

# Das interdisziplinäre KFKI-Verbundforschungs- vorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“

Von Hans KUNZ

## Zusammenfassung

Der Westkopf der Insel Norderney wird durch Küstenbauwerke gegen die Einwirkungen des Meeres geschützt. Die Strände dieses Abschnitts sind durch die Natur nicht ausreichend mit Sand versorgt und weisen Erosionstendenzen auf. Seit Anfang der fünfziger Jahre wird daher ein Teil der Bühnenfelder von Zeit zu Zeit mit Seesand aufgespült, um die Bauwerke vor Zerstörungen durch Sturmfluten zu bewahren. Die Strandaufspülung des Jahres 1989 wurde als Versuchsstrandaufspülung ausgeführt und durch das interdisziplinäre KFKI-Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ begleitet. Das Vorhaben erstreckte sich auf die Jahre 1986 bis 1992; eine KFKI-Projektgruppe war ihm zugeordnet. Es wurde durch die Förderung des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) ermöglicht.

Das Forschungsvorhaben setzt sich aus vier miteinander verkoppelten Teilvorhaben zusammen. In diesem Beitrag werden die Gliederung des Projektes dargestellt, die Forschungsziele angesprochen, Zusammenarbeiten aufgezeigt und auf Ergebnisse hingewiesen, ohne diese näher vorstellen oder bewerten zu wollen. Bereits vorliegende Berichte und Veröffentlichungen zu dem Forschungsvorhaben sind in einem Anhang zusammengestellt, der einen Überblick geben und den Zugang erleichtern soll.

## Summary

*The western spit of Norderney-island is protected against the impact of tides and waves by seawalls and groynes. The natural sand supply is not sufficient to prevent the beaches within the groyne-fields from erosion. In 1951/52 a first artificial beach nourishment was implemented 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 interdisciplinary KFKI-research project „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“. The project had been joined by a group of the „Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)“ and had been funded by the „Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT)“. The research work had been carried out from 1986 to 1992. This paper reviews the research project and provides a general description of the organisation, the targets, and results. An attached list of reports and publications facilitates the access to more detailed information on the research-project.*

## Inhalt

1. Veranlassung . . . . .	2
2. Organisation und Aufgabe des KFKI-Verbundforschungsvorhabens . . . . .	3
3. Strandvorspülungen und Küstenschutzwerke auf Norderney . . . . .	4
4. Zur Wahl des Standortes Norderney für das KFKI-Verbundforschungsvorhaben . . . . .	6
5. Forschungsfelder . . . . .	6
6. Forschungsaufgaben der Teilvorhaben/Teilprojekte . . . . .	9
7. Forschungsziele und deren Vernetzung zu Ergebnissen, Ausblick . . . . .	12
8. Schriftenverzeichnis . . . . .	15
Danksagung . . . . .	16

Anlage 1 . . . . .	16
Teilvorhaben/Teilprojekte des KFKI-Verbundforschungsvorhabens „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ mit Bezeichnung der ausführenden Stellen, Namen der wissenschaftlichen Leitung und Anschrift	
Anlage 2 . . . . .	17
Mitglieder der KFKI-Projektgruppe zum Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“	
Anlage 3 . . . . .	17
Berichte und Veröffentlichungen zum KFKI-Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“	

## 1. Veranlassung

Sandige Küsten der Erde befinden sich im Abbruch. Als Folgen der als wahrscheinlich beurteilten Änderungen des Weltklimas durch den Menschen ist mit einer Vergrößerung der Abbruchtendenzen zu rechnen. Die Strandvorspülung hat sich weltweit als eine technische Methode bewährt, mit der erodierte Strände wieder aufgefüllt und Küstenrückgänge verhindert oder wenigstens verlangsamt werden können. In großem Maßstab wurde dieses Verfahren erstmals in Europa während der Jahre 1951/52 zur Sicherung der Küstenschutzwerke auf der ostfriesischen Düneninsel Norderney angewendet, wo seit Mitte des vorigen Jahrhunderts deren westlicher Teil mit aufwendigen Bauwerken (Strandmauern, Deckwerke, Bühnen) gegen Abbrüche gesichert worden war (KRAMER, 1958). Die Technik der Strandvorspülung (Strandaufspülung), auch als Strandauffüllung bezeichnet (AUSSCHUSS KÜSTENSCHUTZWERKE, 1977; 1981), stellte damals eine „weiche“, umweltschonende Alternative zu der sonst notwendig gewordenen erneuten Verstärkung der „soliden“ Bauwerke dar. Die Verhältnisse auf Norderney sind ein Beispiel für die an zahlreichen Küstenabschnitten vorhandene Situation, bei der den Abbrüchen als Folge der einwirkenden Naturkräfte nur durch ein „Kombiniertes System aus dauerhaften Küstenschutzwerken und regelmäßig zu wiederholenden Strandaufspülungen“ Einhalt geboten werden kann.

Seit dem Beginn der fünfziger Jahre erfolgten auch an anderen Abschnitten der deutschen Küste zahlreiche Strandaufspülungen. Inzwischen sind diejenigen zur Sicherung der nordfriesischen Insel Sylt, als Festlandsrest besonders abbruchgefährdet, die umfangreichsten geworden. Bis heute wurden an der deutschen Nordseeküste insgesamt etwa 25 Mio m<sup>3</sup> Meeressand vorgespült (DETTE et al., 1988, 1992). Dabei konnte man vielerorts Ziele des Insel- und Küstenschutzes mit Interessen des Tourismus verbinden.

Die mit Strandvorspülungen an der deutschen Nordseeküste gemachten Erfahrungen zeigten, daß man das Naturgeschehen noch nicht ausreichend kennt, um die Maßnahmen optimal planen und durchführen zu können. Dem sich damit ergebenden Bedarf nach praxisbezogener Forschung folgend, faßte das *Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)* den Beschluß, ein interdisziplinäres Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ durchzuführen. Die Umsetzung dieses Beschlusses in den Jahren 1986 bis 1992 wurde durch die Förderung des *Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT)* ermöglicht. Zum Vorhaben wurde eine „KFKI-Projektgruppe“ eingerichtet (Mitglieder: siehe Anlage 2), die es begleitete und die Verbindung zum KFKI gewährleistete.

## 2. Organisation und Aufgabe des KFKI-Verbundforschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ (im folgenden kurz: FV „Wechselwirkungen“) ist in Verbindung zu sehen mit dem KFKI-Forschungsvorhaben „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt“. Beide Vorhaben befassen sich mit Problemen der Strandvorspülungen; sie ergänzen sich, und es findet eine Zusammenarbeit statt. Einige der Wissenschaftler wirken in beiden KFKI-Projektgruppen mit, wodurch der Wissensaustausch, die methodische Abstimmung und die rationelle Bearbeitung begünstigt wird.

Das interdisziplinäre Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen“ faßt die folgenden Teilvorhaben (TV) mit Teilprojekten (TP) zusammen (siehe auch Anl. 1):

1. TV „Naturuntersuchungen“ (Forschungsstelle Küste, Norderney) mit den folgenden Teilen:
  - 1.1 TP „Hydrographie“
  - 1.2 TP „Sedimentologie/Morphologie“
  - 1.3 Teilaufgabe „Schubspannungsmessungen“ (Prof. Gust, TU Hamburg-Harburg)
  - 1.4 TP „Meteorologische Untersuchungen“ (Seewetteramt des DWD, Hamburg)
2. TV „Versuchsorientierte Strandaufspülung“ (Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz, Norden)
3. TV „Hydraulische Modelle, Dokumentationen“ (Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig)
4. TV „Mathematisches Modell“ (Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen, Universität Hannover)

Die zu untersuchenden Forschungsfelder sind in Kap.5 und die Forschungsaufgaben der Teilvorhaben/Teilprojekte sind in Kap.6 dargestellt.

Das FV „Wechselwirkungen“ dient dem Ziel, den Wissensstand über die in komplexer Wechselbeziehung zueinander stehenden hydrographischen, morphologischen und sedimentologischen Vorgänge an Sandküsten zu erweitern, darüber die Wechselwirkungen zwischen Strand und Küstenbauwerken besser zu verstehen und darauf aufbauend die Entwicklung von Berechnungsmodellen voranzutreiben. Aus den gewonnenen Erkenntnissen und Berechnungsergebnissen waren Grundsätze für eine Minimierung der Verluste aus Sandvorspülungen herzuleiten und mit Untersuchungen zu technischen Fragen der Sandgewinnung und Sandverspülung auf Stränden so zu verknüpfen, daß damit vertiefte Kenntnisse zur Minimierung der Kosten von Strandvorspülungen zu gewinnen sind.

Auf Abb.1 ist ausgewiesen, wie die internen thematischen Verknüpfungen der am KFKI-Verbundvorhaben „Wechselwirkungen“ beteiligten Fachdienststellen und Hochschulinstitute informell miteinander verkoppelt sind. Die Pfeile geben die gerichteten Informations- und Datenflüsse an.

Die aktive Zusammenarbeit der Teilvorhaben und ihrer Teilbereiche mit außenstehenden Institutionen und Forschungsvorhaben gibt Abb.2 wieder. In die Darstellung wurde eine Zusammenarbeit aufgenommen, wenn diese institutionalisiert war, wenn sie gemeinsame Meßeinsätze in erheblichem Umfang aufwies oder wenn größere Datenmengen bzw. Ergebnisse in das Verbundvorhaben einfließen. Die Kooperation mit dem thematisch verwandten KFKI-Vorhaben „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt“ ist einzeln ausgewiesen.

