

Kuratorium für Forschung  
im Küsteningenieurwesen  
Hindenburgufer 247  
24106 Kiel

E 1 7. AUG. 1998 DO 2. DEZ. 1998

BUNDESMINISTERIUM  
FÜR  
BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE  
-Meerestechnik-

---

Schlußbericht (Zusammenfassender Bericht) zum  
KFKI-Verbundforschungsprojekt  
Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-  
Systemen

von  
Hans Kunz

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE  
- FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE -

Schlußbericht zum KFKI - FV MTK 0545A - Zusammenfassung der Teil-Schlußberichte, Mai 1998

№ 32865 L+ P37

E 27 996  
E 33 118

Kunz, H. (1998): Schlußbericht zum KFKI-Verbundforschungsprojekt „Vorstrand- und Strand- auffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“		
BMBF-Schlußbericht MTK 0545A	156 Seiten	Norderney

## INHALT

	Seite
Zusammenfassung	2
Summary	2
Vorwort	3
1. Veranlassung	5
2. Ziele und zugeordnete Strukturen des Forschungsprojektes	6
3. Das Bühnen-Deckwerks-System auf Norderney und dessen besondere Eignung für das KFKI-Verbundprojekt	7
4. Schlußberichte für die Teilvorhaben/Teilprojekte/Sonderuntersuchungen des KFKI-Projektes "Vorstrand- und Strandauffüllungen in Bühnen-Deckwerks- Systemen"	10
5. Veröffentlichungen zu den Teilvorhaben/Teilprojekten/Sonderuntersuchungen	13
6. Zusammenarbeit mit dem Institut für Erdmessung, Universität Hannover (Prof. G. Seeber) in Verbindung mit dem Forschungsvorhaben	15
7. Zusammenfassende Darstellungen zu Untersuchungen und Ergebnissen	16
8. Zusammenfassende Darstellungen zu ausgewählten Untersuchungsteilen	17
8.1 Versuchsaufspülung und "Phase A" der Umformung	17
8.2 Vergleichende "geometrische Untersuchungen" zu Volumenänderungen (Verlusten)	22
8.3 Beispiele zum Einsatz innovativer elektronischer Meßverfahren	26
8.3.1 Äolischer Sandtransport	26
8.3.2 Sandstandspegel	26
8.3.3 Hydro Dynamic Sensor (HDS) - Paket	28
8.3.4 Sandstands-Druckmeßdose	28
8.3.5 Turbidimeter	31
8.4 Parametrisierungen	31
8.4.1 Beispiel "Hydrographie"	31
8.4.2 Meteorologie	34
8.4.3 Praxisbezogene Anwendung hydrographischer und meteorologischer Parametrisierungen	36
8.5 Flächenbezogene Untersuchungen	36
8.6 Profilbezogene Sonderuntersuchungen	38
8.7 Längerfristige Meßwerterfassungen und Auswertungen	42
9. Zusammenfassungen und Folgerungen für die Praxis der Strand- und Vorstrand-Auffüllungen	48
10. Rückblick und Vorausschau	51
11. Danksagung	52
12. Schrifttum	53

## **Anlagen**

Inhaltsverzeichnis für die Anlagen 1 bis 5 55

### **Anhang A**

Zusammenstellung zu den Schlußberichten der Teilvorhaben (TV),  
Teilprojekte (TP) und Sonderuntersuchungen (SU) des KFKI-Forschungs-  
vorhabens "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von  
Buhnen-Deckwerks-Systemen 67

### **Anhang B**

Zusammenstellung von Ergebnisberichten des EU-MAST-II Forschungs-  
vorhaben "Innovative Nourishment Techniques Evaluation" (Nourtec) 131

## Zusammenfassung

Der Westkopf der Insel Norderney wird durch ein kombiniertes Bühnen-Deckwerkssystem vor Strand- und Dünenabbrüchen und gegen Überflutungen geschützt. Die Strände dieses Inselabschnittes weisen Erosionstendenzen auf, weil sie auf natürliche Weise nicht ausreichend mit Sand versorgt werden. Seit Anfang der fünfziger Jahre wird daher dieser Abschnitt von Zeit zu Zeit mit Seesand aufgefüllt, um die Bauwerke gegen Zerstörungen durch Sturmfluten zu sichern. Die Strandauffüllung des Jahres 1989 ist als „Versuchsstrandaufspülung“ ausgeführt und durch das interdisziplinäre KFKI-Verbundforschungsprojekt „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ begleitet worden. Die nachfolgende Auffüllung des Jahres 1992 wurde mit den Zielen des KFKI-Folgeprojektes „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerkssystemen“ verbunden. Auch diesem Vorhaben war eine KFKI-Projektgruppe zugeordnet. Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT - heute BMBF) unter dem Kennzeichen MTK 0545A gefördert. Es setzt sich aus vier „Teilvorhaben“, zwei „Teilprojekten“ und zwei „Sonderuntersuchungen“ zusammen, die fachübergreifend miteinander vernetzt sind. In diesem Schlußbericht werden die Forschungsziele des Projektes dargestellt, interdisziplinäre Zusammenarbeiten aufgezeigt und es wird auf Ergebnisse und zugeordnete Veröffentlichungen hingewiesen. Die Schlußberichte zu den Teilvorhaben, Teilprojekten und Sonderuntersuchungen liegen vollständig vor. Sie enthalten aufeinander abgestimmte, projektübergreifende Darstellungen der Untersuchungsergebnisse und deren Bewertungen. Daher ist dieser Gesamtschlußbericht auf eine knappe zusammenfassende Darstellung zu beschränken, die Überblick gibt und den Zugang zu den Teil-Schlußberichten sowie zu den bisher erschienenen Veröffentlichungen erleichtert. In diesem Sinne sind auch die Materialien zum EU-NOURTEC-Projekt mit aufgenommen worden, in welches Ergebnisse aus diesem Projekt umfassend eingebracht werden konnten. Die Schlußberichte zu den Teilvorhaben, Teilprojekten und Sonderuntersuchungen liegen bereits seit längerem vor; sie sind in Anlage2 und im Anhang1 zusammengestellt.

## Summary

The western spit of Norderney-island is protected against the impact of tides and waves by a combined system of seawalls and groynes. This system can not prevent the beaches within the groyne-fields from erosion; since the natural sand supply is not sufficient. The first artificial beach nourishment was implemented on Norderney in the beginning of the fifties, to effect an 'active protection' of the coastal structures against damage during storm flood events. The beach fill in 1989 had been combined with the interdiszi-

plinary research project „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ (Interactions between coastal protection constructions and the marine environment). The fill in 1992 had been associated with the targets of an interdisciplinary project, which continued and completed the research: „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ (Foreshore and beach nourishment in areas of combined groyne-revetment-systems). Both projects had been joined by an advisory group of the „Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, KFKI“ (Board of trustees for coastal engineering research). The project has been funded under Project No. MTK 0545A by the „Bundesministerium für Forschung und Technologie“ (Federal Ministry of Research and Technology - BMFT, now BMBF). This final report reviews the research project and provides a general description of the organisation, targets, reports, publications and summarizes. The aim is, to give a general overview and to facilitate the access to the detailed information on the research-project, which are published in the 'final reports' for the eight different interdisciplinary parts of the project.

## Vorwort

Das KFKI-Verbundprojekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ ist vom BMFT unter Kennzeichen MTK 0545A von 1992 bis Ende 1994 gefördert worden. Für das Projekt war verabredet worden, daß von den Beteiligten - in gegenseitiger Abstimmung und interdisziplinärer Verwendung der Meßdaten und Ergebnisse - für jedes der vier „Teilvorhaben“, der zwei „Teilprojekte“ und der zwei „Sonderuntersuchungen“ eigenständige Schlußberichte erarbeitet werden. In zeitlicher Reihenfolge wurden von den beteiligten Institutionen die folgenden Schlußberichte vorgelegt (siehe Kap.2, 4 sowie Anlage2 und Anhang1):

- Juni 1994 : Schlußbericht zum Vierten Teilvorhaben (TV4) - Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz (StAIK), Norden.
- Juni 1994 : Schlußbericht zum Zweiten Teilvorhaben (TV2) - Forschungsstelle Küste des NLÖ.
- ✓ • Dezember 1994 : Schlußbericht zum Ersten Teilprojekt (TP1) - Geologisches Institut der Universität Kiel.
- Dezember 1994 : Schlußbericht zur Sonderuntersuchung SU2 - P.P. Shirshov Institut, Russische Akademie der Wissenschaften, Southern Branch, Moskau/Gelendzhik.
- ✓ • Januar 1995 : Schlußbericht zum Dritten Teilvorhaben (TV3) - Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg.

- Februar 1995 : Schlußbericht zum Zweiten Teilprojekt (TP2) - TU Hamburg-Hamburg, Arbeitsbereich Meerestechnik I.
- ✓ • August 1995 : Schlußbericht zur Sonderuntersuchung SU1 - Forschungsstelle Küste des NLÖ.
- ✓ • Dezember 1995 : Schlußbericht, Teil I zum Ersten Teilvorhaben (TV1) - Forschungsstelle Küste des NLÖ.
- ✓ • Januar 1996 : Schlußbericht, Teil II zum Ersten Teilvorhaben (TV1) - Forschungsstelle Küste des NLÖ.

Mit diesem „Gesamtschlußbericht“ wird dem Wunsch des BMFT/BMBF entsprochen, die vorliegenden Schlußberichte und Veröffentlichungen zum KFKI-Projekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen in Bühnen-Deckwerks-Systemen“ übersichtlich zusammenzustellen und zusammenzufassen.

Der Ausführung der o.a. Schlußberichte liegt ein Konzept und eine systematische Strukturierung zugrunde: Die Berichte behandeln die jeweilige Aufgabe umfassend, wobei Meßdaten- und ergebnisbezogene Vernetzungen und Synthese-Bearbeitungen einbezogen wurden. Dieser Gesamtschlußbericht beschränkt sich daher im wesentlichen darauf, durch übersichtliche Auflistungen den Zugang zu den Schlußberichten und zugehörigen Veröffentlichungen zu erleichtern, die Veranlassung für das Projekt sowie dessen Organisation zu skizzieren, sowie die in der Praxis unmittelbar verwertbaren Ergebnisse zusammenfassend darzustellen und zu bewerten.

Für eine Beurteilung der Frage, wie ermittelte Ergebnisse zu verallgemeinern sind und auf andere Gebiete übertragen werden können, ist es erforderlich, den Untersuchungsstandort Norderney mit seinen natürlichen und den vom Menschen geschaffenen Bedingungen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sind hier Darstellungen zu den Auffüllungen, zum Bühnen-Deckwerkssystem und zum Natur-Umfeld in diesen Bericht aufgenommen worden.

## 1. Veranlassung

Als eine Methode, mit der Küstenrückgänge verhindert oder verlangsamt werden können, hat sich die „Künstliche Strandauffüllung“, insbesondere durch das Aufspülen von Sand, bewährt. Weltweit wird sie zunehmend eingesetzt. Erstmals in Europa wurde dieses Verfahren in großem Maßstab während der Jahre 1951/52 zur Sicherung der Küstenschutzwerke auf der Ostfriesischen Düneninsel Norderney angewendet, und zwar als Alternative zu der sonst notwendig gewordenen erneuten Bauwerksverstärkung. Die Verhältnisse auf Norderney sind ein Beispiel für die an zahlreichen Küstenabschnitten der Erde gegebene Situation, bei der man die Abbrüche infolge der angreifenden Naturkräfte durch ein „Kombiniertes System“ aus dauerhaften Küstenschutzwerken und regelmäßig zu wiederholenden Auffüllungen abwehren kann. Gezielte Auffüllungen des unter dem Tideniedrigwasser sich erstreckenden Vorstrandes allein, oder in Kombination mit Auffüllungen des oberhalb gelegenen Strandbereichs, können eine sinnvolle Alternative zur „traditionellen“ Strandauffüllung sein, wie sie bis einschließlich der Auffüllung des Jahres 1989 auch auf Norderney angewendet wurde.

Mit Strand- oder Vorstrand-Auffüllungen sind die großräumigen Ursachen der Strandabbrüche nicht zu beeinflussen und ist die „natürliche“ Sandzufuhr nicht zu vermehren. Der aufgespülte Sand wird wieder abgetragen, so daß Auffüllungen in gewissen Zeitabständen wiederholt werden müssen. Sie sind somit „Unterhaltungsmaßnahmen“, die ständige Aufwendungen erfordern, solange man die von der Auffüllung ausgehende „aktive“ Schutzwirkung benötigt.

Mit dem Problem „Strandauffüllung“ hat sich das KFKI mit mehrjährigen Forschungsprojekten (Förderung durch BMFT/BMBF) auf der Nordfriesischen Insel Sylt und der Ostfriesischen Düneninsel Norderney befaßt - BMFT (1991, 1994), KUNZ (1992b). Es wurde als sinnvoll angesehen, die Untersuchungen auf Norderney fortzusetzen und dabei die Thematik „Auffüllung des Vorstrandes“ so mit einzubeziehen, daß eine Verknüpfung mit dem sich seiner Zeit in der Planungsphase befindlichen EU-NOURTEC-Vorhaben möglich wäre. Ausgehend von diesen Vorgaben ist das Forschungsprojekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ entwickelt, in Abstimmung mit dem KFKI beim Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) beantragt und von diesem in den Jahren 1992 bis 1994 unter dem Kennzeichen MTK 0545A gefördert worden. Es folgte somit unmittelbar auf das von 1986 bis 1991 ausgeführte BMFT-Projekt „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ (MTK 0358) - KUNZ (1992a,b, 1993a). Beide Projekte wurden von einer Projektgruppe des Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) begleitet. Sie stehen miteinander in engem thematischen Zusammenhang; das

Folgeprojekt ist so konzipiert worden, daß es Datengrundlagen und Erkenntnisse des vorhergehenden Vorhabens einbezieht, dieses fortführt, ergänzt und absichert. Zudem befassen sich umfangreiche Teile des Folgeprojekts mit neuartigen Fragestellungen, insbesondere auch solchen, die sich auf die „Vorstrandauffüllung“ beziehen. Es erfolgte eine inhaltliche Abstimmung und informelle Verflechtung mit dem BMFT/ KFKI-Vorhaben „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt“, das sich für die Situation der Nordfriesischen Inseln mit vergleichbaren Problemstellungen auseinandersetzte, wie sie auf Norderney für die Verhältnisse von Düneninseln (Barriereinseln) untersucht wurden - BMFT (1991, 1994).

Die für die Norderneyer Strand/Vorstrand-Auffüllung des Jahres 1992 gewählte versuchsorientierte Variante - ERCHINGER & TILLMANN (1992) - ermöglichte es von vornherein in das KFKI-Projekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen ...“ diejenigen Untersuchungsteile mit aufzunehmen, die man für die gewünschte deutsche Beteiligung an dem MAST II-EU-Vorhaben 'Innovative Nourishment Techniques Evaluation' (NOURTEC) benötigte. Auf diese Weise konnte, in Verbindung mit dem vom BMFT unter MTK 0563 geförderten nationalen NOURTEC-Teilvorhaben (KNAACK & KUNZ 1997), die Mitwirkung der NLÖ-Forschungsstelle Küste am EU -Vorhaben erreicht werden - siehe auch Anhang B.

## **2. Ziele und zugeordnete Strukturen des Forschungsprojektes**

Die Zielsetzungen des Projektes sind vorrangig anwendungsorientiert hinsichtlich einer Überprüfung und gegebenenfalls Verbesserung der Effektivität von Vorstrand- und Strandauffüllungen. Dazu sollen die physikalischen Prozesse des Sandtransportes in künstlich mit Sand aufgefüllten Bühnenfeldern, einschließlich der Vorstrandbereiche, durch Naturmessungen erfaßt und möglichst gedeutet werden. Das Projekt ist so strukturiert, daß auch neuartige Meßmethoden erprobt werden; die Daten und Ergebnisse der Naturmessungen sind möglichst so zu bearbeiten, daß sie auch der Fortentwicklung von Modellen dienen und dieser neue Impulse geben. Dazu sind methodisch die phänomenologischen Analysen von Naturmessungen mit theoretischen Ansätzen zu koppeln. Das Projekt ist weiterhin so ausgebildet, daß die Untersuchungen von vornherein in fachübergreifender Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen erfolgen konnten. Dementsprechend gliedert es sich in die folgenden „Teilvorhaben“ (TV):

- TV1: Hydrodynamik und Sedimenttransport,
- TV2: Sedimentologie und morphologische Entwicklung,
- TV3: Meteorologie,
- TV4: Technisch-wirtschaftliche Aspekte von Vorstrand- und Strandauffüllungen.

Die „Teilvorhaben“ wurden, um speziellen Problemstellungen vertieft nachgehen zu können, durch die folgenden beiden „Teilprojekte“ (TP) ergänzt:

TP1: Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen,

TP2: Sohlfluktuationen.

Im Verlauf des Forschungsprojektes ergab sich die Möglichkeit, zwei „Sonderuntersuchungen“ (SU) im Bereich des Hauptmeßfeldes D1-E1 (Lage siehe Abb.2) auszuführen:

SU1: Sonderuntersuchungen zur flächenhaften Veränderung der Strandmorphologie und sedimentologischer Parameter in einem Bühnen-Deckwerks-System,

SU2: Sonderuntersuchungen zur Sandbewegung unter dem Einfluß von Tide und See gang im Vorstrand - und Strandbereich.

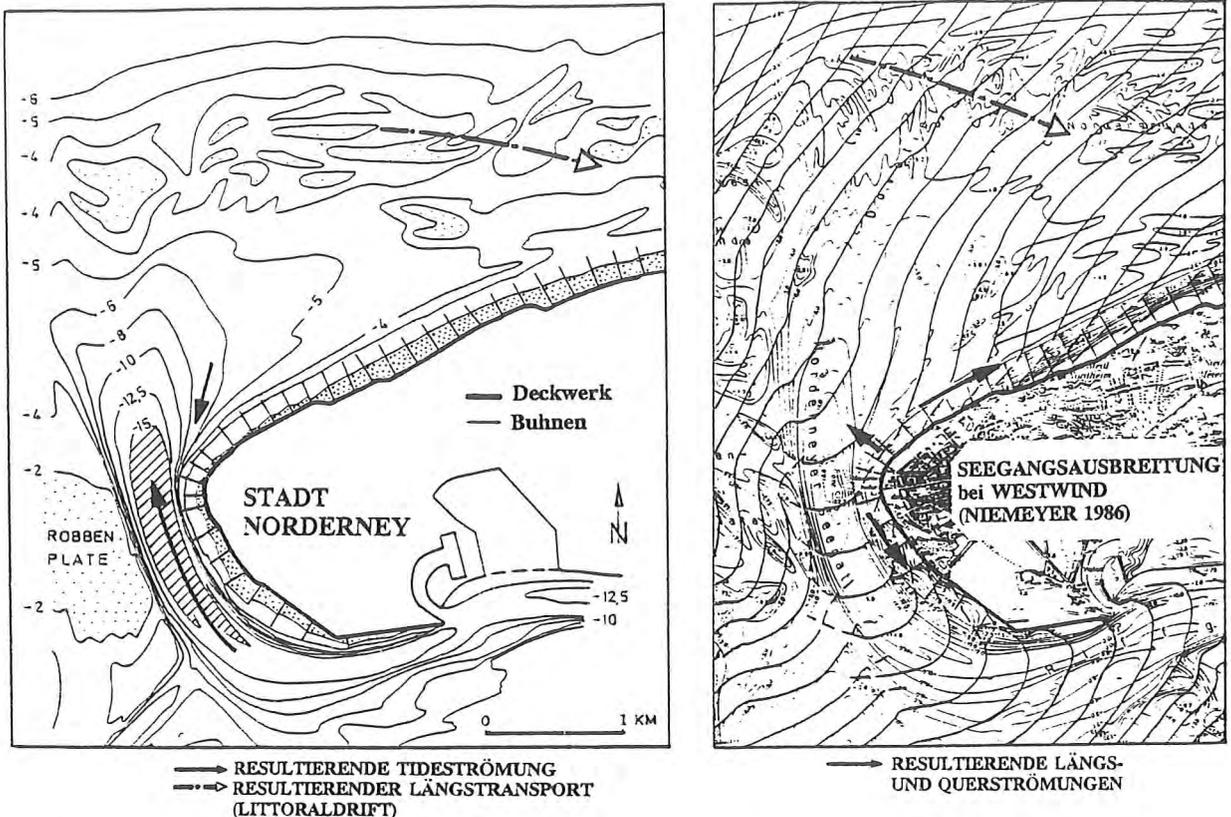
Der Anspruch, daß das Projekt eine deutsche Beteiligung am EU-NOURTEC-Vorhaben ermöglichen sollte, konnte bei der Strukturierung und Ausführung in vollem Umfang mit berücksichtigt werden.

Die vom BMFT angeregte Zusammenarbeit mit der Universität Hannover, Institut für Erdmessung erfolgte durch eine informelle Verknüpfung der Zusammenarbeit der Forschungsstelle Küste und des Instituts mit dem Projekt (siehe Pkt. 6).

Das Projekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen ...“ wurde von einer KFKI-Projektgruppe begleitet, in die zusätzlich zu den wissenschaftlichen Leitern der Teilvorhaben/Teilprojekte je ein Vertreter des KFKI-Projektes „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt“ und der Wasser- und Schifffahrtverwaltung des Bundes aufgenommen wurden (siehe Anhang1).

### **3. Das Bühnen-Deckwerks-System auf Norderney und dessen besondere Eignung für das KFKI-Verbundprojekt.**

Der Westkopf von Norderney ist durch ein massives Schutzwerke-System gesichert, das seit Mitte des vorigen Jahrhunderts fortlaufend ausgebaut wurde. Die Ursachen für die Abbrucherscheinungen im Westteil Norderneys sind weitgehend bekannt: wesentliche Wirkungen gehen von den Tideströmungen in der Seegatrinne, dem Seegang sowie vom resultierenden Sandtransport aus, der seewärts von West nach Ost gerichtet ist und sich dort überwiegend im „Riffbogen“ nördlich der Westspitze von Norderney vollzieht. Die am Westende Norderneys angreifenden, Tide- und Seegangskräfte werden von der Morphologie des Riffbogens (Ebbdelta-Platen), des Seegats (Flut- und Ebbe-Stromrinne) und der flacheren Vorstrandbereiche bestimmt. Die Abb.1 stellt die Norderney-Situation auf Lageplänen dar.



**Abb. 1:** Skizzen zur hydrographischen und morphologischen Situation Norderneys - aus KUNZ & STEPHAN 1992

Das Buhnen-Deckwerkssystem hat eine Länge von sechs Kilometern und besteht aus den in Abb.2 lagemäßig ausgewiesenen Bestandteilen:

1. Längswerke

Dünen- bzw. Uferschutzwerke, die den an die See angrenzenden Inselbereich gegen Abbrüche, insbesondere bei Sturmfluten, schützen.

2. Querwerke (Buhnen)

2.1 Strombuhnen zum Abweisen der starken Tidenströmungen vom Inselsockel (Verhinderung einer Ostverlagerung der tiefen Rinne des Norderneyer Seegats),

2.2 Strandbuhnen zur Verminderung von Längsströmungen (Stabilisierung von Strandabschnitten).

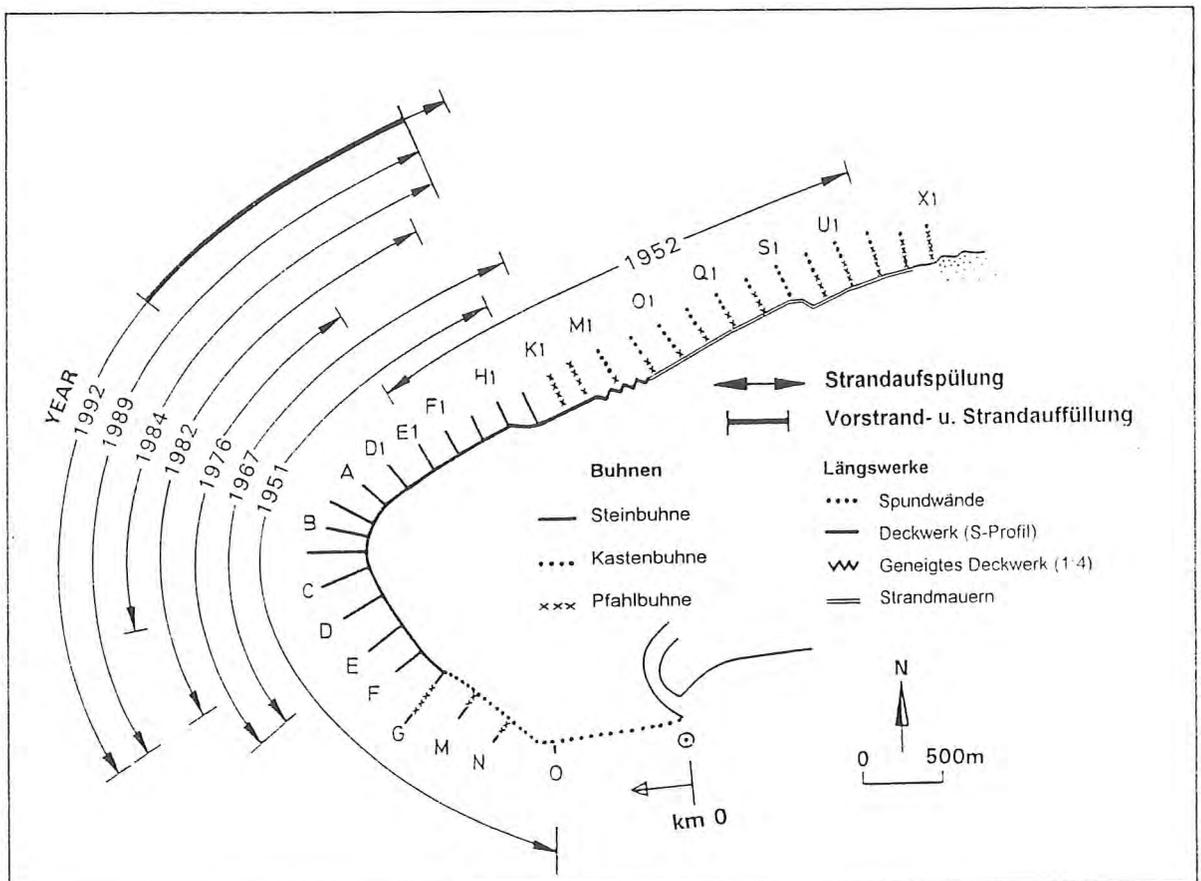
3. Strandauffüllungen von Buhnenfeldern im Bereich großer Seegangbelastungen und negativer Sandbilanzen (insbesondere zur Gewährleistung einer so hohen Strandlage, daß die Fußsicherungen der Buhnen- und Längswerke und der Bestand der Schutzwerke vor Unterspülungen bei der „Bemessungs-Sturmflut“ ausreichend geschützt sind - „aktiver Schutz“).

Das kombinierte Längswerk-Buhnen-Schutzsystem (Pkt. 1 und Pkt. 2) ist in der Lage, die Dünenabbrüche und Verluste des Inselsockels zu verhindern; es vermag aber nicht die

Rückgänge des Strandes, die eine Folge der natürlichen Unterversorgung (negative Sandbilanz) ist, aufzuhalten. Die Strandauffüllung gleicht die Strandverluste von Zeit zu Zeit wieder aus. Im langjährigen Mittel mußten bislang jährlich etwa 85000 m<sup>3</sup> Sand in das Norderneyer Schutzsystem eingespült werden, um ausreichend hohe Strandlagen in den Bühnenfeldern zu gewährleisten.

Die besondere Situation des Untersuchungsgebietes „Westkopf Norderney“ schränkt die Möglichkeiten zur Übertragung und Verallgemeinerung von Ergebnissen ein. Dies ist bei der Festlegung der Untersuchungsziele des Forschungsprojektes berücksichtigt worden und wird durch den Zusatz „im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ ausgewiesen. So gibt es Untersuchungsergebnisse, die man nur auf Standorte mit vergleichbaren Randbedingungen übertragen kann (z. B. die Wirkung von Bühnen auf Strömung und Sandtransport), aber durchaus auch solche, die allgemeingültig sind (z. B. durch brechende Wellen ausgelöste Prozesse bezogen auf Turbulenzen und zugeordnete Stofftransporte).

Vergleichbar dem vorlaufenden KFKI-Verbundforschungsprojekt „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“, bietet der Standort Norderney-



**Abb. 2:** Bauwerke und Strandauffüllungen 1951 bis 1989, sowie kombinierte Vorstrand- und Strandauffüllung 1992

auch für dieses Projekt günstige Voraussetzungen:

- Die Versuchsauffüllung ist mit Maßnahmen des Küstenschutzes zu verbinden und darüber zu finanzieren .
- Die Auffüllung ist den Ansprüchen des Forschungsprojektes hinsichtlich Ausführung und Gestaltung weitgehend anzupassen.
- Für die Planung und Ausführung der Vorstrand- und Strandauffüllung sowie für die Untersuchungen zur Erfassung der anfänglich schnellen Umformungen des Aufspülkörpers durch Natureinwirkungen steht eine ortsnahe, bauerfahrene Dienststelle zur Verfügung.
- Auf Norderney ist die Forschungsstelle Küste ansässig, die über die technischen Infrastrukturen, das Fachpersonal und die Erfahrungen verfügt, um die Datenerfassungen und Auswertungen für Untersuchungen zur Hydrographie, Morphologie, Sedimentologie zu übernehmen.
- Die rund um den Westkopf von Norderney ausgebauten Dünenschutzwerke und Bühnen bieten gute Voraussetzungen für Untersuchungen, die eindeutige räumliche Begrenzungen fordern (drei weitgehend „geschlossene Ränder“ bildende Bühnen und Strandmauer).
- Die mit zahlreichen Meßstationen bestückten „Meßfelder“ sind gut erreichbar und zu versorgen. Dies ermöglicht den Betrieb hochauflösender Meßeinrichtungen zur Erfassung hydrographischer Daten [TV1.II] sowie morphologischer Parameter [TV2] und begünstigt eine zeitgleiche Durchführung unterschiedlicher Meßkampagnen - siehe z. B. [SU2].
- Im Bereich des Norderneyer Westkopfes wird ein eingestufteter Tidepegel betrieben, dessen Wasserstandsdaten den Meßfeldern zuzuordnen sind; der Deutsche Wetterdienst betreibt eine Wetterstation und ein meteorologisches Ergänzungsmeßnetz - siehe [TV3].
- Es stehen die Infrastrukturen und die umfangreichen Daten/Ergebnisse des thematisch und räumlich zugeordneten KFKI-Projekts „Wechselwirkungen zwischen Küstenschutzwerken und mariner Umwelt“ zur Verfügung.

#### **4. Schlußberichte für die Teilvorhaben/Teilprojekte/Sonderuntersuchungen des KFKI-Projektes „Vorstrand- und Strandauffüllungen in Bühnen-Deckwerks-Systemen“**

Für das Projekt war verabredet worden, daß von den Beteiligten - in gegenseitiger Abstimmung und interdisziplinärer Verwendung der Meßdaten und Ergebnisse - für jedes der vier Teilvorhaben (TV), der zwei Teilprojekte (TP) und der zwei Sonderuntersuchungen (SU) eigenständige Schlußberichte erarbeitet und vorgelegt werden. Im Vorwort

dieses Gesamtschlußberichtes sind die Schlußberichte in der zeitlichen Reihenfolge ihrer Fertigstellung aufgelistet. Die folgende Aufzählung ist nach der Nummerierung der „Vorhaben“, „Projekte“ und „Sonderuntersuchungen“ geordnet und es sind Verfasser, Titel, Seitenangaben hinzugefügt worden. Beim Verweis auf die Schlußberichte wird hier die in der Anlage2 ausgewiesene eckige Klammer als Zitierbezeichnung verwendet.

## **Auflistung der Schlußberichte zu dem KFKI-Verbundprojekt**

### **TEILVORHABEN (TV)**

#### **TV1 Hydrodynamik und Sedimenttransport (NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

NIEMEYER, H.D.: Zum mittelfristigen Wasserstands- und Seegangsklima vor Norderney, Dezember 1995 (16 Seiten, 21 Anlagen-Seiten).

NIEMEYER, H.D., R. KAISER & H. KNAACK: Untersuchung von Transportfaktoren im Bereich künstlich aufgespülter Strände - Beispiel Norderney, Januar 1996 (132 Seiten).

#### **TV2 Sedimentologie und morphologische Entwicklung (NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

EITNER, V.: Sedimentologische und morphologische Untersuchungen zu den Auswirkungen der Vorstrand- und Strandauffüllung im Frühjahr 1992 auf Norderney, Juni 1994 (143 Seiten, 4 Anlagen-Seiten).

#### **TV3 Meteorologie (Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg)**

SCHMIDT, H., H. GÜNTHER & R. STRÜFING: Abschlußbericht zum Teilbereich Meteorologie, Januar 1995 (21 Seiten).

#### **TV4 Technisch-wirtschaftliche Aspekte von Vorstrand- und Strandauffüllungen (Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz (STAIK), Norden)**

KNAACK, H., H.-G. COLDEWEY & H. F. ERCHINGER: Abschlußbericht zum Teilprojekt Versuchsaufspülung - Entwicklung und Technik, Juni 1994 (60 Seiten, 26 Anlagen).

### **TEILPROJEKTE (TP)**

#### **TP1 Teilprojekt „Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen“ (Geologisches Institut der Universität Kiel)**

OTTEN, O. & R. KÖSTER: Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen, Dezember 1994, (85 Seiten).

**TP2 Teilprojekt „Sohlfuktuationen“ (TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Meerestechnik I und NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

MÜLLER, V. & G. GUST: Unteraufgabe im Teilprojekt „Sohlfuktuationen“, Febr. 1995 (42 Seiten und 3 Anhänge mit insges. 43 Seiten).

**SONDERUNTERSUCHUNGEN (SU)**

**SU1 Sonderuntersuchungen zur flächenhaften Veränderung der Strandmorphologie und sedimentologischer Parameter in einem Bühnen-Deckwerks-System (NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

KNAACK, H.: Sonderuntersuchungen Herbst 1994 auf Norderney zu sedimentologischen und morphologischen Fragestellungen, August 1995 (42 Seiten).

**SU2 „Sonderuntersuchungen zur Sandbewegung unter dem Einfluß von Tide und Seegang im Vorstrand- und Strandbereich“ (P.P. Shirshov Institut, Russische Akademie der Wissenschaften, Southern Branch, Moskau/Gelendzhik sowie NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

KOS'YAN, R., S. KUZNETSOV, I. PODYMOV, O. PUSHKAREV & N. PYKHOV: Field investigations of physical regularities and spatial-temporal scales of sand suspension and transport in the coastal zone under storm waves, Dezember 1994 (198 Seiten).

**Zusammenstellung der Schlußberichte für die Teilvorhaben / Teilprojekte / Sonderuntersuchungen:**

TV1 (TV 1(I) mit 37 S. + TV 1(II) mit 132 S.)	:	169 Seiten
TV2 (143 S. + 4 Anlagen-Seiten)	:	147 Seiten
TV3	:	21 Seiten
TV4 (60 S. + 26 Anlagen-Seiten)	:	86 Seiten
TP1	:	85 Seiten
TP2 (42 S. + 43 Anlagen-Seiten)	:	85 Seiten
SU1	:	42 Seiten
SU2	:	198 Seiten

**Hinweis:** Durch die Zusammenarbeit der Forschungsstelle Küste mit dem Institut für Erdmessung, Universität Hannover (Prof. S. Seeber) war es möglich, das „Vertieferseminar Geodäsie 1992“ auf Norderney durchzuführen und in die Vermessungsarbeiten für dieses Forschungsprojekt einzubeziehen (siehe Kap. 6).

Die aufgelisteten Schlußberichte zu den Teilvorhaben / Teilprojekten / Sonderuntersuchungen umspannen den gesamten Umfang der im BMFT-Projekt MTK 0455A enthaltenen Untersuchungen.

In den Schlußberichten sind die zuvor in „Zwischenberichten“ (siehe Anlage3) mitgeteilten Ergebnisse aufgegangen.

Die bisher erschienenen Veröffentlichungen sind in Kap. 5 in Zuordnung zu den Teilvorhaben/ Teilprojekten/Teiluntersuchungen zusammengestellt (siehe auch Anl.4 und 5).

## **5. Veröffentlichungen zu den Teilvorhaben/Teilprojekten/Sonderuntersuchungen**

Zum KFKI-Projekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ gibt es inzwischen zahlreiche Veröffentlichungen; die folgende Auflistung (Stand April 1998) wurde nach der Projektstruktur geordnet (Anmerkung: Bei TV1 und TV2 ist von einer Trennung abgesehen worden, weil die überwiegende Zahl der Veröffentlichungen sich auf beide Teilvorhaben erstreckt). Eine nach Verfassern alphabetisch geordnete Auflistung ist als Anlage5 beigegeben.

### **Zu TV1 (Hydrodynamik und Sedimenttransport) sowie TV 2 (Sedimentologie und morphologische Entwicklung)**

- EITNER, V. (1993): Sedimentdynamik im Strandbereich einer brandungsbeeinflussten mesotidalen Barriere-Insel unter Berücksichtigung der Auswirkungen künstlicher Strandauffüllungen (Norderney, südl. Nordsee). Diss. Univ. Münster.
- EITNER, V. (1995): Magnetic Heavy mineral Associations as Sediment Transport Indicators on a Beach of Norderney Island, Southern North Sea. *Senckenbergiana maritima*, 25 (416), 173-185.
- EITNER, V, R. KAISER, & H.D. NIEMEYER (1995): Nearshore sediment transport processes due to moderate hydrodynamical conditions. In: special volume „Geology of siliciclastic shelf seas“, Renard Centre of Marine Geology, Gent, 267-288.
- KUNZ, H. (1993): Sand losses from an artificially nourished beach. In: Proc. Intern. Conf. on Coastal Zone Management (CZ '93) - Marine Beach Nourishment Engineering and Management Considerations (Hrsg.: Stauble, D.K. & N.C. Kraus), ASCE, New York, 191-205.

KUNZ, H. (1995): Beach and Foreshore Nourishment on Sandy Coasts in Germany. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 95), Tarragona, Spanien, Anh. 14 S..

NIEMEYER, H. D. & R. KAISER (1997): Variationen im lokalen Seegangsklima infolge morphologischer Änderungen im Riffbogen. Ber. d. Forschungsstelle Küste, Bd. 41, 107-117.

#### **Zu TV4 (Technisch-wirtschaftliche Aspekte von Vorstrand- und Strandauffüllungen)**

ERCHINGER, H.F. & H. KNAACK (1995): Die Versuchsstrandaufspülung 1992 auf Norderney und Messungen des äolischen Sandtransport. Die Küste 57; 1-23.

#### **Zu TP2 (Sohlfluktuationen)**

GUST, G., V. MÜLLER & R. KAISER (1994): Messung von Transportvorgängen im Strandbereich. Jhb. d. Schiffbautechn. Ges., Bd. 87, 1993, 100-104.

#### **Zu SU2 (Sonderuntersuchungen zu Sandbewegungen unter dem Einfluß von Tide und Seegang im Vorstrand- und Strandbereich)**

KALINITCHENKO, A., R. KOS'YAN, H. KUNZ, S. KUZNETSOV & N. PYKHOV (1995): On suspended sand flux fluctuations and net suspended flux in a surf zone. Abstracts of the Intern. Conf. „Dynamics of ocean and atmosphere“, Moscow., 147-148.

KOS'YAN, R., H. KUNZ & I. PODYMOV (1995): Employment of electronic sand level gauges for measurement of beach slope deformations on Norderney island. In: Proc. Second Intern. Conf. „Coastal Dynamics '95“, Gdansk, Poland. 651-663.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV & N. PYKHOV (1996): Suspended sediment transport in the surf zone of Norderney island. In: Proc. 2. Conf. on Hydrodynamics, Hongkong, A. A. Balkema, Rotterdam, Brokkfield, 1119-1123.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV, N. PYKHOV & M. KRYLENKO (1997): Sand suspension events and intermittence of turbulence in the surf zone. In: Proc. 25. Coastal Engin. Conf. (ICCE 96), Orlando, USA, vol. 4, ASCE, New York, 4111-4119.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV, I. PODYMOV & N. PYKHOV (1997): Sand bottom erosion in the surf zone of Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1263-1273.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV & N. PYKHOV (1997): Net suspended sediment transport in the surf zone. Second Indian National Conf. on Harbour and Ocean Engin. INCHOE-97, Thiruvananthapuram, India. 1073 - 1086.

- KUNZ, H. & R. KOS'YAN (1997): German-Russian nearshore dynamics-experiment on Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MED-COAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1301-1315.
- KUNZ, H. & R. KOS'YAN (1997): German-Russian field-experiment „Norderney 1994“ tasks and results. Intern. Conf. on Coastal Environment Management BORDEMER/IFREMER, Bordeaux, Frankreich, 243 - 253.
- PYKHOV, N., S. KUZNETSOV & H. KUNZ (1997): Mechanisms of sand suspending under non-breaking and breaking irregular waves. In: Proc. second Int. Conf. on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments, Coastal Dynamics'97, Plymouth, England 19 - 27.

## **6. Zusammenarbeit mit dem Institut für Erdmessung, Universität Hannover (Prof. G. Seeber) in Verbindung mit dem Forschungsvorhaben**

Das Institut für Erdmessung der Universität Hannover ist in das KFKI-Vorhaben einbezogen worden mit der Frage der Einsatzmöglichkeiten der GPS-Methode (Global Positioning System) zur Höhenbestimmung im Küstenbereich (terrestrische und nautische Vermessung). Mit dem BMFT und dem KFKI wurde vereinbart, die bestehende Zusammenarbeit des Instituts mit der Forschungsstelle Küste auch für das Projekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen ...“ zu nutzen. Dies führte dazu, daß gemeinsame „Vertieferseminare Geodäsie“ auf Norderney durchgeführt wurden, von denen sich dasjenige für 1992 auf das Hauptmeßfeld D1-E1) konzentrierte. Ergebnisse sind in dem Abschlußbericht des Vertieferseminars enthalten: INSTITUT FÜR ERDMESSUNG (1992): Kinematische Anwendung des Global Positioning System. Abschlußbericht Vertieferseminar Geodäsie 1992, Inst. f. Erdmessung, Uni Hannover, 49 S..

Die Ergebnisse des Seminars sind auch in die Dissertation von F. HEIMBERG mit aufgenommen worden: HEIMBERG, F. (1994): Untersuchungen zum operationellen Einsatz des Differential GPS. Wissenschaftl. Arbeiten d. Fachr. Vermessungswesen d. Univ. Hannover, Nr. 202 (Diss.), 170 S..

HEIMBERG bewertet die Ergebnisse wie folgt (Zitat aus Kap. 8, S. 126 seiner Dissertation): „8.1 Nutzung kinematischer Methoden für die statische Punktbestimmung“. Im Rahmen des Küsten- und Inselfschutzes werden rund um die Insel Norderney in mehrjährigen Abständen Sandaufspülungen vorgenommen. Im Zuge der Optimierung dieser Aufspülungen ist die genaue Kenntnis des durch Wind- und Wasserkraft bedingten An- und Abtrages der Sandmassen von großer Bedeutung. Für die Vermessung der trockenfallenden Gebiete (Strandbereich und Sandbänke) werden hierfür traditionell Tachymeter eingesetzt.

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit der kinematischen GPS-Beobachtungsverfahren wurde in Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle Küste im Sommer 1992 eine flächenhafte Vermessung eines kleinen Testgebietes durchgeführt. Neben der Tachymeteraufnahme kamen verschiedene kinematische GPS-Beobachtungs- und Auswertverfahren zum Einsatz.

Das Meßgebiet wurde an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen jeweils gleichzeitig mit GPS- und Tachymeterverfahren aufgenommen. Zu diesem Zweck wurde ein Reflektor an dem Stangenstativ der GPS-Antenne befestigt. Die GPS-Initialisierung erfolgte nach dem Antennentauschverfahren (Antenna Swap). Die Verweildauer auf den zu bestimmenden Punkten betrug 30 Sekunden, bei einer Aufzeichnungsrate von 5 Sekunden. Die Profil-Punktabstände betragen etwa 20 Meter.

