

ABSCHLUSSBERICHT TEIL III

KFKI-VORHABEN : *Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in
Ästuaren*

BMFT-Vorhabenummer : 524-3891-MF 0296 2

Bearbeitet von : Dipl.Oz.L.J.R.Neumann
Dipl.Geogr.S.Haar

No 28432 *di ↓ 3*

KURATORIUM FÜR FORSCHUNG
IM KÜSTENINGENIEURWESEN
POSTFACH 44 67 - TEL. (04 31) 385 - 1
2300 KIEL 1

21. Jan. 1988

ABSCHLUSSBERICHT TEIL III

KFKI-VORHABEN : *Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in
Ästuaren*

BMFT-Vorhabenummer : 524-3891-MF 0296 2

Bearbeitet von : Dipl.Oz.L.J.R.Neumann
Dipl.Geogr.S.Haar

No 28431-3

TEIL III (Ergebnisbericht)

T E I L III (Ergebnisbericht)

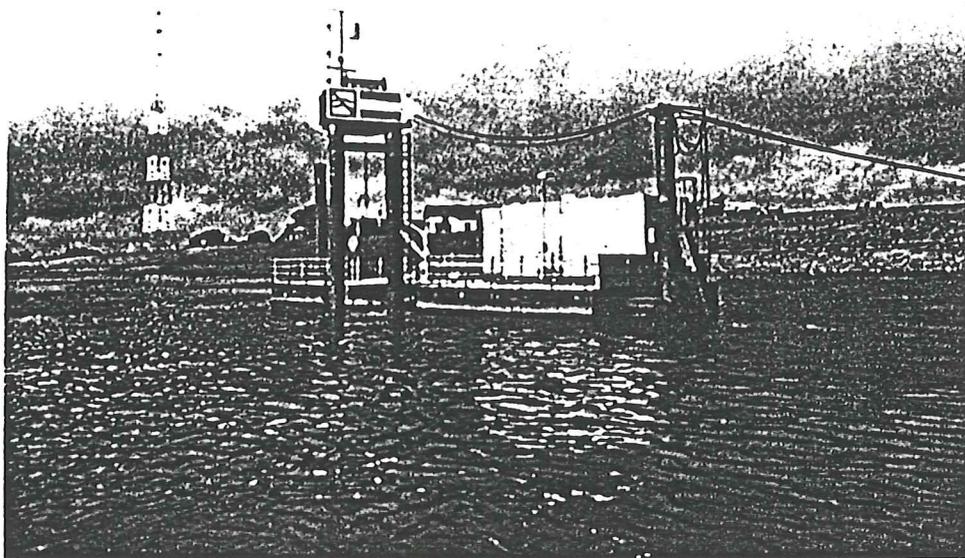
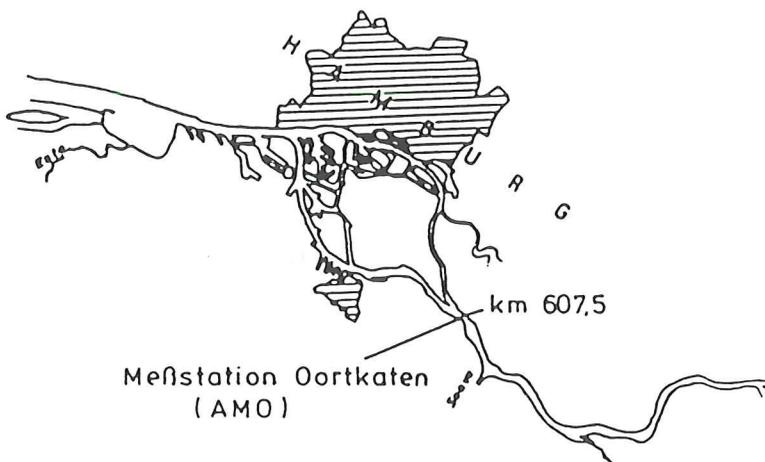
INHALT	Seite
A. Einführung	1
B. Automatische Meßstation Oortkaten	3
1. Datenvergleiche	7
1.1 Transportbetrachtungen	15
2. Korrelationsberechnungen	23
3. Korngrößenuntersuchungen	42
4. Ebbe- Flut- Vergleich	55
5. Fehlerbetrachtung	63
6. Diskussion der Ergebnisse	69
C. Meßpfahl Nordenham	75
D. Projekt MASEX	77
E. Bibliographie	79
1. Unveröffentlichte interne Berichte	79
2. Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes	80
3. Literaturverzeichnis	81
F. Ausblicke	85
G. Zusammenfassung	89