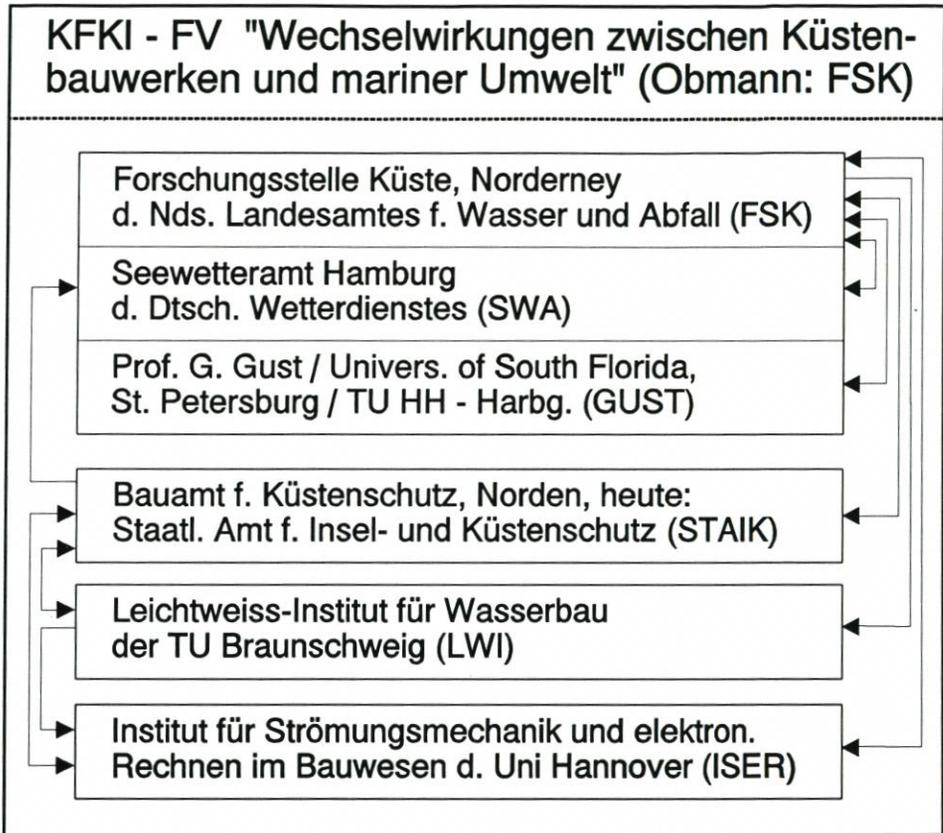


Abb. 1. Am KFKI-FV „Wechselwirkungen“ beteiligte Fachbehörden und Hochschulen und deren interne informelle Verkoppelung (Richtungspfeile)

### 3. Strandvorspülungen und Küstenschutzwerke auf Norderney

Mit Strandvorspülungen sind die großräumigen Ursachen für Strandabbrüche nicht zu beeinflussen und ist die natürliche Sandzuwanderung nicht zu vermehren: der Sand wird wieder abgetragen, so daß Vorspülungen in gewissen Zeitabständen wiederholt werden müssen. Sie sind somit wie Unterhaltungsmaßnahmen anzusehen, die ständige Aufwendungen erfordern, solange das jeweils vorgegebene Ziel aufrechterhalten wird.

Die für eine Strandaufspülung zu wählende Methode hängt wesentlich von dem Ziel und den örtlichen Gegebenheiten ab. Prinzipiell zu unterscheiden sind:

- Die Wiederherstellung (Restauration) eines erodierten Strandes in einen Zustand, der die gewünschte Nutzung ermöglicht.
- Sicherung von Randdünen/Kliffs gegen Erosionen durch Sturmfluteinwirkungen mit hochgelegem Sanddepot.
- Schutz von Küstenbauwerken gegen Zerstörungen während Sturmfluten durch die Gewährleistung von ausreichenden Strandprofilen.

Auf Norderney dienen die Strandvorspülungen der Sicherung der Küstenschutzwerke; sie

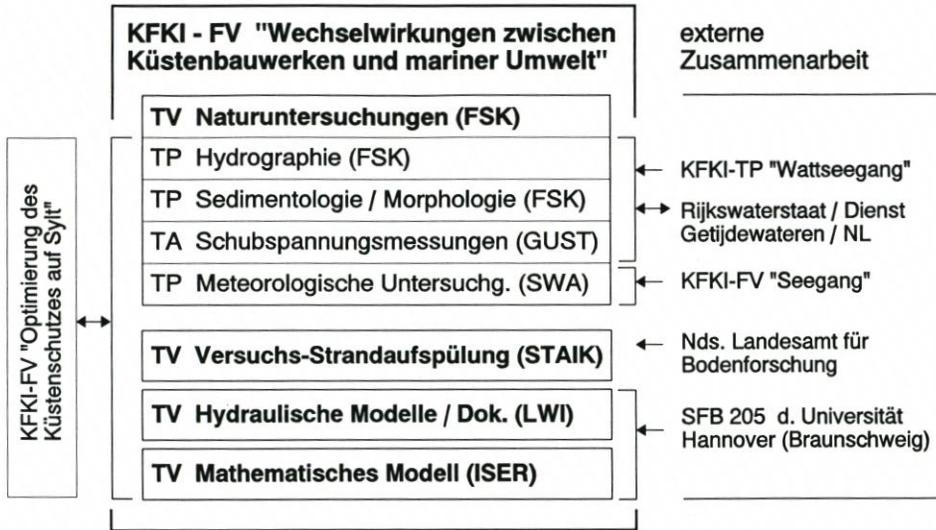


Abb. 2. Teilvorhaben (Teilprojekte, Teilaufgaben) des KFKI-FV „Wechselwirkungen“ und deren Zusammenarbeit mit externen Vorhaben und Institutionen

sind somit dem letztgenannten der unterschiedenen Ziele zuzuordnen. Das sechs Kilometer lange Schutzwerk, das seit Mitte des vorigen Jahrhunderts zur Sicherung des Westkopfes der Insel Norderney errichtet wurde, besteht aus den folgenden Bestandteilen:

### 1. Längswerke

Dünen- bzw. Uferschutzwerke, die den an die See angrenzenden Inselbereich gegen Abbrüche bei höheren Wasserständen (Sturmfluten) schützen.

### 2. Querwerke (Buhnen)

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

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

### 3. Strandvorspülungen

Auffüllen von Bühnenfeldern mit Seesand im Bereich großer Seegangbelastungen und negativer Sandbilanzen (Schutz vor Unterspülungen der Fußsicherungen von Bühnen- und Längswerken).

Die Ursachen für die Abbruchserscheinungen im Westteil Norderneys sind, insbesondere aufgrund der langjährigen Naturuntersuchungen der Forschungsstelle Küste, grundsätzlich bekannt. Wesentliche Wirkungen gehen von Tide- und Seegang sowie vom Sandtransportgeschehen aus. Über die Schutzwerke selbst gibt es ein umfangreiches Schrifttum; eine neuere Zusammenfassung unter Einbeziehung der Strandvorspülungen wurde von KUNZ (1987) veröffentlicht. Der Ausbau des Schutzsystems ist im Zusammenhang mit der parallel laufenden Entwicklung des Seebades Norderney zu sehen.

Das kombinierte Längswerk-Buhnen-Schutzsystem war bis jetzt in der Lage, Dünenabbrüche und Verluste des Inselsockels zu verhindern; es vermochte aber nicht die Rückgänge des Strandes als Folge der natürlichen Unterversorgung (negative Sandbilanz) im Zusammenhang mit den Krafteinwirkungen (insbesondere Seegang) aufzuhalten. Die Methode der Strandauffüllung, seit 1951/52 als Alternative gegenüber einer Fortführung der bisherigen

Technik „Verstärkung der Bühnen und Längswerke“ angewendet, hat bisher im jährlichen Mittel 85 000 m<sup>3</sup> Sand erfordert, um die gewünschten Strandlagen in den Bühnenfeldern zu gewährleisten. Dazu wurden bislang insgesamt sieben Aufspülungen ausgeführt (TILLMANN/ ERCHINGER, 1992).

#### 4. Zur Wahl des Standortes Norderney für das KFKI-Verbundforschungsvorhaben

Das KFKI-FV „Wechselwirkungen“ nutzt die auf Norderney gegebenen Möglichkeiten, um allgemeingültige Aussagen zur aktuellen Thematik „Strandvorspülungen“ und „Wechselwirkungen“ zu gewinnen. Der Standort Norderney bietet dafür günstige Voraussetzungen:

Die Versuchsstrandaufspülung kann mit Maßnahmen des Küstenschutzes so verbunden werden, daß den Ansprüchen des Forschungsvorhabens an deren Ausführung und Gestaltung weitgehend zu entsprechen ist. Für die Planung und Ausführung der Strandvorspülung sowie für Untersuchungen des „Aufspülkörpers“ steht mit dem Staatlichen Amt für Insel- und Küstenschutz (StAIK) in Norden eine ortsnahe, praxiserfahrene Dienststelle zur Verfügung.

