung	133
7. Schriftenverzeichnis	134

3. Der CUX-SAMPLER

Der CUX-SAMPLER (Abb. 2) ist ein Schöpfgerät, mit dem grundsätzlich in jedem Gewässer integrierte Wasserproben isokinetisch entnommen werden können. Da Messungen je Vertikalprofil einschließlich Zentrifugieren des Schwebstoffs und Versetzen bis zum nächsten Profil nur 10 bis 15 Min. dauern, eignet sich dieses Gerät besonders für den Einsatz im Tidegebiet, wo möglichst viele Profile in möglichst kurzer Zeitfolge erfaßt werden müssen. Das Gerät besitzt keine elektronischen oder mechanisch bewegten Bauteile und ist somit nahezu wartungsfrei. Aus Meßdauer und entnommenem Wasservolumen können Konzentration von Inhaltsstoffen, Transportraten von Wasser und Inhaltsstoffen sowie die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Meßprofil bestimmt werden.

„Für die Schwebstoffmessungen in der Elbe wurde von Strom- und Hafengebäude, Hamburg, ein CUX-SAMPLER mit folgenden Daten eingesetzt:

3,0 m Länge, 0,3 m Durchmesser, 250 kg Masse und 110 l Probefüllvolumen. Je nach

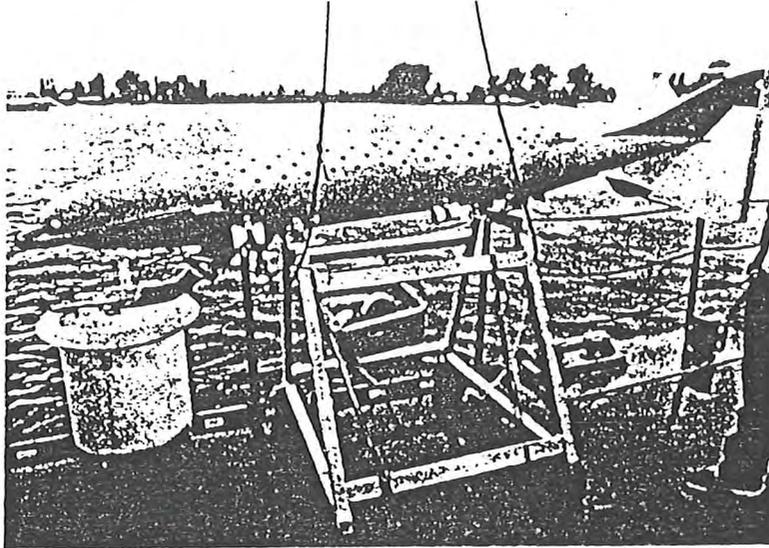


Abb. 2 . CUX-SAMPLER beim Entleeren

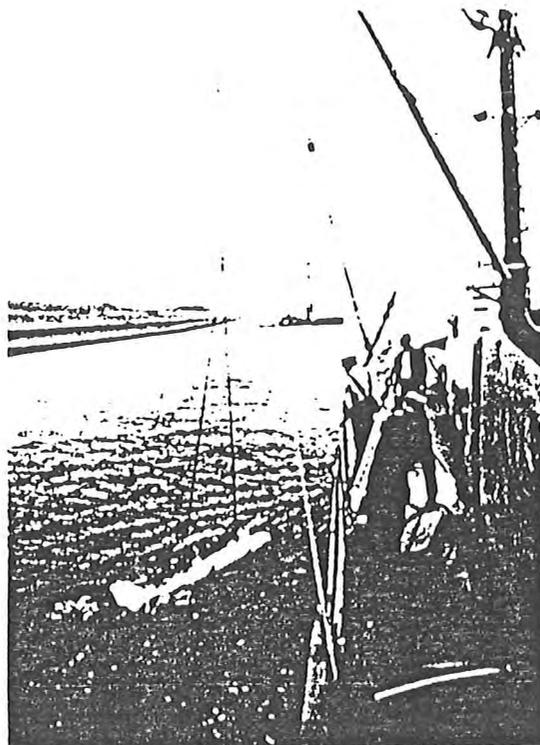


Abb. 2 . CUX-SAMPLER beim Absenken

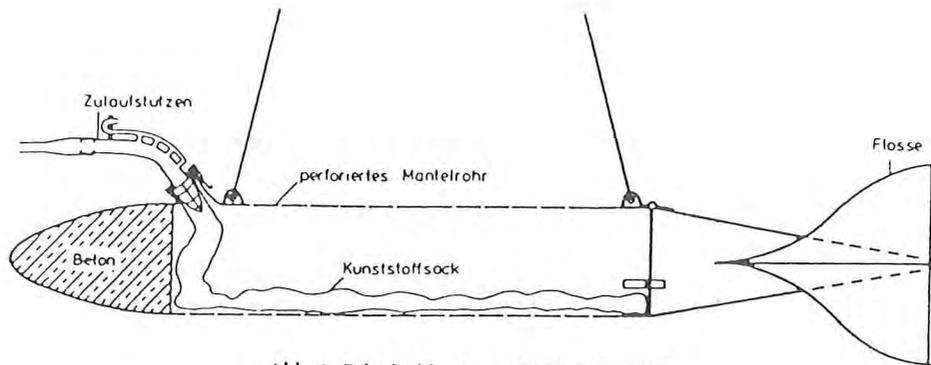


Abb. 3. Prinzipskizze vom CUX-SAMPLER

mittlerer Strömungsgeschwindigkeit, gewünschter Probenahmezeit bzw. vorgesehener Entnahmetiefe wurden 10 mm, 20 mm bzw. 30 mm Stutzenweite gewählt.

Beim Eintauchen in das Wasser dringt durch den perforierten Mittelteil des Gerätes Wasser ein (Abb. 3). Der innenliegende Kunststoffsack wird dadurch zusammengedrückt, wobei die Luft durch den Zulaufstutzen entweicht. Beim weiteren Absenken des Gerätes bis in die gewünschte Wassertiefe und zurück an die Wasseroberfläche mit