

# Die Verwendung des Luftbild-Wasserlinienverfahrens zur morphologischen Überwachung eines Ästuars

Von J. Sindern und Gerd E. Schröder

## Summary

*The project of a barrage across an estuary in Northern Germany was accompanied by a programme to monitor the hydrologic and morphologic situation in the shallow and instable wadden area likely to be affected. For recording the morphology the aerial photographic waterline survey proved superior to other methods, mainly on account of its accuracy. The principle consists in taking aerial photographs at short time intervals, each photo showing a different waterline as the tide rises. By application of simultaneous tide gauge recordings contour lines can be constructed from the photographed waterlines. They are supplemented by submarine survey. The resulting morphologic record is expected to reveal particulars of sediment transport and tidal prism changes, so that the actual effects of the barrage might be compared with model test results.*

## Vorbemerkung

Das Luftbild ist dem Küsteningenieur schon seit einiger Zeit als Hilfsmittel bekannt. Auch das Luftbild-Wasserlinienverfahren ist bereits betrachtet worden. Mit diesem Verfahren arbeitet die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel seit 1965, und so erscheint es jetzt möglich, über seine Brauchbarkeit zu berichten.

## Notwendigkeit einer morphologischen Untersuchung

Das Wattengebiet an der deutschen Nordseeküste ist morphologisch sehr labil. Eine häufige Verlagerung der Sände und Rinnen ist charakteristisch besonders für die Mündungstrichter der Flüsse Eider, Elbe, Weser und Ems (Abb. 1).

Die Gestalt des Wattengebietes beeinflusst die Eigenschaften der Tide, den tidestrombedingten Materialtransport sowie Energie und Richtung, mit der die Wellen die Uferbefestigungen und Deiche angreifen. Deswegen können Veränderungen im Wattengebiet die Gefährdung der Ufer vergrößern und auch für die auf Fahrrinnen angewiesene Schifffahrt sehr wichtig sein.

Ein beträchtlicher Einfluß auf die Gestalt des Wattengebietes wird von der Eiderabdämmung erwartet (Abb. 2). Sie schützt das tiefgelegene Land vor Sturmfluten, denn sie ersetzt 57 km an Deichen, die nicht mehr sicher genug waren. Außerdem erlaubt die Anlage eine Steuerung des Abflusses, wodurch weiteres Versanden verhindert und die Eider als Vorfluter für etwa 2000 km<sup>2</sup> Land erhalten werden soll.

Für Planung und Modellversuche mußten Naturdaten bereitgestellt werden. Vor Beginn der Baumaßnahme war der hydrologische und morphologische Ausgangszustand zu erfassen. Während des Baues sollten Veränderungen so früh erkannt werden, daß gefährliche Entwicklungen verhindert werden könnten. Nach der Inbetriebnahme muß nun festgestellt werden, wie sich dieser Eingriff in den natürlichen Zustand auswirkt und ob die vorhergesagten Folgen eintreten. Es soll so lange beobachtet werden, bis man klar erkennen kann, daß keine nachteiligen Veränderungen mehr zu erwarten sind.