A. EINFÜHRUNG

Die Dreiteilung des Projektes in die Vorhaben: Automatische Meßstation Oortkaten, Meßpfahl Nordenham und MASEX wird auch im Ergebnisbericht beibehalten. Ein Vergleich der Ergebnisse der Vorhaben, bzw. eine Verknüpfung der Ergebnisse ist nicht möglich, da dies Aufgabe einer Phase IV des Forschungsvorhaben (siehe Teil I.Abb.D.0.1) sein sollte. Da diese Phase nicht mehr realisiert werden konnte, werden die einzelnen Experimente getrennt betrachtet.

Erste Ergebnisse wurden bereits auf dem KFKI-workshop 1985 in Hamburg vorgestellt und in der Zeitschrift DIE KÜSTE, Heft 42 veröffentlicht. Daneben wurden in Jahresberichten und unveröffentlichten Berichten (siehe Abschn.E.1) Ergebnisse und Meßvergleiche dargestellt. In dem hier vorliegenden Ergebnisbericht sind diese Ergebnisse nochmals zusammengefaßt.

Den größten Teil des Ergebnisberichtes nehmen die Analysen und Auswertungen der Daten der Meßstation Oortkaten ein, da hier neben relativen Betrachtungen absolute Vergleiche mit Messungen anderer Institutionen gemacht werden können. Den Abschnitt B.2 (Korrelationsberechnungen) übernahm federführend Herr Haar, da Herr Neumann während der Auswertephase nur noch halbtägig beschäftigt war.



Pontonanlage mit der Meßstation (AMO) bei Oortkaten auf der Elbe. Im Vordergrund ist die Pfahlgruppe zu erkennen, zwischen der das Entnahmesystem zwischen Sohle und Oberfläche auf- und nieder geführt wird.

B. AUTOMATISCHE MESSSTATION OORTKATEN

Die Messungen auf der Automatischen Meßstation Oortkaten (AMO) wurden in der Zeit vom 1.7.84-31.6.86 durchgeführt. Die Abb.B.1a - c zeigen die Meßzeiten der einzelnen Parameter und die Zeiten, zu denen vergleichbare Messungen anderer Institutionen durchgeführt wurden. Die Auflistung ist nur für die AMO vollständig und wurde soweit ergänzt, wie Daten anderer Institutionen verfügbar waren. Die Liste zeigt darüberhinaus welche Daten notwendig wären, um zu einer abschließenden Bewertung der gemessenen Schwebstoffkonzentrationen zu kommen. Dies muß jedoch weiterführenden Untersuchungen vorbehalten bleiben, da im Rahmen einer sechsmonatigen Auswertephase nur erste Ansätze für eine Bewertung der Daten erfolgen können.

Aus den Angaben in Abb.: B.1a - c wird deutlich, daß Messungen in den Wintermonaten 1984/85 fehlen und für 1986 nur lückenhaft vorliegen. Der Grund für diese Meßlücken liegt in der Meßkonzeption der AMO, die für Zeiten, in denen Eisgang auf der Oberelbe zu erwarten ist nicht ausgelegt ist. Weiterhin konnten in den Zeiträumen, in denen die Fachabteilungen von Strom-und Hafenbau Eisgang nicht ausschlossen, keine Messungen mit der AMO vorgenommen werden, da im Falle einer Havarie die Rechtslage nicht eindeutig gewesen wäre.

1986 wurden jedoch Handproben und Messungen (jeweils einmal pro Halbtide) vom Ufer aus genommen, sodaß für einige Parameter der Jahresgang vollständig erfaßt wurde.

