

MOSTRA – ein neues Verfahren zur strömungs- und morphologieadäquaten Bilanzierung von suspendierten Feststoffen und Begleitparametern in geschichteten Ästuaren

Von L. J. R. NEUMANN

Zusammenfassung

Vorgestellt wird ein neues Meßverfahren zur quantitativen Bestimmung von physikalischen, chemischen und biologischen Parametern sowie zur Entnahme von Wasserproben. Dieses Verfahren, genannt MOSTRA-Methode, wichtet die Parameter bzw. die Probenahme gemäß der Meßtiefe und der Strömungsgeschwindigkeit *in situ*, um exakte vertikal integrierte Größen bzw. Probemengen zu erfassen. Die Darstellung der Meßmethode erfolgt für die Berechnung im Vertikalprofil und für die Mittelung über größere Zeiträume. Beispielhaft werden vertikal integrierte, theoretische Meßgrößen nach der MOSTRA-Methode und herkömmlichen Meßmethoden berechnet.

Summary

The MOSTRA-Method is a new measurement technique for in-situ sampling and quantification of physical, chemical and biological parameters. It involves the taking of a depth and velocity weighted averaged sample in order to allow a direct measurement of vertically integrated values. The method is demonstrated both for a vertically integrated profile and for the computation of mean values over a long time period. Vertically integrated values determined with the MOSTRA-Method are compared with those calculated using standard techniques.

Inhalt

1. Einführung	163
2. Meßverfahren in Tideflüssen	164
3. Beschreibung des neuen Verfahrens	164
4. Voraussetzungen zur Anwendung	168
5. Vergleichsbeispiele	168
6. Schriftenverzeichnis	170

1. Einführung

Die Messung von physikalischen, chemischen und biologischen Parametern sowie die Entnahme und Analyse von Wasserproben wird zur Zeit mit den unterschiedlichsten Methoden durchgeführt. Ziel dieser Messungen ist es, und dies besonders in den letzten Jahren, anwendungsorientierte Grundlagen zu erarbeiten, die die Entscheidungen in den Bereichen der Umwelt-, Wirtschafts- und Verkehrspolitik unterstützen sollen. Hierfür ist es notwendig, daß die Messungen neben der qualitativen Aussage auch quantitative Ergebnisse liefern, die die wahren Naturverhältnisse wiedergeben. Schwierigkeiten in der Darstellung der wahren Naturverhältnisse treten insbesondere auf,

- wenn Parameter und Wasserinhaltsstoffe bilanziert werden sollen,
- wenn im Flußquerschnitt starke Schichtungen auftreten und
- wenn die Werte der Parameter und die Wasserinhaltsstoffe zeitlich und örtlich großen Schwankungen unterliegen.

Eine Teillösung dieser Probleme ist mit der MOSTRA-Methode und einem entsprechenden Instrumentarium möglich.

2. Meßverfahren in Tideflüssen

Die besonderen Probleme im Bereich der Tideflüsse (Nutzung als Schifffahrtsstraße; Verschlickung der Hafengebiete; Übergang vom limnischen zum marinen Bereich; Trübungswolken) haben seit jeher zu großer Meßaktivität geführt.

Die Gründe dafür sind einerseits Durchführung von Überwachungsaufgaben, Verkehrssicherheit und wirtschaftliche Interessen, andererseits naturwissenschaftlichere Fragestellungen der angewandten Forschung und der Grundlagenforschung.

Einheitliche Meßverfahren werden in der deutschen Einheitsnorm DIN (1979) und anderen Anleitungen zur Durchführung von Messungen empfohlen (DVWK, 1984; Inter-Agency, Committee on Water Resources, 1963). Da diese Anleitungen häufig den Anspruch auf Allgemeingültigkeit haben, sind sie zum Teil auf die besonderen Verhältnisse des Tidegebietes nicht anwendbar. Das Resultat ist eine Vielfalt von Meßmethoden, deren Ergebnisse oft nicht vergleichbar sind, da die Ausgangsbedingungen und Einsatzorte sich unterscheiden (HÜLSEMANN, 1981).

