

Über den Stand der Küstenforschung*

Von J. B. Schijf

Summary

Coastal research has to be international, because nature does not respect political boundaries. Moreover, the exchange of research aims, methods and results between coastal engineers and researchers of many countries has become very effective (e. g. Coastal Engineering Conferences).

Coastal research is not an aim in itself, it serves coastal engineering, which in turn serves many activities of mankind.

While coastal research is young, coastal engineering is fairly old. In historical sequence its first client, several thousands of years ago, was navigation. Thereafter, several hundreds of years ago, came coastal protection, then industry and finally the exploration and exploitation of mineral resources on the continental shelf.

The task of coastal research is to provide a coherent structure of knowledge of coastal and foreshore processes, enabling a complete analysis of the phenomena observed, and above all, methods of forecasting the results of those processes and of human interference.

At present coastal research is in a state of rapid development.

Even though in the past already a considerable fund of knowledge had been assembled, the technique of observation falls far short of the needs.

The complexity and variability of the phenomena require both long continuous records and accuracy in detail.

The processing of the data thus becoming available can only be accomplished with the aid of computers. At present, however, large gaps in our knowledge still exist. They have to be filled by intelligent guesswork, based on experience and intuition.

At present we have a fairly complete knowledge of the tides along the coast and in the estuaries, but much less of the tides in the open sea.

On storm surges, which are such a destructive force in the Northsea, more research is needed, both on the frequency distribution and on the processes of development and propagation.

On the exchange of watermasses within the Northsea and within the Ocean still much has to be learned by well-directed programs of observation.

The research on waves is progressing fast, although much has still to be done. In particular the application of research results to design and operation still offers problems. The most difficult and least advanced field in coastal research is sediment transport and all it implies. Both theory and observation technique still fall far short of requirements.

As has become clear, the availability of reliable and accurate measuring techniques is of paramount importance. Here the development is most spectacular. Starting from the primitive, often very ingenious, efforts of the pioneers in the field, the development has gone through recording instruments and transmitting devices to instruments that present the data in digital form, suitable for processing in computers.

Possibly the close contact and nearly sensory understanding characterising the pioneers in the field may thereby suffer.

Still, in research one can look back, but never go back. Therefore one must go ever onward, hoping to advance rapidly further towards the solution of the problems confronting the coastal engineer.

But, please, not all the solutions at once.

* Vortrag auf der 5. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 16. Mai 1969 in Kiel.

Anmerkung der Schriftleitung: Der vom Verfasser gebrauchte Begriff „Küstenforschung“ bezieht sich in erster Linie auf die hydrodynamischen Probleme der Nordseeküste einschließlich der Flußmündungen und Häfen.

Inhalt

1. Einleitung	25
2. Aufgaben der Küstenforschung	27
3. Stand der Küstenforschung	28
4. Entwicklung der Meßmethodik	30

1. Einleitung

Um die internationale Küstenforschung in der richtigen Perspektive zu sehen, muß man zuerst die Hintergründe ins Auge fassen. Daß die Küstenforschung international ist, ist beinahe notwendig, denn die Naturkräfte respektieren keine Landesgrenzen. Auch wenn schon die Küsten augenscheinlich ein unendliches Panorama von Verschiedenheiten bieten, besteht in vielen Küstenstrecken und den ihnen vorgelagerten Meeresgebieten so viel Übereinstimmung in den physikalischen Vorgängen, daß die Problematik weitgehend gleichgeartet ist. Daneben ist in den letzten Jahrzehnten die Kommunikation zwischen Küsteningenieuren und Wissenschaftlern aller Länder so wirksam geworden, daß allmählich die Begriffsformulierung und die Methodik nahezu vollständig gleichgeschaltet sind. Die Reihe der „Conferences on Coastal Engineering“ (die letzte in London im September 1968) hat dabei eine große Rolle gespielt.

Die Küstenforschung ist kein Selbstzweck. Sie wird getrieben um der Küstentechnik willen, die auch wieder kein Selbstzweck ist. Die Küstentechnik dient einer Anzahl von Tätigkeiten des Menschen, und von da aus kann man zu einer Vorstellung der Forschungsaufgaben kommen. Ich werde das nur in ganz großen Zügen darzulegen versuchen.

