Zweidimensionale Stabilitätsanalyse von Tidebecken und Watteinzugsgebieten größerer Ausdehnung

Von Eberhard Renger

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wird erstmalig eine neue zweidimensionale Stabilitätsanalyse von Watteinzugsgebieten und Tidebecken der Deutschen Bucht bis zu einer Größe von 450 km² vorgestellt. Die Untersuchung basiert auf einer morphometrischen Analyse von sieben Systemen anhand von Wattgrundkarten i. M. 1:10 000.

Auf Grund einer modifizierten dimensionslosen Form der Kontinuitätsgleichung für instationäres Fließen in Tidebecken (Kubizierung) wurden die Verhältniswerte der horizontalen und vertikalen Schnittflächen (A/F) systematisch untersucht. Dazu wurde die Analyse getrennt in vertikaler (z) und horizontaler (s) Richtung vorgenommen.

Die charakteristischen Vertikalverteilungen der Verhältniswerte (A/F) sehen für alle untersuchten Watteinzugsgebiete und Tidebecken der Deutschen Bucht/Nordsee recht ähnlich aus. Die Bezugsgrößen der betreffenden Verhältniswerte sind abhängig von der Größe des Watteinzugsgebietes (E) bei MThw und dem mittleren Tidehub (H).

Darüber hinaus war es möglich, die typischen Unterschiede zwischen den Charakteristiken und Kennwerten von stabilen und nicht stabilen Bedingungen anhand einer zweidimensionalen Analyse des 1936 abgedämmten Tideflusses EIDER aufzuzeigen. Diese ersten Ergebnisse scheinen ein brauchbares Werkzeug für Stabilitätsanalysen und Vorhersagemodelle für die Veränderungen von Watteinzugsgebieten und Tidebecken zu sein, deren Regime durch künstliche Baumaßnahmen nachhaltig beeinflußt wurden.

Summary

This paper deals with a two-dimensional stability study of tidal basins up to 450 km^2 . The prototype measurements of about 7 systems had been morphometrically analized from maps of a scale of $1:10\,000$.

According to a modified dimensionless expression of the continuity equation for non-steady flow the relationships of the horizontal and vertical cross-sections (A/F) were investigated systematically. Here the analysis is carried out separately in a vertical (z) and in a horizontal (s) direction.

The characteristic vertical distributions of the relationships (A/F) look rather similar for all investigated tidal basins of the German Bight/North-Sea. The reference values of the corresponding relationships depend on the area of the tidal basin (E) at MHW and the mean tidal range (H).

In addition it was possible to point out the typical differences between the characteristics of stable and (well-known) nonstable conditions by means of a two-dimensional analysis of the dammed-off tidal river EIDER (in 1936).

The first results promise to be a good tool in stability analysis and forecasting modelling of the change of tidal flats and tidal basins due to man-made influences on the regime.

Inhalt

1.	Einführung	227
2.	Morphologische Systemanalyse von Tidebecken	228
2.1	Voraussetzungen und Methode	228
2.2	Eindimensionaler Vergleich von Tidebecken als physiographische Einheit (E _o)	230
2.3	Zweidimensionaler Vergleich von Tidebecken innerhalb der physiographischen	
	Einheit (E _o)	232

3.	Nachweis von Instabilitätszuständen				•									 	235
4.	Schlußbemerkungen und Ausblick .							 •						 	238
5.	Schriftenverzeichnis													 	239

1. Einführung

So wie vergleichsweise in der Bautechnik letztlich die Verformungen des Baukörpers interessieren, um diesen noch als stabil ausweisen zu können, wird im sandigen Tidebereich nach der F o r m s t a b i l i t ä t von Tidebecken gefragt. Da es für den Bereich der hydrodynamisch-morphodynamischen Wechselbeziehungen jedoch bislang keine rein theoretischen Ansätze gibt, müssen entsprechende Stabilitätsuntersuchungen notgedrungen auf halbempirischen Konzepten aufbauen. Stabilitätseigenschaften werden üblicherweise dann denjenigen Systemen unterstellt und zugeschrieben, die hauptsächlich beim Vergleich von wiederholten Naturbeobachtungen und -messungen nur minimale Formänderungen aufweisen.

