

# ABSCHLUSSBERICHT

BMFT - Forschungsvorhaben

"Vorstrand- und Strandauffüllungen  
in Bühnen-Deckwerks-Systemen"

*Unteraufgabe im Teilprojekt "Sohlfuktuationen"*

BMFT-Förderkennzeichen: 515-3892-MTK 0545A

TU Hamburg - Harburg  
Arbeitsbereich Meerestechnik I

Lauenbruch Ost 1  
21079 Hamburg

Hamburg, den 20.02.1995



Prof. Dr. rer. nat. G. Gust  
Projektleiter

  
Dr.-Ing. V. Müller  
Bearbeiter



## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite	
1.	Einleitung	3
2.	Technischer Entwicklungsstand	4
2.1.	Hardware	4
2.2.	Software	6
2.2.1.	Software des Mikrocomputers	7
2.2.2.	Kommunikationssoftware	7
2.3.	Kalibrierung der Heißfilmsonden	8
2.3.1.	Ähnlichkeitstheorie der Heißfilmsonden	8
2.3.2.	Kalibrierung	10
2.4.	Zusammenfassung	12
3.	Meßeinsätze und Ergebnisse	13
3.1.	Überblicksdarstellung bisheriger Meßeinsätze	13
3.2.	Theorie und Prozeduren der Auswertung	14
3.3.	Relevante Ergebnisse	17
3.3.1.	Ergebnisse der Auswertung hydrodynamischer Parameter	19
3.3.2.	Bodennahe vertikale Geschwindigkeits- und Tangentialspannungsprofile	21
3.3.3.	Hydrodynamische-sedimentologische Prozesse	26
4.	Ausblick und offene Fragen	33
4.1.	Hard- und Software	33
4.2.	Küstennahe hydrodynamisch-sedimentologische Prozesse	34
	Literaturverzeichnis	36
	Symbolverzeichnis	39
	Verzeichnis der Tabellen	40
	Verzeichnis der Abbildungen	41
Anhang	1. Ergebnisse des Komplexexperimentes	
	2. Softwaredokumentation T-1: Datensampling	
	3. Softwaredokumentation T-2: Datenauswertung	

## 1. EINLEITUNG

Der Küstenschutz gewinnt heute unter klimatisch/hydrographischen wie auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine immer höhere Bedeutung. Viele der Küstenschutzmaßnahmen basieren auf langjährigen Erfahrungen und den daraus gewonnenen Richtlinien und Vorschriften. Dagegen ist der Wissenstand zu den hydrodynamisch-sedimentologischen Prozessen und Wechselwirkungen noch stark entwicklungsfähig. Für eine Beurteilung der Effektivität von Küstenschutzanlagen und -maßnahmen sind detaillierte zeitlich hochauflösende Untersuchungen der hydrodynamischen Verhältnisse und deren Veränderungen notwendig.

Im Rahmen einer Unteraufgabe im Teilprojekt "Sohlflektuationen" wird die Heißfilm-Anemometrie in die Untersuchungsmethodiken des Küsteningenieurwesens eingeführt. Mit dieser Meßtechnik können die hydrodynamischen Grundlagen der Erosions- und Sedimentationsprozesse, speziell in extremen Flachwasser, detailliert untersucht werden. Ziele der Arbeiten in diesem Projekt waren daher:

- 1.) Die Vervollkommnung/Erprobung der vorhandenen Hardware (Heißfilmsonden, Meßelektronik, Datenübertragungshardware, Kalibrierungseinrichtungen).
- 2.) Die Entwicklung nutzerfreundlicher Software zur Bedienung der Meßtechnik, sowie die Entwicklung von Modellen und der entsprechenden Routinen zur Auswertung der Daten.
- 3.) Die Durchführung von Feldexperimenten zur Bildung einer Datenbasis, mit der hydrodynamische-sedimentologische Modelle für den Erosions-/Sedimentationsprozeß im extremen Flachwasser verifiziert werden können.
- 4.) Die Entwicklung theoretischer Modelle zur Beschreibung hydrodynamischer Prozesse bei erodierenden Stränden mit der Zielrichtung, das Management von Küstenschutzmaßnahmen (Strandaufspülungen) durch Erfassung der detaillierten Dynamik von Sand- und Topographiebilanzen zu stützen und gegebenenfalls zu verbessern.

## 2. TECHNISCHER ENTWICKLUNGSSTAND

### 2.1. HARDWARE

In den vergangenen Jahren stellte sich verstärkt die Notwendigkeit des Einsatzes von Strömungsmessern in Extremsituationen heraus. Zu diesen zählen u.a. Strömungen in Brandungszonen sowie Strömungs-Wellen-Grenzschichten. Neben Einsatzort und Fluid-Zusammensetzung verlangt die Variabilität der zu untersuchenden Prozesse von den Strömungsmessern Fähigkeiten zur räumlichen und zeitlichen Auflösung der Meßdaten. Mit der zunehmenden Qualität der Modellierung und einer vertieften Einsicht in die hydrodynamisch-sedimentologischen Prozesse werden nicht nur Mittelwerte, sondern z.B. auch Meßergebnisse zur Turbulenzverteilung im Frequenzbereich oder von Reynoldsspannungen erforderlich, um die signifikanten Modellparameter (wie z.B. Austauschkoeffizienten) bestimmen zu können.

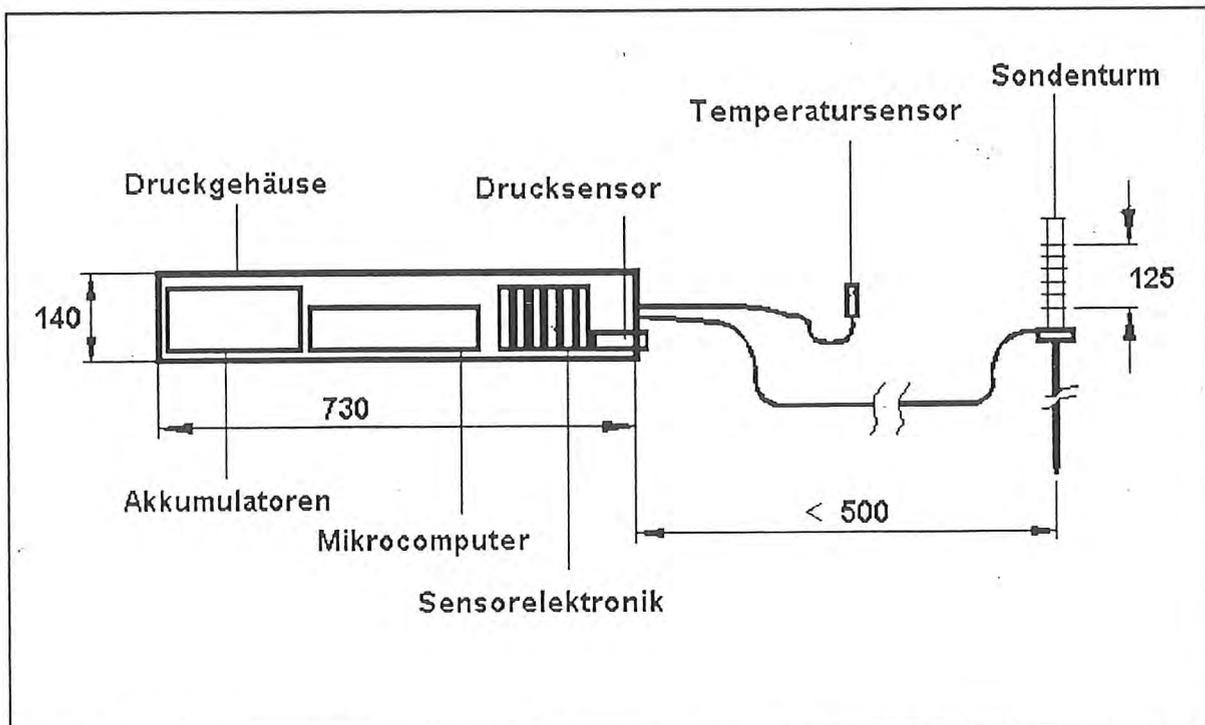


Abb. 1: Prinzipskizze des Aufbaus eines HDS-Paketes, wie es im Rahmen dieses Forschungsthemas verwendet wurde (Maße in mm)

Einem großen Teil dieser hydrodynamischen Anforderungen wird ein auf dem Heißfilm-Anemometer-Prinzip basierender Strömungsmesser gerecht. Die technische

Realisierung stellt ein "HydroDynamic Sensor (HDS) - Paket" (Abb. 1) dar, das im Arbeitsbereich Meerestechnik 1 der TU Hamburg-Harburg realisiert ist. Das HDS-Paket wurde bisher in der Tiefsee (bis 6000 m), in Kanälen, Häfen und Ästuaren, sowie u.a. im Rahmen dieses Themas in Swash- und Brandungszonen eingesetzt. Die verwendeten Materialien und Herstellungstechnologien machen die Heißfilmsonden weitgehend unempfindlich gegen aggressive Medien und abrasive Beanspruchungen. Die Heißfilmsensoren bestehen aus kreisförmigen Epoxydaminatscheiben, auf denen Widerstandsfilme, bestehend aus hochreinem Nickel, aufgebracht sind. Der Temperaturbereich der Sonden liegt zwischen  $-150^{\circ}\text{C}$  und  $+250^{\circ}\text{C}$ , ihre Betriebsspannung beträgt 5 V und die Stromaufnahme je nach Überhitzungsverhältnis 30 bis 110 mA. Die Heißfilmsonden sind bisher für Geschwindigkeiten  $0 \leq v \leq 3$  m/s und Wandschubspannungen  $0 \leq \tau \leq 40$  N/m<sup>2</sup> kalibriert /1/. Die für den Betrieb notwendige Elektronik befindet sich im Druckgehäuse und besteht im wesentlichen aus einer Wheatstone-Brücke mit Rückkopplungsweig. Das Überhitzungsverhältnis beträgt 1.05:1 bei einem Brückenverhältnis von 1:5. Als Meßgröße wird die Brückenspannung auf den AD-Wandler gegeben. Die weitere Meßelektronik, die sich ebenfalls in dem Druckgehäuse befindet wird durch folgende Daten beschrieben:

- Einplatinen-8-Bit Mikrocomputer der Firma ONSET (Typ Tattletale Model 6, 232 kB RAM, BASIC, Assembler)
- Festplatte (20 - 200 MB)
- 12 Bit A/D-Wandler
- 8 analoge Eingangskanäle
- 14 digitale I/O-Ports
- maximale Samplefrequenz: 100 Hz
- Temperaturbereich:  $0^{\circ}\text{C}$  bis  $+70^{\circ}\text{C}$

Neben den maximal 6 Heißfilmsensoren sind ein Temperatursensor und ein Drucksensor Bestandteil eines HDS-Paketes. Der Temperatursensor ist ein Pt100-Widerstand, der über die zugehörige Brückenschaltung (Entwicklung der TU-Harburg-Elektronikwerkstatt) eine temperaturproportionale Spannung liefert, die über den A/D-Wandler aufgezeichnet wird. Der Absolutdruck-Sensor (Typ PAA-23/84651-3 der Fa. Keller, Winterthur, Schweiz; Meßbereich 0 bis 3 bar) ist im Druckgehäuse integriert und hat eine Sensoröffnung nach außen durch den Deckel des Druckgehäuses. Der

Meßwert (dem Druck direkt proportionale Spannung) wird ebenfalls über den A/D-Wandler digital aufgezeichnet.

Mit dem HDS-Paket ist ein autonomer und/oder interaktiver Betrieb möglich. Die HDS-Pakete werden im autonomen Betrieb durch je drei NiCd-Akkupacks, die ebenfalls in das Druckgehäuse integriert sind, mit Strom versorgt. Zwei Akkupacks versorgen die Sensorelektronik, das dritte Akkupack den Mikrocomputer. Eine zeitliche Begrenzung des Meßbetriebes ist i.a. durch die Kapazität der ersten beiden Akkupacks gegeben. In einem typischen Anwendungsfall ermöglichen sie eine Meßdauer von bis zu 20 Stunden (8 Ah bei 10 V).

Im Rahmen dieses Themas wurden HDS-Pakete am Strand von Norderney in autonomer Betriebsweise eingesetzt. Die technischen Entwicklungen galten der Erhöhung der Einsatzsicherheit. Dies wird durch die erfolgreichen Meßkampagnen 1993/94 belegt.

## 2.2. SOFTWARE

Die zum Betrieb des HDS-Paketes notwendige Software kann in drei Komponenten eingeteilt werden. Die erste Komponente ist das Meßprogramm des Mikrocomputers. Das Meßprogramm dient der Steuerung und Datenaufzeichnung im HDS-Paket. Bei autonomer Betriebsweise wird es vor Meßbeginn in den RAM des Mikrocomputers geschrieben und via PC als Terminal initialisiert. Danach kann die Verbindung zwischen PC und Mikrocomputer unterbrochen werden. Nach der Messung kann die Verbindung wieder aktiviert werden. Bei interaktiver Betriebsweise des HDS-Paketes kann im Dialog über einen PC als Host das Meßprogramm beeinflusst werden. In beiden Fällen wird ein PC mit geeigneter Kommunikationssoftware (die zweite Softwarekomponente) benötigt. Die dritte Komponente der Software ist die Software zur Auswertung der Meßdaten. In diesem Abschnitt wird auf die ersten beiden Komponenten eingegangen, da sie in einem engen Zusammenhang zur Hardware stehen. Die dritte Komponente wird im Abschnitt 3.2. beschrieben.

### 2.2.1. Software des Mikrocomputers

Das bei den Messungen vor Norderney verwendete Programm (NY202.TTB, siehe Anhang 2) führt den Bediener über ein Menü durch die Schritte der Meßvorbereitung: Uhrzeit setzen, Stromversorgung der Elektronik einschalten, Kontrolle der Sondenfunktionen, Eingabe der Meßparameter wie Abtastfrequenz, Meßdauer und Meßpausen. Daneben wird durch das Programm die Struktur der zu übertragenden Meßdaten determiniert. Die Informationen werden in einen Datei-Kopf geschrieben, dessen Struktur festgelegt ist. Damit können später durch Auswertung dieser Informationen auch variable Datenformate und -größen verarbeitet werden. Die Datenstruktur kann nicht in interaktiver Arbeitsweise verändert werden.

### 2.2.2. Kommunikationssoftware

Die Kommunikationssoftware ist ein unter WINDOWS 3.1 laufendes Programm (SHUTUP V1.01, siehe Anhang 2), das die für den Betrieb des Mikrocomputers wichtigsten Funktionen (bidirektionale Kommunikation mit dem Mikrocomputer, Terminalbetrieb bei interaktiver Arbeitsweise) realisiert. Daneben ist ein BASIC-Editor für die Programmierung des Mikrocomputers und eine Utility zur online-Meßwertaufzeichnung, die ein Echtzeitmonitoring einer laufenden Messung ermöglicht, in die Software integriert. Mit dieser Software wurden einerseits die Feldmessungen durchgeführt und andererseits auch die Kalibrierungen der Heißfilmsonden im Labor des Arbeitsbereiches durchgeführt. Bei Feldeinsätzen ist die Software auf einem Notebook 486/DX-33, bei Laboranwendungen auf den verfügbaren Laborrechnern (486'er oder 386'er) installiert. Die Bedienung des Programms ist durch ein Hilfesystem (siehe Anhang 2) erleichtert. Daneben erläutert das Hilfesystem auch die beiden Methoden der Arbeitsweise mit dem HDS-Paket, die Online-Meßwertaufzeichnung und die Offline-Meßwertaufzeichnung. Eigenschaften wie preemptives Multitasking sowie ereignisorientierte Programmierung werden von dem Programm SHUTUP genutzt. Das bedeutet, daß mehrere Instanzen des Programms gleichzeitig laufen können und verschiedene serielle Schnittstellen bedient werden können. Unter Verwendung dieser Möglich-

keiten ist die gleichzeitige Online-Meßwertaufzeichnung mit mehreren HDS-Paketen über einen Rechner möglich. Ebenso können Programmteile innerhalb von SHUTUP parallel abgearbeitet werden (gleichzeitiges Online-Meßwertaufzeichnung und Editieren von Programmdateien).

## 2.3. KALIBRIERUNG DER HEISSFILMSONDEN

### 2.3.1. Ähnlichkeitstheorie der Heißfilmsonden

Heißfilmsensoren basieren auf dem Prinzip der erzwungenen Wärmekonvektion. Die Strömung über die Sensoroberfläche kann als Plattenströmung betrachtet werden. Für laminare Plattengrenzschichten ist die Nusseltzahl  $Nu$  bei Vernachlässigung von Reibungs- und Kompressionswärme

$$Nu = \frac{Ql}{\lambda (T_s - T_\infty)} = \sqrt{Re} f\left(\frac{x}{l}, Pr\right) \quad (1)$$

( $\lambda$ : Wärmeleitfähigkeit,  $l$ : charakteristische Länge,  $Pr$ : Prandtl-Zahl,  $T_s$ : Heißfilmsondenteperatur,  $T_\infty$ : ungestörte Mediumtemperatur) proportional der Reynoldszahl  $Re$   $/2/$ . Die vom Heißfilm abgegebene Wärmemenge  $Q$  ist proportional der elektrischen Leistung  $P = UI$ . Bei Annahme eines linearen Zusammenhanges zwischen Temperaturänderung und Widerstandsänderung gilt

$$Q \sim \frac{U^2}{\alpha (T_s - T_\infty)} \quad (2)$$

( $\alpha$ : Temperaturbeiwert des elektrischen Widerstandes) und damit

$$\frac{U^2 l}{\alpha \lambda (T_s - T_\infty)^2} = \sqrt{Re} f\left(\frac{x}{l}, Pr\right) \quad (3)$$

woraus folgt

$$\frac{U}{T_s - T_\infty} \sim Re^{1/4} \quad (4)$$

Zur Kennlinienbestimmung der Heißfilmsensoren wird daher der allgemeine Ansatz

$$\frac{U}{T_s - T_\infty} = a v^{0.25} + b \quad (5)$$

verwendet, der in seiner Form dem bekannten King'schen Gesetz entspricht /3/. Im Gegensatz zu der üblichen Verfahrensweise, den Exponenten der Geschwindigkeit  $v$  als Approximationsparameter zu betrachten, wird der Exponent der Geschwindigkeit für laminare Verhältnisse als durch Elementarprozesse bestimmt und fixiert vorausgesetzt. Werden die obigen Gleichungen für turbulente statt laminarer Strömungsverhältnisse herangezogen, so gilt in diesem Fall

$$\frac{U}{T_s - T_\infty} = a v^{0.4} + b \quad (6)$$

Die Koeffizienten  $a$  und  $b$  sind bei laminaren und turbulenten Strömungsverhältnissen identisch und können nur Funktionen der Temperatur und der Sensorbauart sein, aber nicht von der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  abhängen.

Neben der beschriebenen Ähnlichkeit des Wärmeüberganges muß gleichzeitig die Ähnlichkeit des Temperaturfeldes gewährleistet sein /2/. Für das Temperaturfeld gilt demzufolge

$$\frac{T - T_\infty}{T_s - T_\infty} = f\left(\frac{x}{l}, Re, Pr\right) \quad (7)$$

wobei die Temperatur  $T$  die Fluidtemperaturverteilung auf der Heißfilmoberfläche,  $T_s$  die Temperaturverteilung des Heißfilmes und  $T_\infty$  die ungestörte Temperatur des Fluids ist. Für die Koeffizienten  $a$  und  $b$  besteht in 1. Näherung eine lineare Abhängigkeit vom Verhältnis  $T_\infty / (T_s - T_\infty)$  /2/.

$$a = a_1 \frac{T_\infty}{(T_s - T_\infty)} + a_2 \quad (8)$$

$$b = b_1 \frac{T_\infty}{(T_s - T_\infty)} + b_2 \quad (9)$$

Die Spannung  $U$  (das Meßsignal) ist somit neben der Strömungsgeschwindigkeit sowohl vom Überhitzungsverhältnis  $(T_s - T_\infty)$  als auch von der Temperatur des Mediums  $T_\infty$  (hier angegeben in °C) in folgender Weise abhängig:

$$\begin{aligned}
 \textit{laminar:} \quad U &= (a_2 v^{0.25} + b_2) (T_s - T_\infty) + (a_1 v^{0.25} + b_1) T_\infty \\
 \textit{turbulent:} \quad U &= (a_2 v^{0.4} + b_2) (T_s - T_\infty) + (a_1 v^{0.4} + b_1) T_\infty
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

### 2.3.2. Kalibrierung

Die Koeffizienten  $a_i$  und  $b_i$  dürfen nach dieser theoretischen Ableitung der Kennlinienform nur von den Materialkenngrößen und der technischen Ausführung der Heißfilmsonden abhängig sein. Für Heißfilmsonden gleicher Bauart müssen sie in einem engen Wertebereich liegen.

Die angegebenen Zusammenhänge wurden für die im Rahmen dieses Themas verwendeten Heißfilmsensoren durch umfangreiche Kalibrierungsexperimente in einem temperaturregelbaren Strömungskanal am Arbeitsbereich Meerestechnik I der TU Hamburg-Harburg verifiziert. Die Kennlinien (Abb. 2), wie auch die Temperaturabhängigkeit der Koeffizienten  $a$  (Abb. 3) und  $b$  entsprechen für die untersuchte laminare Strömung den theoretisch abgeleiteten Annahmen.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen konnte der bisher notwendige Aufwand zur Kalibrierung der Heißfilmsensoren drastisch verringert werden. Gegenüber der früher notwendigen Kalibrierung der Heißfilmsonden für unterschiedliche Temperatur- und Geschwindigkeitsbereiche sind nunmehr nur noch Messungen zur Bestimmung der temperatur- und geschwindigkeitsunabhängigen Koeffizienten  $a_i$  und  $b_i$  notwendig. Im Einsatz der Heißfilmsensoren kann dann bei gleichzeitiger Messung der Umgebungstemperatur  $T_\infty$  aus den Inversen der Kennlinien on-line die Geschwindigkeit  $v$  bestimmt werden. Ebenso ist die bisher übliche Nachkalibrierung der Sonden für die im Experiment festgestellten Umgebungstemperaturen nicht mehr notwendig. Notwendig bleibt eine intervallmäßige Überprüfung der Sondenparameter  $a_i$  und  $b_i$ .

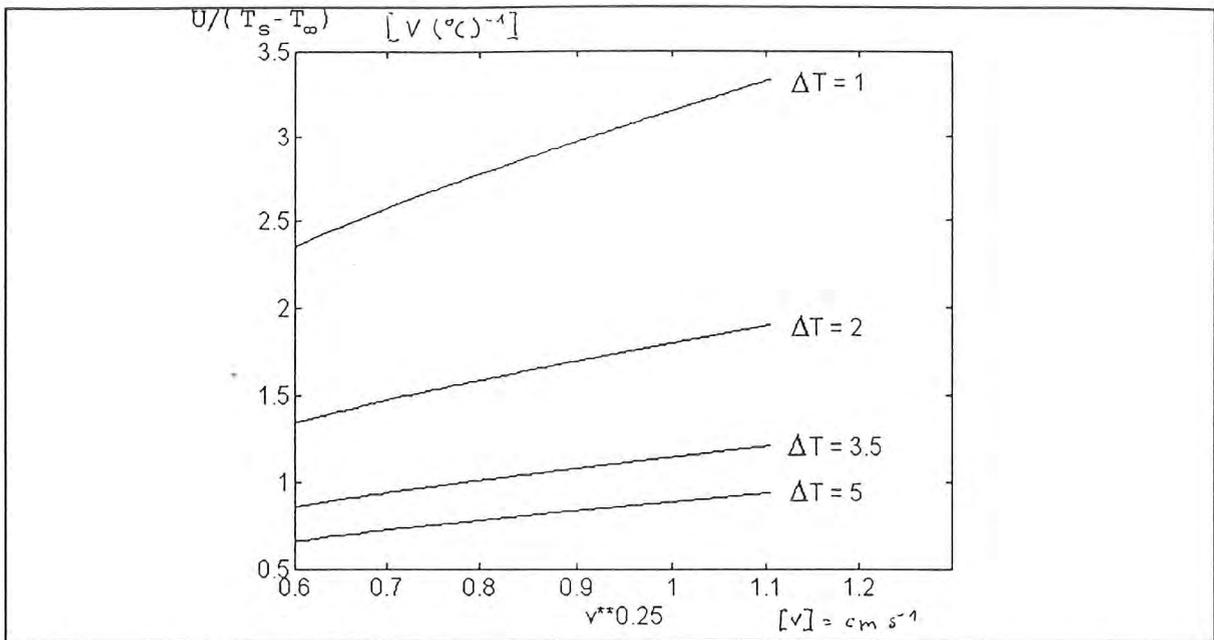


Abb.2: Kennlinien einer ausgewählten Sonde bei verschiedenen Überheizungsverhältnissen;  $\Delta T = (T_{\infty \text{ ist}} - T_{\infty \text{ erwart}})$ ; für  $\Delta T = 0$  ist das Überheizungsverhältnis 1.05:1

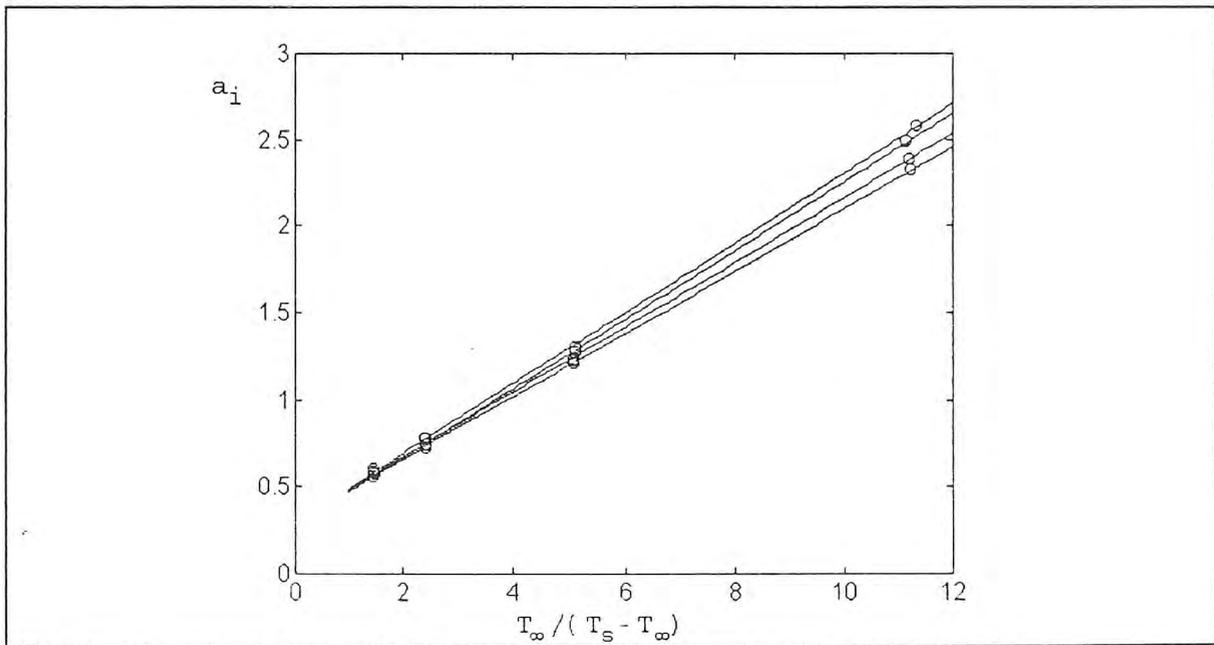


Abb. 3: Temperaturabhängigkeit der Koeffizienten  $a_i$  für 4 verschiedene Heißfilmsonden ( $i = 1 \dots 4$ )

Sonden-Nr.	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$
1	0.1010	0.1486	0.0669	0.1049
2	0.0932	0.1486	0.0607	0.0958
3	0.0777	0.1451	0.0550	0.1097
4	0.0993	0.1336	0.0538	0.1175
5	0.0901	0.1476	0.0562	0.0980
6	0.1009	0.1433	0.0560	0.1051
7	0.0844	0.1436	0.0646	0.0984
8	0.0863	0.1349	0.0584	0.1067
9	0.0530	0.0536	0.0711	0.1255
10	0.0885	0.1480	0.0642	0.0976
11	0.0817	0.1483	0.0595	0.0892
12	0.1028	0.1547	0.0643	0.1106

Tab. 1: Koeffizienten  $a_i$  und  $b_i$  der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens verwendeten Heißfilmsonden

## 2.4. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Abschluß der Arbeiten innerhalb dieses Forschungsthemas ist hardwareseitig ein Entwicklungsstand erreicht worden, der einen erfolgreichen Einsatz des HDS-Paketes gewährleistet. Die Vorbereitungszeit für ein Feldexperiment beträgt nur noch 2-3 Stunden und verwertbare Meßergebnisse werden sicher erreicht. Für die Bedienung der HDS-Pakete ist nicht der Kenntnisstand der Entwickler notwendig.

