

Forschungsvorhaben WADE – Synthese und Ausblick –

Von HANZ DIETER NIEMEYER

Zusammenfassung

Die Verstärkung des Treibhauseffektes durch das zunehmende Freisetzen von Spurengasen könnte zu einer erneuten Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs führen. Für den Schutz der Niederungsküsten an der südlichen Nordsee sind die dabei zu erwartenden morphodynamischen Vorgänge von erheblicher Bedeutung. Insbesondere stellt sich die Frage, ob auch dann die Watten noch – wie mit dem in den letzten Jahrhunderten moderaten Meeresspiegelanstieg – mitwachsen werden. Diesem Problem widmete sich das deutsch-niederländische Forschungsvorhaben WADE.

An dieser Stelle wird – aufbauend auf den veröffentlichten Ergebnissen – eine Bilanz des Vorhabens gezogen, wobei ergänzend zu der Gegenüberstellung von Erstrebttem und Erreichtem auf der Grundlage aus dem Vorhaben gewonnener neuartiger Erkenntnisse ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf erfolgt.

Summary

The major aim of the Dutch-German research project WADE (Wadden Sea morphodynamical development with respect to an accelerated relative sea-level rise) was the development of suitable tools for the forecast of a morphodynamic response to an accelerated relative sea-level rise. Assuming a lasting morphodynamic equilibrium primarily existing and newly established empirical relationships have been tested with respect to their reliability. Furthermore a conceptual morphodynamic model has been applied to a real world case with changing boundary conditions due to human impacts. The major results of the project were already published, particularly in volume 57 of this periodical. This publication focusses mainly on the following issues: review of the initially invented research strategy, further use of established data sets, gained background knowledge for proper use of applied tools. Based on a balance of gained results and remaining problems some needs of further research are highlighted.

Inhalt

1. Einleitung	87
2. Forschungsansatz, Umsetzung und Modifikation	88
3. Datenbasis	89
4. Konzeptionelle Modellierung	90
5. Parametrisierungen und morphodynamische Gleichgewichtsbedingungen	92
6. Morphodynamische Langzeitentwicklungen	96
7. Synthese und Ausblick	97
8. Schriftenverzeichnis	99

1. Einleitung

In der deutsch-niederländischen Arbeitsgruppe „Meeresspiegelanstieg und Küsteningenieurwesen“, die aufgrund eines Rahmenabkommens zwischen dem BMBF und Rijkswaterstaat eingerichtet worden ist, war ein kooperatives Forschungsvorhaben zu potentiellen morphodynamischen Folgewirkungen eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs ver-

einbart worden. Anlass hierzu waren einerseits Erkenntnisdefizite zu den mittelbaren Folgen des verstärkten Treibhauseffekts für den Insel- und Küstenschutz infolge von Spurengasen und andererseits bemerkenswerte Ergebnisse entsprechender Untersuchungen zur Neubestimmung einer künftigen Küstenschutzstrategie in den Niederlanden. Es wurden in beiden Ländern zwei grundsätzlich aufeinander abgestimmte, aber an den jeweiligen nationalen Möglichkeiten orientierte Vorhaben unter dem gemeinsamen Namen WADE = Wadden Sea Morphodynamical Development with Respect to an Accelerated Relative Sea-Level Rise eingerichtet. Das deutsche Projekt wurde vom BMBF, das niederländische von Rijkswaterstaat und dem Niederländischen Umweltministerium gefördert. Vorrangiges Ziel des Vorhabens war die exemplarische Entwicklung eines Instrumentariums zur Abschätzung morphodynamischer Entwicklungen unter veränderten hydrodynamischen Randbedingungen.

2. Forschungsansatz, Umsetzung und Modifikation

Innerhalb der niederländischen Untersuchungen zum „Küstenschutz nach 1990“ waren auf der Grundlage bekannter morphodynamischer Gleichgewichtsbedingungen Vorschauen zu den Folgen angenommener Szenarien eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs entwickelt worden. Deren wesentlicher Nachteil bestand darin, allein Ergebnisse für den Ausgangszustand und das abschließend wieder erreichte Gleichgewicht zu liefern. Hierbei wurde deutlich, dass die dabei in der Natur zu durchlaufenden Zyklen vielfach wesentlich länger andauerten als die üblichen ingenieurtypischen Planungszeiträume. Primäres Forschungsziel war daher die Fortentwicklung der verfügbaren Gleichgewichtsbedingungen zu Prozessbeschreibungen, mit denen auch die zwischen zwei Gleichgewichtszuständen durchlaufenden Übergangszustände simulierbar werden sollten. Hierbei war auch an die Einbeziehung von Ergebnissen mathematisch-hydrodynamischer Modelle gedacht. Zur Erreichung dieser Zielsetzung wurden folgende für das eigentliche Ziel grundlegende Teilschritte im Forschungsprogramm festgelegt:

1. Digitalisierung des geeigneten verfügbaren Kartenmaterials der ausgewählten Untersuchungsgebiete und Archivierung mit einem Geographischen Informationssystem,
2. Morphodynamische Parametrisierung der Untersuchungsgebiete nach morphodynamischen Einheiten (Einzugs- und Teileinzugsgebiete der jeweiligen Fluter),
3. Überprüfung, Fortentwicklung und Neubestimmung morphodynamischer Gleichgewichtsbedingungen,
4. Erstellung mathematisch-hydrodynamischer Modelle für ausgewählte Testgebiete.

Es wurde bald deutlich, dass der Aufwand für die Erarbeitung der Datengrundlagen aufgrund mangelnder Erfahrung wesentlich unterschätzt worden war: die detaillierte Aufnahme umfangreichen Kartenmaterials in ein GIS mit manueller Digitalisierung, Plausibilitätsprüfung und Korrektur verlangte einen erheblich höheren Aufwand als die bisher praktizierte unmittelbare Parametrisierung typischer morphodynamischer Gebietsmerkmale wie Einzugsgebietsflächen oder Rinnenquerschnitte.

Mit zunehmender Untersuchungsdauer zeigte sich in beiden Teilvorhaben, dass der ins Auge gefasste Ansatz nicht zum Erfolg führte: die alleinige Einbeziehung von Ergebnissen hydrodynamischer Modelle ermöglichte keine hinreichende Fortentwicklung der Gleichgewichtsbedingungen zur Ermittlung von Übergangszuständen. Einen Ausweg aus dem Dilemma boten parallel zu den Vorhaben laufende Arbeiten einer begleitenden niederländischen Arbeitsgruppe, die den ursprünglichen Ansatz einerseits umkehrte und andererseits entscheidend erweiterte: In ein einfaches hydrodynamisches Modell mit Sedimenttransport-

modul wurden bekannte abgesicherte morphodynamische Gleichgewichtsformulierungen als prozesssteuernde Randbedingungen eingeführt; eine Anpassung an Naturdaten erfolgte über Zeitskalenparameter (VAN DONGEREN u. DE VRIEND, 1993). Dieser Modellierungsansatz wurde auch für das deutsche Vorhaben übernommen, weiterentwickelt und angewandt (NIEMEYER et al., 1995a).