Die unabhängige Auswertung der beiden Meßverfahren zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Der Helmertsche Punktlagefehler ergibt sich zu  $\pm 1.5$  cm. In der Abbildung 8.1 (Anmerkung: hier nicht wiedergegeben) sind die Klaffungen für die Ergebnisse der Messungen eines Tages dargestellt. Die Abweichungen in der Lage betragen 0.5 bis 2 cm und in der Höhe 0.2 bis 3 cm.

Anhand der gewonnenen Ergebnisse kann gezeigt werden, daß kinematische Beobachtungsverfahren sehr erfolgreich eingesetzt werden können, wenn im offenen Gelände eine große Anzahl von Punkten aufgenommen oder abgesteckt werden muß. Insbesondere wenn zwischen Referenzpunkt und Neupunkt keine Sichtverbindung besteht, ist GPS jedem anderen geodätischen Meßverfahren überlegen.“

Ergebnisse der Zusammenarbeit der Forschungsstelle Küste des NLO mit dem Institut für Erdmessung der Universität Hannover sind in dem Schlußbericht zum zweiten Teilvorhaben [TV2] mit verwertet worden.

## **7. Zusammenfassende Darstellungen zu Untersuchungen und Ergebnissen**

Die in der „Beschreibung zum KFKI-Forschungsvorhaben Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerkssystemen“ (Bestandteil des Antrages zu MTK 0545A) beschriebenen Untersuchungen konnten im Projekt durchgeführt werden. Dabei wurden vielfältige Meßmethoden - siehe Schlußberichte (Kap. 4 sowie Anl.2 und Anhang1) - angewendet. Durch die Hinzunahme des P.P. Shirshov Instituts, Southern Branch, Moskau / Gelendzhik (siehe „Sonderuntersuchung SU2“ - Kap. 4 und Kap. 8.5.2) war es möglich, sich den Prozessen im Vorstrandbereich methodisch weitergehend zuzuwenden, als dies der Antrag ausweist.

Die Untersuchungen, Ergebnisse und Bewertungen sind in den Schlußberichten zu den unterschiedenen vier „Teilvorhaben“, zwei „Teilprojekten“ und zwei „Sonderunter-

suchungen“ eingehend dargestellt. Zugrunde liegen - dem konzeptionellen Ansatz des Verbundprojektes entsprechend - fachübergreifende Vernetzungen und Synthesen.

Die acht Schlußberichte sind in der Anlage2 aufgelistet; die dort zugeordneten Kurzbezeichnungen werden hier beim Zitieren verwendet. Im Anhang A sind zu den Schlußberichten jeweils zusammengestellt: Deckblatt, Inhaltsverzeichnis, Zusammenfassung und teils auch Einleitung und Schluß. Die im Rahmen des Projektes erstellten Zwischenberichte wurden als Anlage3 zugeordnet. Die bisher zum Projekt erschienenen Veröffentlichungen weisen die Anlagen4 und 5 aus.

Wie in Kap. 1 bereits angesprochen, ist dieses Projekt mit dem EU-NOURTEC-Forschungsvorhaben verbunden. Der Anhang B ordnet sich diesem Gesichtspunkt zu. In ihr sind für den Schlußbericht des BMBF-Projekts MTK 0563 sowie von denjenigen Teilschlußberichten des EU-Vorhabens, die den Norderney-Fall erfassen oder einbeziehen zusammengestellt: Deckblatt, Inhaltsverzeichnis, Zusammenfassungen.

Die dem Konzept des Forschungsprojektes entsprechenden umfangreichen Schlußberichte der systematisch unterschiedenen Untersuchungsteile (TV, TP, SU) bedürfen lediglich einer auf eine Gesamtübersicht ausgerichteten zusammenfassenden Darstellung. Dieser Zielvorgabe folgt der vorliegende „Gesamtschlußbericht“. Die darüber hinausgehenden Zusammenfassungen des Kap. 8 wenden sich, im Sinne einer Synthese, lediglich einigen ausgewählten Untersuchungsteilen zu.

## **8. Zusammenfassende Darstellungen zu ausgewählten Untersuchungsteilen**

Die folgenden Unterkapitel enthalten zusammenfassende knappe Darstellungen zu ausgewählten Themen. Erfaßt werden: Voraussetzungen und Randbedingungen für die Untersuchungen (Kap. 8.1 und 8.2); Meßverfahren (Kap. 8.3), Parametrisierungen (Kap. 8.4) flächen- und profilbezogene Sonderuntersuchungen (Kap. 8.5 u. 8.6) sowie längerfristige Meßwerterfassungen und Auswertungen (Kap. 8.7).

### **8.1 Versuchsaufspülung und „Phase A“ der Umformung**

In die Planungen für die Aufspülung 1992 wurden die Anregungen und Vorschläge aus dem KFKI-Forschungsprojekt „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ einbezogen. Der gesamte Aufspülbereich erstreckte sich von Buhne D bis L1.

Im Bereich des Westkopfes von Buhne D bis A wurden die Bühnenfelder nach dem Vorbild der 1989er Aufspülung bis zur MTnw-Linie nach der modifizierten DEAN-Formel (KOTZ-BAUER 1990) profiliert, weil die Unterwasserhänge am Norderneyer Seegat eine Auffüllung des Vorstrandes ausschlossen. Im flacheren Nordweststrandbereich wurde der

Vorstrand in die Aufspülung mit einbezogen; lediglich im Bereich der Bühnenfelder J1 bis L1 wurde der Vorstrand nicht aufgefüllt - siehe Abb.2 (Seite 9).

Da eine gezielte großflächige Auffüllung im Unterwasserbereich zu den technisch und finanziell sehr aufwendigen Lösungen gehört, kam eine Variante zur Ausführung, die sich des natürlichen Umformungs- und Transportvermögens der Naturkräfte bedient: Die in den Vorstrand einzubringenden Sandmengen wurden in konzentrierter Form durch das Vortreiben großer Sandhöfte aufgespült, wobei man ihre Breite und Länge der Morphologie anpaßte (siehe Abb.3 oberes Bild). Wegen des relativ steil abfallenden Unterwasserhanges wurden im Bühnenfeld A-D1 zwei kurze Sandhöfte eingebaut; in den Feldern zwischen Bühne D1 und H1 ist jeweils ein Sandhöft in Feldmitte aufgespült worden; im Bühnenfeld H1-J1 wurde, wegen des zunehmend nach Osten gerichteten Längstransportes, der Sandhöft auf die westliche Drittelungsachse des Feldes verschoben - siehe [TV4].

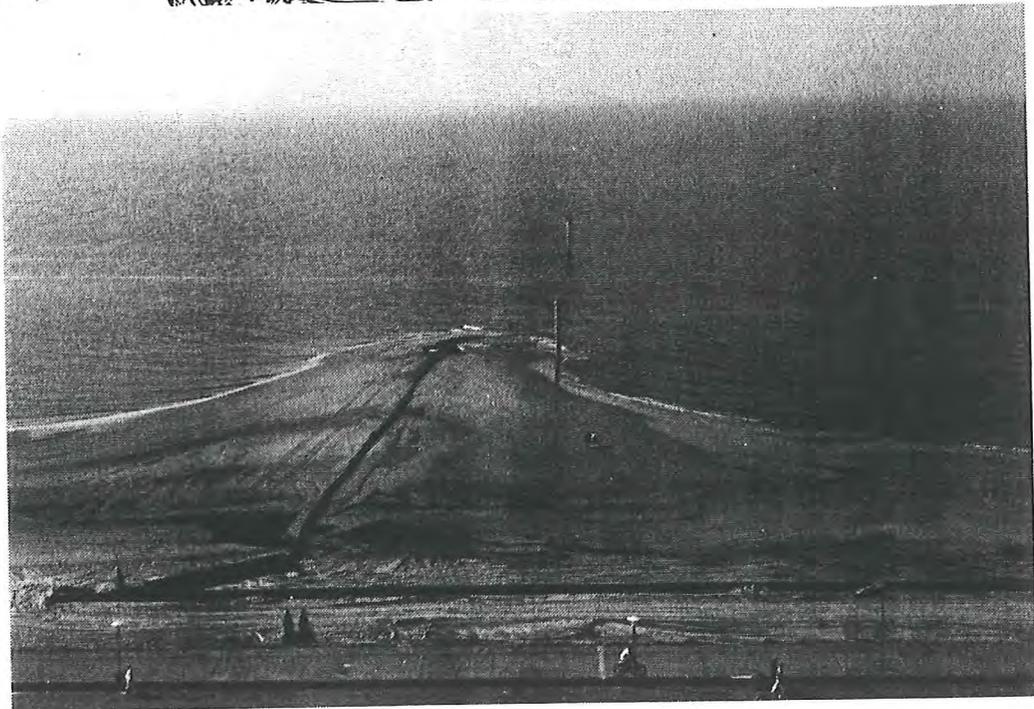
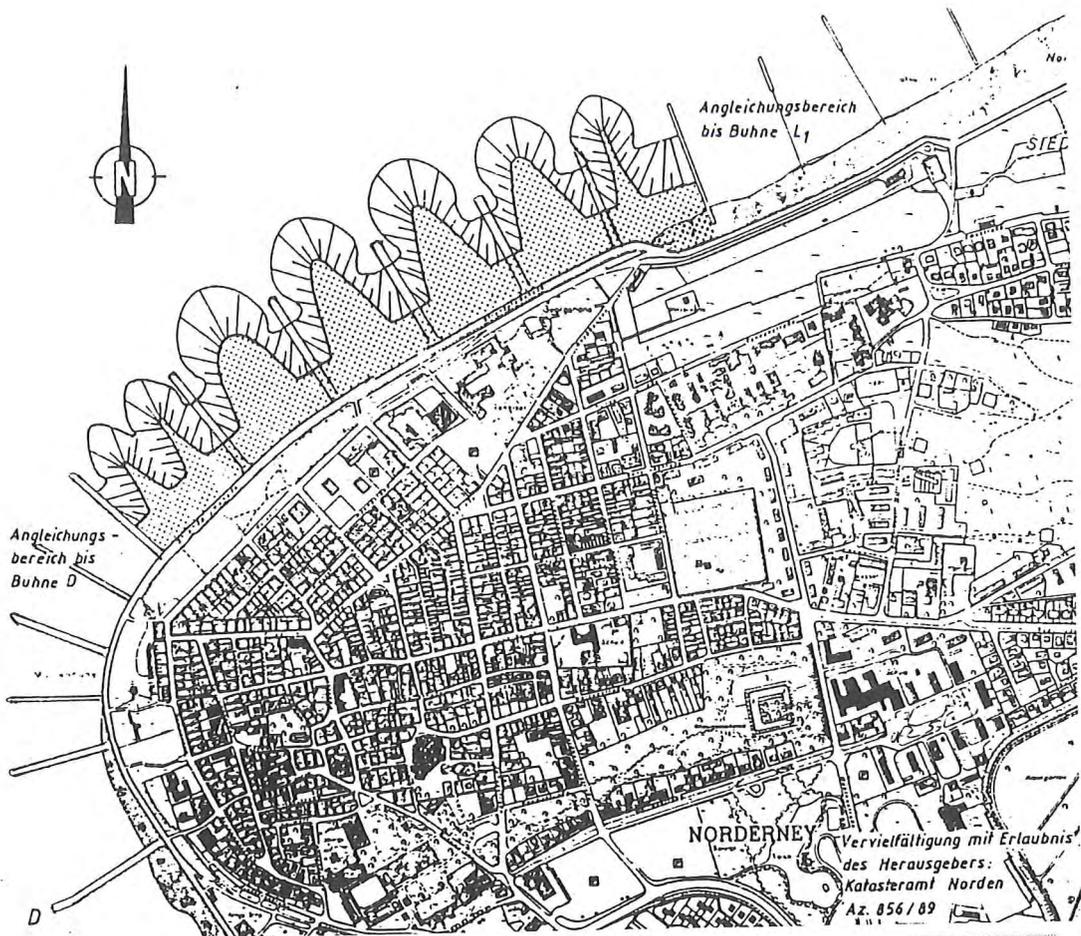
Abb.3 (unteres Bild) zeigt als Beispiel die Form des Sandhöftes im Bühnenfeld D1-E1 unmittelbar vor seiner Fertigstellung. Die Zuordnung der Auffüllung 1992 zu den vorhergehenden (seit 1951) ist bezüglich der Mengen und der Körnung des eingebrachten Sandes in der Tafel 1 ausgewiesen.

Die technische Ausführung der Vorstrand- und Strandauffüllung 1992 ist in [TV4] eingehend beschrieben. Die anfänglichen Umformungen der Auffüllbereiche in den „Ausgangszustand“, der sich weitgehend den natürlichen Bedingungen angepaßt hat (Phase A nach KUNZ & STEPHAN 1992), sind im Vierten Teilvorhaben erfaßt und unter Kostengesichtspunkten bewertet worden - siehe [TV4], Kap. 2 bis 6.

Die aus der Beobachtung und Auswertung künstlich verformter Strandprofile zuvor theoretisch abgeleitete Vorhersage, daß die Umformungen der Sandhöfte durch die Seegangs- und Strömungskräfte in den „Ausgangszustand“ innerhalb weniger Wochen erfolgen würden (siehe als Beispiel Abb.4), trat ein. Die Versuchsstrandauffüllung führte zu der praxisbezogenen Erkenntnis: „Es ist für zukünftige Aufspülungen davon auszugehen, daß mehr Gewicht auf die notwendigen Massen als auch eine geräteintensive exakte Herstellung einer berechneten Profilform zu legen ist.“ - [TV4, Kap. 8]. Diese Aussage gilt standortunabhängig und ist zu verallgemeinern (KUNZ 1990, 1993b).

Die Bewertung der Technik der Vorstrand- und Strandaufspülung“ und der am Umformungsvorgang der „Phase A“ beteiligten Massen („Anfangsverluste“) ergab (Zitat aus [TV4]):

„Das Einspülen von Sandhöften in der 1992 praktizierten Form stellt eine wirtschaftlich günstige Arbeitsweise der Vorstrandauffüllung dar und bereitet technisch keine Schwierigkeit. Die Anfangsverluste bis zum Herbst waren im Bereich der Sandhöfte groß aber lagen, relativ zur unmittelbar nach der Aufspülung im Strandkeil vorhandenen



**Abb. 3:**  
 Oben: Aufspülbereich (A - J1) mit den Sandhöften der "kombinierten Vorstrandauffüllung des Jahres 1992 - aus [TV4]  
 Unten: Sandhöft im Bühnenfeld (D1 - E1) kurz vor der Fertigstellung - aus [TV4]

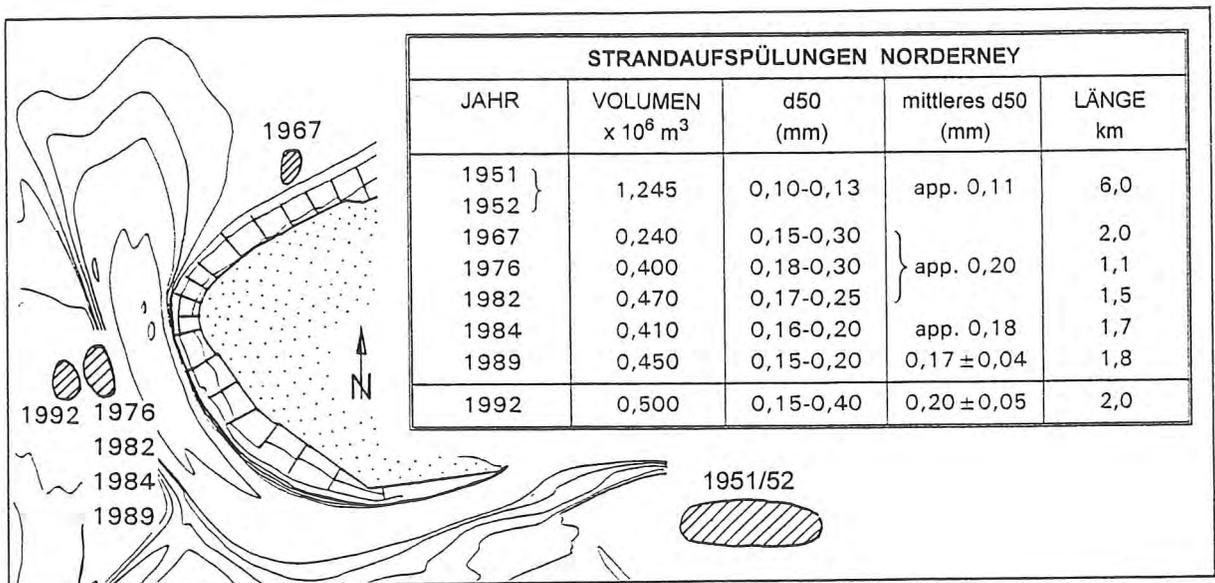
Masse, nicht wesentlich höher als nach der Aufspülung 1989; absolut waren die Verluste allerdings, der größeren eingebauten Sandmenge entsprechend, deutlich höher.

Zu einer Verringerung der Anfangsverluste haben die Sandhöfte somit nicht geführt; sie scheinen diesbezüglich eher einen ungünstigen Einfluß gehabt zu haben, sofern im Vergleich zu 1989 gleiche morphologische und hydrodynamische Verhältnisse vorgelegen haben. (Anmerkung: siehe hierzu auch Kap. 8.2 und Kap. 8.4 sowie [TV1.I]).

Eindeutige Unterschiede in der Wirksamkeit der drei verschiedenen Einbauformen konnten nicht festgestellt werden. Die Hoffnung, daß durch die Sandhöfte im Vorstrandbereich eine Art „Depotwirkung“ eintritt, hat sich nicht erfüllt. Der obere, letztlich für die Sicherheit des Deckwerkes entscheidende Strandbereich hat rasch an Höhe verloren, ohne daß zwischenzeitlich eine wesentliche Regeneration stattgefunden hat. (Anmerkung: Siehe hierzu auch Kap. 8.2 und [TV1.II]).

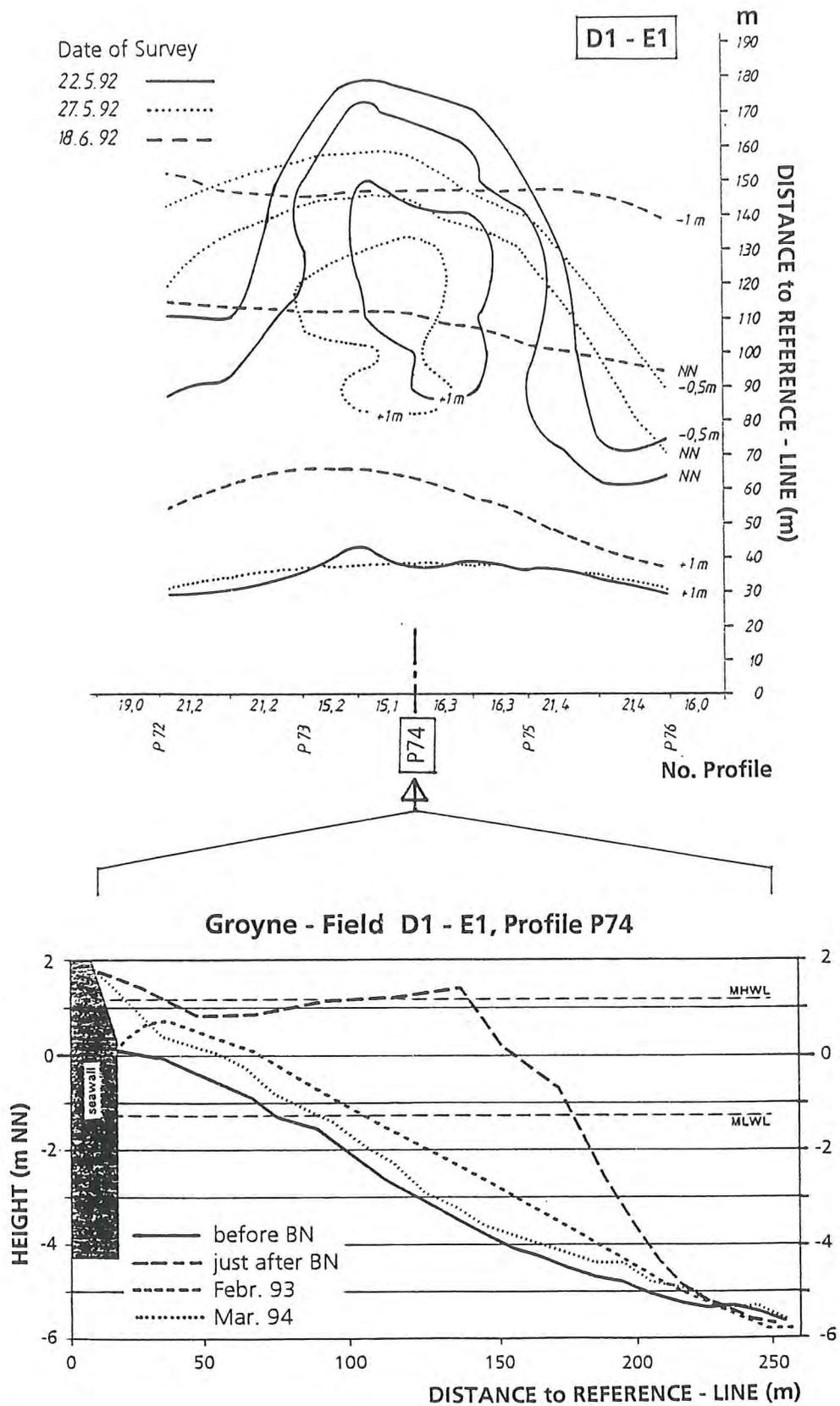
Der aus dem Divergenzbereich "verlorene" Sand hat sich durch den Längstransport positiv auf die Situation im westlichen Strandbereich ausgewirkt. Hieraus folgt, wie bereits früher festgestellt wurde (KUNZ & STEPHAN 1992), daß nachfolgende Aufspülungen relativ eng auf den Bereich mit den höchsten Verlustraten beschränkt werden können.

Aus den Angeboten zu den verschiedenen Aufspülungen geht hervor, daß generell eine Erhöhung der Einbaumengen mit einer Senkung des Kubikmeterpreises verbunden ist und im umgekehrten Falle der Preis pro Kubikmeter ansteigt, so daß eine Massenminimierung nicht generell einer Kostenoptimierung dient.



**Tafel 1:**

Angaben zu den "Sandauffüllungen" im Bereich des Westkopfes Norderney vom Beginn in 1951/52 bis 1992. In allen Jahren als "konventionelle Strandauffüllung", nur im Jahr 1992 als "kombinierte Vorstrand- und Strandauffüllung" - nach [TV4], KUNZ 1993b.



**Abb. 4:**

Oberes Bild: Umformung des Sandhöftes im Bühnenfeld D1 - E1 nach der Fertigstellung (Zustand am 22.05.1992)

Unteres Bild: Veränderung des mittigen Längsprofils (Nr. P74) - nach [TV4] aus KUNZ 1995

Insgesamt ist festzustellen, daß sich die Kosten einer Aufspülung in starkem Maße an der Marktlage orientieren und nur bedingt durch die Aufspülmenge etc. bestimmt werden.“

Die Untersuchungsziele der anderen Teilvorhaben, der Teilprojekte und der Sonderuntersuchungen bezogen sich auf die Zeit nach dem Erreichen des „Ausgangszustandes“, somit auf eine bereits so weitgehend durch die Natureinwirkungen umgeformte Strandsituation, daß „natürliche Prozesse“ und nicht die Geometrie der Auffüllung („Störung“) bestimmend für das Geschehen waren.

Durch die begleitende KFKI-Projektgruppe (siehe Kap. 2 und Anlage1) und den Verbund der Vorhaben wurde gewährleistet, daß die von allen Beteiligten benötigten Daten von der Anfangsphase („Phase A“ - Auffüllung bis hin zum „Ausgangszustand“) erhoben wurden und verfügbar waren.

## **8.2 Vergleichende „geometrische Untersuchungen“ zu Volumenänderungen (Verlusten)**

Über geometrische Untersuchungen (Volumenberechnungen) von Strand- oder Vorstrand-auffüllungen können weiterführende Erkenntnisse zum Sandtransport und zur Optimierung von Auffüllungs-Techniken gewonnen werden. Dies setzt voraus, daß man die „Bilanzräume“ in Kenntnis der jeweiligen hydrodynamisch-morphologischen Einflußgrößen orts- und zeit-spezifisch festlegt und zudem der anfängliche Umformungsvorgang in den „Ausgangszustand“ abgetrennt wird. Zudem lassen derartige Untersuchungen immer dann Rückschlüsse auf die „Physik der Prozesse“ erwarten, wenn man den Massenermittlungen geeignete Parameter zur Beschreibung der hydrographischen, morphologischen und sedimentologischen Gegebenheiten zuzuordnen vermag - KUNZ & STEPHAN 1992, KUNZ 1993b.

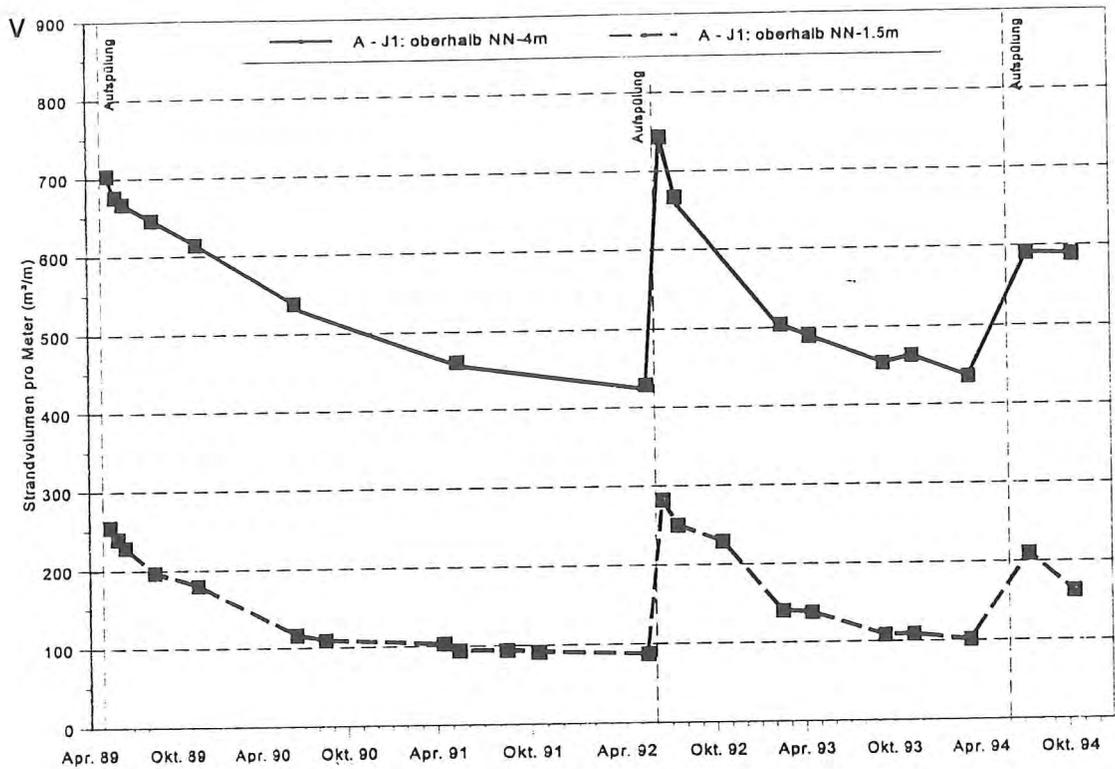
Geometrische Untersuchungen werden in diesem Projekt sowohl für die Zeitspanne bis zum Erreichen des „Ausgangszustandes“, d. h. für die Umformungen der Auffüllung („Störung“) während der „Phase A“ gemacht (siehe [TV4]), als auch für die sich daran anschließende Zeitspanne bis hin zur erneuten Auffüllung im Jahre 1994 (siehe [TV1.II] und [TV 2]). Dabei wurde die in dem vorhergehenden KFKI-Projekt „Wechselwirkungen ...“ entwickelte Methode zur Eingrenzung der sogenannten „Bilanzräume für die Volumenberechnungen“ - KUNZ & STEPHAN 1992 - verwendet. Die Volumenberechnungen wurden für Verknüpfungen mit sedimentologischen und hydrographischen Parametern benötigt (siehe [TV1.II] und [TV2]). Ziel dieser Untersuchungen war es aber auch, die Vorstrand- und Strandauffüllung des Jahres 1992 mit den vorhergehenden Strandauffüllungen vergleichend zu analysieren und zu bewerten.

Die Abb.5 nach [1.II] zeigt am Beispiel des Bühnenfeldebereichs zwischen Bühne A und I (siehe Abb.2) die Ganglinien für Volumeninhalte im „Bilanzraum“ oberhalb der Bezugshorizonte NN - 1,5 m bzw. NN - 4,0 m (oberes Bild) und in „Lamellen“ von einem Meter Dicke (unteres Bild) jeweils aufgetragen über der Zeitachse (ab Apr. 89). Die erneute Auffüllung im Sommer 1994 ist deutlich erkennbar. Die Abb.6 weist entsprechende Volumenwerte für lediglich ein Bühnenfeld (D1-E1) aus, und zwar als Vergleichsdarstellung für die Zeitspannen „Auffüllung 1989 bis Anfang der Auffüllung 1992“ und „Auffüllung 1992 bis Anfang der Auffüllung 1994“. Die Umformung des „Auffüllstörkörpers“ („Sandhöft“) in eine naturangepaßte Morphologie war 1992 nach etwa einem Monat zum größten Teil, und nach etwa zwei Monaten nahezu abgeschlossen [TV4]. Es ist somit möglich, die Dauer der „Phase A“ zu 60 Tagen festzulegen. Damit steht für Vergleichsuntersuchungen eine Zeitspanne von nur etwa 400 Tagen (rd. 13 Monaten) zur Verfügung. Diese Zeitspanne ist zu kurz, als daß eine vergleichende Zuordnung zu dem von KUNZ & STEPHAN 1992 veröffentlichten funktionalen Zusammenhängen (Volumendifferenz-Größen) für den Norderneyer Westkopfabschnitt sinnvoll möglich war.

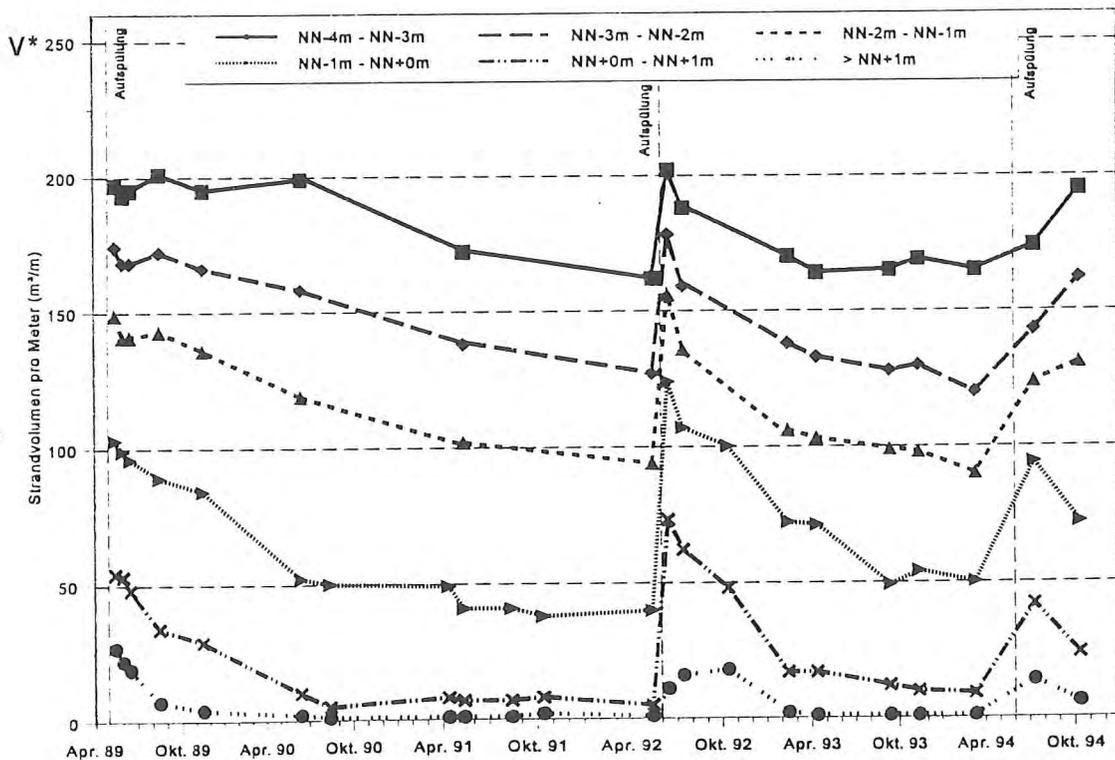
Festzustellen ist für die mit Abb.5 und Abb.6 beispielhaft dargestellten Vergleichszeitspannen, daß eine unmittelbare vergleichende Bewertung nicht möglich ist. Die Schlußberichte, die sich originär mit dieser Fragestellung befassen - [TV1.II], [TV2], [TV4] - enthalten weitere Belege für diese Einschränkung.

Es wurden daher vergleichende Auswertungen zwischen mittleren und Sturmflut-Wasserständen vorgenommen; sie ergaben, daß eine geringere Langzeitwirkung der „kombinierten Strand- und Vorstrandauffüllung“ gegenüber der traditionellen Methode der Strandauffüllung nicht nachweisbar war [TV1.II]. Dieses Norderney-spezifische Ergebnis darf nicht zu der Verallgemeinerung führen, daß eine „Vorstrandauffüllung“ oder deren „Kombination mit einer Strandauffüllung“ keine weiter zu verfolgende Methode sei. Hinweis: Die Ergebnisse des NOURTEC-Projektes, die eine vergleichende Betrachtung der Norderney-Ergebnisse mit Untersuchungsgebieten in den Niederlanden und Dänemark ermöglichten, ließen die standortbezogenen Anwendungsmöglichkeiten und potentiellen Vorzüge erkennen -siehe Anhang B und Schrifttum in den Anlagen4 und 5.

Festzustellen ist, daß es richtig war, das KFKI-Projekt auf die Erkundung der Sandtransportprozesse durch interdisziplinär vernetzte Naturmessungen/Untersuchungen auszurichten und sich nicht weiterhin auf Volumen-Bilanzierungen zu konzentrieren, wie dies weltweit bei begleitenden Untersuchungen zu Strandauffüllungen geschieht.



**Abb. 5.1:** Entwicklung des Strandvolumens (V) oberhalb NN -4 m bzw. NN -1,5 m zwischen den Bühnen A und J1 (Nordweststrand) - aus [TV 1.I]

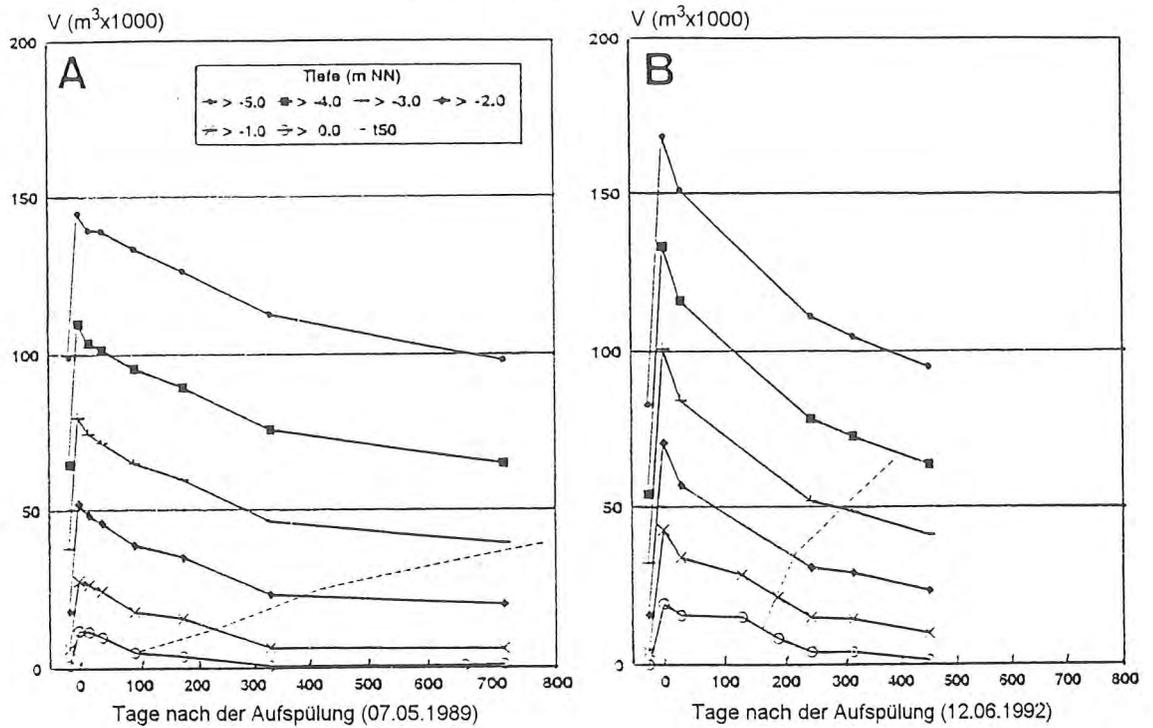


**Abb. 5.2:** Entwicklung des Strandvolumens in Höhenschichten (V\*) zwischen den Bühnen A und J1 (Nordweststrand) - aus [TV1.II]

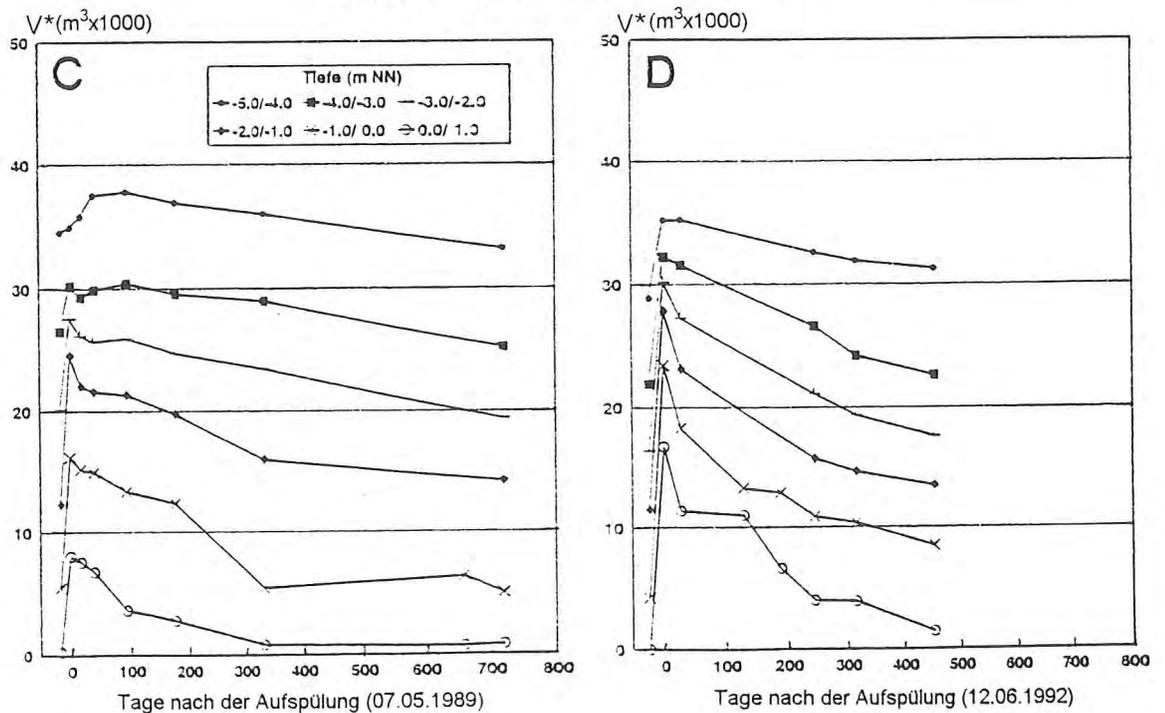
## Strandauffüllung 1989

## Strandauffüllung 1992

### Sedimentvolumen oberhalb verschiedener Tiefenlinien



### Sedimentvolumen zwischen verschiedenen Tiefenlinien



**Abb. 6:**

Zeitliche Entwicklung des Sedimentvolumens  $V$  bzw.  $V^*$  nach der Auffüllung des Bühnenfeldes D1 - E1 im April 1989 und nach der Auffüllung im Mai 1992 - aus [TV2].

### 8.3 Beispiele zum Einsatz innovativer elektronischer Meßverfahren

Das Projekt enthält umfassende Naturmessungen, die sich auf eine Vielzahl von Fachdisziplinen bzw. Teilprobleme beziehen: Beispielsweise Meteorologie [TV3], Hydrographie [TV1, SU1, SU2], Bodenkunde/Sedimentologie [TV2, TP1, SU1, SU2], äolischer Sandtransport [TV4], seegangs- und tideinduzierter Sandtransport [T1, TV2, TP1, TP2, SU1, SU2]. Im Folgenden wird auf Meßverfahren (mit elektronischer Meßwertaufnahme und Verarbeitung) eingegangen, die sich noch in der Entwicklung befinden, deren Eignung zu testen war, die erstmalig unter Tidebedingungen eingesetzt wurden. Daneben wurden zahlreiche Meßverfahren verwendet, bei denen keine Elektronik zum Einsatz kommt; es handelt sich dabei sowohl um bewährte Verfahren, aber auch um solche die innovativ sind - beispielsweise „Suspensionsfalle“ [SU2], „Umlagerungsanzeiger“ [TV2], [SU2], „Farbsandkörpermethode“ [TV2], „Reliefguß-methode“ [TP1].