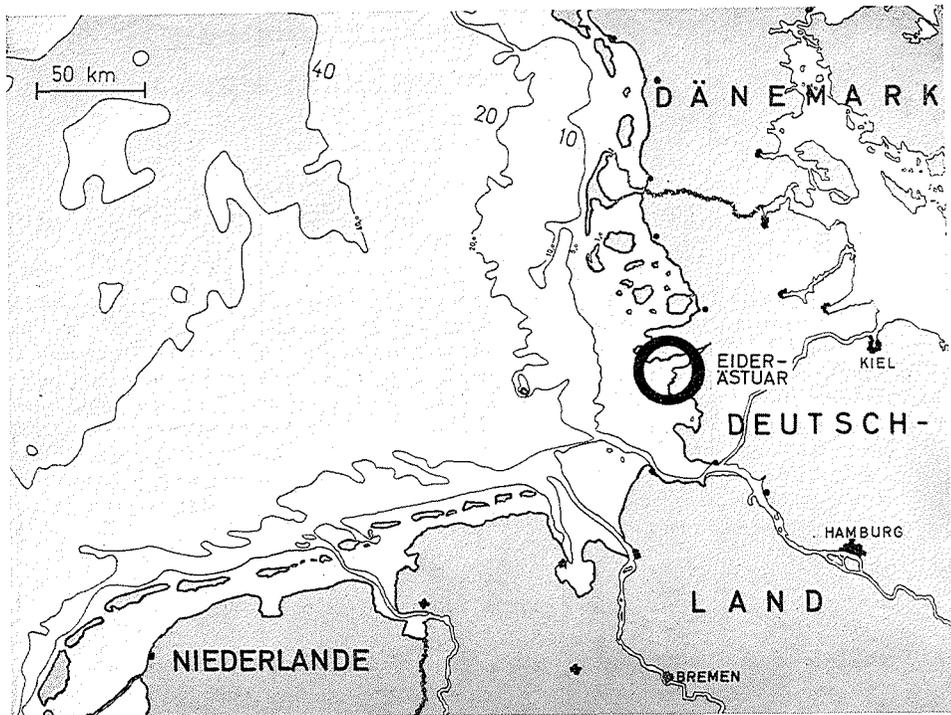


Abb. 1. Lage des Eiderästuars

### Verfahren zur morphologischen Überwachung

Gegenstand der hier betrachteten morphologischen Erfassung sind:

- Lage, Form und Höhe der Wattflächen über NN – 2 m;
- Lage, Form und Tiefe der Wattwasserläufe.

Das Wattengebiet ändert seine Gestalt oft sehr schnell. Deswegen muß auch eine aktuelle Information über solche Veränderungen schnell verfügbar sein, damit gefährliche Entwicklungen rechtzeitig erkannt werden können. Diese aktuelle qualitative Information wird etwa alle 3 Monate durch Luftaufnahmen des Wattengebietes bei Tideniedrigwasser geliefert. Der Verlauf der Wasserlinie läßt die Wattform erkennen. Veränderungen ergeben sich unmittelbar aus dem Vergleich des Luftbildes mit früheren Aufnahmen (Abb. 3). Die quantitative topographische Erfassung der Über- und Unterwasserformen des Wattengebietes muß wirtschaftlich durchgeführt werden können und eindeutige, ausreichend genaue Ergebnisse liefern. Hier sollte noch einmal erwähnt werden, daß das Wattengebiet sehr ausgedehnt ist und nur geringe Höhenunterschiede zeigt. Die trockenfallenden Wattflächen sind oft nur mit dem Schiff erreichbar und nur für kurze Perioden zwischen zwei Tidehochwassern zugänglich. Versuche haben gezeigt, daß diese Eigenschaften des Wattengebietes die Brauchbarkeit der Vermessungsverfahren bestimmen. Es sind dies vor allem:

- zur Vermessung der trockenfallenden Wattflächen: Flächennivellement, Luftbilder mit stereophotogrammetrischer Auswertung (versuchsweise), Luftbilder mit Auswertung nach dem Wasserlinienverfahren;





Abb. 3. Niedrigwasseraufnahmen des Eiderästuars im September 1966 (oben), März 1972 (Mitte), Mai 1974 (unten). Photos: N. RÜPKE