3. Datenbasis

Im Rahmen des deutschen Teils des Projekts WADE ist im Gegensatz zum Vorgehen der niederländischen Kollegen von vornherein auf eine unmittelbare Parametrisierung auf der Grundlage des originären Kartenmaterials verzichtet worden. Das für die Projektbearbeitung ausgewählte Kartenmaterial wurde vollständig digitalisiert und in eine GIS-Datenbank überführt. Die Parametrisierungen für die Überprüfung und Fortentwicklungen morphodynamischer Gleichgewichtsbedingungen und konzeptionelle Modellierungen erfolgten dann mit Hilfe funktionaler Werkzeuge des GIS. Hiermit sollte vorrangig eine Objektivierung der Ergebnisse bezüglich der Ermittlungsmethoden erreicht werden, indem bei den Parametrisierungen verfahrensbedingte Variationen infolge individueller Arbeitstechniken ausgeschlossen werden konnten. Darüber hinaus wurden hierdurch wesentlich verbesserte Datengrundlagen für Modellierungen der Untersuchungsgebiete geschaffen.

Im Projekt WADE sind die Einzugsgebiete der ostfriesischen Seegaten von der Osterems bis zur Harle aus folgenden drei Kartenwerken in das GIS überführt worden (Abb. 1): Topographische Wattkarte 1:25 000 der niedersächsischen Küste (FSK, etwa 1955–1970); KFKI-Küstenkarte 1:25 000 (etwa 1975) und Küstenkarte der Synopse 1:25 000 (WSD Nordwest, etwa 1990). Für das Untersuchungsgebiet Dithmarscher Bucht (Abb. 2) standen neben den beiden letztgenannten Kartenwerken sieben weitere Aufnahmen der schleswig-holsteinischen Wasserwirtschaftsverwaltung zur Verfügung, die vom seinerzeitigen Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide bereitgestellt wurden.

Der für die Überführung in das GIS erforderliche hohe Aufwand hat zu Verzögerungen im deutschen Teilprojekt geführt; die Ergebnisse dieser Bemühungen sind aber über das Projekt WADE hinaus von Nutzen gewesen und werden es sicherlich auch in Zukunft noch sein

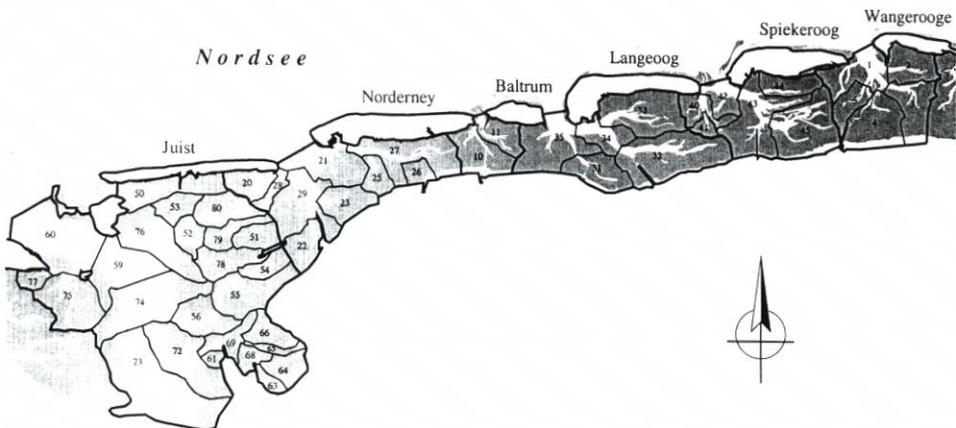


Abb. 1: Digitalisierte und im GIS gespeicherte Einzugs- und Teileinzugsgebiete für den Untersuchungsbereich Ostfriesisches Wattenmeer, Aufnahme 1990

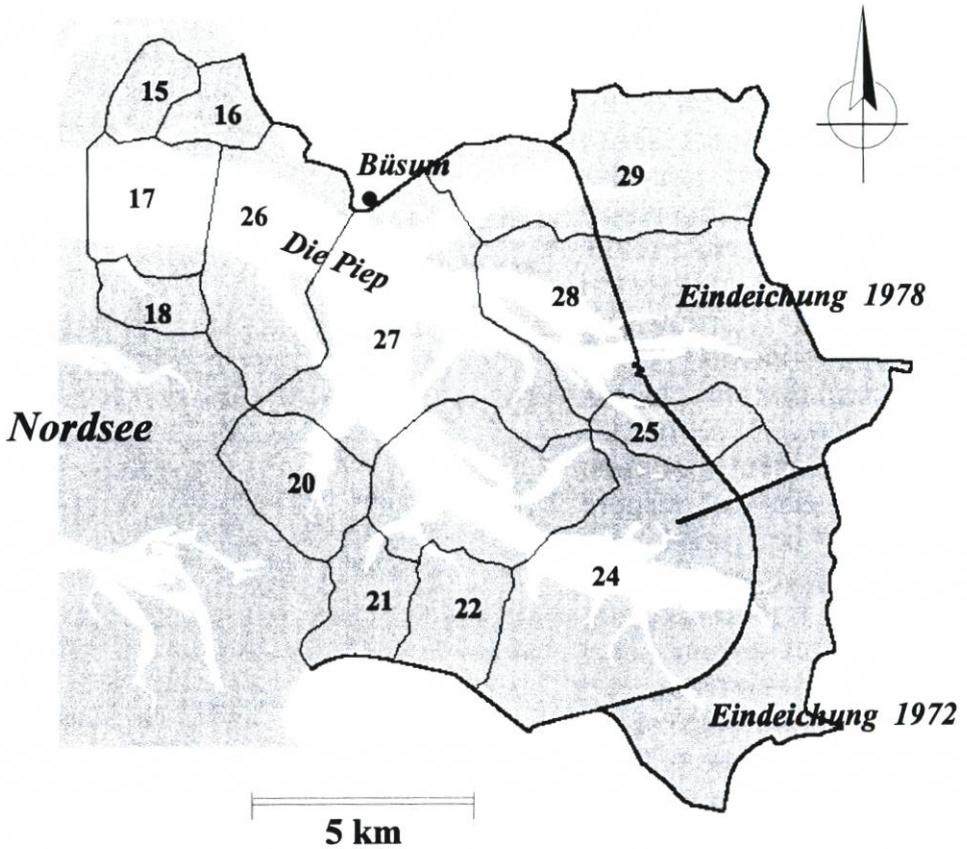


Abb. 2: Digitalisierte und im GIS gespeicherte Teileinzugsgebiete des Untersuchungsbereichs Dithmarscher Bucht, Aufnahme 1969 mit den Eindeichungen von 1972 und 1978