Auf Norderney ist die Forschungsstelle Küste (FSK) ansässig, eine Außenstelle des Niedersächsischen Landesamtes für Wasser und Abfall (seit 01. 10. 1992: des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie). Sie verfügt über die technischen Infrastrukturen, das Fachpersonal und die Erfahrungen, um Datenerfassung und Auswertung für Untersuchungen zur Hydrographie, Morphologie, Sedimentologie zu übernehmen.

Die rund um den Westkopf von Norderney ausgebauten Inselchutzwerke bieten gute Voraussetzungen für Untersuchungen zu den Wechselwirkungen zwischen hydrodynamisch-morphologischen Parametern und den Bauwerken (Strandmauer, Bühnen), die drei weitgehend „geschlossene Ränder“ bilden.

Die vielfältig zu bestückenden „Meßfelder“ sind gut erreichbar und zu versorgen. Dies ermöglicht den Betrieb von hochauflösenden Meßeinrichtungen und begünstigt die zeitgleiche Ausführung interdisziplinärer Meßkampagnen.

Im Bereich des Norderneyer Westkopfes betreibt die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung einen eingestuften Tidepegel, dessen Wasserstandsdaten den Meßfeldern zuzuordnen sind. Der Deutsche Wetterdienst hat auf Norderney eine Wetterstation; von einer benachbarten Wattenmeerstation der Forschungsstelle Küste stehen ebenfalls fortlaufend meteorologische Daten zur Verfügung. Zudem sind die infrastrukturellen Voraussetzungen für die Errichtung und den Betrieb eines meteorologischen Ergänzungsmessnetzes günstig.

Die Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen des Standortes Norderney auf andere Gebiete kann gewährleistet werden.

#### 5. Forschungsfelder

##### a) Ermittlung der von See her bestimmten natürlichen Einflußgrößen

Auf die durch Strandvorspülungen künstlich versorgten Küsten/Inselabschnitte wirken die von der Nordsee her bestimmten Tide- und Seegangsrößen ein. Um deren Ausprägung an der seeseitigen Begrenzung des „offenen Randes des Untersuchungsgebietes“ (sogenannte „Bühnenstreichlinie“) durch ein mathematisches Modell beschreiben zu können, müssen Tide und Seegang im Bereich des tiefen Wassers vor der Küste bekannt sein. Die Berechnung des

Seegangs kann über die dort maßgebenden Windgrößen erfolgen. Vom Seewetteramt (TP 1.4) wurde ein allgemein verwendbares Verfahren entwickelt, mit dem – ausgehend von Meßstationen auf Land (Metznetz für FV) – der maßgebende Wind vor der Küste zu berechnen ist (SCHMIDT/PÄTSCH, 1992). Tidewasserstände und Wellenhöhen am „offenen Rand des Aufspülbereiches“ (Bühnenstreichlinie) wurden im TV 4 über numerische Modelle ermittelt (HOLZ/NÖTHEL, 1992).

#### b) Untersuchungen zur „Physik der Prozesse“ im aufgespülten Strandabschnitt

Zentraler Bestandteil der Naturuntersuchungen waren die in drei Bühnenfeldern eingerichteten hydrographischen Meßsysteme zur Erfassung des Tide- und Seegangsgeschehens sowie der dadurch verursachten Strömungen. Die Aufzeichnung und Analyse der mit hoher zeitlicher Auflösung erhobenen Daten (TP 1.1) ermöglichte eine realistische Wiedergabe und Deutung hochfrequenter Vorgänge in der Brandungszone bis hin zu Turbulenzstrukturen der von Seegang und Brandung verursachten Strömungen (NIEMEYER, 1991). Die Strömungen transportieren das Sandmaterial im sohnahen Bereich. Die diese Vorgänge verursachenden Schubspannungen konnten durch den Einsatz von Prototypen einer fortgeschrittenen Meßtechnik erstmals in der Natur gemessen werden (TA 1.3); Strömungsgeschwindigkeiten und Sandbewegungen wurden synchron erfaßt (Yu et al., 1991). Die Umlagerungsvorgänge im gesamten Meßfeld waren darzustellen durch tachymetrische Aufnahmen, Grenzwertanzeiger sowie Luminophoren-Untersuchungen (EITNER et al., 1992). Ein erheblicher Anteil des Sandes wird infolge des Zusammenwirkens von Turbulenz und Strömung als Schwebstoff (Suspension) bewegt. Zur Beschreibung dieser Vorgänge wurden Ergebnisse von Modellversuchen ausgewertet, die man im Großen Wellenkanal in Hannover (Sonderforschungsbereich „Küsteningenieurwesen“ – SFB 205) gewonnen hatte (DETTE/ULICZKA, 1989). Mit den Sandumlagerungen verändert sich die Zusammensetzung des Sedimentes. Dies konnte durch zugeordnete kleinskalige Sedimentanalysen, einschließlich Schwermineralbestimmungen, untersucht und gedeutet werden (WESTHOFF, 1990). Die Auswertungen, mit denen alle erfaßten Parameter miteinander verknüpft wurden, erweitern den Wissensstand über die komplexen Vorgänge von Sandbewegungen, auch solchen, die durch Wechselwirkungen mit Bauwerken beeinflusst sind. Dies ermöglicht Verbesserungen der Parametrisierungen, die in mathematischen Modellen zu den jeweils nachgebildeten Prozessen enthalten sind.

#### c) Untersuchungen zum Materialaustausch zwischen aufgespülten Strandbereichen und dem marinen Umfeld

Die zeitliche Veränderung resultierender Sandmengen im Aufspülbereich und den benachbarten Strandabschnitten sowie der damit einhergehenden Strandprofiländerungen wurde im TV 2 auf der Grundlage terrestrischer Vermessungen und Peilungen untersucht (KOTZBAUER, 1990; TILLMANN/ERCHINGER, 1992). Durch morphologische Untersuchungen (TP 1.2) konnten Sandtransporte analysiert und durch die Einbindung hydrographischer sowie sedimentologischer Untersuchungsergebnisse gedeutet werden (KUNZ, 1991a, 1991b; KUNZ/STEPHAN, 1992). Sedimentologische Analysen der Bühnenbereiche und des großräumig zugeordneten marinen Umfeldes (TP 1.2) erfaßten die morphologisch-hydrographischen Wechselwirkungen und trugen zu deren Deutung bei (EITNER et al., 1992). Die Einbeziehung

der hydrographischen Messungen im Rahmen dieses Projektes in Verbindung mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen der Forschungsstelle Küste zu Tideströmungen und Seegang in Bühnefeldern und dem großräumigen marinen Umfeld (NIEMEYER, 1987, 1991, 1992) ermöglichte Deutungen und Rückschlüsse auf den längs- und quergerichteten Sandtransport einschließlich der natürlichen Erosions- und Regenerations-Vorgänge (TP 1.1, TP 1.2).

d) Parametrisierungen und mathematische Modelle  
für Strömungen und Sandbewegungen von sandigen  
Strandabschnitten mit Küstenschutzwerken

Die Meßdaten, die die hochfrequenten Naturvorgänge (Seegang, Strömung) beschreiben, müssen parametrisiert werden, bevor man sie dann in mathematischen Modellen verwenden kann. Dies erforderte umfangreiche und grundlegende Untersuchungen (TP 1.1, TV 4). Die Kenntnisse wurden erweitert, konnten aber noch nicht in vollem Umfang modelltechnisch umgesetzt werden, weil man die zugrundeliegenden Naturprozesse noch nicht hinreichend versteht, folglich auch nicht als Nachbildung der Physik vollständig modellieren kann. Die im TP 1.1 hochfrequent erfaßten Naturvorgänge wurden im TV 4 mit Verfahren der Statistik zu Mittelwerten (Tide, Seegang, Geschwindigkeiten) von längeren Zeitspannen vereinfacht (NÖTHEL et al., 1992). Die Tidedynamik und die sich dadurch ergebenden Wasserstände und Strömungsverhältnisse konnten über eine Modellfamilie (Nordsee/Deutsche Bucht/Norderney) gut simuliert werden. Eine befriedigende Übereinstimmung zwischen physikalischem und mathematischem Modell wurde ebenfalls bei der kleinräumigen Modellierung der durch monochromatische Wellen verursachten Wirkungen erreicht (als Eingabedaten zu Wellen und Strömungen wurden die Ergebnisse der hydraulischen Modellversuche mit fester Sohle (TV 3) verwendet). Das durch Brandung des natürlichen Seegangs im Bühnengebiet erzeugte Geschehen konnte noch nicht durch ein mathematisches Modell dargestellt werden. Für die sedimentologischen Untersuchungen wurden zwei Transportmodelle entwickelt; die Berechnungen mußten auf eine großräumige Anwendung „ingenieurpraktisch erprobter“ Formeln ohne Berücksichtigung der Wirkungen des Seegangs beschränkt bleiben (HOLZ/NÖTHEL, 1992).

e) Untersuchungen zur Gestaltung des Aufspülkörpers  
einschließlich stützender Verwaltung