Die Küstenforschung ist jung, die Küstentechnik ist ziemlich alt. Sie war lange Zeit aber ganz einseitig ausgerichtet, nämlich auf die Schifffahrt. Unter den ältesten Funden der Vergangenheit findet man rings um das Mittelmeer Reste von alten Häfen. Schon Homer erwähnt Hafenanlagen. Seit jener Zeit ist das Bedürfnis der Schifffahrt nach Häfen und Anlegestellen immer geblieben und gewachsen. Aber bis vor kurzem waren Forschungsarbeiten, wie wir sie uns heute vorstellen, noch nicht dabei. Mit diesen hat man im Sektor des Schiffbaues früher als in dem des Hafenbaues angefangen.

In bezug auf die Häfen ist es merkwürdig, daß weitaus die meisten der heutigen Welthäfen in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts gewachsen sind. Sie liegen bis zu 100 km und mehr landeinwärts von Flußmündungen. Einige Beispiele hierfür sind Hamburg, Bremen, London, Rotterdam, Antwerpen, Bordeaux, Baltimore, Kalkutta, Schanghai. Das war damals offenbar eine gute Sache. Heute aber erweist es sich, als eine Art von Schicksal, und überall sieht man ein fieberhaftes Drängen nach See zu, eine Form von Klaustrophobie. Das ungestüme, man kann fast sagen unziemliche Anwachsen der Schiffsabmessungen, so völlig ohne Rücksicht auf Hafeningenieure und Hafenbehörden, hat auch einen Aufschwung der Küstenforschungstätigkeit bewirkt. Die Frage ist schon gestellt worden, warum sich immer die Häfen an die Schifffahrt — und zwar bis an nahezu unmögliche Grenzen — und nicht umgekehrt anpassen müssen. Die Antwort ist ganz einfach: Selbst wenn ein Hafen mit großem Kostenaufwand erbaut ist, ist der Wert der Schiffe, die sich gegebenen Augenblicks darin aufhalten, noch immer der zehnfachen bis zwanzigfachen.

Von der Ökonomie aus gesehen ist es also klar, wo der Schwerpunkt liegen sollte. Man sieht, daß alle Häfen sich so weit ausweiten, daß sie auch die größten Schiffe aufnehmen können. Jedoch kann man sich denken, daß, wenn eines Tages die erste Delegation vom Mars Nordwesteuropa besuchen wird, die Marsleute angesichts des scharfen Wettbewerbs der benachbarten Häfen, gruppenweise sogar in demselben Land, mit Erstaunen konstatieren werden, daß

man hier offenbar das Optimalisierungsrechnen noch nicht erfunden hat. — Das gehört aber nicht zur Küstenforschung.

Die Schifffahrt war also, und zwar schon seit mehreren tausend Jahren, der erste Arbeitgeber der Küstentechnik. Erst viele Jahrhunderte später kam der Küstenschutz hinzu. Das hat seinen Grund darin, daß das Bedürfnis nach Küstenschutz nur da besteht, wo eine hochentwickelte technische Zivilisation blüht. Im natürlichen Zustand ist die Küste, das Niemandsland zwischen Land und Meer, besonders an sandigen Küsten fortwährend in Bewegung. Dort, wo man von einem Zustand des Gleichgewichts sprechen kann, ist dieser Zustand nicht statisch, sondern *dynamisch* zu verstehen. Die Sandmassen werden dauernd umgelagert, hin und wieder versetzt, und die Küstenlinie, wie man sie auch immer definiert, wandert hin und her. Für die Schaffung dieses Gleichgewichts brauchen die Naturkräfte außer einer gewissen Sandmenge auch einen gewissen Spielraum. Solange die menschliche Gesellschaft diesen Spielraum respektiert, ist alles in Ordnung. Sobald wir aber in diesen Spielraum mit Hafengebäuden, industriellen Anlagen, Erholungsplätzen, Straßen und Eisenbahnen hineinbrechen, kurz, sobald Kapital investiert ist, das durch das Spiel der Natur an der Küste bedroht wird, tritt die Küstenerosion ein. *Die Küstenerosion ist eine Begleiterscheinung der Zivilisation.*