können: Als Beispiele für die Nutzungen der Datenbasis seien hier folgende Forschungsvorhaben und Verwaltungsprojekte genannt: Wattseegang (BMBF-KFKI; NIEMEYER et al., 1995b); NOURTEC (EU-MAST II; NIEMEYER et al., 1997; KAISER u. NIEMEYER, 1999); Morphologische Stabilität des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres (BMBF-KFKI, Spiegel 1997); Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld (BMBF-KFKI, HÜTTEMEYER et al., 1998); Sedimentverteilung auf Watten (BMBF-KFKI, MEYER u. RAGUTZKI, 1998); Küstenholozän (DFG, HOSELMANN u. STREIF, 1978); Morphologische Modellierung in Wattgebieten (BMBF-KFKI); Bemessungsseegang (BMBF-KFKI); Beweissicherung Dithmarscher Bucht (ALW Heide/ALR Husum); Beweissicherung Leybucht (Forschungsstelle Küste); Versuchsstrandauffüllung Norderney (FSK); Bestickermittlung Elisabethgröndedeich (FSK; NIEMEYER u. KAISER, 1998).

4. Konzeptionelle Modellierung

Das in den Niederlanden durch VAN DONGEREN u. DE VRIEND (1993) entwickelte Modell TIDYN wurde im Rahmen des Projektes WADE hinsichtlich seiner physikalischen Grundlagen modifiziert (NIEMEYER, 1994; NIEMEYER et al., 1995a) und auf das Unter-

suchungsgebiet Dithmarscher Bucht angewandt. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass grundsätzlich eine naturähnliche Modellierung der Entwicklung der Rinnenquerschnitte und Wattflächen möglich ist (Abb. 3 u. 4). Die Reproduktion und Vorhersage der Watthöhenentwicklung ist jedoch ausgesprochen unzuverlässig, insbesondere für deichnahe Einzugsgebiete, in denen die – im Modell nicht berücksichtigte – Seegangseinwirkung dominiert (Abb. 4). Wesentliche Ursache für die Schwächen der Modellierung ist neben dem Fehlen noch zu entwickelnder Module für die morphodynamische Wirkung des Wattseegangs die unzulängliche Parametrisierung der Watthöhen für konzeptionelle Modellierungen (NIE-MEYER et al., 1995).

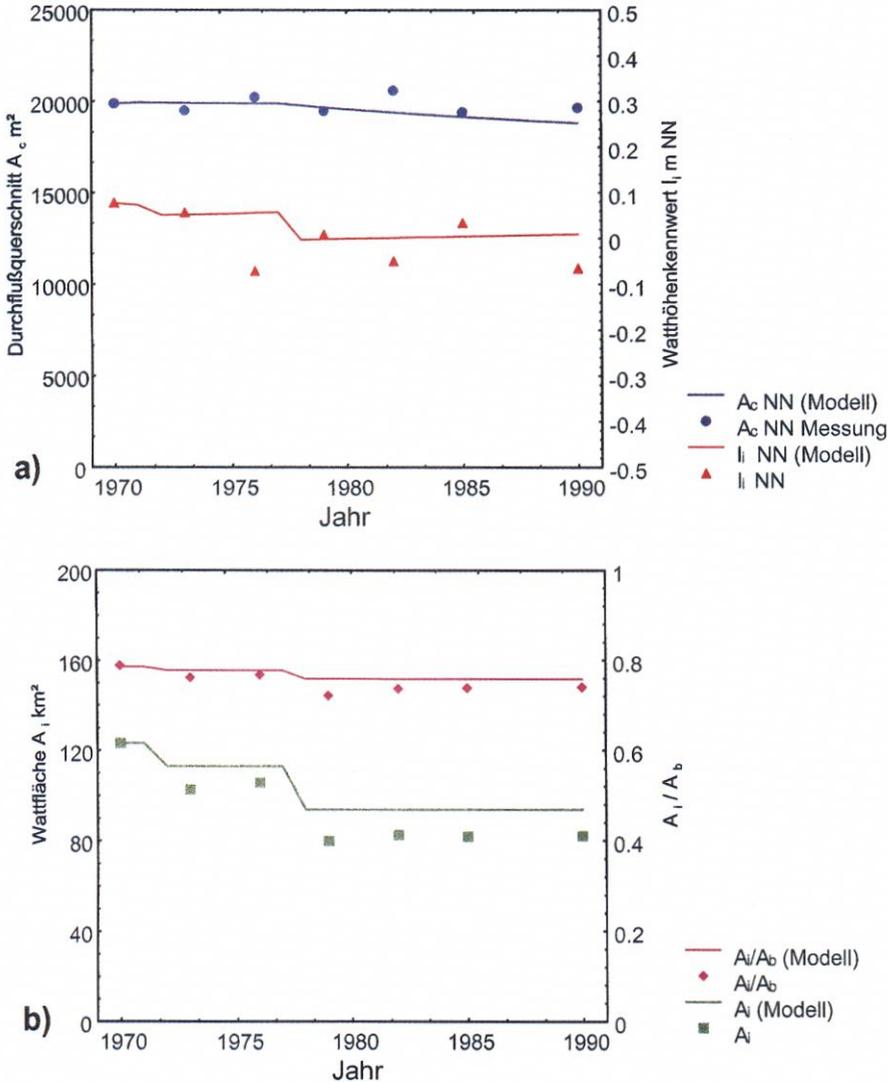


Abb. 3: Modellergebnisse und Messwerk für a) die Rinnenquerschnitte A_c und den Watthöhenkennwert l_i sowie b) Wattfläche A_i und Relation Watt- zu Gesamteinzugsgebietsfläche A_i/A_b (Einzugsgebiet Dwersloch – Ost)