Durch systematischen Vergleich ähnlicher Systeme sind auf diese Weise auch von anderer Seite grundsätzliche Beziehungen zwischen morphologischen und hydrologischen Einflußgrößen hergeleitet worden. Als bedeutendstes Ergebnis aber haben verschiedene Untersuchungen die Gleichgewichtsbeziehungen zwischen dem Durchflußquerschnitt (F) eines Tidebeckeneinlasses und dem angeschlossenen Flutraum (V_T) bzw. der Größe des Watteinzugsgebietes (E) allgemeingültig gemeinsam ausgewiesen¹).

Der seeseitige Öffnungsquerschnitt ist jedoch nur ein singulärer Teil eines Tidebeckens oder Ästuars. Die weiter einwärts liegenden benachbarten Durchflußquerschnitte und Tidevolumina weisen nämlich ganz charakteristische Verteilungen während des Tidestieges (z) und entlang des Tidestromes (s = Prielachse) auf. Konsequenterweise und in Erweiterung bisheriger Stabilitätsuntersuchungen von anderer Seite müssen daher die örtliche Verteilung und die Beziehungen zwischen horizontalen (s) und vertikalen (z) Systemkomponenten bei der Analyse mit berücksichtigt werden.

Die vorliegende Abhandlung befaßt sich daher mit einer neuen zweidimensionalen morphologischen Systemanalyse von Tidebecken. Dabei lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der Erarbeitung von Gleichgewichtsbeziehungen, anhand derer dann weiterführende Vorhersage-Modelle und Berechnungen von morphologischen Veränderungen erstellt werden können.

Wegen der komplexen Zusammenhänge innerhalb dieser "Systeme mit veränderlicher Bodenoberfläche" beschränken sich die Untersuchungen hier auf die folgenden drei Teilaspekte:

- 1. Methode der Analyse,
- 2. Vergleich der hergeleiteten Formparameter hinsichtlich der Stabilitätsbedingungen und
- Aufzeigen von Instabilität und zeitabhängigen Veränderungen der repräsentativen Formparameter anhand des EIDER-Regimes, eines im Jahre 1936 abgedämmten Tideflusses in der inneren Deutschen Bucht.

¹) Darüber geben die im Schriftenverzeichnis aufgeführten wesentlichsten Veröffentlichungen Auskunft.

228

2. Morphologische Systemanalyse von Tidebecken

2.1 Voraussetzungen und Methode

Im Gegensatz zu den bisherigen Untersuchungen von anderer Seite sollte ein zweidimensionaler Ansatz erarbeitet werden, der die tidedynamischen und morphologischen Charakteristiken des gesamten Systems "Tidebecken" erfaßt. Dazu wurden zweckmäßigerweise zweidimensionale natürliche Koordinaten innerhalb des Gebietes eingeführt (vertikal: z = geodät. Höhe, horizontal: s = Prielachse).



Abb. 1. Zusammenhänge der Kontinuitätsgleichung für instationäres Strömen am schematischen Tidebecken





TIDEBECKEN 20 25 km 10 15 EIDER 1935, 1936, 1967 DAMN 1936 (NORDFELD) km 783 HOLMER FAHRE, 1966 SUDERHEVER RUMMELLOCH - W., 1966 DIE PIEP, 1970 BORNDIEP. 1967 JADE 1960/70

Abb. 3. Untersuchte Tidebecken unterschiedlicher Art und Größe: Watteinzugsgebiete, Ästuar, Tidefluß der Deutschen Bucht/Nordsee

Das Strömungsverhalten der Tidewelle innerhalb eines Tidebeckens kann in erster Näherung gut durch die Kontinuitätsgleichung für instationäres Fließen erfaßt werden (Abb. 1):

$$\overline{\mathbf{u}} = \frac{\tilde{\mathbf{A}}}{\tilde{\mathbf{F}}} \cdot \frac{d\mathbf{h}}{d\mathbf{t}} = \frac{\tilde{\mathbf{A}}}{\tilde{\mathbf{F}}} \cdot \overline{\mathbf{v}}$$
(1)

Auf Abb. 1 (rechte Seite) ist dazu ein Aufriß über einem Grundriß schematisch dargestellt. Dabei kennzeichnen die mit Wellensymbol versehenen Variablen (Å und F) die gefällebehafteten hydrologischen Zustandsgrößen gegenüber den äquivalenten gefällefreien morphologischen Zustandsgrößen (A und F) bei gleichen Volumenverhältnissen der Füllungszustände. Die mit Querstrich versehenen Variablen bezeichnen über den Systemschnitt gemittelte Zustandsgrößen (z. B. \overline{u} und \overline{v}).