Es kommt noch etwas hinzu. In manchen Fällen hat der Mensch das freie Kräftespiel an der Küste durch die Anlage von Hafendämmen, Ausbaggerung von Schifffahrtsrinnen u. a. m. gestört. Aber auch die Bauten des Küstenschutzes selber bringen immer neue Erosionen mit sich, entweder an der Stelle des Eingriffes selbst oder in dessen Umgebung. Ein schönes oder vielleicht auch schlechtes Beispiel sind die Watteninseln. Der Natur überlassen würden die Inseln beweglich sein, von West nach Ost wandern, ihre Gestalt und gelegentlich ihre Größe ändern. Vielleicht würde von Zeit zu Zeit sogar eine Insel verschwinden und eine neue entstehen. Aber eines Tages wollten wir diesen Unfug nicht länger ertragen und so hat der Küstenschutz angefangen. Jetzt gibt es kaum eine Insel mehr, wo nicht — zuweilen sehr kostspielige — Schutzbauten verschiedenster Art bestehen. Und das geht weiter, wegen der Investitionen, wegen der Zivilisation.

Haben wir also den Hafengebäudebau seit einigen tausend und den Küstenschutz seit einigen hundert Jahren, so ist viel später ein dritter Auftraggeber dazugekommen, die Industrie. Die Industrie braucht Kühlwasser und gelegentlich Rohstoffe aus dem Meer. Ihre Abwässer und Abfälle führt sie dem Meere zu. Dazu werden nicht nur Küstenbauten, Auslaßkonstruktionen und dergleichen, sondern auch Studien über die Ausbreitung, Verdünnung und Weiterverbreitung der Verunreinigung erforderlich. Zuerst bemerken wir diese Vorgänge in Küstennähe. Allmählich aber müssen wir anfangen, uns darum zu kümmern, was die Nordsee als Ganzes ertragen kann. Genau wie die Schifffahrt kümmert sich die Industrie wenig um die Schwierigkeiten, die sie den Küsteningenieuren bereitet. Die Römer hatten das Sprichwort „*Navigare necesse est, vivere non necesse est*“, d. h. Seefahrt ist notwendig, Leben ist nicht notwendig. Das ist lange überholt. Jetzt heißt es: Industrialisierung ist notwendig, das Leben muß sich damit schon abfinden.

Schließlich ist als Viertes im Bunde die Entdeckung und Ausnutzung der Bodenschätze des Kontinentalsockels dazugekommen. Auch die damit verbundenen technischen Probleme verlangen Forschung. Man könnte sagen, daß das nicht mehr zu der Küstenforschung im eigentlichen engeren Sinne gehört. Wir werden aber noch sehen, daß es auch für die anderen Zwecke schon notwendig ist, den Forschungsbereich bis weit nach See zu auszudehnen und daß außerdem dieselben Elemente in verschiedenen Richtungen untersucht werden müssen.

Faßt man also zusammen, so hat die Küstenforschung vier große Auftraggeber:

die Schifffahrt	—	Zeitmaßstab Jahrtausende
den Küstenschutz	—	Zeitmaßstab Jahrhunderte

die Industrie	—	Zeitmaßstab Jahrzehnte
die Mineralgewinnung	—	neu

2. Aufgaben der Küstenforschung

Was nun? fragen uns die Auftraggeber. Was ist die Aufgabe der Küstenforschung? Die Antwort darauf ist, daß es gilt, eine wissenschaftliche Grundlage zu schaffen und für alle diese Aktivitäten auszubauen, d. h. ein zusammenhängendes Gebäude von Kenntnissen über die Naturvorgänge sowohl nach der quantitativen als auch der qualitativen Richtung zu errichten, mathematisch ausgedrückt: ein Gebäude in Systemen von Gleichungen o. ä. derart, daß eine vollständige Analyse der beobachteten Erscheinungen möglich wird und als Wichtigstes, daß auf Grund der Erkenntnisse Vorhersagen gemacht werden können. Für die Entwicklung eines solchen Gebäudes bedarf es der physikalischen Begriffe der Teilvorgänge und ihres Zusammenhanges, dazu mathematischer Methoden und für alles zusammen einer ausreichenden Beobachtungstechnik, ergänzt durch Einrichtungen für Einzelforschung unter selektierten und kontrollierten Bedingungen, also Experimenten und Laboruntersuchungen.