### 3. MESSEINSÄTZE UND ERGEBNISSE

#### 3.1 ÜBERBLICKSDARSTELLUNG BISHERIGER MESSEINSÄTZE

Im Zusammenhang mit der Themenbearbeitung wurden zahlreiche Meßeinsätze durchgeführt. Sie dienten zum einen der weiteren Vervollkommnung der Hardware, der Erprobung der Hard- und Software unter Feldbedingungen sowie der Kalibrierung der Heißfilmsonden. Auf Grundlage dieser Tests konnten zwei Meßkampagnen auf Norderney erfolgreich durchgeführt werden. Die Meßkampagnen fanden am 18. - 20. 10. 1993 und am 6.10.1994 im Bühnenfeld D1/E1 auf Norderney statt. Ziel beider Experimentes war die Verknüpfung hydrographischer und hydrodynamischer Parameter mit sedimentologischen Parametern in der Swashzone. Die unmittelbaren Meßergebnisse sind für das Komplexexperiment am 18.-20.10.1993 im Meßbericht /4/ und im Jahresbericht 1993 /5/ veröffentlicht. Für das Experiment vom 6.10.1994 sind die Meßergebnisse im Anhang 1 dieses Berichtes dargestellt. Für die weitere Auswertung wurden auch die Originaldaten der Experimente E12 und E13 vom 10./11.7.1991 herangezogen. Teilauswertungen dieser Experimente wurden veröffentlicht /6/. Diese Ergebnisse bildeten auch die Grundlage der Erstellung einer Auswerteprozedur, der dann alle genannten Experimente unterzogen wurden. In diesem Bericht werden die Experimente wie folgt bezeichnet:

- M1(1991) : Experiment E13 vom 10./11.7.1991
- M2(1991) : Experiment E12 vom 10./11.7.1991
- M2(1993)<sub>1</sub> : Experiment vom 19.10.1993, HDS-Paket 1
- M2(1993)<sub>2</sub> : Experiment vom 19.10.1993, HDS-Paket 2
- M2(1994) : Experiment vom 6.10.1994

Die ersten beiden Experimente fanden zeitgleich statt. Dabei wurden einerseits Daten in der Nähe des Meßpfahles M1 im Bühnenfeld D1/E1 gewonnen (M1(1991)) und andererseits in der Nähe des Meßpfahles M2 (M2(1991)). Die beiden Experimente M2(1993)<sub>1</sub> und M2(1993)<sub>2</sub> fanden ebenfalls zeitgleich statt. Für die gegenseitige Anordnung der Sensoren wird hier auf den Meßbericht /4/ verwiesen. Das letztgenannte Experiment fand zeitgleich mit Experimenten anderer Meßgruppen statt, die ihre Ergebnisse unabhängig vorlegen.

## 3.2. THEORIE UND PROZEDUREN DER AUSWERTUNG

Die von den 8 Sensoren (1 Absolutdruck-Sensor, 1 Temperatursensor, 6 Heißfilmsensoren) pro HDS-Paket gewonnenen Meßdaten (elektrische Spannungswerte) werden entsprechend den Kennlinien in physikalische Daten für Druck, Temperatur und Tangentialgeschwindigkeiten transformiert. Pro Tide und HDS-Paket entsteht ein Meßdatenvolumen von ca. 14 MB. Im Verlauf der Auswertung werden aus den Meßdaten ca. 70 MB an notwendig gleichzeitig vorhandenen temporären Daten erzeugt, die dann bis auf maximal 500 KB pro Tide und HDS-Paket reduziert werden können. Die Auswerteprozeduren und die zugrunde liegenden Annahmen und Voraussetzungen werden im folgenden kurz beschrieben. Für die detaillierte mathematische Formulierung wird auf den Anhang 3 dieses Berichtes verwiesen. Ergebnisse für die oben genannten 5 Experimente werden im Abschnitt 3.3 vorgestellt.

### 1. Teil der Auswertung

Dieser Teil ist ein vorbereitender Abschnitt. In ihm werden die Meßwerte für den Druck um den Luftdruck korrigiert (das Signalniveau der trockengefallenen Drucksensoren vor und nach der Tide ist der Luftdruck, lineare Interpolation des Luftdrucks über die Tide); eine Höhenkorrektur des Druckes in Abhängigkeit vom Vertikalabstand des Drucksensors vom Boden wird durchgeführt sowie die Geometrie der Lage der Sensoren zueinander in die Auswerteprozeduren integriert. Der Temperatureinfluß auf das Meßsignal der Heißfilmsensoren wurde bei der Transformation der Meßsignale in Geschwindigkeiten berücksichtigt und eliminiert.

### 2. Teil der Auswertung

Innerhalb dieser Teilauswertung wird nur das Drucksignal ausgewertet. Unter Verwendung der linearen Wellentheorie wird aus dem Drucksignal durch iterative Lösung der Dispersionsgleichung

$$(\omega - U_{\infty}k)^2 = gk \tanh(kd) \quad (11)$$

die Wellenzahl  $k$  und die Stillwassertiefe  $d$  bestimmt (3. Prozedur im Anhang 3). Die Wellenfrequenz  $\omega$  wurde aus dem Spektrum des Druckes bestimmt (1. Prozedur im Anhang 3). Für die Strömungsgeschwindigkeit  $U_{\infty}$  wird der arithme-

tische Mittelwert der Geschwindigkeit der bodenfernsten Heißfilmsonde verwendet. Im jetzigen Stadium ist dies als eine grobe Näherung anzusehen, da die verwendeten Heißfilmsensoren a) nicht den Geschwindigkeitsvektor auflösen und b) auch die bodenfernste Sonde ( $\Delta z \approx 0.1$  m) noch vom Boden beeinflusst wird.

Wenn die Stillwassertiefe  $d$  bekannt ist kann durch Differenzbildung aus dem Drucksignal die Wellenbewegung

$$\eta = \left[ \frac{P}{\rho g} - d \right] \cosh(kd) \quad (12)$$

berechnet werden (4. Prozedur im Anhang 3). Die Wellenbewegung wird a) zwischen den positiven Nulldurchgängen und b) zwischen den negativen Nulldurchgängen fourieranalysiert (5. und 6. Prozedur im Anhang 3). Damit ist eine mathematische Beschreibung der Wellenbewegung (auch einzelner Wellenzüge) gegeben.

Statistische Parameter (Momente 1. bis 4. Ordnung) des Drucksignals werden bestimmt (8. Prozedur im Anhang 3).

Unter der Annahme, daß für Höhen  $> 5$  cm über dem Boden der Grenzschicht-einfluß vernachlässigbar ist /6/ und andererseits die Geschwindigkeitsverteilung für große Abschnitte der Tide wellendominiert ist, wird nach linearer Wellengrenzschichttheorie eine unter Welleneinfluß vorhandene kinematische Viskosität

$$\nu = \omega \left[ \frac{\sqrt{2}}{0.05} \ln(\cosh(0.05k) - 1) \right]^{-2} \quad (13)$$

bestimmt (13. Prozedur im Anhang 3), die dann zur Berechnung der Tangentialspannungen aus dem gemessenen vertikalen Geschwindigkeitsprofil benutzt wird.

### 3. Teil der Auswertung

In diesem Teil werden für Vergleichszwecke nach der linearen Wellentheorie aus der bestimmten Wellenbewegung die Tangentialgeschwindigkeiten

$$u = \omega \frac{\cosh(k(z+d))}{\sinh(kd)} \eta \quad (14)$$

am Ort der Heißfilmsensoren (10. Prozedur im Anhang 3) sowie die Wandschub-

spannung

$$\tau_1 = \rho \frac{gk}{\cosh(kd)} \left[ \frac{v_\infty}{\omega} \right]^{\frac{1}{2}} \eta(\omega t + \frac{\pi}{4}) \quad (15)$$

(11. Prozedur im Anhang 3) nach linearer Wellengrenzschichttheorie berechnet.

#### 4. Teil der Auswertung

In diesem Teil werden die Meßergebnisse der Heißfilmsensoren (Geschwindigkeiten) ausgewertet. Ziel ist es, ein Vertikalprofil der Tangentialgeschwindigkeit im bodennahen Bereich ( $|\Delta z| < 0.1 \text{ m}$ ) zu bestimmen. Infolge der während einer Tide ablaufenden Erosions- und Depositionsprozessen befinden sich die Heißfilmsonden nicht in einem konstanten Abstand zum Boden. Aus der Abfolge des Bedeckens bzw. Freilegens der Sonden kann der momentane Abstand der Sonden vom Boden näherungsweise interpoliert werden. Der vertikale Sondenabstand ist zumeist  $> 0.02 \text{ m}$ , bei kleineren Abständen tritt eine deutliche gegenseitige Beeinflussung der Sonden auf. Als Entscheidungskriterium für freigelegte Sonden wurde die Bedingung

$$\frac{\sigma_u}{u} > 0.4 \quad (16)$$

erkannt (9. Prozedur im Anhang 3). Mit dem nun ermittelten Abstand der Sonden vom Boden kann a) das vertikale Geschwindigkeitsprofil bestimmt werden und b) auch eine Aussage über die Stärke der Erosions- und Depositionsprozesse während der betrachteten Tide am Meßort getroffen werden.

Statistische Parameter (Momente 1. bis 4. Ordnung) der Geschwindigkeiten werden bestimmt (7. Prozedur im Anhang 3).

#### 5: Teil der Auswertung

Aus dem vertikalen Geschwindigkeitsprofil sowie der unter starken Annahmen bestimmten kinematischen Viskosität in Wellen (Gl. 13) wird ein instationäres Vertikalprofil der Tangentialspannung im bodennahen Bereich bestimmt. Es ist

$$\tau = \tau_t(z, t) = \rho v \frac{du}{dz}(z, t) \quad (17)$$

$$\tau_b(t) = \lim_{z \rightarrow -d} \tau(z, t)$$

Statistische Parameter (Momente 1. bis 2. Ordnung) der Tangentialspannung werden bestimmt (14. Prozedur im Anhang 3).

#### 6. Teil der Auswertung

In diesem Teil findet die grafische Darstellung der Ergebnisse statt.

### 3.3. RELEVANTE ERGEBNISSE

Für den Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Experimente untereinander wurde eine mit der mittleren Tidendauer  $T_{\text{Tide}} = 43500\text{s}$  dimensionslos gemachte Zeit  $t/T_{\text{Tide}}$  eingeführt. Auf Grund der auch unterschiedlichen Meßzeiten und -dauern innerhalb einer Tide wurde für alle Experimente der Zeitpunkt des Eintretens von Thw auf  $t/T_{\text{Tide}} = 0.5$  gelegt. Die Tidenkurven an den Meßplätzen M1 und M2 im Vergleich zur Tidenkurve "Norderney-Riffgat" zeigen in Höhe und dimensionsloser Form Abweichungen (Abb. 4 und 5), die auf den unterschiedlichen örtlichen Tidenhub  $Th_b$  sowie die unterschiedlichen topografischen Verhältnisse zwischen 1991 und 1994 zurückzuführen sind. Die dimensionslosen Tidenkurven der von M1(1991) und M2(1994) sind nahezu identisch, was auch auf sehr ähnliche topografische Verhältnisse schließen läßt.

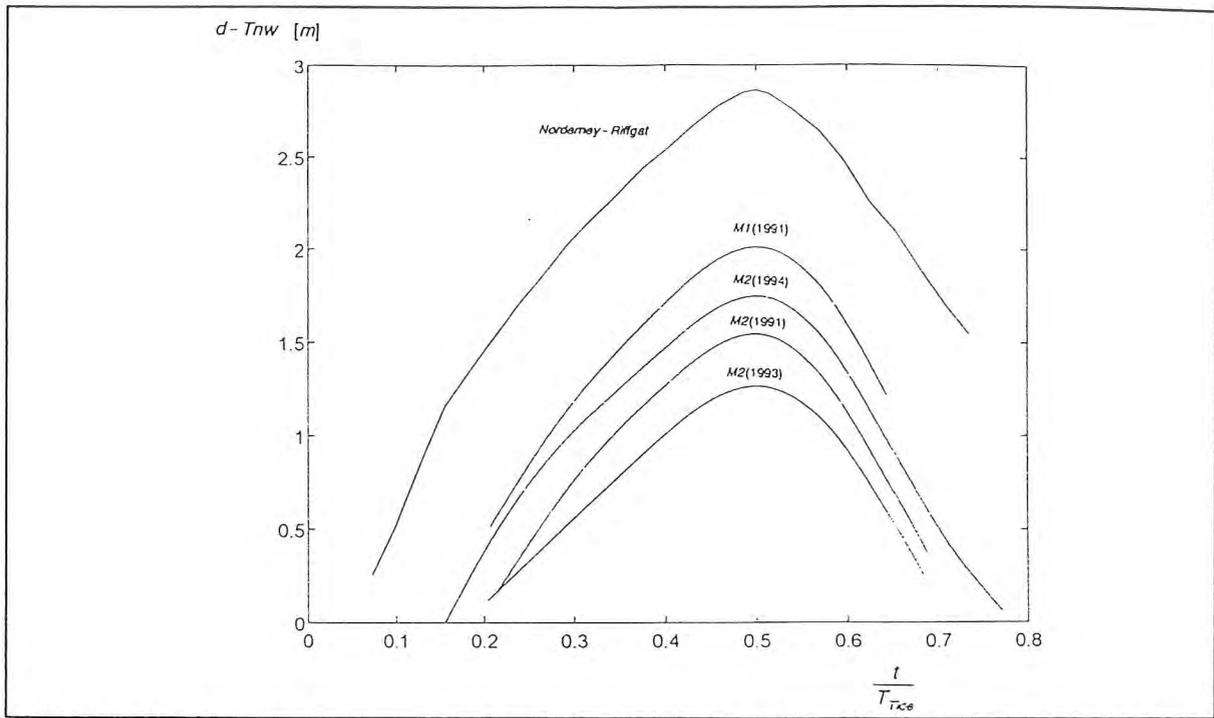


Abb. 4: Tidenkurven der ausgewerteten Experimente (die Tidenkurven der Experimente  $M2(1993)_1$  und  $M2(1993)_2$  sind identisch)

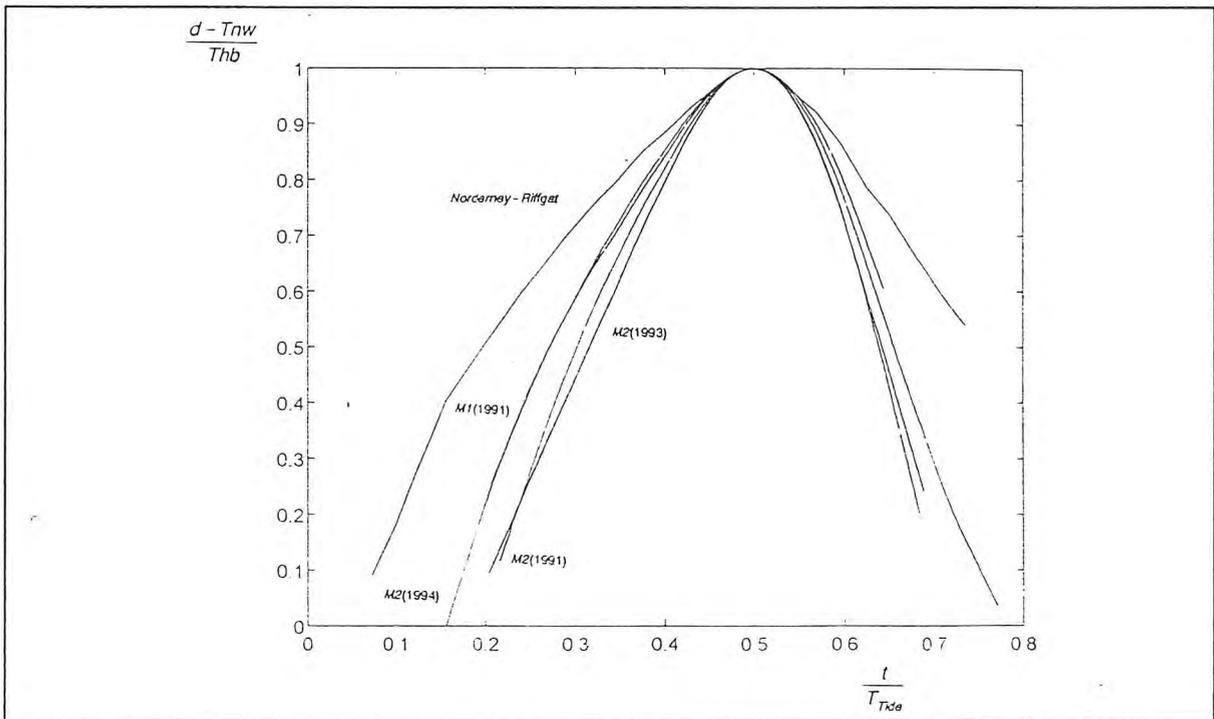


Abb. 5: Dimensionslose Form der Tidenkurven

### 3.3.1. Ergebnisse der Auswertung hydrodynamischer Parameter

Nach einem Vergleich der hydrodynamischen Charakteristika

$$\begin{aligned}
 \text{mittlere Wellenamplitude} &: \frac{\bar{H}}{2} \\
 \text{mittlere Wellenlänge} &: \bar{\lambda} \\
 \text{Wellenzahl-Tiefenprodukt} &: \bar{k}d \\
 \text{Brecherkriterium} &: \left[ \frac{\bar{H}}{\bar{\lambda}} \right] - 0.142 \tanh(\bar{k}d) \leq 0
 \end{aligned}$$

(Abb. 6, 7, 8 und 9) können die Experimente vordergründig in zwei Gruppen eingeteilt werden.

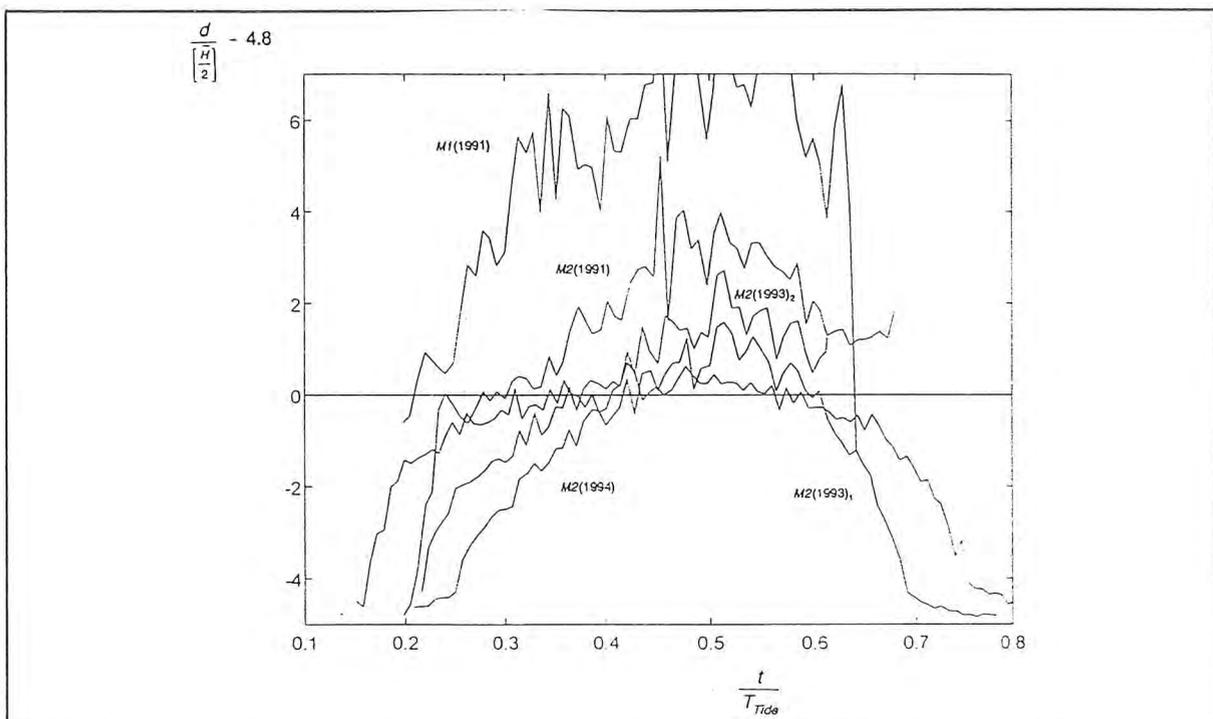


Abb. 6: Klassifikationsparameter  $d/(H/2)$  in Abhängigkeit von der Tidenphase (tidendominiert:  $d/(H/2) - 4.8 < 0$ ; wellendominiert:  $d/(H/2) - 4.8 > 0$ )

In Auswertung der 1991 durchgeführten Experimente wurden die hydrodynamisch-sedimentologischen Prozesse in Abhängigkeit von  $d/(H/2)$  nach "tidendominiert" ( $d/(H/2) < 4.8$ ) und "wellendominiert" ( $d/(H/2) > 4.8$ ) klassifiziert. Dieses Ergebnis, daß in /6/ veröffentlicht ist, wurde als Arbeitshypothese für die 1993 und 1994 durchgeführten Experimente verwendet (Abb. 6). Auf Grund dieser Klassifizierung werden unterschiedliche Ergebnisse für die bodennahe Hydrodynamik und die hydrodynamisch-sedimentologischen Prozesse in den jeweiligen Tidenphasen erwartet.

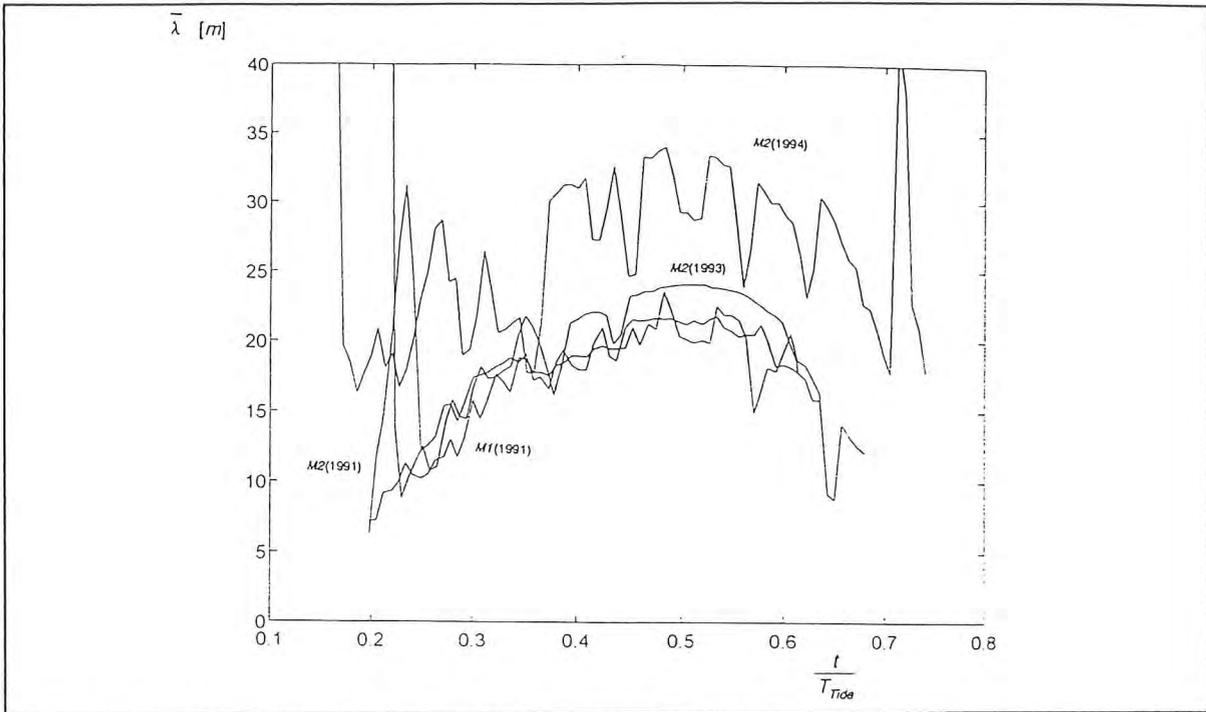


Abb. 7: mittlere Wellenlänge in Abhängigkeit von der Tidenphase

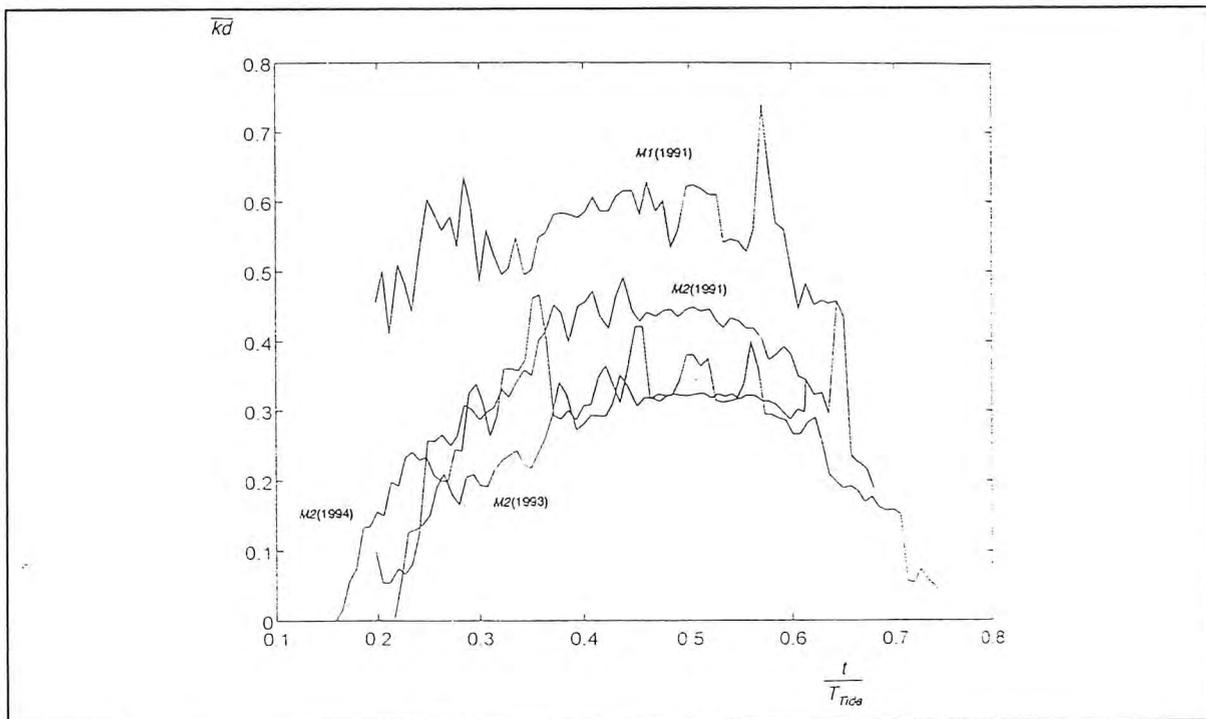


Abb. 8: Wellenzahl-Tiefenprodukt in Abhängigkeit von der Tidenphase

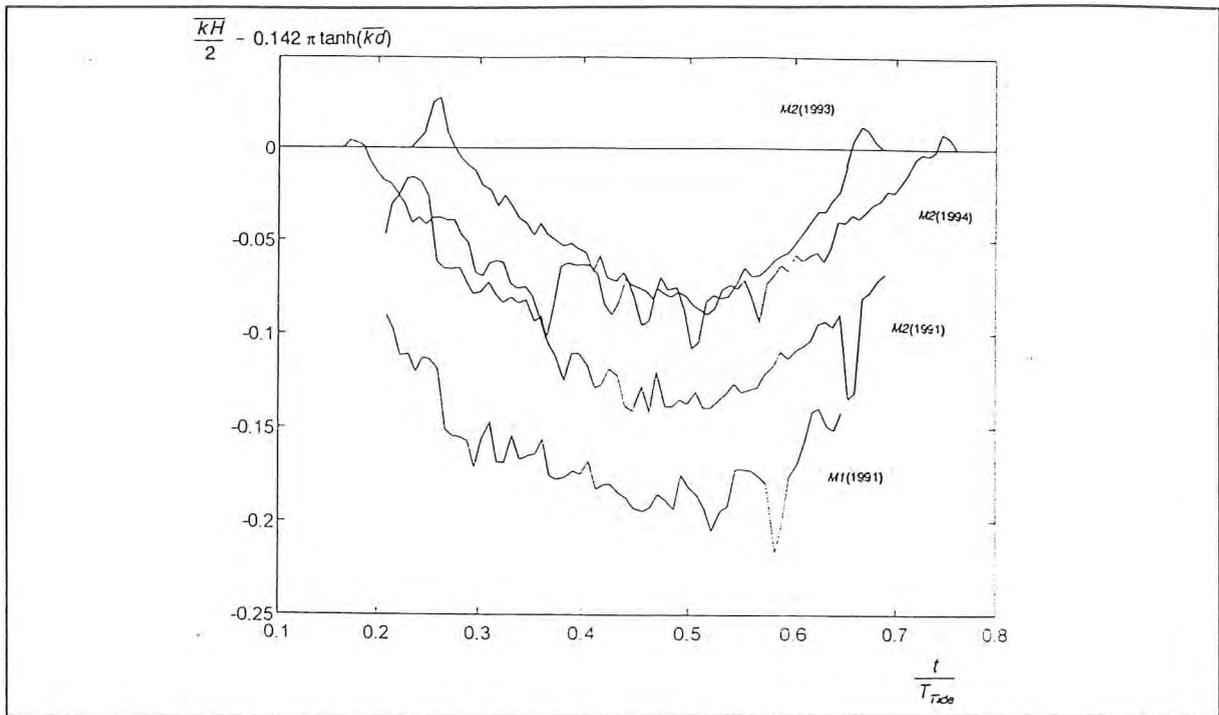


Abb. 9: Brecherkriterium in Abhängigkeit von der Tidenphase

### 3.3.2. Bodennahe vertikale Geschwindigkeits- und Tangentialspannungsprofile

Mit den Meßergebnissen des Experimentes M1(1991) kann kein bodennahe Geschwindigkeits- und Schubspannungsprofil berechnet werden, da z.T. infolge der Erosions- und Depositionsprozesse an dem Meßort zeitweise nur noch eine Heißfilmsonde nicht vom Boden bedeckt war. Bei allen anderen Experimenten konnte für den Abstand  $0.01 \text{ m} < h < 0.06 \text{ m}$  aus den Meßwerten das bodennahe Geschwindigkeits- und Schubspannungsprofil berechnet werden (Abb. 10 - 17).