#### 8.3.1 Äolischer Sandtransport

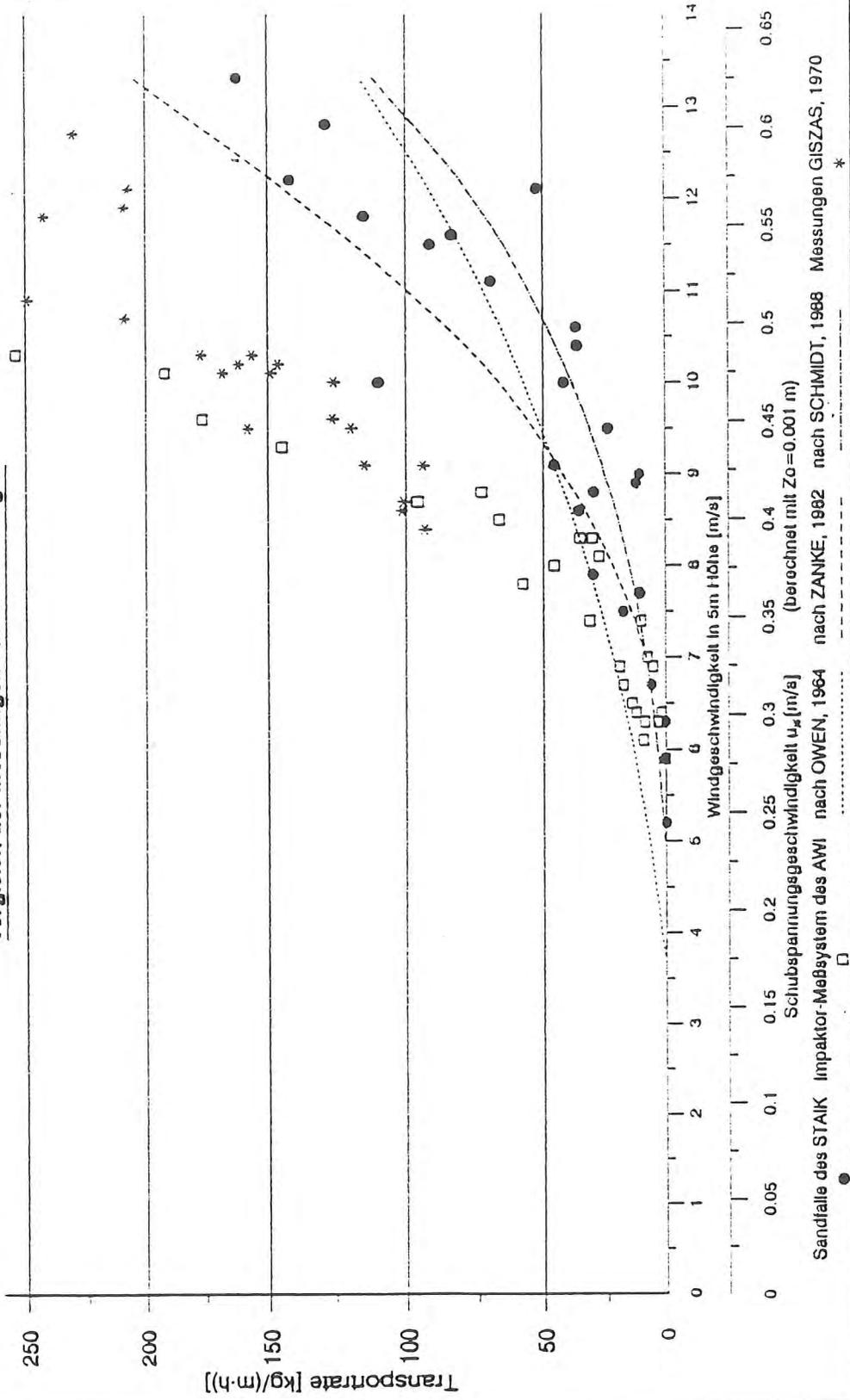
Untersuchungen zum äolischen Sandtransport waren eine Sonderaufgabe des vierten Teilvorhabens. Ergebnisse sind in [TV4] - siehe Kap. 2 sowie Anlage und Anhang A - dargestellt. Es wurde eine vom StAIK entwickelte „Sandfalle“ erfolgreich eingesetzt und mit dem „Impaktor-Meßsystem“ des Alfred Wegner Instituts (AWI) verglichen - ERCHINGER & KNAACK 1995. Die im AWI-Arbeitsbericht (WAMSER et al 1993) zusammengestellten Ergebnisse sind in [TV4] mit eingeflossen. Abb.7 zeigt einen Vergleich zwischen Messungen und Berechnungen. Eine abschließende Bewertung der Unterschiede war im Rahmen dieser Untersuchungen nicht möglich - Diskussion siehe [TV4]. Festzustellen ist: Die Meßergebnisse ordnen sich, wenngleich auch mit großer Streuung, den auf die Strandverhältnisse Norderneys angepaßten funktionalen Ansätzen zu; eine verlässliche Berechnung, d. h. über eine grobe Abschätzung hinausgehend, ist darüber jedoch nicht möglich, weil erhebliche, bislang unerklärbare Abweichungen zu veröffentlichten Ergebnissen vergleichbarer Untersuchungen bestehen.

Der äolische Sandtransport hat einen so geringen Anteil an den im Projekt zu untersuchenden wasserbezogenen Transportmengen (Strand- und Vorstrand), daß er gegenüber diesen vernachlässigbar ist.

#### 8.3.2 Sandstandspegel

Im Projekt konnte der „Sandstandspegel“ der Fa. SANYO SOKKI, ein mit optischen Sensoren ausgestattetes Gerät zur quasi kontinuierlichen Registrierung der Höhenänderungen des Strandes, eingesetzt werden. Das Gerät hat sich grundsätzlich als geeignet erwie-

**Äolischer Sandtransport**  
**Vergleich der Messungen mit Berechnungen**



**Abb. 7:** Äolischer Sandtransport - Vergleich zwischen Messungen und Berechnungen - aus [TV4].

sen; bei höheren brechenden Wellen gerät es in Schwingungen; es besteht dann die Gefahr der Zerstörung bzw. des Verlustes durch Herausspülen aus dem Sand.

Abb.8 zeigt den Pegel (oberes Bild) und ein Aufzeichnungsbeispiel (unteres Bild). Bei der Interpretation der Meßwertregistrierung ist zu beachten, daß mit einem Abstand der Sensoren von 2,5 cm die vertikale Auflösung des Pegels relativ gering ist und damit Differenzbildungen zwischen zwei Messungen eine Unsicherheit von fast 5 cm enthalten. Die von MANZENRIEDER & SNIPPE 1991 erwähnte „Noniusfunktion“ der Anzahl der registrierten Impulse im Grenzbereich „Boden - Wasser“ zur Höhenabschätzung zwischen den Sensoren konnte nicht bestätigt werden - siehe [SU1].

Die Messungen des Pegels werden dadurch beeinträchtigt, daß sich um den Pfahl ein Kolk bildet. Dessen Tiefe betrug beim Trockenfallen (Niedrigwasser) etwa 3 bis 4 cm; vermutlich verändert sich der Kolk bei entsprechend wechselnden Strömungsverhältnissen. Zum weiteren wurden häufiger einzelne Sensoren durch in der Nut verklemmte Muschelbruchstücke blockiert, was zu einer Fehlanzeige der Wasser-Boden-Grenze führt. Dieser Fehler konnte jedoch in den meisten Fällen anhand der Daten erkannt und eliminiert werden - [SU1], Kap. 2.2 und Kap. 3.2.

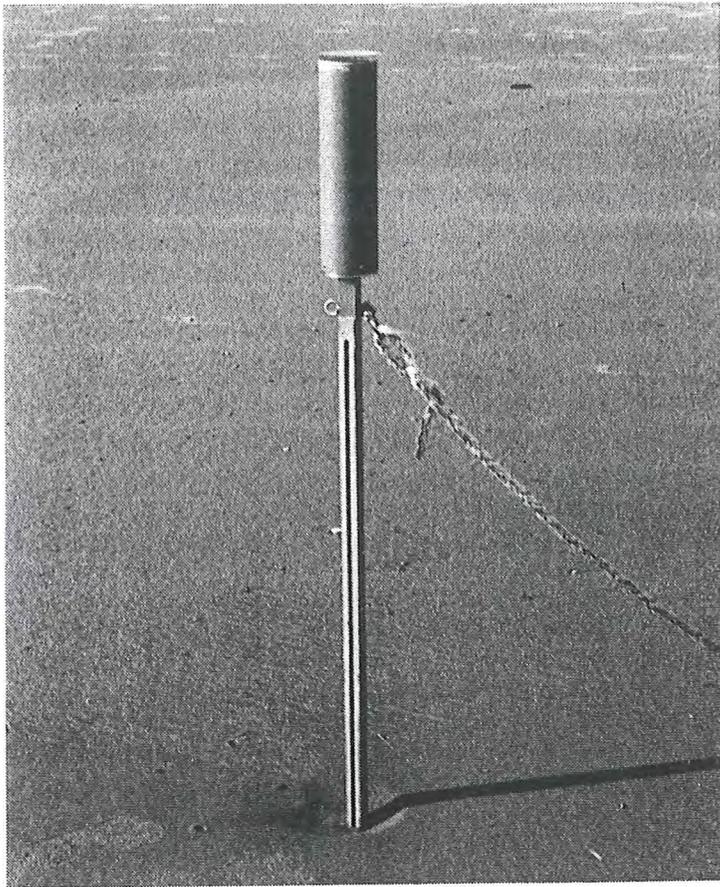
### **8.3.3 Hydro Dynamic Sensor (HDS) - Paket**

Der Sensor ist in [TP2] beschrieben. Zusammen mit einer problemspezifisch zuzuordnenden Software dient er der meßtechnischen Darstellung von Turbulenzen, Reynoldsspannungen, Stoffströmen im Wasser-Sand-Grenzschichtbereich. Diese Darstellungen sind wichtig, um hydrodynamisch-morphologische Prozesse beschreiben und verstehen zu können. Hierauf aufbauend können dann Modelle für Anwendungen im Küsteningenieurwesen verbessert oder neu entwickelt werden.

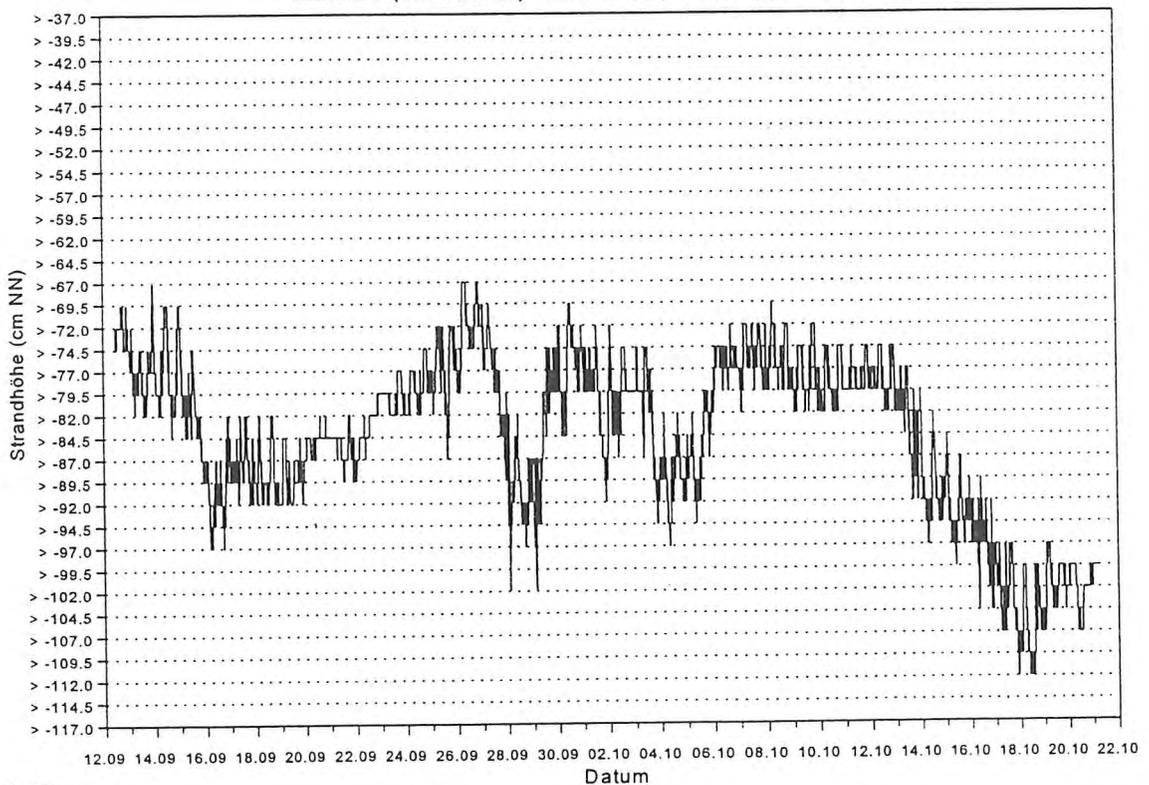
Es gelang, die hochfrequente Messung der Strömungsgeschwindigkeiten im Grenzschichtbereich (siehe Beispiel der Abb.9) sowie die Berechnung der „Wandschubspannung“ in Zuordnung zur Bodenbewegung. Es konnten die angestrebten Fortschritte für den Natureinsatz der Meßtechnik und bei der Modellentwicklung erzielt werden; es sind aber technische Weiterentwicklungen notwendig - siehe [TP2], Kap. 4, Anl.2 und Anhang A.

### **8.3.4. Sandstands-Druckmeßdose**

Im Rahmen der Deutsch-Russischen Meßkampagne (SU2 - siehe auch Kap.8.6) wurden „Sandstands-Druckmeßdosen“ erfolgreich eingesetzt. Ein Ergebnis-Beispiel zeigt Abb.10. Der Meßwertgeber ist robust und für Naturmeßeinsätze zur Darstellung morphologischer Änderungen gut geeignet - siehe auch Literaturhinweise der Anlagen4 und 5 sowie Anhang A.



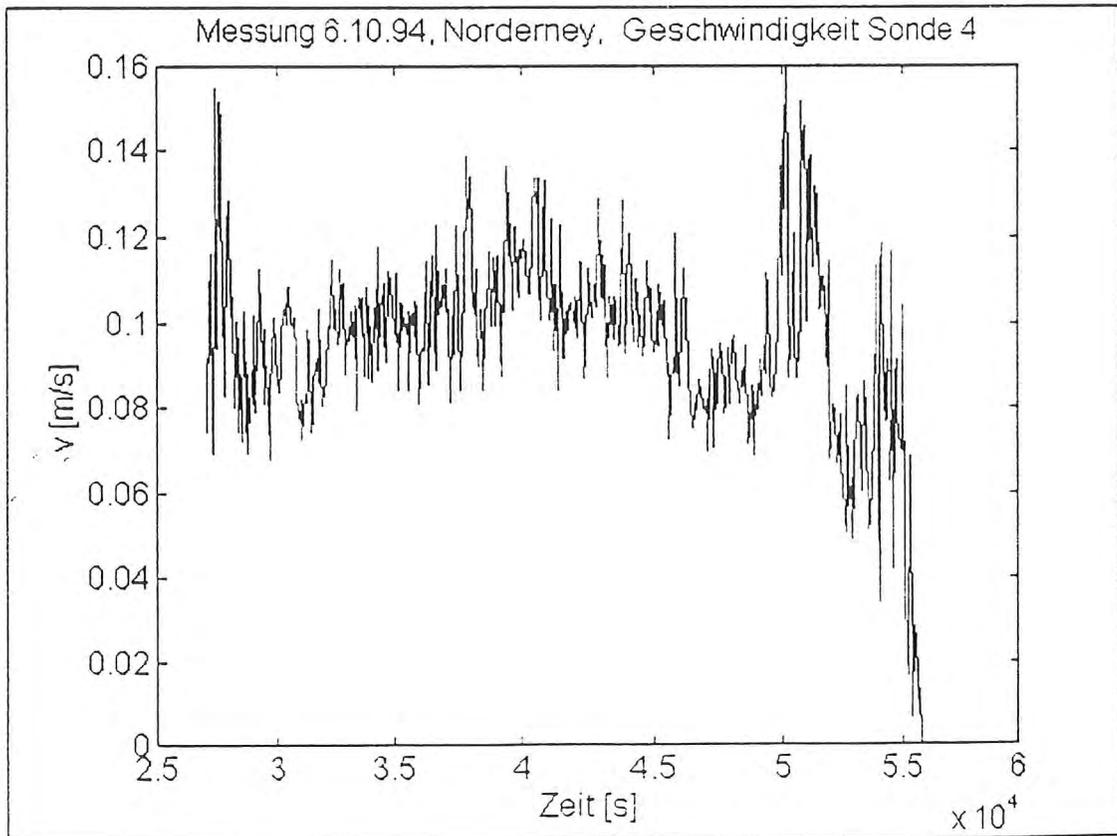
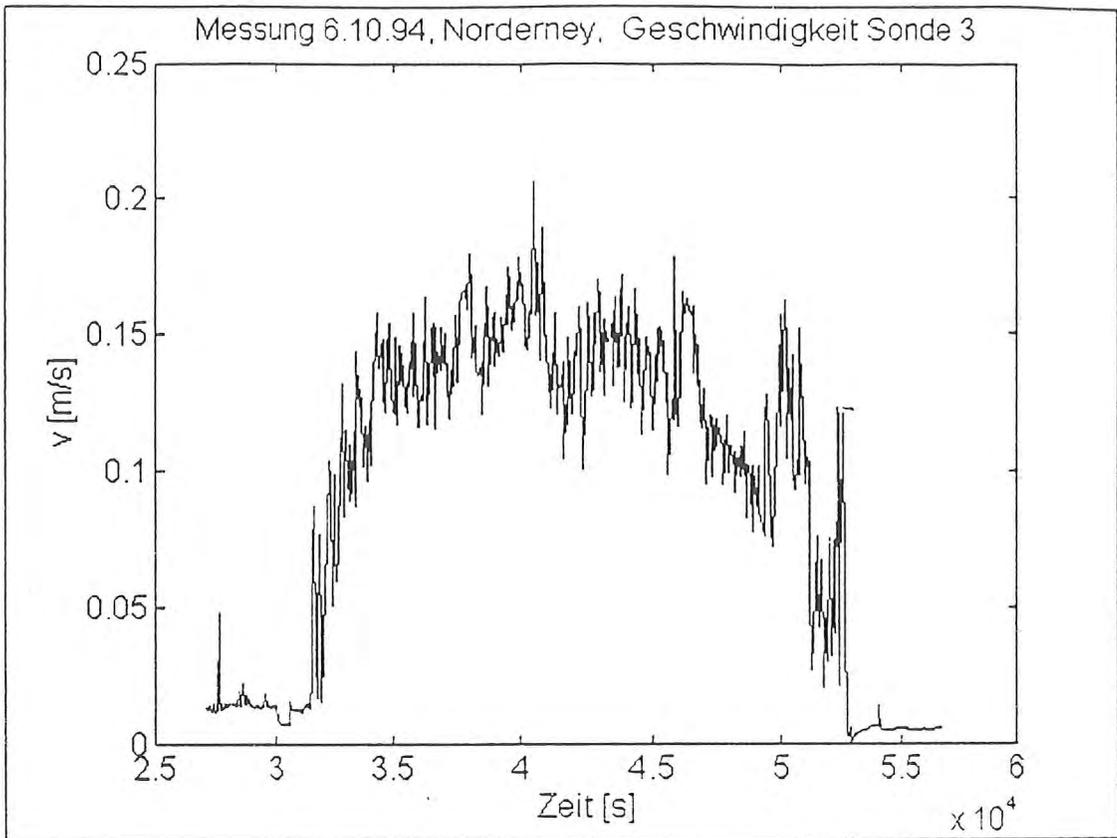
12.09.94 (10:45 Uhr) - 21.10.94 (7:40Uhr) Meßintervall: 10 min.



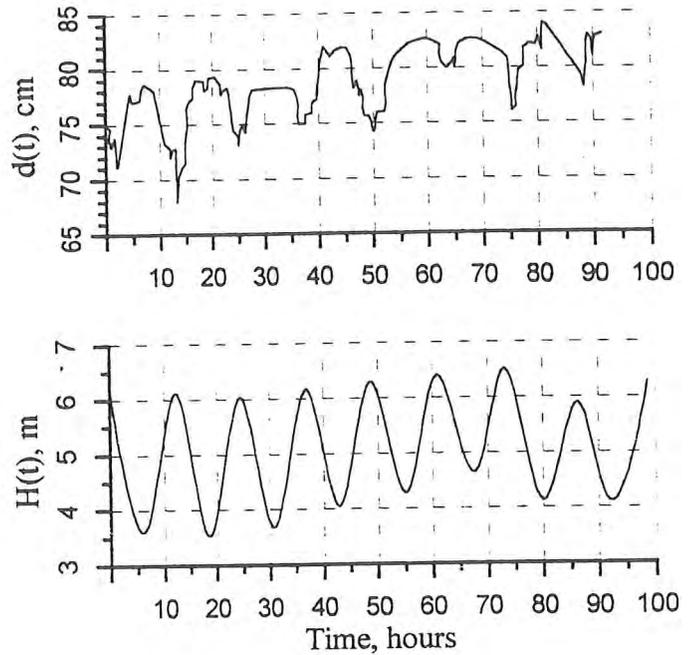
**Abb. 8:**

Oberes Bild: Sandstandpegel der Fa. Sanyo Sokki

Unteres Bild: Beispiel für die mit dem "Sandpegel" erfolgte Registrierung der Höhenänderungen des Strandes im Hauptmeßfeld D1 bis E1 - aus [SU1].



**Abb. 9:**  
Aufzeichnungsbeispiele für Geschwindigkeits-Messungen mit dem "HDS-Paket" - aus [TP2]



**Abb. 10:**

Links: Sandstand-Druckmeßdose

Rechts oben: Aufzeichnungsbeispiel: Strandhöhen  $d(t)$  in cm über der Druckmeßdose

Rechts unten: Tidewasserstand  $H(t)$  in m NN über eine Beobachtungsdauer von 90 Stunden - aus KOS'YAN et.al. 1997.

### 8.3.5 Turbidimeter

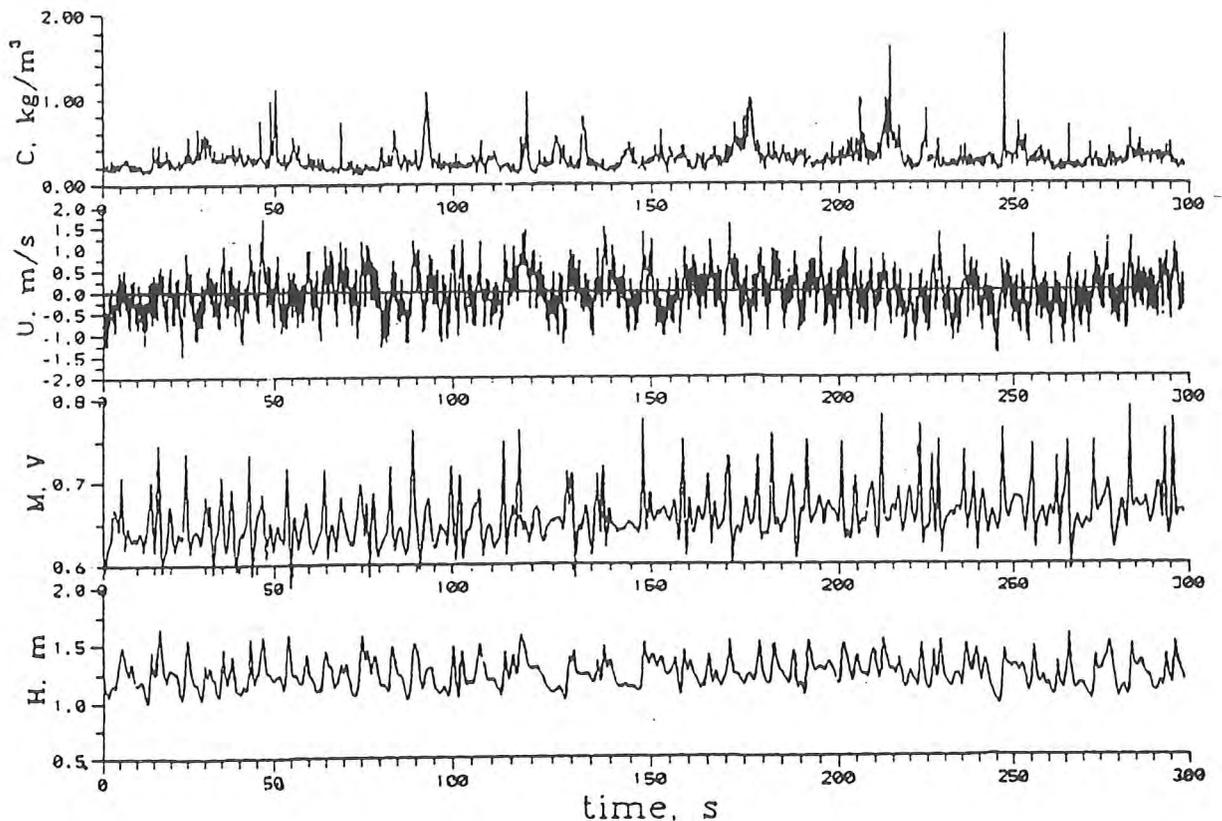
Ein besonderes Problem stellt die Messung der in Schwebelage befindlichen Feststoffpartikel dar. In den Sonderuntersuchungen SU2 konnte ein von den russischen Partnern entwickeltes elektronisches Meßgerät („Turbidimeter“) in der Brandungszone erfolgreich eingesetzt werden - siehe [SU2] sowie Anlage4, 5 sowie Anhang A .

Durch die Kombination mit den Strömungssensoren des von der Forschungsstelle Küste betriebenen „Meßnetz Norderney“ - siehe [TV1.II] - gelang es, der suspendierten Feststoffmenge die Strömungsgeschwindigkeits-Komponenten und den Wasserstand (Seegang) in hoher zeitlicher Auflösung (18.2 Hz) zuzuordnen. Die Abb.11 gibt ein Beispiel in dem auch das Informationssignal der „Sandstands-Druckmeßdose“ (siehe Pkt. 8.3.4) mit aufgenommen ist - siehe auch Kap. 8.6.

## 8.4 Parametrisierungen

### 8.4.1 Beispiel „Hydrographie“

Die vom Seegang auf den Vorstrand- und Strand übertragenen Kräfte sind die wesentliche Einflußgröße für die Mobilisierung des Sandes; der Transport im Grenzschichtbereich

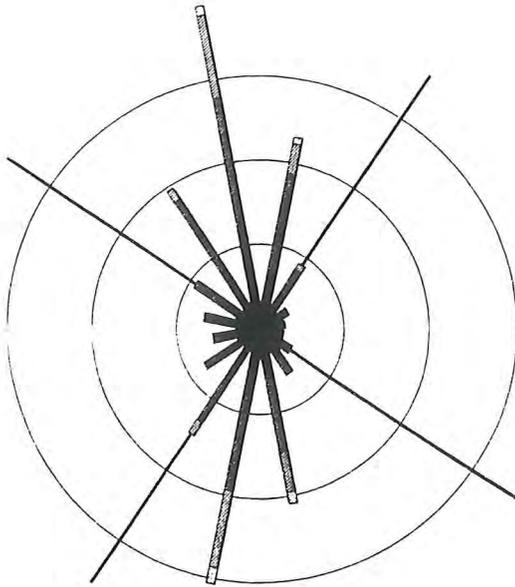


**Abb. 11:**

Synchrone hochauflösende Meßwertdarstellung für die im Wasser (5 cm über Grund) suspendierte Sedimentmenge ( $C$ ), die Strömungsgeschwindigkeit senkrecht zum Strand ( $U$ ), das Meßsignal der Sandstands-Druckmeßdose ( $M$ ,  $V$ ) und des Wasserstandes ( $H$ ) - aus [SU2].

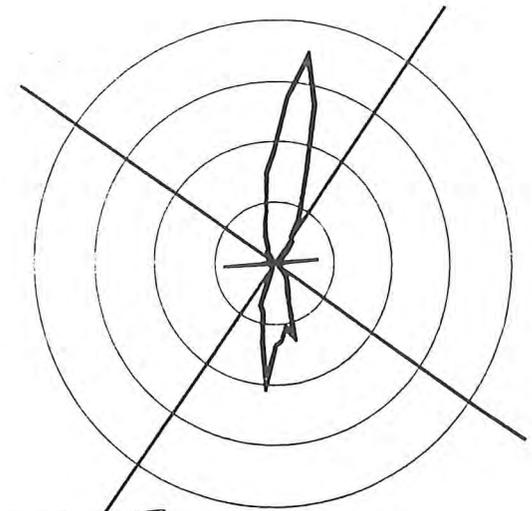
„Sohle/Wasser“ und im Wasser selbst erfolgt durch die vom Seegang induzierten turbulenten Strömungen in Überlagerung mit den Tidenströmungen. In [TV 1.II] sind diese Vorgänge auf der Grundlage umfangreicher Messungen erfaßt und analysiert worden. Die Aufzeichnungen der Meßdaten mit hoher zeitlicher Auflösung (11.8, Hz) gestattet auch eine realistische Reproduktion hochfrequenter Vorgänge in der Brandungszone bis in die Bereiche der Turbulenzstrukturen seegangs- und brandungsinduzierter Strömungen. Der Einfluß der unterschiedlichen Seegangsperioden - einschließlich der langperiodischen Anteile im Infrarbereich (mehrfache Periodendauer als diejenige des winderzeugten Seegangs), die auf Wellengruppeneffekte zurückzuführen sind und auch als Sekundärererscheinungen von brandenden Wellen erzwungen werden - wurde für normale und für Sturmflut-Tiden aufgezeigt und quantifiziert -siehe auch [SU2].

Die für die Analyse von Zeitreihen des Seegangs oder der Tidenströmungen üblichen Reduktionen auf kennzeichnende Mittelwert-Parameter sind ungeeignet, da jede dieser Mittelungen - wegen der starken Variabilität der seegangs- und brandungsinduzierten Strömungsfelder auf Stränden - mit hohen Informationsverlusten verbunden sind. Daher



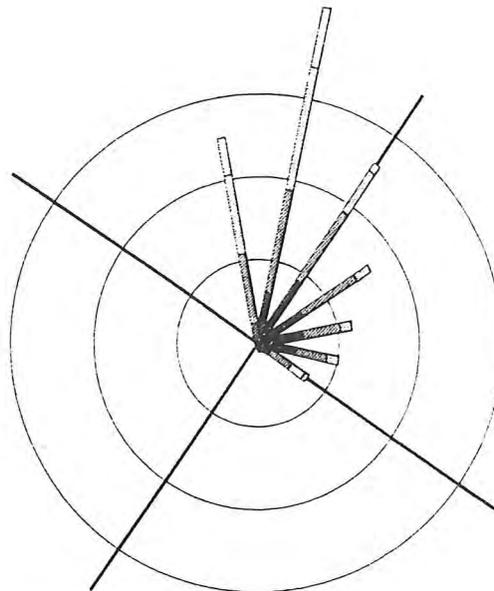
Häufigkeiten    Geschwindigkeitsklassen

**Abb. 12:** Stromstärkerose mit Unterteilung in Geschwindigkeitsklassen



Energiedichte der Strömungen

**Abb. 13:** Richtungsspektrum der Energiedichte der Strömungen



Häufigkeiten    Geschwindigkeitsklassen

**Abb 14:** Resultierende Stromstärkerose

**Abb. 12 bis 14:**

Beispiele jeweils für die gleiche Meßzeitpanne von 20 Minuten Dauer - aus [TV1.II].

war es erforderlich, zu einer hinsichtlich ihrer Gesamtwirkung bewertbaren Analyse und Parametrisierung der seegangs- und brandungsinduzierten Strömungen zu gelangen (NIEMEYER 1991). Hierfür wurden zum einen für Zeitreihen von zwanzig Minuten richtungsklassifizierte Geschwindigkeitsverteilungen aller erfaßten Strömungsvektoren für Sektoren ( $22,5^\circ$ ) erstellt und graphisch in Form von Stromstärkerosen aufgetragen (Abb.12). Dieses Verfahren gestattet es, ohne filternde Mittellung die Gesamtwirkung der seegangserzeugten Strömungsfelder darzustellen.

Als eine weitere Parametrisierung zur Darstellung der räumlichen Verteilung der Strömungsintensität wurden Richtungsspektren der Energiedichte der Strömungen ermittelt (Abb.13). Darüber hinaus wurden zur Verdeutlichung der richtungsmäßig überwiegenden Wirkung der seegangs- und brandungsinduzierten Strömungen „resultierende Stromstärkerosen“ erstellt, bei denen der Anteil gleichstarker gegenläufiger Strömungen näherungsweise eliminiert ist (Abb.14).

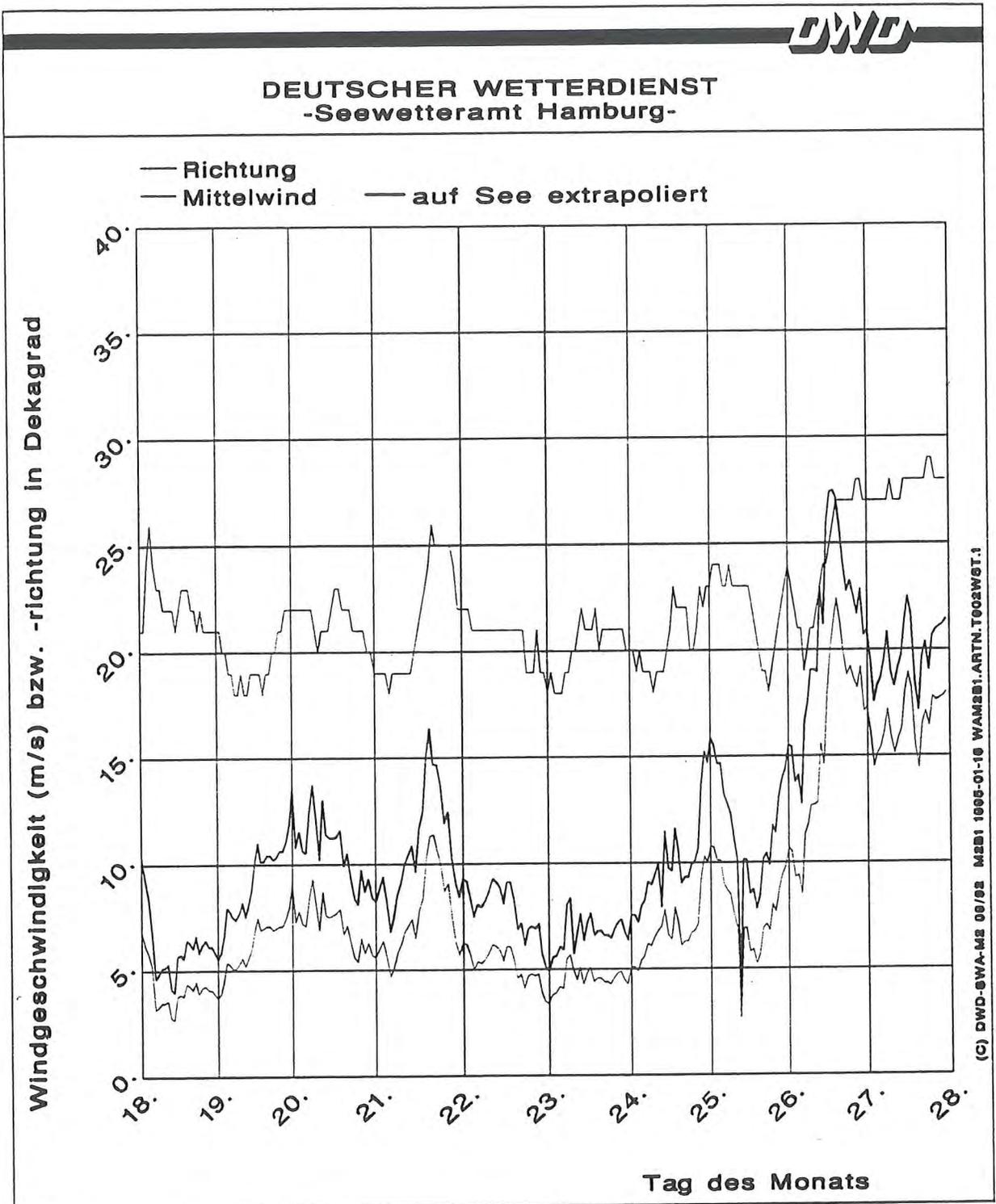
Als ergänzende Parametrisierung wurden für die küstenparallelen und die küstennormalen Komponenten der Strömungen die als „gewichtete, kennzeichnende Mittelwerte“ definierten Anteile der Meßwerte bestimmt. Dabei wurden auch Filterungen vorgenommen, um Einwirkungen langperiodischer Vorgänge, beispielsweise Infrarwellen, erkennen zu können.

Die Analyse und Parametrisierung der Seegangsdaten erfolgte sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich. Die flächenbezogenen Anwendungen der hydrographischen Parameter wurden durch die Kombination mit Strandvermessungen und darauf gestützte Berechnungen der Erosions- bzw. Sedimentationshöhen sowie der Sedimentbilanzen möglich - siehe [TP1.II], Kap. 6 und [TP2].

#### **8.4.2 Meteorologie**

Den meteorologischen Untersuchungen lag die Fragestellung zugrunde, wie Windmessungen von Landstationen für die freie See (oder auch für weitere Landpunkte) mit anderen topographischen Verhältnissen verwendet werden können. Neben der statistischen Auswertung der Windmessungen konnten mit Hilfe eines dreidimensionalen (Wind)Strömungsmodells die orographisch bedingten Veränderungen des Windfeldes in Abhängigkeit von der Windrichtung bestimmt und durch eine Parametrisierung als „Umrechnungsfaktoren“ dargestellt werden. Mit Hilfe dieser Faktoren war es möglich, eine Bereinigung gemessener, zum Teil topographisch stark beeinflusster Windwerte, vorzunehmen und diese auf den Seebereich vor Norderney umzurechnen. Das Verfahren ist auf andere Standorte übertragbar - siehe [TV3]. Die Abb.15 zeigt beispielhaft ein Ergeb-

nis für die Umrechnung von Land auf See. Eine Anwendung auf die Thematik „Vorstrand- und Strandveränderungen“ ist im folgenden Kapitel dargestellt.



**Abb. 15:** Zeitreihen der Windstärke an der Wetterstation "Norderney" und der hieraus berechneten Werte "auf See" für den Februar 1990. Zusätzlich ist für die Wetterstation die Windrichtung mit angegeben - aus [TV3].

### 8.4.3 Praxisbezogene Anwendung hydrographischer und meteorologischer Parametrisierungen

Wird das Seegangsklima unmittelbar am Strand erfaßt, so erbringt dies gegenüber Messungen im Küstenvorfeld den Vorteil, daß die vielfältigen Variationen in der Verformung des Seegangs auf dem Weg vom Küstenvorfeld bis hin zum Strand exakt erfaßt werden. Dem steht der Nachteil gegenüber, daß kontinuierliche Messungen im Strandbereich einen erheblichen Aufwand erfordern, längere Ausfallzeiten durch Eisgang unvermeidlich sind und Ausfallzeiten ebenfalls durch die Auffüllmaßnahmen entstehen. Es ist daher sinnvoll, Messungen zur Erfassung des mittelfristigen Seegangsklimas im Küstenvorfeld oder Vorstrandbereich durchzuführen und diese dann auf den Strandbereich umzurechnen.

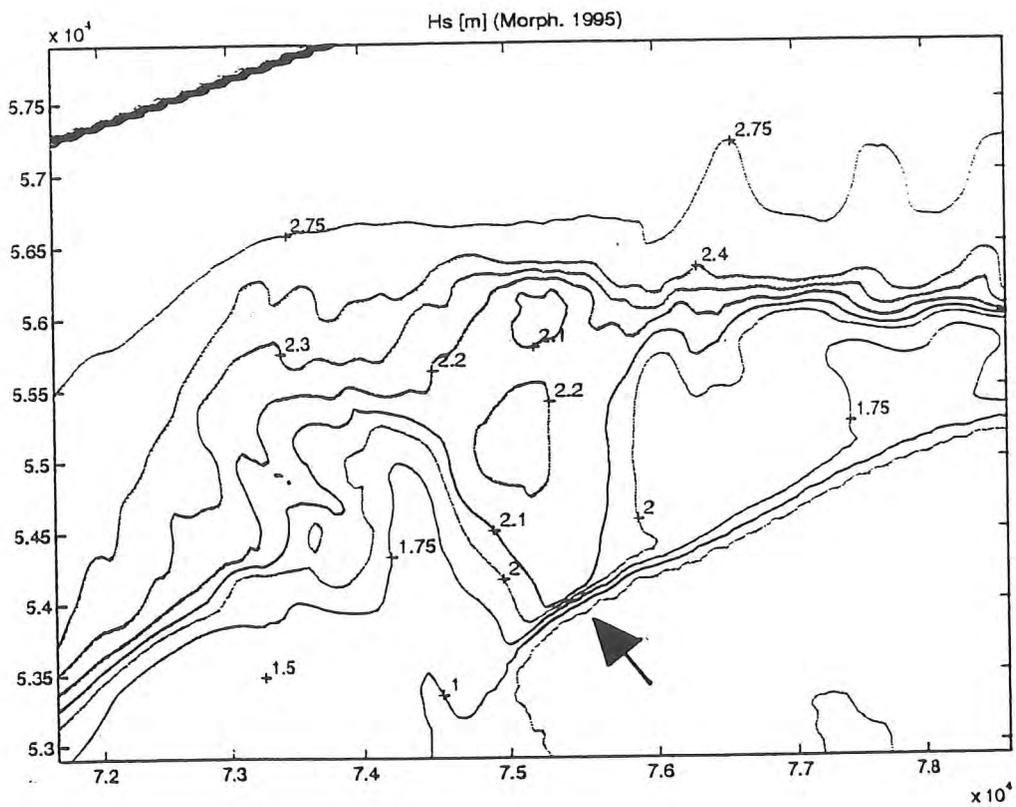
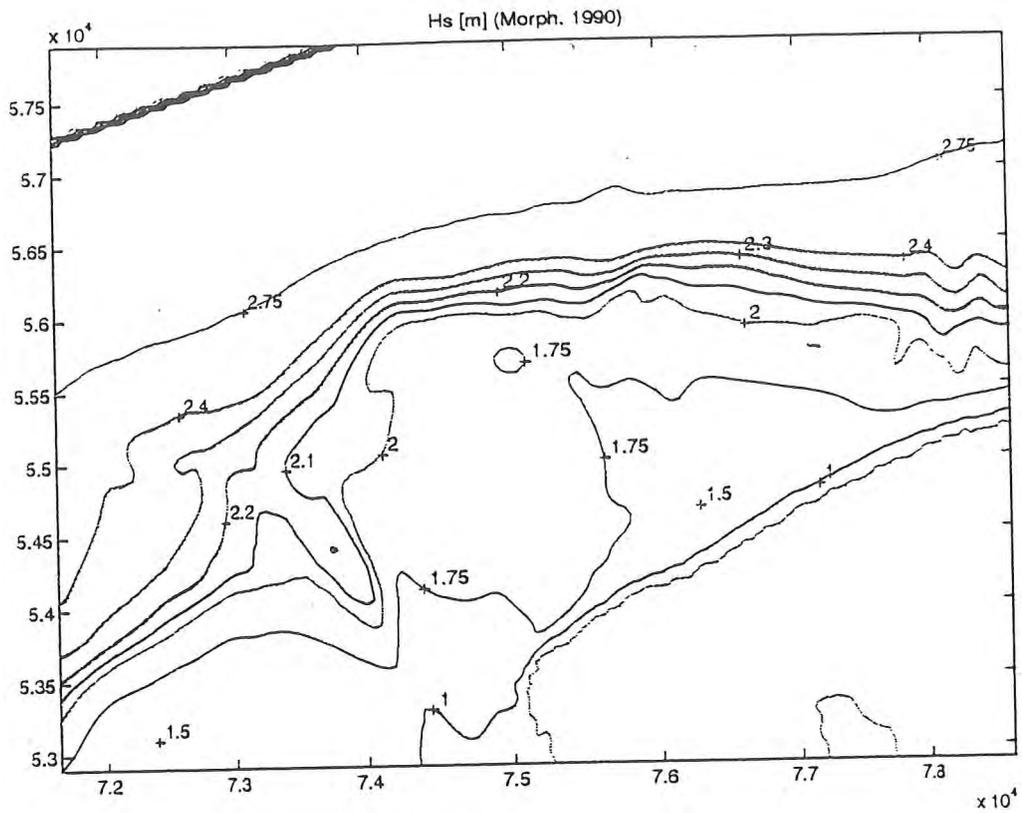
Für langfristig ausgerichtete Untersuchungen bietet es sich an, den Seegang im Küstenvorfeld auf der Grundlage von Winddaten zu berechnen, die über Messungen an Landstationen ermittelt wurden. Für die genannten Berechnungen kann man die in Kap. 8.4.1 und 8.4.2 angesprochenen Parametrisierungen verwenden.

Abb.16 zeigt ein Beispiel für Seegangsberechnungen mit dem HISWA-Modell, denen gemessene Eingabewerte im Küstenvorfeld zugrunde liegen - siehe [TV1.II], Kap. 7. Das Beispiel veranschaulicht den Einfluß der Riffbogen- und Vorstrand-Topographie auf den Seegang im Strandbereich: Deutliche Zunahme 1995 gegenüber 1990 in dem mit einem Pfeil gekennzeichneten Strandabschnitt. Anmerkung: Diese Veränderungen müssen bei einer vergleichenden Bewertung der Norderneyer Strandauffüllungen (Kap. 8.2) in angemessener Weise berücksichtigt werden.