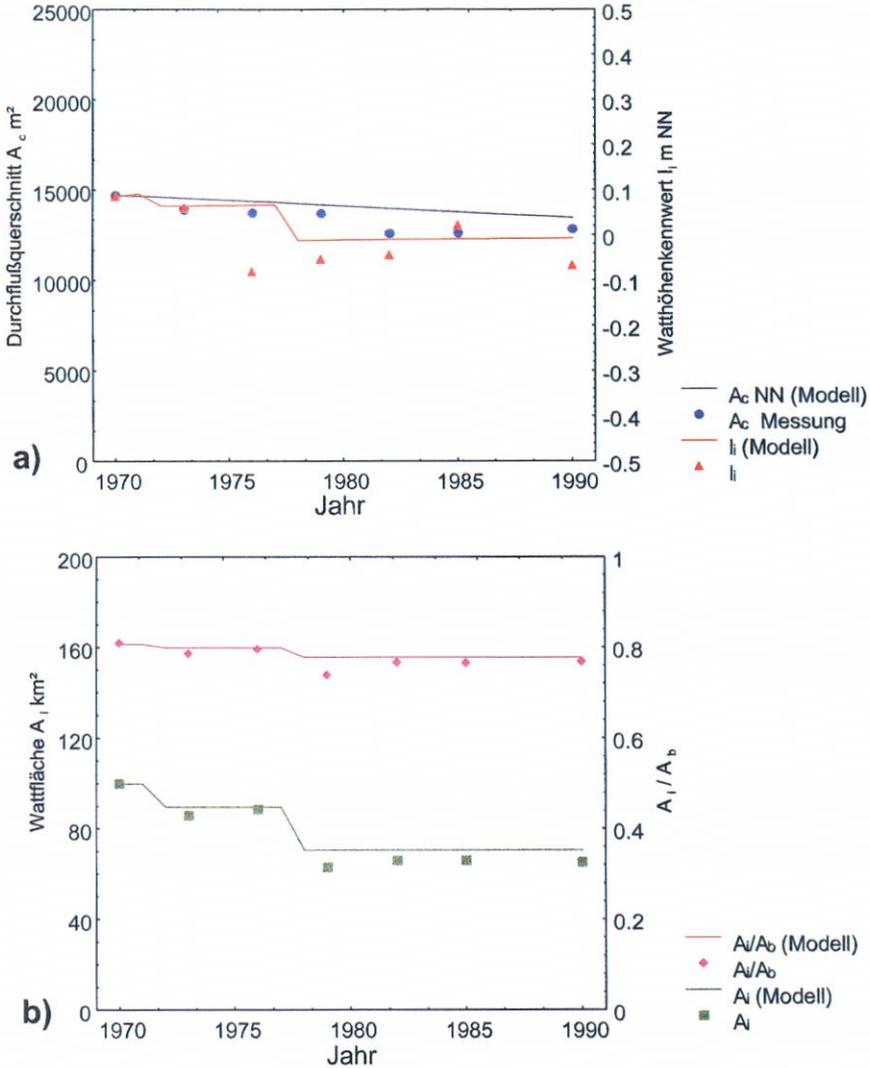


Abb. 4: Modellergebnisse und Messwerk für a) die Rinnenquerschnitte A_c und den Watt Höhenkennwert l_i sowie b) Wattfläche A_i und Relation Watt- zu Gesamteinzugsgebietsfläche A_i/A_b (Einzugsgebiet Steertloch)

5. Parametrisierungen und morphodynamische Gleichgewichtsbedingungen

Im Projekt WADE wurden neben – den bekannten – morphodynamischen Gleichgewichtsbedingungen auch neuentwickelte verwandt. Als hilfreich für die Charakterisierung des morphodynamischen Zustandes eines Untersuchungsgebietes erwies sich dabei der funktionale Zusammenhang von Wattfläche und Tidevolumen (NIEMEYER et al., 1995a), der insbesondere auch für die konzeptionelle Modellierung bedeutsam ist.

Eine weitere wesentliche Erfahrung soll hier wiedergegeben werden, die zwar in Einklang mit denen einiger früherer Untersuchungen steht, aber auch immer wieder außer Acht gelassen wird, wobei Fehldeutungen die Folge sein können. Es ist ein bekanntes Phänomen, dass die morphodynamische Gleichgewichtsbedingung von O'BRIEN (1931, 1969) nicht den Charakter eines physikalischen Universalgesetzes hat, sondern die empirische Wiedergabe einer dominierenden Wechselwirkung ist. Dabei sind vorhandene überlagernde, aber nachrangige Einwirkungen vernachlässigt worden. Deren ortsabhängige Variation wird in den Koeffizienten der Beziehung subsummiert, die für das jeweilige Anwendungsgebiet zu bestimmen sind. Dies hat sich auch im Projekt WADE bestätigt: Für die Einzugsgebiete der ostfriesischen Seegaten ergaben sich andere Koeffizienten als für die Dithmarscher Bucht, für die zudem noch Variationen infolge der Vordeichungen festzustellen waren. Insofern ist der alleinige Vergleich der von verschiedenen Autoren ermittelten empirischen gebietsabhängigen Koeffizienten der O'BRIEN-Beziehung ohne die Einbeziehung möglicher physikalischer Ursachen, wie sie beispielsweise von SPIEGEL (1997) vorgenommen wurde, nicht zielführend.

Ein weiteres Defizit derartiger Vergleiche ist, dass die Ermittlung der Koeffizienten in der O'BRIEN-Beziehung wesentlich von dem für die Rinnenquerschnittsberechnung festgelegten Bezugsniveau abhängt, wie hier beispielhaft für das Norderneyer Seegat dargestellt (Abb. 5a-c). Diese Darstellung vermittelt darüber hinaus ein weiteres, für die Anwendung und Interpretation der O'BRIEN-Beziehung wesentliches Element: der Bezug auf das Niveau MThw. Hierbei treten – insbesondere für kleinere Querschnitte – stärkere Fluktuationen auf. Im Einzugsbereich des Norderneyer Seegats ist als eine Ursache die – im Ansatz von O'BRIEN nicht berücksichtigte, aber insbesondere oberhalb des MTmw bedeutsame – unterschiedliche morphodynamische Wirksamkeit des Seegangs von Bedeutung. Aber auch außerhalb von Bereichen mit signifikanter Seegangswirkung ist das Bezugsniveau problematisch: bei dessen Anwendung werden die Auswirkungen der Spring/Nipp-Variationen am stärksten vernachlässigt. Hierbei wird – im Gegensatz zu den Bezugsniveaus MTmw oder MTnw – der Bereich des Querschnittes mitberücksichtigt, indem deren bettbildende Wirkungen am signifikantesten wirksam werden. Noch stärker würden sich windbedingte Wasserstandserhöhungen auf den momentanen Rinnenquerschnitt auswirken. Von daher ist eine Anwendung der O'BRIEN-Beziehung auf Rinnenquerschnitte bei MThw wenig sinnvoll, da bei der jeweiligen Aufnahme der obere Bereich des Rinnenquerschnitts in Größe und Form signifikant von den momentanen, zyklisch oder sogar azyklisch bedingten Wasserstandsvariationen geprägt ist.