Neben vielen Sondermessungen, die eine spezielle Fragestellung für einen Flußbereich beantworten sollen (z. B. GÖHREN, 1971; FANGER et al., 1985; CHRISTIANSEN, 1974), lassen sich drei Standardmessungen im Tidegebiet unterscheiden:

- A. Profilmessungen im Längs- oder Querschnitt des Flusses. Hierbei werden verankerte Sondensysteme in verschiedenen Höhen übereinander und verteilt über das Profil (synoptische Aufnahme) oder Profilsonden vom Schiff aus eingesetzt (asynoptische Aufnahme).
- B. In-situ-Messung an singulären Punkten in einer bestimmten Wasserhöhe über der Sohle (Dauermessung).
- C. Flächendeckende ein- oder mehrdimensionale Messung (synoptische Aufnahme).

Die Ergebnisse dieser Standardmessungen ergeben im allgemeinen qualitative Aussagen über das Untersuchungsgebiet (ARGE DER LÄNDER, 1982; ARGE ELBE, 1981; FREIE UND HANSESTADT BREMEN, 1983). Während diese Messungen örtlich und zeitlich häufig durchgeführt werden, sind Messungen zur Quantifizierung und Bilanzierung der Flußeigenschaften selten (GKSS, 1985; CHRISTIANSEN, 1985; HINRICH, 1973).

3. Beschreibung des neuen Verfahrens

Das neue Meßverfahren bezieht den Meßwert bzw. die Probemenge auf die Wassermenge, die während der Meßzeit den Teil des Querschnitts (Abb. 1) durchfließt, für den der Meßwert bzw. die Probe repräsentativ sein soll. Je kleiner dabei der Querschnittsbereich ist, desto aussagekräftiger ist der Meßwert. Bei sehr heterogenen Verhältnissen im Querschnitt ist daher die Messung in mehreren Profilen, bei homogenen Verhältnissen nur in einem Profil notwendig. Bei letzterem sollte jedoch in regelmäßigen Abständen die Repräsentanz des Meßprofils für die Zustände im gesamten Querschnitt mit Vielpunktmessungen überprüft werden.