Für Abstände  $h < 0.01 \text{ m}$  liegen vermutlich auch Meßwerte vor; infolge der meßsystembedingten Ungenauigkeit bei der Bestimmung des momentanen Abstandes der bodennächsten Heißfilmsonde vom Boden selber (Abstand der Sondenebenen  $0.025 \text{ m}$ ; Interpolationsverfahren zur Bestimmung der Bodenhöhe (Abschnitt 3.2 und Anhang 3 diese Berichtes)) sind Angaben zu Geschwindigkeiten und Schubspannungen in diesem Bereich mit einem zu großen Fehler behaftet. Sie werden daher hier nicht angegeben.

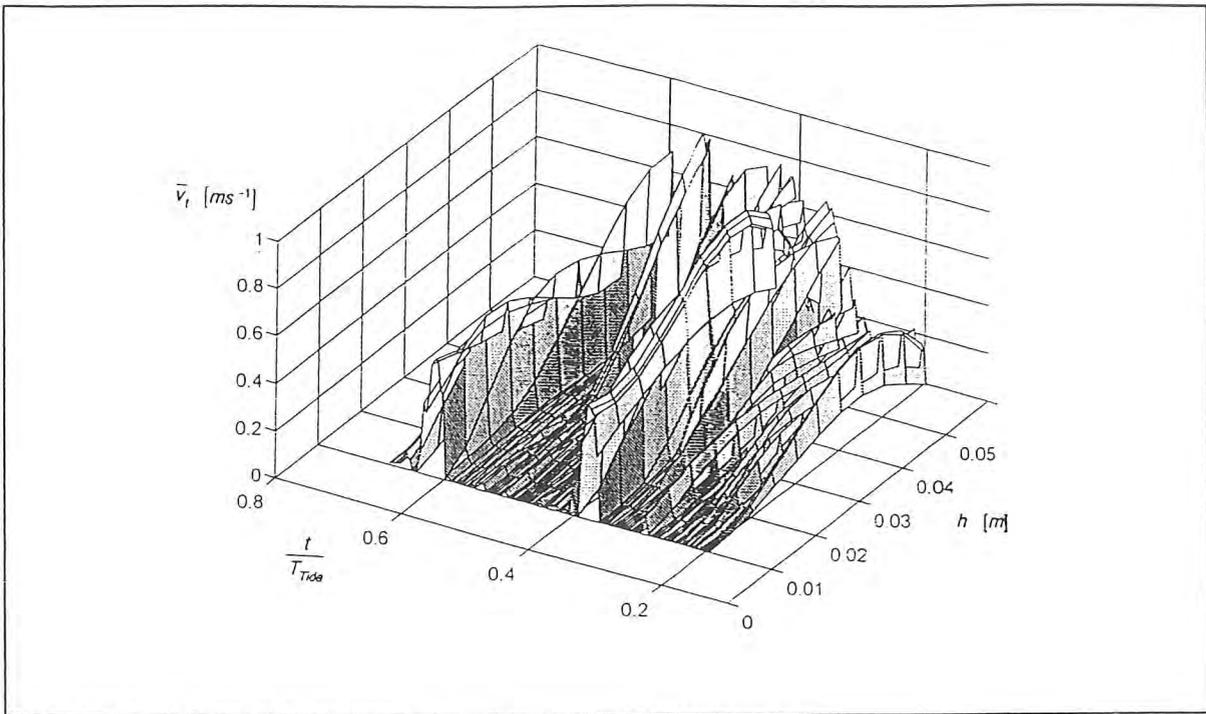


Abb. 10: Vertikalprofil der Tangentialgeschwindigkeit  $v_t$  (M2(1991))

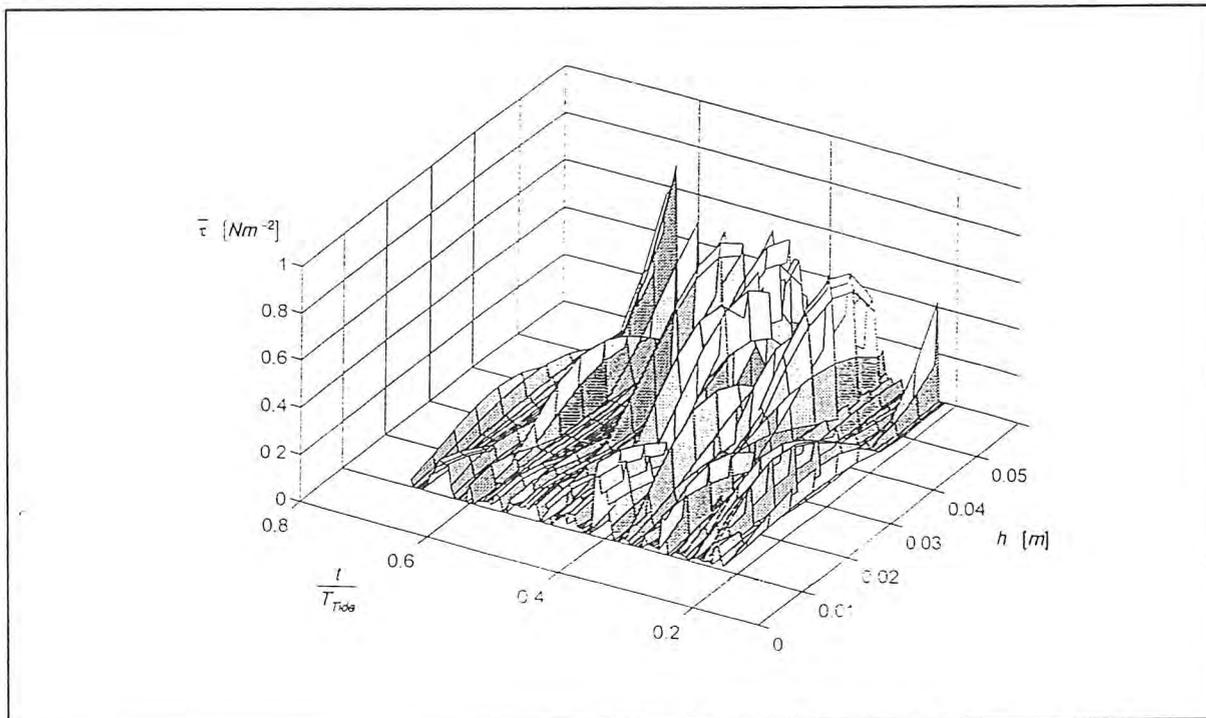


Abb. 11: Vertikalprofil der Tangentialspannung  $\tau$  (M2(1991)); berechnet nach Gl. 13 und Gl. 17

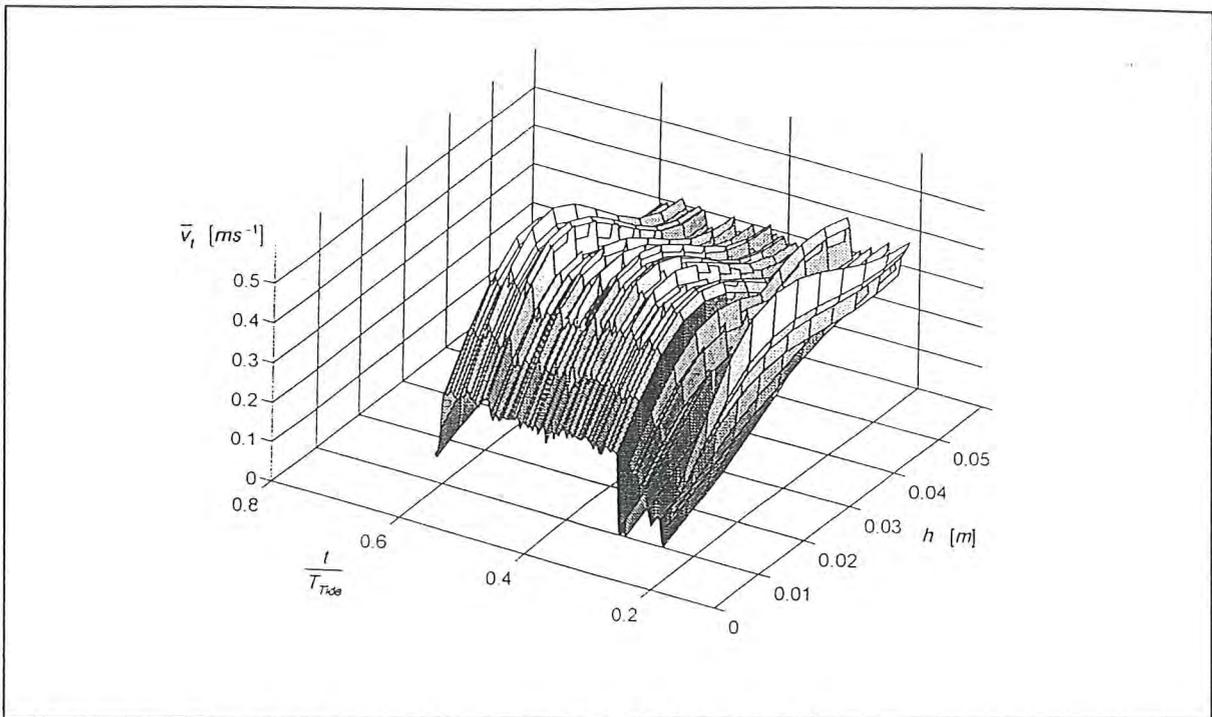


Abb. 12: Vertikalprofil der Tangentialgeschwindigkeit  $v_t$  (M2(1993),)

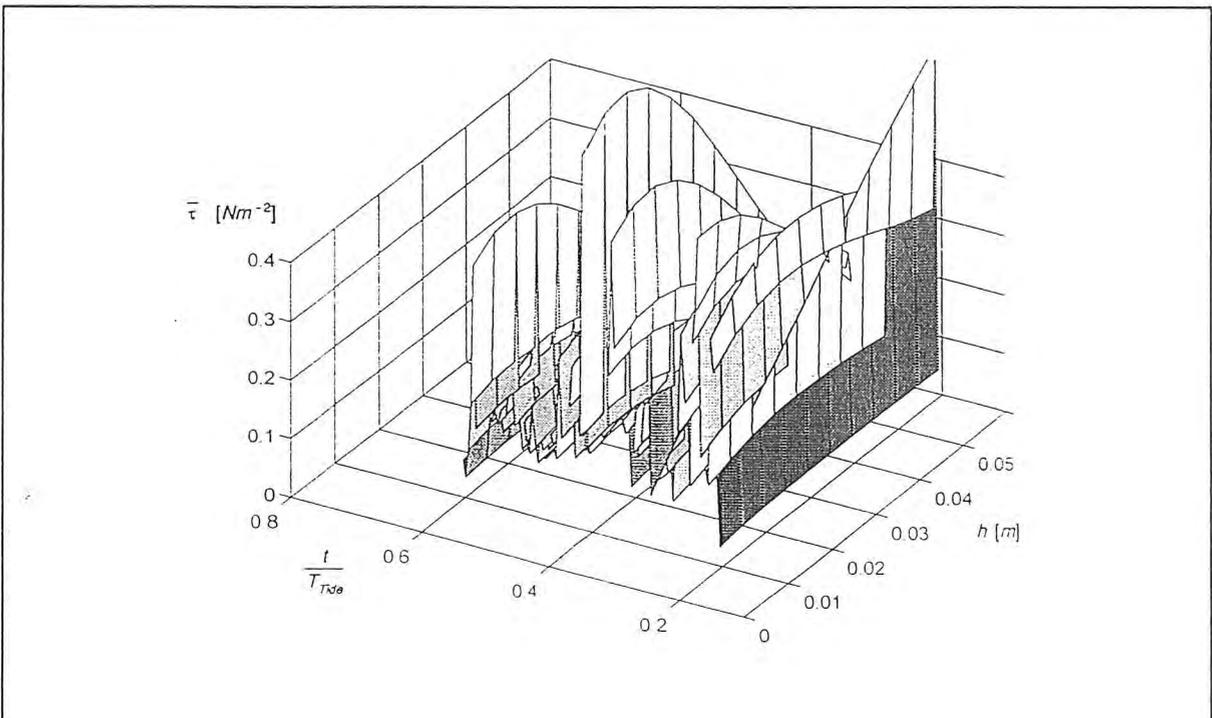


Abb. 13: Vertikalprofil der Tangentialspannung  $\tau$  (M2(1993),); berechnet nach Gl. 13 und Gl. 17

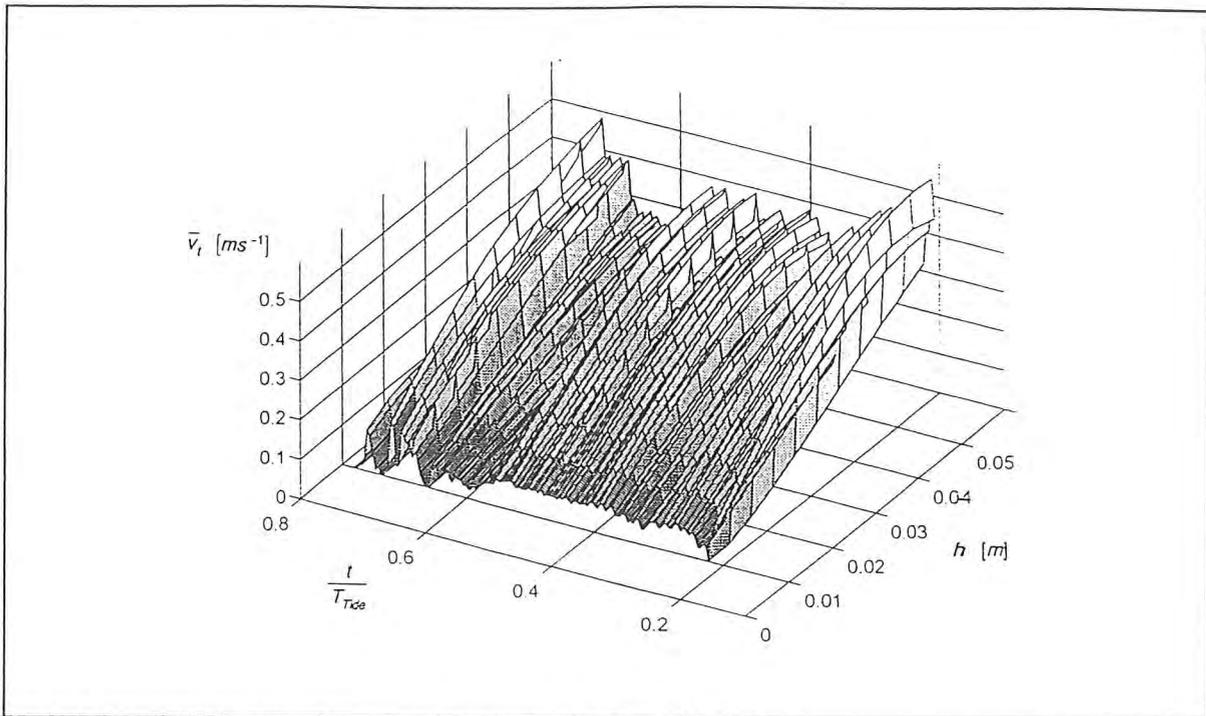


Abb. 14: Vertikalprofil der Tangentialgeschwindigkeit  $v_t$  (M2(1993)<sub>2</sub>)

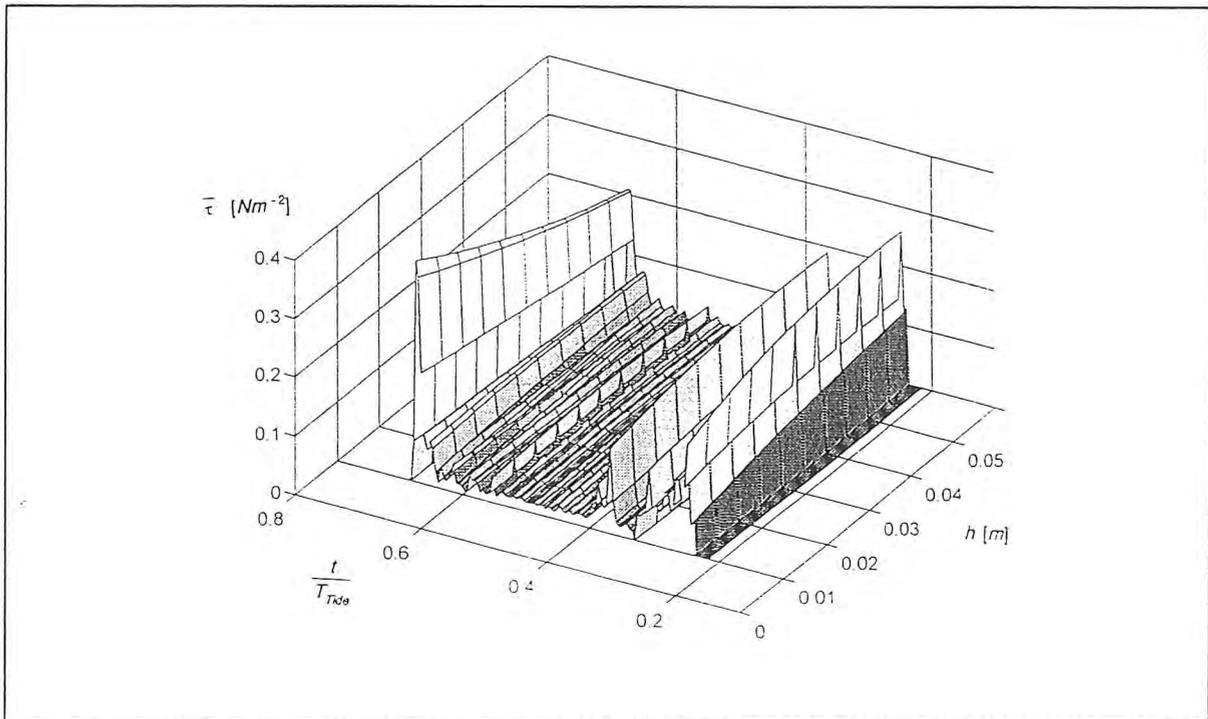


Abb. 15: Vertikalprofil der Tangentialspannung  $\tau$  (M2(1993)<sub>2</sub>); berechnet nach Gl. 13 und Gl. 17

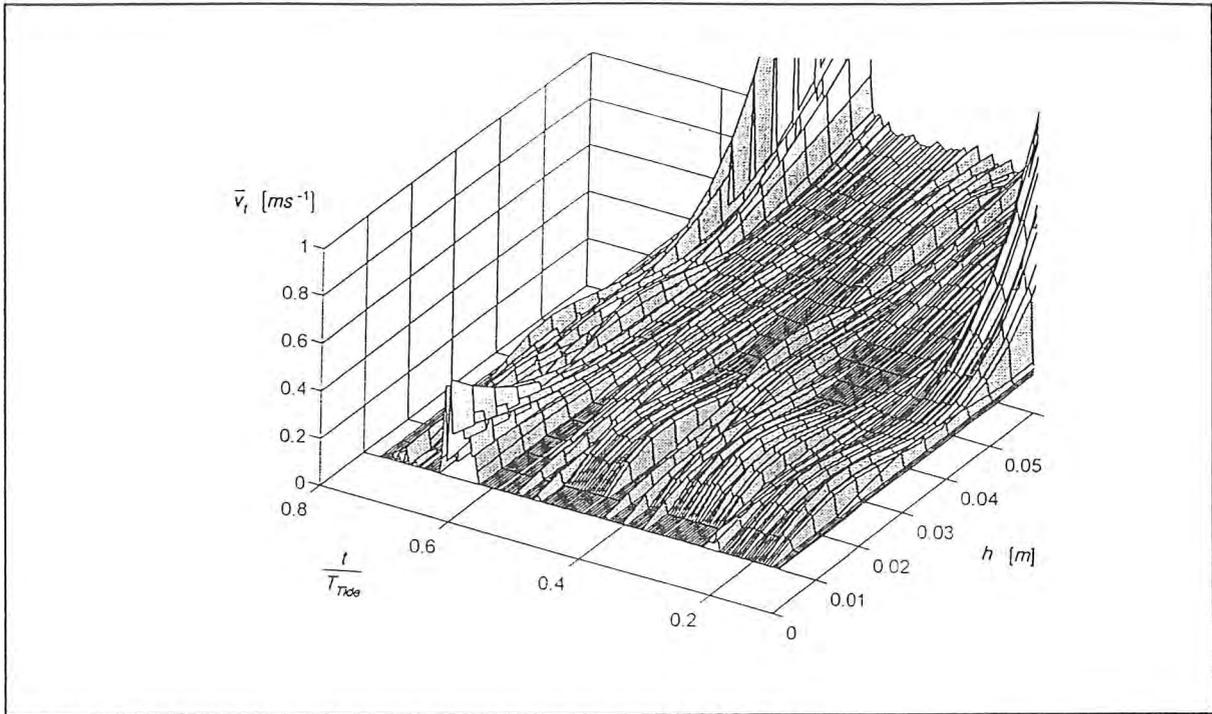


Abb. 16: Vertikalprofil der Tangentialgeschwindigkeit  $v_t$  (M2(1994))

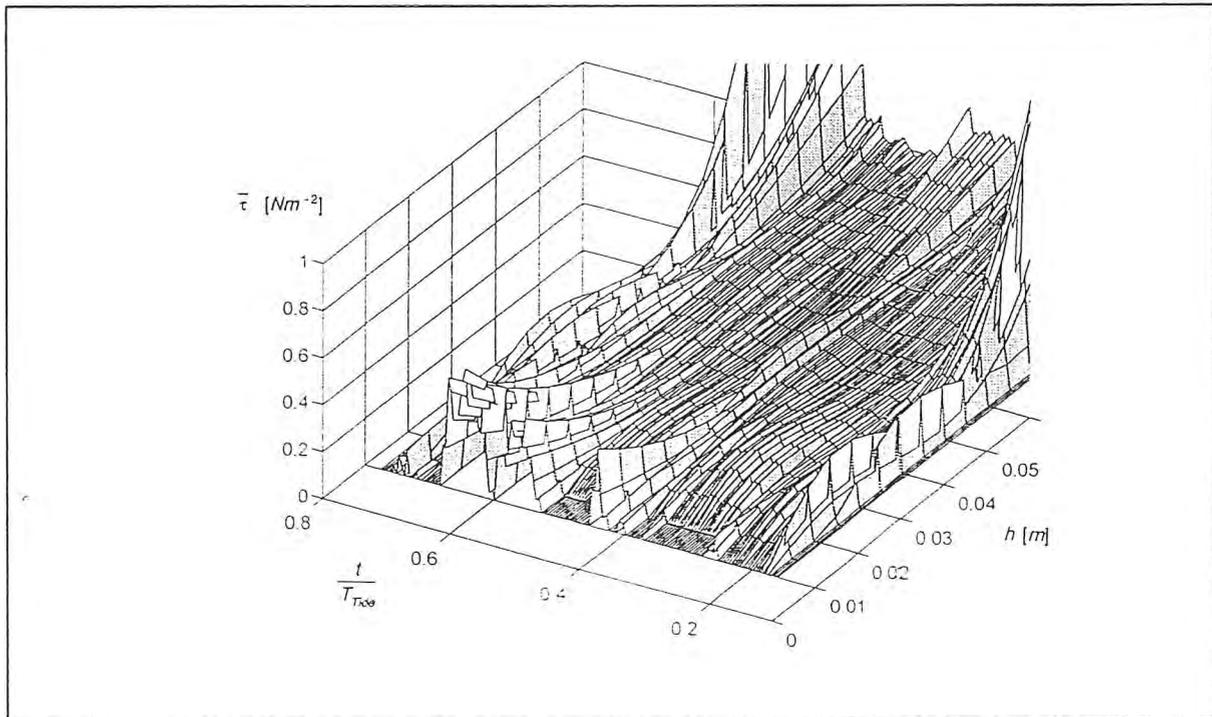


Abb. 17: Vertikalprofil der Tangentialspannung  $\tau$  (M2(1994)); berechnet nach Gl. 13 und Gl. 17

Die genannte Arbeitshypothese (Klassifizierung in "tidendominiert" und "wellendominiert") wird durch die hydrodynamischen Ergebnisse der Experimente von 1993 und 1994 bestätigt. Dabei sind bezüglich dieser Klassifikation die beiden Experimente trotz deutlich unterschiedlicher äußerer Bedingungen (Seegangstärke, Stillwassertiefe) sehr ähnlich. Der "tidendominierte" Bereich wird bei diesen beiden im Unterschied zu den Experimenten von 1991 nie deutlich verlassen.

Bestätigt wurde ebenfalls die Hypothese, daß besonders der Übergangsbereich zwischen dem "wellen- und tidendominierten" Bereich ( $d/(H/2) \approx 4.8$ ) hydrodynamisch besonders wirkungsvoll ist. Dieser Bereich liegt bei Tidenphasen von  $t/T_{\text{Tide}} = 0.35..0.4$  und  $t/T_{\text{Tide}} = 0.55..0.6$  (gilt für M2(1993) und M2(1994)). Dies wird besonders in den Abbildungen 14 bis 17 deutlich, in denen die genannten Tidenabschnitte sich durch höhere bodennahe Schubspannungen und Geschwindigkeitswerte als in den übrigen Tidenabschnitten auszeichnen. Für das Experiment M2(1991) liegen diese Bereiche bei  $t/T_{\text{Tide}} = 0.25..0.3$  und  $t/T_{\text{Tide}} > 0.6$ , in denen ebenfalls die höchsten Schubspannungs- und Geschwindigkeitswerte auftreten. Für das Experiment M1(1991) sind immer "wellendominierte" Verhältnisse ausschlaggebend.

### 3.3.3. Hydrodynamische-sedimentologische Prozesse

Der die sedimentologischen Prozesse bestimmende hydrodynamische Parameter ist die Wandschubspannung  $\tau_b$ . Mit den verwendeten Heißfilmsonden ist die direkte Messung dieser Kenngröße möglich, sofern die Heißfilmsonden selber bündig in die Sedimentoberfläche eingelagert sind. Diese Voraussetzung einer direkten Wandschubspannungsmessung kann bei den ablaufenden Erosions- und Depositionsprozessen durch die in einem Sondenturm fest installierten Heißfilmsonden nur über kurze Zeiträume oder überhaupt nicht erfüllt werden. Die Wandschubspannung wird daher aus dem vertikalen Geschwindigkeitsprofil entsprechend Gl. 17 bestimmt. In den Abbildungen 18 bis 22 wird die aus der Variation des Turbulenzgrades der Geschwindigkeit ermittelte instationäre Bodenhöhe a) der aus dem vertikalen Geschwindigkeitsprofil berechneten Wandschubspannung zugeordnet und b) der nach laminarer Wellengrenzschichttheorie berechneten Wandschubspannung zugeordnet.

Die Ergebnisse nach der laminaren Wellengrenzschichttheorie werden in diesem Zusammenhang als Vergleich verwendet.