Wie bei allen wissenschaftlichen Forschungen muß auf Grund primitiver ungerichteter Beobachtung zuerst eine gewisse globale Einsicht gewonnen werden. Daraus erwachsen dann besser fundierte und gerichtete Beobachtungen, denen die Verbesserung und Erweiterung der Theorie folgt. Daraus wiederum folgt eine Verfeinerung der Beobachtungsmethodik und so fort; mathematisch ausgedrückt: eine Art von Iterationsprozeß, der zeitweilig langsam, dann wieder schnell konvergiert, auch schon zu Teilzielen führt, aber nie zu einem Ende kommt. Heutzutage befinden wir uns in einer Phase von überraschend schneller Entwicklung, doch ist schon lange ein hohes Maß von fundamentalen Begriffen, z. B. über Gezeiten, Strömungen, Wellen, vorhanden. Auch hat man schon länger ein beträchtliches Arsenal von mathematischen Analysenmethoden. Aber die Beobachtungstechnik war bis vor kurzem wegen der Komplexität und der Veränderlichkeit der Vorgänge nur sehr primitiv und im ganzen unzulänglich. Gerade die Veränderlichkeit erfordert aber langfristige und genaue Beobachtungen, deren Verarbeitung erst jetzt mit Hilfe der modernen automatischen Recheneinrichtungen, der Computer, gut möglich ist. In der letzten Zeit hat es eine sprunghafte Entwicklung in der Beobachtungsmethodik gegeben. Da gibt es z. B. Wellenmeßgeräte und Leitstoffe (Tracer) für Sandwanderungsmessungen u. a., doch mangelt es noch an vielem, z. B. an Möglichkeiten der Messung des Transports von Sand und Schwebstoffen in der Brandung. So bestehen noch immer große Lücken, mit deren Auffüllung Kollegen in der ganzen Welt fieberhaft beschäftigt sind. Auf der einen Seite wachsen die Aufgaben mit den Forderungen der Schifffahrt nach tieferen Fahrinnen und damit deren Einfluß auf die Stabilität der Küste, Forderungen der Massenerholung und der Industrie, der Entdeckung und der Ausnutzung des Meeresbodens. Auf der anderen Seite wächst das Arsenal von wissenschaftlichen und technischen Kenntnissen, das aber noch nicht ausreicht, um mit genügender Sicherheit alle Fragen zu beantworten. Deshalb muß die Kenntnis durch intelligente Schätzungen, gestützt auf Erfahrung und Intuition und durch das wertvolle Fingerspitzengefühl, ergänzt werden.

Auf dieser Grundlage arbeitet die Küstenforschung. Es geht darum, sinnvolle und gut gerichtete Programme aufzustellen, wobei man zwischen zwei Hauptgruppen unterscheiden kann, deren Ansatz und Methodik unterschiedlich ist. Diese beiden Hauptgruppen sind einmal die Grundlagenforschung auf längere Sicht und zum anderen die unmittelbar gerichteten Untersuchungen für begrenzte Aufgaben der Praxis. Die unmittelbar gerichteten Untersuchungen will ich in der Folge außer Betracht lassen, was nicht besagt, daß sie nicht ganz wichtig

sind und daß nicht vieles darüber zu sagen wäre. Allerdings in dem Maße, wie die Lücken in der Grundlagenforschung gefüllt werden, wird das Bedürfnis nach diesen Ad-hoc-Untersuchungen geringer.

Wenden wir uns also der „Hintergrundarbeit“ zu und fassen wir insbesondere die Nordsee ins Auge, so sollten hier die Programme darauf abzielen, zunächst die ganze Wasserbewegung in ihrer Abhängigkeit von der astronomischen Tide und den atmosphärischen Einflüssen kennenzulernen. Das gilt sowohl für die vertikalen Bewegungen des Meeresspiegels als auch für die komplexe Struktur der Strömungen. Es geht dabei nicht nur um Mittelwerte, oft sind ja eben die Abweichungen vom normalen Bild am interessantesten. Dazu gilt es, die Struktur und die Intensität des turbulenten Austausches einschließlich des Austausches mit den Ozeanen, die Totalzirkulation und weiter die Wellenbewegung im ganzen Meeresgebiet unter dem Einfluß wechselnder Wetterlagen zu erfassen. Das ist nicht nur für feste und schwimmende Bauten im freien Meer, sondern auch deshalb notwendig, weil für ein richtiges Verständnis des Wellenangriffs an der Küste die Kenntnis der Entstehung der Wellen im offenen Meer und ihrer Umwandlung auf dem Wege zur Küste unentbehrlich ist.