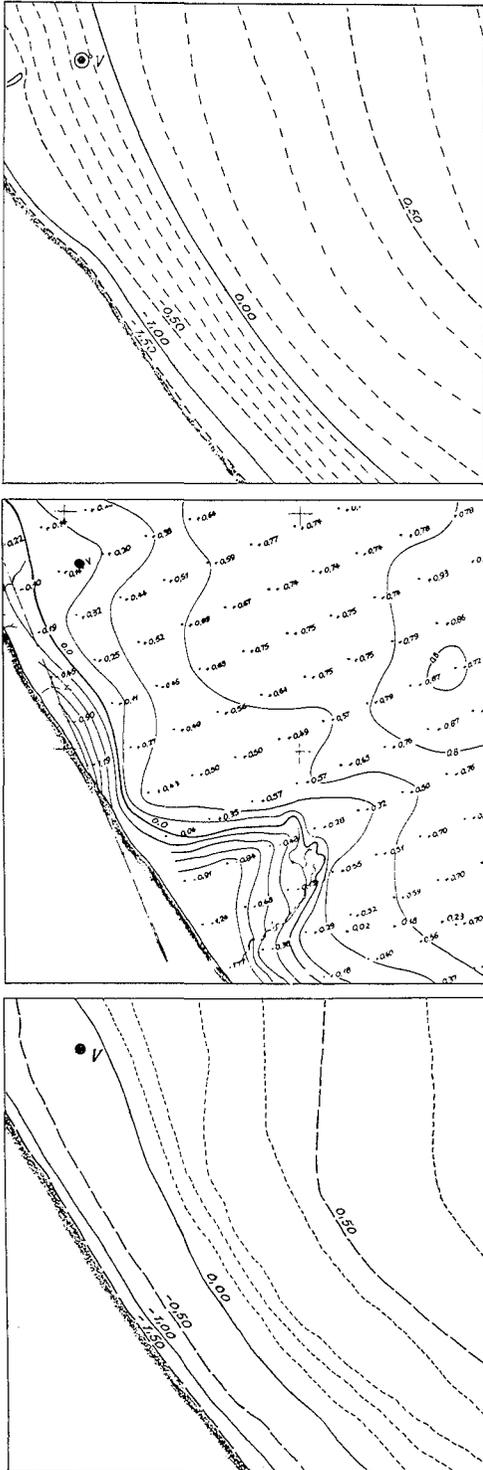


Abb. 4.  
Höhenlinien desselben Geländes,  
vermessen mit:  
Flächennivellement (oben)  
Luftbild-Stereophotogrammetrie (Mitte)  
Luftbild-Wasserlinienverfahren (unten)

— zur Vermessung der Wattwasserläufe:

Echograph-Tiefenmessung mit zunächst Sextant-Peilung, später Funkortung.

Beim Flächennivellement (100–150 m Punktabstand) hängt die Arbeitsleistung vom ausreichend niedrigen Wasserstand ab. Sie beträgt etwa 0,5 km<sup>2</sup> pro Tide. Nachteile sind die Abhängigkeit von der Tide und die schlechte Zugänglichkeit der weitläufigen Wattflächen. Läßt man den Zeitfaktor außer Betracht, so sind die gemessenen Höhen sehr genau. Das Flächennivellement läßt sich aber mit vertretbarem Aufwand nicht so schnell durchführen wie sich die Form und Lage einer Wattfläche manchmal ändert. Damit ist es unmöglich, den Gesamtzustand zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erfassen und darzustellen. Eine weitere Ungenauigkeit ergibt sich daraus, daß der Verlauf der Höhenlinien nicht eindeutig durch die Höhen einzelner Punkte bestimmt ist (Abb. 4).

Luftbilder mit stereophotogrammetrischer Auswertung ermöglichen ebenfalls keine zuverlässige Wiedergabe der Geländeform des Watts. Die Kontrastlosigkeit und die sehr geringe Geländeneigung machen die eindeutige Auswertung mit dem Stereoplanigraphen oft unmöglich. Außerdem kann eine ungünstige Beleuchtung von feuchten Wattflächen die Grautöne umkehren und die Auswertung dadurch verfälschen. Darüber hinaus ist es auch bei diesem Verfahren nicht möglich, von den Höhen einzelner Geländepunkte einen eindeutigen Verlauf der Konturlinien abzuleiten. Nur durch eine sehr tiefe Befliegung mit vielen zusätzlichen eingemessenen Paßpunkten oder durch eine große Zahl nivellierter Profile läßt sich die Zuverlässigkeit verbessern. Der Aufwand ist nicht vertretbar.

#### Luftbilder mit Auswertung nach dem Wasserlinienverfahren

Wegen dieser Nachteile suchten wir ein Verfahren, mit dem man die Gestalt des gesamten Untersuchungsgebietes an einem bestimmten Zeitpunkt erfassen konnte und das zuverlässig die Form der Konturlinien liefert. Die Veröffentlichung von JONES und SHORNOSS „*Mapping the Low Water Line of the Mississippi Delta*“ (1960) regte uns zu entsprechenden Versuchen an. Inzwischen vermessen wir das Eider-Ästuar alle zwei Jahre nach dem Luftbild-Wasserlinienverfahren.