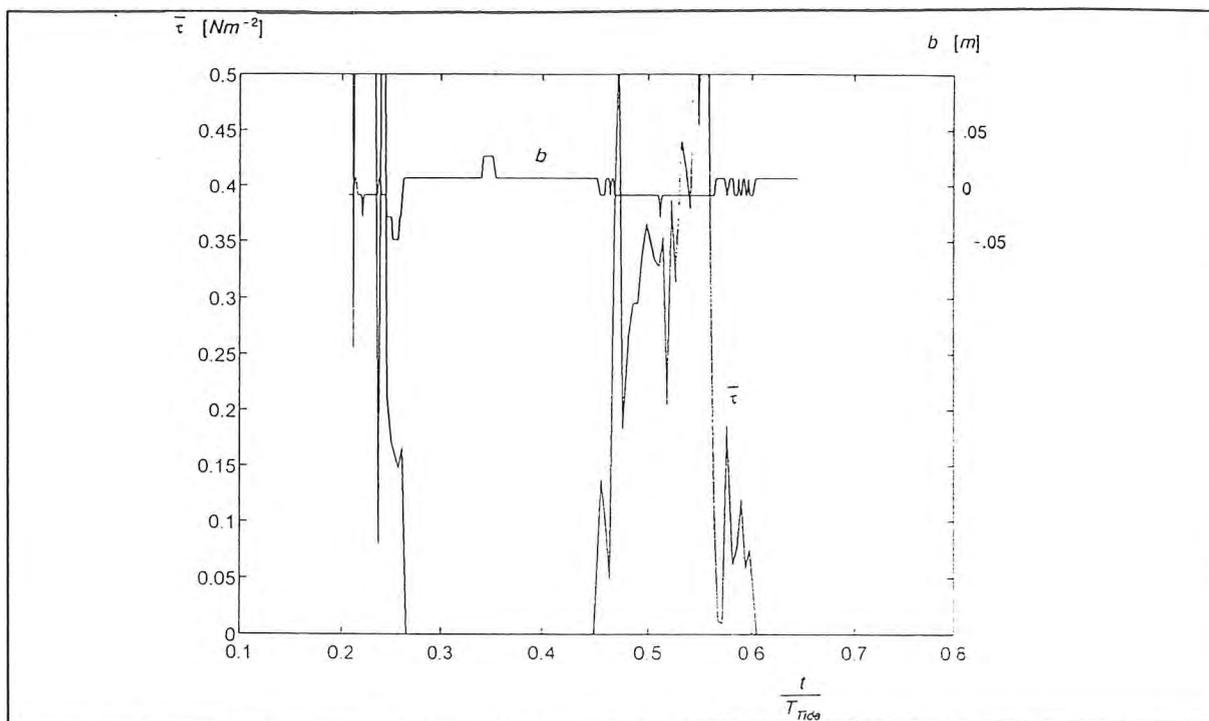


Abb. 18 a: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 17 (berechnet aus gemessenem vertikalen Geschwindigkeitsprofil (M1(1991)))

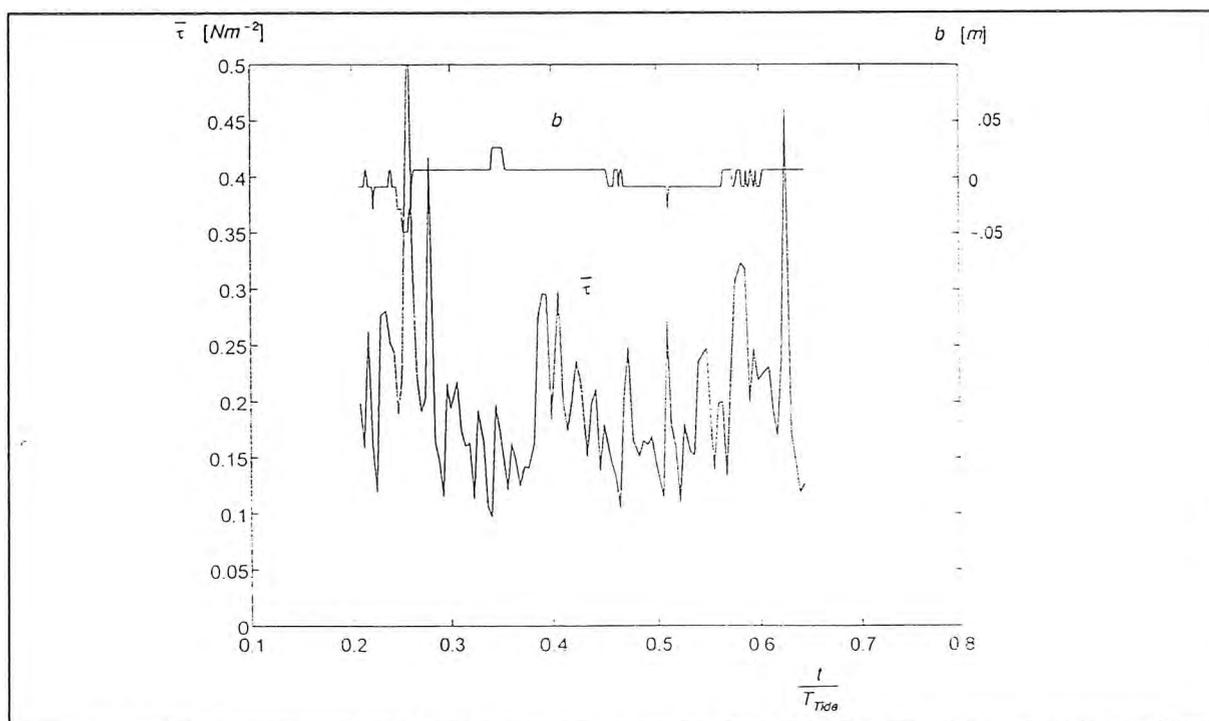


Abb. 18 b: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 15 (berechnet nach laminarer Wellengrenzschichttheorie (M1(1991)))

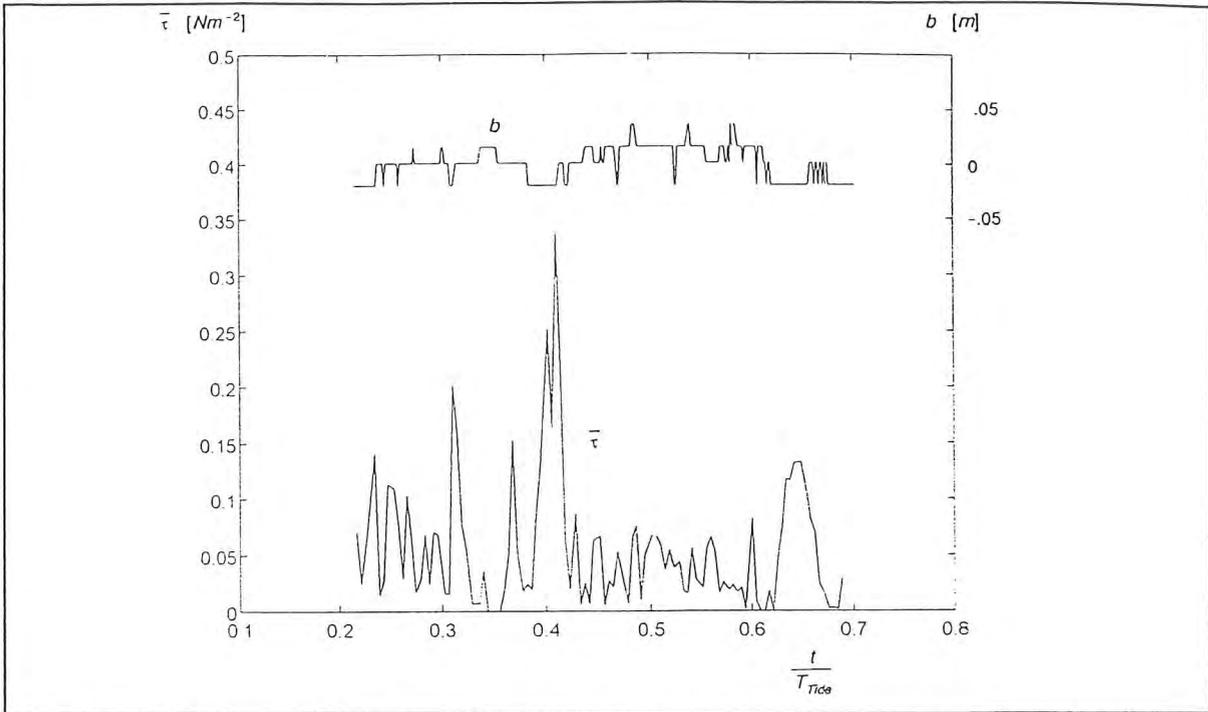


Abb. 19 a: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 17 (berechnet aus gemessenem vertikalen Geschwindigkeitsprofil (M2(1991)))

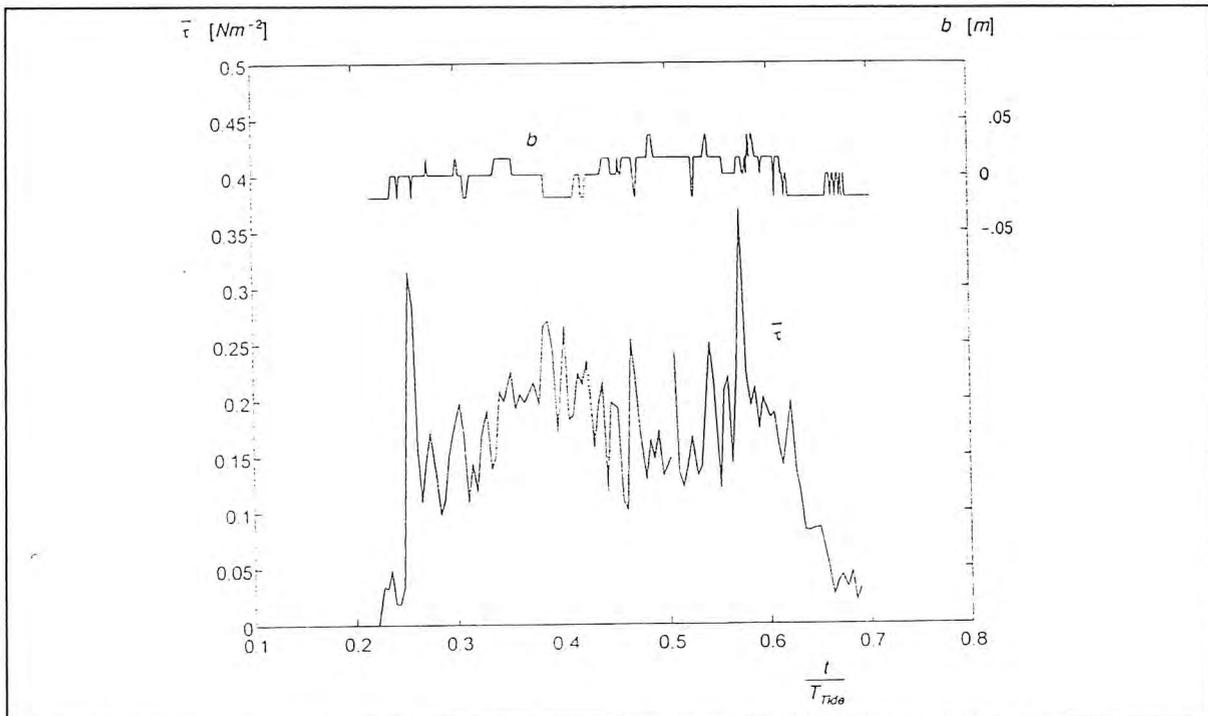


Abb. 19 b: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 15 (berechnet nach laminarer Wellengrenzschichttheorie (M2(1991)))

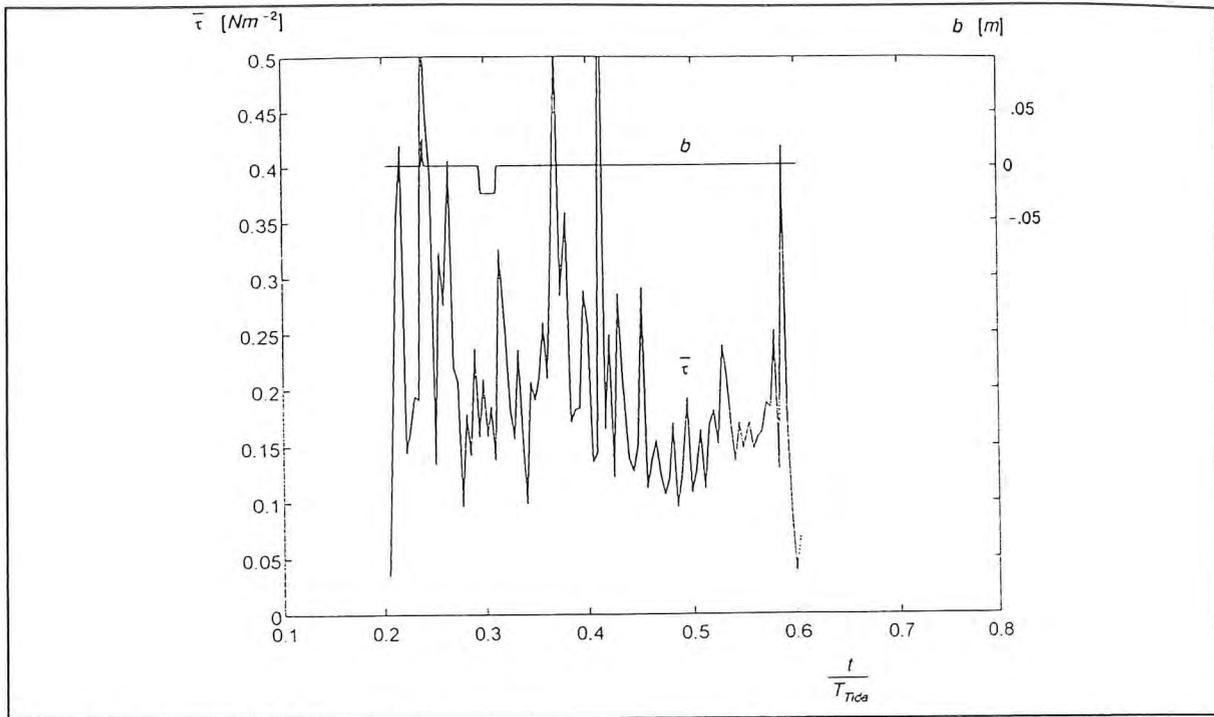


Abb. 20 a: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 17 (berechnet aus gemessenem vertikalen Geschwindigkeitsprofil (M2(1993),))

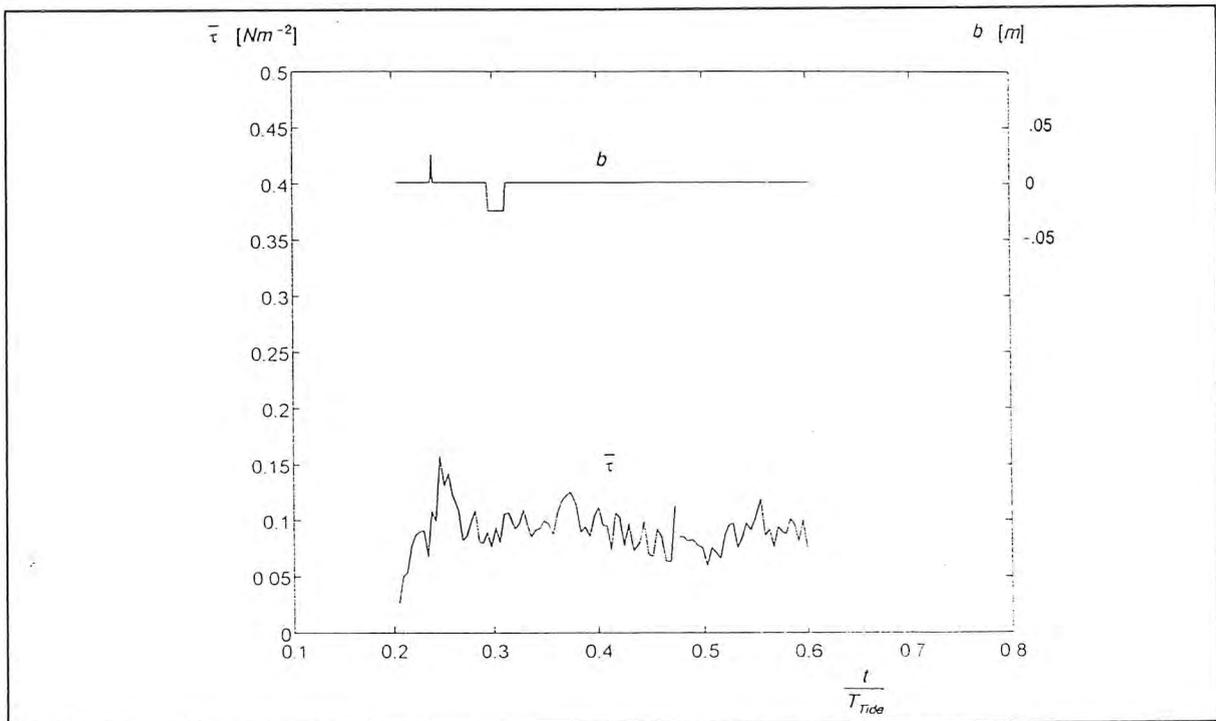


Abb. 20 b: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 15 (berechnet nach laminarer Wellengrenzschichttheorie (M2(1993),))

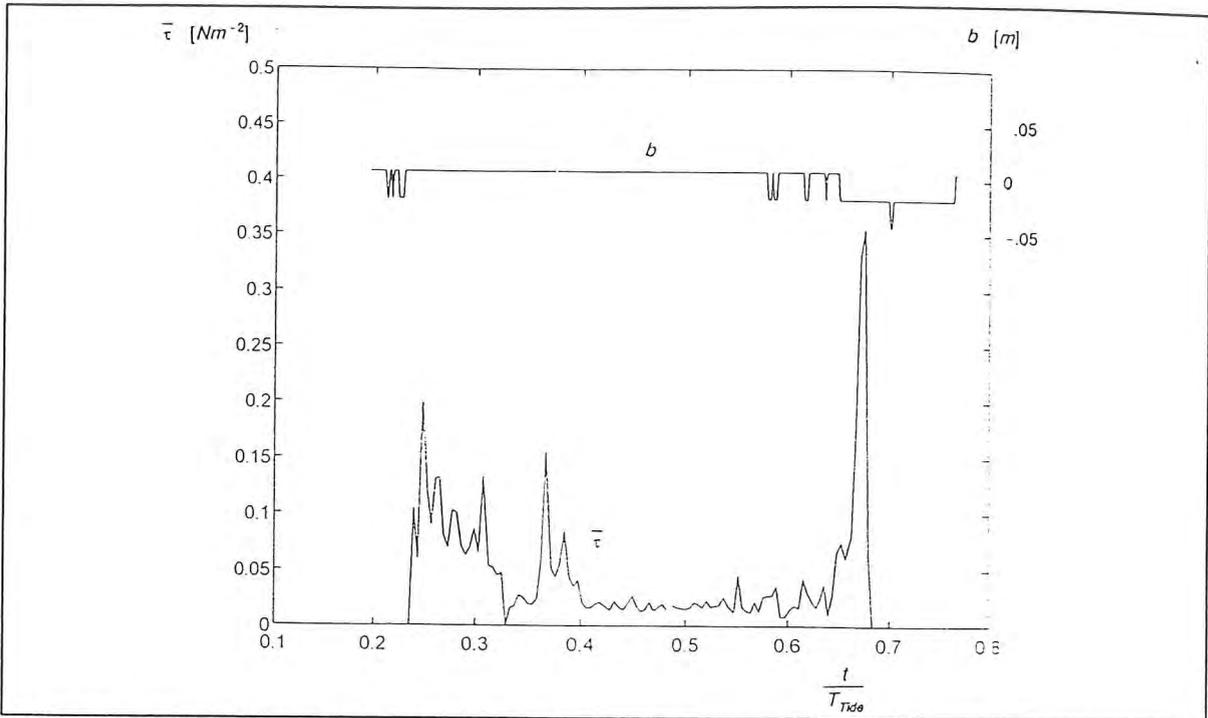


Abb. 21 a: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 17 (berechnet aus gemessenem vertikalen Geschwindigkeitsprofil (M2(1993)<sub>2</sub>))

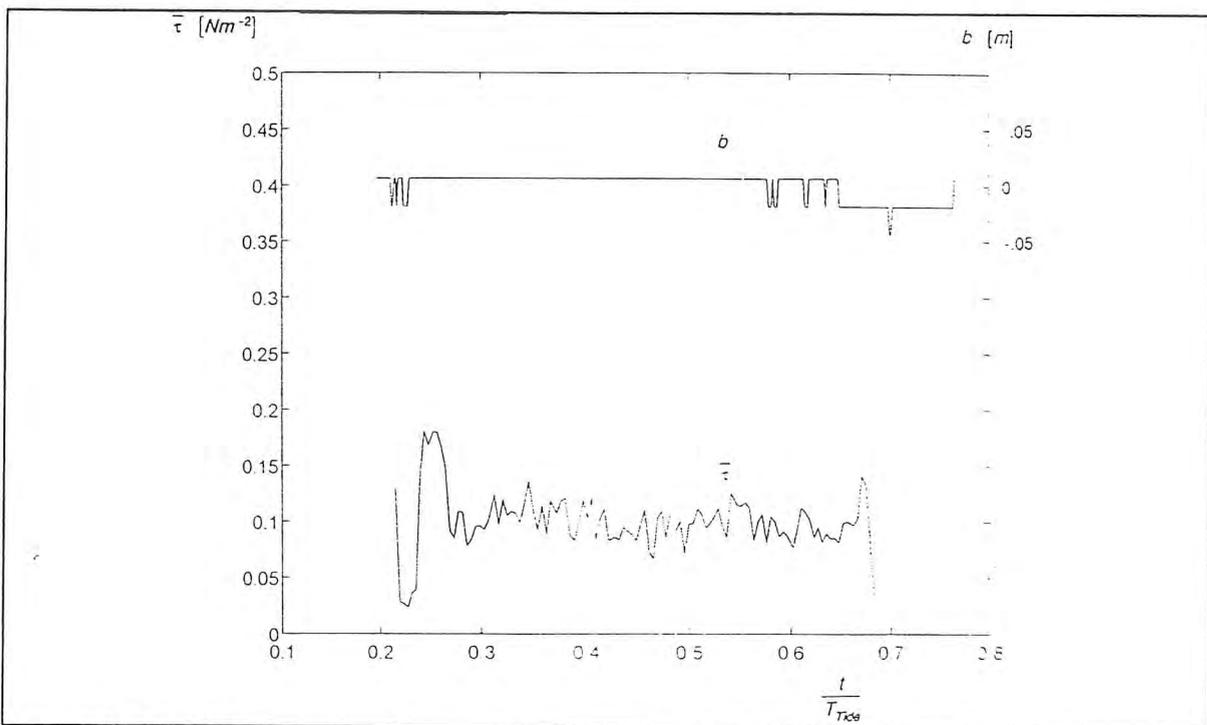


Abb. 21 b: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 15 (berechnet nach laminarer Wellengrenzschichttheorie (M2(1993)<sub>2</sub>))

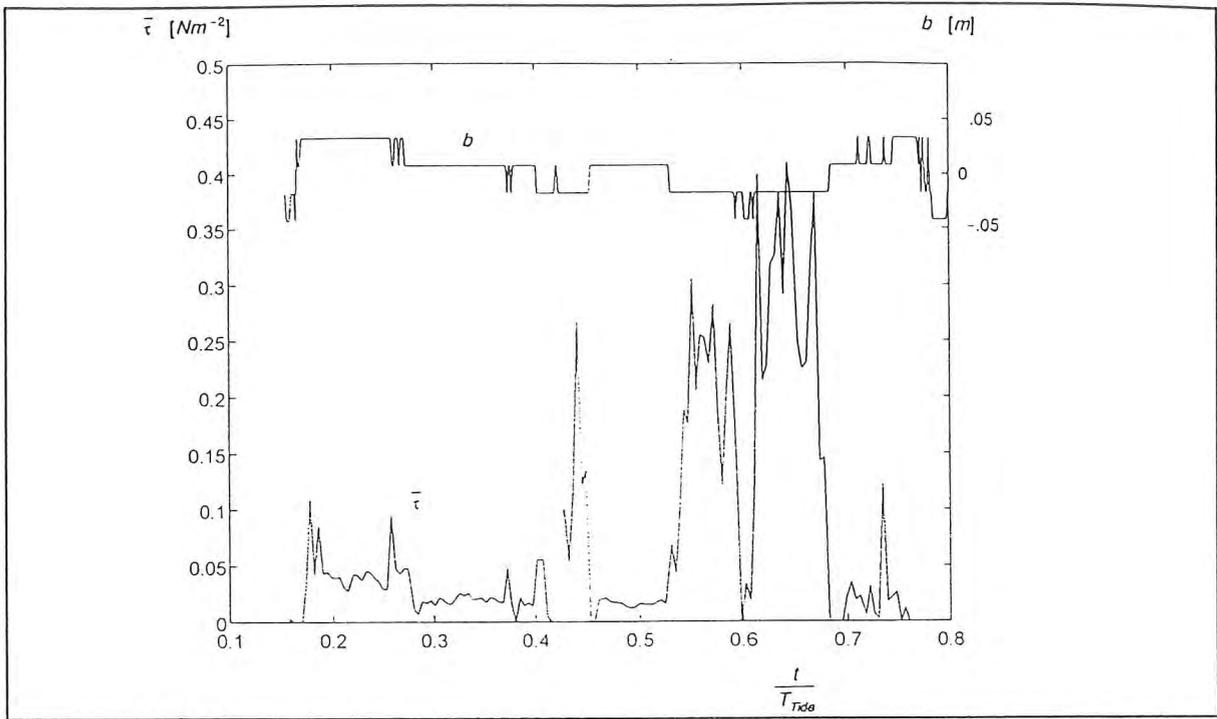


Abb. 22 a: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 17 (berechnet aus gemessenem vertikalen Geschwindigkeitsprofil (M2(1994)))

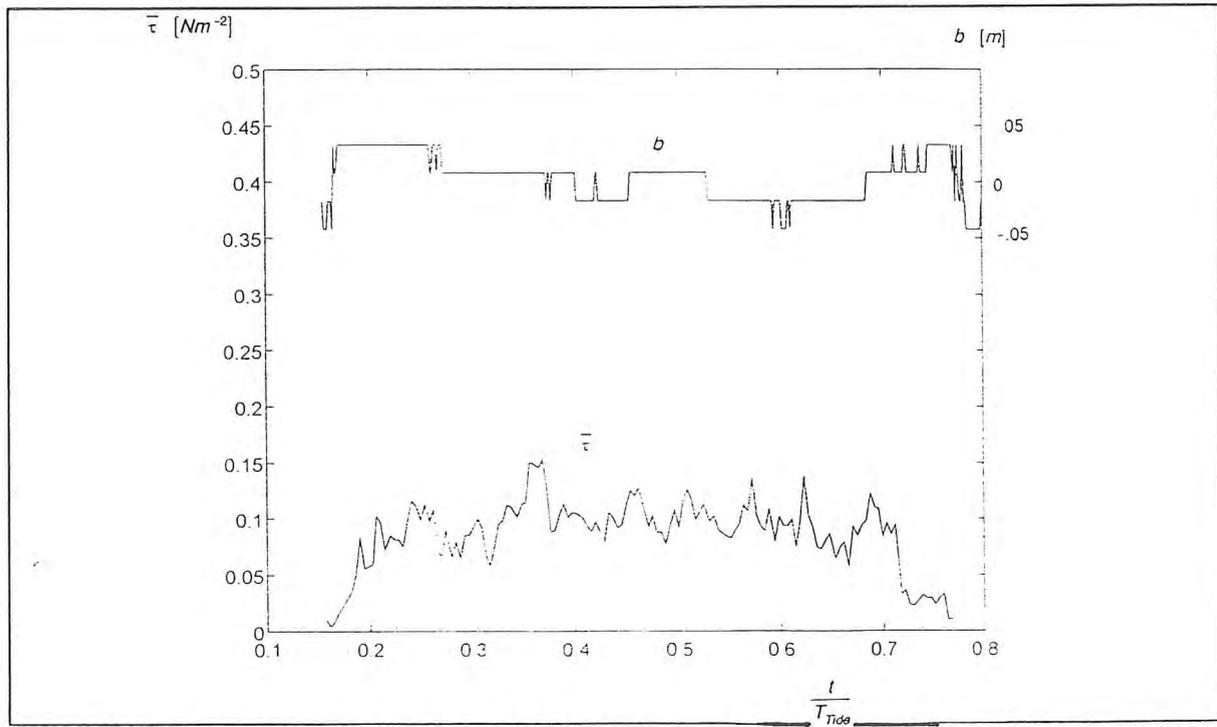


Abb. 22 b: Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 15 (berechnet nach laminarer Wellengrenzschichttheorie (M2(1994)))

Die in den Jahren 1993 und 1994 durchgeführten Experimente bestätigen die nach Auswertung der Experimente von 1991 getroffenen Aussagen /6/. Auch bei den 1993 angetroffenen ruhigen hydrodynamischen Verhältnissen sind Erosions- und Depositionsvorgänge zu beobachten, die, wie durch die Ergebnisse der sedimentologischen Meßgruppen bestätigt /7, 8/, am Meßort selber nur zu einer geringfügigen Änderung des Höhenniveaus führen. Auch während der Messung 1994, bei der die hydrodynamischen Verhältnisse durch abflauenden Starkwind bestimmt wurden, sind zwar starke Erosions- und Depositionsvorgänge während der Tide zu beobachten, die Netto-Umlagerung am Meßort bleibt wiederum gering.