Eine wesentliche Rolle für die Wiederherstellung von Gleichgewichtszuständen in Wateinzugsgebieten spielen die im ostfriesischen Sprachgebrauch ‚Riffbögen‘ genannten Ebbdeltas. Für den Küstenquertransport in die Wattgebiete stellen sie ein kurzfristig verfügbares Materialreservoir dar, das anschließend als Senke sein Volumen dann langfristig wieder aus anderen Quellen auffüllt. Für die Ermittlung der Ebbdelta-Volumina ist allgemein das Verfahren von WALTON u. ADAMS (1975) gebräuchlich, bei dem das Volumen als Abweichung der tatsächlichen von einer fiktiven Topographie mit küstenparallelen Tiefenlinien definiert ist (Abb. 6). WALTON u. ADAMS (1975) haben einen Zusammenhang mit dem Tidevolumen gefunden und dabei eine weitere Differenzierung hinsichtlich der Exponiertheit gegen Seegang vorgenommen (Abb. 7). In dieses Schema fügen sich die von EYSINK u. BIEGEL (1995) nach gleichem Muster ermittelten Werte für das Westfriesische Wattenmeer plausibel ein (Abb. 7). Die Werte für das Ostfriesische Wattenmeer fallen hingegen deutlich aus dem vorgegebenen Zusammenhang heraus (Abb. 7), ohne dass dafür eine offensichtliche Erklärung verfügbar ist.

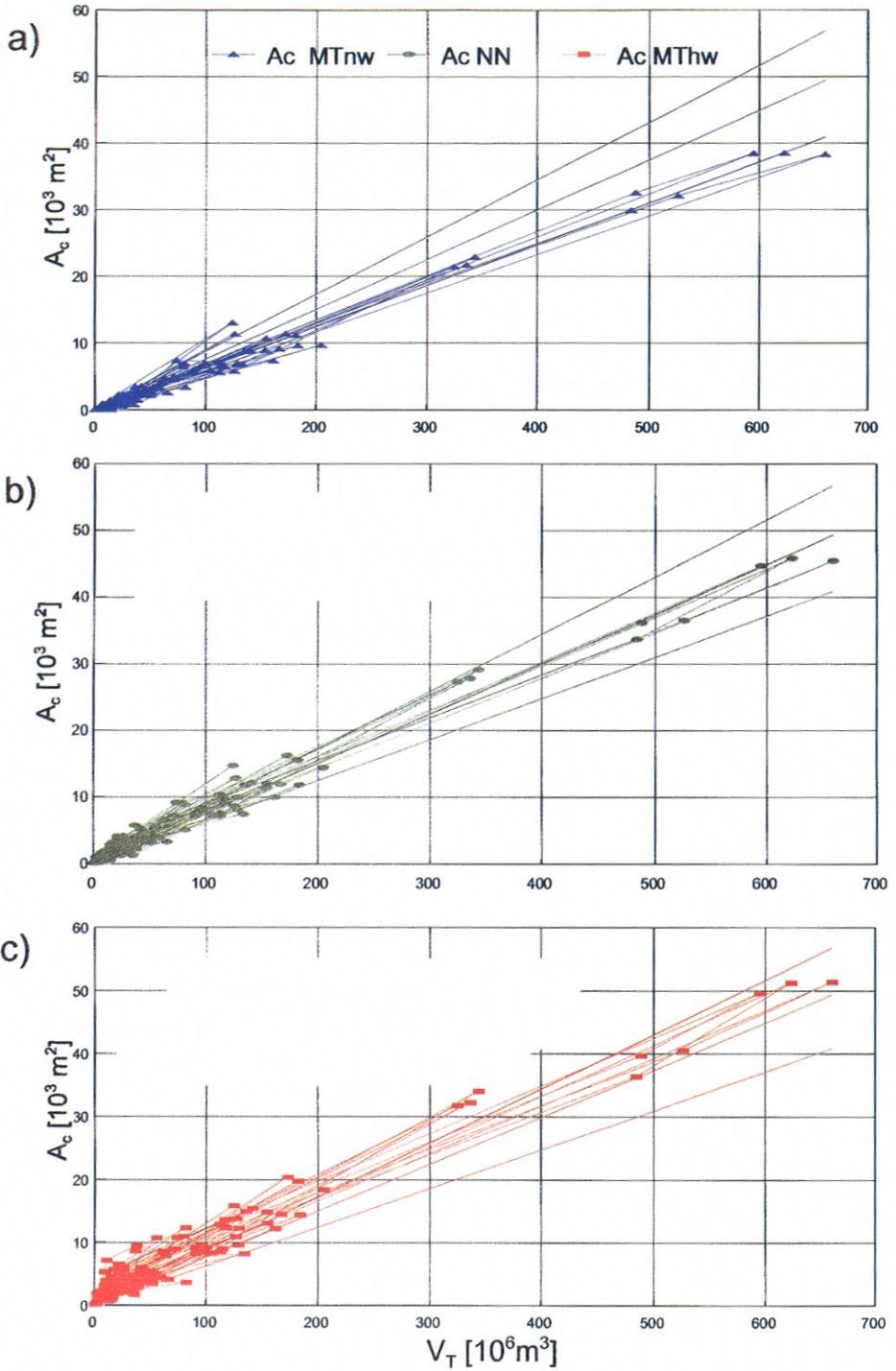


Abb. 5: Querschnittsfläche A_c als Funktion des Tidevolumens V_T nach O'BRIEN (Bezugsniveau a) MTnw); b) NN; c) MThw

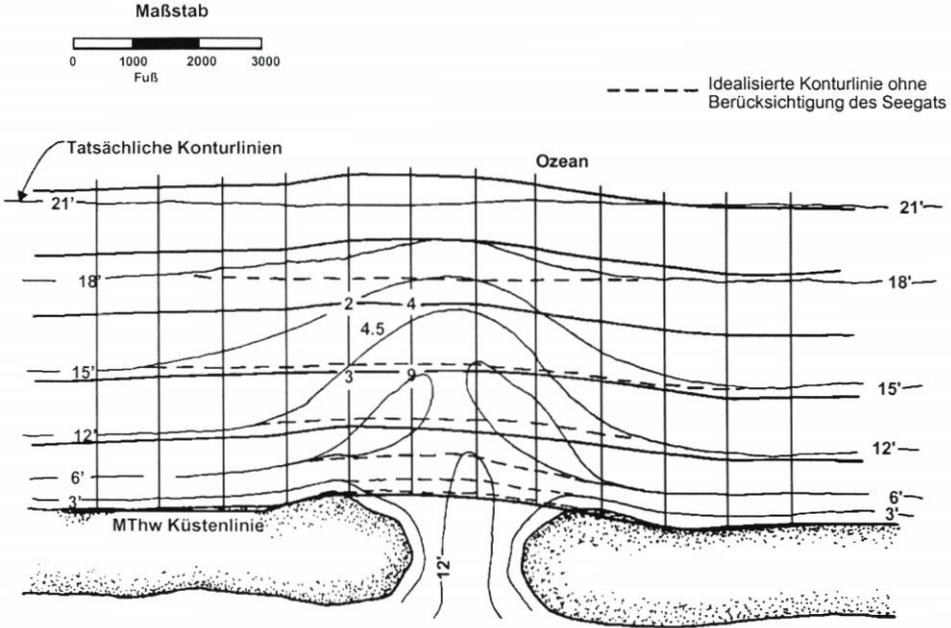


Abb. 6: Definition des Sedimentvolumens von Ebbedeltas (WALTON u. ADAMS, 1975)