Außer nach den Ergebnissen der Untersuchungen über die Wasserbewegung soll die Forschung sich auf die Zusammensetzung des Bodens und der Küstensedimente und deren Verhalten unter dem Einfluß von Strömungen und Wellen richten.

3. Stand der Küstenforschung

Von den Gezeiten entlang der Küste wissen wir ziemlich viel. Heute sind in den meisten Teilen der Welt längere oder kürzere Beobachtungsreihen vorhanden, nirgends besser als rings um die Nordsee. Die Gesetzmäßigkeiten darin sind erkannt, so daß die Analyse bearbeitet werden kann, und die Vorhersage hat einen hohen Grad von Zuverlässigkeit erreicht. Zwar werden noch immer neue und verbesserte Methoden ausprobiert, aber diese führen nicht zu grundsätzlichen Änderungen. Sie dienen sozusagen dem „Aufputzen“.

Die Eigenschaften der Gezeiten in der freien See dagegen sind im quantitativen Sinne noch weitgehend unbekannt, sogar in dem kleinen Waschkübel der Nordsee. Das Verhalten der Gezeiten in Flußmündungen und Meeresarmen kennen wir wieder ganz gut, sogar so gut, daß eine zuverlässige Vorhersage über die Wirkung von wasserbaulichen Eingriffen einwandfrei möglich ist. Mit der Kenntnis der Sturmfluten, die insbesondere im kleinen flachen Becken der südlichen Nordsee so verheerend wirken können, ist es wieder weniger gut bestellt. Wir möchten hier vor allem zwei Aspekte genauer kennenlernen, nämlich die Gesetzmäßigkeiten der Frequenzverteilung als Grundlage für Deichentwürfe und eine rechtzeitige genaue Vorhersage über das Entstehen und die Fortpflanzung der Fluten unter dem Einfluß des wandernden Windfeldes. Zum ersten Aspekt der Frequenzverteilung — wobei man richtigerweise zu Frequenzen von 10^{-5} und 10^{-6} pro Jahr gehen sollte — fehlen uns einfach genügend lange Beobachtungsreihen (die längste beträgt kaum 100 Jahre). Dazu können wir nichts anderes tun, als Geduld haben. Für die Vorhersage sind mit Hilfe der neuen Rechenanlagen die Methoden schon vorhanden. Hier aber mangelt es an genügend Angaben über die meteorologische Lage. So ist insbesondere das Beobachtungsnetz auf See unzulänglich. Für beide Aspekte ist also nicht die Theorie, sondern die Beobachtungssituation der Engpaß. Der Ablauf der Zeit einerseits und die Meteorologen andererseits müssen hier Auskunft bringen.

Von der Zirkulation besitzen wir nur erst globale Angaben. Insbesondere fehlt eine richtige Kenntnis der Schwankungen fast vollkommen. Sehr viele zielgerichtete Beobachtungen müssen hier noch gemacht werden.

Hier und an anderen Stellen geraten wir in den Arbeitskreis der Ozeanologen. Ihre Mitarbeit ist unbedingt notwendig. Das gilt auch für die Probleme des turbulenten Austausches, sobald wir die eigentliche Küstennähe verlassen. Hier ist die Zusammenarbeit auch international schon fest gegründet. Auch in diesem Sektor sind die mathematischen Modelle schon vorhanden, aber das Beobachtungsmaterial ist noch ganz lückenhaft. Meßmethoden und -geräte haben wir. Für die sehr umfangreiche Auswertung brauchen wir aber wiederum Rechenanlagen.