Das Prinzip besteht darin, daß das zu vermessende Gebiet in kurzen Zeitabständen (etwa alle 15–20 min) von Tideniedrigwasser an aus der Luft photographiert wird, bis alle Wattflächen überflutet sind. Mit jeder Bildserie wird eine andere Wasserlinie erfaßt (Abb. 5). Mit Hilfe der Wasserspiegelhöhen aus Pegelaufzeichnungen werden die Wasserlinien zu horizontalen Höhenlinien umgewandelt. Sie lassen die Wattform erkennen.

Das Aufnahmegebiet in der Eidermündung ist etwa 21 × 6,5 km groß. Die Positionen der Lagepaßpunkte sind auf Abbildung 2 ebenfalls zu erkennen. Zur Entzerrung eines jeden Luftbildes müssen mindestens drei, besser vier, solcher Punkte auf dem Bild sichtbar sein. Der maximale Punktabstand hängt deshalb von der Größe, der Überdeckung und dem Maßstab der Bilder ab. Unsere Punkte sind zwischen 1,7 und 3,2 km voneinander entfernt, was zum Teil durch die Geländeeigenschaften bedingt ist. Die Punktkoordinaten werden nach bekannten Verfahren bestimmt. Die Genauigkeit muß innerhalb der Zeichengenauigkeit im Entzerrungsmaßstab liegen. Die Lagepaßpunkte müssen auf den Bildern eindeutig identifiziert werden können, sowohl bei hellem Sand- als auch bei dunklem Schlickuntergrund. Im Watt gibt es keine ausreichend markanten, natürlichen Punkte. Lagepaßpunkte müssen deshalb durch künstliche Signale markiert werden. Dabei sollte eine Form gewählt werden, die gut zu identifizieren ist und leicht transportabel ausgeführt werden kann. Nach verschiedenen Versuchen verwenden wir jetzt für ein

Lagepaßpunktsignal weiße Blechteller,  $\phi$  63 cm, in Dreiecksanordnung mit 1,5 m Mittelpunktabstand. Sie stehen hochwasserfrei auf Stahlrohren, die im Boden stecken (Abb. 6). Diese Ausführung ist ausreichend leicht und handlich. Das Aufstellen und Einmessen der 21 bis 23 Punkte dauert unter günstigen Bedingungen weniger als zwei Wochen. Vorhandene markante Punkte auf dem Festland werden als zusätzliche Lagepaßpunkte vermessen.