Die Untersuchungen zur Gestaltung des Aufspülkörpers im TV 2 konnten auf umfangreiche Vermessungsdaten des Strandes und Vorstrandes seit 1951 gestützt werden; sie ergaben Empfehlungen zu Gestaltungsgrundsätzen, sowohl für Strandneigungen als auch für Höhenlagen der Profile (TILLMANN/ERCHINGER, 1992; ERCHINGER, 1991). Die Analyse der zeitlichen Entwicklungen von Strandprofilen nach der Versuchsaufspülung (April 1989) führte zu Empfehlungen zur Gestaltung eines Aufspülkörpers mit Strandneigungen, die sich an natürlichen Profilen orientieren (LAUE/ERCHINGER, 1990). Morphologische Untersuchungen zum längerfristigen Verhalten der Strände im Anschluß an die anfängliche Umformungsphase (Aufspülkörper hat sich durch die natürliche Kraftentfaltung in einen an die örtlichen Randbedingungen angepaßten „Ausgangszustand“ umgestaltet), ergaben funktionale Abhängigkeiten, die auch den Einfluß der Bühnen mit erfaßten. Die Einbeziehung von Ergebnissen der hydrographischen und der sedimentologischen Untersuchungen ermöglichte ursächliche Deutungen, den Nachweis der hydrodynamischen Wirksamkeit von Strandbühnen und die

Herleitung von Grundsätzen zur Minimierung von Sandverlusten (KUNZ, 1991; KUNZ/STEPHAN, 1992; NIEMEYER, 1992). Die hydraulischen Modellversuche (TV 3) bestätigten, daß man mit stationären Strömungszuständen die komplizierten Naturverhältnisse in den Bühnenfeldern nicht ausreichend gut darzustellen vermag (FÜHRBÖTER et al., 1988); diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse der Naturmessungen bekräftigt. Die Ergebnisse der Modelluntersuchungen wurden als Eingabedaten für die mathematischen Modellstudien mit monochromatischen Wellen verwendet (TV 4).

#### f) Untersuchungen zur Technik der Sandentnahme, des Transportes und der Aufspülung

Im Zusammenhang mit der Versuchsstrandaufspülung 1989 wurden am Beispiel der Norderney-Verhältnisse im TV 2 umfangreiche Untersuchungen zur Frage der Erkundung von geeigneten Sandvorkommen (STREIF, 1988) und zu technischen Möglichkeiten der Entnahme, des Transportes und des Einbaus (Spülleitungen, Hopper) ausgeführt (Teilberichte Nr. 1 bis 6 des STAIK u. TILLMANN/ERCHINGER, 1992). Die gewonnenen Erkenntnisse sind zum Teil standortspezifisch; viele davon lassen sich jedoch übertragen. In Verbindung mit den Ergebnissen aus Untersuchungen zu den Sandverlusten des Aufspülkörpers (während des anfänglichen Umformungsvorgangs und während der dann nachfolgenden Zeit) wurden Grundsätze für eine Kostenminimierung abgeleitet. Dies führte auch zum Wunsch nach technischen Lösungen, mit denen wiederholt kleine Sandmengen kostengünstig aufzuspülen sind (TP 1.2, TV 2).

#### g) Dokumentation zu Strandvorspülungen, Untersuchungen zu besonderen Einzelproblemen

Im Rahmen dieses Vorhabens (TV 3) wird eine umfassende Dokumentation über alle bislang in Deutschland ausgeführten Strandvorspülungen erstellt (DETTE et al., 1988, 1992). Seegangsdaten liegen, wenn überhaupt, stets lückenhaft vor. Mit Daten aus dem Sylter KFKI-Vorhaben (Franzius-Institut der Universität Hannover) wurde im TV 3 ein Berechnungsverfahren kalibriert und angewendet, mit dem man lückenlose Zeitreihen erzeugen kann (DETTE et al., 1991). Die grundsätzliche Eignung und Aussagefähigkeit eines Energieflußansatzes als praktisches Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Sandvorspülungen wurde im TV 3 mit der für die Insel Sylt berechneten kontinuierlichen Zeitreihe von Seegangsdaten dargestellt (DETTE et al., 1991). Der durch Wind verursachte Sandflug (äolischer Sandtransport) kann immer dann zu größeren Verlusten (und Problemen für Mensch und Natur) führen, wenn große Flächenanteile des Strandes trocken liegen (SCHMIDT, 1988). Aufgrund von Naturmessungen wurde im TV 2 die Eignung von Berechnungsformeln für die Größe des äolischen Sandtransports überprüft (TILLMANN/ERCHINGER, 1992).

### 6. Forschungsaufgaben der Teilvorhaben/Teilprojekte

Die von den Teilvorhaben/Teilprojekten des KFKI-Verbundforschungsvorhabens „Wechselwirkungen“ ausgeführten Untersuchungen lassen sich im wesentlichen den folgenden Fragestellungen zuordnen (detailliertere Angaben sind den in der Anlage 3 zusammengestellten Berichten und Veröffentlichungen zu entnehmen):

## 1. Teilvorhaben „Naturuntersuchungen“

### 1.1 Teilprojekt „Hydrographie“ (Forschungsstelle Küste)

Einrichtung und Betrieb von drei hydrographischen Meßfeldern (Hauptfeld, 2 Nebenfelder) zur Erfassung der Wasserstände und des Seegangs sowie der Strömungsgeschwindigkeiten mit hoher zeitlicher Auflösung (etwa 12 Hertz) mit der Möglichkeit quasi-kontinuierlicher, DV-gestützter Aufzeichnung.

Analyse und Bewertung der Gesamtwirkung der seegangs- und brandungsinduzierten Strömungen unter verschiedenen hydrographischen Bedingungen (Sturmflut, Dünung usw.).

Darstellung von Richtungsspektren der Energiedichte.

Naturmessungen der Sandkonzentrationen im Grenzschichtbereich (in Zusammenarbeit mit Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Niederlande) und Analyse seegangsbedingter Erosions- und Regenerationsvorgänge.

Untersuchungen zur hydrodynamischen Wirksamkeit von Bühnen.

### 1.2 Teilprojekt „Sedimentologie/Morphologie“ (Forschungsstelle Küste)

Darstellung eines Gesamtbildes von Strand und Vorstrand des Bereichs westlich von Norderney einschließlich des Riffbogens durch sedimentologische Kenngrößen.

Sedimentologische Untersuchungen des Aufspülkörpers und der Bereiche, die durch dessen Umlagerung beeinflusst sind.

Schwermineralbestimmungen zur Untersuchung von Sandumlagerungen (längs und quer zum Strand gerichtet).

Analyse der räumlichen und zeitlichen Verteilungen der sedimentologischen Kenngrößen im Hinblick auf langfristige großräumige und kurzfristige kleinräumige (Aufspülbereich) Umlagerungen unter Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zu den hydrographischen und morphologischen Gegebenheiten.

Untersuchungen zu kleinräumigen und kurzzeitigen Sedimentumlagerungsintensitäten.

Tracer-Untersuchungen zum Sandtransportgeschehen.

Volumetrische Analysen von allen bisherigen Strandaufspülungen auf Norderney zur Beschreibung und Deutung des morphologischen Naturgeschehens in dem von den Vorspülungen beeinflussten Inselbereich.

Vorschläge zur Minimierung der Sandverlusten aus bereits primär umgelagerten Aufspülkörpern (Ausgangszustand nach anfänglicher Umformung in den auf die natürlichen Gegebenheiten angepaßten Zustand).

### 1.3 Teilaufgabe „Schubspannungsmessungen im Strandbereich“ (Prof. G. Gust, University of St. Petersburg, USA/TU HH-Harburg in Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle Küste)

Entwicklung von Sonden- und Meßsystemen, mit denen innerhalb der Brandungs- und Swash-Zone sandiger Strände sowohl Geschwindigkeiten in unmittelbarer Bodennähe (Höhe < 10 cm) als auch Bodenschubspannungen gemessen werden können.

Einsatz von Prototypen in Meßkampagnen, die gemeinsam mit der FSK durchgeführt werden. Räumlich und zeitlich hochauflösende Erfassung der hydrodynamischen Vorgänge im Grenzschichtbereich „Boden - Wasser“.

Untersuchungen zur Darstellung des hochfrequenten bodennahen Sedimenttransportes und dessen Berücksichtigung bei der Erfassung der Bodenschubspannungen.

#### 1.4 Teilprojekt „Meteorologie“ (Seewetteramt des DWD, Hamburg)

Entwicklung einer Methode zur Berechnung des „Windes auf See“ über eine Korrektur der landgeschützten (vom Land selbst beeinflussten) Windmessungen.

Aufbau und Betrieb (zusammen mit der FSK) eines meteorologischen Meßsystems im Westteil der Insel Norderney unter Einbeziehung bestehender Stationen.

Anpassung des MKW/SWA-Modells (SCHMIDT/PÄTSCH, 1992) auf die besonderen Verhältnisse Norderneys und Optimierung des Modellverhaltens im Fernfeld (Vergleich mit GESIMA der GKSS) sowie im Nahfeld (Windmessungen auf Norderney).

Ableitung der Übertragungsfaktoren (richtungsabhängig) zur Berechnung der Windverhältnisse auf der „freien See“ (fiktiver Bereich etwa 4–10 km nördlich Norderney) ausgehend von Landmeßstellen.