Jetzt kommen wir zu den Wellen. Sie werden üblicherweise eingeteilt in die dünnungs- und in die direkt winderzeugten Wellen. Dieser Unterschied ist gewiß physikalisch sinnvoll, doch hat sich schon längst die Einsicht durchgesetzt, daß man damit noch nicht viel weiter kommt, weil beide Wellenarten z. B. nach Periode und Höhe keine einfach zu definierenden Erscheinungen sind, sondern im Gegensatz eine verwickelte Mischung von verschiedenen elementaren Schwingungen sind, die man mittels eines Energiespektrums einerseits und einer Frequenzverteilung andererseits charakterisieren muß. Vom Standpunkt des Mathematikers aus ist das eine befriedigende Sache. Die Mathematiker sind auf diesem Gebiet sehr tätig. Ob man aber auch die physikalische Struktur der Wellenbewegung damit ergründen kann, ist wieder eine andere Frage. Auch, was der Ingenieur damit anzufangen hat, ist noch nicht in jeder Hinsicht klar. Jedoch ist es schon ein ganz wichtiger Fortschritt, daß man die Wellenbewegung beschreiben und daraus Folgerungen ziehen kann. Ein wichtiger Schritt für die praktische Anwendung ist schon gemacht, seitdem es mit Hilfe der programmierten Wellenerzeugung im Labor möglich ist, Untersuchungen mit einer naturähnlichen Wellenbewegung durchzuführen. Es sind auch Methoden entwickelt, mittels derer bei einem gegebenen Windfeld die zu erwartende Wellenbewegung berechnet werden kann. Auch der weitere Verlauf bei Annäherung an die Küste mit ihren Platen und Rinnen kann rechnerisch ermittelt werden (Refraktion und Diffraktion).

Zwar sind das noch halbempirische Methoden, aber sie haben ein gesundes physikalisches Fundament und der Ingenieur kann damit arbeiten, wenn auch mit großem Rechenaufwand. Auch hier bringt die Rechenanlage die Rettung. Im großen und ganzen ist in diesem Sektor Analyse und Vorhersage schon in gewissem Maße möglich. Allerdings sind noch viel mehr Messungen notwendig in mehrfacher Hinsicht, nämlich im geographischen Sinne, im Sinne langfristiger Dauermessungen und weiterer Einzelmessungen. Die Geräte dazu stehen zur Verfügung, insbesondere seit es gelungen ist, ein ziemlich zuverlässiges, schwimmendes Gerät, die Wellenmeßboje, zu konstruieren (Beschleunigungsprinzip). Weitere Arbeit zur Vervollkommnung dieses Geräts ist allerdings noch geboten, z. B. wäre ein Abschreckmittel gegen allzu unternehmungslustige Fischer sehr wertvoll. Was allerdings noch fehlt, ist eine bequeme Methode zur Messung der Fortpflanzungsrichtung der Wellen. Das ist ein arges Handikap. Ein schwacher Punkt in der ganzen Wellenuntersuchung ist ferner die lückenhafte Kenntnis der Windfelder über dem Meer. Wenn diese Lücken schon in der Nordsee vorhanden sind, kann man sich vorstellen, wie es damit in vielen anderen Teilen der Welt aussieht.

Als letzte Gruppe ist dann noch die Sandwanderung oder, allgemeiner ausgedrückt, der Feststofftransport zu betrachten. Hiermit ist es noch armselig bestellt. Die Fähigkeit zum richtigen Analysieren und Vorhersagen dieses Vorganges wäre vom Gesichtspunkt des Küstenschutzes und des Entwurfes und der Erhaltung von Schiffahrtsrinnen vielleicht die wichtigste von allen. Aber gerade in diesem Sektor gibt es mehr unbeantwortete als beantwortete Fragen. In seitlich begrenzten und in der Laufrichtung ziemlich uniformen Stromrinnen, wie Kanälen und nicht zu unregelmäßigen Flüssen mit homogenem Wasser, wo ein eindimensionales stationäres Problem vorliegt, gibt es halbempirische Methoden, mit denen der Ingenieur sich helfen kann. Auch im Hinblick auf die fundamentalen physikalischen Vorgänge wurden viele theoretische und experimentelle Studien durchgeführt. Dabei sind gewisse Fortschritte erzielt worden,

obwohl die Probleme noch nicht vollständig geklärt sind. In den Ästuarien und im Küstenvorfeld aber liegt die Sache viel schwieriger.