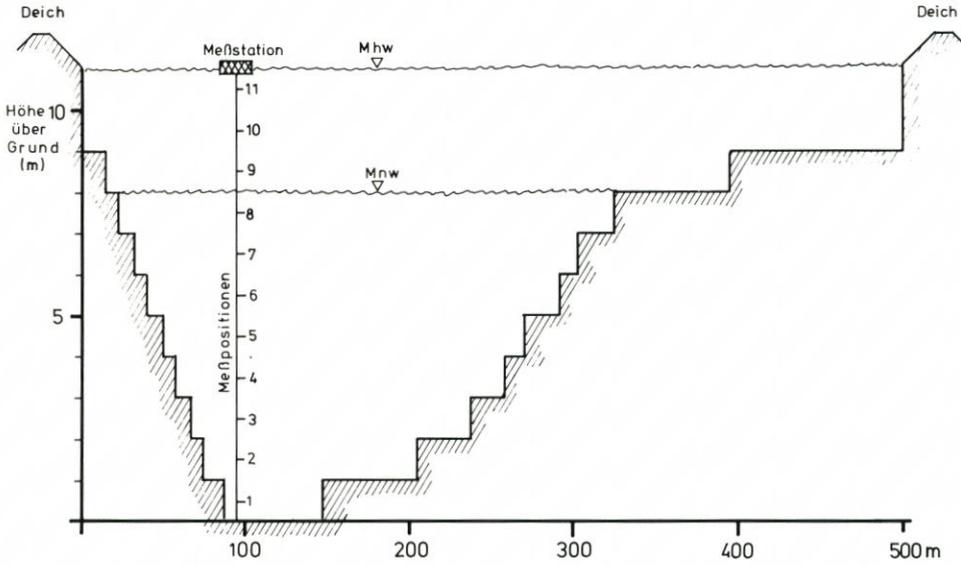


Abb. 1. Fiktiver Querschnitt eines Tideflusses

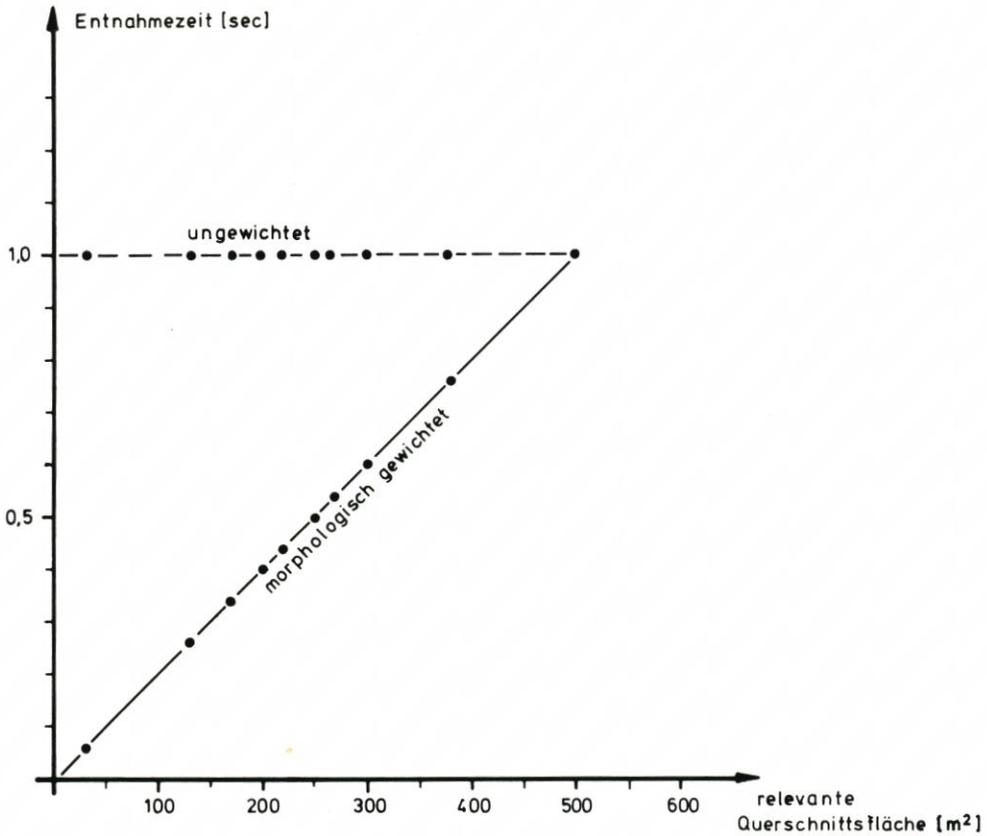


Abb. 2. Querschnittsfläche als Funktion der Wasserhöhe über der Sohle gemäß Abb. 1

Voraussetzung für die Erfassung von Meßparametern ist zunächst die Kenntnis der Querschnittsfläche (Qf) als Funktion der Wasserhöhe (d) über der Sohle (Abb. 2) sowie die Strömungsgeschwindigkeit an der Meßposition. Der relevante Meßbereich (Mb) des Querschnitts für eine Meßposition (MP) ergibt sich dann zu:

$$Mb_{MP} = Qf(d_2) - Qf(d_1), \text{ mit } d_2 > d_1$$

Hieraus wird deutlich, daß die Meßpositionen im Profil im Vorwege festgelegt werden müssen. Unter der Annahme einer konstanten Meßzeit an allen Meßpositionen folgt für den gewichteten Meßwert (MWg) an einer Meßposition:

$$MWg(n) = MW \cdot [Mb_{MP}(n) \cdot v(n)]$$

mit $n = \text{Nr. der Meßposition}$
 $MW = \text{Meßwert}$
 $v = \text{Strömungsgeschwindigkeit}$