DATENERFASSUNG IN DER ELBE BEI KM 607,5 und ergänzendes Datenmaterial

1984

Parameter	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Schwebstoffgehalt												
Glühverlust												
Korngrößen												
Schwermetalle												
pH-Wert												
Sauerstoff												
Leitfähigkeit												
Temperatur												
Trübung												
Strömungsgeschwindigkeit												
Wassersland												
Abfluß												
Tankprobe							12	23	8	9		
Schöpferprobe												
Konzentration												
Glühverlust												
Protein / Chlorophyll												
Amonium												
ATP												
EC												
Bildanalyse												
BILEX							1x monat	1x monat	1x monat	1x monat	1x monat	1x monat
Sinkstoffgeschw.												
HCB, DDD, OCS, HCH												
Strömung Querschnitt												
FLORA-Nord												
FLORA-Süd												
CUX-Sampler												
ARGE Dauerm.												
ARGE Einzelm.												
Wehr-Geesthacht												
Staustufe												
KKW Krümmel												
Bau- u. Baggerarb.												

DATENERFASSUNG IN DER ELBE BEI KM 607,5 und ergänzendes Datenmaterial

1985

Parameter	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Schwebstoffgehalt												
Glühverlust												
Korngrößen												
Schwermetalle												
pH-Wert												
Sauerstoff												
Leitfähigkeit												
Temperatur												
Trübung												
Strömungsgeschwindigkeit												
Wasserstand												
Abfluß												
Tankprobe												
Schöpferprobe												
Konzentration												
Glühverlust												
Protein / Chlorophyll												
Amonium												
ATP												
EC												
Bildanalyse	<i>Axmonatl.</i>	<i>Axmonatl.</i>	<i>AxmonatK.</i>	<i>Axmonatl.</i>								
BILEX												
Sinkstoffgeschw.												
HCB, DDD, OCS, HCH												
Strömung Querschnitt												
FLORA-Nord												
FLORA-Süd												
CUX-Sampler												
ARGE Dauer												
ARGE Einzel												
Wehr-Geesfacht												
Staustufe												
KKW Krümmel												
Bau- u. Baggerarb.												

B.1. Datenvergleiche

An der Meßstelle Oortkaten wurden in den Jahren 1984-1986 neben den Messungen der AMO, Messungen von Strom- und Hafengebäude, Hamburg mit dem CUX-SAMPLER, BILEX-Kampagnen der GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH und dem Institut für Hydrobiologie der Universität Hamburg (siehe Anhang Bd.1, Teil III,D und Anhang Bd.2) durchgeführt. Darüberhinaus wurden von Strom- und Hafengebäude im Querschnitt Oortkaten und benachbarten Querschnitten Strömungen gemessen und Abflußdaten berechnet. Als Langzeitmessungen liegen die Daten der ARGE-Elbe an den Meßorten Geesthacht, Zollenspieker und Bunthaus vor sowie Abflußwerte von Neu Darchau und Schwebstoffkonzentrationsdaten von Hitzacker, die von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (Koblenz) erhoben wurden.

Die Transportraten werden in einem selbständigen Kapitel (B.1.1) behandelt, so daß im folgenden der Vergleich mit anderen Meßergebnissen im Vordergrund steht.

Oberwasser

Als Grundlage hierfür liegen die Messungen von Strom- und Hafengebäude, und Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz bei Neu Darchau vor.

Den Vergleich der Messungen zeigt Tabelle B.1.1 und die Abbildungen B.1.2 und B.1.3. In Abbildung B.1.3 werden die korrigierten Daten der AMO zugrunde gelegt (siehe

Tabelle B.11.

VERGLEICH DER OBERWASSERMESSUNGEN (m3/sec) IM ELBE-STROM-KM 607 UND 610 ZU DEN OBERWASSERMESSUNGEN IN NEU DARCHAU (m3/sec)

* Messungen mit dem CUX-SAMPLER, ** Messungen mit Ott-Flügel)

(x gemessen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen)

