

Meßgeräte und Meßverfahren im Küsteningenieurwesen*)

Zusammenfassung

Der „Ausschuß für Verfahren und Meßtechnik im Küsteningenieurwesen“ der Hafenbautechnischen Gesellschaft gibt in dieser Arbeit einen Überblick der im Küstenbereich derzeit verwendeten Meßgeräte für Strömungs- und Seegangsmessungen sowie der Bodenkunde und des wasserbaulichen Versuchswesens. Weiterhin werden die für Meßgeräte gebräuchlichen Werkstoffe behandelt. Besonders herausgestellt sind die derzeit gebräuchlichen Meßprinzipien.

Empfehlungen für den Einsatz des einen oder anderen Gerätes werden nicht gegeben, weil dessen Auswahl nur in engem Zusammenhang mit der Meßaufgabe erfolgen kann. – Mit der Veröffentlichung dieser Arbeit ist beabsichtigt, den im Küstengebiet messenden Ingenieuren Entscheidungshilfen an die Hand zu geben. Es wird erwartet, daß die fachliche Diskussion Ergänzungs- und Änderungsvorschläge erbringt, die der weiteren Arbeit entsprechende Impulse geben werden.

Summary

The "Hafenbautechnische Gesellschaft" Committee for Procedures and Measurement Techniques in Coastal Engineering has surveyed the instrumentation presently used for current, wave and soil mechanics investigations in the coastal zone and in hydraulic models. The material used for constructing the instruments is also discussed. Special attention is given to accepted measurement techniques.

Recommendations for the implementation of specific instrumentation are not given, since this heavily depends on the objectives of the measurement program. The goal of this paper is to present guidelines for coastal engineers concerned with measurements. It is anticipated that subsequent discussions will yield additions and changes as well as motivation for further investigations.

Vorwort

Der hier vorliegende Bericht ist das Ergebnis mehrjähriger Arbeit, die von den Mitgliedern des „Ausschusses für Verfahren und Meßtechnik im Küsteningenieurwesen“ der Hafenbautechnischen Gesellschaft (HTG) neben den beruflichen Verpflichtungen geleistet wurde. In vielen Sitzungen des Ausschusses und aus ihm gebildeter kleinerer Arbeitskreise wurde das erforderliche Grundlagenmaterial gesammelt, gesichtet und zur berichtsmäßigen Darstellung aufgearbeitet. Der Ausschuß erhielt hierbei dankenswerte Unterstützung aus Hochschulen, Industrie und Verwaltungen des Bundes und der Länder, soweit sie mit Aufgaben des Küsteningenieurwesens befaßt sind.

Die Mitglieder des Ausschusses wurden – den Grundsätzen der HTG folgend – aus den Wasserbaubehörden, den Hochschulen und der Industrie berufen, um möglichst breite funktionelle wie konstruktive Erfahrungen zur Geltung bringen zu können. Diese Zusammensetzung hat sich bewährt.

*) „Ausschuß für Verfahren und Meßtechnik im Küsteningenieurwesen“ der Hafenbautechnischen Gesellschaft; Vorsitzender Dr.-Ing. Günter LUCK, Norderney.

Der erste Obmann des Ausschusses, Erster Baudirektor Dr.-Ing. GÖHREN, trat bereits drei Jahre nach seiner Gründung wegen Übernahme einer anderen beruflichen Tätigkeit von diesem Amt zurück. Die von ihm gegebenen Impulse blieben wirksam und waren richtungsweisend für die Weiterführung der Arbeiten. Der Ausschuß ist ihm zu Dank verpflichtet.

Herr Dr.-Ing. SCHWARZE, Universität Hannover, unterzog sich der Mühe, den Abschnitt 6.5.2 für den Ausschuß zu bearbeiten. Die Reinschriften und Korrekturen wurden durch Frau Sibylle LUCK, Norderney, besorgt. Auch ihnen sei herzlich gedankt.