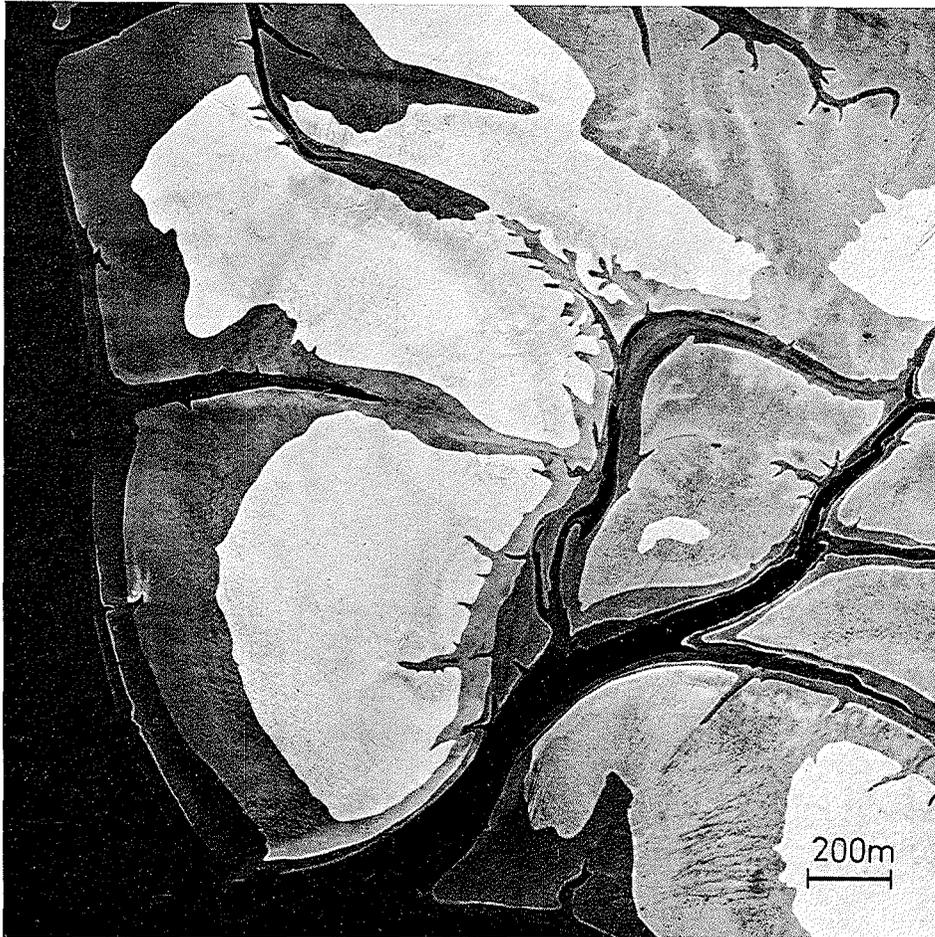


Abb. 5. Die Wasserlinie, photographiert alle 45 Minuten. Photo: N. RÜPKE

Zur Flugvorbereitung gehört auch das Einrichten von Pegeln, da die Wasserspiegelhöhen zur Zeit des Bildfluges bei der späteren Auswertung benötigt werden. Die Abstände werden so gewählt, daß zwischen zwei benachbarten Pegeln ein lineares Wasserspiegelgefälle angesetzt werden kann, ohne daß die Genauigkeit der Auswertung darunter leidet. 5-6 leichte Vertikal-Schreibpegel, Typ Ott R 16, ergänzen deshalb die fünf fest eingerichteten Pegel. Sie lassen sich schnell aufstellen oder umsetzen. Die Pegelstandorte werden trigonometrisch oder polygonometrisch eingemessen. Außerdem werden die Höhen der Pegelnullpunkte durch Nivellement ermittelt. Gleichzeitig damit messen wir die Höhe

der Wattoberfläche auf dem Nivellementsweg. Dadurch erhalten wir zusätzliche Kontrollpunkte, die bei der Auswertung brauchbar sein können.

Die Qualität der Luftbilder hängt nicht zuletzt von Filmart und Kameratyp ab. Unsere Versuche haben die inzwischen bekannten Vorteile des Infrarotfilms bestätigt. Das Wasser ist zu durchsichtig, um auf panchromatischem Film eine klare Abgrenzung zu zeigen. IR-Film dagegen gibt Wasserflächen schon bei wenigen cm Wassertiefe schwarz wieder und unterdrückt Lichtreflexe und leichten Dunst. Allerdings muß der Film

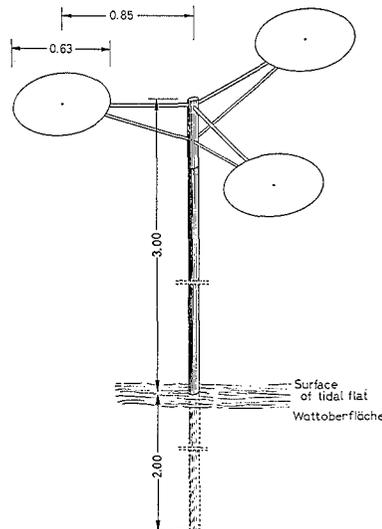


Abb. 6. Lagepaßpunktsignal

dazu sehr genau belichtet und kontrastreich entwickelt werden. Wir verwenden heute den Kodak Aerographic Film Type 5424, Infrarot, 23° DIN. Die Aufnahmen werden mit einer Zeiß-Reihenmeßkammer RMK mit Pleogon-Objektiv gemacht. Die Brennweite beträgt 15 cm, die Bildgröße 23 × 23 cm.