Datum	A=Neu Darchau	B=607.5	B=610	B/A	Bemerkung
06.08.53	168		262	1.56	**
17.08.54	552		616	1.12	**
23.06.55	575		620	1.08	**
01.07.57	348		213	0.61	**
19.06.58	685		703	1.03	**
19.08.58	596		645	1.08	**
09.06.59	350		215	0.61	**
09.08.60	398		413	1.04	**
30.06.61	1170		1292	1.10	**
05.07.62	486		419	0.86	**
09.07.63	410		396	0.97	**
25.08.64	391		382	0.98	**
16.08.65	611		640	1.05	**
21.07.66	486		465	0.96	**
26.06.67	1062		1051	0.99	**
29.07.68	381		380	1.00	**
02.07.69	888		952	1.07	**
21.07.70	436		495	1.14	**
27.05.71	487		597	1.23	**
16.05.72	487		666	1.37	**
21.05.73	693		780	1.13	**
10.06.74	471		601	1.28	**
12.06.75	490		426	0.87	**
18.05.76	397		405	1.02	**
21.06.77	450		514	1.14	**
11.07.79	580		615	1.06	**
25.09.80	590		693	1.17	**
15.09.81	610		584	0.96	**
16.02.82	1542	1590		1.03	*
30.03.82	1297	1583		1.22	*
08.06.82	601	657		1.09	*
10.08.82	296	293		0.99	*
06.09.82	210		226	1.08	** ,x
26.10.82	367	521		1.41	*
07.12.82	340	475		1.40	*
10.03.83	740	990		1.34	*
19.03.83	1442	1812		1.26	*
29.06.83	408	577		1.41	*
17.08.83	721		755	1.05	** ,x
12.10.83	342	440		1.29	*
29.11.83	338	519		1.54	*
14.08.84	425		430	1.01	** ,x
04.09.84	345	424		1.23	*
01.04.85	1052	1469		1.40	*
04.06.85	629	532		0.85	*
10.07.85	493		568	1.15	** ,x
03.12.85	361	242		0.67	*
04.12.85	361	374		1.04	*
16.07.86	424		492	1.16	** ,x

Mittelwerte der Verhältnisse : ** = 1.06 , * = 1.20

DATENVERGLEICH VON OBERWASSERMESSTUNGEN
in der Elbe bei Neu Darchau (km 537), Oortkaten (km 607.5) und Bunthaus (km 610)