Da alle Zustandsgrößen streng genommen von drei Ortsvariablen und einer Zeitvariablen (z', s(x,y), t) abhängen, ist eine vereinfachende Reduktion auf zwei Ortsvariable (z', s) für einen ersten formbeschreibenden Ansatz sehr zweckmäßig. Daher wurde zunächst der rechte Ausdruck der Gl.(2) zur zweidimensionalen ortsabhängigen Systemanalyse herangezogen. Darüber hinaus muß die Analyse des morphologischen Systems wegen ihres zeitlich "integralen Charakters" bevorzugt werden, weil die morphologischen Zustandsgrößen sehr viel träger gegenüber Systemveränderungen reagieren als die hydrologischen. Die Küste, 34 (1979), 227-239

230

Die horizontalen und vertikalen Schnittflächen (A und F) wurden aus Wattgrundkarten im Maßstab 1 : 10 000 planimetrisch erfaßt und (teilweise) berechnet. Dazu konnten elektronische Datenerfassung (Digitizer) und elektronischer Großrechner vorteilhaft eingesetzt werden. Die Analyse umfaßte vorwiegend die Verteilung der Zustandsgrößen zwischen MTnw und MThw innerhalb des Tidebeckens mit seiner seeseitigen "natürlichen" Regimegrenze an der Barre (E_0). Unter Hinweis auf frühere Arbeiten (RENGER, 1976a u. 1977) sei an dieser Stelle nochmals hervorgehoben, daß nur "äquivalente" Systemteile der physiographischen Einheit "Tidebecken" (E_0) sinnvoll miteinander verglichen werden können.

2.2 Eindimensionaler Vergleich von Tidebecken als physiographische Einheit (E_o)

Die entsprechende eindimensionale vertikale Systemanalyse wurde für sechs Tidebecken der Deutschen Bucht (s. Abb. 3) vergleichend durchgeführt. Die betreffenden Vertikalverteilungen der Verhältniswerte (A/F) sind auf Abb. 4 im Bereich des mittleren Tidehubes dargestellt.



Als erstes Ergebnis läßt sich folgendes feststellen:

- 1. Die Kurven zeigen eine charakteristische vertikale Verteilung und weisen starke Ähnlichkeitsmerkmale auf.
- 2. Die Zahlenverhältnisse von (A/F) variieren von etwa 2500 bei MTnw bis 7000 und mehr bei MThw.



Abb. 5. Dimensionslose vertikale morphologische Charakteristik für 6 untersuchte Tidebecken der Deutschen Bucht/Nordsee

3. Die Kurven weisen alle bei etwa ¼ des Tidehubes unterhalb MThw ein ausgeprägtes Optimum (hier Maximum) auf, das für die weitere Analyse sehr bedeutend ist (vgl. Abschnitt 3).

Zu Vergleichszwecken wurden die Verteilungskurven in beiden Achsrichtungen dimensionslos umgeformt. Nach einer vertikalen Skalenverschiebung der geodätischen Höhe (z) auf das Niveau (z') bei MTnw wurde der Bereich des mittleren Tidehubes (H) relativiert ($\zeta = z'/H$). (3)

Die Abszisse ($\phi_{opt} = A/F$) wurde entsprechend durch Bezug auf den Optimalwert (ϕ_{opt}) relativiert.

$$\varphi^* = \left[(A/F)/(A/F)_R \right] \tag{4}$$

Diese dimensionslose Beziehung $\varphi^* = f(\zeta)$ (5) wurde als charakteristische Elementarverteilung für alle weiteren Systemvergleiche benötigt (vgl. Abb. 5).

Die folgenden Parameter sind dabei von besonderer Bedeutung für die Stabilitätsanalyse: 1. die vertikale Verteilungsfunktion ($\varphi^*(\zeta)$),

- 2. die Größe der Bezugsvariablen ($\varphi_{\rm R}$),
- 3. die Größe der zugehörigen Referenz-Niveaufläche (A_R) (mit der Bedeutung einer "maßgebenden Fläche" für weitergehende Modellierungszwecke) und

4. der mittlere Tidehub (H) innerhalb des jeweiligen Tidebeckens.