Bei der Wahl des Bildmaßstabes muß ein Kompromiß zwischen Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit gefunden werden. Versuche zeigten, daß bei einem Maßstab 1:20 000 und der entsprechenden Flughöhe der immer vorhandene leichte Dunst die Bildqualität beeinträchtigt, selbst bei IR-Film. Am anderen Ende der Skala liefert der Maßstab 1:6000 hervorragende Bilder. Der Aufwand für Lagepaßpunkte und Bildauswertung einer großen Zahl von Aufnahmen machen diesen Maßstab aber unwirtschaftlich. Wir verwenden nun den Maßstab 1:18 000. Das Auflösungsvermögen des Films reicht dann noch für Vergrößerungen auf den Arbeitsmaßstab 1:10 000 aus. Die Längsüberdeckung der einzelnen Bilder beträgt 60–80 %, die Querüberdeckung ca. 20 %.

Der Aufnahmeterrain läßt sich vorher nur grob festlegen. Manchmal braucht man etwas Geduld, bis alle Bedingungen günstig sind. Wegen der Länge der Tage ist die Zeit zwischen April und September am besten. Das Tideniedrigwasser und der Sonnenstand bestimmen den Aufnahmebeginn. Dabei ist zu bedenken, daß der Flug bis zu 4 Stunden dauert. Während dieser Zeit braucht man sonniges, wolkenloses Wetter, damit die Bilder gut werden. Wind ist ungünstig, denn er erzeugt Wellen, die die Eindeutigkeit der Wasserlinie beeinträchtigen. Die direkte Sprechverbindung zwischen Bodentrupp (3

Mann mit flachgehendem Vermessungsboot) und Flugzeugbesatzung ist sehr wichtig. Unmittelbar vor dem Flug überprüft der Bodentrupp die Lagepaßpunktsignale und die Pegel. Über Sprechfunk werden die Pegeluhren mit der Kamerauhrzeit verglichen. Während des Fluges kann der Bodentrupp das Flugprogramm ändern, wenn es das Verhalten der Tide erfordert.

Die Auswertung besteht vor allem in der Entzerrung der Luftbilder und der Konstruktion der Konturlinien.

Nach der Aufnahme der Luftbilder identifiziert und kennzeichnet der Auftraggeber die Lagepaßpunkte auf den Kontaktkopien. Anschließend entzerrt die Luftbildfirma die Bilder mit Hilfe der Lagepaßpunkte und liefert Vergrößerungen auf maßhaltigem Agfa-Correctostat-Karton.

Wie erhalten wir nun die Konturlinien der Wattoberfläche (Abb. 7)? Vorläufige Konturlinien werden konstruiert aus den photographierten Wasserlinien und den Linien gleichen Wasserstandes, die man aus den Pegelaufzeichnungen erhält. Die Wasserlinien und