Durch alle durchgeführten Experimente folgendes Modell bestätigt:

1. Die hydrodynamisch-sedimentologischen Prozesse können nach "tiden- und wellendominierten" Tidenphasen klassifiziert werden.
2. Während der "tidendominierten" Zeitabschnitte am jeweiligen Beobachtungsort innerhalb eines Tidenzyklus treten starke Erosions- und Depositionsprozesse auf. Das Sediment geht z.T. in Suspension über. Die bodennahen hydrodynamischen Verhältnisse können nicht mit linearen Wellentheorien beschrieben werden.
3. In den "wellendominierten" Zeitabschnitten ist eine Korrelation von Erosion- bzw. Deposition mit kurzfristigen Veränderungen der Wellenhöhe festzustellen. Die bodennahen hydrodynamischen Verhältnisse können mit linearen Wellentheorien sehr gut beschrieben werden. Wellengruppen sind hydrodynamisch und sedimentologisch besonders wirkungsvoll /9/.
4. Beide Prozesse führen auch bei ruhigen hydrodynamischen Verhältnissen zu einer großen Menge ( $> 0.05\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ Strandfläche})$ ) erodierten Materials, welches durch küstenparallele und -normale Strömungen transportiert werden kann. Die örtliche Netto-Erosionshöhe hängt entscheidend von der örtlich instationären Wechselwirkung zwischen örtlichen Erosions- und Depositionsprozessen und den quasistationären großräumigeren Strömungen ab.

## 4. AUSBLICK UND OFFENE FRAGEN

### 4.1. HARD- UND SOFTWARE

Die Heißfilm-Anemometrie mittels HDS-Paketen wurde erfolgreich im Zusammenhang mit den Untersuchungen zur bodennahen Hydrodynamik instationärer Prozesse in der Swash-Zone eingesetzt. Naturmessungen der Strömungsgeschwindigkeit (maximal  $4 \text{ ms}^{-1}$  wurden registriert) in einem Abstand von 0 bis 10 cm über dem Boden, wie sie im Rahmen dieser Forschungsaufgabe durchgeführt wurden, sind auch heute noch nicht allgemein üblich [10]. Hier konnte ein deutlicher Fortschritt erreicht werden. Zur weiteren Modellentwicklung sind technische Fortschritte auf drei Gebieten notwendig:

1. Durch Kombination von aktiver und passiver Heißfilmtechnik kann der Tangentialvektor der Strömungsgeschwindigkeit und der Schubspannung bestimmt werden. Zur Zeit kann nur der Betrag dieser Größen gemessen werden. Dazu ist die Entwicklung neuer Heißfilmsonden notwendig.
2. Um Wandschubspannungen auch bei veränderlicher Bodenhöhe zu messen, ist eine dynamische Positionierung in der Vertikalen für die Heißfilmsonden notwendig. Die entsprechende Positioniereinrichtung samt Meßwertempfänger für die Bodenhöhe muß entwickelt werden. Für eine genauere Bestimmung allein des vertikalen Geschwindigkeitsprofils der Strömungsgeschwindigkeit ist schon der Einsatz eines Meßwertgebers für die Bodenhöhe mit einer Auflösung  $\Delta b < \pm 0.2 \text{ cm}$  ausreichend. Da bei Strömungsmessungen über natürlichen Sedimenten nicht immer von dem Modell einer Wand für die Bodenoberfläche ausgegangen werden kann, sondern die Bodenoberfläche sich auch als Dichtesprungschicht endlicher Dicke darstellt, muß der Meßwertgeber entsprechend angepaßt sein.
3. Zur Ausschaltung des Einflusses von Temperaturänderungen des Fluids auf das Meßergebnis (besonders ungünstig ist eine Temperaturerhöhung über den prognostizierten Wert während eines Experimentes), ist perspektivisch die Softwarelösung zur Temperaturkompensation durch eine Hardwarelösung zur Einhaltung der Konstanz des Überhitzungsverhältnisses bei veränderlichen Fluidtemperaturen zu erweitern.

Für eine höhere Qualität zukünftiger Ergebnisse ist neben der genaueren Positionierung des Vertikalprofils die Bestimmung des Tangentialvektors der bodennahen Geschwindigkeiten und Schubspannungen Voraussetzung. Der bisher verwendete Auswertalgorithmus basiert auf aus der linearen Wellentheorie bzw. der Theorie für laminare Wellengrenzschichten abgeleiteten Annahmen zur Berechnung der Schubspannung aus dem Vertikalprofil des Betrages der Tangentialkomponente der Strömungsgeschwindigkeit. Das setzt die Anwendbarkeit der Dispersionsrelation, die Gültigkeit linearer Zusammenhänge zwischen Druck, Wellenerhebung und Tangentialgeschwindigkeit voraus. Darüber hinaus muß die lineare Wellengrenzschichttheorie anwendbar sein. Durch den Vergleich gemessener Tangentialgeschwindigkeitsverteilungen mit nach linearer Wellentheorie berechneten Verteilungen wurde die Anwendbarkeit der linearen Wellentheorie für Abstände  $> 5$  cm vom Boden im "wellendominierten" Bereich aus den 1991 durchgeführten Experimenten abgeleitet. Bei den Experimenten von 1993 und 1994 wurde dieses Ergebnis bestätigt. Auf Grund der z.Z. fehlenden Richtungsaussage der Meßergebnisse sind diese Annahmen aber noch mit Unsicherheiten versehen. Das spiegelt sich vor allem bei den Ergebnissen zur Vertikalverteilung der Schubspannung wieder. Da der Geschwindigkeitsvektor sich innerhalb einer Wellengrenzschicht vertikal nicht nur im Betrag sondern auch in der Richtung bei gleichen Phasenlagen unterscheidet, dieses Phänomen aber mit den derzeit benutzten Heißfilmsonden nicht aufgelöst werden kann, sind die aufgetretenen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der laminaren Wellengrenzschichttheorie und den vorgestellten Ergebnissen zur vertikalen Verteilung der Schubspannung zu erwarten. Für eine qualitative als auch quantitative Verbesserung der Daten sind daher Hardwareverbesserungen zwingend notwendig.

#### 4.2. KÜSTENNAHE HYDRODYNAMISCH-SEDIMENTOLOGISCHE PROZESSE

Im Rahmen dieses Projektes gelang eine Zuordnung hydrodynamischer Parameter und deren Veränderung über eine Tide zur Veränderung der Bodenhöhe innerhalb einer Tide. Die Klassifikation in "tidendominierte" ( $d/(H/2) < 4.8$ ) und "wellendominierte" ( $d/(H/2) > 4.8$ ) bodennahe hydrodynamische Verhältnisse zieht eine getrennte

Betrachtung der sedimentologischen Prozesse in beiden Tidenabschnitten nach sich. Starke Erosions- und Depositionsprozesse treten vor allem im "tidendominierten" Bereich auf, die infolge von hohen Wandschubspannungen in tidenverursachten Schichtströmungen auftreten. Dagegen wird im "wellendominierten" Bereich die Stärke der Erosions- und Depositionsprozesse durch die von der Wellenamplitude und deren zeitlicher Veränderung erzeugten Schubspannungen am Boden (Spitzenwerte bis  $\tau = 10 \text{ Nm}^{-2}$ ) bestimmt. In diesem Bereich sind Einzelereignisse, aber vor allem Wellengruppen für die Gesamtbilanz der Bodenbewegung entscheidend. Damit wird die Berechnung der Bodenbewegung innerhalb einer Tide für einen Strand äußerst komplex. Zu beachten ist, daß zur gleichen Tidenphase unterschiedliche Abschnitte des Strandes sich in unterschiedlichen hydrodynamischen Verhältnissen befinden ("tiden- oder wellendominiert"), dementsprechend die Erosions- und Depositionsprozesse unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Zu gleichen Tidenphasen befinden sich nicht nur in normaler Richtung zum Strand einzelne Strand- und Vorstrandabschnitte in diesen unterschiedlichen Bereichen, sondern auch lateral infolge der konkreten Strandtopographie /7, 8/. Erst bei Beachtung der Wechselwirkung mit den geringer instationären küstenparallelen und -normalen Strömungen, die durch die konkreten topographischen und hydrographischen Verhältnisse bestimmt werden, kann eine Bilanzierung des Sedimenttransportes erreicht werden. Innerhalb der Bühnenfelder stellen sich ebenfalls derartige quasistationäre Strömungen ein, deren Ausbildung durch die Bühnen und deren Lage relativ zu den anlaufenden Wellen stark beeinflußt wird. Dieses kann soweit gehen, daß die Bühnen selber die strandnahe Küstenerosion verstärken.

Zur Bestätigung der genannten Ergebnisse und zur Präzisierung der Modellvorstellungen sind Messungen vektorieller Größen und begleitende Modellrechnungen notwendig. Messungen im "wellendominierten" Bereich sind aus der Modellsicht besonders wichtig, da für die apostrophierte Korrelation zwischen berechneten Schubspannungsverteilungen nach Wellengrenzschichttheorien und den gemessenen Werten für diesen Bereich z.Z. noch zu wenig Daten vorliegen (nur das Experiment von 1991 lag zeitweise deutlich im "wellendominierten" Bereich, das Vertikalprofil der Geschwindigkeit konnte dort aber auf Grund mehrerer vom Sediment bedeckter Sonden innerhalb des Sondenturmes nicht genau genug bestimmt werden). Ein

Ergebnis der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten experimentellen wie theoretischen Untersuchungen ist die Aussage, daß die Ergebnisse von Druckmessungen in Kombination mit linearer Wellentheorie erste Aussagen zur Strandentwicklung ermöglichen. Darauf aufbauend kann ein Küstenevolutionsmodell entwickelt werden, mit dem das Ziel der Vorhersage der Küstenentwicklung wie auch der Entwurf/die Projektierung hydrodynamisch effektiver Küstenschutzanlagen näher rückt. Die in diesem Projekt bearbeitete Thematik ist im internationalen Rahmen von besonderem Interesse. Meßkampagnen mit großer internationaler Beteiligung ("DUCK94", CoOP-Experiment) finden z.Z. statt bzw. sind für die Zukunft geplant ("SANDYDUCK97") /11/. Mit den aus internationalen Meßkampagnen und den hier gewonnenen Daten können die z.Z. am weitesten fortgeschrittenen theoretischen Modelle zur Wellengrenzschicht /12/ bestätigt bzw. weiter vervollkommen und in den Aussagen sicherere Küstenevolutionsmodelle aufgestellt werden.

Die aufgezeigten instrumentellen und modellmäßigen Entwicklungsmöglichkeiten und -tendenzen sollen am Arbeitsbereich Meerestechnik 1 der TU Hamburg-Harburg weiter verfolgt werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ **Sattel**, H.: Wandschubspannung an umströmten Körpern. Univ. der Bundeswehr München, Dissertation, 1994.
- /2/ **Schlichting**, H.: Grenzschicht-Theorie; Karlsruhe: Braun, 1982
- /3/ **Strickert**, H.: Hitzdraht- und Hitzfilmanemometrie; Berlin: Verlag Technik, 1974
- /4/ **Müller**, V.: Meßbericht zum Feldversuch am 18.-20.10.1993, Forschungsvorhaben "Vorstrand- und Strandauffüllungen in Bühnen-Deckwerks-Systemen", TU Hamburg-Harburg, 1993

- /5/ **Müller, V., Gust, G., Schirmacher, J.-E.:** Zwischenbericht zum Forschungsvorhabens "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen", TU Hamburg-Harburg AB Meerestechnik 1, 1993
- /6/ **Gust, G.; Müller, V.; Kaiser, R.:** Messung von Sandtransportvorgängen im Strandbereich; Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 87 (1993), 100 - 104
- /7/ **Otten, O.; Köster, R.:** Abschlußbericht zum Teilprojekt "Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen" im Forschungsvorhabens "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen", Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Universität Kiel, 1994
- /8/ **Eitner, V., Ragutzki, G., Stephan, H.-J., Taddigs, R.:** "Sedimentologische und morphologische Ergebnisse eines interdisziplinären Meßeinsatzes im Bühnenfeld D1-E1 am 19. Oktober 1993 sowie die zeitliche Entwicklung der Massenbilanzen. 3. Zwischenbericht zum Teilprojekt "Sedimentologie und morphologische Entwicklung" im Forschungsvorhabens "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen", Forschungsstelle Küste, Norderney, 1993
- /9/ **Hanes, D. M.:** Suspension of sand due to wave groups. J. Geophys. Res. 96(1991)C5, 8911-8915
- /10/ **Lohmann, A., Cabrera, R., Gelfenbaum, G., Haines, J.:** Direct measurement of Reynolds Stress with an Acoustic Doppler Velocimeter. IEEE fifth working conference on Current Measurements, 7.-9. 2. 1995, St. Petersburg, Florida

- /111/ **Wakefield, J.:** Scientists conduct largest coastal experiment on record.  
EOS, Trans. American Geophysical Union 75(1994)43, 505
- /12/ **Trowbridge, J., Madsen, O. S.:** Turbulent wave boundary layers: 1.  
Model formulation and First - Order - Solution; 2. Second - Order -  
Theory and mass transport. J. Geophys. Res. 89(1984)C5, 7989-8007

## SYMBOLVERZEICHNIS

a, b	Koeffizienten der Kennlinien der Heißfilmsonden (Abschnitt 2.3)
b	Bodenhöhe
d	Stillwassertiefe
g	Erdbeschleunigung ( $= 9.8065 \text{ ms}^{-2}$ )
H	Wellenhöhe
I	elektrische Stromstärke (Abschnitt 2.3)
k	Wellenzahl
l	charakteristische Länge (Abschnitt 2.3)
Nu	Nusseltzahl (Abschnitt 2.3)
P	elektrische Leistung (Abschnitt 2.3)
p	Druck
Pr	Prandtlzahl (Abschnitt 2.3)
Q	Wärmemenge (Abschnitt 2.3)
Re	Reynoldszahl
T	absolute Temperatur
t	Zeit
U	elektrische Spannung (Abschnitt 2.3)
$U_{\infty}$	current - Strömungsgeschwindigkeit
$u, v_t$	Tangentialgeschwindigkeit, Betrag der Tangentialgeschwindigkeit
x, y, z	Komponenten des kartesischen Koordinatensystems (Ursprung in ungestörter Wasseroberfläche; negative z - Achse zum Boden gerichtet)
$\alpha$	Temperaturbeiwert des elektrischen Widerstandes (Abschnitt 2.3)
$\eta$	Wellenerhebung
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit (Abschnitt 2.3)
$\nu$	kinematische Viskosität ( $= 1.02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ )
$\rho$	Dichte ( $= 1025 \text{ kg m}^{-3}$ )
$\tau$	Schub- oder Tangentialspannung
$\sigma$	Standardabweichung
$\omega$	Kreisfrequenz

## INDEX

b	bezogen auf den Boden
l	berechnet nach linearer Wellen- oder Wellengrenzschichttheorie
s	bezogen auf die Oberfläche des Heißfilmsensors
t	berechnet aus gemessenen Größen
$\infty$	ungestörter Wert, Materialkonstante
-	(OVERBAR) zeitgemittelter Wert (Mittelungsintervall 60 s)

## VERZEICHNIS DER TABELLEN

Seite

Tab. 1	Koeffizienten $a_i$ und $b_i$ der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens verwendeten Heißfilmsonden	12
--------	---	----

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Seite

Abb. 1	Prinzipskizze des Aufbaus eines HDS-Paketes, wie es im Rahmen dieses Forschungsthemas verwendet wurde (Maße in mm)	4
Abb. 2	Kennlinien einer ausgewählten Sonde bei verschiedenen Überhitzungsverhältnissen; $\Delta T = (T_{\infty \text{ ist}} - T_{\infty \text{ erwartet}})$ ; für $\Delta T = 0$ ist das Überhitzungsverhältnis 1.05:1	11
Abb. 3	Temperaturabhängigkeit der Koeffizienten $a_i$ für 4 verschiedene Heißfilmsonden ( $i = 1 \dots 4$ )	11
Abb. 4	Tidenkurven der ausgewerteten Experimente (die Tidenkurven der Experimente $M2(1993)_1$ und $M2(1993)_2$ sind identisch)	18
Abb. 5	Dimensionslose Form der Tidenkurven	18
Abb. 6	Klassifikationsparameter $d/(H/2)$ in Abhängigkeit von der Tidenphase (tidendominiert: $d/(H/2) - 4.8 < 0$ ; wellendominiert: $d/(H/2) - 4.8 > 0$ )	19
Abb. 7	mittlere Wellenlänge in Abhängigkeit von der Tidenphase	20
Abb. 8	Wellenzahl-Tiefenprodukt in Abhängigkeit von der Tidenphase	20
Abb. 9	Brecherkriterium in Abhängigkeit von der Tidenphase	21

Vertikalprofil der Tangentialgeschwindigkeit  $v_t$  für:

Abb. 10	$M2(1991)$	22
Abb. 12	$M2(1993)_1$	23
Abb. 14	$M2(1993)_2$	24
Abb. 16	$M2(1994)$	26

Vertikalprofil der Tangentialspannung  $\tau$ ; berechnet nach Gl. 13 und Gl. 17 für:

Abb. 11	$M2(1991)$	22
Abb. 13	$M2(1993)_1$	23
Abb. 15	$M2(1993)_2$	24
Abb. 17	$M2(1994)$	26

Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 17 (berechnet aus gemessenem vertikalen Geschwindigkeitsprofil) für:

Abb. 18a M1(1991)	27
Abb. 19a M2(1991)	28
Abb. 20a M2(1993) <sub>1</sub>	29
Abb. 21a M2(1993) <sub>2</sub>	30
Abb. 22a M2(1994)	31

Bodenbewegung und Wandschubspannung nach Gl. 15 (berechnet nach laminarer Wellengrenzschichttheorie) für:

Abb. 18b M1(1991)	27
Abb. 19b M2(1991)	28
Abb. 20b M2(1993) <sub>1</sub>	29
Abb. 21b M2(1993) <sub>2</sub>	30
Abb. 22b M2(1994)	31

Anhang 1: Meßbericht zum Feldversuch am 6. 10. 1994

Ort : Norderney - Bühnenfeld D1/E1  
verantw. Bearbeiter: Dr.-Ing. V. Müller

## 1. Einleitung

In der KFKI-Arbeitsgruppensitzung am 9.6.1994 in Bremen wurde für den Herbst 1994 die Durchführung eines Experimentes im Bühnenfeld D1/E1 auf Norderney zur Verifizierung der hydrodynamischen Grundlagen des Sedimenttransportes angekündigt. Von Seiten der TU Hamburg-Harburg wurde die Bereitschaft zur Teilnahme an diesem Experiment erklärt. Ziel dieses Experimentes war die Bestätigung der in Auswertung der bisherigen Messungen getroffenen Aussagen zur Wechselwirkung hydrodynamischer Einflußgrößen mit tidephasenspezifischen Erosions- und Sedimentationsprozessen. In diesem Meßbericht wird die Durchführung des Experimentes dokumentiert und werden die Ergebnisse der Messungen in Form unkommentierter Geschwindigkeits- und Absolutdruck-Daten dargestellt.

## 2. Technische Parameter

Die Experimente wurden mit einem HDS-Paket durchgeführt. Die Koeffizienten der verwendeten Heißfilmsensoren sind:

Sonden-Nr.	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$
S1: 1	0.1010	0.1486	0.0669	0.1049
S2: 4	0.0993	0.1336	0.0538	0.1175
S3: 5	0.0901	0.1476	0.0562	0.0980
S4: 6	0.1009	0.1433	0.0560	0.1051
S5: 12	0.1028	0.1547	0.0643	0.1106
S6: 2	0.0932	0.1486	0.0607	0.0958

Die Koeffizienten sind die Parameter der verallgemeinerten Kennlinien der Heißfilmsensoren, wie sie im Abschnitt 2.3 des Abschlußberichtes dargestellt sind.

Der verwendete Temperatursensor besitzt die Kennlinie

$$U_{\theta} = 0.06605876 \theta + 1.5567742, \quad [\theta] = ^\circ C$$

und der Absolutdrucksensor eine lineare Kennlinie zwischen 0..3 bar (entspricht 0..3 V).

Das HDS-Paket wurde am 5.10.94 gegen 17.00 Uhr im Bühnenfeld D1/E1 am Strand von Norderney ausgebracht. Die eigentliche Meßzeit war am 6.10. von 8:00 bis 17:00, so daß zwischen Installation und Beginn der Meßzeit ein Tidenzyklus lag, der meßtechnisch nicht erfaßt wurde. Daher ist eine Abweichung zwischen den Höhen der Sondenebenen zu Beginn der Messung und nach Installation möglich. Das HDS-Paket wurde erst am 7.10. morgens deinstalliert; vorgesehen war eine zweiter Meßzyklus in

der Nacht vom 6./7.10., der infolge Erschöpfung der Akkus nicht erfolgreich war. Der am 7.10. vorgefundene Zustand (Anordnung der Sonden, Dejustierung des Gestänges) wird nicht vom 6.10. abends berichtet, so daß das Ergebnis des Versuches vom 6.10. nicht beeinflusst ist. Die vorgefundenen Schäden sind wahrscheinlich auf Publikumsverkehr in der Zeit des trockengefallenen Strandes zurückzuführen.

### 3. Meßprotokoll und Ergebnisse

#### a) HDS-Paket

Paket-Nr. : 1  
Sondenturm-Nr. : 2  
Thermofühler : ID = 5  
Einstelltemperatur : 14.0°C

Sampleparameter  
Frequenz : 5 Hz  
Burstdauer : 45 min  
Pausendauer : 0  
Anzahl der Bursts : 13  
Meßbeginn : 07:30:00  
ID :  
Versions-Nr. : NY

Sondenturm  
Anzahl der Ebenen : 6  
Abstand der Ebenen : 2.5 cm (konstant)

#### b) Bedingungen am 5.10., 17:00

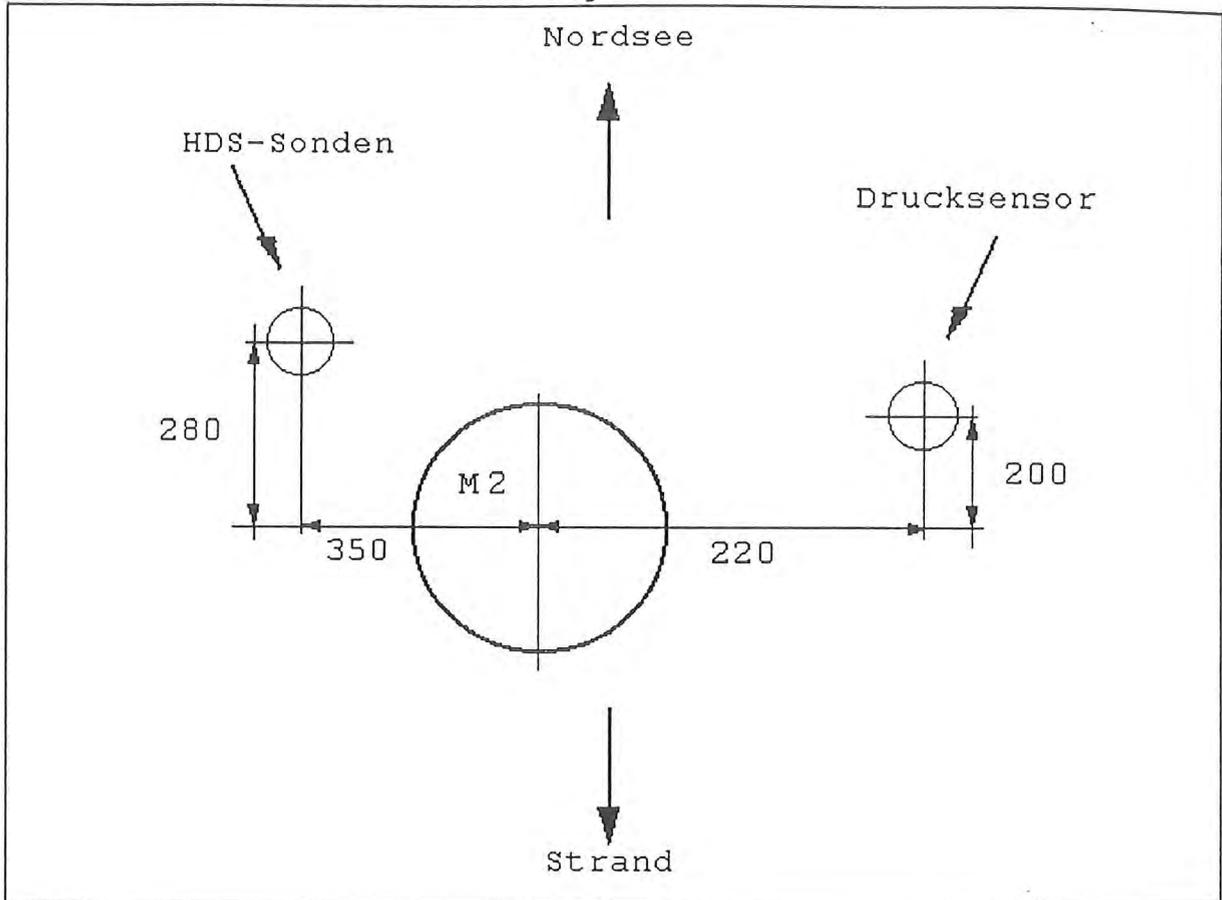
##### Umgebungsbedingungen

Wassertemperatur : 13.8°C  
Wellenhöhe : 1 m  
Windrichtung : 155°  
Windgeschwindigkeit : 14.2 ms<sup>-1</sup>

##### Positionierung im Bühnenfeld

Meßpunkt : M 2  
Höhe ü.G. :  
Sonde 1 : - 6.5 cm  
Sonde 2 : - 4.0 cm  
Sonde 3 : - 1.5 cm  
Sonde 4 : 1.0 cm  
Sonde 5 : 3.5 cm  
Sonde 6 : 6.0 cm  
Drucksensor: 10.0 cm

Skizze der lokalen Anordnung



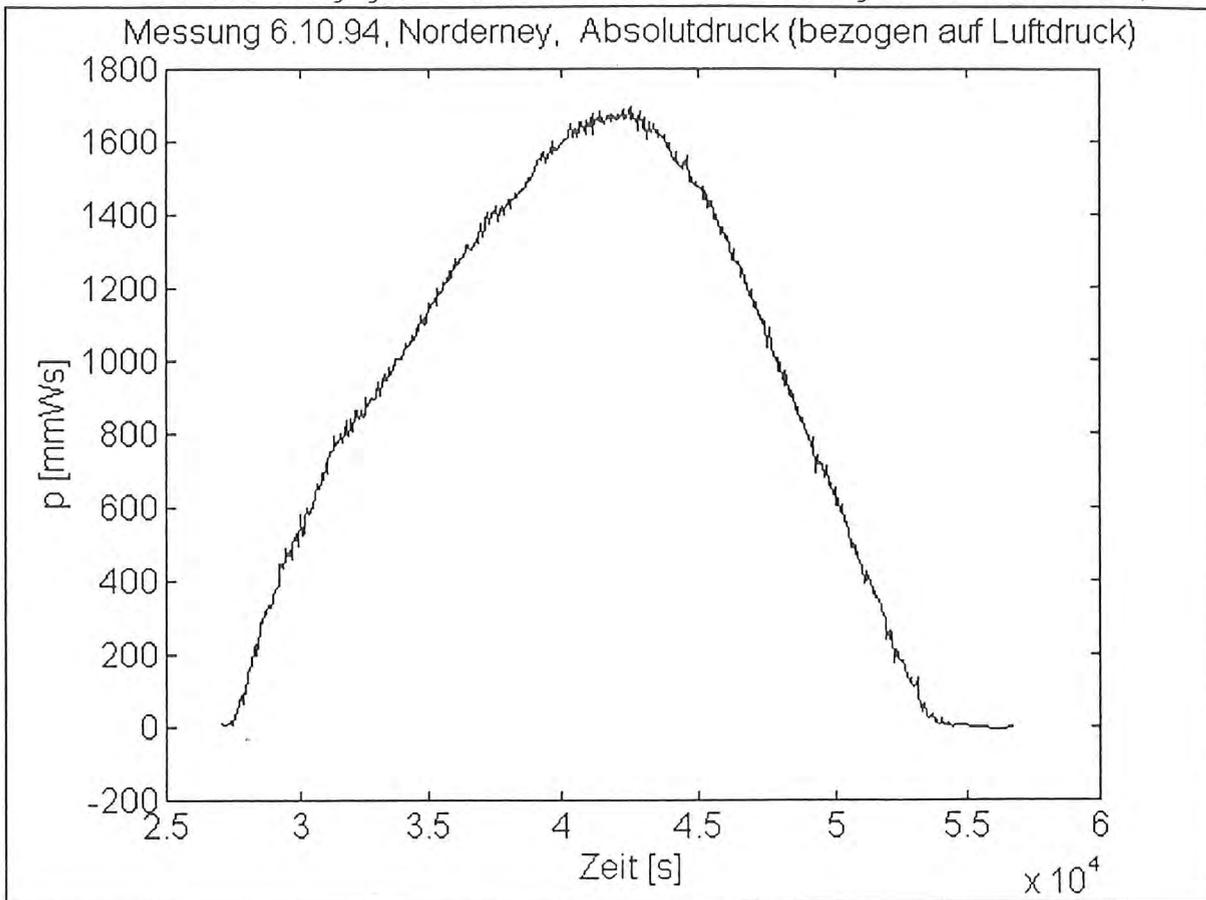
Strandneigung : 0.5°  
 Neigungsrichtung : strandnormal, zur See abfallend