Als erstes Ergebnis dieser morphologischen Ähnlichkeitsuntersuchungen von Tidebekken lassen sich einige markante Eigenschaften herausstellen:

- 1. Die vertikale Verteilungskurve ($\varphi^*(\zeta)$) weist sehr einheitlichen Charakter auf (vgl. Abb. 5).
- 2. Die Bezugsvariablen ($\phi_R = (A/F)_R$) besaßen einen mittleren Wert von etwa 5200 für die innere Deutsche Bucht/Nordsee bei einem mittleren Tidehub von etwa 3 m (vgl. Tafel auf Abb. 5 und oberes Diagramm auf Abb. 10).

Die Küste, 34 (1979), 227-239

232

- 3. Ein bislang untersuchtes Tidebecken aus einem Gebiet mit kleinerem mittleren Tidehub von etwa 2,2 m (Borndiep in Westfriesland/Niederlande) wies einen größeren φ_R -Wert auf. (Neueste Untersuchungen von dänischen Watteinzugsgebieten mit ebenfalls geringerem Tidehub bestätigen diese Tendenz).
- Die Zahlenwerte der Referenz-Niveauflächen (A_R) waren in allen Fällen fast gleich groß wie diejenigen der Gebietsgröße (E_o) bei MThw (vgl. Abb. 10).

Wegen der in Gl.(2) ersichtlichen Identität zwischen morphologischen und hydrodynamischen Zustandsgrößen müssen demzufolge auch ähnliche mittlere Kräfteverhältnisse und somit Stabilitätsverhalten vorherrschen. Außerdem scheinen sich nennenswerte Ungleichgewichtszustände doch merklich in den Abweichungen der morphologischen Kenngrößen widerzuspiegeln (vgl. auch Absatz 3).

2.3 Zweidimensionaler Vergleich von Tidebecken innerhalb der physiographischen Einheit (E_o)

Für die Ermittlung der horizontalen Variation der Verhältniswerte (A/F) innerhalb der Tidebecken wurde die Schnittführung schrittweise entlang der Prielachse iteriert (Abb. 6). Dadurch nahmen auch die Niveauflächen (A(z')) mit zunehmender Prielkilometrierung (s) größere Werte an (RENGER, 1977). An jedem Berechnungsschnitt (s_i , z_k) wurde genau die eingangs beschriebene Analysenprozedur durchgeführt.



Prinzipskizze zur Gebietsgliederung

Abb. 6. Prinzipskizze zur iterativen horizontalen Schnittführung entlang der Prielkoordinate von Tidebecken

Die vertikale Verteilung der relativen Schnittflächenverhältnisse ($\varphi^*(\varsigma)$) wurde in Abhängigkeit von der horizontalen Gebietserweiterung (auch Prielkoordinate (s)) für drei untersuchte Tidebecken von sehr unterschiedlichem Typ und verschiedener Größenordnung ermittelt (Abb. 7, 8, 9).

Tafel 1 Abb.	1: Tidebecken	Fläche bei MThw (E _o)	Mittl. Tidehub (H)
7	Süderhever, 1966	142 km ²	3,1 m
8	Borndiep, 1967 (Niederl.)	320 km ²	2,2 m
9	Jade-Ästuar, 1960/70	446 km ²	3,3 m



Abb. 7. Dimensionslose vertikale gebietsinterne morphologische Charakteristik der Süderhever (1966)



Abb. 8. Dimensionslose vertikale gebietsinterne morphologische Charakteristik des Borndieps (1967), Niederlande



Abb. 9. Dimensionslose vertikale gebietsinterne morphologische Charakteristik des Jade-Ästuars (1960/70)

Als bedeutendstes gemeinsames Ergebnis konnte in allen drei Fällen sehr große Ähnlichkeit der jeweils gebietsinternen Vertikalverteilungen der relativen Schnittflächenverhältnisse nachgewiesen werden.

Die horizontale Variation dieser morphologischen Charakteristiken ($\varphi^*(\varsigma)$) wies nur gewisse Unterschiede im Referenzwert (φ_R) auf. Dieser scheint aber hauptsächlich vom mittleren Tidehub (H) abzuhängen (Abb. 10). Einerseits hängt er von der Größenordnung des Tidehubes generell ab, andererseits aber steigt er innerhalb eines Tidebeckens mit abnehmendem Tidehub entlang der Prielkoordinate (s) vom Festland in Richtung See an. Für die Interpretation der Ergebnisse gilt wiederum das im letzten Absatz des vorangehenden Abschnittes Gesagte.