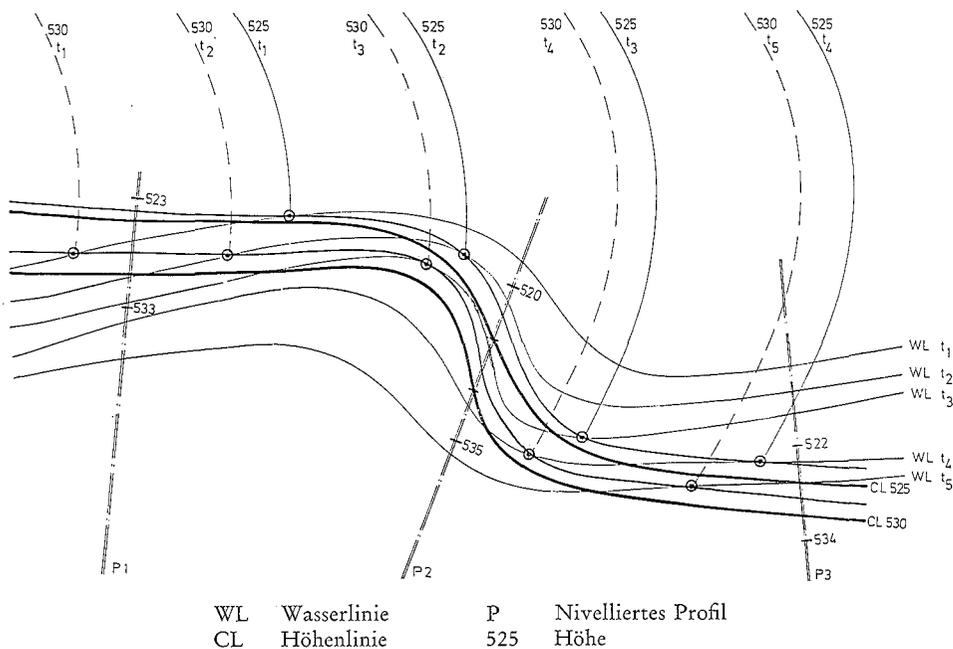


Abb. 7. Schema der Höhenlinienkonstruktion aus:  
 - Wasserspiegeln zu verschiedenen Zeiten  $t_n$ ,  
 - Wasserlinien zu verschiedenen Zeiten  $t_n$   
 - sowie zusätzlichen nivellierten Profilen

die Pegelaufzeichnungen müssen sich jeweils auf dieselbe Zeit beziehen. Ein zum Teil beträchtliches Quergerfälle unmittelbar am Wattsaum ist dabei noch nicht berücksichtigt worden. Es ändert sich laufend, und seine Erfassung wäre sehr aufwendig. Wir umgehen daher die Messung des Quergerfalles und bestimmen die endgültige Lage der Konturlinien statt dessen durch zusätzliche nivellierte Profile. Sie sind etwa 4 km voneinander entfernt, mit Meßpunkten alle 20-50 m. Ihre Aufnahme unmittelbar nach dem Bildflug dauert etwa eine Woche.

### Vermessung der Wattwasserläufe

Zu einer vollständigen Beurteilung der Morphologie müssen auch die Unterwasserformen bekannt sein. Sie werden in der herkömmlichen Weise mit Echograph aufgenommen. Das Peilboot fährt dabei entlang den Hyperbeln einer Hi-Fix-Kette. Die Ergebnisse der Tiefenmessung werden ebenfalls in die Arbeitskarten im Maßstab 1:10 000 eingetragen.

### Die Wattkarte

Aus den Arbeitskarten werden Wattkarten des Maßstabes 1:25 000 angefertigt. Ihre Ausführung entspricht der der vorhandenen amtlichen Wattkarten. Abbildung 8 zeigt eine Wattkarte der Außeneider (in der Rückentasche des Heftes).

Mit diesen Karten sollte es möglich sein, Materialumlagerungen und Veränderungen des Flutraumes zu verfolgen. Die vorhergesagten Auswirkungen der Abdämmung können mit den tatsächlichen verglichen und Widersprüche untersucht werden. Wenn man hydrologische und geologische Daten zu der morphologischen Geschichte einer derartigen Küste besser in Beziehung bringen kann, so werden vielleicht Zusammenhänge deutlicher, die zu besseren Prognosen und besser fundierten Entscheidungen führen.

### Schriftenverzeichnis

- SINDERN, J. und KATHAGE, F.: Das Wasserlinienverfahren (Serien - Einzelbildmessung) - eine neue Art der Wattvermessung. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 6/1966, S. 182-189.
- SINDERN, J. und SCHRÖDER, G. E.: Aerial photographic waterline survey of an estuary, Proceedings of the Fourteenth International Coastal Engineering Conference, ASCE, New York, 1975, pp. 2504-2518.
- KÖNIG, D.: Deutung von Luftbildern des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres, Beispiele und Probleme. Die Küste, Heft 22, Heide, 1972.
- DOLEZAL, R.: Photogrammetrie der Westküste Schleswig-Holsteins. Die Küste, Heft 22, Heide, 1972.