Das ist zurückzuführen auf die Komplexität der Vorgänge, die in einem System von Rinnen und Platen zwei- oder sogar dreidimensional sind, wenn eine Schichtung des Wassers auftritt. Dazu finden die Vorgänge im Rahmen einer Wasserbewegung statt, die ständigen Schwankungen mit verschiedenen Perioden unterworfen ist. Daher ist eine theoretische Durchdringung bis jetzt nur sehr teilweise gelungen. Hinzu kommt, und das ist vielleicht das Schlimmste, daß die Beobachtung außerordentlich schwierig ist, gerade da und dann, wenn wir so gern messen möchten. So ist das Messen in der Brandung und während der Sturmfluten bisher noch geradezu unmöglich. Die Sand- und Schwebstoff-Fanggeräte, die in den Flüssen gute Dienste leisten können, versagen hier zum größten Teil. Neben diesen Geräten verfügen wir zwar über die Meßmethoden mit Leitstoffen, sowohl mit radioaktiven Stoffen als auch mit Luminophoren. Ohne Zweifel kann man damit im qualitativen Sinne sehr wertvolle Hinweise bekommen. An vielen Stellen in der Welt ist man eifrig daran tätig, mit diesen Methoden auch eine quantitative Deutung der Ergebnisse zu erreichen. Wenn das auf zuverlässige Weise möglich wird, ist sicher ein großer Schritt gemacht. Bis dahin sind wir hauptsächlich noch von volumetrischen Messungen, d. h. vom Vergleichen von Lotungen in kürzeren oder längeren Zeiträumen abhängig. Im großen und ganzen jedoch befinden wir uns in der Kenntnis des Feststofftransportes theoretisch und auch beobachtungstechnisch noch im Stande der Armut.

4. Entwicklung der Meßmethodik

Man kann nicht den Stand der Küstenforschung behandeln, ohne sich mit der Meßmethodik zu beschäftigen. Die Aufgaben sind deutlich: die Meßgeräte sollen die Beobachtungsergebnisse liefern für die verschiedenen schon erwähnten Studien. Mit dem Stand der Meßtechnik aber liegt es schwieriger, weil eine so schnelle Entwicklung im Gange ist, daß eine Beschreibung des augenblicklichen Zustandes nur einen ganz beschränkten Wert hat. Sicher ist, daß die Geräte der Pioniere wie LÜDERS und VAN VEEN — ich nenne nur diese zwei — mit großem Scharfsinn ausgedacht und oft selber gebaut, schon längst überholt sind. Jetzt geht das alles elektrisch und elektronisch, und die Meßtechnik ist die Domäne von Spezialisten geworden. Schon seit einiger Zeit kann ein nicht selbstschreibendes Gerät überhaupt nicht mehr ernst genommen werden und ein selbstschreibendes kaum noch, wenn es daneben keine Fernübertragung hat. Aber auch das genügt jetzt nicht mehr. Wegen der Notwendigkeit, die Ergebnisse rechenautomatisch zu verarbeiten, sollen die Geräte ihre Ergebnisse unmittelbar in digitalisierter Form anbieten. Die ganze Meßmethodik ist damit in einen Zustand der Umwandlung bis auf den Grund geraten. Ganz ohne Zweifel haben wir es hierbei mit einer wunderbaren Entwicklung zu tun, die für die Forschung großartige Perspektiven bietet. Diese Entwicklung stellt offenbar die einzige Möglichkeit dar, die ungeheure Masse von Daten, die wir zur Klärung der vielen ungelösten oder nur teilweise gelösten Probleme brauchen, irgendwie vernünftig zu verarbeiten. Vielleicht ist es nur ein Zeichen des nahenden Alters, wenn ich dennoch eine gewisse Furcht habe, daß dadurch der die Pioniere auszeichnende direkte Kontakt mit der Materie und ihre gefühlsmäßige Vorstellung über das Verhalten von Wasser und Sand abgeschwächt werden könnte. Und wenn das schon so wäre, man kann in der Forschung wohl zurückschauen, aber niemals zurückschreiten. Gehen wir also vorwärts. Hoffen wir auf noch rascheren Fortschritt, so daß bald die Zeit da sein wird, in der die Fragen beantwortet werden können, mit denen der Küsteningenieur konfrontiert wird. Nur bitte nicht alle Fragen auf einmal!