Dem Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen und der Hafenbautechnischen Gesellschaft, welche die Veröffentlichung dieser Arbeit ermöglichten, gilt der besondere Dank des Ausschusses. Erst hierdurch ist gewährleistet, daß sie ihren Mitgliedern sowie den Fachleuten des In- und Auslandes bekannt wird.

Norderney, im September 1983

Dr. G. LUCK

I n h a l t

1. Einführung	5
2. Zur Hydrologie des Küstenvorfeldes	6
2.1 Allgemeines	6
2.2 Gezeiten	6
2.3 Strömungen	7
2.4 Seegang	8
2.5 Meeresboden, Sedimente	9
3. Strömungsmessungen im Küstenvorfeld	10
3.1 Einführung	10
3.2 Ausführung von Messungen	10
3.3 Parameter	13
3.3.1 Meßgrößen	13
3.3.2 Bezugsgrößen	13
3.4 Grundsätzliche Verfahren, Registrierungen und Anwendungsweisen	14
3.4.1 Einführung	14
3.4.2 Treibkörpermessungen	15
3.4.3 Mechanische Verfahren	16
3.4.4 Akustische Verfahren	18
3.4.5 Elektromagnetisches Verfahren	19
3.4.6 Sonstige Verfahren	22
3.4.7 Hilfsgrößen	22
3.4.8 Meßwertregistrierung	25
3.4.9 Meßdatenaufbereitung und -auswertung	26
4. Seegangsmessungen	30
4.1 Einführung	30
4.2 Meßaufgabe	30
4.2.1 Meßgrößen	31
4.2.2 Problemstellung	31
4.3 Erläuterung einiger Begriffe der Wellenhydraulik und der Spektralanalyse des Seegangs	31
4.3.1 Deterministische Wellentheorien	31
4.3.2 Wellenverformung im Küstenbereich	33
4.3.3 Seegangsspektren	34
4.3.4 Auswerteverfahren	36
4.3.5 Zur Ermittlung der Bemessungswelle – Langzeitstatistik	39

4.4	Wellenmeßgeräte, Übersicht über Meßprinzipien	40
4.4.1	Allgemeines	40
4.4.2	Meßgeräte mit feststehendem Geräteträger	40
4.4.2.1	Wellenpegel	40
4.4.2.2	Druckmeßgeräte	41
4.4.2.3	Anwendung der Echolotung, Ultraschallmethoden	43
4.4.2.4	Wellenradar	43
4.4.3	Meßgeräte mit beweglichem Geräteträger	44
4.4.3.1	Wellenbojen	44
4.4.3.2	Stereophotographie	44
4.4.4	Messung des Seegangs durch Mikrowellenrückstreuung	46
4.4.4.1	Seegangsmessung mit einem Puls-Radar-Höhenmesser	46
4.4.4.2	Messung der mittleren Wellenhöhe mit dem Zwei-Frequenz-Radar-interferometer	47
4.4.4.3	Messung von zweidimensionalen Seegangsspektren unter schrägem Einfallswinkel mit Zwei-Frequenz-Verfahren	48
4.4.4.4	Messung des zweidimensionalen Wellenbildes in Küstennähe mit abbildenden („imaging“) Radarwellen	48
4.4.4.5	Seegangsmessung mit CODAR	49
4.5	Datenregistrierung, -übertragung und -verarbeitung	49
4.5.1	Datenregistrierung	49
4.5.2	Datenübertragung	50
4.5.3	Datenverarbeitung (-auswertung)	51
4.6	Generelle Kriterien für die Auswahl eines Wellenmeßsystems	51
4.6.1	Einsatzort	51
4.6.2	Einsatzdauer	53
5.	Geräte für Sediment- und Suspensionsmessung	53
5.1	Meeresboden und Sediment	53
5.1.1	Alter, Herkunft und petrographische Zusammensetzung der Sedimente	54
5.1.2	Ablagerungsbedingungen und geographische Verteilung der Sedimente sowie Morphologie der Gewässersohle	55
5.1.3	Schichtaufbau	56
5.1.4	Biogene Einflüsse auf das Sediment	56
5.1.5	Erodierbarkeit, Setzungen und Veränderungen der Ablagerungen	56
5.2	Geräte zur Entnahme von Bodenproben	57
5.2.1	Greifer (ohne Kastengreifer)	57
5.2.2	Lotgeräte (Kerngeräte)	59
5.2.3	Dredgen	61
5.3	Geräte zur In-situ-Messung	62
5.3.1	Punktsonden	62
5.3.2	Bodenschleppsonden	63
5.4	Nicht bodenberührende Geräte	63
5.4.1	Akustische Geräte	64
5.4.2	Optische Geräte	66
5.5	Geräte zur Suspensionsmessung	66
5.6	Laboruntersuchungen	67
5.6.1	Verfahren zur granulometrischen Analyse	67
5.6.2	Auswertung und Darstellung von Korngrößenanalysen	68
5.6.3	Darstellung von Sedimenttypen	69
6.	Meßgeräte im wasserbaulichen Versuchswesen	70
6.1	Einleitung	70
6.2	Grundsätzliche Bemerkungen zu hydraulischen Modellen	71
6.2.1	Allgemeines	71
6.2.2	Modelle mit fester Sohle	71
6.2.3	Modelle mit beweglicher Sohle	73
6.3	Meßverfahren und Meßgeräte	74
6.3.1	Allgemeines	74
6.3.2	Wasserstand	75