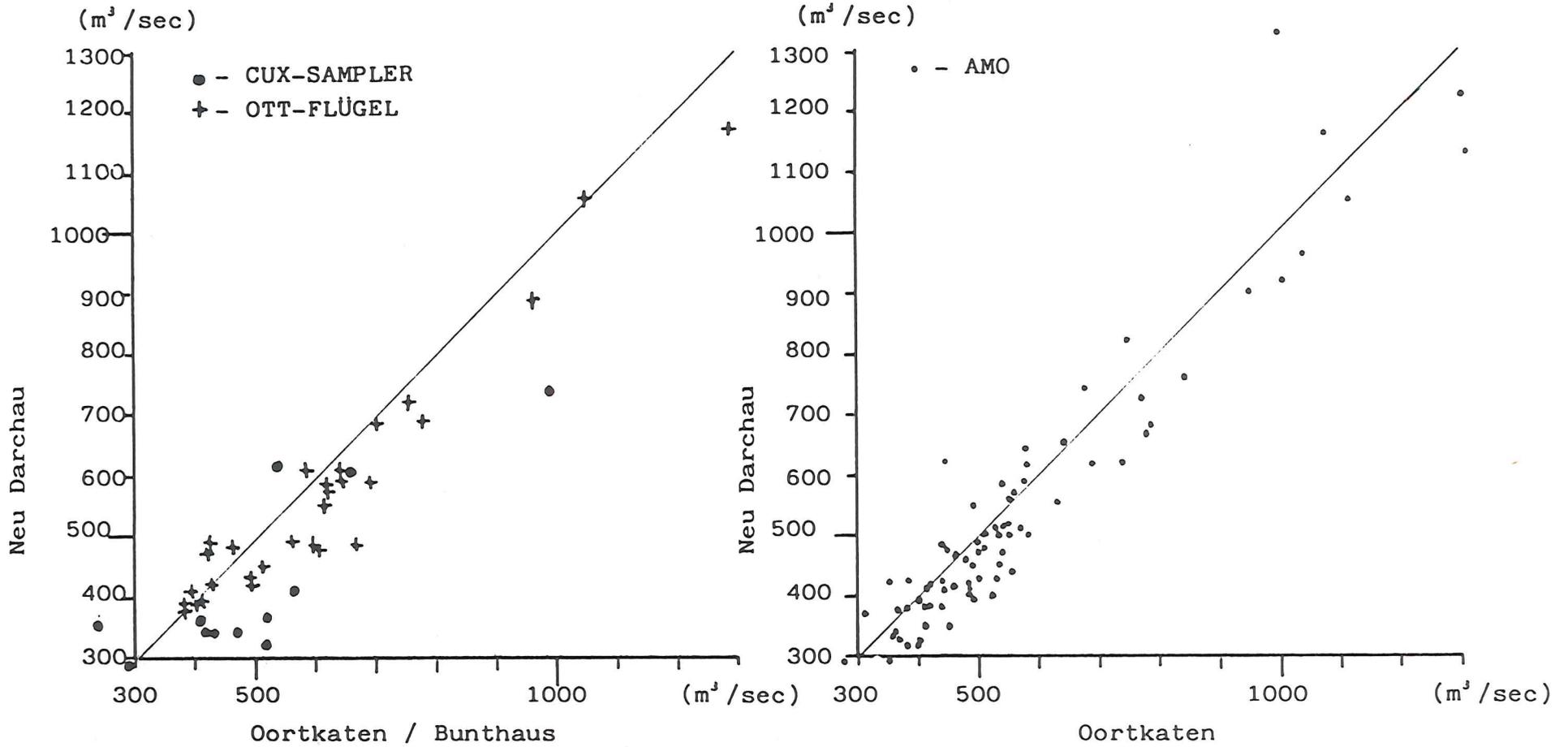


Abb. B.1.2

Abb. B.1.3

Abschnitt B.5). Der Datenvergleich in Tabelle B.1.2 zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Messungen mit dem CUX-SAMPLER und denen mit OTT-FLÜGELN. Da kein direkter Meßvergleich beider Systeme vorliegt, kann auch nicht entschieden werden, ob gerätetechnische, verfahrenstechnische oder Unterschiede bei den Berechnungsmethoden zu diesen Differenzen führen.

Verglichen mit den Ergebnissen der AMO zeigt sich, daß eine gute Übereinstimmung zu dem gefundenen Mittelwert der OTT-FLÜGEL-Meßvergleiche besteht. Für den Vergleich zu den Abflußmessungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, ergeben sich nun folgende Werte:

Mittelwert CUX-SAMPLER	:	1.20	(16 Vergleiche)
Mittelwert OTT-FLÜGEL	:	1.06	(32 Vergleiche)
Mittelwert AMO	:	1.04	(81 Vergleiche)

Dieses Ergebnis zeigt, daß die Strömungs- und Pegelmessungen sowie die für die Berechnung zugrunde gelegten Querschnittsflächen der AMO realistisch sind.

Eine genauere Aussage über die Zuflüsse zwischen Neu Darchau und der Stromspaltung vor dem Hamburger Hafen wird zukünftig die Meßanlage FLORA von Strom- und Hafengebäude ermöglichen, die kontinuierlich den Abfluß bei km 609 mißt.

Strömungsmessungen

Strömungsvergleichsmessungen mit dem CUX-Sampler und dem Meßsystem HYDRA der GKSS liegen vor. Eine statistische Auswertung ist jedoch nicht möglich, da als Vergleichsdaten nur drei Datensätze vorliegen. Hieraus eine Eichung

der AMO-Werte für den Zeitraum über zwei Jahre abzuleiten ist nicht möglich, da die Variationen der Meßergebnisse zu groß sind. Die geringe Anzahl von Vergleichswerten hat ihre Ursache in fehlerhaften Messungen verschiedener Parameter, so daß für einige Einzeldaten die Hochrechnung auf Tidenmittelwerte nicht möglich ist.

Suspendiertes Material

Als Verleich zur Messung der festen Inhaltsstoffe (Schweb- und Sinkstoffe) liegen Daten vom Institut für Hydrobiologie, Strom- und Hafengebäude, der ARGE-Elbe und der GKSS vor. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß Häufigkeit, Meßstrategie und Meßgeräte bei den Probenahmen und die Berechnungsmethoden aller Institutionen sehr unterschiedlich sind.

Ein Vergleich, der mit den Konzentrationswerten des Schwebstoffgehaltes vom Institut für Hydrobiologie der Universität Hamburg vorgenommen wurde, ergab bei 50 Vergleichen ein mittleres Verhältnis der AMO-Daten zu den Daten der Universität von :

1.13

Hierfür wurde für die Universitätsdaten als Wochenwert jeweils das übergreifende Mittel zweier wöchentlicher Proben genommen. Berücksichtigt man dabei die Laborfehler, die in beiden Fällen ca. +/-5 bis +/-10% betragen, so zeigt dieses Ergebnis eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Datensätzen.