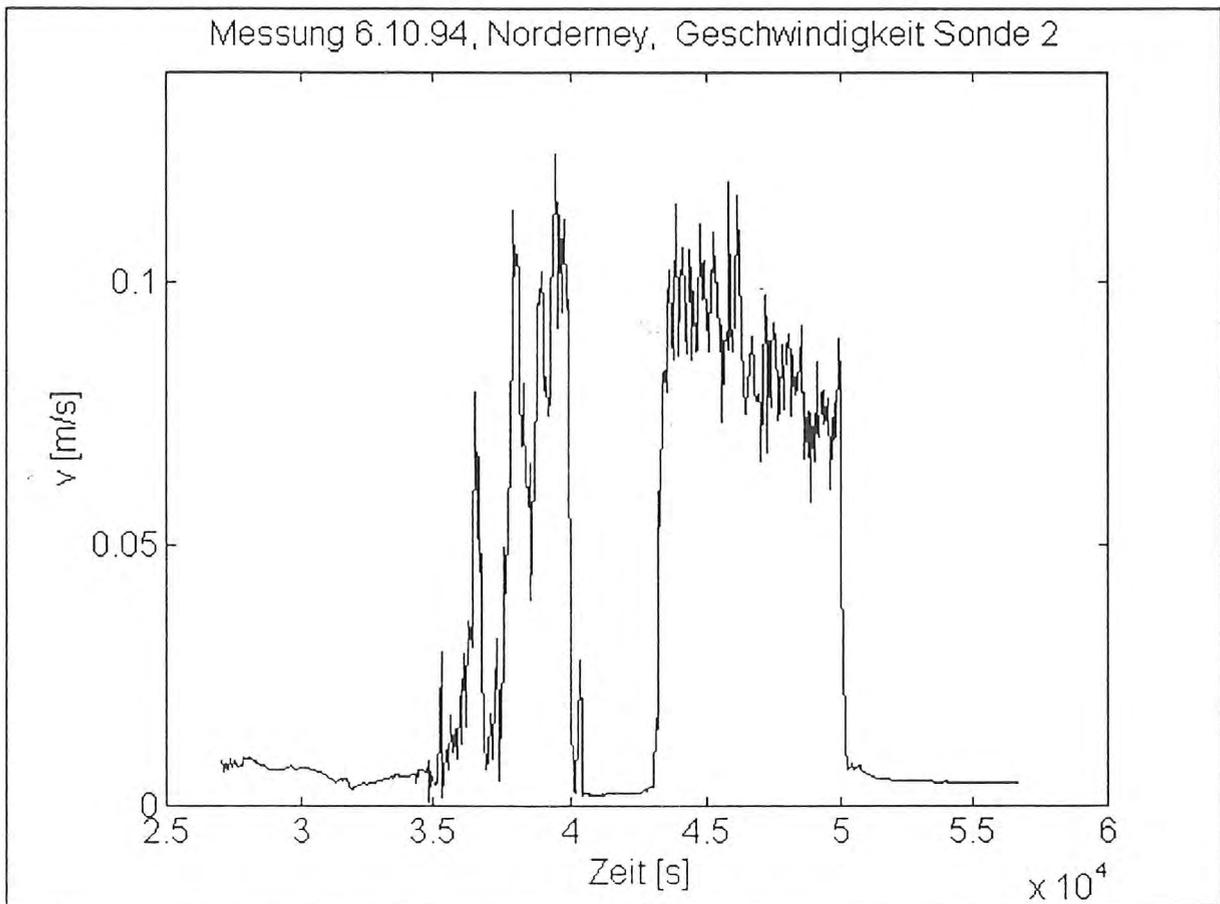
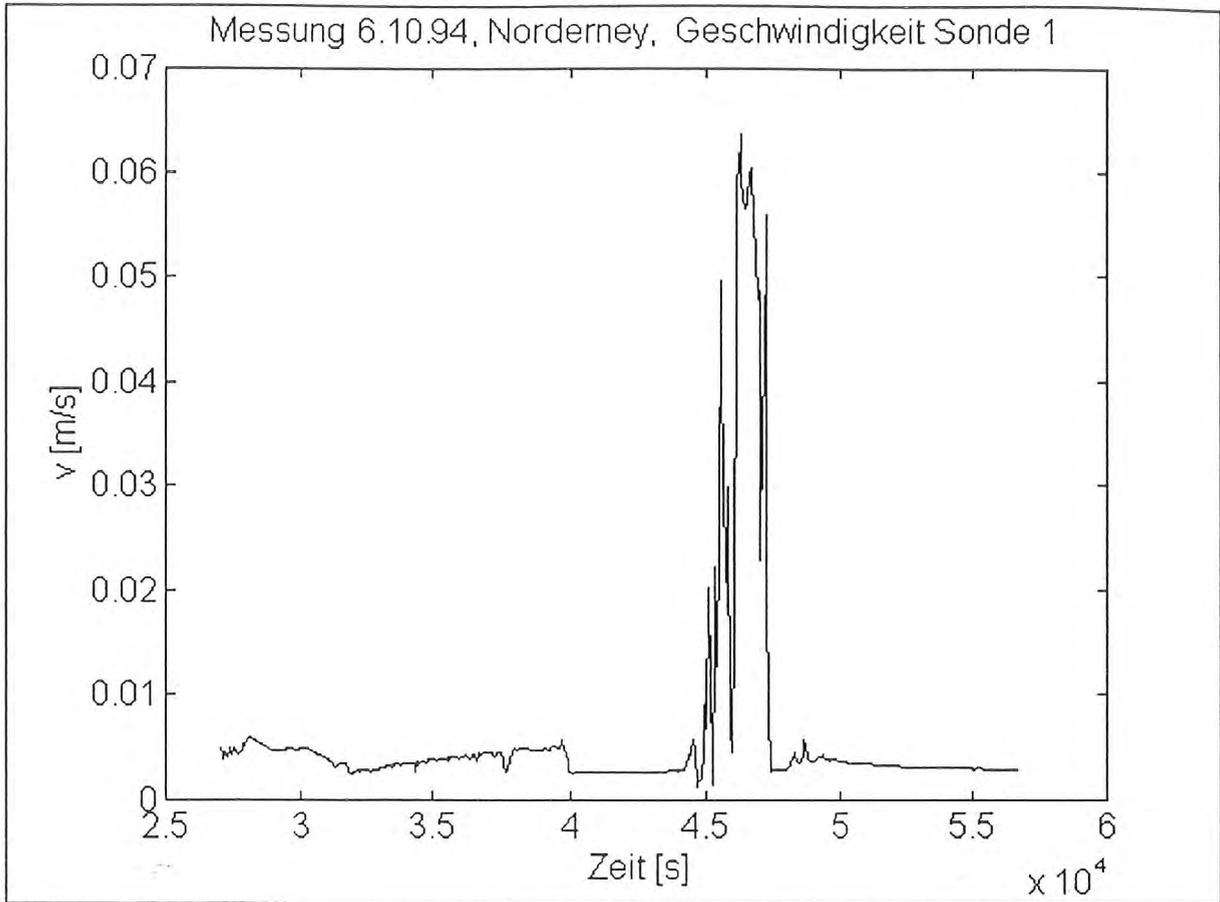
c) Daten

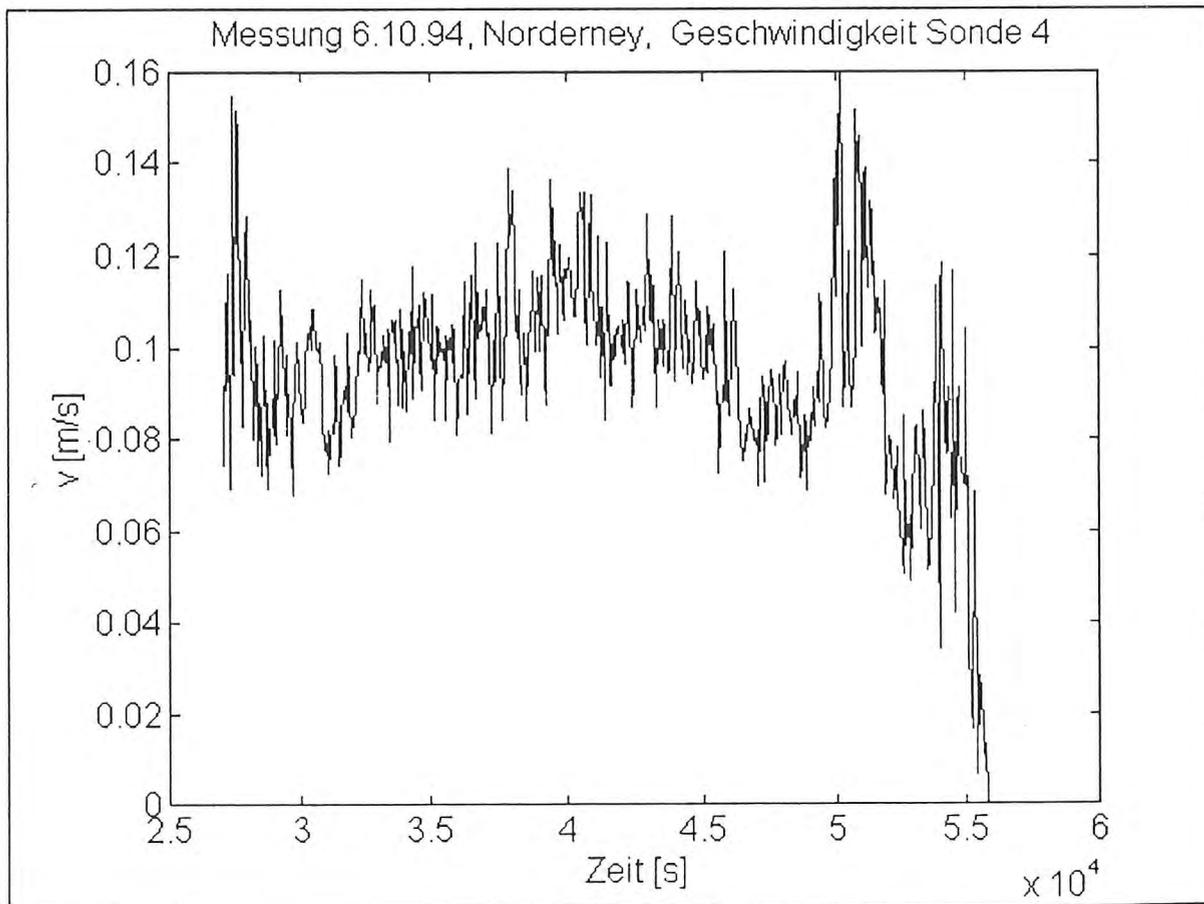
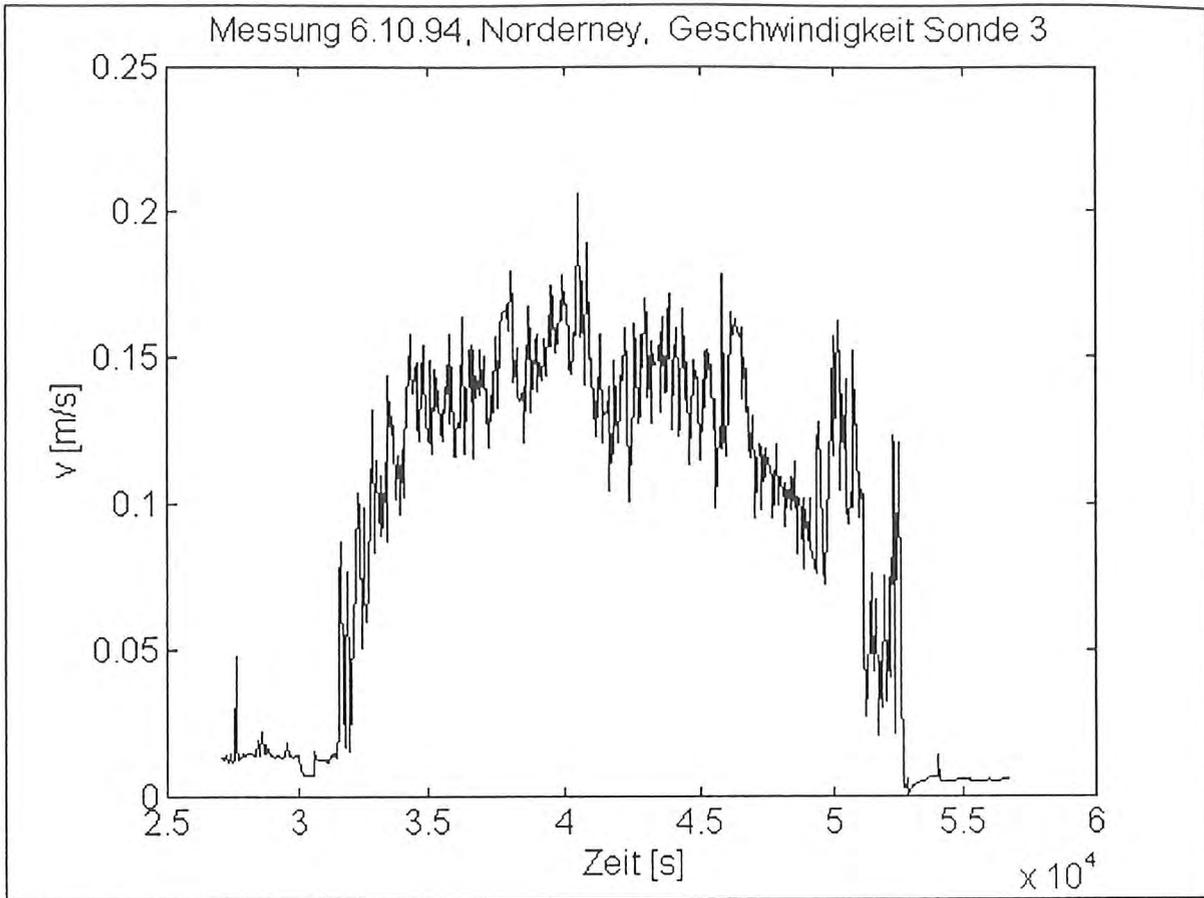
Datenfiles : VOT1001.MAT ... VOT1011.MAT  
 Datenformat : MATLAB-intern  
 Struktur : Tabelle  
 1. Spalte: Zeit [s]  
 2. Spalte: Absolutdruck [mm WS]  
 3. Spalte: Temperatur [°C]  
 4. Spalte: Geschwindigkeit S1 [ms-1]  
 5. Spalte: Geschwindigkeit S2 [ms-1]  
 6. Spalte: Geschwindigkeit S3 [ms-1]  
 7. Spalte: Geschwindigkeit S4 [ms-1]  
 8. Spalte: Geschwindigkeit S5 [ms-1]  
 9. Spalte: Geschwindigkeit S6 [ms-1]

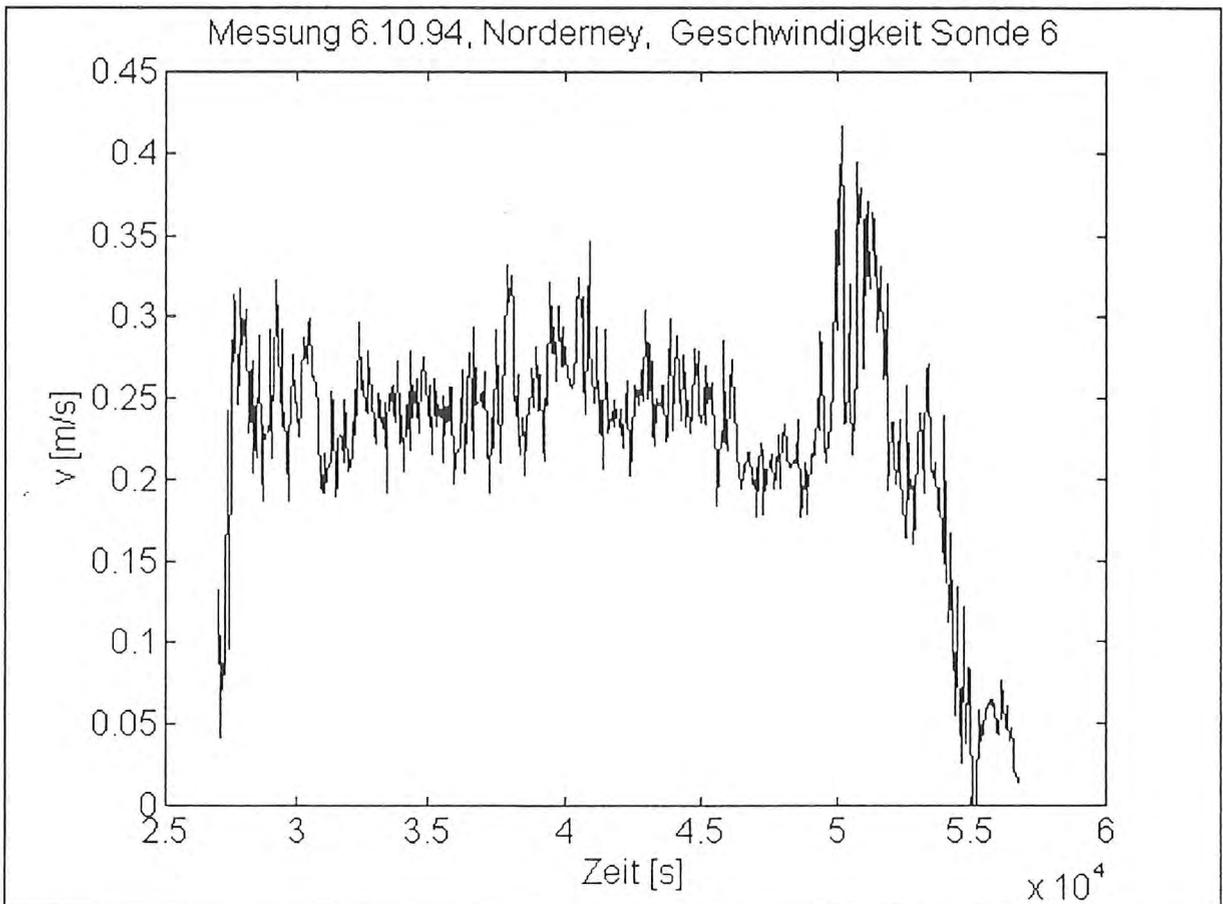
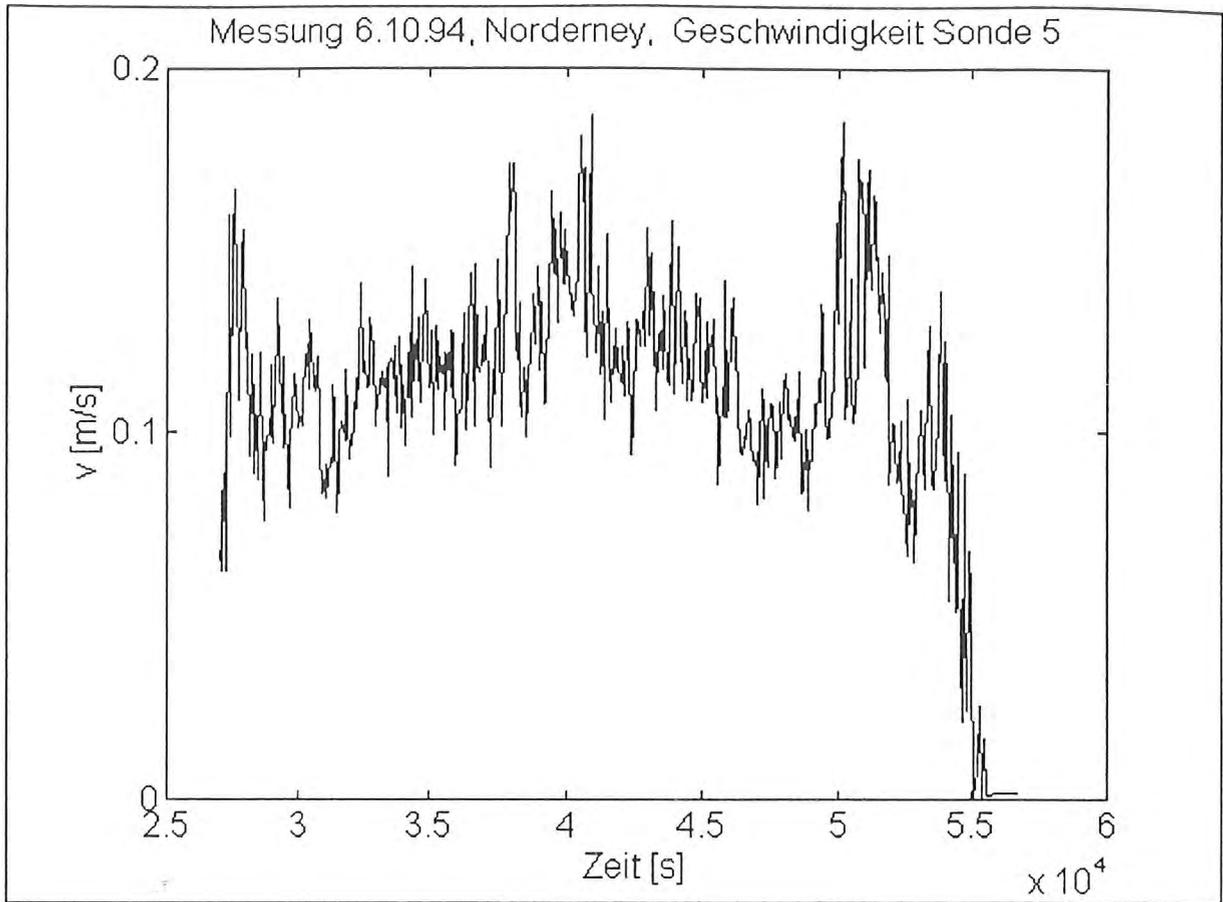
Darstellung gemittelter Werte (Mittelungsintervall: 60s)

Messung 6.10.94, Norderney, Absolutdruck (bezogen auf Luftdruck)









1. Quelltext NY202.TTB - Meßprogramm des Mikrocomputers

```
100 REM *****
110 REM *
120 REM *      NY.TAT V2.02 (c) 10.93      *
130 REM *      by J.Schirmacher          *
140 REM *      TUHH                      *
150 REM *
160 REM *      Sampleprogramm fuer Daten-  *
170 REM *      logger Tattletale, TTBASIC *
180 REM *
190 REM *****
200 REM
210 REM Wichtige Anmerkungen:
220 REM Die Kommunikation erfolgt über RS232
230 REM Das Messprogramm muß über das Menue
240 REM gestartet werden.
250 REM Gegenüber V1.00 wurde der Einschalt-
260 REM algorithmus der AD-Karte geändert
270 REM
280 REM
290 REM Variablenbedeutung:
300 REM L      Selektvariable
310 REM I,J,K  Laufvariable
320 REM N      Lokale Bed. in Testroutine
330 REM B      Endzeitpunkt eines Bursts
340 REM D      Identifikation
350 REM S      Anfangstrack, laufender Track
360 REM R      Zahl der Bursts/Messung
370 REM P      Schlafdauer vor Messung [min]
380 REM W      Schlafdauer, lokale Bedeutung
390 REM F      Samplefrequenz [Hz]
400 REM Q      Dauer/Burst [min]
410 REM V      Pause zwischen den Bursts [min]
420 REM X      Pointer in datafile
430 REM U      Zyklenzahl/Miniburst (aus F)
440 REM
450 REM Bedeutung der IO-Ports:
460 REM Port 1 - TSI Strom ON/OFF
470 REM Port 2 - SENSOREN Strom ON/OFF
480 REM Port 3 - AD-Wandler Strom ON/OFF
490 REM
500 REM **** Menuefuehrung ****
510 GOSUB 890 :REM TSI/SENSOREN/AD OFF
520 PRINT
530 PRINT "NY V2.02 (c) 10.93 by J.Schirmacher"
540 REM ++++ Kommandoschleife ++++
550 PRINT
560 PRINT "0  STOP"
570 PRINT "1 ! AD - RESET Algorithmus"
580 PRINT "2  Kanaele 1x lesen"
590 PRINT "3  Kanaele 10x lesen"
600 PRINT "4  TSI/SENSOREN/AD - OFF"
610 PRINT "5 ! Anfangstrack waehlen (",S,")"
620 PRINT "6 ! Uhrzeit setzen"
630 PRINT "7 ! MESSUNG"
640 PRINT "999 Total shut down"
650 PRINT
```

```

660 INPUT "Kommando eingeben!",L
670 IF L=0 STOP
680 IF L=1 GOSUB 920 :REM AD - RESET-Algorithmus
690 IF L=2 GOSUB 1020 :REM Kanäle 1x lesen
700 IF L=3 GOSUB 1060 :REM Kanäle 10x lesen
710 IF L=4 GOSUB 890 :REM AD/TSI/SENSOREN - OFF
720 IF L=5 GOSUB 1260 :REM Anfangstrack setzen
730 IF L=6 GOSUB 1330 :REM Uhrzeit setzen
740 IF L=7 GOSUB 1450 :REM Messprogramm Norderney
750 IF L=999 GOTO 810
760 IF L<8 GOTO 650
770 PRINT
780 PRINT "Wie bitte ?"
790 GOTO 550
800 REM **** Total Shut down ****
810 PRINT "Wirklich ganz herunterfahren (0 fuer Ja, 1 fuer Nein)?"
820 INPUT "(Es muß zur Wiederinbetriebnahme, dann der Strom am"
830 PRINT "Tattletale selbst unterbrochen werden!)"
840 INPUT S
850 IF S<>0 GOTO 550
860 GOSUB 890 :REM TSI/SENSOREN/AD - OFF
870 HALT
880 REM **** TSI/SENSOREN/AD - OFF ****
890 PCLR 1 :PCLR 2 :PCLR 3
900 RETURN
910 REM **** AD - RESET-Algorithmus ****
920 SLEEP 0 :REM Zeitreferenz zurücksetzen
930 GOSUB 890 :REM TSI/SENSOREN/AD - OFF
940 SLEEP 100 :REM 1 Sekunde warten
950 PSET 3 :REM AD - ON
960 SLEEP 100 :REM 1 Sekunden warten
970 PSET 2 :REM Sensoren - ON
980 SLEEP 100 :REM 1 Sekunden warten
990 PSET 1 :REM TSI - ON
995 SLEEP 200 :REM 2 Sekunden warten
1000 RETURN
1010 REM **** Alle Kanäle 1x lesen ****
1020 SLEEP 0
1030 N=1
1040 GOTO 1090
1050 REM **** Alle Kanäle 10x lesen ****
1060 SLEEP 0
1070 N=10
1080 REM **** Alle Kanäle Nx lesen ****
1090 PRINT " Temp. Druck",#6,2,#6,3,#6,4,#6,5,#6,6,#6,7
1100 FOR I=1 TO N
1110 PRINT
#6,CHAN(0),#6,CHAN(1),#6,CHAN(2),#6,CHAN(3),#6,CHAN(4),#6,CHAN(5),#6
,C
HAN(6),#6,CHAN(7)
1120 SLEEP 50
1130 NEXT I
1140 RETURN
1150 REM **** Tattletale über Zeitraum in Minuten einschläfern ****
1160 REM Der gewünschte Zeitraum in Minuten steht in W
1170 IF W=0 GOTO 1240
1180 REM Zunächst alle Stromfresser abschalten
1190 GOSUB 890 :REM TSI/SENSOREN/AD - OFF
1192 SLEEP 5500 :REM 1min-5s schlafen
1193 IF W=1 GOTO 1230
1200 FOR K=2 TO W