6.3.3 Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen	77
6.3.4 Morphologie	80
6.3.5 Ausbreitungsvorgänge, Dichteströmungen	83
6.4 Meßwertaufnahme und -verarbeitung	84
6.5 Beispiele ausgeführter Modelle	85
6.5.1 Hydraulisches Modell der Bundesanstalt für Wasserbau zur Untersuchung von Strömungsvorgängen im Tidegebiet	85
6.5.2 Hydraulisches Modell des Franzius-Instituts für die Untersuchung von Kühl- wasserausbreitungsvorgängen im Tidegebiet	91
6.5.3 Hydraulisches Modell des Franzius-Instituts für dreidimensionale See- gangsuntersuchungen	95
6.6 Schlußbemerkung	99
7. Werkstoffe und Korrosionsschutz in der Meerestechnik	100
7.1 Einleitung	100
7.2 Eigenschaften der gebräuchlichsten Werkstoffe	100
7.2.1 Stähle und Gußeisen	100
7.2.2 Rost- und säurebeständige Stähle (nach DIN 17 440)	102
7.2.3 Kupfer und seine Legierungen (nach DIN 17 660)	102
7.2.4 Nickel-Knetlegierungen	105
7.2.5 Aluminiumlegierungen (nach DIN 1725)	105
7.2.6 Titanlegierungen	105
7.2.7 Nichtmetallische Werkstoffe	106
7.3 Korrosion	108
7.3.1 Korrosionsarten	108
7.3.2 Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit	113
7.4 Erfahrungen mit dem Verhalten einiger obengenannter Werkstoffe in der Meeres- technik	115
7.4.1 Unlegierte Stähle	115
7.4.2 Nichtrostende Stähle	116
7.4.3 Kupfer und seine Legierungen	117
7.4.4 Aluminium und seine Legierungen	117
7.4.5 Titan und seine Legierungen	117
7.4.6 Nichtmetallische Werkstoffe	118
7.4.7 Werkstoffe bei Mischbauweise	118
7.5 Schutz vor Korrosion und Bewuchs	120
7.5.1 Temporärer Schutz	120
7.5.2 Metallische Überzüge	121
7.5.2.1 Galvanische Verfahren	121
7.5.2.2 Chemische und elektrochemische Verfahren	122
7.5.2.3 Schmelzflüssige Verfahren, Plattierungen	122
7.5.3 Farbüberzüge	123
7.5.4 Schutz vor Bewuchs	123
8. Schlußwort	124
9. Schriftenverzeichnis	125