Berechnung raumdeckender Mittelwerte des Windes für den Westteil der Insel Norderney als Anwendungsbeispiel für das meteorologische Modell.

#### 2. Teilvorhaben „Versuchsorientierte Strandaufspülung“ (Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz, Norden)

Auswertung der bisher auf Norderney ausgeführten fünf Strandaufspülungen im Hinblick auf die Planung der versuchsorientierten Aufspülung in 1989.

Untersuchungen zur Umgestaltung aufgespülter Profile in einen den örtlichen Gegebenheiten angepaßten Zustand („Ausgleichsprofil“), insbesondere für die versuchsorientierte Strandaufspülung von 1989.

Berechnung der Nullpunkte und Neigungen von „Ausgleichsprofilen“ und deren Annäherung durch lineare Funktionen.

Anwendung der Erkenntnisse zu den Ausgleichsprofilen auf die räumliche Gestaltung der „Versuchsorientierten Aufspülung“.

Voruntersuchungen zur Sandentnahme und Bauausführung.

Auswertung der Bauausführung mit Saugbagger und Hopperbagger – Direktverspülung.

Untersuchungen zum äolischen Sandtransport.

#### 3. Teilvorhaben „Hydraulische Modelle, Dokumentation“ (Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Braunschweig)

Erfassung, Analyse und Dokumentation von ausgeführten Sandvorspülungen an der deutschen Nordseeküste.

Modelluntersuchungen zu Strömungen in einem Bühnenfeld (Norderney), verursacht durch die Wirkung monochromatischer Wellen (Physikalisches Modell: Längen/Höhen 1:50, feste Sohle mit Neigung 1:30).

Experimentelle Untersuchungen im physikalischen Modell zur Wirksamkeit von baulichen Maßnahmen als Stabilisatoren von Strandaufspülungen (u. a. Verlängerung der Verweilzeit des Sandes im Vorspülbereich).

Umsetzen von naturmaßstäblichen Grundlagenuntersuchungen im GROSSEN WELLENKANAL (Teilprojekt des SFB 205 „Küsteningenieurwesen“ an der Universität Hannover) auf anwendungsorientierte Aufgabenstellungen beim Küstenschutz (u. a. Geometrie von Sandvorspülungen, Dünen- und Stranderosion, Küstenlängs- und Küstenquertransport).

Korrelationsberechnungen zur Erstellung einer mehrjährigen Zeitreihe von Seegangsdaten aus lückenhaften Messungen.

Methodische Ansätze zur Beurteilung der Wirksamkeit von Sandvorspülungen (Beweissicherung, Erfolgskontrollen).

Hinweis: die drei letztgenannten Schwerpunkte wurden in Verbindung mit dem ebenfalls mit Mitteln des BMFT geförderten KFKI-Forschungsvorhabens „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt – Phase I“ sowie eines Teilprojektes des Sonderforschungsbereichs 205 an der Universität Hannover bearbeitet.

#### 4. Teilvorhaben „Mathematisches Modell“ (Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen, Hannover)

Numerische Simulation des mittleren Tidegeschehens im westlichen Bereich um Norderney (Submodell Norderney) zur Ermittlung der Randwerte (Wasserstände, Durchflüsse) für die „Buhnenstreichlinie“.

Entwicklung eines Wellenmodells unter Einschluß der Effekte von Shoaling, Diffraktion, Refraktion, Brechen zur Ermittlung von Wasserständen und brandungsinduzierten Strömungen und Anwendung auf monochromatische Wellen sowie Verifikation mittels Ergebnissen der hydraulischen Modelluntersuchungen des Leichtweiß-Instituts (wellenerzeugte Strömungen in einem Bühnenfeld).

Prinzipstudie (Mehrschichtenmodell) zur Überlagerung von Wind-, Tide- und Welleneinflüssen.

Prinzipstudien zu Sedimentation und Erosion. Entwicklung eines „Tracer-Modells“ (unter Einschluß zeitlich verzögerter Absetzvorgänge) und dessen Anwendung auf den westlichen Bereich vor Norderney mittels „ingenieurpraktisch erprobter Sedimenttransportformeln“.

Statistische Analyse von Naturmeßdaten (im Bühnen-Hauptmeßfeld (D1-E1) von der FSK erhoben) mit dem Ziel, Informationen zur Steuerung und Verifikation der numerischen Modelle zu erhalten (Parametrisierung zu Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit, Wellenaufrichtung).

#### 7. Forschungsziele und deren Vernetzung zu Ergebnissen, Ausblick

Die in Kap. 5 und 6 beschriebenen Untersuchungen sind als Diagramme in den Abb. 3 und 4 so verknüpft worden, daß die Zuordnung zu den übergeordneten Forschungsfeldern erkennbar wird.

In Abb. 3 steht die Erweiterung unserer Kenntnisse zur „Physik der Prozesse“ im

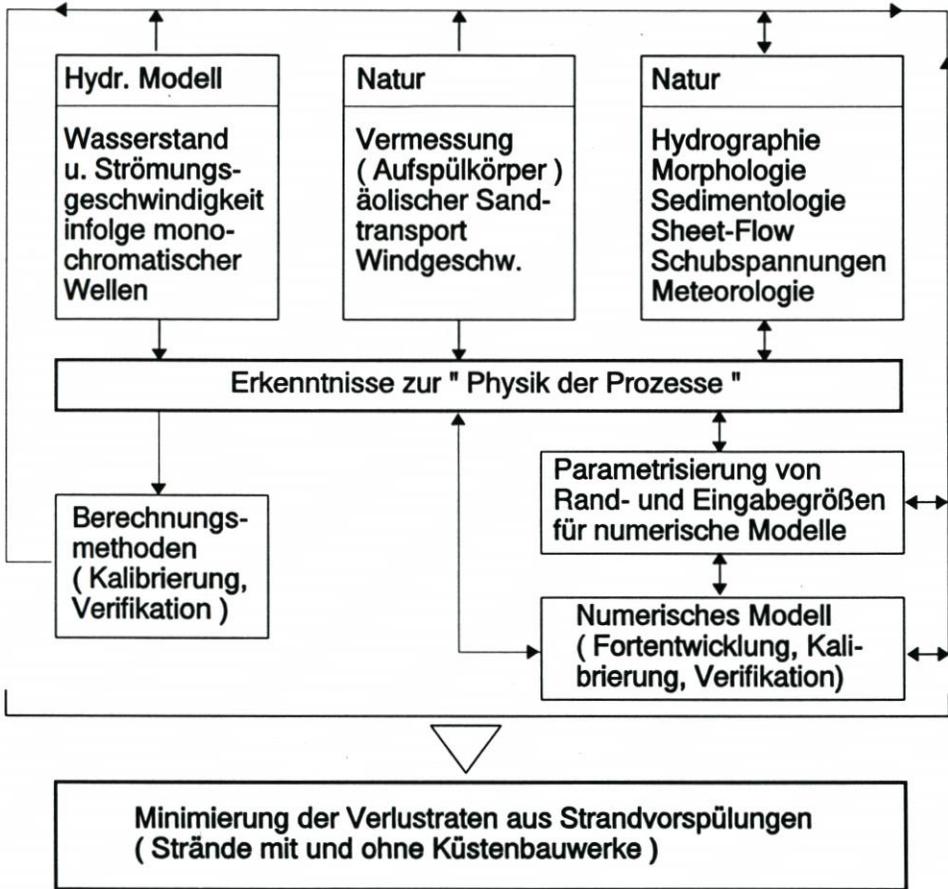


Abb. 3. Diagramm zu den Zielen des KFKI-FV „Wechselwirkungen“ und deren informative Verkopplung ausschließlich des Teiles „Technik der Strandvorspülungen“

Mittelpunkt. Dies umfaßt eine Vielzahl der für die Sandbewegungen in Wechselwirkung mit der natürlichen Umwelt und Küstenschutzwerken maßgebenden Teilfragen. Die praktische Anwendung führt zu Grundsätzen, mit denen eine Minimierung der Sandverlusten aus Strandvorspülungen unter Einbeziehung der Wirkung von Küstenbauwerken erreicht werden kann.

Die Abb. 4 zeigt die Verknüpfung des vorstehend ausgewiesenen Ergebnisses mit dem Forschungsbereich „Technik der Strandvorspülung“. Diese führt zu Grundsätzen, wie eine Minimierung der Kosten zu erreichen ist. Darauf aufbauend sind dann Empfehlungen für Insel- und Küstenschutz-Techniken zu entwickeln, die möglichst umweltverträglich und kostengünstig sind und zudem die Ressource „Seesand“ nicht verschwenden.

Das KFKI-Verbundvorhaben „Wechselwirkungen“ erbrachte zahlreiche Ergebnisse, die man benötigt, um die in den Abb. 3 und 4 ausgewiesenen Ziele letztlich erreichen zu können. Viele der gewonnenen Erkenntnisse sind bereits jetzt bei der Planung und Ausführung von Strandaufspülungen praktisch anwendbar.