```

```

1210 SLEEP 6000
1220 NEXT K
1230 GOSUB 930 :REM AD - RESET-Algorithmus
1240 RETURN
1250 REM **** Anfangstrack ändern ****
1260 PRINT
1270 PRINT "Aktueller Wert:",S," Neuer Wert (0<S<93)?"
1280 INPUT S
1290 IF S<1 GOTO 1260
1300 IF S>92 GOTO 1260
1310 RETURN
1320 REM **** Zeitvariable ? nach Uhrzeit setzen ****
1330 PRINT
1340 INPUT "Uhrzeit, Stunde",W
1350 ?=W*360000
1360 INPUT "Uhrzeit, Minute",W
1370 ?=?+W*6000
1380 INPUT "Uhrzeit, Sekunde",W
1390 ?=?+W*100
1400 PRINT ?
1410 RETURN
1420 REM -----
1430 REM **** Hauptmessprogramm fuer Norderney ****
1440 REM -----
1450 INPUT "ID der Messung (Zahl bis 9 Stellen)",D
1460 INPUT "Schlafdauer bis Messbeginn [min]",P
1470 INPUT "Samplefrequenz [Hz]",F
1480 PRINT "Dauer/Burst [min]"
1490 PRINT "(max.",(229376-52)/16/60/F," min)"
1500 INPUT Q
1510 IF Q>(229376-52)/16/60/F GOTO 1490
1520 PRINT "Zahl der Bursts (max.",93-S,")"
1530 INPUT R
1540 IF R>93-S GOTO 1520
1550 PRINT "(",52+Q*60*16*F," Bytes/Burst)"
1560 IF R=0 RETURN
1570 INPUT "Pause zwischen den Bursts [min]",V
1580 PRINT
1590 PRINT "Nun schauen wir, ob der AD-Wandler noch läuft:"
1600 GOSUB 1020 :REM Alle Kanäle 1x lesen
1610 INPUT "1 fuer START, 0 fuer Abbruch",L
1620 IF L=0 RETURN
1630 SLEEP 0 :REM Zeitreferenzpunkt
1640 PRINT
1650 PRINT "Die Bombe ist scharf!"
1660 XMIT-
1670 W=P :GOSUB 1170 :REM Tattletale P Minuten einschläfern
1680 REM ++++ eigentliche Messung ++++
1690 REM Speicherkapazitäten: datafile 229376 Bytes, disk 21331968
Bytes
1700 REM Adressen/Spuren: 0..229375 , 0..92
1710 REM
1720 U=100/F :REM Frequenz in Zyklenzahl umrechnen
1730 T=S+R-1 :REM höchster Track
1740 REM ++++ äußere (Platten-) Schleife ++++
1750 X=0 :REM Pointer auf datafile-Anfang
1760 REM ++++ Header schreiben ++++
1770 STORE X,"NYSAMPLE";
1780 STORE X,#2,48,#4,-1
1790 STORE X,#4,D,#2,S+R-T-1,#2,P,#2,F,#2,Q,#2,R,#2,V,#4,?
1800 STORE X,"V202xxSAMSTART";

```

```

1810 B=?+6000*Q :REM Uhrzeit, zu der Ende sein muß
1820 REM
1830 REM ++++ innere (RAM-) Schleife ++++
1832 I=1 :E=F*60*Q
1840 IF I>E GOTO 1960
1845 IF ?>=B GOTO 1960
1850 IF X>229355 GOTO 1960
1860 BURST X,8,2 :REM Alle 8 Kanäle 16 Bit in datafile schreiben
1862 I=I+1
1870 SLEEP U      :REM Die Sampleperiode lang schlafen
1880 IF CHAN(1)=65520 GOTO 1910
1890 IF CHAN(1)>511 GOTO 1840
1900 REM AD-Wandler hängt => RESET-Algorithmus
1910 GOSUB 930 :REM AD - RESET-Algorithmus
1920 IF X>229360 GOTO 1960
1930 STORE X,"AD-CRASH";
1940 STORE X,#4,?
1950 GOTO 1840
1960 STORE X,"ENDE";
1970 W=10 :STORE W,#4,X :REM Länge Gesamt
1980 REM ++++ Datafile voll, auf Platte speichern ++++
1990 DFSAVE S,E :REM In Spur S schreiben, E ist Fehlercode
2000 SLEEP 1200 :REM Genau 12s für Schreiben eingeräumt
2010 S=S+1
2020 IF S>T GOTO 2080
2030 W=V :GOSUB 1170 :REM Pause zwischen den Bursts
2040 GOTO 1750
2050 REM
2060 REM ++++ Messprogramm Ende ++++
2070 REM      Shut down !
2080 XMIT+
2090 PRINT "Ende Messung"
2100 GOSUB 890 :REM TSI/SENSOREN/AD - OFF
2105 PRINT "Warte auf ^C..."
2110 SLEEP 6000 :GOTO 2105
2120 RETURN

```

## 2. Text des SHUTUP-Hilfesystems

### 1. Überblick

Das Programm dient als Bedienoberfläche für den ONSET-Tattletale mit TT BASIC-ROM. Es schließt Funktionen der Tattletools ein, eignet sich jedoch besser zur Programmentwicklung von TT BASIC-Programmen. Die wichtigsten Merkmale:

- Windows-Bedienoberfläche;
- Integrierter Programmeditor;
- Datentransfer für Programme, Datafile und Laufwerke;
- Terminalfenster;
- Online sample utility (Online-Monitor);
- Parallelverarbeitungseigenschaften;
- fast alle Programmparameter sind variabel;
- fast alle Einstellungen werden gespeichert;

## 2. Bestandteile von SHUTUP

Das Programm besteht aus vier Fenstern, die parallel bestehen können:

1. ShutUp-Hauptfenster: Hauptfenster mit den wichtigsten Funktionen;
2. Programmeditor : ein integriertes Editorfenster;
3. Terminalfenster : Fenster mit Terminalfunktion (ähnlich wie Tattletools);
4. Online-Monitor : Fenster zur Überwachung des Online-Samplings;

Die ersten drei Fenster bilden eine Gruppe, innerhalb derer mit der Tastatur umgeschaltet werden kann. Der Online-Monitor ist mit der Tastatur nur vom Hauptfenster aus erreichbar. Der Programmeditor und das Terminalfenster lassen sich verbergen. Sie bleiben dann mit ihren Daten erhalten, sind bloß nicht sichtbar.

siehe auch Bedienungshinweise

## 3. Bedienungshinweise

Die Fenster können durch anklicken den Fokus bekommen oder mit Hilfe der **FENSTER**-Menüs. Der Online-Monitor ist nur aus dem **FENSTER**-Menü des Hauptfensters erreichbar. Außerdem bietet die Symbolleiste Möglichkeiten durch Klicken und ziehen der Symbole den Datenverkehr zu kontrollieren.

Zwischen den Fenstern Hauptfenster, Programmeditor und Terminalfenster kann mit den Funktionstasten F2 - F4 umgeschaltet werden. Die Zuordnung ist:

- F2 - Hauptfenster
- F3 - Programmeditor
- F4 - Terminalfenster

Zum Online-Monitor kann man nur mit F5 vom Hauptfenster gelangen. Vom Online-Monitor kommt man mit dem Button *ShutUp* wieder zurück.

### 3.1. Das ShutUp Hauptfenster

Es befindet sich meist an der Bildschirmoberkante und besteht aus Menüleiste und Symbolleiste. Letztere ermöglicht ein schnelles und bequemes Arbeiten mit ShutUp. Insbesondere der Datenverkehr ist unterstützt (zB. Programm in Tattletale laden, datafile auslesen). Beide Leisten sind Bedienoberflächen, die jedoch nicht gleichwertig sind. Die Menüleiste umschließt alle wichtigen Funktionen der Symbolleiste und enthält grundlegende Schnittstellen -Befehle.

Die Menüs im einzelnen:

#### KOMMUNIKATION

##### **RS232 ÖFFNEN/SCHLIESSEN**

Die serielle Schnittstelle wird mit den aktuellen Parametern geöffnet. Diese können im **EINSTELLUNGEN**-Dialogfenster eingestellt werden

##### **BAUDRATE ÄNDERN**

Die Baudrate wird zunächst im Tattletale und dann im PC geändert

#### **BUFFER LÖSCHEN**

Input- und Outputbuffer werden gelöscht

#### **GRONF**

Versucht COM1 bis COM4 zu schließen. Das funktioniert wohl, ist aber nicht in der API-Dokumentation beschrieben. Falls das Programm abstürzt oder unvorhergesehen endet, wird die geöffnete Schnittstelle nicht mehr geschlossen. Dann kann GRONF hilfreich sein.

### **PROGRAMM**

#### **ÜBERTRAGEN**

Bewirkt, daß eine Datei geöffnet und zum Tattletale geschickt wird. Der Programmierer ist unberührt davon.

#### **ÜBERTRAGEN+STARTEN**

Wie ÜBERTRAGEN, wobei der RUN-Befehl anschließend geschickt wird.

#### **LADEN**

Ein TT BASIC-Programm wird in der Programmierer geladen und kann dort editiert werden.

**SENDEN** Das im Programmierer dargestellte TT BASIC-Programm wird zum Tattletale gesendet.

#### **STARTEN**

Ein RUN-Befehl wird gesendet.

#### **UNTERBRECHEN**

<Ctrl-C> senden.

### **DATAFILE**

#### **EMPFANGEN**

Das Datafile wird aus dem Tattletale gelesen und in eine Datei geschrieben: Während der Datenübertragung kann im Programmierer weitergearbeitet werden. Das X-Modem-Protokoll ist im Tattletale-Handbuch beschrieben. Es dient der sicheren Übertragung der Daten auch bei ungünstigen Bedingungen. Tatsächlich kann durch EMV-Einflüsse die Datenübertragung gestört werden. Durch das X-Modem-protokoll wird die Datensicherheit gewährleistet.

### **UTILITIES**

#### **ECHTZEIT SETZEN**

Die Systemzeit des PC wird an den Tattletale übertragen, indem ein Wert der ?-Variablen zugewiesen wird. Das Datum des Tattletale wird nicht berührt.

### **EINSTELLUNGEN**

Das EINSTELLUNGEN-Dialogfenster bietet verschiedene Themen neben den Optionsknöpfen. Eines davon kann zur Zeit bearbeitet werden. Die Themen im Einzelnen:

## RS-232

Der Port kann geändert werden. Diese Änderung wird erst nach **KOMMUNIKATION RS232 ÖFFNEN**, **BAUDRATE ÄNDERN**, oder Neustart des Programmes wirksam.

## ON-LINE SAMPLEN

Hier wird der Ablauf des Online-Sampelns eingestellt: Die Samplefrequenz wird in Hz dem Tattletale mitgeteilt, indem seine TT BASIC-Variable F gesetzt wird. Der Schalter **IN DATEI SAMPELN** legt fest, ob die Daten außer auf dem Bildschirm auch in einer Datei landen sollen. Soll nicht in eine Datei gesampelt werden, wird der Header nicht berücksichtigt. Der Dateiname wird beim Auslösen des Onlinesampelns abgefragt. Die Option **HEADER ABFRAGEN** bewirkt, daß vor dem Starten des Onlinesampelns das **EINSTELLUNGEN**-Dialogfeld aufgerufen wird. Dies sollte normalerweise der Fall sein.

Die Option **DIESEN HIER VERWENDEN** bewirkt, daß der abgebildete Header ohne Rückfrage verwendet wird. Die abgefragten Headerkomponenten sind: Die Samplefrequenz, die ID (eine beliebige 9-stellige Longinteger-Zahl) sowie 3 beliebige Kommentare von jeweils max. 12 Zeichen Länge. Sie sind für Daten wie Temperatur und Durchfluß bestimmt. Die genaue Struktur des erzeugten Headers ist in der Datei **BLOL410.WRI** beschrieben.

## ON-LINE MONITOR

Hier wird das Erscheinungsbild des Monitorfensters festgelegt. Der Schalter **HISTORY** bewirkt die Darstellung der letzten 30s im oberen Teil des Monitorfensters. Die Optionen **VOLLBILD/FENSTER** legen fest, wie das Monitorfenster beim Start aussieht. Diese Option wird nicht durch Benutzung der **MAX/MIN**-Buttons des Fenster geändert.

## DATAFILE TRANSFER

Diese Einstellungen legen fest, welcher Teil des Datafiles übertragen wird sowie bestimmte Parameter des XMODEM-Protokolls. Die Option **AUTOMATISCH** bewirkt, daß vor der Übertragung, die Größe des signifikanten Bereichs aus dem Header des Datafiles entnommen wird. Dies ist nur möglich, wenn eines der Programme im Tattletale verwendet wird, die den in **HEADER.WRI** Konventionen entsprechen.

## CHECKSUMME

ermöglicht die Überprüfung der im XMODEM -Protokoll mitgelieferten Checksumme. Bei Abweichung wird der entsprechende Datenblock wiederholt gesendet. Das **TIMEOUT** bestimmt, wie lange beim Handshake gezögert werden kann. Es sollte mindestens 500 ms betragen.

## PLATTENZUGRIFF

Der Zugriff auf die Tattletalefestplatte kann Lesen oder Schreiben sein. Dies wird durch Senden eines **DFREAD** bzw. **DFS SAVE**-Befehls realisiert. Nach dem Zugriffsbefehl wird die Fehlervariable des Befehls nach ShutUp geladen und ggf. ausgegeben, sofern das timeout nicht schon vorher erreicht wurde. Normalerweise dauert ein erfolgreicher Zugriff etwa 10s, sodaß ein Timeout von 12000 ms angemessen ist. Beim Zugriff wird immer das datafile als Puffer verwendet, unabhängig, ob die Daten sofort per XMODEM übertragen werden oder nicht. Das Lesen der Platte bedeutet also immer ein Überschreiben des datafiles.

## OPTIONEN

### **ÜBERSCHREIBEN RÜCKFRAGEN**

ermöglicht die Sicherheitsabfrage beim Überschreiben von Dateien.

### **DATENVERLUST RÜCKFRAGEN**

ermöglicht die Sicherheitsabfrage vor dem Löschen von in ShutUp enthaltenen Daten. Dies kann ein aktuelles, geändertes Programm im Programmeditor sein.

### **INI-DATEN SPEICHERN**

Die INI-Daten werden gespeichert. Beim Verlassen des Programmes werden sie dann nicht mehr gespeichert.

### **BEIM VERLASSEN SPEICHERN**

INI-Daten beim Verlassen speichern (kann temporär oder dauerhaft unterdrückt werden).

## FENSTER

### **PROGRAMMEDITOR**

Das Editierfenster wird sichtbar gemacht.

### **TERMINALFENSTER**

Das Terminalfenster wird sichtbar gemacht.

### **ONLINE MONITOR**

Der Online-Monitor wird angezeigt. Das Sampeln wird mit dem STARTbutton gestartet.

## SYMBOLLEISTE

Viele Programmfunktionen lassen sich durch Klicken und Ziehen der Symbole in dieser Leiste realisieren. Einige sind sogar nur durch sie erreichbar. Für reine Tastaturbenutzung ist sie unbrauchbar und kann deaktiviert werden. Die Möglichkeiten der Symbolleiste sind weitgehend intuitiv erfahrbar.

### **ANORDEN**

Die sichtbaren Fenster werden neu angeordnet

### **HILFE**

Unter anderem wird dieses Hilfesystem aktiviert. Der Punkt INTERNA lädt eine Hilfsdatei mit WRITE.

## Die Symbolleiste

Viele wichtige Funktionen des Datenverkehrs zwischen den beteiligten Komponenten (Programmeditor, Tattletale mit datafile und Festplatte sowie den Massenspeichern des PC) lassen sich durch Ziehen oder Klicken der entsprechenden Symbole bewerkstelligen. So kann der Datenverkehr gesteuert werden.

Auf der linken Seite befindet sich der PC mit seinen Komponenten und dem Programm ShutUp. Auf der rechten Seite befinden sich die Komponenten des Tattletale mit Zentraleinheit, datafile und Festplatte. Dazwischen steht eine Ampel, die den Zustand der seriellen Schnittstelle angibt: Ist sie ausgeschaltet, ist die Schnittstelle nicht geöffnet. Bei grün ist Datenverkehr möglich, bei rot läuft bereits Datenverkehr, bei gelb wurde ein Programm gestartet. Bei gelb weiß das Programm nicht, was der Tattletale tut. Alle Befehle können dann gegeben werden, man muß jedoch wissen, was man tut. Will man die Ampel grün haben, muß man den Knopf drücken. Damit kann man auch die rote Ampel zwingen grün zu werden. Dies ist jedoch gefährlich, wenn gerade Datenverkehr (zB.Online-Sample) stattfindet!

Es sind die folgenden Handlungen möglich:

### Programmablaufsymbol

*Klicken*

Der Programmeditor wird ein/ausgeschaltet

*Ziehen*

In die Mülltonne	: Programm löschen
Aufs Laufwerkssymbol	: Programm speichern
Auf den Monitor	: Sichtbar machen
Auf die Tattletalezentraleinheit:	Programm zum Tattletale schicken

### Terminalfenstersymbol

*Klicken*

Terminalfenster wird Ein-/Ausgeschaltet

*Ziehen*

Auf den Monitor: Es wird sichtbar gemacht

### Einstellungensymbol

*Klicken*

Das Dialogfenster **EINSTELLUNGEN** wird aufgerufen

### Laufwerkssymbol

*Klicken*

Der Dateimanager wird aufgerufen

*Ziehen*

Auf die Tattletalezentraleinheit: TT BASIC-Programm wird in den Tattletale geladen

Auf das Programmablaufsymbol oder den Programmeditor : TT BASIC-Programm wird in den Programmeditor geladen

## Uhrsymbol

### *Klicken*

Die momentane Uhrzeit wird ausgegeben

### *Ziehen*

Auf den Monitor : Die Windowsclock wird gestartet

Auf die Zentraleinheit  
des Tattletale : die ?-Variable wird gesetzt

## Tastatursymbol

### *Ziehen*

Auf das Programmablaufsymboll : Programmeditor wird  
sichtbar

Auf das Terminalfenstersymbol: Terminalfenster wird  
sichtbar

## Zentraleinheitsymbol

### *Ziehen*

Auf die Mülltonne: Befehl NEW wird gesendet

## datafilesymbol

### *Ziehen*

Auf das Laufwerkssymbol: datafile wird nach XMODEM-Proto-  
koll in eine DOS-Datei geladen.  
Bei den **EINSTELLUNGEN**, wird  
vorher angegeben, welcher  
Bereich geladen wird.

Auf das Festplattensymbol  
des Tattletale

: das datafile wird komplett auf  
eine Festplattenspur übertragen.  
Welche das ist, wird entweder  
abgefragt oder erfolgt direkt  
mit den Einstellungen der Themen  
**DATAFILE TRANSFER** und **PLATTENZU-  
GRIFF** in **EINSTELLUNGEN**.

## Festplattensymbol

### *Ziehen*

Auf das datafilesymbol : eine Plattenspur wird ins  
datafile übertragen. Siehe  
**EINSTELLUNGEN PLATTENZUGRIFF**

Auf das Laufwerkssymbol: Der Track wird zunächst ins  
datafile übertragen und dann per  
XMODEM in eine DOS-Datei  
übertragen.

### **RUN-Symbol**

Ein RUN-Befehl wird an den Tattletale geschickt. Da ShutUp nicht weiß, wann das Tattletaleprogramm beendet wird, zeigt die Ampel gelb. Durch Klicken auf den Ampelknopf kann sie auf grün geschaltet werden. Bei gelb sind andere Operationen NICHT blockiert.

### **STOP-Symbol**

<CTRL-C>+<CR> werden an den Tattletale geschickt. Dies bewirkt einen Abbruch des laufenden Programmes. Die Datenübertragung mit XMODEM kann so nicht unterbrochen werden. Auch erhält man keine Antwort des Tattletale, wenn dieser zuvor den XMIT- Befehl erhielt.

### **Programmeditor**

Dies ist ein einfacher Texteditor, der um Funktionen speziell für nummerierte BASIC-Programme erweitert wurde. Neben den üblichen Funktionen DATEI ÖFFNEN und DATEI SPEICHERN UNTER sowie den Zwischenablage-Befehlen, ist unter OPTIONEN neben Funktionen für die Schriftgröße eine Funktion zum Neunumerieren der TBASIC-Programme verfügbar.

Die Datei sollte nicht mehr als 30000 Bytes Umfang haben (ca. 10 A4-Seiten). Das macht in sofern nichts aus, als daß der Tattletale ohnehin nur Programme bis 16kB fassen kann. Um umfangreiche Programme zu kürzen, kann beim Neunumerieren REM-Zeilen entfernen lassen. Solche Programme sollten die Erweiterung .ttr erhalten.

Es ist zur Zeit maximal ein Programm in Shutup enthalten. Der Aufenthaltsort des Programmes ist der Programmeditor. Beim Betätigen des Menues SCHLIESSEN des Systemmenues (bzw. Doppelklicken auf dasselbe), wird das Fenster nicht aus dem Arbeitsspeicher geräumt, das Programm bleibt also erhalten. Bestimmte andere Programmfunktionen von ShutUp, die Programme an den Tattletale schicken, berühren das im Editor enthaltene Programm nicht.

Besondere Editierfunktionen:

<UMSCHALT>	<PFEILTASTE>	Text Markieren
<Strg-P>		Programm an Tattletale senden und starten
<TAB>		Es werden sovielle Leerzeichen eingefügt bis ein ganzzahliges Vielfaches der Position von 4 erreicht ist

### **Terminalfenster**

Das Terminalfenster hat eine ähnliche Funktion wie die Tattletools unter DOS. Mit ihm kommuniziert man direkt mit dem Betriebssystem des Tatteltales. Ein wichtiger Unterschied besteht darin, daß die in der unteren separaten Zeile editierten Zeichen erst nach <EINGABE> an den Tattletale geschickt werden.

Das Fenster merkt sich die letzten 12 Befehle. Diese und vier weitere, spezielle Befehle, sind in dem Drop-Down-Kombinationsfeld verfügbar. Die drei Befehle sind:

<CR>	Um bequem mit der Maus eine "OK" des Tattletale antesten zu können. Das Klicken ins Terminalfenster bei leerer Editierzeile hat die gleiche Wirkung
RUN	Zum Starten eines Tattletaleprogrammes
<Ctrl-C> <CR>	Zum Abbrechen eines laufenden Programmes
<CAN> <CR>	Abbruch der Datenübertragung nach X-Modem-Protokoll

Um Befehle, die im Listenfeld stehen, mit der Maus zu geben, kann man das Feld öffnen, indem man den Pfeil anklickt, dann den gewünschten Befehl anklickt und dann ins Terminalfenster klickt. Über die Tastatur erreicht man die Befehle des Listenfeldes mit <AUF> und <AB> oder mit <ALT-AB>.

Das Terminalfenster hat aus Gründen der Ausgabegeschwindigkeit nicht die Autoredraw-Eigenschaft.

Immer beim Starten von ShutUp wird eine Endlosschleife gestartet, die *receive loop*, die über die Schnittstelle empfangene Zeichen im Terminalfenster ausgibt. Zeigt die Ampel rot, ist diese Schleife eingeschränkt, d.h. sie läuft zwar noch, behandelt aber keine Ein- und Ausgabe. Wird das Steuerzeichen CR (Code 13) empfangen, wird die Ausgabeposition auf den Fensteranfang gesetzt. Bei LF (Code 10) wird ein Zeilenvorschub erzeugt. Normalerweise werden diese Zeichen am Ende einer Zeile zusammengesendet. Das sollte berücksichtigt werden, wenn selbstgeschriebene Tattletaleprogramme Zeichenketten an den PC schicken. Die Ausgabegeschwindigkeit des Terminalfensters ist nicht beliebig hoch. Sie wird insbesondere durch Einschalten der Autoredraw-Eigenschaft und die Vergrößerung des Fensters verlangsamt. Der Windows-Empfangsringpuffer der seriellen Schnittstelle wird von ShutUp mit 16kB eingerichtet. Das Füll-Ende kann beliebig schnell vom Tattletale bedient werden, während das Entnahme-Ende vom Terminalfenster bedient wird. Der Ausgabepuffer ist 32kB groß.

### Der Online-Monitor

Er dient der Überwachung des Online-Samplings. Sein äußeres Erscheinungsbild ist in **EINSTELLUNGEN ONLINE MONITOR** bestimmbar. Eine Bildfeldbreite entspricht 30 s. **HISTORY** bedeutet lediglich, daß die letzten 30 s im oberen Fenster sichtbar sind. Die Einstellung **VOLLBILD** oder **FENSTER** wird nicht geändert über die Max und Min-Buttons des Fensters selbst, bzw. dessen Systemmenue.

Der Button **START** bewirkt, daß ein kurzes Sampleprogramm zum Tattletale geschickt und gestartet wird. Das Programm heißt **SAMPLE.TTB** und befindet sich im Installationsverzeichnis von ShutUp, wo es bei der Installation hinkopiert wurde. Dieses Programm schickt nun ständig 31 Byte-Blöcke der Struktur:

```
NNNNN 000 111 222 333 444 555 666 777 CR LF
```

**NNNNN** ist die Blocknummer, dezimal dargestellt, ist sie bei 14335 angelangt, beginnt sie wieder bei 0. Das kleine Sampleprogramm schickt nämlich die Messwerte nicht nur in die serielle Schnittstelle, sondern es schreibt sie auch in das datafile wie in einen Ringpuffer. Dieser ist nach 14336 Datensätzen voll und wird wieder von vorn beschrieben. Die nachfolgenden Gruppen aus je drei Byte repräsentieren die 12-Bit-Werte des AD-Wandlers, hexadezimal dargestellt. Die Blocknummer wird von ShutUp kontrolliert. Stimmt sie nicht, wird die Meldung "Übertragungsfehler" ausgegeben und die Datei geschlossen. Der Tattletale sampelt derweil jedoch weiter in sein datafile. Das anschließende Auslesen dieser Daten kann mit Shutup geschehen. Die Daten werden jedoch dann keinen Header haben, da der Tattletale beim Online sampeln den Header nicht erzeugt, sondern der PC. Dieser Header ist in der Maskendatei **V410.HDR** und in **BLOL410.WRI** beschrieben.

Das Sampeln wird regulär mit **STOP** beendet. Dann wird auch der **ENDE**-Button ermöglicht. Auch während des Sampelns kann das Monitorfenster zum Vollbild oder Icon geändert werden.

Im Rahmen **ABLAUFKONTROLLE** ist ein kleines Kästchen abgebildet, das den Zustand des Empfangspuffers der seriellen Schnittstelle darstellt. Ein

roter Strich markiert den Füllgrad des 16kB großen Puffers. Entfernt sich der Strich vom linken Rand des Kästchens, laufen Daten auf und die Graphik zeigt nicht mehr die aktuellen Signale. Dies kann geschehen wenn:

- ein anderer Prozeß unter Windows die Rechenleistung blockiert oder sie gar exklusiv beansprucht
- eine modale Form (z.B. das **EINSTELLUNGEN**-Dialogfenster) oder ein Menue des Programmes Shutup geöffnet wurde
- der Graphikaufbau des VisualBasic-Programmes ShutUp zu langsam wird
- ein langsamer Datenträger zur Aufnahme der Daten verwendet wird.

Abhilfe kann schaffen:

- Abstellen der Ursache der Rechenblockade
- Vermindern des Aufwandes der graphischen Darstellung (Verkleinern des Bildfensters, am besten zur Ikonengröße)

Die Darstellung der Signale ist unabhängig von der Speicherung. Auch wenn kein Signal dargestellt ist, werden alle gesampelt und ggf. in einer Datei abgelegt.

Vor dem ersten Online sampeln sollte man mit **EINSTELLUNGEN** sich die Themen **ONLINE SAMPLE** und **ONLINE MONITOR** genau anschauen. Insbesondere sollten der Schalter **IN DATEI SAMPELN** und die Option **HEADER ABFRAGEN** aktiviert sein. Dann bekommt man nämlich nach dem Betätigen des **START**-Buttons stets die Dialogfenster **DATEI SPEICHER UNTER** und **EINSTELLUNGEN** mit dem letzten Thema präsentiert.

Siehe auch Verfahren

#### 4. Verfahren

##### Online-sampeln

Annahme: die Daten sollen in einer Datei gespeichert werden. Die Bedienung erfolgt über die Tastatur.