A n h a n g

1. Vorbemerkung	129
2. Tabellarische Zusammenstellung ausgewählter Strömungsmeßgeräte	129
3. Strömungsmessungen an der deutschen Nordseeküste	129
3.1 Meßprogramm Dithmarscher Bucht	129
3.2 Auswertung von Strömungsdaten einer Wattwasserscheiden-Messung bei Neuwerk	149
3.3 Meßprogramm Weserästuar	156
3.4 Geräteeinsatz und Erfahrungen	158
3.5 Ergebnisdarstellung	159
3.6 Meßergebnisse	161
4. Tabellarische Zusammenstellung ausgewählter Seegangmeßgeräte	162

5. Seegangmeßprogramme im Bereich der deutschen Nord- und Ostseeküste	162
5.1 Südstrand der Insel Borkum	177
5.2 Ostfriesische Inseln und Küste	178
5.3 Jade-Weser-Ästuar	179
5.4 Elbmündungsgebiet	181
5.5 Dithmarscher Küste	182
5.6 Nordstrander Bucht und Sylt	182
5.7 Küstenvorfeld der Insel Sylt	183
5.8 Probstei/Ostsee	184

1. Einführung

Auf ihrer Hauptversammlung am 28. 9. 1972 in Braunschweig hat die Hafenbautechnische Gesellschaft (HTG) beschlossen, ihr Arbeitsgebiet auf Küstenforschung und Küsteningenieurwesen auszudehnen. Im Rahmen der hierdurch eingeleiteten Entwicklung wurde zu Beginn des Jahres 1975 ein Ausschuß ins Leben gerufen, der sich vornehmlich mit gerätetechnischen Fragen des Meßwesens in der Küstenforschung befassen sollte und der dann den Namen „Ausschuß für Verfahren und Meßtechnik im Küsteningenieurwesen“ (AVMK) erhielt.

Die Notwendigkeit, Verfahren und Geräte für die schwierigen und aufwendigen gewässerkundlichen Aufgaben des Küsteningenieurwesens zu prüfen, zu vereinheitlichen oder auch neu zu entwickeln, war schon früh erkannt worden. So entstand bereits im Jahre 1950 die Arbeitsgruppe „Wasserbauliche Hydrometrie – Untersuchungen an der Meeresküste“ des Küstenausschusses Nord- und Ostsee (LÜDERS et al., 1951), die jedoch schon wenig später in Untergruppe „Praktisches Meßwesen im Seegebiet“ umbenannt wurde. Die Gruppe befaßte sich zunächst überwiegend mit gerätetechnischen Fragen. Dieser Rahmen wurde im Laufe der Jahre zunehmend erweitert, weil eine Bearbeitung des Themas nicht möglich war, ohne gleichzeitig Verfahren der Aufbereitung und Auswertung von Meßwerten einzubeziehen und schließlich die mit ihnen erarbeiteten Untersuchungsergebnisse im großen Zusammenhang zu bewerten.

Im Rahmen des 1966 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft eingeleiteten Schwerpunktprogrammes „Sandbewegung im deutschen Küstenraum“, an welchem der Küstenausschuß Nord- und Ostsee wesentlich beteiligt war, ist der Untergruppe „Praktisches Meßwesen im Seegebiet“ die Mitarbeit in diesem bedeutsamen Vorhaben zur Aufgabe gemacht worden. In diesem Zusammenhang erhielt sie die Bezeichnung „Arbeitskreis Küstenforschung“, wodurch auch zum Ausdruck gebracht wurde, daß ihr Aufgabenkreis wesentlich über den ursprünglich gezogenen Rahmen hinausgewachsen war.