Mit dem KFKI-Folgevorhaben „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von

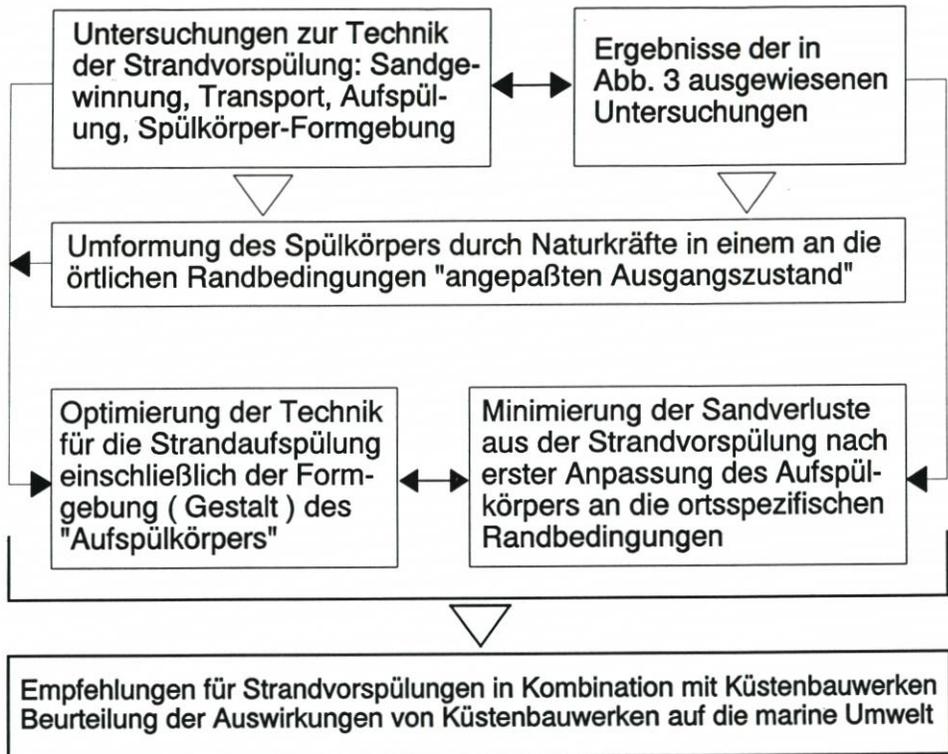


Abb. 4. Diagramm zur Einbindung der Untersuchungen zur Technik der Strandvorspülungen einschließlich anfänglicher Umformungen des Aufspülkörpers in das Gesamtvorhaben „Wechselwirkungen“

Buhnen-Deckwerks-Systemen“, das wiederum in erheblichem Umfang durch den BMFT gefördert wird, sind noch nicht beantwortete Fragen weiter zu untersuchen. Bei der dazu im Frühsommer 1992 im Rahmen des niedersächsischen Küstenschutzprogramms auf Norderney ausgeführten Versuchsstrandvorspülung konnten bereits Ergebnisse aus dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben praktisch umgesetzt werden. Bei der EG ist für MAST-2 (Marine and Science Technology) das Vorhaben „NOURTEC“ (Innovative Nourishment Techniques Evaluation) beantragt worden (Niederlande, Dänemark, Deutschland). Durch die Beteiligung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) und der Forschungsstelle Küste, Norderney (FSK) wird im Falle einer Bewilligung des Antrages die Verbindung mit den laufenden KFKI-Forschungsvorhaben gewährleistet.

Sollten die erwarteten Änderungen des Weltklimas eintreten, dann müssen wir uns auf weitere Rückgänge der Strände und zunehmende Küstenabbrüche einstellen. An vielen Abschnitten der Nordseeküste Deutschlands, die großen Kräfteinwirkungen des Meeres (Tide und Seegang) ausgesetzt sind, werden auch zukünftig massive Bauwerke ein unverzichtbarer Bestandteil des Schutzsystems immer dort sein, wo gesellschaftlicher Konsens darüber besteht, daß Abbrüche (Strand- oder Landverluste) nicht hingenommen werden sollen. Eine Kombination von Küstenbauwerken und zu wiederholende Strandvorspülungen können dann kostengünstige, die Umwelt weniger beeinträchtigende technische Lösungen ermöglichen. Die Bedeutung von Strandvorspülungen, insbesondere auch in Verbindung mit massiven Küstenbauwerken, wird daher in Zukunft vermutlich noch zunehmen.

Hinweis: Die Ergebnisse des KFKI-Verbundforschungsvorhabens „Wechselwirkungen“ sind in Forschungsberichten und bereits auch in zahlreichen Veröffentlichungen mitgeteilt worden (siehe Anl. 3).

## 8. Schriftenverzeichnis

- AUSSCHUSS KÜSTENSCHUTZWERKE der HTG und DGEG: Empfehlungen für Strandauffüllungen als Küstenschutz. Naßbaggerberichte Bd. 5, 1977 und Die Küste, H. 36, 1981.
- DETTE, H. H., SCHULZE, M. u. LAUE, M.: Zur Dokumentation von Sandvorspülungen – Stand April 1988. Bericht Nr. 660 d. Leichtweiß-Instituts d. TU Braunschweig (unveröffentl.), 1988.
- DETTE, H. H. u. ULICZKA, K.: Rechnerische Abschätzung des Diffusionskoeffizienten aus Suspensionsmessungen im Großen Wellenkanal. Bericht Nr. 676 d. Leichtweiß-Instituts d. TU Braunschweig (unveröffentl.), 1989.
- DETTE, H. H., NEWE, J. u. SPINGAT, F.: Zur Erstellung einer mehrjährigen Zeitreihe von Segangsdaten aus Messungen und Korrelationsberechnungen. Bericht Nr. 711 d. Leichtweiß-Instituts d. TU Braunschweig (unveröffentl.), 1991.
- DETTE, H. H., SCHULZE, M. u. LAUE, M.: Sedimentologische Untersuchungen zu den Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt. Schlußbericht Teil „Sedimentologie“ des TV „Naturuntersuchungen“; Forschungsstelle Küste, Norderney (unveröffentl.), 1992.
- EITNER, V., RAGUTZKI, G. u. WESTHOFF, T.: Sedimentologische Untersuchungen zu den Auswirkungen einer künstlichen Auffüllung des Norderneyer Strandes auf die Transport- und Umlagerungsvorgänge. Die Küste, H. 54, 1992.
- ERCHINGER, H. F.: Beach Replenishment in consideration of natural processes and profiles. Proc. Conference of River and Coastal Engineers, Loughborough University, MAFF, 1991.
- ERCHINGER, H. F. u. TILLMANN, B.: Die versuchsorientierte Strandaufspülung Norderney 1989. Die Küste, H. 54, 1992.
- FÜHRBÖTER, A., DETTE, H. H. u. SCHULZ, K. P.: Modelluntersuchungen zu wellenerzeugten Strömungen in einem Bühnenfeld. Bericht Nr. 679 d. Leichtweiß-Instituts d. TU Braunschweig (unveröffentl.), 1988.
- HOLZ, K. P. u. NÖTHEL, H.: Abschlußbericht zum Teilvorhaben „Mathematische Modelle“. Institut f. Strömungsmechanik, Uni Hannover (unveröffentl.), 1992.
- KOTZBAUER, U.: Vorschlag zur Ermittlung von Strandaufspül-Profilen nach natürlichen Gleichgewichtsprofilen. Mitt. d. Leichtweiß-Instituts d. TU Braunschweig, H. 105/89, 1990.
- KRAMER, J.: Künstliche Wiederherstellung von Stränden unter besonderer Berücksichtigung der Strandaufspülung Norderney 1951/52. Jber. 1957, Forsch.-Stelle f. Insel- u. Küstenschutz, Bd. 9, Norderney, 1958.
- KUNZ, H.: History of Seawalls and Revetments on the Island of Norderney. Coastal Sediments '87, Proc. vol. 1, ASCE, New York, 1987.
- KUNZ, H.: Artificial beach nourishment on Norderney, a case study. Proc. 22nd Int. Conf. o. Coast. Eng. 1990 (Delft), Bd. 3; ASCE, New York, 1991a.
- KUNZ, H.: Protection of the Island of Norderney by Beach nourishment, alongshore Structures and Groynes. Third Int. Conf. o. Coastal a. Port Eng. in Devel. Countries, Proc. Bd. 1, COPEDEC, Mombasa, 1991b.
- KUNZ, H. u. STEPHAN, H. J.: Ergebnisse morphologischer Untersuchungen zu den Strandaufspülungen auf Norderney. Die Küste, H. 54, 1992.
- LAUE, M. u. ERCHINGER, H. F.: 5. Teilbericht „Zeitliche Entwicklung der Strandprofile nach der 6. Strandaufspülung und Empfehlungen zur Gestaltung des Aufspülkörpers“. StAIK, Norden (unveröffentl.), 1990.
- NIEMEYER, H. D.: Tidestrommessungen in Bühnenfeldern. Jber. 1986, Forschungsstelle Küste, Bd. 38, Norderney, 1987.
- NIEMEYER, H. D.: Field measurements and analysis of wave-induced nearshore currents. Proc. 22nd Int. Conf. o. Coast. Eng. Delft, ASCE, New York, 1991.
- NIEMEYER, H. D.: Die ursächliche Deutung von Transportphänomenen als Gestaltungsgrundlage für Strandauffüllungen. Die Küste, H. 54, 1992.
- NÖTHEL, H., SUNDAR, V. u. HOLZ, K. P.: Statistische Analyse von Meßdaten aus einem Bühnenfeld. Die Küste, H. 54, 1992.