1. Starten von ShutUp
2. Die Schnittstelle wird automatisch geöffnet. Sollte dies schiefgehen:  
**EINSTELLUNGEN RS-232** - anderen Port wählen, **KOMMUNIKATION RS-232 ÖFFNEN**
3. Sofern das Terminalfenster nicht sichtbar ist, F4 drücken
4. Durch Klicken ins Terminalfenster, oder durch Unterbrechen der Tattletalestromzufuhr (bzw. Einschalten) feststellen, ob Kommunikation mit Tattletale funktioniert
5. **EINSTELLUNGEN** Thema **ONLINE SAMPELN** wählen. Sinnvolle Einstellungen: 200 ms, kein Zeitlimit, in Datei speichern, Header abfragen
6. **TTBASIC**-Programm in den Tattletale laden, das Programm muß die **TSI-Platinen** einschalen, oder sie werden im Terminalfenster manuell mit

**PSET 1 :PSET 2 :PSET 3**

eingeschaltet. Dazu kann man mit **KOMMUNIKATION PROGRAMM ÜBERTRAGEN+STARTEN** ein Programm mit dem Einschaltalgorithmus (**TSION.TTB**)

im Tattletale starten. Einfach ist es auch, das Laufwerkssymbol auf das Zentraleinheitsymbol des Tattletale zu ziehen, die Datei **TSION.TTB** zu wählen und nach der Übertragung die RUN-Klappe zu klicken.

7. **UTILITIES ONLINE SAMPELN** wählen
8. Den **START**-Button klicken
9. Im erscheinenden Fenster **DATEI ÖFFNEN** die Zieldatei angeben
10. Im dann erscheinenden **EINSTELLUNGEN**-Fenster muß im Thema **ONLINE SAMPELN** die ID der Messung angegeben werden. Die drei unteren Kästen bieten Platz für drei beliebige Zeichenketten mit je bis zu 12 Zeichen. Hier könnten Temperatur und Wasserdurchfluß eingegeben werden.
11. Beenden des Onlinesamplings mit **STOP**. Die Datei wird dann geschlossen.

#### Offline-sampeln

1. Die Punkte 1 bis 4 wie beim Online sampeln durchführen
2. Mit **FENSTER TERMINALFENSTER** das Terminalfenster öffnen.
3. Mit **UTILITIES ECHTZEIT SETZEN** die Tattletale ?-Variable setzen
4. Mit **KOMMUNIKATION PROGRAMM ÜBERTRAGEN+STARTEN** das Sample-Programm starten. Das Programm **NY220.TTB** ist das neueste Offline-Sampleprogramm

Die weitere Kontrolle übernimmt das Offline-Sampelpogramm im Tattletale. Dieses Verfahren ist Mausunabhängig, also auch für den Feldeinsatz geeignet. Die einzige Hürde ist, den Programmanager von WINDOWS mit der Tastatur zu bedienen. Man kann sich, um diese Unbequemlichkeit zu umgehen, eine Batchdatei schreiben mit dem Befehl:

```
@ECHO OFF
C:
CD \TATTLE\UTILS
WIN shutup.exe
```

Die Datei könnte **SHUTUP.BAT** heißen und sollte in einem Suchpfad stehen.

#### Umkonfigurieren der Schnittstelle

Die Standardeinstellungen der seriellen Schnittstelle zum Tattletale sind:

- COM1
- 19200 Baud
- 8 Bit/Zeichen
- Kein Paritycheck
- 1 Stoppbit

Je nach PC kann auch eine andere Schnittstelle (in der Regel COM2) vorgesehen sein. Wird der Port geändert im **EINSTELLUNGEN**-Menü, muß anschließend das Menü **KOMMUNIKATION RS-232 ÖFFNEN** gewählt werden, um die Änderungen zu aktivieren.

Die Baudrate von 19200 wählt der Tattletale von sich aus bei seinem Booten. Sie kann, nachdem eine erfolgreiche Verbindung mit dem Tattletale hergestellt wurde, geändert werden mit **KOMMUNIKATION RS-232 BAUDRATE ÄNDERN**. Die Änderung wirkt dann sowohl im PC als auch im Tattletale !

### Anmerkungen zur Parallelverarbeitung

Windows unterstützt das preemptive Multitasking sowie die ereignisorientierte Programmierung. Beides wird von ShutUp genutzt:

- ShutUp kann mehrfach laufen und verschiedene serielle ports bedienen. So ist das Monitoring mehrerer HDS-Pakete möglich (maximal schätzungsweise 4). Da alle ShutUp-Instanzen dieselbe .INI-Datei nutzen, sollte die **OPTIONEN BEIM VERLASSEN SPEICHERN** deaktiviert werden.
- Programmteile innerhalb von ShutUp können parallel arbeiten. Während z.B. das Online-Sampeln läuft, kann eine Datei nebenbei editiert werden.

### Anmerkungen zur Ini-Datei

Wie die meisten Tattletale-Utilities erzeugt auch Shutup eine INI-Datei. Sie heißt SHUTUP.INI und steht im WINDOWS-Verzeichnis. Über die von Shutup implizit angelegten Einträge hinaus, können die folgenden Zeilen zugefügt werden:

```
Font = fontname [-BOLD | STANDARD], psize1/psize2
```

Diese Zeile legt die Schrift für das Editier- und das Terminalfenster fest. Fontname ist der Name einer Windowsschrift (zB. Courier New), die Option -BOLD kann Fettschrift erzwingen, psize1 und psize2 sind die Punktgrößen der beiden im Programm verfügbaren Schriftgrößen. Voreingestellt ist:

```
Font = FixedSys-STANDARD, 7.2/10.8
```

```
InstallPath = path
```

Zeigt auf das Verzeichnis, das die Hilfsdateien und das Online-Sampleprogramm **sample.ttb** enthält. Diese Zeile muß nur geändert werden, wenn das Anfangsverzeichnis (Programmanager Eigenschaften) geändert wird.

Der **Fokus** ist die Stelle des Bildschirmes, die gerade die Tastaturanschläge erhält. Hat ein Fenster den Fokus, sind Titelleiste und Rahmen hervorgehoben. Buttons haben einen Rand um ihren Beschriftung. Der Fokus kann innerhalb eines Fensters mit <TAB> verschoben werden.

**Online**-Betrieb bedeutet im Zusammenhang mit den HDS-Paketen, daß zwischen Host und Tattletale sich eine stehende Verbindung befindet, über die die Sampeldata gleich nach dem Entstehen übertragen werden.

**Offline**-Betrieb bedeutet im Zusammenhang mit den HDS-Paketen, daß das Paket selbständig Daten sampelt und aufzeichnet.

Shutup V1.01 Rev.5 (c) 2.'94 by J.-E. Schirmmacher  
Visual Basic 1.00 (c) 1987-92 by Microsoft Corp.

### Anhang 3: Softwaredokumentation T-2: Datenauswertung

#### Schritte der Auswertung nach der Datenkonvertierung:

Die vorgestellten Prozeduren sind mit der Software MATLAB auf einem PC-486/DX-33 anwendbar. Eine Portierung auf andere Hard- und/oder Softwaresysteme ist möglich. Die Daten liegen nach der Konvertierung in den Dimensionen

$$\begin{aligned} \text{Geschwindigkeit:} & \quad [v] = \text{ms}^{-1} \\ \text{Zeit} & \quad : \quad [t] = \text{s} \\ \text{Druck} & \quad : \quad [p] = \text{mmWs} \end{aligned}$$

vor. Der Temperatureinfluß auf die Heißfilmsondesignale wie auch der Einfluß des Luftdruckes auf die Drucksensordesignale wurde bei der Datenkonvertierung berücksichtigt und eliminiert. Die Prozeduren müssen in der angegebenen Reihenfolge abgearbeitet werden, da die Ergebnisdateien (auch nicht aufgeführte Files) der vorhergehenden Prozedur Eingabedateien für die nachfolgenden Prozeduren darstellen.

#### 1. Prozedur m\_px\_??m

a) Innerhalb von  $j = 1, \dots, M$  10-min-Intervallen

$$t_j = t_0 + (j-1) 600\text{s} + 300\text{s} \quad j=1, \dots, M = \frac{t_{\text{Meßende}} - t_0}{600} \quad dt_j = 600\text{s}$$

erfolgt die Berechnung des Druckspektrums  $S_p$  (256 Freiheitsgrade,  $0 < f < 5$  Hz (Samplefrequenz)) mit dem Ziel, die Frequenz  $\omega_j$  der Hauptseingangskomponente in dem betrachteten Zeitintervall zu separieren.

$$\omega_j = \omega \left( \frac{dS_p}{d\omega} = 0 \right)_j$$

b) Die gesamte Meßdauer wird in  $N$  1-min-Intervalle mit

$$t_i = t_0 + (i-1) 60\text{s} + 30\text{s} \quad i=1, \dots, N = \frac{t_{\text{Meßende}} - t_0}{60} \quad dt = 60\text{s}$$

eingeteilt. Jedes Meßintervall enthält 300 Meßwerte.

c) Es werden die intervall-charakteristischen Werte

$$\begin{aligned} \overline{P_{\max_i}} &= \overline{\max\{p\left[\left(t_i - \frac{dt}{2}\right) \leq t < \left(t_i + \frac{dt}{2}\right)\right]\}} \\ \overline{P_{\min_i}} &= \overline{\min\{p\left[\left(t_i - \frac{dt}{2}\right) \leq t < \left(t_i + \frac{dt}{2}\right)\right]\}} \end{aligned}$$

bestimmt, wobei diese Werte jeweils der Mittelwert der 30-höchsten bzw. -niedrigsten Druckwerte innerhalb des  $i$ -ten Intervalls sind. Weiterhin wird

$$\overline{H_i} = \frac{\overline{P_{\max_i}} - \overline{P_{\min_i}}}{\rho g}$$

bestimmt.

Der Ergebnisdatenfile mk???.mat enthält:

$$t_i, \omega_j, \overline{P_{\max_i}}, \overline{P_{\min_i}}, \overline{H_i}$$

## 2. Prozedur m\_vxy\_???.m

Es werden die intervall-charakteristischen Werte

$$\overline{v_{6_{\max_i}}} = \overline{\max} \left\{ v_6 \left[ \left( t_i - \frac{dt}{2} \right) \leq t < \left( t_i + \frac{dt}{2} \right) \right] \right\}$$

$$\overline{v_{6_{\min_i}}} = \overline{\min} \left\{ v_6 \left[ \left( t_i - \frac{dt}{2} \right) \leq t < \left( t_i + \frac{dt}{2} \right) \right] \right\}$$

der Geschwindigkeitssonde S6 (bodenfernste Heißfilmsonde) bestimmt, wobei diese Werte jeweils der Mittelwert der 30-höchsten bzw. -niedrigsten Geschwindigkeitswerte innerhalb des i-ten Intervalls sind. Weiterhin wird der arithmetische Mittelwert

$$\overline{v_{6_i}} = \overline{v_6 \left[ \left( t_i - \frac{dt}{2} \right) \leq t < \left( t_i + \frac{dt}{2} \right) \right]}$$

bestimmt.

Der Ergebnisdatenfile mk???.mat enthält:

$$t_i, \omega_j, \overline{P_{\max_i}}, \overline{P_{\min_i}}, \overline{H_i}, \overline{v_{6_{\max_i}}}, \overline{v_{6_{\min_i}}}, \overline{v_{6_i}}$$

## 3. Prozedur it\_kd\_???.m

In dieser Prozedur wird gleichzeitig die Stillwassertiefe  $d(t)$  und die Wellenzahl  $k(t)$  der anlaufenden Wellen durch iterative Lösung der Dispersionsgleichung bestimmt. Als Eingangsgrößen des Iterationsprozesses fungieren die in den ersten beiden Prozeduren ermittelten Kenngrößen. Die mittlere Geschwindigkeit auf der Sondenebene S6 wird benutzt um eine "current"-Geschwindigkeit  $U_\infty$  anzugeben. Dies ist als eine grobe Näherung anzusehen, da durch die verwendeten Heißfilmsonden der Vektorcharakter der Geschwindigkeit nicht aufgelöst werden kann. Es ist

$$(\Delta H)^{(0)} = \overline{H_i}$$

$$U_\infty = - \left( \overline{v_{6_i}} - \frac{(\Delta H)^{(0)}}{\pi} \omega_j \right)$$

wobei auf die richtige Zuordnung der unterschiedlichen Zeitintervalle  $i$  und  $j$  geachtet wird. Aus der Dispersionsrelation

$$(\omega_j - U_\infty k^{(n)})^2 = g k^{(n)} \tanh(k^{(n)} h^{(n)})$$

wird die Wellenzahl  $k$  bestimmt. Dabei wird als momentane Stillwassertiefe  $h$  die mittels Drucksensor gemessene Druckhöhe

$$h_o = h = \frac{\overline{P_{\max_i}}}{\rho g}$$

bzw.

$$h_u = h = \frac{\overline{P_{\min_i}}}{\rho g}$$

verwendet. Damit ist auch gesagt, daß diese Iteration zwei verschiedene Werte für  $k$  liefert, je nachdem mit welcher Näherung für die Stillwassertiefe gearbeitet wird. Wird näherungsweise die Anwendbarkeit der linearen Wellentheorie vorausgesetzt, so kann aus der Gleichung für den Druck in Wellen

$$\begin{aligned} p &= \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \rho g z \\ &= \frac{\rho g \frac{H}{2}}{1 - \frac{U_\infty k}{\omega}} \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)} \cos(\omega t) - \rho g z \end{aligned}$$

die  $(n+1)$  - Näherung der Stillwassertiefe berechnet werden. Für die Druckmaxima gilt

$$h_o^{(n+1)} = h_o^{(n)} - \frac{\frac{(\Delta H)^{(n)}}{2}}{1 - \frac{U_\infty k_o^{(n)}}{\omega_j}} \frac{\cosh(k_o^{(n)} (|\Delta z|))}{\cosh(k_o^{(n)} (h_o^{(n)} + |\Delta z|))}$$

und für die Druckminima gilt

$$h_u^{(n+1)} = h_u^{(n)} + \frac{\frac{(\Delta H)^{(n)}}{2}}{1 - \frac{U_\infty k_u^{(n)}}{\omega_j}} \frac{\cosh(k_u^{(n)} (|\Delta z|))}{\cosh(k_u^{(n)} (h_u^{(n)} + |\Delta z|))}$$

Es ist dann

$$(\Delta H)^{(n+1)} = h_o^{(n+1)} - h_u^{(n+1)}$$

Damit wird die  $(n+1)$ -Näherung der Lösung der Dispersionsgleichung berechnet. Die Iteration wird abgebrochen, wenn

$$(\Delta H)^{(n+1)} < \varepsilon (=0.005m)$$

ist. Die Stillwassertiefe des  $i$ -ten Zeitintervalls ist dann

$$d_{o_i} = h_o + |\Delta z|$$

$$d_{u_i} = h_u + |\Delta z|$$

wobei  $|\Delta z|$  der Abstand des Drucksensors vom Boden ist.

Der Ergebnisdatenfile mk??n.mat enthält:

$$t_i, d_{o_i}, k_{o_i}, d_{u_i}, k_{u_i}$$

#### 4. Prozedur wa\_??m

Voraussetzung für diese Prozedur ist eine Fourierdarstellung der Tidenkurve. Die Berechnung der Fourierkoeffizienten wird im Kommandomodus in MATLAB durchgeführt. Das Ergebnis der Fourierapproximation wird in die Prozedur implementiert. Für die betrachteten Tiden wurden folgende Fourierkoeffizienten und Parameter ermittelt.

$$d = a_0 + \sum_{n=1}^4 a_n \sin\left(\frac{2n\pi(t-t_0)}{T}\right)$$

$$\begin{aligned} M1(1991) : a_0 &= 0.5119m, \quad a_1 = 1.4368m, \quad a_2 = -0.1547m, \quad a_3 = 0.0012m, \\ a_4 &= 0.0336m \\ t_0 &= 90s, \quad T = 44280s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2(1991) : a_0 &= 0.3013m, \quad a_1 = 1.1943m, \quad a_2 = -0.1186m, \quad a_3 = -0.0035m, \\ a_4 &= 0.0298m \\ t_0 &= 5730s, \quad T = 40320s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2(1993)_1 : a_0 &= 0.1963m, \quad a_1 = 1.0015m, \quad a_2 = -0.1747m, \quad a_3 = -0.0017m, \\ a_4 &= 0.01m \\ t_0 &= 37061s, \quad T = 40872s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2(1993)_2 : a_0 &= 0, \quad a_1 = 1.0015m, \quad a_2 = -0.1747m, \quad a_3 = -0.0017m, \quad a_4 = 0.01m \\ t_0 &= 37061s, \quad T = 40872s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2(1994) : a_0 &= 0, \quad a_1 = 1.6370m, \quad a_2 = -0.0280m, \quad a_3 = -0.0716m, \quad a_4 = 0.0947m \\ t_0 &= 27030s, \quad T = 54480s \end{aligned}$$

Die Wellenerhebung wird dann durch

$$\eta(t) = \left[ \frac{p(t)}{\rho g} - (d(t) - |\Delta z|) \right] \frac{\cosh(k(t)d(t))}{\cosh(k(t)|\Delta z|)}$$

bestimmt.

#### 5. Prozedur wa\_02\_??m

In dieser Prozedur werden die Zeitpunkte  $t_+$  aufwärts gerichteter (Anzahl  $L_+$ ) und  $t_-$  abwärts gerichteter (Anzahl  $L_-$ ) Nulldurchgänge der Wellenerhebung bestimmt.

$$t_{+l} = t \left[ \frac{d \left( \text{sign} \left( \frac{d\eta}{dt} \right) \text{sign} \left( \frac{d|\eta|}{dt} \right) \right)}{dt} > 0 \right]_l$$

$$t_{-l} = t \left[ \frac{d \left( \text{sign} \left( \frac{d\eta}{dt} \right) \text{sign} \left( \frac{d|\eta|}{dt} \right) \right)}{dt} < 0 \right]_l$$

$$l = 1, \dots, L_+ \text{ (bzw. } L_-)$$

## 6. Prozedur wa\_03\_?? .m

In dieser Prozedur werden die Fourierkoeffizienten

$$c_{n,+} = \frac{1}{t_{+(l+1)} - t_{+(l)}} \int_{t_{+(l)}}^{t_{+(l+1)}} \eta e^{-in \frac{2\pi}{t_{+(l+1)} - t_{+(l)}} t} dt$$

$$c_{n,-} = \frac{1}{t_{-(l+1)} - t_{-(l)}} \int_{t_{-(l)}}^{t_{-(l+1)}} \eta e^{-in \frac{2\pi}{t_{-(l+1)} - t_{-(l)}} t} dt$$

$$n = 0, \dots, 10; \quad l = 1, \dots, L_+ \text{ (bzw. } L_-)$$

der Fourierapproximation der Wellenerhebung zwischen den Zeitpunkten positiven bzw. negativen Nulldurchgänge bestimmt.

## 7. Prozedur m\_vst\_?? .m

Für die N Meßintervalle werden die statistischen Parameter:

- arithmetischer Mittelwert

$$\bar{v}_{s_i} = \frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} v_s \left[ \left( t_i - \frac{dt}{2} \right) \leq t_j < \left( t_i + \frac{dt}{2} \right) \right] \quad S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

- Standardabweichung

$$\sigma_{v_{s_i}} = \sqrt{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} \left( v_s \left[ \left( t_i - \frac{dt}{2} \right) \leq t_j < \left( t_i + \frac{dt}{2} \right) \right] - \bar{v}_{s_i} \right)^2}$$

- Skewness (Schiefe)

$$a_{3_{v_{s_i}}} = \frac{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} \left( v_s \left[ \left( t_i - \frac{dt}{2} \right) \leq t_j < \left( t_i + \frac{dt}{2} \right) \right] - \bar{v}_{s_i} \right)^3}{\sigma_{v_{s_i}}^3}$$

- Kurtosis (Steilheit)

$$a_{4_{v_{S_i}}} = \frac{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} (v_{S_i} [(t_i - \frac{dt}{2}) \leq t_j < (t_i + \frac{dt}{2})] - \overline{v_{S_i}})^4}{\sigma_{v_{S_i}}^4}$$

der S (= 1, 2, 3, 4, 5, 6) Heißfilmsonden bestimmt.  
Der Ergebnisdatenfile mk??st.mat enthält

$$\overline{v_{S_i}}, \sigma_{v_{S_i}}, \sigma_{v_{S_i}}^2, a_{3_{v_{S_i}}}, a_{4_{v_{S_i}}} \quad S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

### 8. Prozedur m\_pst\_??m

Für die N Meßintervalle werden die statistischen Parameter:  
- arithmetischer Mittelwert

$$\overline{p_i} = \frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} p[(t_i - \frac{dt}{2}) \leq t_j < (t_i + \frac{dt}{2})]$$

- Standardabweichung

$$\sigma_{p_i} = \sqrt{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} (p[(t_i - \frac{dt}{2}) \leq t_j < (t_i + \frac{dt}{2})] - \overline{p_i})^2}$$

- Skewness (Schiefe)

$$a_{3_{p_i}} = \frac{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} (p[(t_i - \frac{dt}{2}) \leq t_j < (t_i + \frac{dt}{2})] - \overline{p_i})^3}{\sigma_{p_i}^3}$$

- Kurtosis (Steilheit)

$$a_{4_{p_i}} = \frac{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} (p_S[(t_i - \frac{dt}{2}) \leq t_j < (t_i + \frac{dt}{2})] - \overline{p_i})^4}{\sigma_{p_i}^4}$$

des Druckes bestimmt.

Der Ergebnisdatenfile mk??st.mat enthält

$$\overline{v_{S_i}}, \sigma_{v_{S_i}}, \sigma_{v_{S_i}}^2, a_{3_{v_{S_i}}}, a_{4_{v_{S_i}}} \quad S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$\overline{p_i}, \sigma_{p_i}, \sigma_{p_i}^2, a_{3_{p_i}}, a_{4_{p_i}}$$

## 9. Prozedur boden\_??m

Diese Prozedur dient zur Berechnung der Bodenhöhe  $b(t)$  relativ zu einem gewählten Fixpunkt (z.B. Fußpunkt der Meßpfähle M1 oder M2). Ziel ist nicht die Bestimmung der absoluten Bodenhöhe, sondern die Erfassung der Bodenhöhenveränderung innerhalb einer Tide sowie die Bestimmung der zeitlichen Abhängigkeit des Abstandes der Sondenebenen vom Boden. Erst dadurch ist eine Zuordnung der Sondensignale im vertikalen Geschwindigkeitsprofil möglich. Da die Geometrie (Höhenabstand der Sondenebenen) des Sondenturmes bekannt ist, muß ein Unterscheidungsmerkmal für die beiden Fälle a) Sonde im Boden und b) Sonde nicht im Boden definiert werden. Im Rahmen der Auswertungen wurde zunächst die Unterscheidung anhand des Signalniveaus getroffen. Dies ist eine sehr subjektive Entscheidung. Eine zweite objektivere Variante besteht darin, den Turbulenzgrad des Heißfilmsignals auszuwerten. Es zeigt sich, daß für

$$\frac{\sigma_{v_{S_i}}}{v_{S_i}} > 0.4, \quad S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

die Sonde als sich in der Wassersäule befindlich angesehen werden kann.

Im Ergebnis dieser Klassifizierung sind außer der Bodenhöhe  $b$  die Abstände  $h_{S_i}$  der  $S$  Heißfilmsonden vom Boden bekannt. Der Ergebnisdatenfile `mk??bo.mat` enthält

$$t_i, b_i, h_{S_i}, \quad S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

## 10. Prozedur us\_03\_??m

Die Tangentialgeschwindigkeit  $u_s$  wird nach der linearen Wellentheorie aus den ermittelten Werten  $\eta$ ,  $k$  und  $d$  am Ort der  $S$  Heißfilmsonden berechnet. Es ist

$$u_{S_i}(t) = \frac{2\pi}{t_{+(i+1)} - t_{+(i)}} \frac{\cosh(k_i |h_{S_i}|)}{\sinh(k_i d)} \sum_{n=0}^{10} c_{n+1} e^{in \frac{2\pi}{t_{+(i+1)} - t_{+(i)}} t}, \quad t_{+(i+1)} \geq t \geq t_{+(i)}$$

## 11. Prozedur us\_04\_??m

Die Wandschubspannung  $\tau$  wird nach der linearen Wellentheorie

$$\tau_i(t) = \rho \frac{gk_i}{\cosh(k_i d)} \left[ \frac{v}{\frac{2\pi}{t_{+(i+1)} - t_{+(i)}}} \right]^{\frac{1}{2}} \sum_{n=0}^{10} c_{n+1} e^{in \left[ \frac{2\pi}{t_{+(i+1)} - t_{+(i)}} t + \frac{\pi}{4} \right]}, \quad t_{+(i+1)} \geq t \geq t_{+(i)}$$

berechnet.

## 12. Prozedur us\_05\_?? .m

Der vertikale Geschwindigkeitsgradient

$$\frac{dv}{dz} \left( \frac{h_{S+1} + h_S}{2}, t \right) \sim \frac{V_{S+1} - V_S}{h_{S+1} - h_S}, \quad S = 1, 2, 3, 4, 5$$

wird berechnet.

## 13. Prozedur us\_09\_?? .m

Die Grenzschichtdicke  $\delta$  wird unter der Annahme, daß für  $(z + d) = 0.05$  gilt

$$\frac{V_{\text{Messung}}}{\left[ \frac{\frac{H}{2} \omega}{\sinh(kd)} \right]} = 1 = \cosh(k(z+d)) - e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\nu t}}(z+d)}$$

berechnet. Es ist dann

$$\nu_{t_l} = \frac{2\pi}{t_{+(l+1)} - t_{+(l)}} \left[ \frac{\sqrt{2}}{0.05} \ln(\cosh(0.05 k_j) - 1) \right]^{-2}, \quad l = 1, \dots, L_* - 1$$

und

$$\delta_{t_l} = \sqrt{\frac{\nu_{t_l}}{\left[ \frac{2\pi}{t_{+(l+1)} - t_{+(l)}} \right]}}$$

## 14. Prozedur us\_06\_?? .m

Die Tangentialspannung  $\tau$  wird aus den gemessenen vertikalen Geschwindigkeitsgradienten und der ermittelten Grenzschichtdicke bestimmt. Es ist

$$\tau_t \left( \frac{h_{S+1} + h_S}{2}, t \right) = \rho \nu_{t_l} \frac{dv}{dz} \left( \frac{h_{S+1} + h_S}{2}, t \right), \quad S = 1, 2, 3, 4, 5$$

Weiterhin werden die statistischen Parameter:  
- arithmetischer Mittelwert

$$\overline{\tau_t \left( \frac{h_{S+1} + h_S}{2}, t_i \right)} = \frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} \tau_t \left( \frac{h_{S+1} + h_S}{2}, (t_i - \frac{dt}{2}) \leq t_j < (t_i + \frac{dt}{2}) \right) \quad S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$\overline{\tau_{l_i}} = \frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} \tau_{l_i} \left( (t_i - \frac{dt}{2}) \leq t_j < (t_i + \frac{dt}{2}) \right)$$

- Standardabweichung

$$\sigma_{\tau_t\left(\frac{h_{S+1}+h_S}{2}, t_i\right)} = \sqrt{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} \left( \tau_t\left(\frac{h_{S+1}+h_S}{2}, \left(t_i - \frac{dt}{2}\right) \leq t_j < \left(t_i + \frac{dt}{2}\right)\right) - \overline{\tau_t\left(\frac{h_{S+1}+h_S}{2}, t_i\right)} \right)^2}$$

$$\sigma_{\tau_{1i}} = \sqrt{\frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} \left( \tau_{1i}\left(\left(t_i - \frac{dt}{2}\right) \leq t_j < \left(t_i + \frac{dt}{2}\right)\right) - \overline{\tau_{1i}} \right)^2}$$

berechnet.

Der Ergebnisfile mk??tlo.mat enthält

$$t_i, d_i, \left(\frac{H}{2}\right)_i, \overline{\tau_{1i}}, \sigma_{\tau_{1i}}, \overline{\tau_t\left(\frac{h_{S+1}+h_S}{2}, t_i\right)}, \sigma_{\tau_t\left(\frac{h_{S+1}+h_S}{2}, t_i\right)} \quad S = 1, 2, 3, 4, 5$$

### 15. Manuelle Abschlußprozedur

Für jede Tide des Meß- und Untersuchungsprogramms wird ein Ergebnisdatenfile erstellt, der die Daten

$$T_{Tide}, t_0, t_i, t_1, \omega_j, \overline{H}_i, d_i, k_i$$

$$\overline{V}_{S_i}, \sigma_{V_{S_i}}, \sigma_{V_{S_i}}^2, a_{3_{V_{S_i}}}, a_{4_{V_{S_i}}}$$

$$\overline{P}_i, \sigma_{P_i}, \sigma_{P_i}^2, a_{3_{P_i}}, a_{4_{P_i}}$$

$$b_i, h_{S_i}, \overline{\tau_{1i}}, \sigma_{\tau_{1i}}, \overline{\tau_t\left(\frac{h_{S+1}+h_S}{2}, t_i\right)}, \sigma_{\tau_t\left(\frac{h_{S+1}+h_S}{2}, t_i\right)}, v_{t_1}, \delta_{t_1}$$

$$S = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$l = 1, \dots, L_+$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$j = 1, \dots, M$$

enthält. Diese Files werden bei der weiteren Auswertung/Darstellung der Ergebnisse verwendet.