Nach der Auflösung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee sowie seiner Ausschüsse und Untergruppen und der Übernahme seiner Aufgaben durch das „Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen“ (KFKI) setzten dann Bemühungen ein, die Aufgaben der ehemaligen Untergruppe „Praktisches Meßwesen im Seegebiet“ fortzuführen. Diese Bemühungen führten zur Gründung des AVMK durch die HTG. Dem Ausschuß gehören an:

Vorsitzender Dr.-Ing. LUCK	Norderney
Dr.-Ing. BARTHEL	z. Zt. Kanada
Dr.-Ing. DETTE	Braunschweig
Dr. rer. nat. FAHRENTHOLZ	Kiel
Dr. rer. nat. FIGGE	Hamburg
Dr.-Ing. GÖHREN	Hamburg

Dipl.-Ing. GRASSHOFF	Kiel
Dr.-Ing. habil. KOHLHASE	Hannover
Dipl.-Ing. RICHTER	Tönning
Prof. Dr.-Ing. habil. SIEFERT	Cuxhaven
Dipl.-Ing. VEIT	Kiel
Prof. Dr.-Ing. VOLLMERS	München
Dr.-Ing. WIELAND	Büsum

Der äußere Rahmen der vom AVMK zu leistenden Arbeit ist im wesentlichen durch folgende Aufgabengruppen vorgegeben:

1. Verfolgung der für das Küsteningenieurwesen wichtigen methodischen und gerätetechnischen Entwicklungen im In- und Ausland unter Einbeziehung verwandter wissenschaftlicher Disziplinen wie z. B. Geologie, Meteorologie und Ozeanographie; kritische Prüfung der Eignung von Meßgeräten für das deutsche Küstengebiet und der Übertragbarkeit von Erfahrungen und Erkenntnissen, die andernorts gewonnen wurden, auf diesen Bereich; in diesem Rahmen Weitergabe von Informationen sowie Beratung und Erarbeitung von Empfehlungen.
2. Untersuchungen oder Anregungen zur Anpassung von Geräten und Verfahren an die besonderen Erfordernisse des deutschen Küstengebietes bzw. zu neuen Untersuchungsverfahren und Geräteentwicklungen.
3. Untersuchungen zur Rationalisierung von Meß- und Auswertungsverfahren; Erarbeitung dahin zielender Empfehlungen und Richtlinien.

Obwohl durch diese Zielsetzung zum Ausdruck gebracht wird, daß vorzugsweise Meßgeräte für Naturuntersuchungen zu bearbeiten sind, wurden doch verfahrensmäßige und gerätetechnische Fragen der experimentellen Forschung im Laboratorium in den Aufgabenkatalog mit einbezogen, da sich insbesondere beim Betrieb großer hydraulischer Flächenmodelle für das Küstengebiet und bei Versuchen mit Geschiebemodellen Probleme ergeben haben, die stark mit der Naturmessung verknüpft sind.

Die Geräte und Verfahren zur Wasserstandsmessung werden im Küstenpegelausschuß der „Länderarbeitsgemeinschaft Wasser“ behandelt und wurden daher nicht in die Aufgabenstellung des AVMK einbezogen.

2. Zur Hydrologie des Küstenvorfeldes

2.1 Allgemeines

Auswahl und Einsatz geeigneter Meßgeräte sowie die Beurteilung der mit ihnen erzielten Ergebnisse sind weitgehend an den im Meßgebiet örtlich wirkenden aktiven und passiven Kräften zu orientieren. In diesem Sinne werden daher nachfolgend die für Meßaufgaben bedeutsamen Vorgänge skizzenhaft dargestellt.

2.2 Gezeiten

Die Gezeiten (Tiden) werden durch die Anziehungskräfte von Mond und Sonne sowie durch die infolge der Erdrotation entstehenden Kräfte erzeugt. Sie treten als ganztägige, halbtägige oder gemischte Gezeiten auf.

Im Nordseeküstenbereich und in den deutschen Ästuaren erscheinen nahezu reine