Die Berechnung des vertikalen Mittelwertes (VM) erfolgt jetzt aus den gewichteten Meßwerten (MWg):

$$VM = \frac{\sum_{n=1}^m MWg(n)}{\sum_{n=1}^m [Mb_{MP}(n) \cdot v(n)]}$$

mit $m = \text{Anzahl der Meßpositionen im Vertikalprofil.}$

Der zeitliche Versatz in der Aufnahme der gewichteten Meßwerte ist bei homogenen Verhältnissen vernachlässigbar, wenn die Messung im Vertikalprofil weniger als 10 Minuten dauert. Bei sehr heterogenen Verhältnissen und häufig auftretenden Variationen der Werte der Parameter darf die Aufnahme des Vertikalprofils nicht die Zeitdauer der Variationen überschreiten.

Zur Berechnung von Mittelwerten über längere Zeiträume werden bei konstantem Wasserstand und Zeitabstand der Meßwertaufnahme die vertikal integrierten Werte arithmetisch gemittelt.

Bei wechselnden Wasserständen (W), z. B. im Tidegebiet, muß zur Berechnung von Langzeitmitteln (LMW), z. B. für eine Tide oder Halbtide, die Mittelbildung aus den gewichteten Meßwerten der einzelnen Positionen erfolgen:

$$LMW(W) = \frac{\sum_{n=1}^k MWg(n)}{\sum_{n=1}^k [Mb_{MP}(n) \cdot v(n)]}$$

mit $k = \text{Anzahl der Messungen im Langzeitraum.}$

Hierbei ist eine Zeitkonstanz zwischen den einzelnen Meßwertaufnahmen Bedingung. Da aber, insbesondere bei Messungen in mehreren Profilen, durch Schiffsverkehr, Geräteausfall etc. die Zeitkonstanz in der Regel nicht einzuhalten ist, sollte bei der Mittelung der Langzeitmessungen der Zeitabstand (ZA) zwischen der Aufnahme der einzelnen Vertikalprofile und der wechselnde Wasserstand in die Wichtung mit eingehen:

$$\text{LMW} (W, ZA) = \frac{\sum_{n=1}^l [\text{VM} (n) \cdot \text{ZA} (t) \cdot W (t)]}{\sum_{n=1}^l [\text{ZA} (t) \cdot W (t)]}$$

mit $\text{ZA} (t) = \frac{1}{2} [\text{ZP} (n) - \text{ZP} (n-1)] + [\text{ZP} (n+1) - \text{ZP} (n)]$