### 8.5 Flächenbezogene Untersuchungen

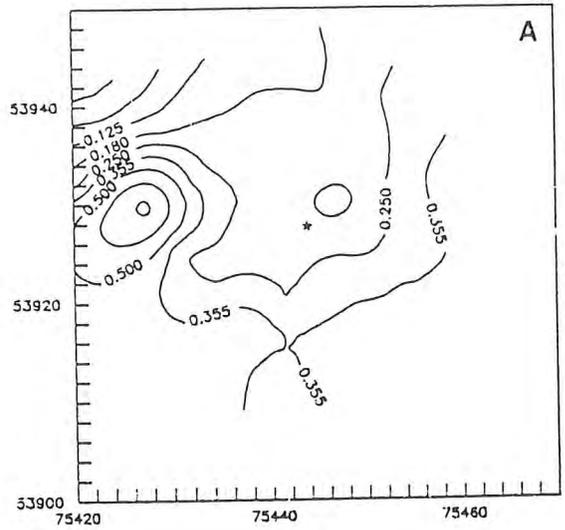
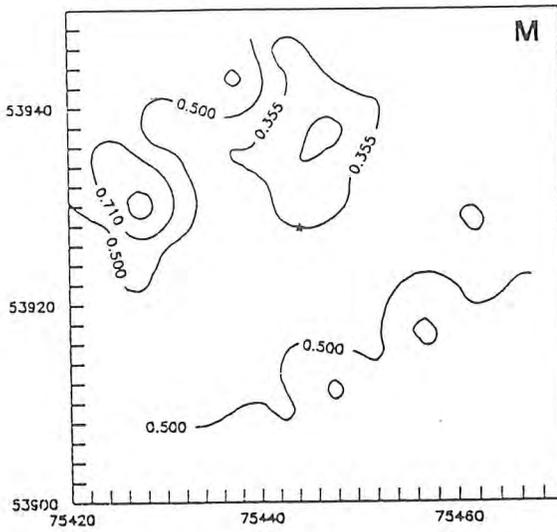
Flächenbezogene Datenerhebungen wurden im Auffüllbereich/Bühnenfeldern und zum Teil auch auf „Referenzflächen“ für unterschiedliche hydrographische Situationen vorgenommen:

- Zu Wasserstand/Seegang und Strömungsgeschwindigkeit - siehe [TV1.I] und [TV1.II]
- zur Sedimentverteilung (Korngröße, Sortierung, Kalk- und Schwermineralgehalt, Schichtung) - siehe [TV2], [SU1] und [TP 1]
- zu Erosion und Sedimentation - siehe [TV2] und [SU1]
- zu Transportvorgängen - siehe [TV1.II], [TV2 ] und [SU1]
- zum Verhalten der Auffüllung während der „Phase A“ - siehe [TV1], [TV2 ], [TV4]
- zur Windverteilung - siehe [TV3].

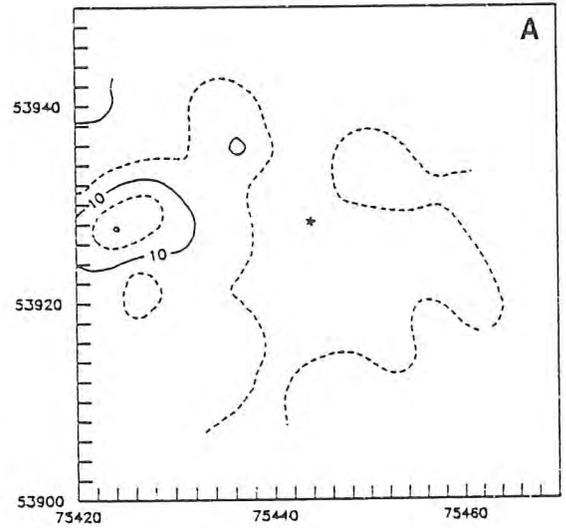
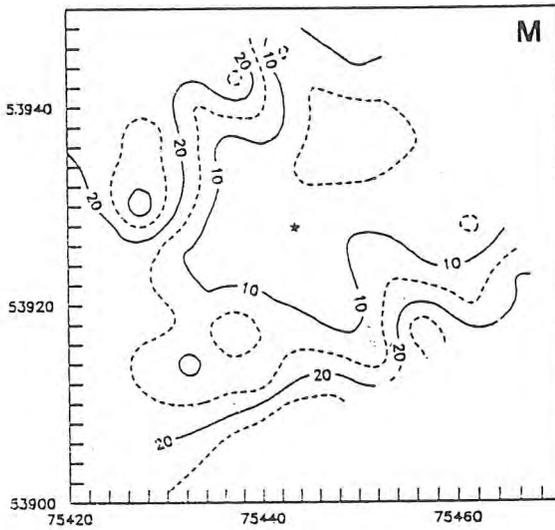


**Abb. 16:** Signifikante Wellenhöhen aus dem mathematischen Seegangmodell HISWA (Tide vom 17.11.1995) für die Topographie von 1990 (oberes Bild) und diejenige von 1995 - aus [TV1.II].

Mittlere Korngröße (mm)



Kalkgehalt (Gew.-%)



Schwermineralanteil der Siebfraction 0,106-0,125mm (Gew.-%)

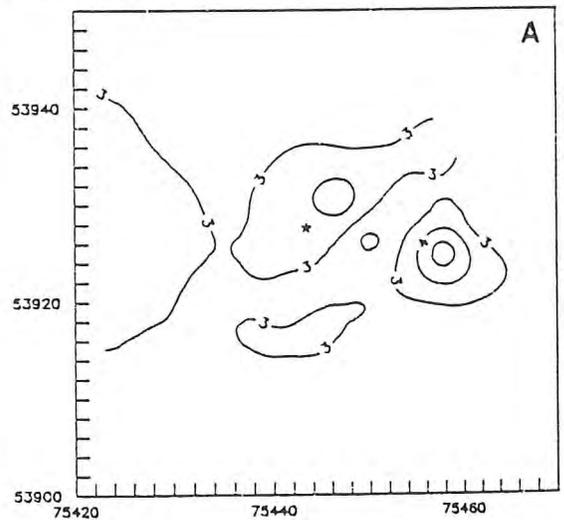
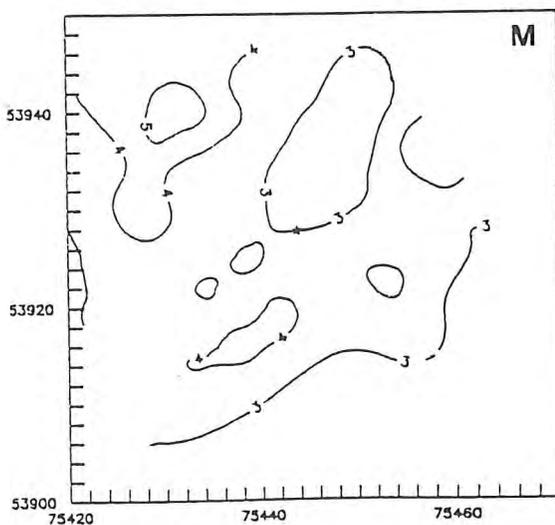


Abb. 17:

Verteilung der mittleren Korngröße, des Kalkgehaltes und des Schwermineralanteiles der Sedimente im Hauptmeßfeld (E1 - D1) während der Meßkampagne am 19. 10.1993 (M: morgens, A: abends) - aus [TV2].

Luminophoren  
(Anzahl pro 50 g Probenmaterial)

Transportmodell

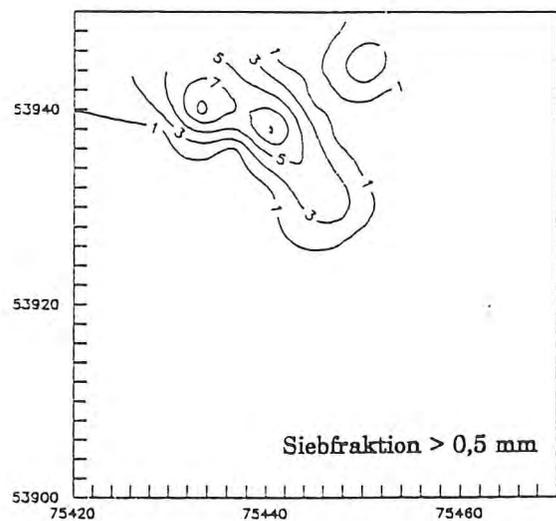
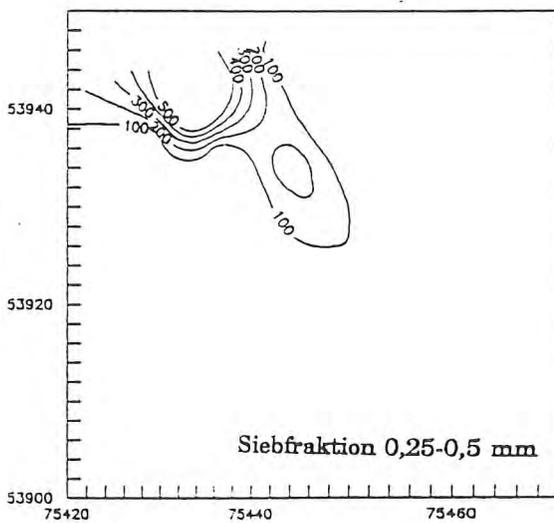
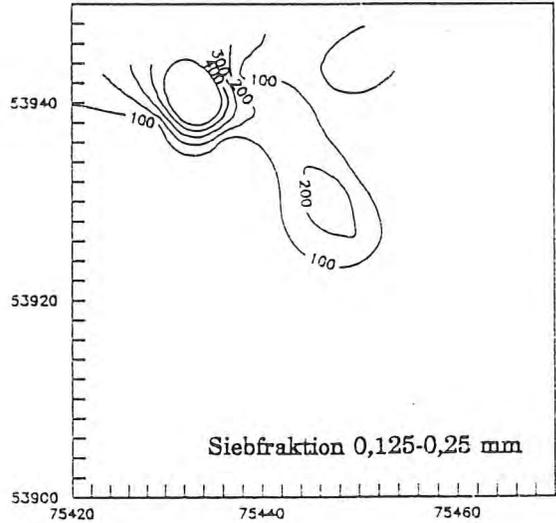
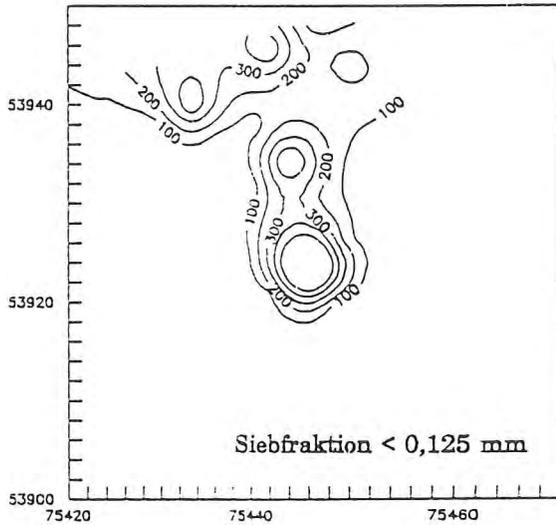
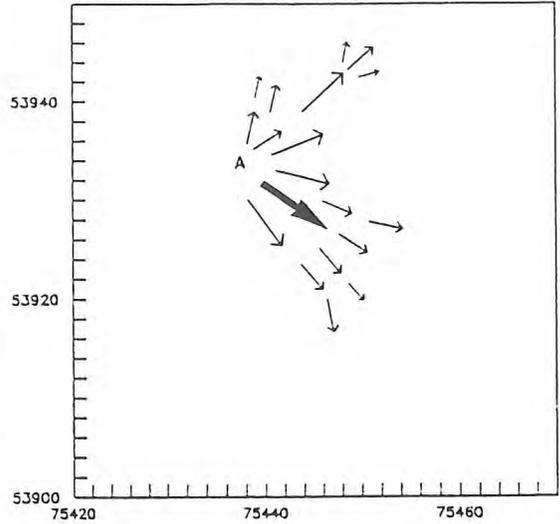
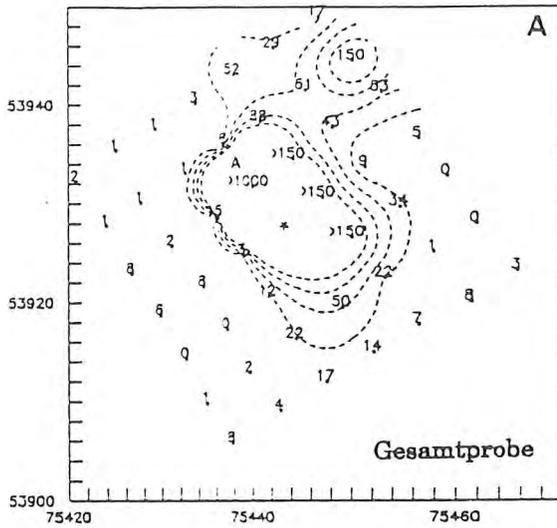
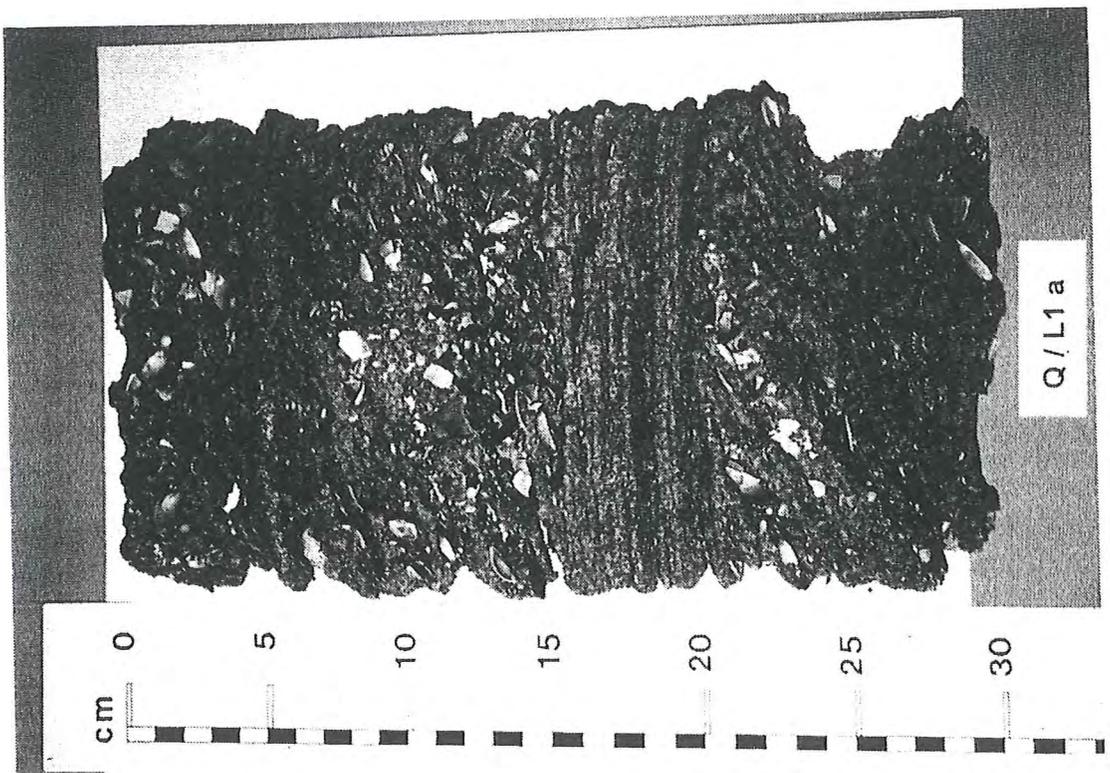
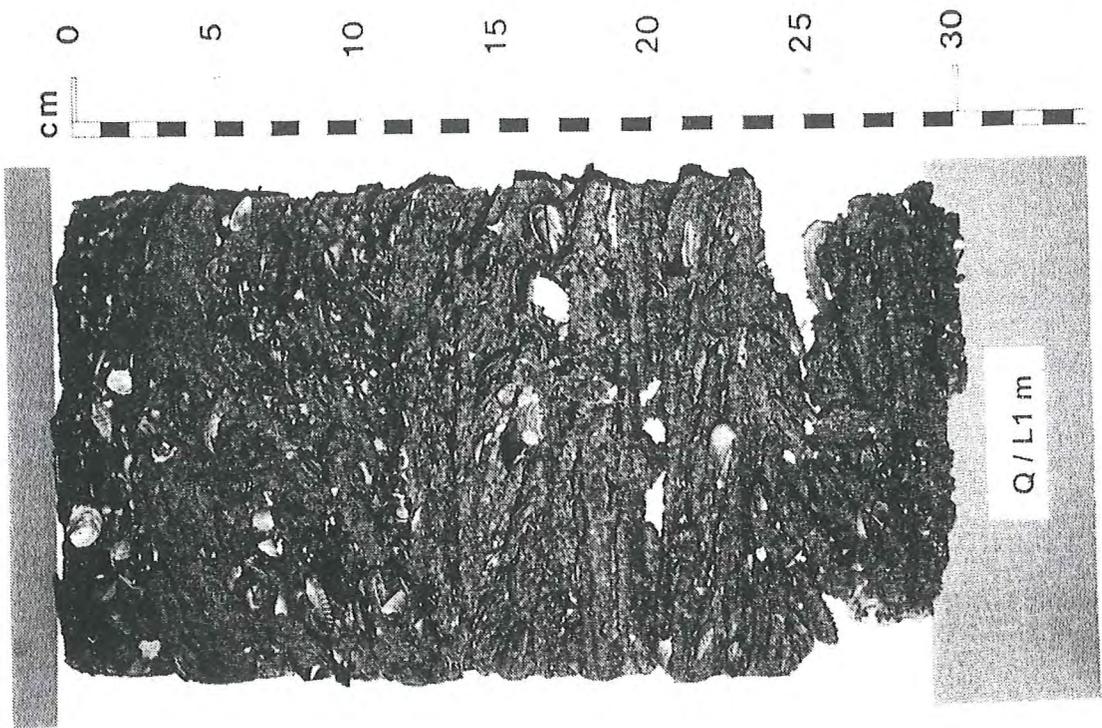


Abb. 18: Verteilung der Luminophoren (Gesamt und auf Siebfraktionen bezogen) und Skizze zum Sedimenttransport (rechts oben) im Untersuchungsgebiet (E1 - D1) während der Meßkampagne am 19.10.1993 - aus [TV2].



**Abb. 19:** Reliefgüsse von Steckkastenprofilen aus dem Hauptmeßfeld (E1 - D1) während der Meßkampagne vom 19.10.1993 - aus [TP1]

Die analytische Verknüpfung der unterschiedlichen flächenbezogenen Erhebungen und die Ergebnisdarstellungen sind im wesentlichen in [TV1.II] und [TV2] sowie für die Sonderuntersuchungen Herbst 1994 in [SU1] enthalten. Ergebnisse zu Vergleichsbetrachtungen zwischen Norderney und Sylt sind in [TP1] mitgeteilt.

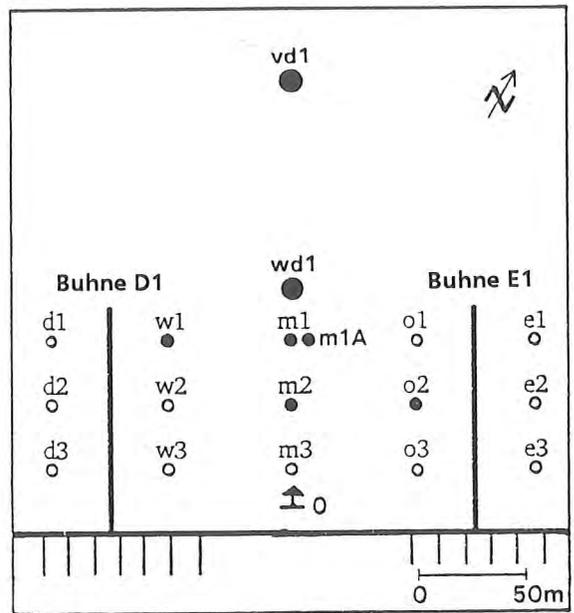
Flächenbezogene Untersuchungen wurden in Verbindung mit Meßkampagnen aller beteiligten Institute durchgeführt, beispielsweise für spezielle Ereignisse (z. B. Sturmfluten), zur Darstellung mittlerer Verhältnisse. Die Abb.17 und Abb.18 sind Beispiele für flächenbezogene Ermittlungen: Verteilung von Sediment-Kenngrößen (Abb.17) und Verteilung der Luminophoren-Tracer (Abb.18) im Hauptmeßfeld (D1-E1) während der Meßkampagne am 19. Oktober 1993.

In die flächenbezogenen Untersuchungen sind spezielle „punktförmige“ Erkundungen eingebunden worden; die weitergehende Erkenntnisse zu den Sandtransport-Prozessen methodisch ermöglichten. Ein Beispiel ist auf der Abb.19 wiedergegeben; es stellt Reliefgüsse von Stechkastenprofilen dar, die während der Meßkampagne vom 19. Oktober 1993 in systematischer Zuordnung zu den Luminophoren-Tracerstationen entnommen wurden - siehe [TP1].

## **8.6 Profilbezogene Sonderuntersuchungen**

Durch eine Zusammenarbeit mit Kollegen vom P.P. Shirshov Institut, Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau/Gelendzhik gelang es, im Herbst 1994 eine umfangreiche Meßkampagne in dem Mittelprofil des Hauptmeßfeldes (D1-E1) auszuführen. Das Profil erfaßte eine Strecke von 200 Metern und erstreckte sich somit auf den Vorstrandbereich bis hin zu einer Tiefe von etwa NN - 5,0 m. Das Profil war mit einer Vielzahl von Meßinstrumenten des Shirshov-Instituts, die zum Teil erstmals unter Tidebedingungen eingesetzt wurden, sowie der Forschungsstelle Küste ausgestattet - siehe Abb.20 und Abb.21. Die Untersuchungen und Ergebnisse sind in [SU2] zusammengefaßt - siehe auch Veröffentlichungen, Anl.2.

Es ist als Glücksumstand zu bezeichnen, daß es zu der deutsch-russischen Zusammenarbeit im Rahmen dieses Forschungsprojektes kam. Es gelangen dadurch zeitgleiche Aufzeichnungen der relevanten Einflußgrößen sowie der Reaktionen des Sandes (sowohl hochauflösend wie auch integrierend). Damit war es möglich, zwei Starkwindperioden (26.09. bis 01.10. und 03.10. bis 05.10.) während der durchgehend durch Meßdaten belegten Kampagne (25. September bis 07. Oktober) zu erfassen. Hinweis: Die Profilmessungen wurden durch flächenhafte Messungen im Feld (D1-E1) ergänzt - siehe [SU1].



**Abb. 20:**

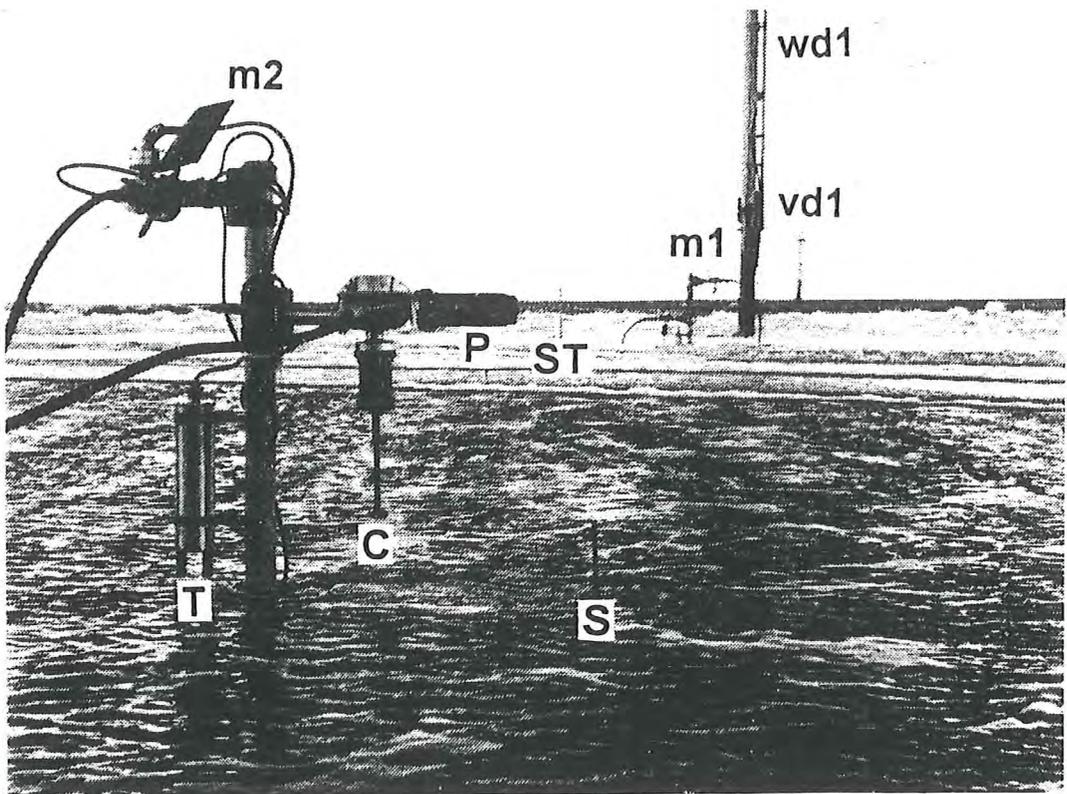
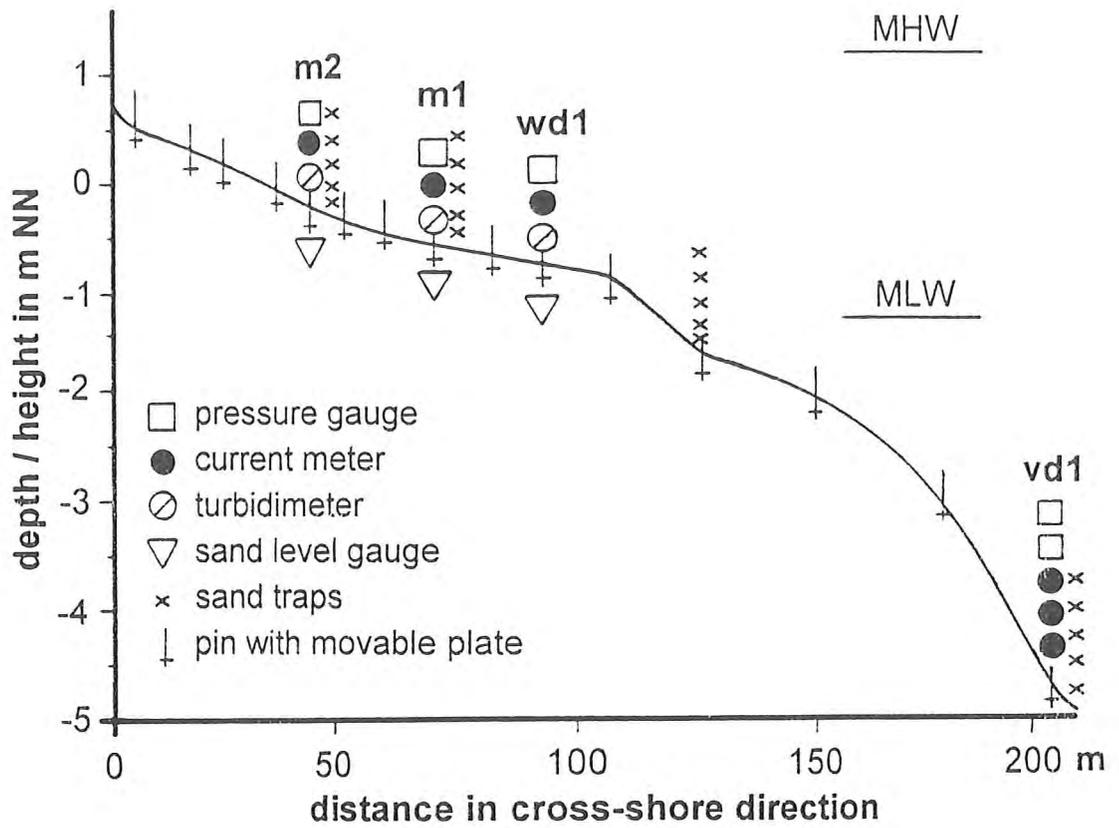
Links: Luftbild des Norderneyer Westkopfes mit dem Hauptmeßfeld (D1 - E1), dem Pegel "Riffgat"(RG) und mit Hinweis auf die Wellenrichtungs-Meßboje (1C)  
 Rechts: Lageplan des Hauptmeßfeldes mit Bezeichnung der Meßstellen - aus KUNZ & KOS'YAN 1997

Die Daten der Profilmessungen ermöglichten Analysen, die Aufschlüsse über die Prozesse des Sandtransportes (Strand und Wasser) unter Seegangseinwirkungen ergaben. Es gelang dabei sogar eine frequenzbezogene Auflösung bis in die Turbulenz-Strukturen hinein. Die in [TV1.II] über Parametrisierungen belegte Bedeutung der Frequenzgröße für die Transportvorgänge zeigte sich bei diesen, die Prozesse noch weiter auflösenden Untersuchungen, entsprechend.

Mit den erzielten Ergebnissen ist auch ein bemerkenswerter Beitrag zur Fortentwicklung von praxisbezogenen Modellen geleistet worden - siehe Veröffentlichungen, Anl.4, 5. Mit Verweis auf [SU2] und die vorliegenden Veröffentlichungen wird hier lediglich die Abb.22 aufgenommen, die beispielhaft die Dynamik der Strandprofiländerungen ausweist.

### 8.7 Längerfristige Meßwerterfassungen und Auswertungen

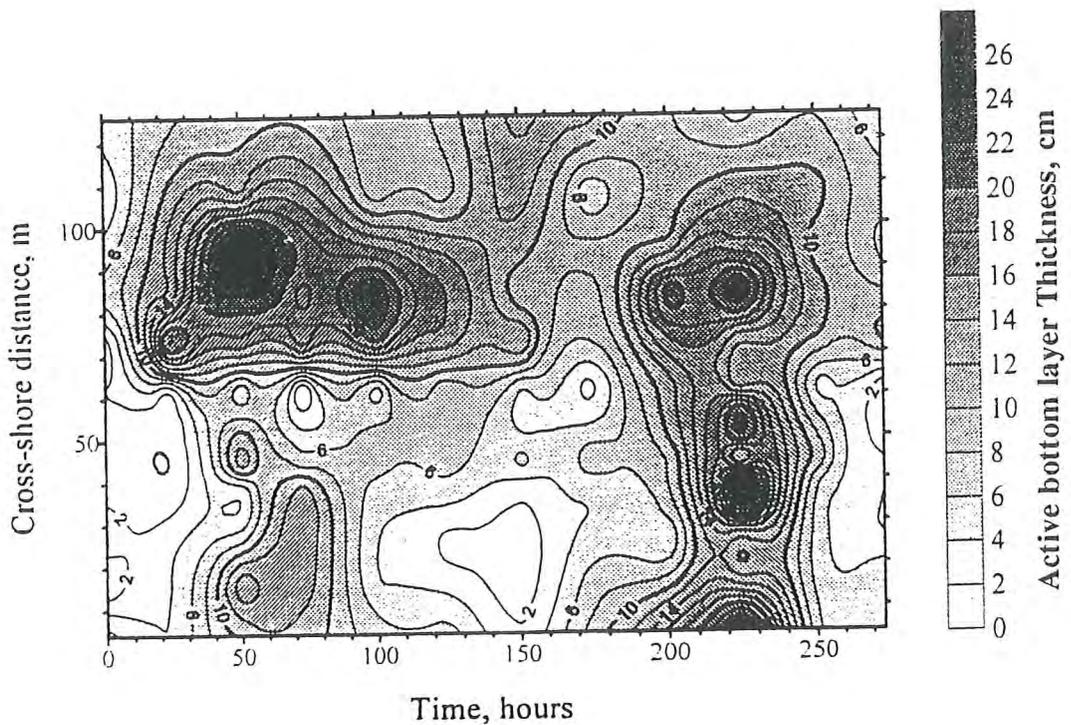
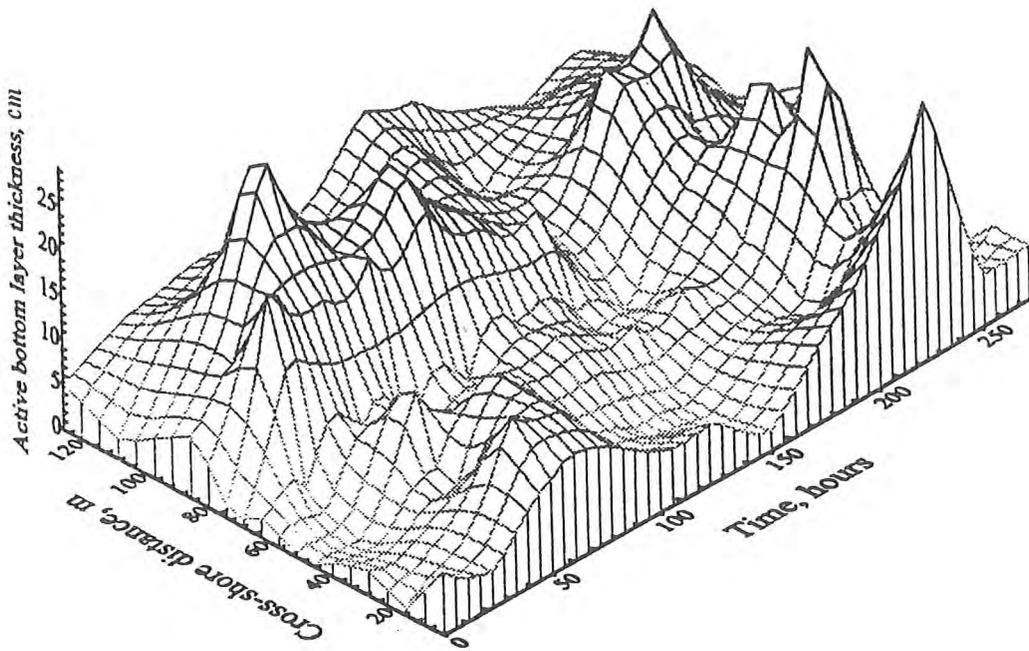
Das Forschungsprojekt umfaßt für die hydrographischen und sedimentologisch-morphologischen Fragenstellungen auch Untersuchungen, die sich auf längerfristig zu erhebende Datenreihen beziehen - siehe [TV1], [TV2]. Sie zielen vorwiegend auf Vergleichs- und Trend-Analysen, die für praxisbezogene Bewertungen, aber auch für die Untersuchungen der „Prozesse“ des Sandtransportes benötigt werden. Die Abb.23 bis 25 stellen Beispiele für Wellen und Sediment-Kennwerte dar, die [TV1.I] und [TV2] entnommen werden.



**Abb. 21:**

Oben: Meßgeräteausstattung des Querprofils im Hauptmeßfeld (D1 - E1)

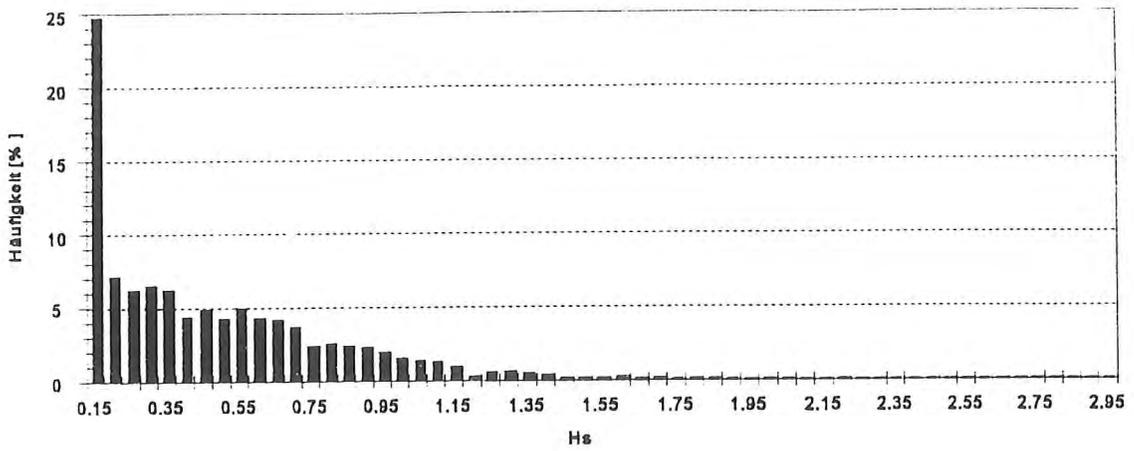
Unten: Foto vom Meßeinsatz der Geräte (Lageplan siehe Abb. 20) - aus KUNZ & KOS'YAN 1997



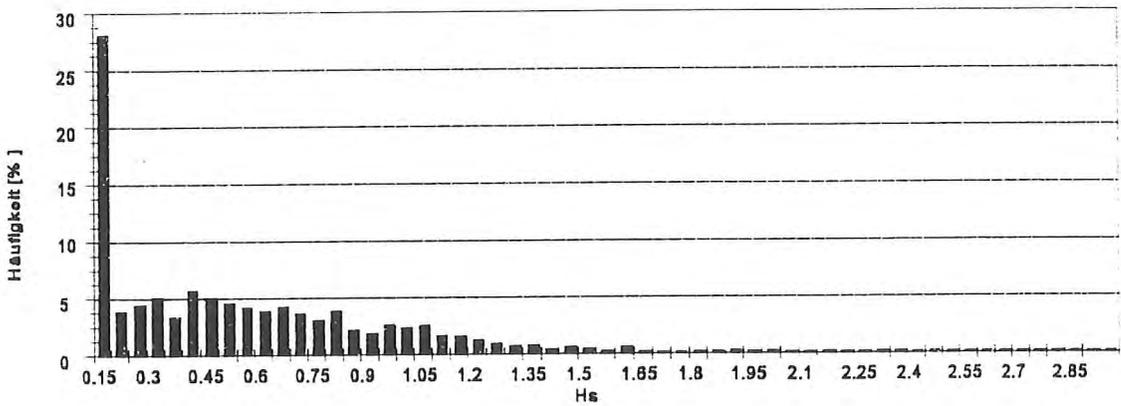
**Abb. 22:**

Oben: Zeitliche Änderung der Dicke der "mobilisierten Sedimentschicht" (active bottom layer) im Querprofil (siehe Abb 21) über eine Meßzeit von 22 Tiden (Messung jeweils bei Tideniedrigwasser)

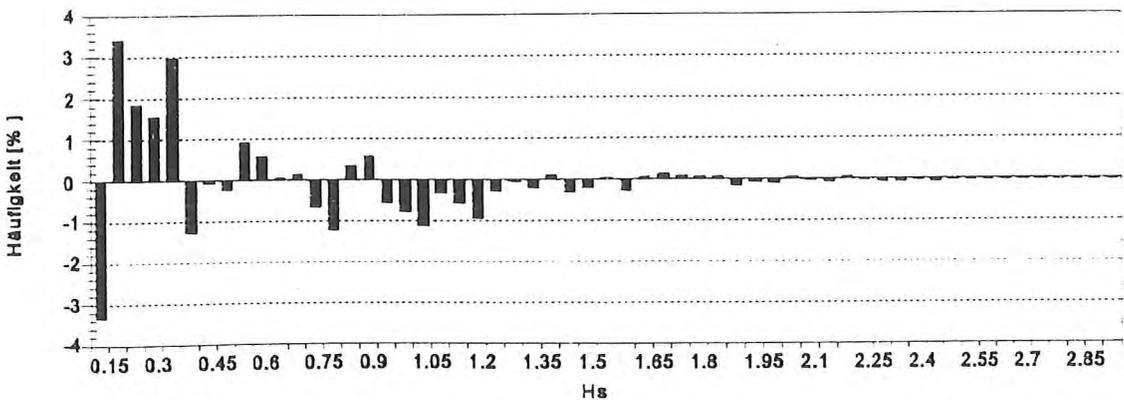
Unten: Isolinien; für die Dicke der "mobilisierten Sedimentschicht" aus KOS'YAN et.al. 1997.