Referenz-Schnittflächenverhältnis (φ_R) und horizontale Referenz-Schnittfläche (A_R) in Abhängigkeit von der Größe des Tidebeckens (E) bei MThw

234

3. Nachweis von Instabilitätszuständen

Beim Ähnlichkeitsvergleich, insbesondere auf Abb. 10, fallen einige Abweichungen und Unregelmäßigkeiten auf, die verschiedenen Ursprungs sein können, z. B.:

- 1. methodische Fehler,
- 2. Vereinfachungsfehler (nur 2 Ortsvariable),
- 3. individuelle Eigenschaften des Systems, die durch den einfachen Ansatz nicht mit erfaßt werden, oder sogar
- 4. ein gewisser Ungleichgewichtsgrad.

Dies sind jedoch gegenwärtig noch offene Fragen, die erst durch weitere systematische Untersuchungen geklärt werden müssen.



EIDER

Abb. 11. Grundriß und drei Zeitstufen der bei Nordfeld im Jahre 1936 abgedämmten Tideeider (schematisch)





Dimensionslose vertikale gebietsinterne morphologische Charakteristik der Tideeider am Profil 78 für drei Zeitstufen





Aus diesem Grunde verdienen solche Zeitreihen von Messungen aus der Natur besondere Beachtung, deren historisches Formänderungsverhalten aus einem bekannten Ungleichgewichtszustand in einen Gleichgewichtszustand nachvollzogen werden kann. Die Änderungen der charakteristischen Formparameter sollen hier exemplarisch anhand des Tideflusses EIDER (innere Deutsche Bucht) aufgezeigt werden. Dem Fluß wurde im Jahre 1936 etwa bei Flußkilometer 78 ein mittleres Tidevolumen von rd. 12 Mio. m³ durch Abdämmung entzogen (Abb. 11, schwarzer Teil). Dadurch wurde innerhalb der nachfolgenden 30 Jahre eine Gesamtversandung von rd. 50 Mio. m³ außerhalb der Abdämmung im verbleibenden Tidebekken von rd. 25 km² Größe und etwa 30 km Länge verursacht.

Im unteren Teil der Abb. 11 sind drei Zeitzustände der untersuchten Regimeveränderung

schematisch dargestellt (1935, 1936 und 1967). Das Ergebnis der eingangs beschriebenen Regimeanalyse für diesen Tidefluß mag beispielsweise anhand zweier ausgewählter typischer Profile (Nr. 78 und 115), etwa 10 bzw. 20 km vor der Abdämmung bei Nordfeld, auf den Abbildungen 12 und 13 verdeutlicht werden.

Die relative (A/F)-Verteilung ($\varphi^*(\varsigma)$) ist un mittelbar vor und nach der Abdämmung (1935 und 1936) nahezu gleich. Demgegenüber weist die entsprechende $\varphi^*(\varsigma)$ -Charakteristik 31 Jahre später (1967) nach der erheblichen Versandung bedeutendere Unterschiede auf.

Die zugehörige φ_R -Verteilung ist in ihrer Abhängigkeit von der Längenkoordinate (s) auf Abb. 14 zu sehen. Die Bezugsgröße (φ_R) wurde aus formalidentischen, aber auch aus tidedynamischen Gründen wiederum im Bereich des mittleren Tidehochwassers gewählt. Als generelles Ergebnis verdient die Tatsache Beachtung, daß die φ_R -Werte des ursprünglichen, nicht beeinflußten T i d e f l u s s e s EIDER (1935, vor der Abdämmung) überall nahezu denselben konstanten Wert annehmen, der als Mittelwert der vorher untersuchten T i d e b e c k e n bzw. Watteinzugsgebiete mit einer φ_R -Größe von etwa 5200 gefunden wurde. Dabei spielt die sehr abweichende vertikale Charakteristik ($\varphi^*(\varsigma)$) offenbar keine bedeutende Rolle (vgl. auch Abb. 15).