Ein Vergleich zu weiteren Messergebnissen der o.a. Institutionen konnte im Rahmen dieser Auswertung aus Zeitgründen nicht durchgeführt werden und steht somit noch aus.

Begleitparameter

Als Begleitparameter wurden in den Jahren 1984-1986 u.a. die Parameter

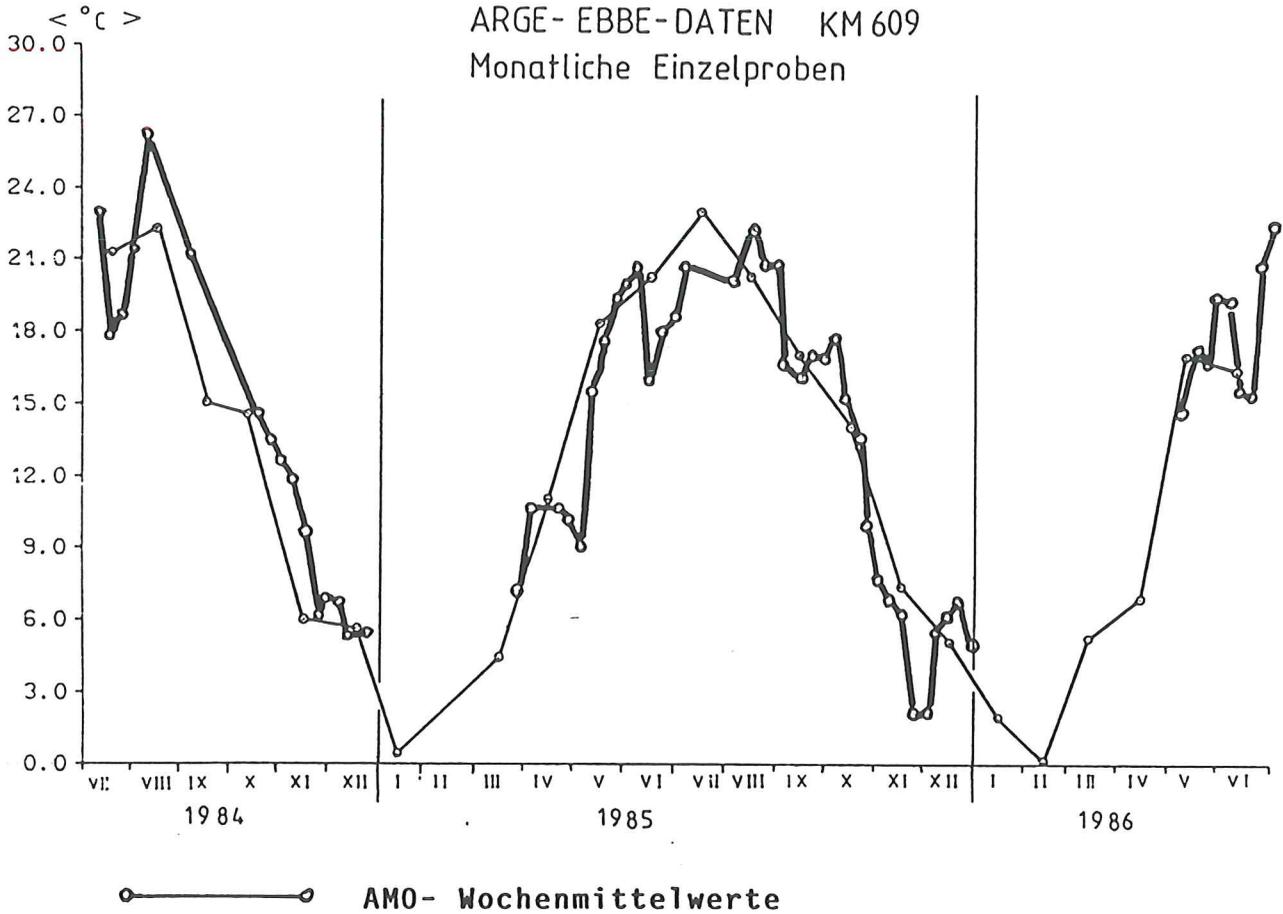
	Temperatur	(1)
	pH-Wert	(2)
	Sauerstoffgehalt	(3)
und	Glühverlustgehalt	(4)

ermittelt. Einen Vergleich dieser Meßergebnisse (Abb.:B.1.5) mit den Daten der monatlichen Beprobungen bei Stromkilometer 609 durch die ARGE-Elbe zeigt, daß die Parameter (1)-(3) in ihrer Größenordnung übereinstimmen. Die Abweichungen für den Parameter Glühverlust sind auf die unterschiedliche Probenahme zurückzuführen.