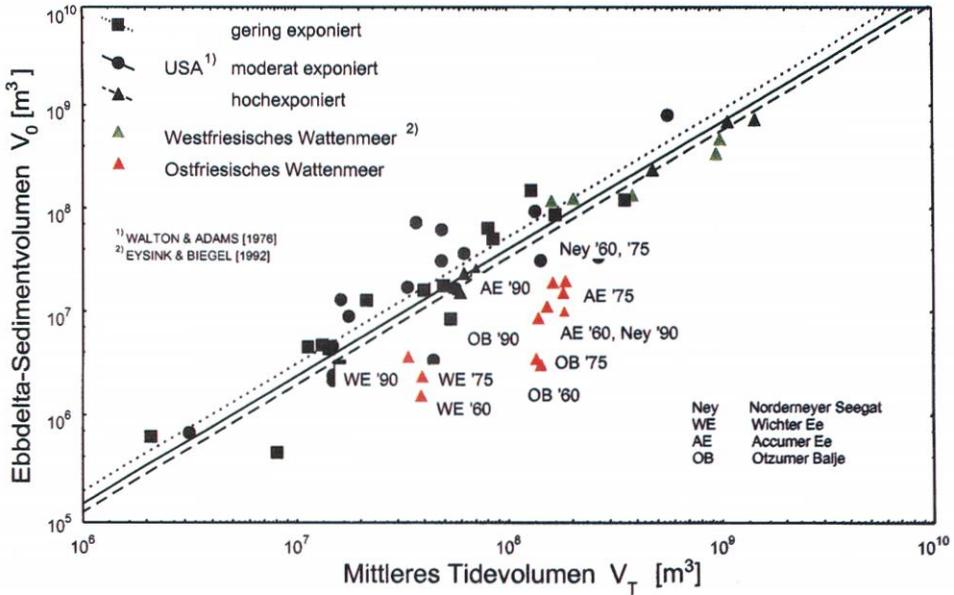


Abb. 7: Sedimentvolumen der Ebbedeltas von Seegaten in Abhängigkeit vom Tidevolumen der zugehörigen Einzugsgebiete (Küsten der USA, Westfriesisches und Ostfriesisches Wattenmeer) (NIEMEYER et al., 1995)

Die unterschiedlichen Tidevolumina der westfriesischen und ostfriesischen Watteinzugsgebiete müssten über die eigentliche Relation erfasst werden. Da das Seegangsklima im Küstenvorfeld beider Bereiche ähnlich ist, lassen sich die signifikanten Abweichungen der Ebbdelta-Volumina der ostfriesischen Seegaten auch darüber nicht erklären. Möglicherweise ist die Parametrisierung der Ebbdelta-Volumen nach WALTON u. ADAMS für die ostfriesischen Riffbögen weniger geeignet. Der Ansatz ist auf jeden Fall problematisch für Düneninseln mit einem küstennormalen Versatz. Die Volumenermittlung für die Riffbögen der ostfriesischen Seegaten Norderneyer Seegat, Wichter und Accumer Ee nach dieser Methode weist erhebliche Fluktuationen auf, ohne dass in den Einzugsgebieten und damit bei deren Tidevolumen entsprechende Änderungen stattgefunden haben (Abb. 8).

Betrachtet man für unterschiedliche Szenarien eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs den daraus in einfachster Form ableitbaren Sedimentbedarf (Abb. 9), so wird erkennbar, dass die Volumina der Riffbögen ostfriesischer Seegaten hierfür eine bedeutsame Materialreserve darstellen. Wegen dieser hohen Bedeutung der Ebbdelta-Volumina für Anpassungsprozesse in den Einzugsgebieten unter wesentlich veränderten hydrodynamischen Randbedingungen sind die Unsicherheiten bei deren Ermittlung ein bedeutsames Defizit für künftige Vorsorgeplanungen.

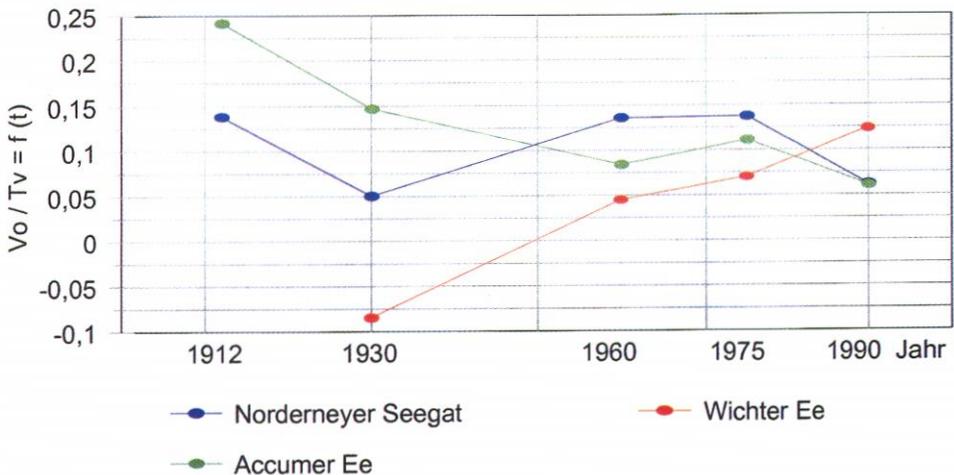


Abb. 8: Zeitliche Änderungen der Relation von Ebbdelta- und Tidevolumen für das Norderneyer Seegat, Wichter Ee und Accumer Ee

6. Morphodynamische Langzeitentwicklungen

Obwohl nicht antragsgemäßer Bestandteil des Forschungsvorhabens WADE, wurden parallel Untersuchungen zur großskaligen morphodynamischen Langzeitentwicklung in ausgewählten Testgebieten vorgenommen. Vorrangiges Ziel war dabei, über die Verifizierung eines von WALTHER (1934, 1972) entwickelten Näherungsansatzes aus den von HOMEIER (1962) erarbeiteten Rekonstruktionen historischer morphologischer Zustände und Analogieschlüssen zur Wasserstandentwicklung in Ostfriesland unter Nutzung der Angaben von LÜDERS (1977) die langfristige Entwicklung der Tidevolumen quantitativ abzuschätzen (Abb. 9; NIEMEYER, 1993, 1995). Hierbei stellte sich heraus, dass die für die Abschätzung