$W (t) = \frac{1}{2} [W (n) - W (n-1)] + [W (n+1) - W (n)]$

ZP = Zeitpunkt der Messung

l = Anzahl der Vertikalprofile im Langzeitraum

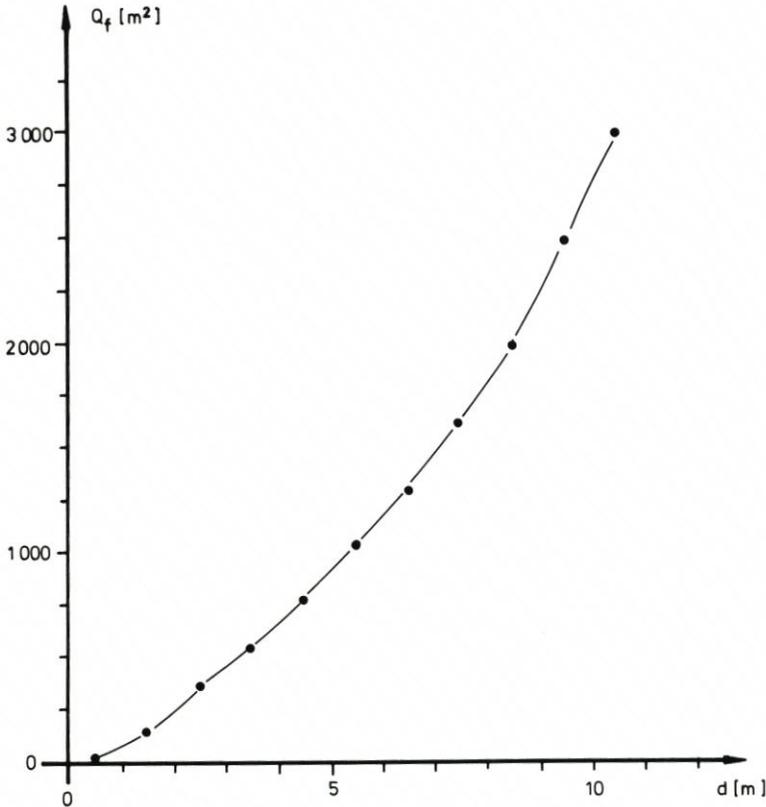


Abb. 3. Entnahmezzeit für Wasserproben als Funktion der relevanten Querschnittsfläche für die Meßposition (Grundlage: Profil in Abb. 1)

Bei Anwendung der MOSTRA-Methode auf die Entnahme von Wasserproben ist die Wichtung nicht über eine Berechnung möglich. Um strömungsabhängig zu beproben, muß die Entnahme isokinetisch, d. h. ohne Stau oder Sunk im Einlaßquerschnitt der Probeleitung, erfolgen. Die Morphologierelevanz wird parallel dazu über die Entnahmezzeit geregelt, die sich von Meßposition zu Meßposition ändert und an der Oberfläche ihren größten Wert im Profil erreicht. Hierfür ist es nötig, eine Eichkurve der Entnahmezzeit als Funktion der relevanten Querschnittsfläche, für die die Beprobung repräsentativ sein soll, zu erstellen (Abb. 3).

Eine parallele Anwendung der MOSTRA-Methode auf mehrere Parameter und die Probenahme gestattet es, im Anschluß an die Analyse der Proben einen direkten Vergleich zwischen Analyseergebnissen und Parametern durchzuführen.

4. Voraussetzungen zur Anwendung

Die Anwendung der MOSTRA-Methode ist gebunden an einige apparative Voraussetzungen:

1. Das Probenahmegerät muß für eine isokinetische Beprobung geeignet sein.
2. Zur Wichtung der Meßwerte und Berechnung der Entnahmezeiten ist der Einsatz eines modernen Prozeßrechners notwendig.
3. Langzeitmessungen mit genügender Meßdichte können nur mit automatischen Meßstationen (NEUMANN, 1985) durchgeführt werden.

Die Anwendung des Verfahrens ist nur möglich bei genauer Kenntnis der Morphologie des Querschnitts und der Strömungsgeschwindigkeit an der Meßposition.

Weitere Voraussetzung ist die Kenntnis der Korrekturfaktoren für die Meßwerte eines Profils, bezogen auf den Querschnitt. Diese können je nach Parameter unterschiedlich sein und müssen ebenso wie die Eichkurven der Probenahme durch Vergleichsmessungen über den Querschnitt erstellt werden.

5. Vergleichsbeispiele

Zum Vergleich der Ergebnisse von Meßparametern, beschickt nach dem MOSTRA-Verfahren, mit denen der arithmetischen Mittelung im Vertikalprofil werden die beiden Parameter Strömungsgeschwindigkeit und Salzgehalt betrachtet. Zwei fiktive Darstellungen (Abb. 4 A u. B) zeigen das typische Bild der vertikalen Strömungs- und Salzgehaltsverteilung im Mündungsgebiet der Ästuare (MANGELSDORF u. SCHEURMANN, 1980).