23.1: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen (Intervall  $i = 0,05$  m) im Zeitraum 1989 bis 1992

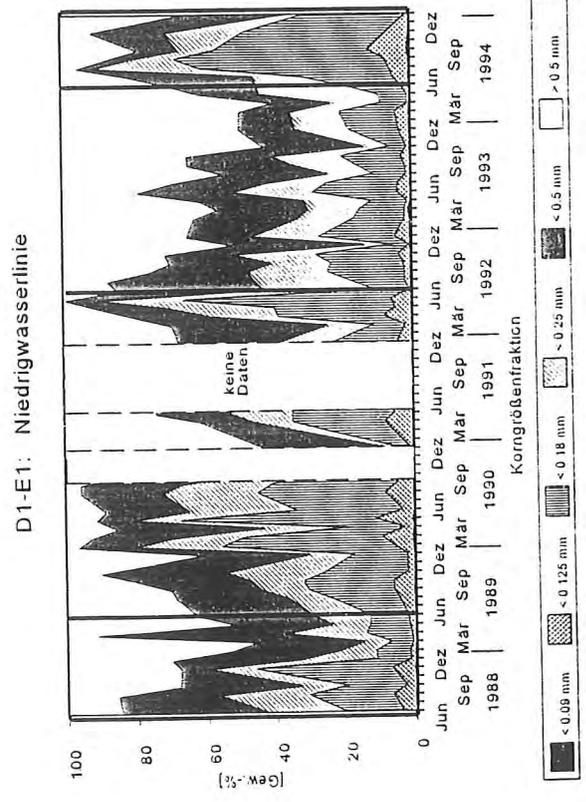
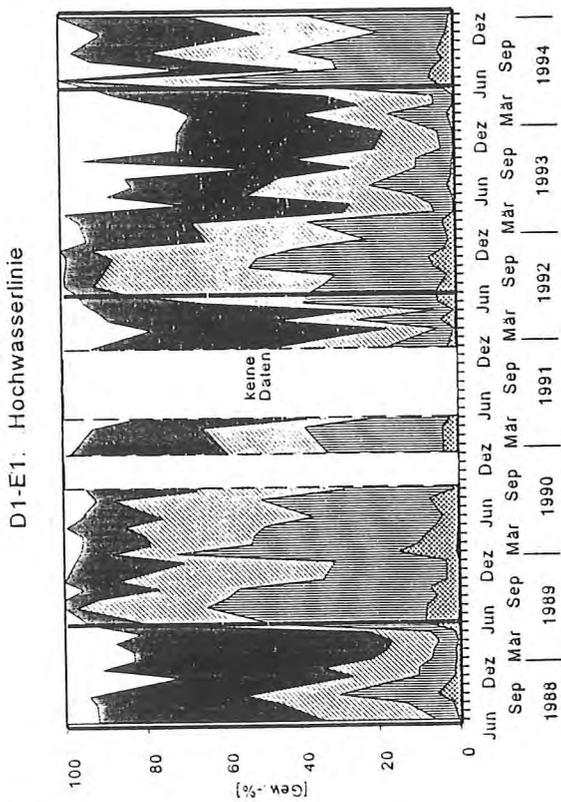
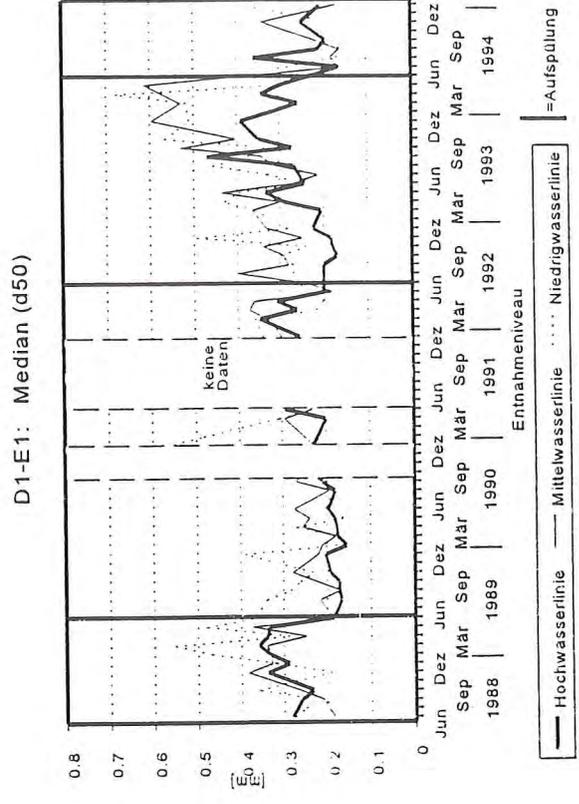
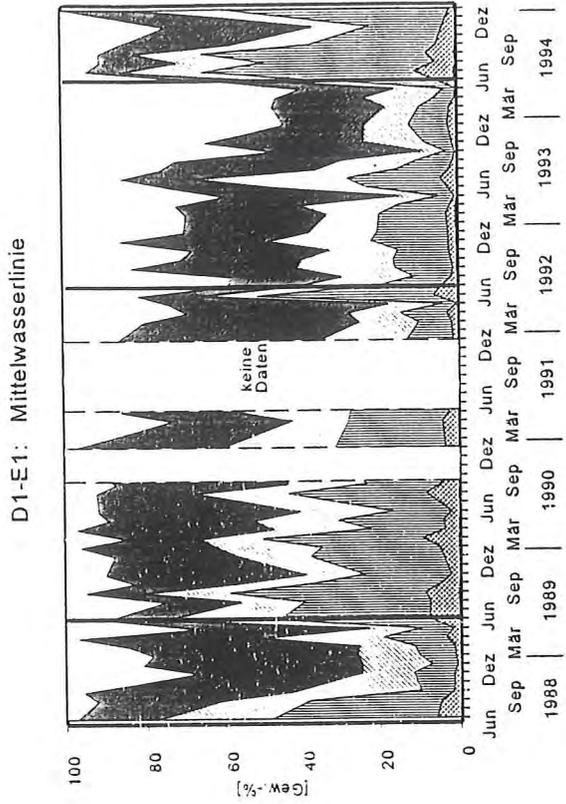


23.2: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen (Intervall  $i = 0,05$  m) für den Zeitraum 1992 bis 1994



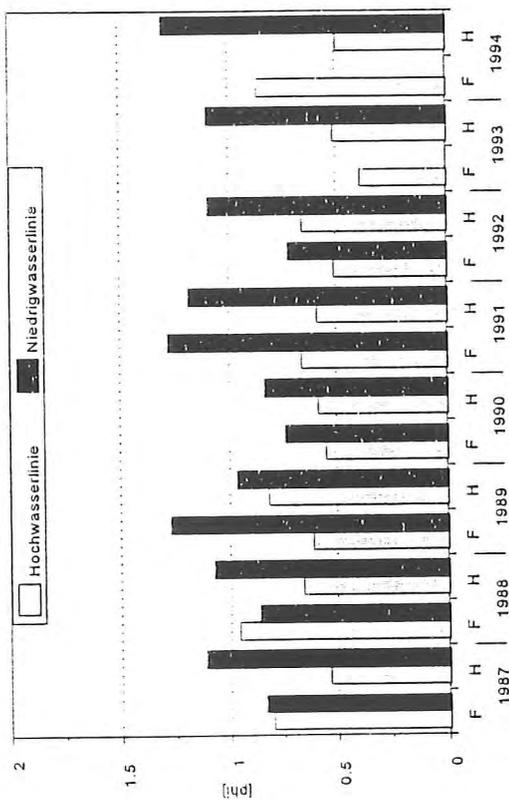
23.3: Differenz der relativen Häufigkeit der signifikanten Wellenhöhen (Intervall  $i = 0,05$  m) in den Perioden 189/92 und 1992/94

Abb. 23: Vergleich "signifikante Wellenhöhen" für die Zeiträume 1989/92 und 1992/94 - aus [TV1.].

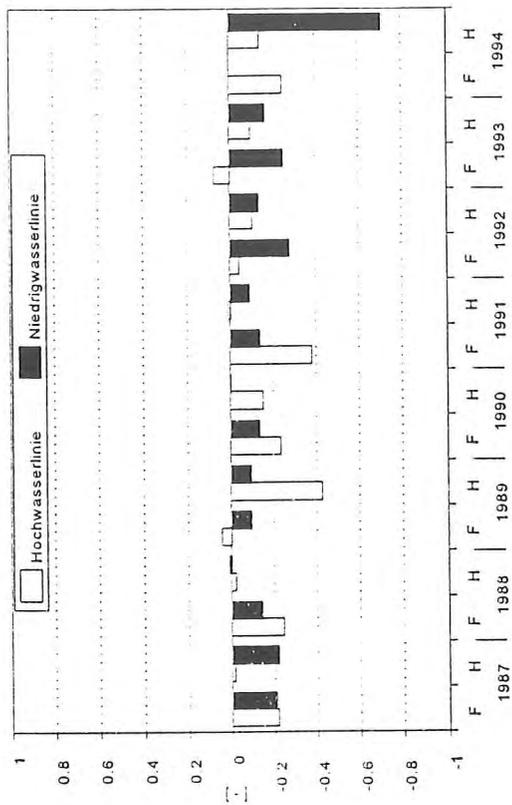


**Abb. 24:** Zeitliche Änderungen der Korngrößenverteilungen (Hoch-, Mittel-, Niedrigwasserlinie) und der mittleren Korngröße ( $d_{50}$ ) im Bühnenfeld D1 - E1 - aus [TV2].

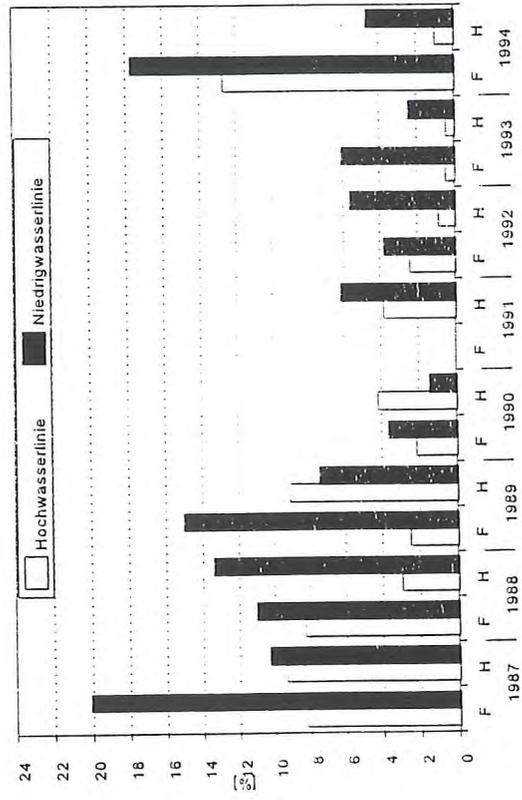
D1-E1 Sortierung (phi)



D1-E1: Schiefe (phi)



D1-E1: Karbonatgehalt



D1-E1: Schwermineralgehalt

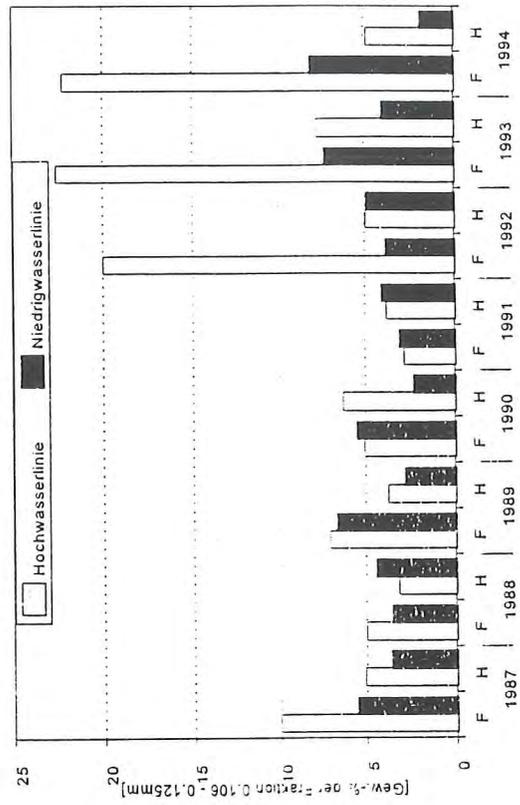


Abb. 25: Jahreszeitliche Änderungen (F = Frühjahr, H = Herbst) der Sortierung, der Schiefe, des Karbongehalts und des Schwermineralgehalts im Bühnenfeld D1 - E1 - aus [TV2].

## 9. Zusammenfassung und Folgerungen für die Praxis der Strand- und Vorstrand-Auffüllungen

Die auf Norderney 1992 ausgeführte kombinierte Vorstrand- und Strandauffüllung war als „Versuch“ konzipiert. Dieser wurde begleitet durch das vom BMFT/BMBF geförderte KFKI-Forschungsprojekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ (MTK 0545A). Wesentliches Untersuchungsziel war, weiterführende Erkenntnisse zur Optimierung künstlicher Auffüllungen zu gewinnen, indem die „Prozesse“ des Sandtransportes in Strand- und Vorstrandbereichen untersucht werden.

Das Forschungsprojekt ist thematisch von Anbeginn an in vier „Teilvorhaben“ und zwei „Teilprojekte“ gegliedert worden; nachfolgend wurden noch zwei „Sonderuntersuchungen“ hinzugenommen. Durch eine strukturierte, auf Informationsaustausch und Zusammenarbeit ausgerichtete Organisation des Projektes wurde gewährleistet, daß die Schlußberichte für die acht unterschiedenen Untersuchungsteile so konzeptionell aufeinander abgestimmt wurden, daß sie die erzielten Ergebnisse in sich abgeschlossen umfassend ausweisen und bewerten, d. h. die Informationen und Ergebnisse aus anderen Projektteilen einbeziehen und erzielte Teilergebnisse in Bezug zum Gesamtprojekt stellen. Dieser „Gesamtschlußbericht“ gibt Überblick über die bereits seit längerem vorliegenden Schlußberichte und ordnet die inzwischen erschienenen Veröffentlichungen zu.

Das Projekt ist mit dem EU-Forschungsvorhaben NOURTEC verbunden; der Anhang B weist die dort für den Norderney-Vorhabenteil erarbeiteten Ergebnisberichte aus.

Entsprechend den Erkenntnissen aus dem vorlaufenden KFKI-Forschungsprojekt „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ (KUNZ 1992a,b, 1993a) wurde nur ein sehr kleiner Teil dieses Projektes auf den volumenbezogenen Vergleich der „kombinierten Vorstrand- und Strandauffüllung“ mit den vorhergehenden „traditionellen Strandauffüllungen“ ausgerichtet. Die Ergebnisse des mit der „Versuchsstrandauffüllung“ verbundenen Projektes bestätigten, daß es richtig war, sich verstärkt den „Prozessen“ zuzuwenden.

Die kombinierte Vorstrand- und Strandauffüllung hat keine erkennbare Verbesserung hinsichtlich der Lebensdauer gegenüber den vorangegangenen konventionellen Auffüllungen auf Norderney gezeigt. Dazu ist festzuhalten, daß die Wiederholungsauffüllung 1992 auf einem noch höheren Ausgangsniveau des Strandes ausgeführt wurde als die früheren Auffüllungen. Schon allein von daher ist die „Lebensdauer“ kein geeignetes Bewertungskriterium - z. B. KUNZ 1990, 1993b. Festzuhalten ist, daß ein aussagefähiger Vergleich hinsichtlich der Effektivität der ausgeführten Sonderform mit vorangegangenen konventionellen Auffüllungen über „Volumen“- bzw. „Verlust“-Betrachtungen („Standzeiten“)" nicht möglich ist.

Für die Beurteilung des Erfolges einer Strandauffüllung müssen die anfängliche Umformung des aufgespülten „Störkörpers“ („A-Phase“) und die nachfolgende Strandentwicklung voneinander getrennt betrachtet werden. Wird dies nicht beachtet, so werden nicht zueinander passende Daten miteinander verglichen. Dies führt dazu, daß anfängliche Umformungen des als „Störung“ eingebrachten Auffüllkörpers in einen den natürlichen Gegebenheiten angepaßten Zustand (Ausgangszustand) als „Verluste“ mißgedeutet werden.

Die „Versuchsstrandauffüllung“ bestätigte die aus Ergebnissen des vorlaufenden KFKI-Forschungsvorhabens abgeleitete Feststellung, daß bei vorgegebener Auffüllmenge die Größe der Verlustrate (aus dem letztlich für den Erfolg einer Aufspülung maßgebenden „Strand nach Umformung in den angepaßten Ausgangszustand“) durch die anfängliche Formgebung des Auffüllkörpers nicht wesentlich zu beeinflussen ist, und daß dies auch zutrifft, wenn der Aufspülkörper nicht nur Sand zuführen, sondern zudem als „Bauwerk“ (siehe beispielsweise FÜHRBÖTER et. al. 1976, RAUDKIVI 1991) wirken und somit das hydrodynamisch-morphologische Geschehen großräumig beeinflussen soll.

Um zu einer Minimierung der Gesamtkosten einer Vorstrand- oder Strandauffüllung - oder deren Kombination - zu gelangen, sind „Sandverlustraten“ ( $\text{m}^3/\text{Strandmeter}$ ) und „Auffüllkosten“ ( $\text{DM}/\text{m}^3$ ) im Zusammenhang zu betrachten. Das Ergebnis dieser Verlustmengen-Kosten-Optimierung wird wesentlich von standortspezifischen Faktoren bestimmt. Wird von der speziellen Norderney-Situation (Zuordnung der Bühnen-Felder zur tiefen Seegat-Rinne) abgesehen, dann läßt sich für unmittelbar mit tiefergehenden Schiffen zugängliche sandige Küsten feststellen, daß die „volumenspezifischen Auffüllkosten“ im Vorstrandbereich deutlich geringer sind als bei der „Strandauffüllung“ und daß die Technik der Vorstrandauffüllung eine interessante Option sein kann - Ergebnis NOURTEC (siehe Anhang B).

Beim Einbringen eines Auffüllkörpers unterhalb des Tidehochwasser-Niveaus kann durchweg auf die bautechnisch kostenintensive Anpassung an „natürliche“ Strandprofile verzichtet werden. Die benötigten Sandmengen sollten möglichst preisgünstig eingebracht werden; der „Störkörper“ formt sich nachfolgend durch die Einwirkungen der Naturkräfte schnell derart um, daß sich natürliche Strandneigungen durch Sandumlagerungen ausbilden. Der Auffüllkörper sollte so ausgebildet sein, daß die anfänglichen Sandumlagerungen möglichst in Strandbereiche hinein erfolgen, in denen man die Auffüllmenge benötigt.

Die bei der „Versuchsauffüllung“ gewählte Methode einer vom trockenen Strand ausgehenden Aufspülung erbringt zwangsläufig Umlagerungsausträge aus dem „Bilanzkörper“, während Auffüllungen tieferer Vorstrandbereiche zu Einträgen führen können (siehe Ergebnisse des NOURTEC-Vorhabens). Entscheidend ist, welcher Anteil der einge-

brachten Sandmenge nach der anfänglichen Umformung dann zunächst in den aufzufüllenden Strandquerschnitt (Volumenerhöhung des Bilanzkörpers) gelangt ist und was dieser kostet. Daher wurde bei der „versuchsorientierten Strandvorspülung 1992“ die Auffüllung in Form von „Sandhöfen“ ausgeführt (ERCHINGER & TILLMANN 1992). Hinweis: Da sich für die Norderney-Situation die Auffüllung tieferer Strandprofilbereiche (Vorstrand) nicht als preiswertere Methode herausgestellt hat, wurde die im Jahre 1994 nachfolgende Auffüllung wieder als „traditionelle Strandaufspülung“ ausgeführt.

Der ganz überwiegende Teil der in diesem Projekt vorgenommenen Untersuchungen hatte das Ziel, die „Prozesse der Strandumformungen und damit zusammenhängender Sandtransporte“ unter Seegang- und Tideeinflüssen über Naturmessungen sowie zugeordnete Analysen und Rechnungen zu erkunden. Festzustellen ist, daß die vorgesehenen Untersuchungen vollständig ausgeführt und die gesteckten Ziele erreicht werden konnten. Zu letzterem ist einschränkend anzumerken, daß die aus der Analyse von „sedimentologischer Schichtstrukturen“ gewonnenen Erkenntnisse zu den „Prozessen“ den zu hoch gesteckten Erwartungen nicht entsprechen konnten.

Die im Projekt ausgeführten vielfältigen Untersuchungen sowie die darüber erzielten Ergebnisse zu den „Prozessen“ sind den in der Anlage 2 ausgewiesenen Schlußberichten zu den acht „Teilvorhaben/Teilprojekten/Sonderuntersuchungen“ zu entnehmen; die im Anhang A zusammengestellten Auszüge geben dazu zusammenfassende Informationen.

Im folgenden werden zu den „Prozessen“ nur einige, auf die Praxis der Strandauffüllungen ausgerichtete Ergebnisse, knapp angesprochen:

Die auf mittelfristige Zeitspannen bezogenen Untersuchungen des Seegangsklimas im Strandbereich untermauern die bisherige These, daß die mittelfristigen morphodynamischen Entwicklungen weniger der einzelnen spektakulären Ereignissen (Sturmfluten) als von den mittleren - hier moderaten - Seegangsverhältnissen bestimmt werden.

Die gestaltenden Transportprozesse sind teilweise aus den morphologischen Entwicklungen reproduzierbar; beispielsweise bei der Regeneration trockener Strandbereiche nach vorübergehendem Rückgang infolge Sturmfluteinwirkungen. Auch die exemplarisch vorgenommenen Analysen von Transportfaktoren erhärten diese Aussage.

Bei Vertikalprofilen und den Sonderuntersuchungen in einem Querprofil bestätigten sich die anhand von Einzelmessungen bereits vermuteten aufländig gerichteten Drifteffekte im sohnahen Bereich.

Die langperiodischen Vorgänge, die einerseits auf Wellengruppeneffekte zurückzuführen sind und andererseits als Sekundärererscheinungen der Brandung erzwungen werden, sind für die Transportvorgänge von Bedeutung. Trotz eines sehr einheitlichen Anlaufverhaltens des Seegangs war keine einheitliche küstenparallele Brandungsströmung in Driftrichtung erkennbar; es zeigte sich eine erhebliche Richtungsfluktuation, die stark

vom Seegangsklima und der jeweiligen Wassertiefe beeinflusst ist. Die hochauflösenden Profilmessungen bestätigten, daß diese Ergebnisse prinzipiell verallgemeinerbar sind.

Die nachgewiesene und erklärte Verschiebung der Lage des „Divergenzbereiches“ und die damit einhergehenden Änderungen der Seegangsbelastungen in dem davon betroffenen Strandbereich Norderneys muß bei der Deutung der mittel- und langfristigen Strandveränderungen berücksichtigt werden.

Für die Ermittlung der morphologischen Wirksamkeit des Seegangs für die Intervalle zwischen verschiedenen Auffüllungen sind Vergleiche der absoluten Häufigkeiten des Seegangs erforderlich, über die sich dann Vergleiche zur Gesamtwirkdauer von Auffüllungen anstellen lassen. Ein solcher Vergleich wurde für die Intervalle zwischen den Norderneyer Strandauffüllungen von 1989 und 1992 sowie von 1992 und 1994 vorgenommen. Die Analyse lieferte keine plausible Erklärung für die unterschiedliche Länge der Intervalle zwischen den beiden Auffüllungen. Dies bestätigt die Aussage, daß die sogenannten „Strandversute“ ganz überwiegend von den unterschiedlichen Geometrien der Aufspülungen (Strandhöhen) bestimmt werden.

Die im Forschungsprojekt erzielten Untersuchungsergebnisse zu den „Prozessen“ des Sandtransportes bei Vorstrand- und Strandauffüllungen sind so dokumentiert, daß sie für die praktische Anwendung, wie auch für weiterführende Forschungsarbeiten verfügbar sind. Eine solche Nutzung erfolgte beispielsweise beim EU-NOURTEC-Verbundforschungsvorhaben.

## **10. Rückblick und Vorausschau**

Betrachtet man insgesamt die Forschungsprojekte „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ (KFKI/BMBF) und „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen sowie „Innovative Nourishment Techniques Evaluation“ (NOURTEC - BMBF & EU), dann ist festzustellen, daß eine systematische Bearbeitung der Thematik „künstliche Sandauffüllungen“ gelungen ist: Das erstgenannte Projekt begleitete eine „traditionelle Strandauffüllung“, das Zweitgenannte bezog sich auf eine „kombinierte Strand-Vorstrand-Auffüllung“, während das NOURTEC-Projekt die „Vorstrandauffüllung“ zum Schwerpunkt hatte. Wird das KFKI/BMBF-Projekt „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt“, welches informell mit den Norderney-Projekten verbunden war, hinzugenommen, so ergibt sich eine weitere Abrundung. Damit liegen für die praktische Ausführung, wie auch für grundlegende Fortentwicklungen zuzuordnender Modellrechnungen, umfangreiche Grundlagen vor, die in vielfältiger Weise - insbesondere auch mit den dokumentierten Ergebnissen aufwendiger Naturmessungen - die wesentlichen „Prozesse“ des Sandtransportes erfassen. Es ist vorhersehbar, daß sich auch

an den sandigen Küsten Deutschlands der Bedarf nach Auffüllungen von Vorstrand- und Strandbereichen erhöhen wird. Die genannten Forschungsprojekte leisteten wichtige Beiträge zur Optimierung derartiger Insel- und Küstenschutzmaßnahmen.

## 11. Danksagung

Das Forschungsprojekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ wurde über das KURATORIUM FÜR FORSCHUNG IM KÜSTENINGENIEURWESEN (KFKI) vom BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (BMBF) gefördert.

An dem Verbundforschungsprojekt waren beteiligt: NLO-Forschungsstelle Küste, Norderney; Deutscher Wetterdienst - Seewetteramt Hamburg; Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz, Norden; Geologisches Institut der Universität Kiel; TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Meeres-technik I und das P.P. Shirshov Institut, Russische Akademie der Wissenschaften - Southern Branch, Moskau/Gelendzhik.

Das Verbundforschungsprojekt wurde von einer KFKI-Projektgruppe begleitet, der zusätzlich zu den am Projekt aktiv beteiligten Institutionen noch die WSD Aurich (BD Dipl.-Ing. O. Franzius) und das Amt für Land- und Wasserwirtschaft, Husum (ALW - heute ALK) (Dipl.-Ing. D. Schaller) angehörten.

Dem Verfasser ist die wissenschaftliche Leitung des Verbundprojektes und die Obmannschaft der Projektgruppe übertragen worden. Er ist allen Beteiligten dankbar für die vertrauensvolle, auf den Erfolg des Gesamtprojektes ausgerichtete, gute Zusammenarbeit.

Die für das Projekt auszuführenden Naturmessungen stellten hohe Ansprüche, insbesondere auch solche an die fachübergreifende Zusammenarbeit der vielen Mitwirkenden. Die umfangreichen Messungen in den aquatischen und terrestrischen Bereichen des See und Wetter ausgesetzten „Norderney“-Untersuchungsgebietes forderten insbesondere auch von denjenigen Mitwirkenden besondere Leistungen, die Proben entnehmen und aufarbeiteten, die sicherstellten, daß Meßgeräte vor Ort einsatzfähig wurden und es auch blieben, die Datenerfassungen unter schwierigen Bedingungen gewährleisteten, die dafür sorgten, daß erfaßte Meßdaten übertragen, aufgezeichnet und fehlerbehaftete Probenwerte oder Aufzeichnungen erkannt wurden; kurzum, deren Einsatz und Können gewährleistete, daß verwertbare Informationen für die wissenschaftlichen Untersuchungen gewonnen werden konnten.

Das Projekt wurde vom BMFT/BMBF mit großem fachlichen Interesse begleitet. So war es auch möglich, dem Wunsch nach Kooperation mit russischen Kollegen zu entsprechen und diese noch nachträglich in das Vorhaben einzubinden.

## 12. Schrifttum

Der vorliegende Gesamt-Schlußbericht bezieht sich auf die im Schlußberichte der „Teilvorhaben“ (TV), der „Teilprojekte (TP) sowie der Sonderuntersuchungen“ (SU). Diese sind im Anhang A zusammengestellt; beim Zitieren ist hier die in eckige Klammern gesetzte Kurzbezeichnung verwendet worden, um Rückgriffe auf die Schlußberichte dieses Verbundprojektes deutlich von dem übrigen Schrifttum zu unterscheiden. Veröffentlichungen zum Forschungsprojekt sind in den Anlagen 4 und 5 zusammengestellt.

- BMFT (1991): Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt-Statusseminar 1991. Broschüre des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) zum Statusseminar in Kiel am 21. März 1991, 167 S., BMFT/BMBF, Bonn.
- BMFT (1994): Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt-Phase II. Broschüre des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) zum Statusseminar in Husum am 21. November 1994, 221 S., BMFT/BMBF, Bonn.
- ERCHINGER, H.F. & B. TILLMANN (1992): Die versuchsorientierte Strandaufspülung Norderney 1989. Die Küste 54, 143-168.
- ERCHINGER, H.F. & H. KNAACK (1995): Die Versuchsstrandaufspülung 1992 auf Norderney und Messungen des äolischen Sandtransport. Die Küste 57, 1-23.
- FÜHRBÖTER, A., R. KÖSTER, J. KRAMER, J. SCHWITTERS & J. SINDERN (1976): Beurteilungen der Sandaufspülungen 1972 und Empfehlungen für die künftige Stranderhaltung am Weststrand der Insel Sylt. Die Küste, H. 29, Heide, 23-93.
- KNAACK, H. & H. KUNZ (1997): Das EU-MAST-II Forschungsvorhaben „Innovative Nourishment Techniques Evaluation“ (NOURTEC). Schlußber. zum Proj. MTK 0563 „NOURTEC“, NLO-Forschungsstelle Küste, Norderney, 46 S..
- KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV, I. PODYMOV & N. PYKHOV (1997): Sand bottom erosion in the surf zone of Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1263-1273.
- KOTZBAUER, U. (1990): Vorschlag zur Ermittlung von Strandaufspül-Profilen nach natürlichen Gleichgewichtsprofilen. Mitt. d. Leichtweiß-Inst. d. TU Braunschweig, H. 105/1989, 465-490.
- KUNZ, H. (1990): Artificial Beach Nourishment on Norderney, a Case Study. Proc. 22. Coastal Engin. Conf. (ICCE 1990), Delft, Niederlande, vol. 3, ASCE, New York: 3254-3267.

- KUNZ, H. (1992a): Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt-Naturuntersuchungen. Teil-Schlußbericht FV MTK 0385 - NLÖ-Forschungsstelle Küste, Norderney, 71 S..
- KUNZ, H. (1992b): Das interdisziplinäre KFKI-Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“. Die Küste, H. 54, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide, 1-21.
- KUNZ, H. (1993a): Zusammenfassender Bericht (Schlußbericht) zum KFKI-Verbundprojekt „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“. Schlußbericht FV MTK 0385-Zusammenfassung der Teil-Schlußberichte, NLÖ-Forschungsstelle Küste, Norderney, 104 S..
- KUNZ, H. (1993b): Sand losses from an artificially nourished beach. Intern. Conf. on Coastal zone Management (CZ '93), in: Beach Nourishment Engineering and Management Considerations (Hrsg.: D.K. Stauble & N.C. Kraus), ASCE, New York: 191-205.
- KUNZ, H. (1995a): Artificial sand nourishment on the German barrier islands as a technical tool for coastal zone management.- in: Proc. Intern. workshop in water related problems in low lying coastal areas, HYDROCOAST 95, Bangkok, Thailand, Anhang 13 S.
- KUNZ, H. (1995): Beach and Foreshore Nourishment on Sandy Coasts in Germany.- in: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 95), Tarragona, Spanien, Anh. 14 S..
- KUNZ, H. & H.-J. STEPHAN (1992): Ergebnisse morphologischer Untersuchungen zu Strandaufspülungen auf Norderney. Die Küste, H. 54, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide, 23-52.
- KUNZ, H. & R. KOS'YAN (1997): German-Russian nearshore dynamics-experiment on Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1301-1315.
- MANZENRIEDER, H. & B. SNIPPE (1991): Kontinuierliche Beobachtungen der Gewässer-sole mit einem Sandstandpegel. Die Küste, H. 52, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co, Heide 255-263.
- MIEMEYER, H.D. (1991): Field measurements and analysis of wave-induced near-shore currents. Proc. 22nd. Int. conf. o. Coast. Eng., Delft, ASCE, New York, 783-797.
- RAUDKIVI, A. J. (1991): Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt im Rück- und Ausblick. BMFT-Status-Seminar, BMFT, Bonn, 139-167.
- WAMSER, C., H. TÜG, V. LYKOSSOV & B. TILLMANN (1993): Der Einsatz von Meßsystemen zur Bestimmung äolischer Partikeltransporte. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (AWI), Ber. a. d. Fachber. Physik, Report 46.

# ANLAGEN

## Inhaltsverzeichnis für die Anlagen 1 bis 5

	Seite
<b>Anlage 1</b>	
Mitglieder der KFKI - Projektgruppe zum Verbundforschungsprojekt „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“	56
<b>Anlage 2</b>	
Schlußberichte der Teilvorhaben (TV) der Teilprojekte (TP) und der Sonderuntersuchungen (SU)	57 - 58
<b>Anlage 3</b>	
Zwischenberichte zu den Teilvorhaben (TV) und Teilprojekten (TP) Dokumentationen / Arbeitsgrundlagen	59 - 60
<b>Anlage 4</b>	
Veröffentlichungen zu den in den Teilvorhaben (TV), Teilprojekten (TP) und Sonderuntersuchungen (SU) im Rahmen des KFKI-Forschungsvorhabens „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ erzielten Ergebnisse	61 - 62
<b>Anlage 5</b>	
Nach Verfassern geordnete Veröffentlichungen über Ergebnisse, die im Rahmen des KFKI-Forschungsvorhabens „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ erzielt wurden	63 - 64

**Mitglieder der KFKI-Projektgruppe zum Verbundforschungsprojekt  
„Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von  
Buhnen-Deckwerks-Systemen“**

(Titel, Amts- und Dienststellen-Bezeichnung entsprechen dem Stand  
Dezember 1994)

Dr.-Ing. H. Kunz, Baudirektor; NLÖ-Forschungsstelle Küste, Norderney (Obmann).

✓ Dipl.-Ing. H. F. Erchinger, Ltd. Baudirektor (Dipl.-Ing. H.-G. Coldewey als Vertreter);  
Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz, Norden (TV 4).

✓ Dipl.-Ing. O. Franzius, Baudirektor; Wasser- und Schifffahrtsdirektion Aurich.

✓ Prof. Dr. G. Gust; TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Meerestechnik I (TP 2).

✓ Prof. Dr. R. Köster; Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Kiel,  
AG Küstengeologie (TP 1).

✓ Dipl.-Ing. H. D. Niemeyer; NLÖ-Forschungsstelle Küste, Norderney (TV 1).

✓ Dipl.-Ing. G. Ragutzki; NLÖ-Forschungsstelle Küste, Norderney (TV 2).

Dipl.-Ing. D. Schaller; Amt für Land- und Wasserwirtschaft, Husum  
(als Vertreter des KFKI-Projektes „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt“).

✓ Dipl.-Met. H. Schmidt, Regierungsdirektor; Seewetteramt des Deutschen  
Wetterdienstes, Hamburg (TV 3).

### **Schlußberichte der Teilvorhaben (TV), der Teilprojekte (TP) und der Sonderuntersuchungen (SU)**

Das KFKI-Forschungsprojekt „**Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen**“ faßt vier „**Teilvorhaben**“ (TV), zwei „**Teilprojekte**“ (TP) und zwei **Sonderuntersuchungen (SU)** zusammen. Die **Ergebnisse** des Projektes sind in den folgenden **acht Schlußberichten der Teilvorhaben / Teilprojekte / Sonderuntersuchungen** zusammengestellt:

#### **TEILVORHABEN (TV)**

##### **TV1 Hydrodynamik und Sedimenttransport (NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

- [TV1.I] NIEMEYER, H.D.: Zum mittelfristigen Wasserstands- und Seegangsklima vor Norderney, Dez. 1995 (16 Seiten, 21 Anlagen-Seiten).
- [TV1.II] NIEMEYER, H.D., R. KAISER & H. KNAACK: Untersuchung von Transportfaktoren im Bereich künstlich aufgespülter Strände - Beispiel Norderney, Jan. 1996 (132 Seiten).

##### **TV2 Sedimentologie und morphologische Entwicklung (NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

- [TV2] EITNER, V.: Sedimentologische und morphologische Untersuchungen zu den Auswirkungen der Vorstrand- und Strandauffüllung im Frühjahr 1992 auf Norderney, Juni 1994 (143 Seiten, 4 Anlagen-Seiten).

##### **TV3 Meteorologie (Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg)**

- [TV3] SCHMIDT, H., H. GÜNTHER & R. STRÜFING: Abschlußbericht zum Teilbereich Meteorologie, Januar 1995 (21 Seiten).

##### **TV4 Technisch-wirtschaftliche Aspekte von Vorstrand- und Strandauffüllungen (Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz, STAIK, Norden)**

- [TV4] KNAACK, H., H.-G. COLDEWEY & H. F. ERCHINGER: Abschlußbericht zum Teilprojekt Versuchsaufspülung - Entwicklung und Technik, Juni 1994 (60 Seiten, 26 Anlagen).

#### **TEILPROJEKTE (TP)**

##### **TP1 Teilprojekt „Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen“ (Geologisches Institut der Universität Kiel)**

- [TP1] OTTEN, O. & R. KÖSTER: Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen, Dezember 1994, (85 Seiten).

## **TP2 Teilprojekt „Sohlfluktuationen“ (TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Meeres-technik I und NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

[TP2] MÜLLER, V. & G. GUST: Unteraufgabe im Teilprojekt „Sohlfluktuationen“, Febr. 1995 (42 Seiten und 3 Anhänge mit insges. 43 Seiten).

### **SONDERUNTERSUCHUNGEN (SU)**

#### **SU1 Sonderuntersuchungen zur flächenhaften Veränderung der Strandmorphologie und sedimentologischer Parameter in einem Buhnen-Deckwerks-System (NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

[SU1] KNAACK, H.: Sonderuntersuchungen Herbst 1994 auf Norderney zu sedimentologischen und morphologischen Fragestellungen, August 1995 (42 Seiten).

#### **SU2 „Sonderuntersuchungen zur Sandbewegung unter dem Einfluß von Tide und Seegang im Vorstrand- und Strandbereich“ (P.P. Shirshov Institut, Russische Akademie der Wissenschaften, Southern Branch, Moskau/Gelendzhik sowie NLÖ-Forschungsstelle Küste)**

[SU2] KOS'YAN, R., S. KUZNETSOV, I. PODYMOV, O. PUSHKAREV & N. PYKHOV: Field investigations of physical regularities and spatial-temporal scales of sand suspension and transport in the coastal zone under storm waves, Dezember 1994 (198 Seiten).

### **Zusammenstellung der Schlußberichte der Teilvorhaben/Teilprojekte/ Sonderuntersuchungen:**

TV 1 (TV 1(I) mit 37 S. + TV 1(II) mit 132 S.)	:	169 Seiten
TV 2 (143 S. + 4 Anlagen-S.)	:	147 Seiten
TV 3	:	21 Seiten
TV 4 (60 S. + 26 Anlagen-S.)	:	86 Seiten
TP 1	:	85 Seiten
TP 2 (42 S. + 43 Anlagen-S.)	:	85 Seiten
SU 1	:	42 Seiten
SU 2	:	198 Seiten

**Hinweis:** Durch die Zusammenarbeit der Forschungsstelle Küste und des KFKI mit dem Institut für Erdmessung, Universität Hannover (Prof. S. Seeber) war es möglich, das „Vertiefersemimar Geodäsie 1992“ auf Norderney durchzuführen und in die Vermessungsarbeiten für das Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen ...“ einzubeziehen (siehe Kap. 6).

## Zwischenberichte zu den Teilvorhaben (TV) und Teilprojekten (TP) Dokumentationen /Arbeitsgrundlagen

### TEILVORHABEN (TV)

#### Zu TV1: Hydrodynamik und Sedimenttransport

FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE (BRANDT, G; D. GLASER, R. KAISER, H. KAROW, G. MÜNKEWARF, W. LIEBIG & H.D. NIEMEYER): Analyse hydrodynamischer Naturmessungen im Bereich der Bühnenfelder A - D1 - E1 - F1 am 19. Oktober 1993 - Dokumentation, 1994.

#### Zu TV2: Sedimentologie und morphologische Untersuchungen

FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE (EITNER, V.): Sedimentologische und morphologische Untersuchungen zu Einzeltidenereignissen im Bühnenfeld D1 - E1 sowie zu Auswirkungen der Vorstrand- und Strandauffüllung - 1. Zwischenbericht des KFKI-FV „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“, Teilprojekt Sedimentologie und morphologische Entwicklung, 1992.

FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE (EITNER, V.): Untersuchungen zu sedimentologischen Prozessen im Strandbereich Norderneys - 2. Zwischenbericht des KFKI-FV „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“, Teilprojekt Sedimentologie und morphologische Entwicklung, 1993.

FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE (EITNER, V., G. RAGUTZKI, H.-J. STEPHAN & R. TADDIGS): Sedimentologische und morphologische Ergebnisse eines interdisziplinären Meßeinsatzes im Bühnenfeld D1 - E1 am 19. Oktober 1993 sowie die zeitliche Entwicklung der Massenbilanzen - 3. Zwischenbericht des KFKI-FV „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“, Teilprojekt Sedimentologie und morphologische Entwicklung, Norderney, 1993.

#### Zu TV3: Meteorologie

SEEWETTERAMT HAMBURG (U.-I. CHRISTIANSEN): Dokumentation der meteorologischen Messungen ab Januar 1992 - Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ - Teilprojekt Naturmessprogramm Meteorologie, 1992.

#### Zu TV4: Technisch-wirtschaftliche Aspekte von Vorstrand- und Strandauffüllungen

STAATLICHES AMT FÜR INSEL- UND KÜSTENSCHUTZ (TILLMANN, B.): Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“, Teilprojekt: Versuchaufspülung - Entwicklung und Technik, 1993.

STAATLICHES AMT FÜR INSEL- UND KÜSTENSCHUTZ (KNAACK, H.): Zwischenbericht 2/93 zum Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“, Teilprojekt: Versuchsaufspülung - Entwicklung und Technik, 1994.

## **TEILPROJEKTE (TP)**

### **TP1: Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen**

GEOLOGISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT KIEL (OTTEN, O & R. KÖSTER): Zwischenberichte Nr. 1 (1992), Nr. 2 (1993), Nr. 3 (1994).

### **TP2: Sohlfluktuationen**

TU HAMBURG-HARBURG - ARBEITSBEREICH MEERESTECHNIK I (V. MÜLLER, G. GUST & J. SCHIRRMACHER): Zwischenbericht 1993 zum BMBF-Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ - Unteraufgabe im Teilprojekt „Sohlfluktuationen“, 1993.

TU HAMBURG-HARBURG - ARBEITSBEREICH MEEREESTECHNIK I (V. MÜLLER): Meßbericht zum Feldversuch am 18. - 20.10.1993), 1993.

TU HAMBURG-HARBURG - ARBEITSBEREICH MEEREESTECHNIK I (V. MÜLLER, G. GUST & J. SCHIRRMACHER): Präsentation am 16.02.1994 in Bremen zum BMFT-Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ - Unteraufgabe im Teilprojekt „Sohlfluktuationen“: „Schubspannungssonden“, 1994.

**Veröffentlichungen zu den in den Teilvorhaben (TV), Teilprojekten (TP) und Sonderuntersuchungen (SU) im Rahmen des KFKI-Forschungs-vorhabens „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ erzielten Ergebnisse.**

**Zu TV1 (Hydrodynamik und Sedimenttransport) und TV 2 (Sedimentologie und morphologische Entwicklung)**

EITNER, V. (1993): Sedimentdynamik im Strandbereich einer brandungsbeeinflussten mesotidalen Barriere-Insel unter Berücksichtigung der Auswirkungen künstlicher Strandauffüllungen (Norderney, südl. Nordsee). Diss. Univ. Münster.

EITNER, V. (1995): Magnetic Heavy mineral Associations as Sediment Transport Indicators on a Beach of Norderney Island, Southern North Sea. *Senckenbergiana maritima*, 25 (416), 173-185.

EITNER, V, R. KAISER, & H.D. NIEMEYER (1995): Nearshore sediment transport processes due to moderate hydrodynamical conditions. In: special volume „Geology of siliciclastic shelf seas“, Renard Centre of Marine Geology, Gent, 267-288.

KUNZ, H. (1993): Sand losses from an artificially nourished beach. In: Proc. Intern. Conf. on Coastal Zone Management (CZ '93) - Marine Beach Nourishment Engineering and Management Considerations (Hrsg.: Stauble, D.K. & N.C. Kraus), ASCE, New York, 191-205.

KUNZ, H. (1995): Beach and Foreshore Nourishment on Sandy Coasts in Germany. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 95), Tarragona, Spanien, Anh. 14 S..

NIEMEYER, H. D. & R. KAISER (1997): Variationen im lokalen Seegangsklima infolge morphologischer Änderungen im Riffbogen. *Ber. d. Forschungsstelle Küste*, Bd. 41, 107-117.

**Zu TV4 (Technisch-wirtschaftliche Aspekte von Vorstrand- und Strandauffüllungen)**

ERCHINGER, H.F. & H. KNAACK (1995): Die Versuchsstrandaufspülung 1992 auf Norderney und Messungen des äolischen Sandtransport. *Die Küste* 57; 1-23.

## **Zu TP2 (Sohlflektuationen)**

GUST, G., V. MÜLLER & R. KAISER (1994): Messung von Transportvorgängen im Strandbereich. Jhb. d. Schiffbautechn. Ges., Bd. 87, 1993, 100-104.

## **Zu SU2 (Sonderuntersuchungen zu Sandbewegungen unter dem Einfluß von Tide und Seegang im Vorstrand- und Strandbereich)**

KALINITCHENKO, A., R. KOS'YAN, H. KUNZ, S. KUZNETSOV & N. PYKHOV (1995): On suspended sand flux fluctuations and net suspended flux in a surf zone. Abstracts of the Intern. Conf. „Dynamics of ocean and atmosphere“, Moscow., 147-148.

KOS'YAN, R., H. KUNZ & I. PODYMOV (1995): Employment of electronic sand level gauges for measurement of beach slope deformations on Norderney island. In: Proc. Second Intern. Conf. „Coastal Dynamics '95“, Gdansk, Poland. 651-663.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV & N. PYKHOV (1996): Suspended sediment transport in the surf zone of Norderney island. In: Proc. 2. Conf. on Hydrodynamics, Hongkong, A. A. Balkema, Rotterdam, Brokkfield, 1119-1123.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV, N. PYKHOV & M. KRYLENKO (1997): Sand suspension events and intermittence of turbulence in the surf zone. In: Proc. 25. Coastal Engin. Conf. (ICCE 96), Orlando, USA, vol. 4, ASCE, New York, 4111-4119.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV, I. PODYMOV & N. PYKHOV (1997): Sand bottom erosion in the surf zone of Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1263-1273.

KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV & N. PYKHOV (1997): Net suspended sediment transport in the surf zone. Second Indian National Conf. on Harbour and Ocean Engin. INCHOE-97, Thiruvananthapuram, India., 1073 - 1086.

KUNZ, H. & R. KOS'YAN (1997): German-Russian nearshore dynamics-experiment on Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MED-COAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1301-1315.

KUNZ, H. & R. KOS'YAN (1997): German-Russian field-experiment „Norderney 1994“ tasks and results. Intern. Conf. on Coastal Environment Management and Conservation BORDEMÉR/IFREMÉR, Bordeaux, Frankreich., 243 - 253.