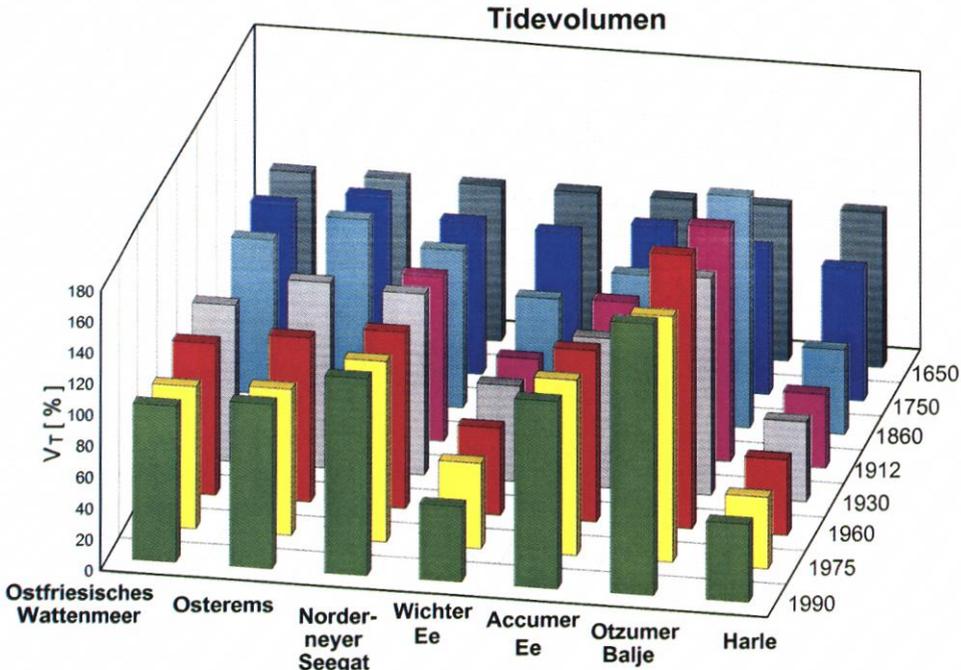


Abb. 9: Relative Entwicklung des Tidevolumens (Niemeyer, 1995)

künftiger Entwicklungen unter veränderten Randbedingungen bedeutsame morphodynamische Gleichgewichtsbeziehung von Wateinzugsgebietsfläche und Tidevolumen nicht konstant ist, sondern auch von der Tidehubentwicklung abhängt (Abb. 10). Hieraus ist zu folgern, dass die bisher gebräuchliche Form für die morphologische Folgenabschätzung veränderter hydrodynamischer Randbedingungen unzureichend ist (NIEMEYER, 1993, 1995).

7. Synthese und Ausblick

Die im Forschungsvorhaben WADE aufbereiteten topographischen Datensätze werden weit über das eigentliche Vorhaben hinaus in vielfältiger Form genutzt. Der für ein einzelnes Vorhaben erhebliche Aufwand findet somit nicht nur aus dessen Ergebnissen eine Rechtfertigung. Nachträglich erwächst aus dieser Arbeit immer noch ein wachsender Nutzen für andere Forschungsvorhaben und Verwaltungsprojekte. Die dabei eingesparten Ressourcen kommen somit neben den jeweiligen Bearbeitern mittelbar auch dem Geldgeber BMBF und den im KFKI vertretenen Verwaltungen zu Gute.

Die quantitativen Formen empirischer morphodynamischer Gleichgewichtsbeziehungen hängen einerseits stark von nachrangigen, nicht berücksichtigten physikalischen Randbedingungen ab. Andererseits sind sie wesentlich mitbestimmt durch die Datenaufnahme, die Parametrisierungsformen und -methoden. Daher haben sie zeitlich und räumlich nur begrenzt Gültigkeit, wodurch auch ihre Vergleichbarkeit kaum gegeben ist.

Es ist in Übereinstimmung mit bisherigen Beobachtungen erkennbar, dass die Volumina der ostfriesischen Rifffögen eine bedeutsame Materialreserve für Anpassungspro-

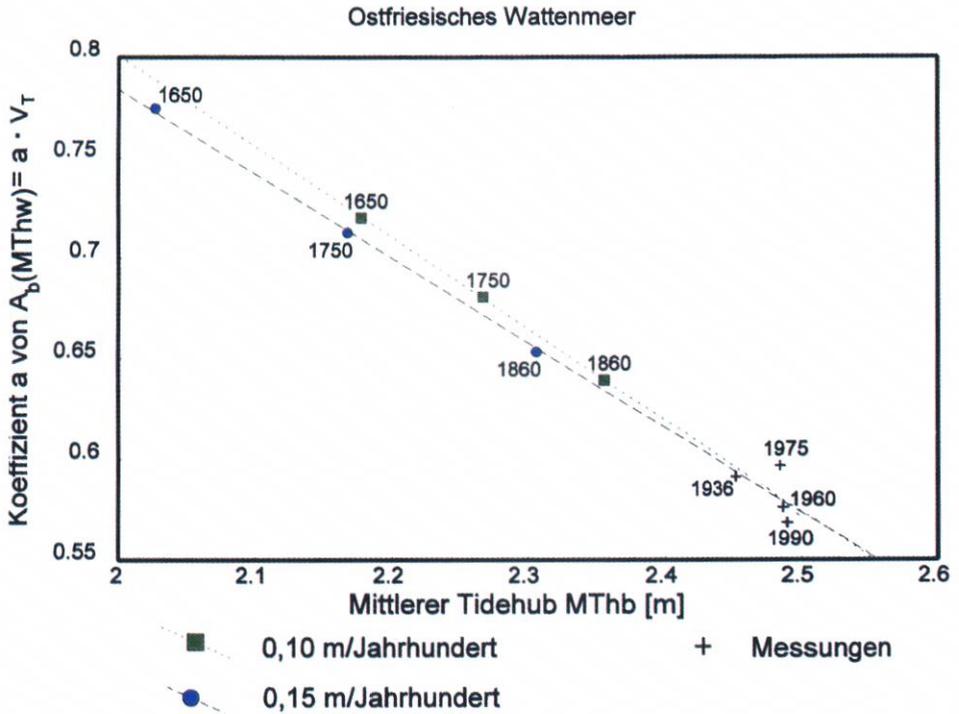


Abb. 10: Zeitliche Änderung des Koeffizienten der Relation von Einzugsgebietsfläche A_b und Tidevolumen V_T in Abhängigkeit von Tidehubänderungen (NIEMEYER, 1995)

zesse der Wattgebiete an veränderte künftige hydrodynamische Randbedingungen darstellen.