- SCHMIDT, H. J.: Eine Abschätzung des äolischen Sandtransportes infolge einer hoch an das Deckwerk der Insel Norderney reichenden Strandvorspülung. Bericht SWA Hamburg (unveröffentl.), 1988.
- SCHMIDT, H. u. PÄRSCH, J.: Meteorologische Messungen auf Norderney und Modellrechnungen. Die Küste, H. 54, 1992.
- STREIF, H.: Lagerstättenkundliche Auswertung von Bohrungen auf der Robbenplate. Bericht Nieders. Landesamt f. Bodenforschung, Hannover (unveröffentl.), 1988.
- TILLMANN, B. u. ERCHINGER, H. F.: 6. Teilbericht „Überlegungen zu Bauverfahren und Formgebung künftiger Strandaufspülungen“. StAIK Norden (unveröffentl.), 1991.
- TILLMANN, B. u. ERCHINGER, H. F.: Schlußbericht zum Teilvorhaben „Versuchsorientierte Strandaufspülung“. StAIK, Norden (unveröffentl.), 1992.
- WESTHOFF, T.: Sedimentologische Untersuchungen zur Klärung von Transportvorgängen im Bereich sandiger Küsten; Diss. Univ. Münster, 1990.
- YU, Z., NIEMEYER, H. D. u. BAKKER, W. T.: Site investigation on sand concentration in the sheetflow layer. Proc. 22nd Int. Conf. o. Coast. Eng. Delft, ASCE, New York, 1991.

### Danksagung

Das interdisziplinäre KFKI-Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ wurde vom Bundesminister für Forschung und Technologie gefördert. Hierfür und für die Begleitung des Vorhabens von der Antragstellung bis zu dessen Abschluß hin wird an dieser Stelle noch einmal gedankt.

### Anlage 1

*Teilvorhaben/Teilprojekte des KFKI-Verbundforschungsvorhabens „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“ mit Bezeichnung der ausführenden Stellen, Namen der wissenschaftlichen Leitung und Anschrift*

1. Teilvorhaben „Naturmessungen“ (Wiss. Leitg.: Dr.-Ing. Kunz, Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Wasser und Abfall (ab 01. 10. 1992: des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie), An der Mühle 5, 2982 Norderney
  - 1.1 Teilprojekt „Hydrographie“ (Wiss. Leitg.: Dipl.-Ing. Niemeyer/Dr.-Ing. Kunz), Forschungsstelle Küste
  - 1.2 Teilprojekt „Sedimentologie/Morphologie“ (Wiss. Leitg.: Dipl.-Ing. Ragutzki/Dr.-Ing. Kunz), Forschungsstelle Küste
  - 1.3 Teilaufgabe „Schubspannungsmessungen“ (Prof. Gust), Arbeitsbereich Meerestechnik I, TU Hamburg-Harburg, Lauenbruch Ost 1, 2100 Hamburg 19
  - 1.4 Teilprojekt „Meteorologische Untersuchungen“ (Wiss. Leitg.: Dipl.-Met. Schmidt), Seewetteramt des DWD, Bernhard-Nochtstr. 76, 2000 Hamburg 36
2. Teilvorhaben „Versuchsorientierte Strandaufspülung“ (Wiss. Leitg.: Dipl.-Ing. Erchinger), Staatl. Amt für Insel- und Küstenschutz, Jahnstr. 1, 2980 Norden
3. Teilvorhaben „Hydraulische Modelle, Dokumentationen“ (Wiss. Leitg.: Dr.-Ing. Dette), Leichtweiß-Institut f. Wasserbau d. Technischen Universität Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 3300 Braunschweig
4. Teilvorhaben „Mathematisches Modell“ (Wiss. Leitg.: Prof. Holz), Institut f. Strömungsmechanik u. Elektronisches Rechnen im Bauwesen d. Universität Hannover, Appelstr. 9A, 3000 Hannover 1.

## Anlage 2

*Mitglieder der KFKI-Projektgruppe zum Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“*

- Dr.-Ing. H. H. DETTE, Akademischer Direktor; Leichtweiß-Institut f. Wasserbau d. TU Braunschweig (TV 3)
- Dipl.-Ing. O. FRANZIUS, Baudirektor; Wasser- und Schiffahrtsdirektion Aurich
- Dipl.-Ing. H. F. ERCHINGER, Ltd. Baudirektor; Staatl. Amt f. Insel- u. Küstenschutz, Norden (TV 2)
- Dipl.-Ing. J. GÄRTNER, Oberregierungsbaurat; Amt f. Land- u. Wasserwirtschaft, Heide
- Dr.-Ing. K.-P. HOLZ, Professor; Institut f. Strömungsmechanik u. Elektronisches Rechnen im Bauwesen, Universität Hannover (TV 4)
- Dr.-Ing. H. KUNZ, Baudirektor; Forschungsstelle Küste, Norderney (TV 1) – Obmann seit Februar 1988
- Dr.-Ing. G. LUCK; Forschungsstelle Küste, Norderney (TV 1) – Obmann bis Januar 1988
- Dipl.-Ing. H. NIEMEYER; Forschungsstelle Küste, Norderney (TP 1.1)
- Dipl.-Ing. G. RAGUTZKI; Forschungsstelle Küste, Norderney (TP 1.2)
- Dipl.-Ing. D. SCHALLER; Amt f. Land- u. Wasserwirtschaft, Husum (als Vertreter des KFKI-Projektes „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt“, seit 1990)
- Dipl.-Met. H. SCHMIDT, Regierungsdirektor; Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes, Hamburg (TP 1.4)

## Anlage 3

*Berichte und Veröffentlichungen zum KFKI-Verbundforschungsvorhaben „Wechselwirkungen zwischen Küstenbauwerken und mariner Umwelt“*

Vorbemerkung:

Zwischenberichte werden nur dann mit Nennung des gesamten Titels bzw. mit Hinweisen zum Inhalt aufgeführt, wenn sie nicht in dem Schlußbericht des jeweiligen Teilvorhabens aufgenommen wurden. In den anderen Fällen ist nur ein kurzer Hinweis gegeben; Tischvorlagen sind nicht mit aufgenommen.

### *1. TV „Naturuntersuchungen“*

*Teilprojekte 1.1 „Hydrographie“ und 1.2 „Sedimentologie/Morphologie“, Forschungsstelle Küste, Norderney*

Berichte:

- NIEMEYER (1990): Zwei Dokumentationen zum hydrographischen Meßsystem, ein Auswertungsbeispiel für Seegang- und Strömungsmessungen.
- RAGUTZKI/WESTHOFF (1987–1990): Fünf Zwischenberichte zu den sedimentologischen Untersuchungen.
- STEPHAN (1988): Fünf Strandauffüllungen vor Norderney – Ergebnisse morphologischer Untersuchungen, Zwischenbericht.
- WESTHOFF (1991): Markierungsversuch mit Luminophoren zur Kennzeichnung des Sedimenttransportes in einem Bühnenfeld, Zwischenbericht.

- EITNER/RAGUTZKI/WESTHOFF (1992): Schlußbericht zum Teilvorhaben „Naturuntersuchungen“, Teil „Sedimentologie“.
- KUNZ/STEPHAN (1992): Schlußbericht zum Teilvorhaben „Naturuntersuchungen“, Teil „Morphologie“.
- NIEMEYER (1992): Schlußbericht zum Teilvorhaben „Naturuntersuchungen“, Teil „Hydrographie“.
- KUNZ (1992): Zusammenfassender Schlußbericht zum Teilvorhaben „Naturuntersuchungen“.

#### Veröffentlichungen

- EITNER, V., G. RAGUTZKI, T. WESTHOFF (1992): Sedimentologische Untersuchungen zu den Auswirkungen einer künstlichen Auffüllung des Norderneyer Strandes auf die Transport- und Umlagerungsvorgänge. Die Küste, H. 54.
- EITNER, V., G. RAGUTZKI (1992): The effect of artificial beach nourishment on sediment dynamics of a mesotidal barrier island (Norderney, southern North Sea). Proceedings TIDAL CLASTICS '92, Wilhelmshaven; Druck i. Vorber.
- EITNER, V., G. RAGUTZKI (1992): Some results concerning the problematic nature of tidal flat sediments. Proceedings TIDAL CLASTICS '92, Wilhelmshaven; Druck in Vorber.
- EITNER, V., G. RAGUTZKI (1992): Sediment variability – an important element in the evolution of tidal flats. Proc. Int. Coast. Congr. 1992, Kiel; Druck in Vorber.
- KUNZ, H. (1991): Artificial beach nourishment on Norderney, a case study. – Proc. 22nd Int. Conf. o. Coast. Eng. 1990 (Delft), Bd. 3; ASCE, New York.
- KUNZ, H. (1991): Protection of the Island of Norderney by Beach Nourishment, alongshore Structures and Groynes. Third Intern. Conf. on Coastal a. Port Eng. in Devel. Countries, Proc. Bd. 1; COPEDEC, Mombasa.
- KUNZ, H., H. J. Stephan (1992): Ergebnisse morphologischer Untersuchungen zu den Strandaufspülungen auf Norderney. Die Küste, H. 54.
- NIEMEYER, H. D. (1987): Tidestrommessungen in Bühnenfeldern. Jber. 1986, Forsch.-Stelle Küste, Bd. 38.
- NIEMEYER, H. D. (1991): Field measurements and analysis of wave-induced nearshore currents. Proc. 22nd Int. Conf. o. Coast. Eng. Delft, ASCE, New York.
- NIEMEYER, H. D. (1992): Die ursächliche Deutung von Transportphänomenen als Gestaltungsgrundlage für Strandauffüllungen. Die Küste, H. 54.
- WESTHOFF, T. (1990): Sedimentgeologische Untersuchungen zur Klärung von Transportvorgängen im Bereich sandiger Küsten. Diss. Univ. Münster.
- YU, Z., H. D. NIEMEYER, W. T. BAKKER (1991): Site investigation on sand concentration in the sheetflow layer. Proc. 22nd Int. Conf. o. Coast. Eng. Delft, ASCE, New York.