jeweils konstanter Senk- und Hubgeschwindigkeit läuft, entsprechend der Anströmgeschwindigkeit – d. h. isokinetisch –, Wasser durch den Zulaufstutzen in den Kunststoffsack. Nach diesem Prinzip arbeiten auch Geräte, die in den USA eingesetzt wurden (STEVENS, 1980). Die Entnahmezeit muß durch einen Probelauf so bestimmt werden, daß der Kunststoffsack nicht vollständig gefüllt wird. Das Entleeren des Gerätes erfolgt durch Auslauf aus dem Zulaufstutzen. Die Entnahmemenge kann dann zentrifugiert und damit die Schwebstoffmenge M_s ermittelt werden. Aus der Bestimmung der Entnahmemenge (V), der Entnahmedauer (t), der Querschnittsfläche des Zulaufstutzens (f) und der Wassertiefe h können folgende über die Wassertiefe und 1 m Flußbreite integrierte Werte ermittelt werden:

$$\text{Schwebstofftrieb} \quad m_s = \frac{M_s}{t \cdot \alpha} \cdot \frac{h \cdot 1m}{f} \quad (\text{g/m} \cdot \text{s})$$

$$\text{Abfluß} \quad Q_w = \frac{V}{t \cdot \alpha} \cdot \frac{h \cdot 1m}{f} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\text{Schwebstoffkonzentration} \quad C_s = \frac{M_s}{V} \quad (\text{g/m}^3)$$

$$\text{Strömungsgeschwindigkeit} \quad v = \frac{V}{t \cdot \alpha \cdot f} \quad (\text{m/s})$$

Der Reibungskoeffizient α muß für unterschiedliche Stutzenlängen und -weiten bekannt sein. Durch geeignete Zusatzeinrichtungen können mit dem CUX-SAMPLER auch aus konstanter Wassertiefe bei Strömung und in stehenden Gewässern vertikal und horizontal integrierte Proben entnommen werden."

Kleinere CUX-SAMPLER, z. B. der 5-l-Typ, können eingesetzt werden, bei hohen Schwebstoffgehalten oder auch dann, wenn geringere Probemengen ausreichen und wenn für den Einsatz nur Handwinden oder Elektrowinden mit geringer Leistung verfügbar sind.