Es hat sich gezeigt, dass konzeptionelle morphodynamische Modelle, wie das in WADE eingesetzte TIDYN, tidedominierte Vorgänge auch nach wesentlichen Veränderungen von Randbedingungen weitgehend naturähnlich reproduzieren, solange die Größe und Topographie der Einzugsgebiete so beschaffen sind, dass der Seegang keine signifikante morphodynamische Wirkung entfaltet. Die derzeit verfügbaren Ansätze für die Parametrisierung von Wathöhen in konzeptionellen morphodynamischen Modellen sind noch unzureichend, um naturähnliche Modellierungen erreichen zu können.

Aus der vorstehenden Synthese der Ergebnisse des Forschungsvorhabens WADE sind ausblickend u. a. folgende Konsequenzen für künftige Untersuchungen auf diesem Feld abzuleiten:

- Es sind neue Verfahren für eine konsistente Ermittlung von Ebbdelta-Volumen für die Randbedingungen ostfriesischer Riffbögen und gegebenenfalls nordfriesischer Außenstände zu entwickeln, um für künftige Vorsorgeplanungen verbesserte Datengrundlagen zu haben.
- Für konzeptionelle morphodynamische Modellierungen sind sowohl Ansätze zur Einbeziehung der morphodynamischen Seegangswirkung – insbesondere auf hohen – Watten zu entwickeln, als auch naturähnliche Parametrisierungen der Wathöhen. Erst danach sind wesentliche Fortschritte bei der konzeptionellen morphodynamischen Modellierung von Wattgebieten möglich.

- Die Nutzung morphodynamischer Gleichgewichtsbedingungen für künftige Vorsorgeplanungen bedingt deren mittelfristige Zuverlässigkeit. Zu deren Bestätigung oder aber entsprechenden Fortentwicklungen sind weitergehende Untersuchungen als bisher zu deren Mittel- und Langfriststabilität erforderlich.

8. Schriftenverzeichnis

- EYSINK, W. D. u. BIEGEL, E. J.: Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. Delft Hydraulics, Rep. H 1300, 1992 (unveröff.).
- HOMEIER, H.: Historisches Kartenwerk 1:50 000 der niedersächsischen Küste. Jber. 1961 Forsch.-Stelle f. Insel- u. Küstenschutz, Bd. 13, 1962.
- HOSELMANN, C. u. STREIF, H.: Bilanzierung der holozänen Sedimentakkumulation im niedersächsischen Küstenraum. Z. dt. Geol. Ges. 148, 3-4, 1997.
- HÜTTEMEYER, P.; KOOPMANN, A.; KUNZ, H. u. PUSCHMANN, M.: Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht - Zwischenbericht 1997. NLÖ-Forschungsstelle Küste, Dienstber. 6/98 (unveröff.).
- KAISER, R. u. NIEMEYER, H. D.: Changing of local wave climate due to ebb delta migration. Proc. 26th Int. Conf. Coast. Eng. Copenhagen, Denmark. ASCE, New York, 1998.
- LÜDERS, K.: Wangerooch hett'n hooge Toren, ... Jber. 1976 Forsch.-Stelle f. Insel- u. Küstenschutz, Bd. 30, 1977.
- MEYER, C. u. RAGUTZKI, G.: Sedimentverteilung als Indikator für morphodynamische Prozesse - Zwischenbericht 1997. NLÖ-Forschungsstelle Küste, Dienstber. 7/98 (unveröff.).
- NIEMEYER, H. D.: Long-term morphodynamical behaviour of the East Frisian islands and coast. Conf. Large Scale Coastal Behavior '93, U.S. Geol. Surv., Open-File Rep.93-381, 1993.
- NIEMEYER, H. D.: Further development of a process-based morphodynamical model for tidal basins - box- and tree-model. Worksh. o. Tidal Inlet Modeling, US Army Corps o. Eng. Waterw. Exp. Stat. - Coast. Eng. Res. Cent. - Vicksburg/Ms., 1994.
- NIEMEYER, H. D.: Long-term morphodynamical development of the East Frisian Islands and Coast. Proc. 24th Int. Conf. Coast. Eng. Kobe, Japan. ASCE, New York, 1995.
- NIEMEYER, H. D.; GOLDENBOGEN, R.; SCHROEDER, E. u. KUNZ, H.: Untersuchungen zur Morphodynamik des Wattenmeeres im Forschungsvorhaben WADE. Die Küste, H. 57, 1995a.
- NIEMEYER, H. D.; ADEL, H. DEN u. KAISER, R.: Anwendung des mathematischen Seegangmodells HISWA auf Wattenmeerbereiche. Die Küste, H. 57, 1995b.
- NIEMEYER, H. D.; KAISER, R. u. KNAACK, H.: Effectiveness of a combined beach and shoreface nourishment on the island of Norderney/East Frisia, Germany. Proc. 25th Int. Conf. Coast. Eng. Orlando/Fl., USA. ASCE, New York, 1997
- NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Untersuchungen zum Bestick von Versuchsaußenböschungen am Elisabethgroden-Deich, Wangerland. NLÖ-Forschungsstelle Küste, Dienstber. 10/98 (unveröff.).
- O'BRIEN, M. P.: Estuary tidal prisms related to entrance areas. ASCE, Civ. Eng., Vol. 1, No. 8, 1931.
- O'BRIEN, M. P.: Equilibrium flow areas of tidal inlets on sandy coasts. Proc. 10th Conf. Coast. Eng., ASCE, New York, 1967.
- SPIEGEL, F.: Zur Morphologie der Tidebecken im schleswig-holsteinischen Wattenmeer. Die Küste, H. 59, 1997.
- VAN DONGEREN, A. R. u. DE VRIEND, H. J.: A model of morphological behaviour in tidal basins. Coast. Eng., Vol. 22, No. 3/4, 1993.
- WALTON, T. L. u. ADAMS, W. D.: Capacity of inlet outer bars to store sand. Proc. 15th Int. Conf. Coast. Eng. Honolulu/Hawaii, ASCE, New York, 1976.
- WALTHER, F.: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. Bautechn., H. 13, 1934.
- WALTHER, F.: Zusammenhänge zwischen der Größe der ostfriesischen Seegaten mit ihren Wattgebieten sowie mit Watten und Strömungen. Jber. 1971 Forsch.-Stelle f. Insel- u. Küstenschutz, Bd. 23, 1972.