Das Ergebnis der berechneten Größen zeigt Abb. 5. Die Abweichungen von den ange-

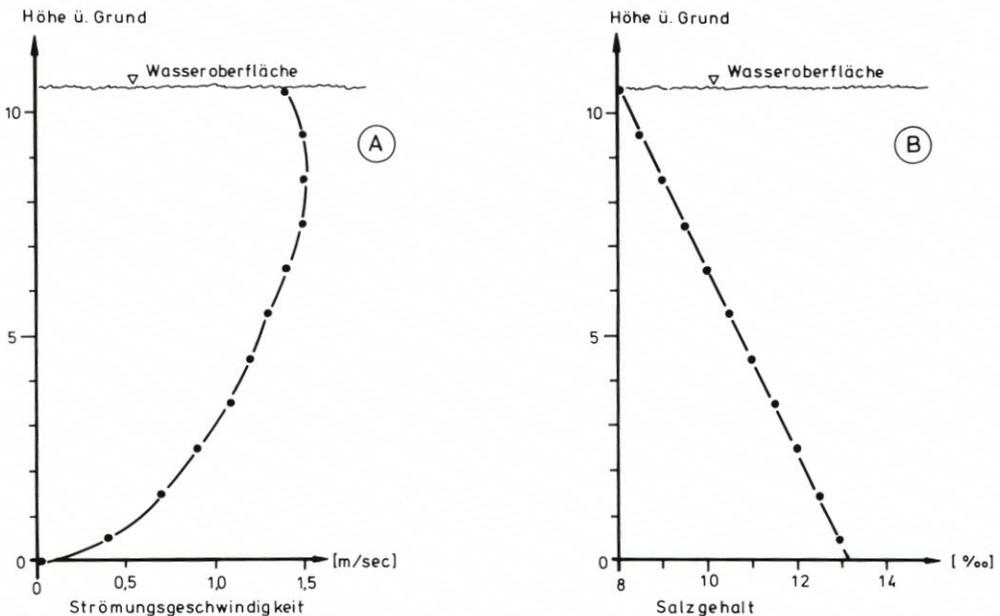


Abb. 4. A – Fiktive Geschwindigkeitsverteilung im Vertikalprofil eines Flusses. B – Fiktive Salzgehaltsverteilung im Vertikalprofil eines Tideflusses

Höhe Meß über Pos. Grund (m)	QB (m)	Qf (m ²)	M e ß w e r t e				E n t n a h m e z e i t					
			\bar{v} gew. (m/s)	\bar{v} gew. (m/s)	\bar{S} gew. (%)	\bar{S} gew. (%)	Q gew. ----(sec)---	Q u. gew.	v gew.	un- gew.	%-Abweichg. IX/X X/XI ---(%)---	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
1	0,5	60	30	0,4	12	13,0	156	0,06	0,02	1	4	98
2	1,5	130	160	0,7	91	12,5	1138	0,26	0,18	1	8	82
3	2,5	170	360	0,9	153	12,0	1836	0,34	0,31	1	3	69
4	3,5	200	560	1,1	220	11,5	2530	0,40	0,44	1	4	56
5	4,5	220	780	1,2	264	11,0	2904	0,44	0,53	1	9	47
6	5,5	250	1030	1,3	325	10,5	3413	0,50	0,65	1	15	35
7	6,5	270	1300	1,4	378	10,0	3780	0,54	0,76	1	22	24
8	7,5	300	1600	1,5	450	9,5	4275	0,60	0,90	1	30	10
9	8,5	380	1980	1,5	570	9,0	5130	0,76	1,14	1	38	14
10	9,5	500	2480	1,5	750	8,5	6375	1,00	1,50	1	50	50
11	10,5	500	2980	1,4	700	8,0	5600	1,00	1,40	1	40	40
Summe			2980		3913		37136	5,92	7,73	11		
Mittelwerte				1,2	1,3	10,5	9,5				20	48
Differenzen				12 %		11 %						

- I - Meßposition
- II - Wasserhöhe über Grund (m)
- III - Querschnittsbreite (m)
- IV - Querschnittsfläche (idealisiert) unter der Meßpositionshöhe (m²)
- V - Meßwert der Geschwindigkeit (m/sec)
- VI - Durchfluß an der Meßposition, bzw. gewichtete Geschw. (m³/sec)
- VII - Salzgehalt (%)
- VIII - gewichteter Salzgehalt (% m³/sec)
- IX - mit der Querschnittsfläche gewichtete Entnahmezzeit (sec)
- X - mit der Querschnittsfläche und der Geschwindigkeit gewichtete Entnahmezzeit (sec)
- XI - ungewichtete Entnahmezzeit (sec)
- XII - %-Abweichungen der gewichteten Entnahmezzeiten IX und X bez. auf XI
- XIII - %-Abweichungen der gewichteten Entnahmezzeit X und der ungewichteten Entnahmezzeit XI