PYKHOV, N., S. KUZNETSOV & H. KUNZ (1997): Mechanisms of sand suspending under non-breaking and breaking irregular waves. In: Proc. Int. Conf. on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments, Coastal Dynamics'97, Plymouth, England, 19-27.

Seite 63 existiert im  
Original nicht

- KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV, I. PODYMOV & N. PYKHOV (1997): Sand bottom erosion in the surf zone of Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1263-1273.
- KOS'YAN, R., H. KUNZ, S. KUZNETSOV & N. PYKHOV (1997): Net suspended sediment transport in the surf zone. Intern. Conf. INCHOE-97, Thiruvananthapuram, India (Veröffentl. in Proc. vorgesehen, 14 S.).
- KUNZ, H. (1993): Sand losses from an artificially nourished beach. In: Proc. Intern. Conf. on Coastal Zone Management (CZ '93) - Marine Beach Nourishment Engineering and Management Considerations (Hrsg.: Stauble, D.K. & Kraus, N.C.), ASCE, New York, 191-205.
- KUNZ, H. (1995): Beach and Foreshore Nourishment on Sandy Coasts in Germany. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 95), Tarragona, Spanien, Anh. 14 S.
- KUNZ, H. & R. KOS'YAN (1997): German-Russian nearshore dynamics-experiment on Norderney island. In: Proc. Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MED-COAST 97), Qawra, Malta, vol. 2, 1301-1315.
- KUNZ, H. & R. KOS'YAN (1997): German-Russian field-experiment „Norderney 1994“ tasks and results. Intern. Conf. BORDEMER/IFREMER, Bordeaux, Frankreich, (Veröffentl. in Proc. vorgesehen, 11 S..
- NIEMEYER, H. D. & R. KAISER (1997): Variationen im lokalen Seegangsklima infolge morphologischer Änderungen im Riffbogen. Ber. d. Forschungsstelle Küste, Bd. 41, 107-117.
- PYKHOV, N., S. KUZNETSOV & H. KUNZ (1997): Mechanisms of sand suspending under non-breaking and breaking irregular waves. In: Proc. Int. Conf. on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments, Coastal Dynamics'97, Plymouth, England, 19-27.

# ANHÄNGE

## Übersicht zu den Anhängen A und B

### Anhang A

Seite

Zusammenstellung zu den Schlußberichten der Teilvorhaben (TV), Teilprojekte (TP) und Sonderuntersuchungen (SU) des KFKI-Forschungsvorhabens „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerkssystemen

67 - 130

### Anhang B

Zusammenstellung von Ergebnisberichten des EU-MAST-II Forschungsvorhaben „Innovative Nourishment Techniques Evaluation“ (NOURTEC)

131 - 156



**Zusammenstellung zu den Schlußberichten der Teilvorhaben (TV),  
Teilprojekte (TP) und Sonderuntersuchungen (SU)  
des KFKI-Forschungsvorhabens  
„Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich  
von Bühnen-Deckwerks-Systemen“.**

Die Schlußberichte zu den Teilvorhaben (TV), Teilprojekten (TP) und Sonderuntersuchungen (SU) sind Bestandteil dieses zusammenfassenden Schlußberichtes. Der Anhang gibt Überblick zu den Inhalten und ermöglicht Orientierungen mit Hilfe der beigefügten Textabschnitte (Einleitung, Zusammenfassung).

**Inhaltsverzeichnis**

Seite

TEILVORHABEN (TV)

**TV1 Hydrodynamik und Sedimenttransport (NLÖ-Forschungsstelle  
Küste) 69 - 78**

- ✓ 1.1 NIEMEYER, H.D.: Zum mittelfristigen Wasserstands- und Seegangsklima vor Norderney, Dez. 1995 (16 Seiten, 21 Anlagen-Seiten).
- ✓ 1.2 NIEMEYER, H.D., R. KAISER & H. KNAACK: Untersuchung von Transportfaktoren im Bereich künstlich aufgespülter Strände - Beispiel Norderney, Dez. 1995 (132 Seiten).

**TV2 Sedimentologie und morphologische Entwicklung (NLÖ-Forschungsstelle Küste) 79 - 84**

EITNER, V.: Sedimentologische und morphologische Untersuchungen zu den Auswirkungen der Vorstrand- und Strandauffüllung im Frühjahr 1992 auf Norderney, Juni 1994 (143 Seiten, 4 Anlagen-Seiten).

**TV3 Meteorologie (Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg) 85 - 88**

SCHMIDT, H., H. GÜNTHER & R. STRÜFING: Abschlußbericht zum Teilbereich Meteorologie, Januar 1995 (21 Seiten).

- TV4 Technisch-wirtschaftliche Aspekte von Vorstrand- und Strand-auffüllungen** **89 - 94**
- KNAACK, H., H.-G. COLDEWEY & H. F. ERCHINGER: Abschlußbericht zum Teilprojekt Versuchsaufspülung-Entwicklung und Technik, Juni 1994 (60 Seiten, 26 Anlagen).
- TEILPROJEKTE (TP)
- TP1 Teilprojekt „Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen“ (Geologisches Institut der Universität Kiel** **95 - 105**
- OTTEN, O. & R. KÖSTER: Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen, Dezember 1994, (85 Seiten).
- TP2 Teilprojekt „Sohlfluktuationen“ (TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Meerestechnik I und NLÖ-Forschungsstelle Küste)** **107 - 113**
- MÜLLER, V. & G. GUST: Unteraufgabe im Teilprojekt „Sohlfluktuationen“, Februar 1995 (42 Seiten u. 3 Anhänge mit insges. 43 Seiten).
- SONDERUNTERSUCHUNGEN (SU)
- SU1 „Sonderuntersuchungen zur flächenhaften Veränderung der Strandmorphologie und sedimentologischer Parameter“** **115 - 117**
- KNAACK, H.: Sonderuntersuchungen Herbst 1994 auf Norderney zu sedimentologischen und morphologischen Fragestellungen, August 1995 (42 Seiten).
- SU2 „Sonderuntersuchungen zu Sandbewegungen unter dem Einfluß von Tide und Seegang im Vorstrand- und Strand-bereich“ (P.P. Shirshov Institut, Russische Akademie der Wissenschaften, Southern Branch, Moskau Gelendzhik sowie NLÖ-Forschungsstelle Küste)** **119 - 130**
- KOS'YAN, R., S. KUZNETSOV, I. PODYMOV, O. PUSHKAREV & N. PYKHOV: Field investigations of physical regularities and spatial-temporal scales of sand suspension and transport in the coastal zone under storm waves, Dezember 1994 (198 Seiten).

UNTERSUCHUNG VON TRANSPORTFAKTOREN  
IM BEREICH  
KÜNSTLICH AUFGEFÜLLTER  
VORSTRÄNDE UND STRÄNDE  
- Beispiel Norderney -

von

Hanz Dieter Niemeyer  
Ralf Kaiser  
Heiko Knaack

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE  
-Forschungsstelle Küste-



## Inhalt

1. Einführung und Problemstellung	3
2. Hydrographie des Untersuchungsgebietes	5
3. Ermittlung von Transportfaktoren	10
3.1 Konzept	10
3.2 Meßnetz	11
3.3 Analyse der Meßwerte	13
4. Entwicklung des Aufspülkörpers	15
4.1 Methodik	15
4.2 Gestaltung der Auffüllungen	16
4.3 Volumenentwicklung	16
4.4 Hydrodynamische Randbedingungen	23
5. Analyse seegangs- und strömungsgeprägter Transportbedingungen	29
5.1 Vorgehensweise	29
5.2 Zeitlicher Gang von Seegang und Strömungen über eine Tide	30
5.2.1 Normaltide	30
5.2.2 Sturmflut	40
5.3 Räumliche Variation von Seegang und Strömungen	51
5.3.1 Seegang und seegangsinduzierte Strömungen bei einer Normaltide	51
5.3.2 Seegang und seegangsinduzierte Strömungen bei einer erhöhten Tide	69
5.3.3 Seegang und seegangsinduzierte Strömungen bei einer Sturmflut	87
5.4 Richtungsvariationen der Strömungen	105
5.5 Vertikale Strukturierung der Strömungsfelder	106

6. Exemplarische Untersuchung von Transportvorgängen	109
6.1 Zielsetzung und Methodik	109
6.2 Ergebnisse	109
6.2.1 Hydrodynamische Randbedingungen	109
6.2.2 Morphodynamik und Sedimentumlagerung	110
7. Großräumige Randbedingungen	117
7.1 Bezug zu Vorstrand- und Strandauffüllungen	117
7.2 Morphologische Veränderungen	118
7.3 Änderungen der Seegangsausbreitung	118
8. Zusammenfassung und Folgerungen	127
9. Danksagung	128
10. Literatur	129
11. Symbole	132

Die Strände im Bereich des Seegats erfahren zwar nach diesen Untersuchungsergebnissen eine geringere Seegangsbelastung, was in Einklang mit der morphologischen Entwicklung steht; hinsichtlich der Lebensdauer und daraus abzuleitenden Wiederholungsintervalle der Strandauffüllungen sind aber die Verhältnisse an den nordwestlichen Stränden maßgebend.

## 8. ZUSAMMENFASSUNG UND FOLGERUNGEN

Auf Norderney ist 1992 eine kombinierte Vorstrand- und Strandauffüllung vorgenommen worden, deren Gestaltung auf den Erkenntnissen des vorangegangenen vom BMBF geförderten KFKI-Forschungsvorhabens „Wechselwirkungen von Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ beruht. Folgerichtig ist diese Versuchsstrandauffüllung durch ein vom BMBF gefördertes KFKI-Forschungsvorhaben im Sinne einer Erfolgskontrolle begleitet worden. Wesentliches Untersuchungsziel sind dabei eingehendere Erkenntnisse über die für Optimierungen der Gestaltung und damit verbesserter Wirkdauer von künstlichen Auffüllungen stattfindenden Transportprozesse zu gewinnen. Diesem Problembereich ist dieser Bericht gewidmet.

Die kombinierte Vorstrand- und Strandauffüllung auf Norderney hat keine nachhaltige Verbesserung hinsichtlich der Lebensdauer gegenüber vorangegangenen konventionellen Auffüllungen auf Norderney gezeigt. Es ist in diesem Zusammenhang aber festzuhalten, daß die Wiederholungsauffüllung 1992 auf einem höheren Niveau vorhandenen Sandvolumens ausgeführt wurde als frühere Auffüllungen, wie beispielsweise die von 1989. Von daher ist die kürzere Lebensdauer nicht als Bewertungskriterium geeignet. Ebenso wenig hat das mittelfristige Wasserstands- und Seegangsklima auf dem Strand keine Indizien für eine stärkere hydrodynamische Beanspruchung ergeben. Es bleibt somit festzuhalten, daß ein übertragbarer Vergleich hinsichtlich der Effektivität dieser Sonderform mit vorangegangenen konventionellen Auffüllungen wegen der bei höheren Restvolumen als früher erfolgten Wiederauffüllung nicht möglich ist.

Im Hinblick auf die der Gestaltung zugrunde gelegenen Transportprozesse ist festzustellen, daß diese teilweise aus der morphologischen Entwicklung reproduzierbar sind, wie beispielsweise bei der Regeneration trockener Strandbereiche nach vorübergehendem Verschwinden. Auch die exemplarischen Analysen von Transportfaktoren erhärten diese Annahmen weitgehend. Insbesondere zeigen sich bei Vertikalprofilen eindeutig die früher anhand von Einzelmessungen angenommenen sohnahen, auflandig gerichteten Drifteffekte. Von Bedeutung für die Transportvorgänge sind ebenso langperiodische Vorgänge, die einerseits auf Wellengruppeneffekte zurückzuführen sind und andererseits als Sekundärercheinungen der Brandung erzwungen werden. Trotz eines sehr einheitlichen Anlaufverhaltens des Seegangs ist keine einheitliche küstenparallele Brandungsströmung in Driftrichtung erkennbar. Es zeigt sich eine erhebliche Richtungsfluktuation, die stark vom Seegangsklima und der jeweiligen Wassertiefe beeinflußt werden. Hierbei mag auch von Bedeutung sein, daß die früher stabile Lage des Divergenzbereiches keineswegs mehr als sicher anzusehen ist.

Für eine seit 1990 erfolgte Verlagerung des Divergenzbereiches sprechen auch die Untersuchungen zu den großräumigen Randbedingungen. Nachhaltige morphologische Änderungen im Bereich des Riffbogens und Vorstrands haben zu einer ebenso nachhaltigen Änderung der Seegangsausbreitung vom Seegebiet bis in das Vorfeld des Auffüllungsbereiches am Nordweststrand geführt: Hier tritt 1995 - bei gleichartigen hydrodynamischen Randbedingungen - energiereicherer Seegang als 1990. Die Lage des Maximums läßt eine Verlagerung des Divergenzbereiches nach Osten - insbesondere in Zusammenhang mit den Analysen küstenparalleler Strömungsvorgänge - als wahrscheinlich ansehen. Aus den hier verfügbaren Daten läßt sich nicht herleiten, ob und inwieweit diese Änderungen zu einer höheren Seegangsbelastung der Strände führen. Die Steilheit im Vorstrandbereich läßt - in Anlehnung an Erkenntnissen zur Riffbrandung - eher erwarten, daß der höhere Seegangseintrag dort durch eine stärkere Energieumwandlung kompensiert wird. Hier liegt weitergehender Untersuchungsbedarf zur Klärung der entstandenen Fragen vor.

Hinsichtlich zukünftiger Gestaltung von Auffüllungen und insbesondere der Frage, ob Auffüllungen im Vorstrandbereich unter den auf Norderney gegebenen Randbedingungen erfolversprechend sind ist nicht abschließend beantwortbar. Zum einen steht dem die frühzeitige Wiederauffüllung - auf einem im Vergleich zu früheren Eingriffen - höheren Niveau entgegen, die eine eindeutige Vergleichbarkeit ausschließt. Darüber hinaus ist nicht klärbar, ab wann die Ausbreitung energiereicheren Seegangs auf den Vorstrand einsetzte und inwieweit eine daraus resultierende Verschiebung des Divergenzbereiches bereits während der Lebensdauer der kombinierten Vorstrand- und Strandauffüllung wirksam werden konnte.

Signifikant gegenüber konventionellen Strandauffüllungen sind die hohen Anfangsverluste während der Umformung der als Höfte in den Vorstrand getriebenen Aufspülkörper. Zwar waren in dieser Zeit und in den entsprechenden Bereichen keine hydrodynamischen Messungen möglich, doch lassen die verfügbaren Analysen Rückschlüsse auf die dabei wirksamen Transportfaktoren zu. Die Geometrie der Auffüllkörper bedingt dort im Vorstrandbereich eine weitgehende bis vollständige Energieumwandlung des einschwingenden Seegangs auf engem Raum. Das Volumen der ausbrandenden Wellen verteilt sich anschließend auf die Bereiche seitlich des Auffüllkörpers, wo zum Ausgleich der Massenbilanz seewärts gerichtet Rippströmungen entstehen. Hierbei wird mit großer Wahrscheinlichkeit ein erheblicher Teil des sich aus dem Höft lösenden Materials statt landwärts in Richtung See verfrachtet. Sollte die Wiederholung einer Auffüllung im Vorstrandbereich erfolgen, so ist zur Vermeidung derartiger Anfangsverluste und damit zur Erhöhung des Materialdepots im Umlagerungsbereich Vorstrand-Strand eine flächenhafte Einbringung in den Vorstrand dringend zu empfehlen.

## 9. DANKSAGUNG

Das Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ wurde über das KURATORIUM FÜR FORSCHUNG IM KÜSTENINGENIEURWESEN vom BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE gefördert.

ZUM MITTELFRISTIGEN  
WASSERSTANDS- UND SEEGANGSKLIMA  
VOR NORDERNEY

von

Hanz Dieter Niemeyer

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE  
-Forschungsstelle Küste-

Niemeyer, H. D. (1995): Zum mittelfristigen Wasserstands- und Seegangsklima vor Norderney			
BMBF - Schlußbericht	Hydrographie - I	1-17	Norderney

# Zum mittelfristigen Wasserstands- und Seegangsklima vor Norderney

Hanz Dieter Niemeyer

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung .....	2
2. Repräsentanz der Daten .....	3
3. Mittelfristiges Seegangsklima .....	6
4. Vergleich des Seegangsklimas für zwei Auffüllintervalle .....	11
5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	15
6. Literatur .....	15
7. Anlagen .....	17

## 1. EINLEITUNG

Im Rahmen der KFKI-Forschungsvorhaben „Wechselwirkungen von Küstenschutzbauwerken und mariner Umwelt“ (MTK 0385) und „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen- und Deckwerkssystemen“ (MTK 0545) sowie dem vom BMBF (MTK 0563) und der EU (MAS2-CT93-0049(DG XII-D)) geförderten Vorhaben „NOUR-TEC“ (Innovative Nourishment Technologies) sind am Nordweststrand von Norderney seit Juli 1988 Naturmessungen von Seegang und seegangsinduzierten Strömungen in der Brandungszone vorgenommen worden. Die Meßgeräte mußten zwar während der in diesem Zeitraum erfolgten drei Auffüllungen und bei Eisgang in Winterperioden wiederholt abgebaut werden, um Beschädigungen zu vermeiden. Weiterhin sind auch technisch bedingte Ausfälle aufgetreten; es liegen dennoch Meßreihen mit einer Dauer vor, die für Brandungszonen ungewöhnlich ist.

Aus diesem Grund soll hier versucht werden, diesen Aspekt der Messungen zu nutzen. Die Gesamtheit der Messungen ist zwar bereits in Form repräsentativer Daten in fortlaufenden Dokumentationen aufbereitet worden [BRANDT et al. 1994; FSK 1991, 1994a, 1994b], um interessierten Nutzern einen Überblick gewähren zu können. Hier soll aber darüber hinausgehend der Versuch einer Deutung vorgenommen werden. Es werden die Seegangsdaten der Station  $M_1$  genutzt, die am Nordweststrand von Norderney im Übergangsbereich vom Vorstrand zum nassen Strand liegt (Abb. 1). Die an dieser Station ausgeführten Dauermessungen werden hinsichtlich ihrer Aussagekraft für das mittelfristige Seegangsklima am Strand von Norderney untersucht. Die hydrodynamischen und morphologischen Randbedingungen der Messungen an dieser Station sind bereits mehrfach dargestellt worden [NIEMEYER 1991, 1992a, 1992b].

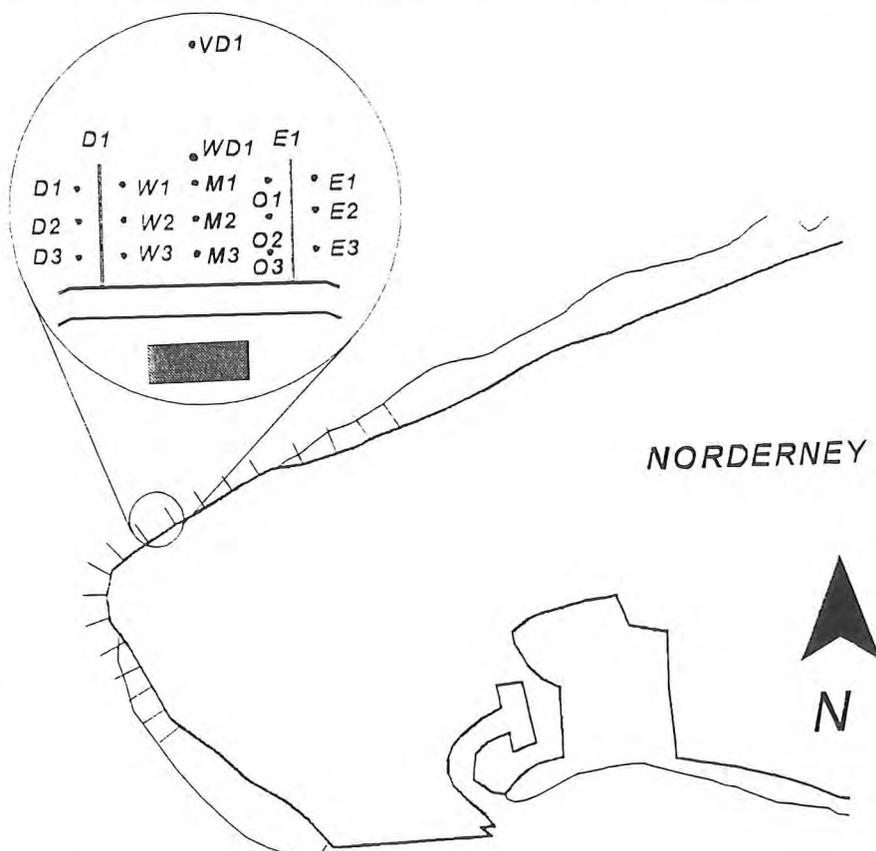


Abb.1: Lageplan

## 5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wurden die kennzeichnenden Seegangparameter  $H_s$  und  $T_m$  für eine Meßperiode von etwa 5,75 Jahren am Nordweststrand von Norderney untersucht, wobei der Meßbetrieb und Ausfälle detailliert dokumentiert werden. Auf dieser Grundlage wird die verfügbare Datendichte ermittelt und unter Einbeziehung der hydrodynamischen Randbedingung Tidewasserstände die Repräsentanz der Messungen für die Gesamtdauer der Messungen erläutert.

Mittelfristige Messungen des Seegangsklimas an Stränden untermauern die bisherigen Thesen, daß die mittelfristige morphodynamische Entwicklungen weniger von einzelnen spektakulären Ereignissen bestimmt werden, sondern von den dominanten - hier moderaten - Seegangsverhältnissen bestimmt werden.

Untersuchungen zur relativen Häufigkeit kennzeichnender Seegangparameter lassen Rückschlüsse auf die überwiegenden Erscheinungsformen des Seegangs zu; sie sind aber nicht hinreichend, um auf dessen morphologische Wirksamkeit für die Intervalle zwischen verschiedenen Auffüllungen schließen zu können. Hierfür sind Vergleiche absoluter Häufigkeiten erforderlich, um die Gesamtwirkdauer über die verschiedenen Intervalle eibeziehen zu können. Ein solcher Vergleich ist für die Intervalle zwischen den Strandauffüllungen von 1989 und 1992 sowie von 1992 und 1994 vorgenommen worden. Die Analyse der Seegangsdaten lieferte keine plausible Erklärung für die unterschiedliche Länge der Intervalle zwischen den Auffüllungen.

Der Versuch, das Seegangsklima für Strände dort unmittelbar zu erfassen, weist gegenüber Messungen im Küstenvorfeld den Vorteil auf, die vielfältigen Variation in der Verformung des Seegangs von dort bis zum Strand exakt zu erfassen. Dem steht der Nachteil gegenüber, daß dort erhebliche Ausfallzeiten durch Eisgang und vor allem durch die Auffüllungen entstehen. Es wird daher als sinnvoll erachtet, in Zukunft Messungen zur Erfassung des mittelfristigen Seegangsklimas im Vorstrandbereich auszuführen.

## 6. LITERATUR

- BRANDT, G., GLASER, D., KAISER, R., KAROW, H., MÜNKEWARF, G., LIEBIG, W., NIEMEYER, H.D. [1994]: Analyse hydrodynamischer Naturmessungen im Bereich der Bühnenfelder A-D<sub>1</sub>-E<sub>1</sub>-F, am 19. Oktober 1993 (Dokumentation)
- FSK [1991]: Dokumentation Hydrographisches Meßnetz Norderney 01. 01. 90 bis 31. 12. 90. Niedersächsisches Landesamt für Wasser und Abfall -Forschungsstelle Küste
- FSK [1994a]: Dokumentation Hydrographisches Meßnetz Norderney 01. 01. 91 bis 31. 12. 1991. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie -Forschungsstelle Küste
- FSK [1994b]: Dokumentation Hydrographisches Meßnetz Norderney 01. 01. 91 bis 31. 12. 1992. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie -Forschungsstelle Küste
- HOLTHUIJSEN, L., BOOIJ, N. [1987]: A grid model for shallow water waves. Proc. 20th Int. Conf. o. Coast. Eng. Taipei. ASCE, New York
- HOMEIER, H. [1976]: Die Auswirkungen schwerer Sturmtiden auf die ostfriesischen Inselstrände und Randdünen. Jber. 1975 Forsch.-Stelle f. Insel- und Küstenschutz, Bd. 27
- KERSTING, N.F., BAKKER, W.T., NIEMEYER, H.D. [1994]: Evaluation of a combined foreshore and beach nourishment at the German Wadden island of Norderney. Delft Univers. O. Technology/Netherlands Centre for Coastal Research
- KUNZ, H., STEPHAN, H.J. [1991]: Ergebnisse morphologischer Untersuchungen zu den Strandaufspülungen auf Norderney. Die Küste, H. 54
- NIEMEYER, H.D. [1983]: Über den Seegang an einer inselgeschützten Wattküste. BMFT-Forschungsber. MF 0203

Sedimentologische und morphologische Untersuchungen  
zu den Auswirkungen der Vorstrand- und Strandauffüllung  
im Frühjahr 1992 auf Norderney

KFKI-Forschungsvorhaben

Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen

Teilprojekt: Sedimentologie und morphologische Entwicklung

Schlußbericht

von

DIPL.-GEOL. VOLKER EITNER

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.1 Lage des Untersuchungsgebietes	1
2. Untersuchungs- und Arbeitsmethoden	4
2.1 Sedimentologische Untersuchungen	4
2.1.1 Zeitlich-räumliche Variabilität von sedimentdynamischen Vorgängen	4
2.1.2 Sedimentprobenentnahme	7
2.1.3 Aufbereitung, Bearbeitung und Auswertung der Sedimentproben	7
2.1.3.1 Korngrößenverteilung	8
2.1.3.2 Kalkgehalt	12
2.1.3.3 Schwermineralgehalt	12
2.1.4 Tracerverfahren	15
2.1.5 Bestimmung der Sedimentumlagerungsintensität	17
2.2 Topographische und morphologische Messungen	19
2.2.1 Festlegung der Meßprofile	19
2.2.2 Strand- und Vorstrandvermessung	19
2.2.3 Luftbildauswertung	19
2.2.4 Berechnung der Sedimentbilanzen	21
3. Sedimentdynamik	22
3.1 Überblick	22
3.1.1 Sedimentverteilung	22
3.1.2 Geomorphologie	23
3.2 Sedimentdynamik exemplarischer Untersuchungsflächen	32
3.2.1 Bühnenfeld $D_1 - E_1$ (Hauptmeßfeld)	32
3.2.1.1 Sedimentverteilung	33
3.2.1.2 Einzeltidenereignisse	36
3.2.1.2.1 Einzeltidenuntersuchungen 23.-25. März 1992	36
3.2.1.2.2 Einzeltidenuntersuchungen 17.-19. August 1992	41
3.2.1.2.3 Einzeltidenuntersuchungen 19. Oktober 1993	45
3.2.1.3 Sturmtidenuntersuchungen Januar 1993	53
3.2.2 Bühnenfeld E - D	58
3.2.2.1 Sedimentverteilung	58
3.2.2.2 Einzeltidenereignisse	59

3.2.2.2.1 Einzeltidenuntersuchungen 28.-29. September 1992 . . . . .	59
3.2.2.3 Sturmtidenuntersuchungen Januar 1993 . . . . .	64
3.2.3 Bühnenfeld Zbl - A . . . . .	67
3.2.3.1 Sedimentverteilung . . . . .	67
3.2.3.2 Einzeltidenereignisse . . . . .	69
3.2.3.2.1 Einzeltidenuntersuchungen 28.-29. September 1992 . . . . .	69
3.2.4 Bühnenfeld S <sub>1</sub> - T <sub>1</sub> . . . . .	72
3.2.4.1 Sedimentverteilung . . . . .	73
3.2.5 Untersuchungsfeld "Weiße Düne" . . . . .	76
3.2.5.1 Sedimentverteilung . . . . .	77
4. Tiefenabhängige Sedimentverteilung . . . . .	82
4.1 Aufbau des Nordweststrandes . . . . .	82
4.2 Aufbau des Nordstrandes . . . . .	84
5. Modellhafte Beschreibung des Sedimenttransports im Strandbereich . . . . .	89
5.1 Transportverhalten bestimmter Sedimentbestandteile . . . . .	90
5.1.1 Schill und Schillbruch . . . . .	90
5.1.2 Schwerminerale . . . . .	95
5.2 Morphodynamik . . . . .	107
5.2.1 Strandprofilentwicklung . . . . .	107
5.2.2 Massenbilanzierung . . . . .	109
6. Schlußfolgerungen . . . . .	114
7. Zusammenfassung . . . . .	118
8. Literatur . . . . .	120

## Anhang

# 1. Einleitung und Aufgabestellung

Der Westkopf der Insel Norderney ist von anhaltenden Strandabbrüchen geprägt, die durch Brandungs- und Gezeitenkräfte bedingt sind. Um die Standsicherheit der Schutzbauwerke zu gewährleisten, sind künstliche Strandauffüllungen notwendig geworden.

Die vorliegenden sedimentologischen und morphologischen Untersuchungen sollen zur Klärung der Sedimenttransportvorgänge im Strand- und Vorstrandbereich sowie der Auswirkungen von künstlichen Strandauffüllungen beitragen. Die Untersuchungen wurden innerhalb des Teilprojektes "Sedimentologie und morphologische Entwicklung" in enger Zusammenarbeit mit dem Geologischen Institut der Universität Kiel, mit dem Teilprojekt "Hydrographie" und dem Institut für Meerestechnik der TU Hamburg Harburg durchgeführt.

Eine Effektivitätssteigerung von Aufspülungen setzt eine detaillierte Kenntnis der Sedimentbewegungen sowie der auslösenden Mechanismen im Strand- und Vorstrandbereich voraus. Daher wurde eine zeitliche Auflösung der sediment- und morphodynamischen Prozesse bis hin zu einzelnen Tidephasen angestrebt, die es erlaubt, die aus komplexen Wechselwirkungen resultierenden Umlagerungs- und Erosionsabläufe erfassen und deuten zu können. Bei der Beschreibung der Sedimentdynamik spielt neben der Stärke des Energieeintrages auch seine Richtung eine wichtige Rolle. Im Vordergrund der Einzeltidenuntersuchungen stehen weiterhin die Erfassung der Wechselwirkungen zwischen Küstenschutzbauwerken und den Transportprozessen in den Bühnenfeldern.

Neben den natürlichen Sedimentkennwerten, wie Korngrößenverteilung sowie Kalk- und Schwermineralgehalt, dienen Luminophoren - mit lumineszierenden Farbstoffen markierte Sedimentpartikel - als Transportindikatoren. Die wiederholte topographische Aufnahme des Strandes und Vorstrandes ermöglicht es, die morphodynamische Entwicklung aufzuzeigen. Ebenso können aufgrund dieser Daten Massenbilanzierungen vorgenommen werden.

## 1.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt an der Westseite der Insel Norderney (Abb. 1) und umfaßt sowohl den Strand- als auch den Vorstrandbereich. Seewärts wird das Untersuchungsgebiet durch die NN -5 m - Linie und inselwärts durch das künstliche Deckwerk bzw. die Dünenkante begrenzt.

## 7. Zusammenfassung

Im Strand- und Vorstrandbereich von Norderney sind umfangreiche sedimentologische Untersuchungen durchgeführt worden. Ziel dieser Arbeiten war es, die Transport- und Umlagerungsprozesse der Sedimente in Zuordnung zu morphodynamischen Abläufen zu erfassen. Durch eine Koppelung phänomenologischer Analysen von Naturmessungen mit theoretischen Ansätzen war es möglich, die Sedimentdynamik einer brandungsbeeinflussten, mesotidalen Barriere-Insel exemplarisch darzustellen. Die zeitliche Auflösung der dynamischen Prozesse bis hin zu einzelnen Tidephasen erlaubte es, die aus komplexen Wechselwirkungen resultierenden Umlagerungs- und Erosionsabläufe (Längs- und Quertransporte) zu erfassen und zu deuten.

Durch die Bestimmung der Korngrößenverteilung, des Kalkgehaltes und des Schwermineralanteiles sowohl in küstennormaler als auch in küstenparalleler Richtung konnten die Abhängigkeiten der Sedimentverteilungen und Umlagerungen vom Materialangebot und von wechselnden Energieeinträgen (Stärke und Richtungen) dargestellt werden.

Allgemein ist ein strandnormaler Anstieg der Korngröße vom Vorstrand zur Hochwasserlinie zu erkennen. Oftmals liegt das Maximum in Höhe der Mittelwasserlinie, an der sich in den Bühnenfeldern teilweise ein "Mittlerriff" ausbildet. Auch die Schwermineralanteile weisen einen landwärts ansteigenden Gradienten auf. Dieser küstenwärtige Anstieg spiegelt die Zunahme des Energieeintrages mit abnehmender Wassertiefe wider. Die erhöhten Energieeinträge während der Wintermonate führen zu einer Vergröberung und zu einem Anstieg des Schwermineralgehaltes.

In strandparalleler Richtung zeichnen sich deutliche Unterschiede in der Sedimentverteilung und Strandneigung ab, die auf abweichende hydrodynamische Randbedingungen zurückzuführen sind. Mit zunehmender Entfernung von Seegat und mit wachsenden Energieeinträgen nehmen die Korngröße und die Schwermineralanteile zu. Maxima sind sowohl im Bereich des Nordweststrandes, der von anhaltenden Strandhöhenabnahmen gekennzeichnet ist, als auch im Platananlandungsbereich, wo in unregelmäßigen Abständen Sediment über den Riffbogen herangeführt wird, zu verzeichnen.

Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen ergeben sich zwischen den wichtigsten Parametern Seegang, Korngröße, Strandneigung und Strandhöhen teilweise gegenläufige Beziehungen. Strände verflachen sich mit zunehmender Seegangsbeaufschlagung. Strände mit gröberen Sedimenten sind im Vergleich zu feinkörnigeren Stränden steiler geneigt. Eine höhere Seegangsbelastung führt zu einer Vergröberung der Sedimente. Dieser Widerspruch ist nur ein vermeintlicher, da die o.g. Beziehungen nicht

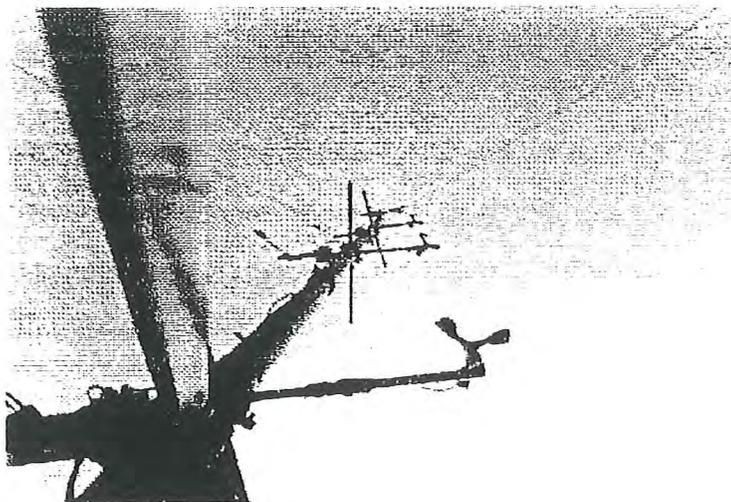
jeweils isoliert betrachtet werden dürfen. Vielmehr stehen alle Parameter in einem inneren Gleichgewicht und beeinflussen sich gegenseitig. Daher ist es durchaus möglich, daß mit steigender Seegangsbelaugung eine Sedimentvergrößerung und eine Verflachung der Strandneigung einhergeht, wie dies auf Norderney zu beobachten ist.

Untersuchungen der hydromechanischen Eigenschaften der Sedimentbestandteile Quarz, Schwerminerale und Schill in Abhängigkeit von Dichte und Korngröße erlauben Rückschlüsse auf den Erosions- und Sedimentationsablauf von Strandsedimenten. So wird das Erosionsverhalten der Strandsedimente durch die vorwiegend von der Dichte abhängige Schubspannung der Sedimentpartikel bestimmt, das Sedimentationsverhalten hingegen von der Sinkgeschwindigkeit, die stärker von der Korngröße beeinflusst wird.

Schwermineralsande und anderen Sedimentpartikel mit einer erhöhten Dichte weisen eine höhere kritische Schubspannung auf als Quarzsande und sind damit erosionsresistenter. Aus diesem Grunde wären sie ein geeignetes Auffüllmaterial, um die Verweildauer von künstlichen Stränden zu verlängern. Für Norderney stellt das Verfahren jedoch keine praktikable Lösung dar, da weder geeignetes Material zur Verfügung steht noch ein schwarzer Strand akzeptiert werden würde.

# Vorstrand - und Strandauffüllungen im Bereich von Buhnen-Deckswerk-Systemen Teilbereich Meteorologie

Abschlußbericht  
von  
H. Schmidt, H. Günther, R. Strüfing



Forschungsvorhaben gefördert durch das  
Bundesministerium für Forschung und Technologie  
über das Niedersächsische Umweltministerium  
Förderkennzeichen: MTK 0545 A



## Windmessungen und Modellverifikation auf Norderney

von Heiner Schmidt, Horst Günther und Reinhard Strüfing

### Zusammenfassung

Die Meßkampagne auf Norderney hat gezeigt, daß Windmessungen an Land allein nicht ausreichen, den Wind auf See für alle Windrichtungen direkt zu bestimmen. Das massenkonsistente Windmodell des Seewetteramtes hat sich dabei als geeignetes Hilfsmittel erwiesen, die Windverhältnisse von verschiedenen Meßpunkten an Land unter Verwendung von Orographie- und Rauhigkeitsfeldern auf die freie See zu übertragen.

### Abstract

Measuring the wind during a research campaign on the island of Norderney indicates that landbased measurements only are not sufficient to define the wind over the sea for all directions.

The mass consistent wind model at the maritime branch of DWD proved to be suitable to transfer the various landbased measurements on to sea conditions by use of gridded fields of orography and roughness length.

## 5. Schlußbemerkung

Es hat sich gezeigt, daß die Windmessungen auf Norderney keineswegs für die Windverhältnisse auf See repräsentativ sind. Vielmehr müssen die Werte für einige Windrichtungen zur Übertragung nach See erheblich modifiziert werden. Mit wenigen Ausnahmen gilt dies für alle Küsten- und Inselmeßstellen.

Das vorgestellte Verfahren, Faktoren zur Übertragung des Windes von einem Ort auf andere Orte mit Hilfe von numerischen Modellen zu bestimmen, ist ohne wesentliche Einschränkungen auf andere Gebiete an den deutschen Küsten übertragbar. Es bietet sich auch, an geplante Anemometer-Standorte, für die es keine Vergleichsmessungen gibt, mit Hilfe dieses Verfahrens zu behandeln. Allerdings sind die notwendigen Modellrechnungen zeit- und kostenintensiv, da u.a. die Orographie und die Bodenrauigkeit in einem feinen Raster bereitgestellt werden müssen.

Wir danken den Mitarbeitern der Forschungsstelle Küste für die freundliche Hilfe bei der Planung, Einrichtung und Betreuung unserer Windmeßeinrichtungen auf Norderney.

Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz Norden

Abschlußbericht

zum

KFKI-Forschungsvorhaben

Vorstrand- und Strandauffüllungen  
im Bereich von  
Buhnen-Deckwerks-Systemen

Teilprojekt:  
Versuchsaufspülung -  
Entwicklung und Technik

BMFT-Förderkennzeichen: MTK 0545

Abschlußbericht  
zum  
KFKI-Forschungsvorhaben

Vorstrand- und Strandauffüllungen  
im Bereich von  
Buhnen-Deckwerks-Systemen

Teilprojekt:  
Versuchsaufspülung -  
Entwicklung und Technik

BMFT-Förderkennzeichen: MTK 0545

Norden im Juni 1994

verfaßt von  
H.F. Erchinger, H.-G. Coldewey und H. Knaack

## Inhalt

1.	Einleitung.....	2
2.	Planung der Aufspülung 1992.....	4
3.	Tideverhältnisse.....	7
4.	Durchführung der Strandaufspülung 1992.....	7
4.1.	Sandentnahme.....	7
4.2.	Spülgerät.....	8
4.3.	Leitungssystem.....	9
4.4.	Spülbetrieb.....	10
5.	Strandentwicklung nach der Aufspülung 1992.....	11
5.1.	Strandvermessung.....	11
5.2.	Massenentwicklung am Weststrand zwischen den Bühnen D und A.....	12
5.3.	Massenentwicklung am Nordweststrand zwischen den Bühnen A und L1...	16
5.4.	Neigungsentwicklung.....	23
6.	Vergleich mit der Aufspülung 1989.....	26
7.	Kostenvergleich.....	30
8.	Bewertung der Aufspülung 1992.....	31
9.	Quantifizierung des äolischen Sandtransportes auf dem Strand.....	34
9.1.	Einführung.....	34
9.2.	Versuchsdurchführung.....	36
9.2.1.	Meßort.....	36
9.2.2.	Windmessung.....	37
9.2.3.	Sandfalle des StAIK.....	37
9.2.4.	Impaktor-Meßsystem des Alfred-Wegener-Instituts.....	39
9.3.	Ergebnisse der Messungen.....	40
9.3.1.	Windgeschwindigkeit, Aerodynamische Rauigkeitslänge $z_0$ ..... und Overspeeding-Fehler	40
9.3.2.	Windrichtung.....	44
9.3.3.	Sandtransportmessungen mit der Sandfalle des StAIK.....	46
9.3.3.1.	Transportrate.....	46
9.3.3.2.	Korngrößen des transportierten Sandes.....	48
9.3.4.	Sandtransportmessungen mit dem Impaktor-Meßsystem des AWI.....	50
9.4.	Vergleich der gemessenen mit berechneten Transportraten und..... kritische Betrachtung	53
10.	Zusammenfassung.....	57
11.	Literaturverzeichnis.....	58

## 1. Einleitung

Die Ostfriesischen Inseln wurden als Düneninseln durch Seegangs-, Strömungs- und Windkräfte geformt und sind bis heute einem stetigem Wandel unterworfen. Der Westkopf der Insel Norderney ist von der natürlichen Sandversorgung durch Platananlandungen aus dem Riffbogenbereich abgeschnitten und unterliegt einem anhaltenden Erosionsprozeß. Der Mensch versucht seit über 130 Jahren durch den Bau von Buhnen und Deckwerken den Abbruch des Westkopfes zu stoppen. Durch die Buhnen - insbesondere die nach 1930 gebauten Unterwasserbuhnen - wurde der Inselsockel gegen eine weitere Ostverlagerung des Seegats gesichert, die Bauwerke konnten allerdings den anhaltenden Strandabtrag nicht verhindern. In den Jahren 1951/52 wurde die Schutzkonzeption umgestellt. Nicht allein starre Bauwerke, sondern Schutzbauten und ein zusätzlich vorgespültes Sanddepot sollten den angreifenden Strömungs- und Brandungskräften entgegenwirken. Einschließlich 1992 sind seither insgesamt sieben Strandaufspülungen durchgeführt worden (siehe Tabelle 1 und Abbildung 1).

Nach der Strandaufspülung vom Mai 1989 war im Frühjahr 1990 ein erheblicher Sandmassenverlust festgestellt worden. Die außergewöhnlich hohen Umlagerungsmengen wurden mit einer extremen Häufung von Sturm- und Orkanfluten in diesem Zeitabschnitt erklärt. Die erhoffte Regeneration des Strandes blieb jedoch aus und der ungünstige Trend setzte sich bis zum Herbst 1991 fort. Die Vermessungen im Frühjahr 1992 zeigten, daß das Strandniveau mittlerweile so tief lag, daß eine weitere Strandaufspülung unumgänglich war, wollte man nicht das Risiko schwerer Schäden am Deckwerk eingehen.