#### *Teilaufgabe 1.3 „Schubspannungsmessungen“, G. Gust, Techn. Universität Hamburg-Hamburg*

##### Berichte:

- GUST (1992): Sonderaufgabe „Schubspannungsmessungen“, Kurzbericht.
- GUST (1992): Schlußbericht zum Teilvorhaben „Naturuntersuchungen“, Teilaufgabe „Schubspannungsmessungen“.

#### *Teilprojekt 1.4 „Meteorologische Untersuchungen“, Seewetteramt Hamburg des DWD*

##### Berichte:

- SCHMIDT (1988): Eine Abschätzung des äolischen Sandtransportes infolge einer hoch an das Deckwerk der Insel Norderney reichenden Strandvorspülung. Bericht.

SCHMIDT (1988 bis 1991): Zwischenberichte Meteorologie und Dokumentationen zu den meteorologischen Messungen.

SCHMIDT (1989): Dokumentationen zu den Windmeßstellen auf Norderney.

SCHMIDT/PÄTSCH (1992): Abschlußbericht „Meteorologische Messungen auf Norderney und Modellrechnungen“.

Veröffentlichungen:

SCHMIDT, H. J., PÄTSCH, J. (1992): Meteorologische Messungen auf Norderney und Modellrechnungen. Die Küste, H. 54.

2. TV „Versuchsorientierte Strandaufspülung“, Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz, Norden

Berichte:

KOTZBAUER/ERCHINGER (1989): 1. Teilbericht „Planung und Vorbereitung der Strandaufspülung 1989“.

LAUE/ERCHINGER (1989): 2. Teilbericht „Beschreibung der Profilanalyse und des Aufspülprofils sowie weitergehender Auswertungsverfahren“.

LAUE/ERCHINGER (1989): 3. Teilbericht „Ausschreibung und Vergabe zur 6. Strandaufspülung“.

LAUE/ERCHINGER (1990): 4. Teilbericht „Durchführung der 6. Strandaufspülung“.

LAUE/ERCHINGER (1990): 5. Teilbericht „Zeitliche Entwicklung der Strandprofile nach der 6. Strandaufspülung und Empfehlungen zur Gestaltung des Aufspülkörpers“.

STREIF (1988): Lagerstättenkundliche Auswertung von Bohrungen auf der Robbenplate. Bericht, Nds. Landesamt f. Bodenforschung, Hannover.

TILLMANN/ERCHINGER (1991): 6. Teilbericht „Überlegungen zu Bauverfahren und Formgebung künftiger Strandaufspülungen“.

TILLMANN/ERCHINGER (1992): Schlußbericht zum Teilvorhaben „Versuchsorientierte Strandaufspülung“.

Veröffentlichungen:

ERCHINGER, H. F. (1991): Beach Replenishment in consideration of natural processes and profiles. Proc. Conference of River and Coastal Engineers; Loughborough University, MAFF.

KOTZBAUER, U. (1990): Vorschlag zur Ermittlung von Strandaufspül-Profilen nach natürlichen Gleichgewichtsprofilen. Mitt. d. Leichtweiß-Instituts d. TU Braunschweig, H. 105/89.

ERCHINGER, H. F., TILLMANN, B. (1992): Die versuchsorientierte Strandaufspülung Norderney 1989. Die Küste, H. 54.

3. TV „Hydraulische Modelle, Dokumentationen“, Leichtweiß-Institut der Tech. Universität Braunschweig

Berichte:

DETTE/SCHULZE/LAUE (1988): Zur Dokumentation von Sandvorspülungen – Stand April 1988. Bericht Nr. 660.

DETTE/ULICZKA (1989): Rechnerische Abschätzung des Diffusionskoeffizienten aus Suspensionsmessungen im Großen Wellenkanal. Bericht Nr. 676.

FÜHRBÖTER/DETTE/SCHULZ (1988): Modelluntersuchungen zu wellenerzeugten Strömungen in einem Bühnenfeld. Bericht Nr. 679.

DETTE/NEWE/SPINGAT (1991): Zur Erstellung einer mehrjährigen Zeitreihe von Seegangsdaten aus Messungen und Korrelationsberechnungen. Bericht Nr. 711.

DETTE/SCHULZE/LAUE (1992): Sandvorspülungen an der Deutschen Nordseeküste (1951-1991). Bericht Nr. 744.

DETTE (1992): Probleme der Sandvorspülungen; Schlußbericht zum Teilvorhaben „Hydraulische Modelle, Dokumentationen“. Bericht Nr. 746.

Anmerkung: Der zweit- und viertgenannte Bericht wurden durch die Verbindung mit anderen Forschungsvorhaben ermöglicht.

#### Veröffentlichungen:

DETTE, H. H. (1991): Experiences with Beach Nourishments as Longterm Coastal Protection. Proc. 4th Annual National Conference on Beach Preservation Technology, Charleston, South Carolina, USA.

DETTE, H. H., A. J. RAUDKIVI (1991): Model for Littoral Transport. Proc. IAHR Symposium on the Transport of Suspended Sediments and its Mathematical Modelling; Florence, Italy.

RAUDKIVI, A. J., H. H. DETTE (1991): Ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Suspensionsfracht außerhalb der Brandung. HANSA; 128. Jg. (23/24).

RAUDKIVI, A. J., H. H. DETTE (1991): Ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Suspensionsfracht außerhalb der Brandung (mit Anhang: Dokumentation der experimentellen Daten). Mitt. Leichtweiß-Institut d. TU Braunschweig, H. 111.

Anmerkung: Die aufgeführten Veröffentlichungen sind unter Mitverwendung von Ergebnissen aus dem FV „Wechselwirkungen“ entstanden.

#### 4. TV „Mathematisches Modell“, Institut für Strömungsmechanik und elektronisches Rechnen im Bauwesen, Universität Hannover

##### Berichte:

FEIST/NÖTHEL/HOLZ (1988 bis 1991): Fünf Zwischenberichte zum Teilvorhaben „Numerische Modelle“: Numerische Modellierung der hydrologischen Simulation der strandnahen Bühnenfelder mit einem hydrodynamisch-numerischen Strömungsmodell für stationäre Vorgänge und ausgewählte Tidezyklen. Anwendung, Berechnung und teilweise Verifikation des Modells für Bühnenfelder, von denen Meßdaten vorlagen. Großräumige Simulation des Tidegeschehens bis zum Riffbogen von Norderney zur Schaffung besserer Randbedingungen für die lokalen Modelle der Testfelder. Berechnung der seewärtigen Eingangswerte des Modells aus einer Modellfamilie, die ein Deutsche Bucht Modell und ein Nordsee Modell mit umfaßte; Verifikation für mittleres Tidegeschehen anhand von vorhandenen Meßdaten. Entwicklung eines Wellenmodells zur Simulation der seegangsbedingten Vorgänge im Küstenvorfeld, das die Ausbreitung von Wellen im Flachwasser berechnet. Entwicklung von zwei Transportmodellen, je eines für die Berechnung der morphologischen Veränderungen im lokalen sowie im großräumigen Bereich. Mehrschichtenuntersuchungen mit einem 2D-Strömungsmodell. Statistische Auswertung hydrographischer Natur-Meßdaten.

#### Veröffentlichungen:

NÖTHEL, H., V. SUNDAR, K. P. HOLZ (1992): Statistische Analyse von Meßdaten aus einem Bühnenfeld. Die Küste, H. 54.

- SUNDAR, V., H. NÖTHEL, K. P. HOLZ (1992): Wave Climate in a Groin Field; zur Veröffentlichung akzeptiert im Ocean Engineering.
- SUNDAR, V., H. NÖTHEL, K. P. HOLZ (1992): Wave Kinematics in a Groin Field – Frequency Domain Analysis; zur Veröffentl. akzeptiert beim Coastal Engineering.
- SUNDAR, V., H. NÖTHEL, K. P. HOLZ: Wave Kinematics in a Groin Field – Time Domain Analysis; zur Veröffentl. eingereicht beim Journal of Coastal Research, 1992.
- SUNDAR, V., H. NÖTHEL, K. P. HOLZ: Asymmetrics in Waves and Velocities in a Groin Field; zur Veröffentl. eingereicht im Ocean Engineering, 1992.
- SUNDAR, U., H. NÖTHEL, K. P. HOLZ: Wave Directions in a Groin Field; zur Veröffentl. eingereicht beim Journal of Physical Oceanography, 1992.