Abb. 5. Berechnung vertikaler Mittelwerte anhand der Vorgabe fiktiver Meßdaten und Randbedingungen

nommenen, vertikal integrierten Naturgegebenheiten sind danach beim Salzgehalt 11 % und beim Strömungsmittel 12 %. Bei größeren Gradienten bzw. beim Auftreten von Sprungschichten nehmen die Abweichungen zu. Große Differenzen zeigt der Vergleich im Hinblick auf die Entnahme von Wasserproben. Im vertikalen Mittel beträgt der Fehler dabei 48 % beim Vergleich von morphologieadäquater und isokinetischer zu kontinuierlicher Entnahme. Die größten Differenzen treten hier im Sohlbereich auf (98 %), wie Abb. 5 zeigt. Das schwebstoffhaltige Bodenwasser geht damit überrepräsentativ in die vertikale Mittelbildung ein. Aussagen über die Konzentration oder die Fracht durch den Querschnitt basieren somit auf zu hohen Werten.

Anhand dieser Vergleichsbeispiele zeigt sich, daß es notwendig ist, Messung und Probe-

nahme der Morphologie des Querschnitts und der an der Meßposition vorherrschenden Strömung anzupassen, um den wahren Naturgegebenheiten nahezukommen.

6. Schriftenverzeichnis

- ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LÄNDER ZUR REINHALTUNG DER WESER: Weserlastplan 1982. Bremen, 1982.
- ARGE ELBE: Wassergütedaten der Elbe 1980. Hamburg, 1981.
- CHRISTIANSEN, H.: Über den Transport suspendierter Feststoffe in Ästuarien am Beispiel der Elbemündung bei Neuwerk. *Hamburger Küstenforschung*, H. 28, 1974.
- CHRISTIANSEN, H.: Erste Ergebnisse aus Schwebstoffmessungen mit dem CUX-SAMPLER in der Elbe. *Die Küste*, H. 42, 1985.
- DIN 4049, Teil 1: Hydrologie quantitativ. 1979.
- DVWK: Regeln zur Wasserwirtschaft. 1984.
- FANGER, H.-U., NEUMANN, L. J. R., OHM, K. u. RIETHMÜLLER, R.: MASEX '83. Eine Untersuchung über die Trübungszone der Unterweser. *Die Küste*, H. 42, 1985.
- FREIE UND HANSESTADT BREMEN, SENATOR FÜR GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ, SENATOR FÜR BAUWESEN - WASSERWIRTSCHAFTSAMT: Meßprogramm Weser in Bremen (MEWEB). 1983.
- GOEHREN, H.: Untersuchung über die Sandbewegung im Elbmündungsgebiet. *Hamburger Küstenforschung*, H. 19, 1971.
- HINRICH, H.: Ermittlung von Schwebstoffgehalt und Schwebstofffracht der Elbe im Bereich Hitzacker in den Jahren 1960-1971. *Wasser und Boden*, 3-73, 1973.
- HÜLSEMAN, J.: Schlicktransport und Sedimentation in deutschen Tideästuaren. Unveröffentl. Bericht des KFKI-Projektes „Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in Tideästuaren“, 1981.
- INTER-AGENCY COMMITTEE ON WATER RESOURCES: Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams. Report No. 14, 1963.
- MANGELSDORF, J. u. SCHEURMANN, K.: Flußmorphologie. 1980.
- MICHAELIS, W. u. KNAUTH, H.-D. (Hrsg.): Das Bilanzierungsexperiment 1982 (BILEX '82) auf der Unterelbe. Forschungszentrum Geesthacht, GKSS 85/E/3, 1985.
- NEUMANN, L. J. R.: AMO - Die Automatische Meßstation Oortkaten - Meßsystem zur Sammlung von Schwebstoffproben und Messung von Begleitparametern. *Die Küste*, H. 42, 1985.