Im Rahmen des interdisziplinären KFKI-Forschungsvorhaben "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Buhnen-Deckwerks-Systemen" wurde vom StAIK das Teilprojekt "Versuchsaufspülung - Entwicklung und Technik" bearbeitet. Das Projekt begann am 01.01.1992 und endet am 30.06.1994. Es schließt unmittelbar an das, ebenfalls vom BMFT finanzierte, KFKI-Forschungsvorhaben "Wechselwirkungen zwischen mariner Umwelt und Küstenbauwerken" an, in dem das Teilprojekt "Versuchsorientierte Strandaufspülung" vom StAIK durchgeführt wurde. Die dort gewonnenen Erkenntnisse wurden in die Planung der Aufspülung im Frühjahr 1992 einbezogen.

In dem die Aufspülung 1992 begleitendem Teilprojekt "Versuchsaufspülung - Entwicklung und Technik" sollten Möglichkeiten einer Auffüllung des Vorstrandes hinsichtlich der technischen und wirtschaftlichen Aspekte untersucht werden. Des Weiteren sollten, in Fortsetzung des vorherigen Projektes, Untersuchungen zur Frage des äolischen Sandtransportes am Strand durchgeführt werden.

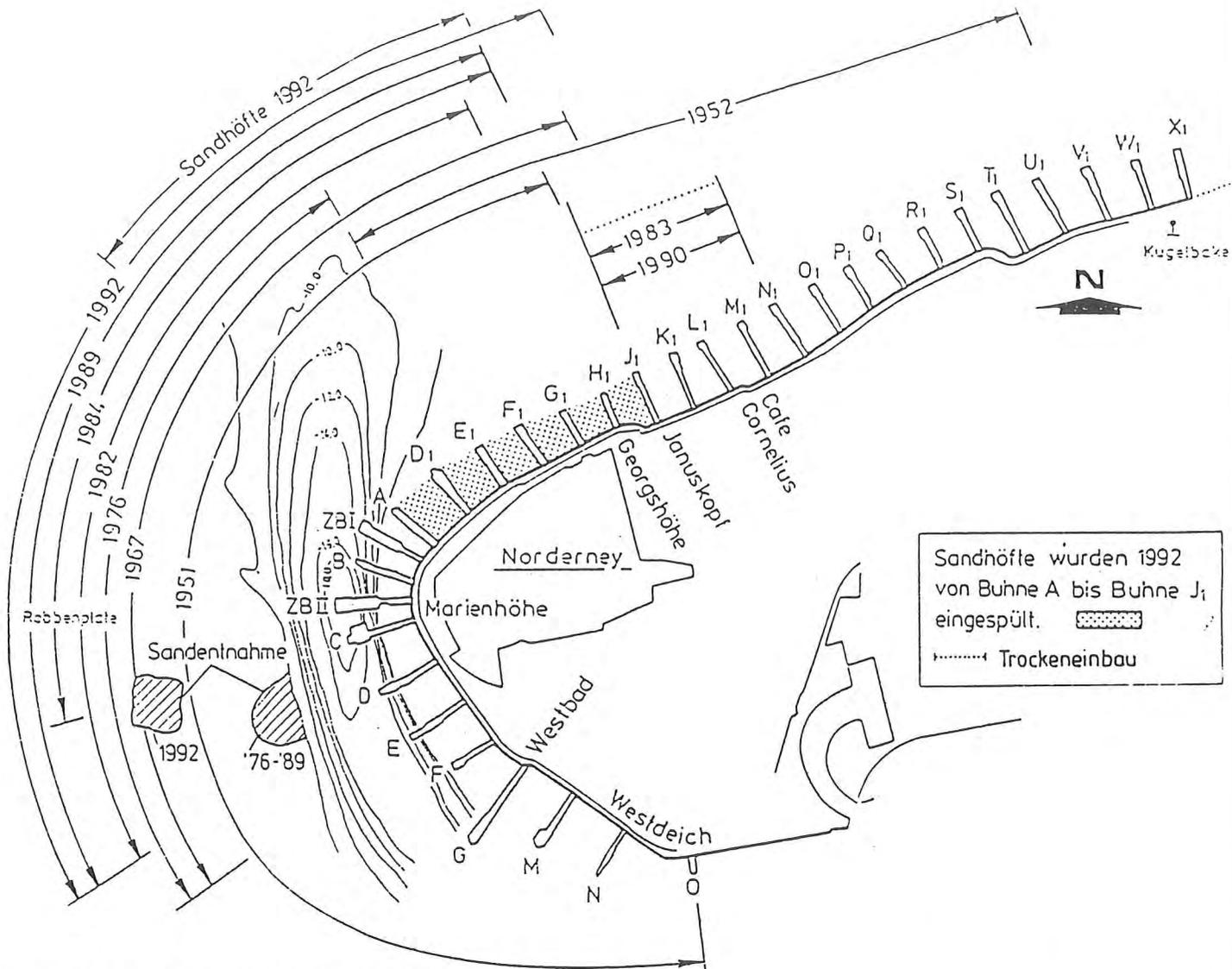


Abb. 1: Übersichtsplan der Aufspülstrecken

Jahr	Aufgespülte Länge [km]	Strandstrecke Buhnen	Einbaumenge [m³]	Entnahmeort
1951/52	6,0	O - V1	1.250.000	südl. Inselwatt
1967	2,0	E - K1	240.000	vor Buhne G1
1976	1,1	E - E1	500.000	Robbenplate
1982	1,5	D - H1	470.000	Robbenplate
1984	1,7	C - J1	410.000	Robbenplate
1989	1,8	D - J1	450.000	Robbenplate
1992	2,1	D - L1	500.000	Robbenplate
Trockeneinbau				
1983	0,6	J1 - N1	64.000	Strand östl. Weiße Düne
1990	0,5	J1 - N1	45.000	Weiße Düne
Wiederherstellung und Sicherung Schutzdüne östl. der Kugelbake				
1981	0,65		82.000	Strand östl. Weiße Düne
1983	0,43		99.000	Weiße Düne
Gesamtmenge des eingebauten Sandes			4.110.000 m³	

Tabelle 1: Hauptmerkmale der Strandauffüllungen 1951 - 1992

## 10. Zusammenfassung

Bei der 7. Strandaufspülung 1992 auf Norderney wurde versucht am Nordweststrand den Vorstrand durch den Einbau konzentrierter Sandmassen in Form von Sandhöften aufzufüllen. Die Bauausführung stellte eine wirtschaftlich günstige Variante dar und bereitete keine wesentlichen technischen Probleme.

Die Umformung der Sandhöfte und die Verteilung des Sandes durch Seegangs- und Strömungskräfte vollzog sich unerwartet schnell innerhalb weniger Wochen. Die Massenverluste bis zum Herbst 1992 betragen im Bereich der Sandhöfte etwa 1/4 der eingespülten Menge. Eine wesentliche Verlängerung der Standzeit des aufgespülten Sandes und eine verbesserte Regeneration der oberen Strandbereiche konnte durch diese Bauausführung nicht erreicht werden. Bereits nach zwei Jahren war nach der Sturmtidenkette vom 28. bis 31.01.1994 mit schwerem Seegang eine neuerliche Aufspülung des am stärksten belasteten Bereiches unumgänglich.

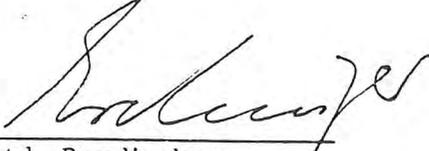
Die Untersuchungen zum äolischen Sandtransport ergaben eine generelle Übereinstimmung zwischen den Naturmessungen auf Norderney und vorhandenen theoretischen Herleitungen in der Literatur. Die große Streubreite der Ergebnisse verdeutlicht aber die noch vorhandenen theoretischen und meßtechnischen Wissenslücken zu diesem Thema, die noch geschlossen werden müssen, bevor Berechnungen und Vorhersagen möglich sind, die über eine grobe Abschätzung der transportierten Sandmassen hinausgehen.

Aufgestellt:

Norden im Juni 1994

Staatliches Amt für

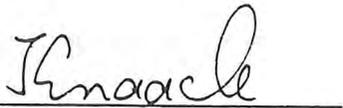
Insel- und Küstenschutz

  
\_\_\_\_\_  
Ltd. Baudirektor

Sachgebietsleiter

  
\_\_\_\_\_  
Dipl.-Ing.

Bearbeiter

  
\_\_\_\_\_  
Dipl.-Geol.

# KFKI - Forschungsvorhaben

„Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“

Teilprojekt des Geologischen Instituts der Universität Kiel

- Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen -

## Abschlußbericht

Bearbeiter:

DIPL.-GEOL. OLAF OTTEN

Geologisch-Paläontologisches Institut  
und Museum der Universität Kiel  
Arbeitsgruppe Küstengeologie

Projektleiter:

PROF. DR. R. KÖSTER

Dezember 1994

# Abschlußbericht

des KFKI - Forschungsvorhabens

„Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen - Deckwerk - Systemen“

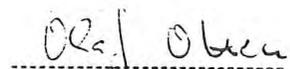
Teilprojekt des Geologischen Instituts der Universität Kiel

- Sedimentumlagerungen und Schichtstrukturen -

Geologisch-Paläontologisches Institut  
der Universität Kiel  
Dezember 1994



Prof. Dr. R. Köster



Dipl.-Geol. O. Otten

# Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	IV
TABELLENVERZEICHNIS.....	VI
VORWORT.....	VII
<b>1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2. UNTERSUCHUNGSGBIETE.....</b>	<b>3</b>
2.1. SEDIMENTOLOGIE, MORPHOLOGIE UND HYDROGRAPHIE .....	6
2.1.1 Norderney .....	6
2.1.1.1 Strandprofil Bühnenfeld D1 - E1 .....	6
2.1.1.2 Strandprofil Naturstrand „Weiße Düne“ .....	7
2.1.2 Sylt .....	8
2.1.2.1 Rantum .....	8
2.1.2.2 Kampen .....	9
<b>3. WAS IST SCHICHTUNG ?.....</b>	<b>11</b>
<b>4. STRANDFORMEN UND GEFÜGESTRUKTUREN (NACH REINECK 1984).....</b>	<b>12</b>
4.1 GEOLOGISCHES STRANDPROFIL.....	13
4.1.1 Trockener Strand.....	13
4.1.2 Nasser Strand.....	13
4.1.3 Vorstrand .....	14
4.2 GEFÜGESTRUKTUREN .....	15
4.2.1 Laminiertes Sand.....	15
4.2.2 Rippeln.....	16
4.2.2.1 Strömungsrippeln.....	16
4.2.2.2 Seegangs- und Wellenrippeln .....	17
4.2.2.3 Gegenrippeln.....	18
4.2.2.4 Rhomboederrippeln.....	18
4.2.3 Schill.....	18
4.2.4 Schrägschichten .....	19
4.2.5 Bioturbation .....	19
4.2.6 Riffstirnschichten .....	20
4.2.7 Blasensand.....	20
4.2.8 Kolke.....	20

<b>5. ARBEITSMETHODEN</b> .....	<b>21</b>
5.1 GELÄNDEBEARBEITUNG.....	21
5.1.1 Gewinnung ungestörter Sedimentprofile mit der Stechkastenmethode.....	21
5.1.2 Oberflächenproben.....	21
5.1.3 Oberflächenkartierung.....	21
5.1.4 Umlagerungsbestimmung mit dem Tracerverfahren.....	22
5.1.5 Vibrationsbohrverfahren.....	23
5.2 BEPROBUNGSZYKLUS.....	23
5.3 LABORBEARBEITUNG.....	24
5.3.1 Aufbereitung des Probenmaterials.....	24
5.3.1.1 Stechkastenprofile.....	26
5.3.1.2 Oberflächenproben.....	29
5.4 EDV-AUSWERTUNG.....	29
<b>6. ERGEBNISSE</b> .....	<b>30</b>
6.1 SONDIERUNG MIT DEM VIBRATIONSBOHRER.....	30
6.2 OBERFLÄCHENKARTIERUNG.....	37
6.2.1 Norderney.....	37
6.2.1.1 Bühnenfeld D1 - E1.....	37
6.2.1.2 Naturstrand „Weiße Düne“.....	40
6.2.2 Sylt.....	41
6.3 BESTIMMUNG DER UMLAGERUNG.....	42
6.3.1 Norderney.....	42
6.3.1.1 Bühnenfeld D1 - E1.....	42
6.3.1.2 Naturstrand „Weiße Düne“.....	45
6.3.2 Sylt.....	46
6.4 STECHKASTENPROFILE.....	47
6.4.1 Untersuchungsgebiet Norderney - Aufspülbereich Bühnenfeld D1 - E1.....	47
6.4.1.1 August 1992.....	47
6.4.1.2 September 1992.....	49
6.4.1.3 Weitere Beprobungen 1992/93.....	52
6.4.1.4 Abschlußbeprobung März 1994.....	52
6.4.1.5 Abschließende Bemerkungen.....	53
6.4.2 Untersuchungsgebiet Norderney - Naturstrand „Weiße Düne“.....	54
6.4.3 Untersuchungsgebiet Sylt - Aufspülbereich Kampen.....	56
6.4.4 Untersuchungsgebiet Sylt - Rantum.....	58
6.5 OBERFLÄCHENPROBEN.....	60
6.6 KURZER VERGLEICH ZWISCHEN NORDERNEY UND SYLT.....	62
<b>7. ERGEBNISSE DES GEMEINSAMEN MEBEINSATZES IM OKTOBER 1993</b> .....	<b>64</b>
7.1 SEDIMENTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN.....	65
7.1.1 Umlagerungsintensität.....	65

7.1.2 Korngrößenverteilung .....	67
7.1.3 Schichtungsstrukturen .....	68
7.1.4 Oberflächenbeprobung .....	72
7.2 VERSUCH DER VERKNÜPFUNG VON SEDIMENTOLOGIE UND HYDROGRAPHIE .....	75
<b>8. ZUSAMMENFASSUNG UND FOLGERUNGEN .....</b>	<b>76</b>
<b>9. ARBEITSGRUNDLAGEN .....</b>	<b>80</b>
<b>10. LITERATUR .....</b>	<b>83</b>

# 1. Einleitung und Zielsetzung

Zur Erhaltung von Stränden werden seit einigen Jahrzehnten verstärkt Strandaufspülungen und -auffüllungen als Küstenschutzmaßnahme eingesetzt. Am Beispiel eines Bühnenfeldes auf der Insel Norderney wurde in dem vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten Forschungsvorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen“ die Effektivität von Vorstrand- und Strandauffüllungen als umweltverträgliche Maßnahme des Insel- und Küstenschutzes untersucht. Im Vorhaben arbeiteten unter der Koordination durch die Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie folgende Institutionen zusammen:

- das Staatliche Amt für Insel- und Küstenschutz (StAIK) Norden
- das Seewetteramt Hamburg
- der Lehrstuhl für Meerestechnik der TU Hamburg-Harburg
- das Geologische Institut der Universität Kiel
- die Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie.

Durch Auftrag vom 28.02.1992 wurde das Geologische Institut der Universität Kiel für den Zeitraum 1992 bis Mitte 1994 mit folgenden Untersuchungen beauftragt:

1. Sedimentumlagerungen auf der Grundlage von Analysen der Sedimentzusammensetzung und der Schichtstrukturen zu erfassen, und
2. vergleichende Analysen der Sedimentumlagerungen auf Sylt und Norderney durchzuführen.

Die Arbeiten konnten mit dem 1. April 1992 begonnen werden, und waren bis zum 30. Juni 1994 befristet. Für die abschließende Auswertung standen noch 3 weitere Monate zur Verfügung. Die für Feldarbeiten nutzbare Zeit betrug somit weniger als 2 Jahre. Im Bericht konnten nur Querverweise auf andere Teilberichte eingefügt werden, soweit uns diese Berichte zur Verfügung standen.

Die Betrachtung von Erosions-, Sedimentations- und Umlagerungsvorgängen mittels Naturuntersuchungen am Sediment erstreckte sich bisher überwiegend auf die Beschreibung von Korngrößenverteilungen. Modelluntersuchungen führten durch Parameterreduktion zu einer weiteren Vereinfachung der Betrachtungsweise, bei der nur noch

einzelne Korngrößen im Vordergrund standen. Die Einflüsse der Verteilungen innerhalb breiter Korngrößenspektren und der unterschiedlichen Schichtungsstrukturen blieben in dieser Betrachtung meist unberücksichtigt.

Schichtungsstrukturen sind ein Abbild von wechselnden Materialzusammensetzungen und entstehen durch verändertes Materialangebot bei unterschiedlicher Höhe des Energieeintrages durch Seegang und Strömung. Sie beinhalten ein breites Spektrum von geschichteten Sanden, deren einzelne Lagen in sich sehr gut sortiert sein können, sich untereinander aber in Korngröße und Sortierungsgrad unterscheiden. Dadurch wird auch die Lagerungsdichte des Sediments, die Rauigkeit der Oberfläche, das Erosionsverhalten, die kritische Erosionsgrenzgeschwindigkeit u.a. stark beeinflusst.

Die "traditionellen" Methoden zur Probenentnahme im Gelände ergaben Mischproben, so daß die Ergebnisse immer nur die Summe sich überlagernder Prozesse abbilden konnten. Die Grundvorgänge der Sedimentumlagerung wurden dabei nicht erfaßt, sondern nur die Summe von deren Auswirkungen. Um das in diesem Projekt verlangte Auflösungsvermögen der sedimentologischen Daten erreichen zu können, mußten die im nachstehenden Bericht dargestellten aufwendigen Verfahren auf der Grundlage ungestörter Proben eingesetzt werden.

## 8. Zusammenfassung und Folgerungen

Im Mittelpunkt des geologischen Teiles im Forschungsvorhaben "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen" standen sedimentologische Vorgänge bei der Aufarbeitung eines Spülkörpers auf der Düneninsel Norderney. Hier sollten die zeitliche Entwicklung der Prozesse bei der Aufarbeitung des ortsfremden Materiales in einem Testfeld (Bühnenfeld D1 - E1), die Erosionsabläufe und die Umlagerungstiefen verfolgt werden. Auf Norderney werden seit 1951 im Erosionsbereich nahe am Westkopf in unregelmäßigen Abständen Aufspülungen durchgeführt, so daß die allgemeinen Entwicklungstendenzen bekannt sind. An diese Kenntnisse anknüpfend, fanden vor allem die Untersuchungsmethoden der Analyse der Schichtungsprofile mit dem Aufbau der einzelnen Kornlagen und die Bestimmung der Umlagerungstiefen mit Tracerstäben, ergänzt durch andere Verfahren, Verwendung. Für die Feldarbeiten stand leider nur ein Zeitraum von knapp 2 Jahren zur Verfügung.

Vergleichende Untersuchungen fanden, vor allem gestützt auf Daten aus dem Vorhaben "Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt", an der Westküste von Sylt statt. Sylt hat sich, im Gegensatz zur Düneninsel Norderney, aus der Abtragung eines eiszeitlichen Geestkernes mit grobkörnigen jungtertiären Flußsanden entwickelt. Dadurch unterscheiden sich die beiden Inseln nicht nur in der Orientierung der Längsachsen und der Exposition, sondern auch in der Zusammensetzung der Sedimente. Die Korngrößen der Sande von Norderney, hervorgegangen aus einer Sandplate mit späterer Dünenentwicklung, sind viel feiner (grober Feinsand bis feiner Mittelsand), als die Strand- und Dünen-sande von Sylt.

Die beiden Inseln sind zugleich Beispiele für unterschiedliche Gestaltungen der Aufspülkörper. Auf Norderney werden die Auffüllungen bei Unterschreitung eines Mindestprofils (Die Küste, EAK 1993) so durchgeführt, daß eine möglichst naturnahe Strandneigung entsteht. Bei der Aufspülung 1992, deren Aufarbeitung untersucht worden ist, war der Vorstrand in dieses Profil einbezogen. Die neueren Aufspülungen auf Sylt - nicht die erste Versuchssandvorspülung - erfolgten auf dem Strand und gliedern sich in einen "Depotbereich" auf dem höheren Strand und ein vorgelagertes "Verschleißteil".

Der mittlere Medianwert ( $d_{50}$ ) der untersuchten Strandsedimente auf Norderney pendelte um 0,30 mm (1,75 PHI°). Der Sand ist außerdem "sehr gut" sortiert, d.h., das Korngrößenspektrum ist eng. Teilweise hatte das Spülgut sehr hohe Schillgehalte. Bei Berücksichtigung der Äquivalentkorngrößen der Schalen ergeben sich hier deutlich größere Vergleichswerte, Medianwerten über 0,50 mm (1,00 PHI°) entsprechend. Durch Auswaschung der Fein- und Mittelsandanteile infolge Brandung und Strömung entstanden zeitweise ausgedehnte Muschelhorizonte, die sich bei den Geländearbeiten als erhebliches Hindernis erwiesen. Bei den Sondierungen waren sie nur schwer, teilweise überhaupt nicht zu durchdringen.

Als Folge der Auswaschung trat auch insgesamt eine leichte Vergröberung des Korngrößenspektrums ein. Kurz nach Beendigung der Spülarbeiten im Juni 1992 lag der Medianwert überwiegend bei 0,18 bis 0,22 mm (2,47 PHI° bis 2,18 PHI°), das Sediment muß also nach allen sedimentologischen Erfahrungen mit Spülsand als sehr feinkörnig bezeichnet werden. Im Februar/März 1994 hatte dieser Wert auf 0,40 bis 0,45 mm (1,32 PHI° bis 1,15 PHI°) zugenommen. Während dieser Prozesse blieb das Korngrößenspektrum durchweg eng, d.h., die Sortierung sehr gut.

Ein Schwerpunkt der geologischen Untersuchungen lag in der Analyse der Schichtungsstrukturen. Während der Spülarbeiten dürften sich aus dem abfließenden Sand/Wassergemisch überwiegend laminare Schichtungen gebildet haben. In der Folgezeit wurde das Sediment des Spülkörpers marin überprägt. Die Ausbildung der Schichtungsstrukturen beschränkte sich auf wenige Haupttypen:

- laminierte Schichten
- Rippelschichtung
- Muschelschillbänke.

Unerwartet hoch waren die Abtragungsraten und Umlagerungstiefen, die als weiterer Schwerpunkt verfolgt wurden. Diese hatten zur Folge, daß häufig Tracerstäbe nicht wieder aufgefunden werden konnten, die Umlagerungstiefen also gelegentlich die Länge der Tracerstäbe (bis mehrere Dezimeter) überschritt. Diese Schnelligkeit des Ablaufes der Vorgänge hatte Folgewirkungen, durch die sich Einschränkungen der Untersuchungsmöglichkeiten ergaben. In der Regel kam es nicht zur Ausbildung von Oberflächenschichten, die mit den unmittelbar vorhergegangenen "hydrologischen Ereignissen" kor-

relierbar waren. Vielmehr ging nahezu regelmäßig die Abtragung so weit, daß stets "frisches" Spülgut an die Oberfläche gelangte. Die bei der Konzipierung des Vorhabens erwarteten "Gleichgewichtshorizonte" zwischen Sediment- und Schichtungsausbildung einerseits und den hydrologischen Kräften andererseits kamen so nicht zur Ausbildung.

Im fortgeschrittenen Winter 1993/94 hatte die Abtragung einen solchen Umfang erreicht, daß auch älteres Strandmaterial in der Vorgänge einbezogen wurde. Von nun an hätten bessere Möglichkeiten bestanden, die angestrebten speziellen Untersuchungen durchzuführen. Nun mußte jedoch kurzfristig zur Sicherung der Deckwerke eine neue Vorspülung durchgeführt werden, die bis zum Herbst 1994 schon wieder weitgehend abgetragen war. Aus diesen Gründen hat sich Norderney trotz der günstigen logistischen Voraussetzungen nicht als optimaler Standort für die Bearbeitung der geologischen Fragen bewährt.

Ein Experiment zur Erfassung von Wechselwirkungen zwischen Energieeintrag, Sedimentumlagerung und Morphologie fand im Oktober 1993 statt. Hier zeigte sich, daß selbst bei den sehr ruhigen Witterungsbedingungen des Meßzeitraumes im untersuchten Bühnenfeld D1 - E1 eine Umlagerung der Oberflächensedimente im Mittel bis in 5 bis 6 cm Tiefe stattfand. Somit ist die Wasserbewegung an der überwiegenden Zahl der Tage im Jahr so stark, daß Material der Sandkorngrößen, wie sie im Spülkörper vertreten sind, in Bewegung versetzt wird. Dieses ist die Begründung für die hohen Abtragungsraten und Erosionstiefen. Die angestrebten Korrelierungen zwischen Wasserbewegung und Sedimenteigenschaften waren somit unerreichbar.

Ähnliche Beobachtungen konnten an der Westküste von Sylt gemacht werden. Auch hier war bei beträchtlichen Umlagerungstiefen die Korrelierung zwischen Energieeintrag und Sedimenteigenschaften ein großes Problem. Unter den dortigen Bedingungen hatten auch die unterschiedlichen Zeitskalen von hydrologischer Messung, Sedimentanalyse und Strandvermessung zusätzliche methodische Probleme aufgezeigt. Eine Folgerung ist, daß Detailuntersuchungen zur Korrelierung der Parameter wohl nur in Experimenten unter kontrollierbaren Laborbedingungen möglich sein werden.

Für die Aufgaben des Uferschutzes nahe dem Westkopf von Norderney ergeben sich aus geologischer Sicht die nachstehenden Schlußfolgerungen:

1. Es muß angestrebt werden, für die Strandauffüllungen deutlich gröberes Material zu verwenden. Dieses ist nur durch Nutzung von eiszeitlichen Schmelzwassersanden aus dem Untergrund möglich und somit sehr aufwendig. Erfahrungen mit früheren Kiesaufschüttungen besagen aber, daß von dieser Seite alleine die gewünschte Stabilisierung kaum erreichbar sein wird.
2. Deshalb wird geprüft werden müssen, ob mit ergänzenden Bauwerken eine Wasserberuhigung im Bühnenfeld erreichbar ist, ohne daß durch die Existenz derartiger Anlagen bereits wieder negative Auswirkungen initiiert werden. Für den Geologen stellt sich die Frage, ob eine Weiterentwicklung des Prinzipes der an der gezeitenfreien Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns bewährten Längswerke an die Bedingungen einer Gezeitenküste oder des vor Kampen bewährten künstlichen Riffes aus Geotextilien ohne bindige Ablagerungen als Basis möglich ist.
3. Ferner stellt sich für den Geologen, für den die ständige Veränderung des Naturraumes selbstverständlich ist, die weitere Frage, ob nicht bei der Aufstellung der langzeitlichen Planungen wieder, wie in früheren Jahrhunderten selbstverständlich, berücksichtigt werden muß, daß eine Rücknahme der Uferlinie auf einen günstigeren Verlauf sinnvoll sein kann.



# ABSCHLUSSBERICHT

BMFT - Forschungsvorhaben

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

*Unteraufgabe im Teilprojekt "Sohlfluktuationen"*

BMFT-Förderkennzeichen: 515-3892-MTK 0545A

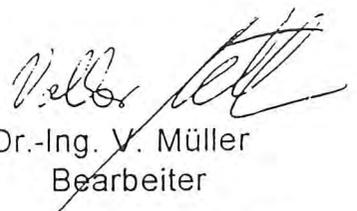
TU Hamburg - Harburg  
Arbeitsbereich Meerestechnik I

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 unfähig. 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 "Sohlfuktuationen" 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.

## 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 Meßwertaufnahme 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 "tidenominierten" 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 vervollkommnet 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



SONDERUNTERSUCHUNGEN HERBST 1994  
AUF NORDERNEY ZU SEDIMENTOLOGISCHEN UND  
MORPHOLOGISCHEN FRAGESTELLUNGEN

von

Heiko Knaack

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE  
-Forschungsstelle Küste-

## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Ziele .....	1
2	Methodik .....	2
2.1	Sedimentologie .....	2
2.2	Höhenänderungen des Strandess .....	4
2.3	Einzeltiden-Untersuchungen .....	5
3	Ergebnisse .....	7
3.1	Änderungen in der Sedimentologie .....	7
3.2	Höhenänderungen des Strandess .....	18
3.3	Einzeltiden-Untersuchungen (22.09.94 bis 07.10.94) im Bühnenfeld D1-E1	21
4	Zusammenfassung .....	40
5	Literaturverzeichnis .....	41

### 1 Veranlassung und Ziele

Auf Grund der Struktur des Norderneyer Seegats und bedingt durch Brandungs- und Gezeitenkräfte unterliegt der Westkopf der Insel Norderney einer anhaltenden strukturellen Erosion seiner Sandstrände [THILO & KURZAK 1952; HOMEIER 1964]. Dieser Erosion wird seit den fünfziger Jahren durch wiederholte Strandauffüllungen in Ergänzung zu den seit Mitte des vorherigen Jahrhunderts geschaffenen festen Schutzbauwerken entgegengewirkt [z.B. KRAMER 1959; ERCHINGER 1986; KUNZ & STEPHAN 1992].

Bereits die 6. Aufspülung 1989 wurde durch ein intensives Forschungsprogramm begleitet, initiiert durch das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen und finanziert durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie. Basierend auf den seinerzeit erreichten Erkenntnissen wurde bei der nachfolgenden Aufspülung 1992 versucht, den Vorstrandbereich mit aufzufüllen um die Effektivität zu erhöhen. Auch diese kombinierte Strand- und Vorstrandauffüllung wurde in Fortsetzung des vorhergehenden Projektes von einem KFKI-Forschungsvorhaben "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen" begleitet. Ziele der Untersuchungen waren zum einen die Überprüfung und gegebenenfalls Verbesserung der Effektivität der kombinierten Aufspülung, zum anderen, und hiermit verknüpft, sollten weiterführende generelle Erkenntnisse über die hydrodynamisch-morphologischen Wechselwirkungen an Stränden gewonnen werden.

Der vorliegende Bericht befaßt sich mit sedimentologischen und morphologischen Untersuchungen, die im Herbst 1994 in Weiterführung bisheriger Arbeiten durchgeführt wurden. Die Untersuchungen sollten das Verständnis der Prozesse des Sedimenttransportes und der Morphodynamik verbessern. Die Darstellung umfaßt die Fortsetzung der monatlichen Sedimentbeprobungen entlang von vier Strandprofilen sowie Untersuchungen im Bühnenfeld D1-E1 über mehrere Einzeltiden im September/Oktober 1994 in Anlehnung an die Untersuchungen vom Oktober 1993 (siehe Schlußbericht zum Teilprojekt Sedimentologie). Zusätzlich wurde in diesem Bühnenfeld über ca. vier Monate ein sogenannter Sandstandpegel eingesetzt, um punktuell die Höhenänderungen des Strandess zu erfassen und die Eignung des Gerätes hinsichtlich der Untersuchung von Sohlfluktuationen zu überprüfen.

Bedingungen erfolgen müßten. Dies ist jedoch nur eingeschränkt möglich, da die Meßmethoden nur bei relativ ruhigem Wetter einsetzbar sind. Insbesondere ist ein vollständiges Trockenfallen des intertidalen Strandes erforderlich; dies ist aber bei rauheren Randbedingungen häufig nicht der Fall.

#### 4 Zusammenfassung

Die monatliche sedimentologische Beprobung mehrerer Bühnenfelder am West- und Nordweststrand der Insel Norderney wurde 1994 fortgesetzt. Im Gegensatz zu den vorhergehenden Aufspülungen 1989 und 1992 konnte nach der Auffüllung im Frühjahr 1994 keine eindeutige Beeinflussung der Zusammensetzung der Sedimente am Weststrand durch die Aufspülung festgestellt werden. Der fehlende Einfluß beruht vermutlich auf der größeren räumlichen Distanz zur Aufspülung und dem geringeren Unterschied in den Korngrößenspektren. Im Aufspülbereich selbst waren deutliche Änderungen der Korngrößenverteilungen des Strandsandes nach allen drei Auffüllungen zu erkennen.

Die Einzeltiden-Untersuchungen im Bühnenfeld D1-E1 im Herbst 1994, wie auch ähnliche Untersuchungen in den vorherigen Jahren, zeigten eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität der sedimentologischen Parameter. Für die Verteilung der Korngrößen und anderer sedimentologischer Werte am Strand sind insbesondere auch klein- und mittelgroße Strukturen, wie Schillansammlungen und flache Strandriff-Rinnen-Systeme, von Bedeutung. Hieraus folgt, daß pauschale Aussagen über die Sedimentologie größere Bereiche auf Grund weniger Proben nur unter Berücksichtigung dieser hohen Variabilität möglich sind. Dies betrifft auch die Interpretation der seit 1988 genommenen monatlichen Sedimentproben, dennoch lassen die Ergebnisse der Beprobungen die in diesem Bericht gemachten Aussagen über die Beeinflussung der Strandsedimente durch die Aufspülungen zu. Ferner zeigten die Einzeltidenuntersuchungen, daß bereits bei geringer Umlagerungsintensität deutliche Veränderungen der Oberflächensedimente des intertidalen Strandes stattfinden können. Auch dieses Ergebnis verdeutlicht die Problematik einer räumlich und zeitlich begrenzten Probenahme zur Beschreibung der Sedimentologie eines komplexen Systems wie dem des Strandes. Weitreichende Erkenntnisse bezüglich der Sediment- und Morphodynamik ließen sich aus den Ergebnissen der umfangreichen Einzeltidenuntersuchungen nicht gewinnen, so daß dieser Bericht kaum über eine Beschreibung der Meßresultate hinausgehen kann.

Zur quasi kontinuierlichen Beobachtung von Sohlfluktuationen wurde ein sogenannter Sandstandpegel eingesetzt. Die Messungen mit diesem Gerät bestätigten frühere Untersuchungen, daß mit dem Auflaufen des Wassers Erosionsprozesse verbunden sind, die bei ablaufendem Wasser durch eine entsprechende Sedimentation kompensiert werden. Darüber hinaus konnten über mehrere Tage andauernde Höhenänderungen des Strandniveaus beobachtet werden, die im Zusammenhang mit Änderungen morphologischer Strukturen im Bühnenfeld, z.B. flacher Strandriff-Rinnensysteme, zu sehen sind. Das Gerät erwies sich, von kleineren technischen Problemen und einer Auskolkung um das Gerät herum abgesehen, als generell geeignet für die Untersuchung von zeitlichen Änderungen der Strandhöhe. Wie alle punktuellen Messungen lassen die Ergebnisse jedoch kaum Aussagen über größere Bereiche zu.



FIELD INVESTIGATIONS OF PHYSICAL  
REGULARITIES AND SPATIAL-TEMPORAL  
SCALES OF SAND SUSPENDING AND  
TRANSPORT IN THE COASTAL ZONE UNDER  
THE STORM WAVES

List of responsible executors:

Dr. Hans Kunz,  
Prof. Ruben Kos'yan,  
Dr. Sergei Kuznetsov,  
Dr. Igor Podymov,  
Mr. Oleg Pushkarev,  
Dr. Nickolai Pykhov.



RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES

The Southern Branch of the P.P.Shirshov Institute of Oceanology

NLOE - FORSCHUNGSSTELLE KUESTE

Coastal Research Station. Norderney. Germany

FIELD INVESTIGATIONS OF PHYSICAL REGULARITIES AND  
SPATIAL-TEMPORAL SCALES OF SAND SUSPENDING AND TRANSPORT  
IN THE COASTAL ZONE UNDER THE STORM WAVES

Sponsored by the German Ministry for Science and Technology  
(BMFT) within the frame work of the KFKI - program on beach  
nourishment "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von  
Buhnen-Deckwerks-Systemen"

Norderney. Gelendzhik. Moscow

1994

## CONTENTS

1. INTRODUCTION.....	1
1.1. Brief review of previous investigation.....	1
1.1.1. The distribution of a mean concentration (during the storm) of the suspended sediments.....	2
1.1.2. Variability of the suspended sediment concentration and a mean diameter during the storm....	6
1.1.3. The peculiarities of the distribution of the suspended sediment concentration and composition in the breaking zone.....	11
1.1.4. Field investigations of longshore sediment transport.....	14
1.1.5. Calculation of the vertical profiles of the suspended sediment concentration.....	16
1.1.6. About prognosis of longshore sediment transport....	18
1.2. Basic description of the sediment movements by waves in nearshore zone.....	24
1.3. The main ideas of the experiment.....	29
2. METHODS AND DEVICES.....	30
2.1. TURBIDIMETER.....	30
2.1.1. Features.....	30
2.1.2. Benefits.....	31
2.1.3. General description.....	31
2.1.4. Communication and data playback.....	35
2.1.5. The laboratory experiment.....	37
2.1.6. Discussion.....	39
2.1.7. Full-scale experiment.....	43
2.1.8. The final calibration of the turbidimeter.....	43
2.1.9. Conclusions.....	47
2.2. SUSPENDED SEDIMENT TRAPS.....	49
2.2.1. Construction.....	50
2.2.2. Methodic aspects of the traps utilization.....	53
2.3. SAND LEVEL GAUGE.....	57
2.3.1. Features.....	57
2.3.2. Benefits.....	58
2.3.3. General description.....	58
2.3.4. Communication and data playback.....	61
2.3.5. The laboratory experiment.....	61

2.3.6. Discussion.....64  
2.3.7. Full-scale experiment.....66  
2.3.8. Conclusions.....70  
2.4. POLES FOR MEASUREMENT OF SEDIMENT EROSION AND  
ACCUMULATION ON A STUDIED NEARSHORE AREA.....70  
2.5. VELOCITY METERS AND PRESSURE METERS.....73  
  
3. INSTALLATION.....74  
  
4. PROCEDURES.....80  
4.1. DESCRIPTIONS OF THE PROCESS OF MEASURING.....80  
4.1.1. General description of the telemetric system.....80  
4.1.2. Regimes of measuring.....86  
4.2. DATA PROCESSING.....94  
  
5. RESULTS.....96  
5.1. A BRIEF DESCRIPTION OF OBTAINED RESULTS.....96  
5.2. CLIMATE CONDITIONS DURING THE EXPERIMENT.....97  
5.3. RESULTS OF MEASUREMENTS BY TRAPS.....102  
5.4. RESULTS OF BOTTOM DEFORMATION MEASUREMENTS.....118  
5.4.1. Measurements by pins and plates.....118  
5.4.2. Measurements by sand level gauges.....125  
5.5. SYNCHRONOUS MEASURING OF SUSPENDED SEDIMENT  
CONCENTRATION, WATER VELOCITY AND FREE SURFACE  
ELEVATION.....135  
5.5.1. Analytical procedures of concentration, velocities  
and local suspended sand flux calculation.....135  
5.5.2. Time mean suspended sand concentration, cross- and  
longshore velocities.....138  
5.5.3. Time scales of sand suspending.....150  
5.5.4. Frequently dependent cross-shore and longshore  
suspended sediment transport.....167  
5.5.5. Net suspended sand fluxes in the cross-shore and  
longshore directions.....174  
  
6. DISCUSSION AND CONCLUSIONS.....188  
REFERENCES.....193

### 1.3. The main ideas of the experiment

A brief examination of the main approaches to the sediment flux prognosis and bottom changing have shown that synchronous measuring of sediment concentration, near bottom water velocity and deformation, of the bottom relief during storm are necessary for the development of grounded from physical aspect and strict approach and for checking up existing energetic models. First of all it is true for the breaking zone, where sand suspending and transporting are the most intensive ones. And this task was the basis of the field experiment, that was held from 25 September, 1994 to 07 October, 1994 on the Norderney island on the beach section between groins  $D_1$  and  $E_1$ . The program of the experiment included the following:

1. Synchronous measuring of suspended sediment concentration, two components of water velocity and bottom level in several points of underwater profile.

2. Measuring of average deformations of underwater profile and the thickness of an active layer along the wave breaking zone.

3. Measuring of vertical profiles of a mean concentration and suspended sediment composition along the shoreface.

It is supposed that processing and analysis of measuring data will give the following:

1. To obtain characteristic scales of the concentration fluctuations and of the local fluxes of suspended sediments, to elucidate their physical nature.

2. To find out quantitative dependencies between fluctuations of concentration and local fluxes of suspended sand on the near bottom water velocity.

3. To estimate the contribution of infragravity and gravity parts of irregular wave spectrum to the net fluxes of suspended sediments in the cross-shore and longshore directions.

4. To check up the basic principles of the energetic models and to assess the possibility of their modification for the use with practical purposes.

5. To estimate a scale of bottom level deformation and the thickness of an active layer and to find out their connection with the change of the parameters of irregular surface waves during storm.

6. To obtain the distribution of mean values of suspended sand concentration and composition along the bottom slope in one meter near bottom water column.

7. To reveal possible trends of the beach evolution between groins  $E_1$  and  $D_1$  .

## 2. METHODS AND DEVICES.

### 2.1. TURBIDIMETER

Turbidimeter is an optical device for measuring of instantaneous value of suspended matter concentration by means of the light beam attenuation in water.

Turbidimeter is destined for study of non-stationary processes in the near bottom layer of the nearshore waters, where rather coarse particles of inorganic origin ( $>50$  mkm) with high concentration prevail. The base method of the light beam intensity measuring, that weakens in water with suspended matter according to Buger's law ( Onishchenko, Kos'yan, 1989) is realized in this device. Electrical and physical parameters of the device fit the Bosman's recommendations (Bosman, 1984) for the measuring of concentration more than 1 mg/l, when particle size varies from 50 to 400 mkm.

#### 2.1.1. Features

- length of measuring base ( $L$ )	0.06 m
- wave length of the light beam	0.66 mkm
- range of measuring of the light attenuation	$0 \div 100$ %
- resolution	$< 0.4$ %
- temperature drift	$< 0.2\%/1^0 C$

- in the offshore direction and to the East. At points M2 and M1 the picture was similar one, except the onshore and to the East sand transport that took place in the moment of low-tide, and at M1 point there was the change of direction of longitudinal stream.

## 6. DISCUSSION AND CONCLUSIONS.

Processes which control temporal changes in suspended sediment concentration near the sand bottom have been examined using field measurements of suspended sand concentration and horizontal velocity components obtained with high frequency optical and electromagnetic sensors.

Measuring during two storms, that had happened in the course of the experiment, revealed that near the bottom there were fluctuations of concentration in a broad band of frequencies. Under the influence of nonbroken deformed waves with pronounced group structure sand suspending took place in the moments of the high wave groups passing. Consecutive sand suspending under the influence of every wave in those groups resulted in the formation of broad peaks of concentration, the duration of which depended on the quantity of waves in groups, and it was several tens of seconds. The fluctuations of the concentration with the period of approaching waves occurred within these peaks. A statistic reliability of the concentration fluctuations in these scales is confirmed by a rather high for field conditions values of square of coherence between concentration and cross-shore velocity at the frequency of approaching waves and of coherence between concentration and an envelope of cross-shore velocity at the frequency of the wave groups. In this case the concentration spectrum of suspended sand is characterized by a local maximum at the frequency of approaching waves and by a monotonous

increase of spectral density at the low frequencies when the frequency decreases. The latter can be explained by the fact that the spectrum of the envelope of cross-shore velocity is a wide enough and has no local maxima.

In the breaking zone where the group structure of waves degenerates owing to the dissipation when large waves are broken and the height of small waves grows, the concentration fluctuations mainly take place in the infragravitational wave band. Then, in some cases, meaningful values of the coherence between concentration and cross-shore velocity of infragravitational waves can be obtained. In the most of the records, when sensors were placed in the inner of middle parts of the surf zone, the values of coherence between suspended sand concentration and cross-shore velocity did not exceed 0.1-0.2 in the whole frequency band, that is close to the error of their determination. In these cases concentration spectra of suspended sand have no local maxima and are characterized by a monotonous increase of spectral density when the frequency decreases.

We think that observed regularities can be explained by the fact that the intensity and temporal scales of sand suspending in the breaking zone depend on the turbulence in the water column. A visual analysis of the concentration chronograms and the velocity components has shown that the emergence of sharp peaks of concentration is timed to the moments of the beginning of cross-shore and longshore velocity fluctuations. That testifies to the passing of a turbulent vortex or several vortexes through the measuring point. The appearance of such a rise of velocity fluctuations and of corresponding peaks of concentration usually is not timed to a definite phase of approaching waves and has no periodicity.