Grundriß der Tideeider und Referenz-Schnittflächenverhältnis (ϕ_R) in Abhängigkeit von der Längenkoordinate (s) für drei Zeitzustände





Abb. 15. Gegenüberstellung der vertikalen morphologischen Charakteristik für Tidebecken und Tideeider

Durch die Abdämmung (1936) wurden die φ_R -Werte schlagartig stark reduziert. Die betreffende horizontale Verteilung der φ_R -Werte entlang des Flußabschnittes geht aus der punktierten Linie (Zeitstufe t₂) der Abb. 14 hervor. Innerhalb der nachfolgenden 31 Jahre sind die Referenzwerte infolge der tatsächlichen Versandung, vor allem durch Querschnittsschrumpfung (F), wieder in Richtung auf das ursprüngliche Niveau von 5200 angestiegen.

Über den gegenwärtigen G r a d des Ungleichgewichtes besteht keine eindeutige Klarheit, da sich der Typ des Tideregimes allzusehr geändert hat. Aus anderen Überlegungen heraus muß jedoch infolge dieses Eingriffes mit einer weiteren Versandung gerechnet werden.

4. Schlußbemerkungen und Ausblick

Die von drei Orts- und einer Zeitvariablen sowie von verschiedenartigen Randbedingungen abhängigen Formzustände müssen und können zunächst vereinfachend in Abhängigkeit von zwei natürlichen Ortskoordinaten (z und s(x,y)) erfaßt werden. Die große Anzahl von Primärdaten zwingt darüber hinaus zur drastischen Datenreduktion und zum Einsatz von elektronischen Großrechnern. Zur Verfeinerung der Analyse sollten die unterschiedlichen Randbedingungen als Bezugsgrößen mit erfaßt werden. Die Methode als solche ist sicherlich auch auf andere geomorphologische Strukturen anwendbar (vgl. auch RENGER, 1977).

Die Studie ist aus den Arbeiten des Teilprojektes B 3 des Sonderforschungsbereiches 79 der Technischen Universität Hannover hervorgegangen (B 3: Formänderungen alluvialer Bodenoberflächen im Wattengebiet). Die Forschungsarbeiten wurden durch die großzügige Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht.

Die verwendeten Vermessungsunterlagen wurden dankenswerterweise durch zahlreiche Ämter der deutschen, niederländischen, dänischen und englischen Küstenverwaltungen zur Verfügung gestellt. Mein besonderer Dank gilt meinen Kollegen Dipl.-Ing. H. Messal und Dipl.-Ing. R. Dieckmann für ihre hilfreiche Unterstützung.

5. Schriftenverzeichnis

- BRUUN, P. u. GERRITSEN, M.: Stability of Coastal Inlets. Jr. Waterw. and Harb. Div., Proc. ASCE WW 3, May 1958.
- HENSEN, W.: Ausbau der seewärtigen Zufahrten zu den deutschen Nordseehäfen. Hansa, Nr. 15, 1971.
- O'BRIEN, M. P.: Equilibrium Flow Areas of Inlets on Sandy Coasts. Jr. Waterw. and Harb. Div., Proc. ASCE. Vol. 15, WWI. Feb. 1969.
- RENGER, E. u. PARTENSCKY, H.-W.: Stability Criteria for Tidal Basins. Proc. 14th Int. Conf. on Coastal Eng., 1974.
- RENGER, E.: Quantitative Analyse der Morphologie von Watteinzugsgebieten und Tidebecken. Mitt. des Franzius-Inst. der Techn. Univ. Hannover, H. 43, 1976.
- RENGER, E.: Grundzüge der Analyse und Berechnung der Morphologie von Watteinzugsgebieten und Tidebecken. Mitt. des Franzius-Inst. der Techn. Univ. Hannover, H. 44, 1976.
- RENGER, E.: Quantitative Geomorphological Analysis of Erosional Topography with Respect to the Morphology of Tidal Basins. XVII Int. Conf. Ass. for Hydr. Res., 1977.
- RODLOFF, W.: Über Wattwasserläufe. Mitt. des Franzius-Inst. der Techn. Univ. Hannover, H. 34, 1970.
- VOLLMERS, H. u. GIESE, E.: On the Reproduction of morphological Changes in a Coastal Model with movable Bed. Proc. XVI. IAHR Congress, Sao Paulo, Vol. I., 1975.
- WALTHER, Fr.: Zusammenhänge zwischen der Größe der ostfriesischen Seegaten mit ihren Wattgebieten sowie den Gezeiten und Strömungen. Forschungsstelle Norderney der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung, Jahresbericht 1971, Band 23, 1972.