The analysis of the recording with the inquest frequency of 18.2Hz has shown that in our case turbulent pulsations of velocity take place at the frequencies more than 0.8 Hz. Chronograms of the velocity turbulent fluctuations were singled out by means of a digital filtering in the band of  $f = 0.8 \div 2.5$  Hz. Sufficiently high values of coherence between concentration and square of turbulent fluctuations of velocity

(instantaneous power of the turbulence) at the frequency  $<0.05$  Hz show that such a rise of turbulence with the period  $>20$  sec. is, probably, the basic factor of sand suspending at a low frequency. Such rises of turbulence at a low frequency in the wave breaking zone may depend either on vortexes which come to the bottom from the surface water layer, when the wave is being broken, or on vortexes, which have been formed owing to hydrodynamic instability in the bottom boundary layer (Foster, Holman, Beach, 1994). A mechanism of their generation is not practically investigated today. An absence of apparent periodicity of the concentration peak emergency and of rise of turbulent pulsations in the breaking zone results in the formation of the concentration spectrum with monotonous change of spectral density and in the absence of coherence between concentration and cross-shore velocity owing to incoherence between velocity turbulent fluctuations and velocity fluctuations at the frequency of approaching and infragravitational waves. Meaningful values of coherence between concentration and cross-shore velocity will be only in such cases, when turbulent vortexes appear periodically and are timed to a fixed wave phase, as it has been for nonbroken deformed waves (004 record), when local vortexes above the ripple bottom are rejected to the water column, and the sign of orbital velocity changes. The shape of cospectrum of concentration and cross-shore velocity confirms this. Sand suspending in the moments of the velocity sign changing from positive to negative one results in offshore sand transport. Sand is transported offshore at the frequency of group waves as well. It can be explained by the fact that forced long waves are present in velocity field, when the waves have a group structure. The crests of these waves are attached to the groups of low waves, and troughs - to the groups of high waves. Therefore sand suspended more intensively by the groups of large waves is transported offshore.

For the majority of measuring series done in the surf zone oscillatory suspended sand flux was directed onshore, whereas suspended sand flux by time mean current - offshore. Basically, a value and direction of the net suspended sand

flux (more than 80%) depends on the offshore water flow. In some cases during the low tide suspended sand flux by time mean cross-shore current in offshore direction was practically completely compensated by oscillatory suspended sand flux in the onshore direction. During the experiment the net cross-shore suspended sand flux at points M1, M1A and M2 was directed offshore almost always.

Measuring has shown also that the net longshore suspended sand flux almost completely depends on the longitudinal streams.

A value of the net suspended sand transport in cross- and longshore directions depends on the tide phase. During the second storm, when there were a good number of measurements, the largest values of the net cross-shore suspended sand flux were observed during a high tide and they reached  $1.2 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ , and the smallest values were in the middle of the low tide.

The net sand longshore transport was also the largest one in the moments of high tide, and it was directed to the West, in the moments of low water its direction was from West to East. Probable reasons of the change of the direction of longshore flows, that almost completely determine a value and direction of the net sand longshore transport, are connected with the peculiarity of the water circulation on the beach section between groins D1 and E1, when waves approach the shore from the North- North- West, and the wave height is lessened on shoals in the moments of low tide. In every detail this problem is discussed in section 5.5.2.

During the first storm a resultant direction of suspended sand transport was offshore and to the East from the normal to shore, and during the second storm it was in the offshore direction and to the West in the moments of high water. Thus, during the experiment the sediment transport from the beach to sea prevailed, that agrees qualitatively with measuring data on the bottom deformation by means of pins with washers. They showed that in the course of the experiment about  $8 \text{ m}^3$  of sand were washed out from the central range of 1 m in width.

The change of the intensity of net cross- and longshore suspended sand flux in the moments of high tide agrees

qualitatively with the tide periodicity of the bottom level change measured by means of the bottom level gauge.

Measurements with the help of suspended sediment traps let to get pictures of the distribution of suspended sediment mean concentration and its grain-size composition parameters in nearbottom one-meter water column under tide conditions.

Mean for two tide cycles concentration of suspended sand increases at all horizons above the bottom along the profile between M2 and M1A, and then it decreases seawards. When the height of wind waves grows in the course of storm, concentration profiles can be approximated by an exponential law (Kos'yan, Pykhov, 1991).

It should be noted that till now we used measuring technique with the help of suspended sediment traps only for tideless conditions. The practice of the experiment showed that the time of the traps exposure should be not more than one tide cycle (the phase of maximum waves) in order to except the possibility of the trap overfill.

It should be emphasized that in the present report the main attention is paid to the description of the data obtained by different methods, and all results are not discussed in complex. Unfortunately a great amount of obtained data and short time of the report writing do not afford to complete such a complex analysis. This work continues and its results will be presented in joint publications with German colleagues.

In conclusion we wish to express our gratitude to our colleagues from Coastal Research Station on Nordeney island for good organization of the experiment, for their assistance and benevolence when conducting measuring. Special thanks to the German Ministry for Science and Technology (BMFT) for sponsor supporting of our investigation within the frame work of the KFKI - program on beach nourishment "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerks-Systemen".

**Zusammenstellung von Ergebnisberichten des  
EU-MAST-II Forschungsvorhaben  
„Innovative Nourishment Techniques Evaluation“ (NOURTEC)**

Als deutsches Fallbeispiel wurde Norderney in das NOURTEC-Forschungsvorhaben aufgenommen. Thematisch steht dieses Vorhaben in engem Zusammenhang mit dem KFKI-Vorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen ...“; aus diesem wurden in erheblichem Umfang Daten als auch Untersuchungsergebnisse in das EU-Vorhaben eingebracht. Daher werden hier die für den Norderney-Untersuchungsteil des NOURTEC-Vorhabens erstellten Schlußberichte informell mit aufgenommen.

**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
KNAACK, H. & H. KUNZ: Das EU-MAST-II Forschungsvorhaben "Innovative Nourishment Techniques Evaluation" (NOURTEC). Schlußbericht zum Projekt MTK 0563, Forschungsstelle Küste, Oktober 1997 (46 Seiten, 2 Anlagen).	133 - 138
KNAACK, H., R. KAISER & H. D. NIEMEYER: Behaviour and effectiveness of the NOURTEC experimental shoreface nourishments-Norderney Case. Teilschlußbericht Forschungsstelle Küste, Oktober 1996 (14 Seiten).	33/117 139 - 140
KNAACK, H., R. KAISER & H. D. NIEMEYER: Dominant Processes and Synthesis-Norderney case. Teilschlußbericht Forschungsstelle Küste, Oktober 1997 (19 Seiten Text, 48 Seiten mit 102 Abbildungen).	33/116 141 - 142
KERSTING, N. F., W. T. BAKKER & H. D. NIEMEYER: Evaluation of a combined inshore and beach nourishment at the German Wadden Island of Norderney. Teilschlußbericht TU Delft und Forschungsstelle Küste, August 1995 (67 Seiten, 3 Anhänge mit insges. 39 Seiten).	33/114 143 - 146
NIEMEYER, H. D. & R. KAISER: Nourtec Design Report: Combined shoreface and beach nourishment - Island of Norderney, East Frisia. In: Design Report of the three test sides, Teilschlußbericht Coastal Research Station (Forschungsstelle Küste), Danish Coastal Authority, Utrecht University: Institut for Marine and Atmospheric Research, Februar 1994 (15 Seiten).	27/996 147 - 151
RWS, CRS, DCA & RUU: Innovative Nourishment Techniques Evaluation-Final Report. NOURTEC-Schlußbericht Rijkswaterstaat-RIKZ (RWS), Coastal Research Station, Norderney (CRS), Danish Coastal Authority (DCA), Utrecht University-Institut for Marine and Atmospheric Research (RUU), Mai 1977 (108 Seiten, 51 Abbildungen).	33/118 153 - 156



Das EU-MAST-II Forschungsvorhaben  
"Innovative **Nourishment Techniques** Evaluation"  
(**NOURTEC**)

von

H. Knaack  
H. Kunz

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE  
-Forschungsstelle Küste-  
Leiter: Dr.-Ing. habil. Hans Kunz, Dir. u. Prof.



## Inhalt:

	Seite
1. Einführung .....	3
2. Zielsetzung des Projektes .....	4
3. Die drei NOURTEC-Versuchsauffüllungen .....	6
3.1 Terschelling, Niederlande .....	6
3.2 Torsminde Tange, Dänemark .....	8
3.3 Norderney .....	10
4. Ergebnisse Norderney .....	12
4.1 Morphodynamische Randbedingungen .....	12
4.2 Morphologische Entwicklung nach der Auffüllung .....	14
4.3 Hydrographie .....	18
4.4 Sedimentologie .....	20
4.5 Modellrechnungen .....	22
4.6 Bewertung der kombinierten Vorstrand- und Strandauffüllung .....	25
5. Ergebnisse Terschelling .....	26
6. Ergebnisse Torsminde Tange .....	29
7. Zusammenfassende Betrachtung der drei Auffüllungen .....	34
8. Schlußbemerkung .....	38
9. Danksagung .....	39
10. Literaturverzeichnis .....	40
Anhang A: Auflistung der gemeinsamen wissenschaftlichen NOURTEC-Berichte .....	45
Anhang B: Adressen der an NOURTEC beteiligten Institutionen .....	46

## 1. Einführung

Künstliche Strandauffüllungen stellen eine bewährte Technik zur Sicherung sandiger Küsten dar. Obwohl sie mittlerweile nahezu zu Standard-Werkzeugen des Küstenschutzes fortentwickelt wurden, die weltweit in zunehmendem Maße eingesetzt werden, besteht nach wie vor ein hoher Wissensbedarf, und zwar sowohl hinsichtlich ökonomischer und technischer Aspekte als auch der Wechselwirkungen mit dem System "Strand/Vorstrand". In den letzten Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen zum Thema "Strandauffüllungen" im In- und Ausland durchgeführt; auf nationaler Ebene beispielsweise die verschiedenen Forschungsvorhaben des "Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen" auf Sylt und Norderney (z.B. BMFT 1991, 1994; KUNZ 1992).

In 1992 wurde im Rahmen des MAST-II Programms der Europäischen Union von den drei Partnerländern Niederlande, Dänemark und Deutschland das Forschungsvorhaben "Innovative **Nourishment Techniques Evaluation**" (NOURTEC) initiiert (contract: MAS2-CT93-0049), um die Möglichkeiten von "Vorstrandauffüllungen" als Ersatz oder Ergänzung zu "konventionellen Strandauffüllungen" zu untersuchen. Entsprechende Versuchsauffüllungen wurden vor den Inseln Terschelling und Norderney und vor der Festlandsküste bei Torsminde Tange, Dänemark in den Jahren 1992 und 1993 ausgeführt (Abb. 1).

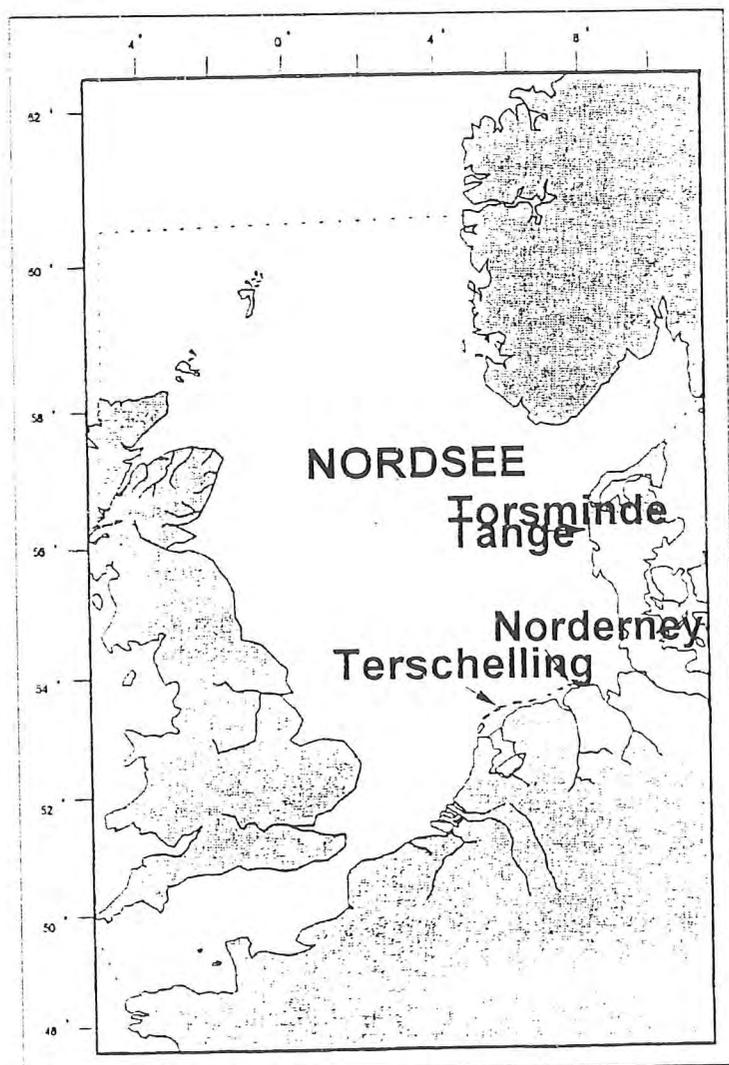


Abb. 1: Lageplan der drei NOURTEC Versuchsauffüllungen

Partner-Institutionen des Projektes sind: aus den Niederlanden das "National Institute for Coastal and Marine Management" (Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ) und das "Institute for Marine and Atmospheric Research" der Universität Utrecht (RUU), aus Dänemark die "Danish Coastal Authority" (Kystinspektoratet, DCA) sowie aus Deutschland die Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (CRS) - Adressen siehe Anhang B. Die Untersuchungen wurden von der EU und jeweils ergänzend von nationalen Geldgebern finanziert; für die Untersuchungen auf Norderney durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (Fördernummer MTK 0563).

Die Versuchsauffüllung 1992 auf Norderney (kombinierte Vorstrand-Strandauffüllung) wurde auch durch das KFKI-Forschungsvorhaben "Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Bühnen-Deckwerk-Systemen" (MTK 0545) begleitet, so daß bei den Untersuchungen im Rahmen von NOURTEC auch auf Meßdaten und Ergebnisse aus diesem Projekt zurückgegriffen werden konnte.

Dieser Bericht soll einen Überblick über das NOURTEC-Projekt und seine Ergebnisse geben. Um Wiederholungen zu vermeiden, soll nicht auf einzelne Untersuchungen und Detail-Ergebnisse eingegangen werden, die in den gemeinsam mit den Partnerländern erstellten NOURTEC-Berichten (siehe Anhang A) enthalten sind. Der Schwerpunkt dieses Berichtes liegt bei den von der Forschungsstelle durchgeführten Untersuchungen auf Norderney; die Ergebnisse der Untersuchungen der beiden Partnerländer werden knapp angesprochen und zitiert (siehe Kapitel 5 und 6).

## 2. Zielsetzung des Projektes NOURTEC

Zur Fortentwicklung der Strategien für den Schutz sandiger Küsten durch Sandauffüllungen wurde die Idee entwickelt, Vorstrandbereiche einzubeziehen. Vorstrandauffüllungen können im wesentlichen zwei Effekte, einzeln oder im Zusammenwirken, haben: a) Wirkung als Vorstranddepot ("feeder berm"), aus dem durch landwärts gerichteten Quertransport das aufgefüllte Material in höhere Strandbereiche verfrachtet wird und dortige Verluste ausgleicht; b) Wirkung als "Unterwasser-Wellenbrecher" ("breaker berm"), der eine Verringerung der erosiven Kräfte der auf den Strand auflaufenden Wellen bewirkt (NOURTEC DESIGN REPORT 1994).

Vorstudien zufolge (ROELVINK 1989; HILLEN et al. 1991) werden bei Vorstrandauffüllungen bis zum Doppelten des bei konventionellen Strandauffüllungen eingebauten Volumens benötigt, um einen gleichwertigen Sicherungseffekt für den jeweiligen Strandabschnitt zu erreichen. Diesem Nachteil ordnet sich als Vorteil zu, daß im allgemeinen der Preis pro Volumeneinheit bei der Deponierung im Vorstrand deutlich geringer ist, als bei einer Auffüllung des Strandes. Desweiteren sind längere Wiederholungsperioden, jeweils bezogen auf das eingebrachte Volumen zu erwarten (NIEMEYER et al. 1995a). Weiterhin wirken sich Vorstrandauffüllungen günstig auf die Sandbilanz benachbarter Strand-/Vorstrandbereiche aus, in die Material durch Längstransport verfrachtet werden kann. Ein weiterer Vorteil von Vorstrandauffüllungen besteht darin, daß sie im Frühjahr oder Sommer, der für solche Baumaßnahmen günstigsten Jahreszeiten, durchgeführt werden können, ohne die Nutzung der Strände für Erholungszwecke und Tourismus in dieser Zeit zu beeinträchtigen.

Es ist weiterhin wichtig, daß das untersuchte Gebiet nicht nur den erodierten Küstenabschnitt umfaßt, sondern auch die umgebenden Bereiche sowohl küstenparallel als auch seewärts mit einschließt. Dies wurde besonders im Fall Norderney deutlich: erst durch die Analyse der mittel- und langfristigen Entwicklung im vorgelagerten Riffbogen konnten einige der am Strand und Vorstrand beobachteten Veränderungen gedeutet und bewertet werden (NIEMEYER et al. 1996, 1997). Und auch vor Terschelling und Torsminde Tange wurde eine Beeinflussung des untersuchten Küstengebietes durch morphologische Prozesse im Küstenvorfeld festgestellt (BIEGEL & SPANHOFF 1996; LAUSTRUP 1997a,b).

Für die zukünftige Optimierung von Vorstrand- und Strandauffüllungen werden morphodynamische und hydrodynamische Modelle eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Im Rahmen der Untersuchungen von NOURTEC wurden eine Vielzahl verschiedener Modelle eingesetzt (z.B. N-LINE-modelling, LITPACK, MIKE21, UNIBEST-TC, HISWA um nur einige Namen zu nennen), die jeweils zu einzelnen Fragen wichtige Ergebnisse lieferten. Auf Einzelheiten soll hier mit Hinweis auf die diversen NOURTEC-Berichte (siehe Literaturverzeichnis und Anhang A) nicht weiter eingegangen werden. Basierend auf den in NOURTEC gewonnenen Erfahrungen und Daten konnten die existierenden Modelle in Teilaspekten erfolgreich getestet und verbessert werden; umfassendere Vorhersagen mit Modellrechnungen zu Effektivität und Verhalten von Vorstrandauffüllungen sind derzeit noch nicht möglich. Hierfür sind noch eine Reihe weiterer Verbesserungen der Modelle nötig, die eine generelle Erweiterung der nach wie vor ungenügenden Kenntnisse der vielschichtigen Prozesse und Wechselwirkungen an sandigen Küsten voraussetzen.

## 8. Schlußbemerkung

Die im Rahmen von NOURTEC durchgeführten Vorstrandauffüllungen vor Terschelling, Torsminde Tange und Norderney haben alle drei ihren Zweck, die Sicherung erodierender Küsten, erfüllt und somit die prinzipielle Tauglichkeit dieser Technik für den Küstenschutz bestätigt. Die Untersuchungen der drei Vorstrandauffüllungen haben eine Vielzahl von Ergebnissen hinsichtlich der technischen und ökonomischen Möglichkeiten erbracht; darüber hinaus wurden die allgemeinen Kenntnisse über die Prozesse im System Strand/Vorstrand erweitert.

Das NOURTEC-Projekt zeigte aber auch, daß eine optimierte Durchführung einer Vorstrandauffüllung nur bei guter Kenntnis der lokalen Gegebenheiten und Anpassung an diese Randbedingungen erfolgen kann. Somit konnten auch im NOURTEC-Projekt keine verbindlichen allgemeingültigen Richtlinien für die Gestaltung von Vorstrandauffüllungen aufgestellt werden. Die in dem Projekt gewonnenen Kenntnisse können aber wichtige Hinweise und Hilfen für die Planung und Durchführung zukünftiger Vorstrandauffüllungen geben, nicht nur in den drei NOURTEC-Gebieten sondern bei entsprechender Berücksichtigung der lokalen Randbedingungen auch an anderen sandigen Küsten.

Basierend auf den positiven Erfahrungen aus dem NOURTEC-Projekt hat sich die dänische Küstenbehörde 1997 für eine neue große Vorstrandauffüllung entschieden. In diesem Jahr sollen ein Drittel des gesamten an der dänischen Nordseeküste aufzufüllenden Materials in einer Vorstrandauffüllung verwendet werden (LAUSTRUP et al 1997b).

NOURTEC

# Behaviour and effectiveness of the NOURTEC experimental shoreface nourishments -Norderney Case-

Coastal Research Station Norderney

October, 1996

*co-sponsored by*  
Commission of the European Communities  
Directorate General XII  
Marine Science & Technology  
(MAST-II) Programme  
*under contract*  
MAS2-CT93-0049

Coordinating Institution: RWS Rijkswaterstaat - National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ

Partner Institutions: CRS Coastal Research Station  
DCA Danish Coastal Authority  
RUU Utrecht University: Institute for Marine and Atmospheric Research

Authors: H. Knaack (CRS)  
R. Kaiser (CRS)  
H.D. Niemeyer (CRS)



## Behaviour and effectiveness of the NOURTEC experimental shoreface nourishments - Norderney case -

1.	Design objectives and design parameters .....	1
2.	Bathymetric surveys .....	2
3.	Beach profiles .....	2
4.	Changes in bathymetry and beach profiles after the nourishment of 1992 .....	3
5.	Comparison of the combined nourishment of 1992 with the preceding conventional nourishment of 1989 .....	4
6.	Autonomous behaviour .....	5
7.	Effectiveness .....	6
	References: .....	7

### 1. Design objectives and design parameters

The East Frisian island of Norderney experiences structural erosion in its western parts since the beginning of the last century due to large scale tidal inlet and ebb delta migration [LUCK 1977; NIEMEYER 1995a]. To stop further shoreline retreat solid structures have been erected since the middle of the last century, but the revetments and groynes could not prevent further erosion of the beaches. The lowering of the beach level endangered the solid structures by scouring and allowed the attack of higher waves on the revetment. Since 1951 eight artificial nourishments have been executed to counteract this development [KRAMER 1960; ERCHINGER 1986; KUNZ 1991; KUNZ & STEPHAN 1992].

In 1992 a combined beach and shoreface nourishment was chosen as an alternative to the preceding conventional beach nourishments [NIEMEYER & KAISER 1994]. The primary purpose of the nourishment was to reduce wave attack on the seawall by a higher beach level and to guarantee stability of the solid structures. As part of the combined defence system the general design objective of the beach and shoreface nourishment was primarily coastal protection and secondarily and indirectly coastal stability which is performed by the seawall. So the objective for the nourishment was in respect of the required protection of the seawall to counteract the autonomous erosion and to maintain a beach level (or a certain control volume or a coastline position) which corresponds to acceptable wave loads on the seawall and tolerable scouring in front of it for a certain period.

For the evaluation of the NOURTEC nourishments common design parameters were defined like the width of the beach and a control volume according to the Dutch BKL-method. For the Norderney case with its solid landward boundary some extra definition are required for the "BKL-method" (fig. 11): An equivalent height of the dune foot was established for the seawall according to German standards as the exceedance level of wind surges [NIEMEYER 1987a] and the reference line was defined in the horizontal position by the top of the original part of the seawall from the 1870s [NIEMEYER et al. 1995]. The development of the nourishment can also be described by the volumes above defined levels e.g. 1.5 m and 5 m below German datum which corresponds with the total beach and with the beach and shoreface approximately (unfortunately not all surveys were carried out to a depth of NN-5m and so some of the calculations only include the volume above NN-4m). In the Norderney case also the wave energy dissipation in front of the seawall due to the nourishment and in respect of acceptable wave loads might be a useful design parameter. Unfortunately the necessary boundary conditions for revetment stability are currently only qualitatively achievable [NIEMEYER et al. 1995].

NOURTEC

# Dominant Processes and Synthesis -Norderney Case-

Coastal Research Station Norderney

October, 1996

*co-sponsored by*  
Commission of the European Communities  
Directorate General XII  
Marine Science & Technology  
(MAST-II) Programme  
*under contract*  
MAS2-CT93-0049

Coordinating Institution:	RWS	Rijkswaterstaat - National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ
Partner Institutions:	CRS	Coastal Research Station
	DCA	Danish Coastal Authority
	RUU	Utrecht University: Institute for Marine and Atmospheric Research
Authors:	H. Knaack	(CRS)
	R. Kaiser	(CRS)
	H.D. Niemeyer	(CRS)



# Dominant processes and synthesis

## - Norderney case -

1.	Introduction .....	2
2.	Methods .....	2
2.1	Tide, wave and current measurements .....	2
2.2	Determination of changes of the beach morphology .....	3
2.3	Sediment sampling and analysis .....	3
3.	Morphodynamical boundary conditions .....	4
4.	Hydrodynamical boundary conditions .....	5
4.1	Wave climate on the beach between 1989 - 1994 .....	5
4.2	Waves and wave induced currents on the beach .....	6
4.2.1	Temporal variation of waves and currents over one tidal cycle .....	7
4.2.2	Spatial variation of waves and currents .....	8
4.3	Influence of morphological changes of the ebb delta on the shoreface wave climate .....	11
4.4	Influence of morphological changes due to nourishments on the wave climate .....	12
5.	Short term changes of beach morphology .....	13
6.	Sediment characteristics .....	14
6.1	Description of the beach material .....	14
6.2	Influence of the nourishments on the sedimentology of the beach .....	15
6.3	Influence of the grain size on the stability of the nourishment .....	16
7.	Synthesis .....	17
8.	References .....	18

NOURTEC

# Evaluation of a combined inshore and beach nourishment at the German Wadden Island of Norderney

## TU Delft

Delft University of Technology  
Hydraulic Engineering Group

Coastal Research Station Norderney

August, 1995

*co-sponsored by*  
Commission of the European Communities  
Directorate General XII  
Marine Science & Technology  
(MAST-II) Programme  
*under contract*  
MAS2-CT93-0049

Coordinating Institution: RWS Rijkswaterstaat - National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ

Partner Institutions: CRS Coastal Research Station  
DCA Danish Coastal Authority  
RUU Utrecht University: Institute for Marine and Atmospheric Research

Authors: N.F. Kersting (TUD)  
W.T. Bakker (TUD)  
H.D. Niemeyer (CRS)



Contents	page
Summary .....	ii
Contents .....	iii
List of figures .....	vi
List of Tables .....	vii
List of abbreviations .....	vii
1 Introduction .....	1
2 Description of Norderney .....	4
2.1 Description of morphology .....	4
2.2 Wave climate and wave induced currents .....	6
2.3 Tide and tide induced currents .....	8
2.4 Nourishments .....	9
3 Analysis of volume computations .....	11
3.1 Introduction .....	11
3.2 Method of profile measurements .....	12
3.3 Background of selection of data .....	12
3.4 The way of analyzing the volume data .....	13
3.4.1 Objectives .....	13
3.4.2 Original volume data .....	13
3.4.3 Elaboration of volume data .....	13
3.5 Results .....	15
3.6 Some observations following from the volume data analysis .....	21
3.7 Main conclusions in consideration to the line modelling .....	23
4 Wave climate and tide .....	24
4.1 Introduction .....	24
4.2 Schematization .....	24
4.3 Wave climate in deep water .....	27
4.4 Wind effects; theoretical considerations .....	27
4.4.1 General .....	27
4.4.2 Existing relations for wind effects along the southern North Sea coast .....	28
4.4.3 Conclusions in respect to the differences in water level elevation Schiermonnikoog and Norderney .....	31
4.5 Empirical relation between wave height and wind effect .....	32
4.7 Tide .....	35

4.8	Conclusions	36
5	Longshore transport capacity	37
5.1	General	37
5.2	Principles of transport computation	38
5.2.1	Assumptions	38
5.2.2	Transport formula according to CERC	38
5.2.3	Refraction	38
5.2.4	Distribution of sand transport capacity over the depth	40
5.2.5	Computation of breaker depth and wave height	41
5.3	Application for the Norderney case	42
5.3.1	General	42
5.3.2	Implementation of presence of outer delta in the formulae	43
5.4	Computations of longshore transport capacity	44
5.4.1	Input	44
5.4.2	Structure of the program	44
5.4.3	Cases	45
5.5	Results	46
5.5.1	Distribution of longshore transport capacity	46
5.5.2	The influence of the coastal direction	49
5.6	Discussion concerning the transport mechanism	51
6	Application of the line modelling technique	53
6.1	General	53
6.2	Situation description of the study area	53
6.3	Transport constants	55
6.3.1	Longshore transport constants	55
6.3.2	Cross shore transport constants	58
6.4	The way of computation and the results	58
7	General discussion and conclusions	63
7.1	Discussion on longshore coastal constants	63
7.2	Discussion on cross-shore coastal constants	63
7.3	General conclusion	63
7.4	Future research	64
8	References	65
Appendix A1	Example of table with wave height and wave period of one wave direction sector as has been used to determine the longshore constants.	A1
Appendix A2	Example of table with wave height and water level of one	

Appendix A2	Example of table with wave height and water level of one wave direction sector, as has been used to determine the longshore constants. . . . .	A2
Appendix B	CERC.PAS . . . . .	B1
Appendix C	Figures with results of volume computations . . . . .	C1
Appendix D	Example of original volume data . . . . .	D1
Appendix E	Comparison between the computed refraction rays and results of a former computation. . . . .	E1

Innovative Nourishment Techniques  
Evaluation

NOURTEC

Marine Science and Technology programme  
contract MAS2-CT93-0049

# Design report of the three NOURTEC test sites

February, 1994

Coordinating Institution: RWS Rijkswaterstaat - National Institute for Coastal  
and Marine Management/RIKZ

Partner Institutions: CRS Coastal Research Station  
DCA Danish Coastal Authority  
RUU Utrecht University: Institute for Marine and  
Atmospheric Research

Authors: R. Kaiser (CRS)  
C. Laustrup (DCA)  
H.D. Niemeyer (CRS)  
H. Toxvig (DCA)  
J. Van De Kreeke (RWS)  
P. Van Vessem (RWS)



# Preface

This report describes the engineering design of the three nourishment projects that are part of the Nourtec study. The Danish project is located on the Danish west coast near the town of Thorsminde. The German project covers the northwest coast of the island of Norderney. The Dutch nourishment is at the north coast of the island of Terschelling. The coast at each of the project locations is subject to rather severe erosion, ranging from 15-25 m<sup>3</sup>/m/year at Norderney and Terschelling to almost 90 m<sup>3</sup>/m/year at Thorsminde. To combat the erosion, beach nourishment, shoreface nourishment or a combination thereof is applied.

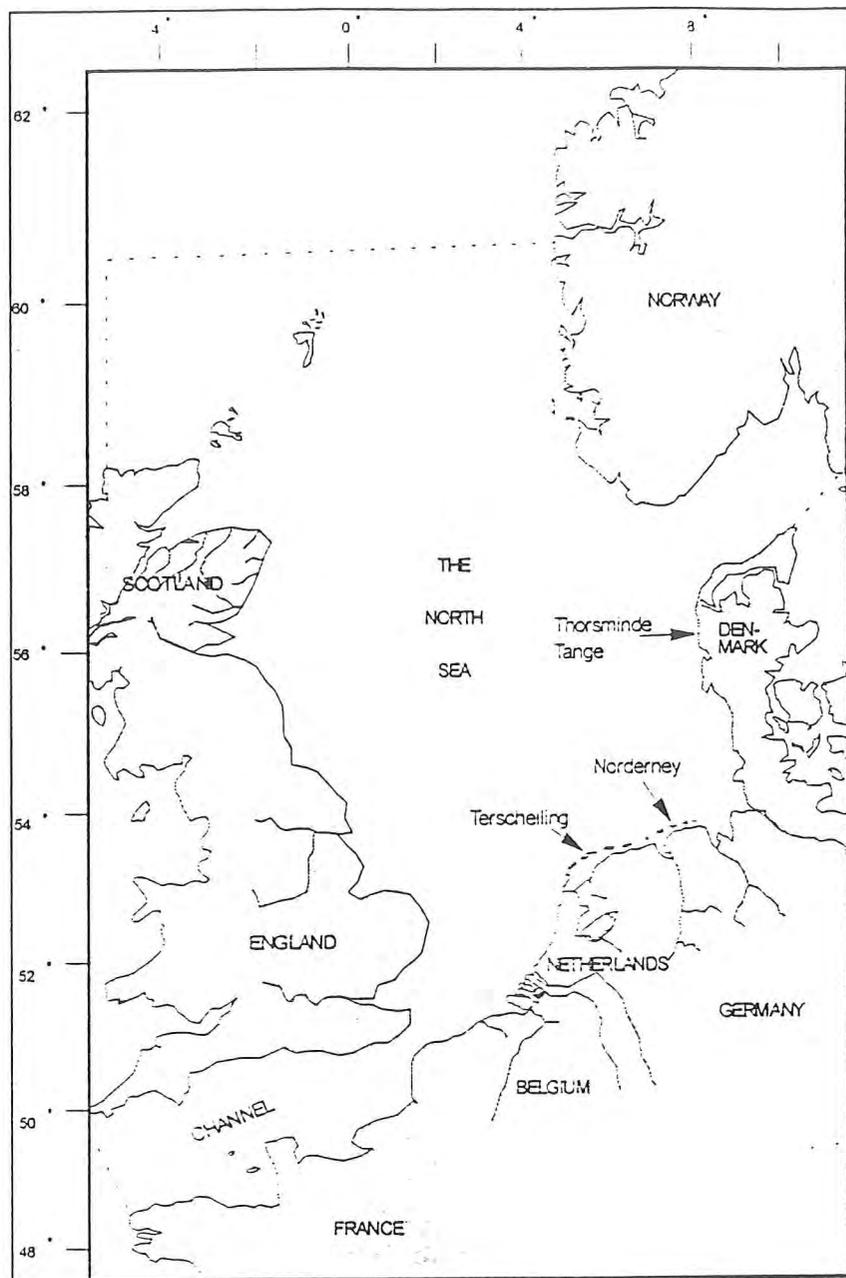
The physical environment at each site is characterized by moderate to strong wave action and tidal currents of order tens of cm/s. The net littoral drift is estimated at several hundred thousand m<sup>3</sup>/year. Median diameter of the sand grains are 400 µm at Thorsminde, 220 µm at Norderney and 180 µm at Terschelling. Cross-shore profiles at Thorsminde and Terschelling are characterized by longshore bars. Cross-shore profiles at Norderney are relatively smooth. Typical beach slopes are 1:80 at Thorsminde, 1:50 at Norderney and 1:68 at Terschelling.

The Danish project at Thorsminde consists of a separate beach and shoreface nourishment, spaced 2 km apart. Each nourishment has a length of 1 km. The volume of sand in each nourishment is 250,000 m<sup>3</sup> or 250 m<sup>3</sup>/m. The life expectancy for each is an estimated 3 years. The shoreface nourishment is placed seaward of the bar system at a depth of Mean Sea Level - 4 m, approximately 1600 m offshore. The height of the underwater berm is 2.5 m. The design objective is coastal protection.

The German project at Norderney is a combined beach and shoreface nourishment covering a distance of 2 km. The term shoreface nourishment is somewhat misleading because the sand is actually placed on the foreshore rather than on the shoreface. The total volume of sand in the combined nourishment is 500,000 m<sup>3</sup> or 250 m<sup>3</sup>/m. The life expectancy of the project is an estimated 5 years. The project is different from those at Thorsminde and Terschelling because over the entire project length the coast is protected by a combination of revetment and groynes. The design objective is again coastal protection.

The Dutch project at Terschelling is carried out entirely as a shoreface nourishment. The length of the nourishment is 4,400 m. A volume of 2.5 million m<sup>3</sup> of sand, corresponding to 568 m<sup>3</sup>/m, is placed in the trough landward of the most seaward bar, approximately 600 m offshore. The bottom of the trough is at MSL - 7 m and the height of the berm is 2 m. The life expectancy of the nourishment is an estimated 10 years. The design objective is stabilization of the coastline.

An important goal of Nourtec is to evaluate the effectiveness of the shoreface nourishment viz a viz the design objectives. For this, the design objectives need to be expressed in design parameters that can be determined relatively easily from bathymetric and topographic surveys. At this time the choice of these parameters is still the subject of discussion. With regard to stabilization of the coastline and coastal protection, the current practice is to express the effectiveness in terms of the volume of sand in a given control volume. However, presently the definition of the control volume differs from one country to the other.



*Location of the three NOURTEC test sites.*

In general, shoreface nourishments can be used to attain the design objectives

- coastline stabilization
- coastal protection
- creating or maintaining a recreational beach

or combinations thereof. Although each of the nourishment projects has a specific design objective, i.e. coastal protection for Thorsminde and Norderney and coastline stabilization for Terschelling, within the framework of NOURTEC each must be evaluated for all of the above design objectives. The selection of the design parameters corresponding to these design objectives will be one of the topics at the NOURTEC workshop to be held in May 1994.

J. van de Kreeke  
Science and Engineering  
Coordinator

149

# NOURTEC DESIGN REPORT: COMBINED SHOREFACE AND BEACH NOURISHMENT ISLAND OF NORDERNEY, EAST FRISIA

*H.D. Niemeyer and R. Kaiser*

Coastal Research Station of the Lower Saxonian Central State  
Board for Ecology

The logo for Nourtec, featuring the word "Nourtec" in a stylized, italicized, sans-serif font. The letters are bold and slanted to the right. The text is set against a light, textured background that resembles a spray or a shadow.

---

**Table of contents**

1.	Statement of the problem .....	3
2.	Design objective .....	5
3.	Morphology .....	6
4.	Hydrodynamics .....	8
4.2	Waves and Wave-Induced Currents .....	8
5.	Design alternatives .....	10
5.1	Solid Structures Versus Artificial Nourishment .....	10
5.4	Dredging Equipment .....	12
6.	Final design and construction .....	13
	<b>LIST OF FIGURES</b> .....	2
	<b>REFERENCES</b> .....	14

---

**LIST OF FIGURES**

Fig. 1:	Ebb-Delta of the tidal inlet Norderneyer Seegat. The landfall of the swash bars is downdrift at about 1/3 of the length of the island west of the inlet. ....	3
Fig. 2:	Measuring arrays at the beach of the island of Norderney ..	4
Fig. 3:	Beach profiles and volumes of specific beach areas on the island of Norderney [KUNZ & STEPHAN 1992] .....	6
Fig. 4:	Erosion and regeneration of beaches after HOMEIER [1976] .....	7
Fig. 5:	Wave refraction in the vicinity of the tidal inlet Norderneyer Seegat; water level: MHW, wind: West (left side), North-West (right side) [NIEMEYER 1986] .....	8
Fig. 6:	Spectral wave energy dissipation from offshore to shoreface and tidal inlet; a) onshore directed storm condition b) onshore directed strong wind [NIEMEYER 1987c] .....	9
Fig. 7:	Nourishment area of 1992; overview and photo of groyne field D1 - E1 [STAIK 1993] .....	11



# Innovative Nourishment Techniques Evaluation

## Final Report

May, 1997

*co-sponsored by*  
Commission of the European Communities  
Directorate General XII  
Marine Science & Technology  
(MAST-II) Programme  
*under contract*  
MAS2-CT93-0049

Coordinating Institution:	RWS	Rijkswaterstaat - National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ
Partner Institutions:	CRS DCA RUU	Coastal Research Station Danish Coastal Authority Utrecht University: Institute for Marine and Atmospheric Research



CONTENTS

CONTENTS ..... 1  
LIST OF TABLES ..... 4  
LIST OF FIGURES ..... 4

ACKNOWLEDGEMENT ..... 7

1 INTRODUCTION ..... 9  
References ..... 11

2 HISTORY OF SHOREFACE NOURISHMENT PROJECTS ..... 13  
2.1 Shoreface Nourishment Projects ..... 13  
2.1.1 Australia/New Zealand ..... 13  
2.1.2 South America ..... 13  
2.1.3 Europe ..... 14  
2.1.4 Africa ..... 14  
2.1.5 USA ..... 15  
2.2 Design Procedures ..... 15  
2.2.1 Nourishment Sand Characteristics ..... 15  
2.2.2 Nourishment Sand Placement Position ..... 16  
2.2.3 Timing of Nourishment Placement ..... 18  
2.2.4 Determination of Volumes ..... 18  
2.3 Field Monitoring Requirements ..... 19  
2.4 Modelling ..... 19  
2.5 Discussion ..... 19  
2.6 Conclusions ..... 20  
2.6.1 Nourishment sand and characteristics ..... 20  
2.6.2 Nourishment sand placement position ..... 20  
2.6.3 Timing of nourishment placement ..... 20  
2.6.4 Determination of volumes ..... 20  
2.6.5 Field monitoring requirements ..... 20  
2.6.6 Modelling ..... 20  
References ..... 21

3 THE NOURTEC EXPERIMENTAL PROGRAM ..... 25  
3.1 Design Considerations for Shoreface Nourishment Projects ..... 25  
3.2 Project Sites ..... 26  
3.3 Design of the Experimental Shoreface Nourishment Projects ..... 27  
3.4 Selected Designs ..... 28  
3.4.1 Terschelling ..... 28  
3.4.2 Torsminde ..... 29  
3.4.3 Norderney ..... 30  
3.5 Execution and Costs ..... 30  
3.5.1 Terschelling ..... 30  
3.5.2 Torsminde ..... 31  
3.5.3 Norderney ..... 31  
3.6 Monitoring and Process Measurements ..... 31  
References ..... 32

4	BEHAVIOUR OF THE NOURTEC EXPERIMENTAL SHOREFACE NOURISHMENT PROJECTS	41
4.1	Common Design Parameters	41
4.2	Bathymetric and Topographic Surveys	42
4.2.1	Survey Procedures	43
4.2.2	Survey Dates	43
4.2.3	Accuracy of Bathymetric Surveys	44
4.3	Autonomous Behaviour	46
4.4	Monitoring of Hydrodynamic and Meteorological Conditions	48
4.4.1	Methods	48
4.4.2	Results	49
4.5	Morphological Evolution and Sediment Volumes	51
4.6	Behaviour in Terms of Common Design Parameters	53
4.7	Discussion	54
4.8	Conclusions	56
	References	56
5	HYDRODYNAMIC AND SEDIMENT TRANSPORT PROCESSES IN RELATION TO THE BEHAVIOUR AND EFFECTIVENESS OF THE NOURISHMENT PROJECTS	59
5.1	Introduction	59
5.2	Research Approach	60
5.2.1	Process-oriented Measurements	60
5.2.2	Modelling Activities	62
5.3	Cross-shore Exchange of Sediment	65
5.3.1	Cross-shore Sediment Transport Processes	65
5.3.2	Grain Size Effects and Selective Sediment Transport	70
5.4	Wave Dissipation	73
5.4.1	Shoreface Nourishment: Breaker Berm	73
5.4.2	Wave Dissipation on the Shoreface and Beach of Norderney	74
5.5	Longshore Sediment Transport Processes	77
5.5.1	Introduction	77
5.5.2	The Longshore Migration of the Shoreface Nourishment	77
5.5.3	The Salient Effect	78
5.6	Conclusions	79
	References	80
6	N-LINE MODELLING OF THE THREE NOURISHMENT PROJECTS	85
6.1	Introduction	85
6.2	Coastal constants and time scales	85
6.3	Discussion	87
6.4	The use of N-line modelling in designing shoreface nourishments	88
	References	88
7	CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS FOR THE DESIGN OF SHOREFACE NOURISHMENTS	91
7.1	Potential advantages shoreface nourishments	91
7.2	Design objectives	91
7.3	Design options	93
7.3.1	Feeder berm versus breaker berm	94

7.4	Sand placement position	95
7.4.1	Depth of nourishment: the concept of active zone	96
7.4.2	Longshore nourishment position	97
7.4.3	Breaker berm position	97
7.5	Nourishment volumes	98
7.6	Grain size characteristics	99
7.7	Monitoring programmes	101
7.8	Modelling	102
7.9	In summary: Why do shoreface nourishments work?	103
7.10	Concluding remark	105