Anhand aller Vergleiche zeichnet sich ab, daß der Aufwand für die kontinuierliche Probenahme im Querschnitt Oortkaten nicht notwendig ist. Auf der anderen Seite zeigt sich jedoch, daß auch die Meßfrequenz von Wochen und Monaten zu gering erscheint. Um nun die Meßfrequenz an die natürlichen Fluktuationen anzupassen, ist eine statistische Auswertung der AMO-Daten notwendig, die jedoch im Rahmen dieser ersten Auswertephase nicht mehr erfolgen kann.

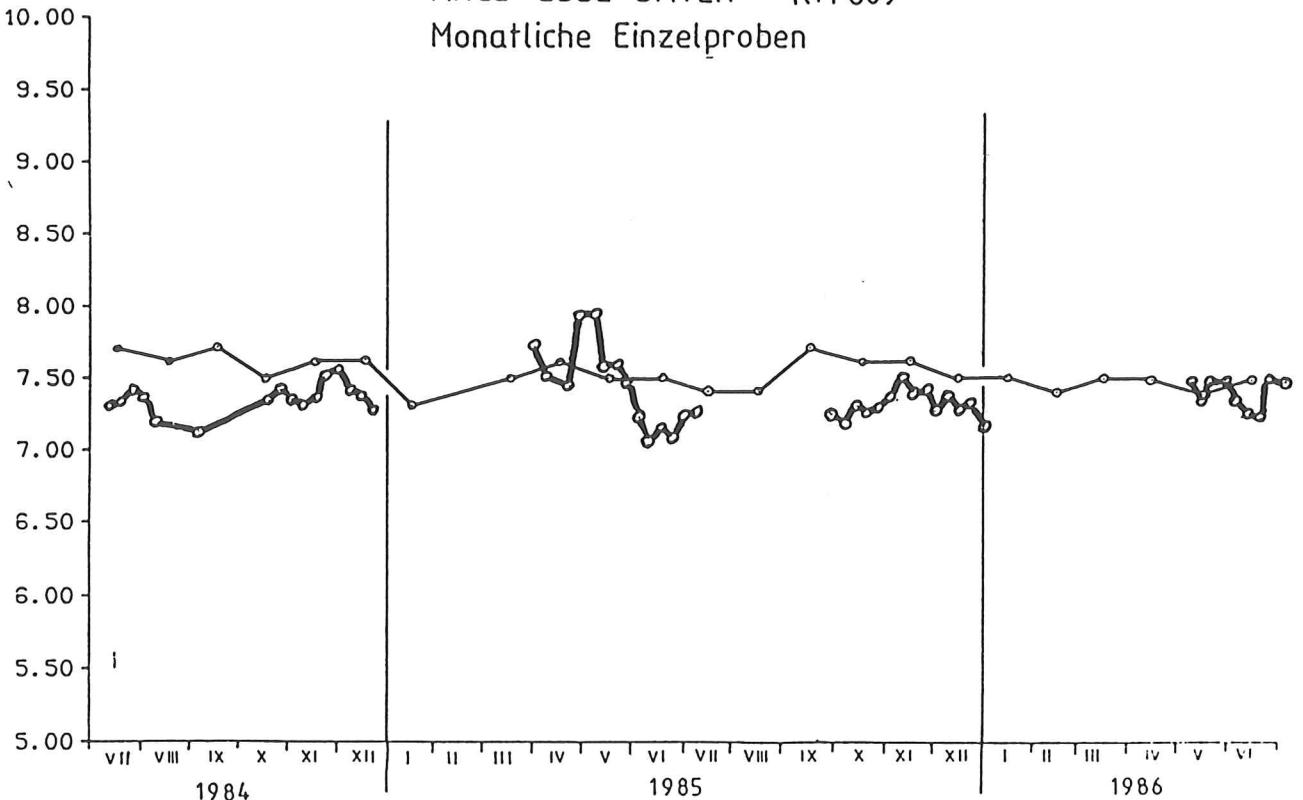
TEMPERATUR

ARGE-EBBE-DATEN KM 609
Monatliche Einzelproben



PH-WERT

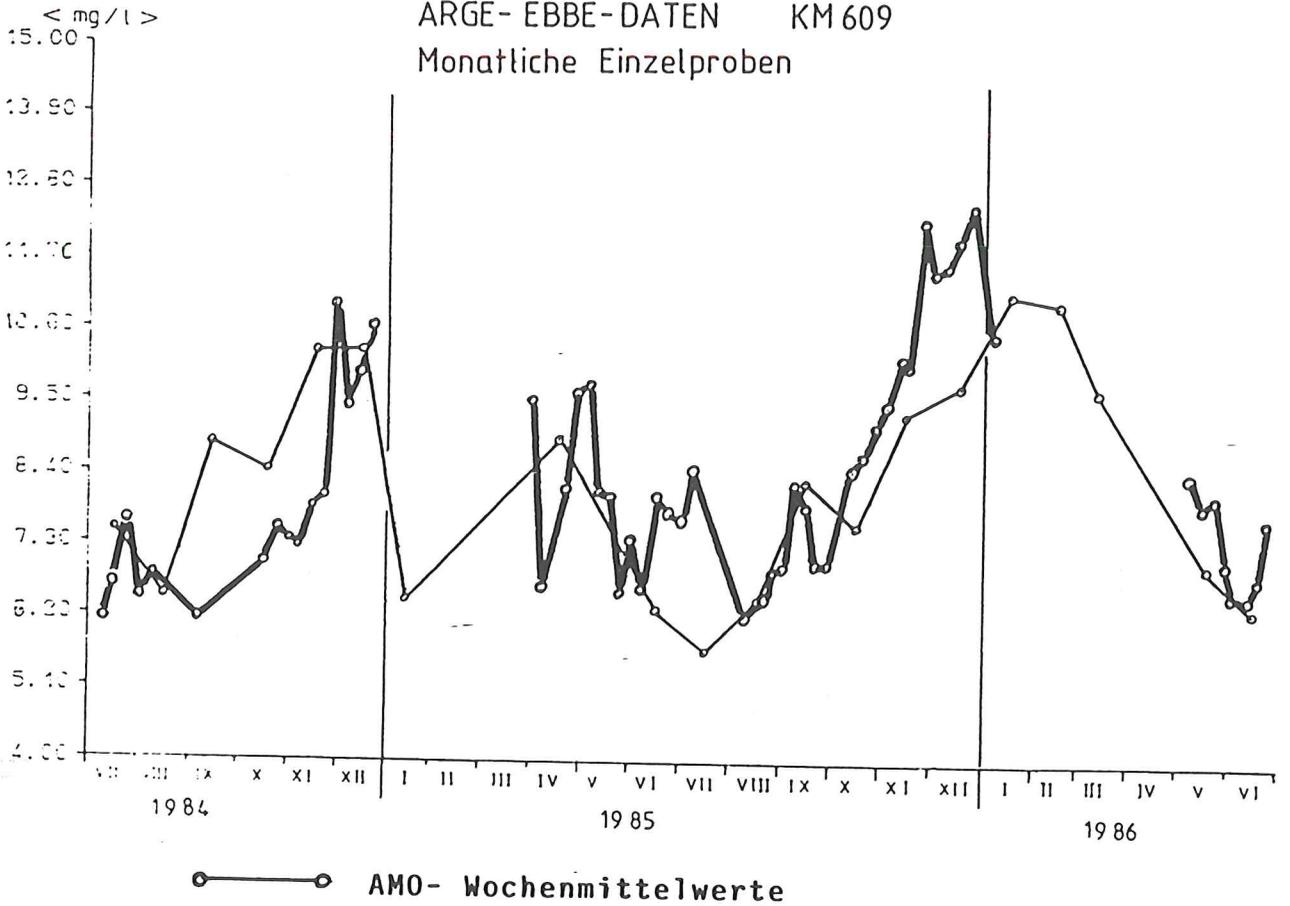
ARGE-EBBE-DATEN KM 609
Monatliche Einzelproben



SAUERSTOFF

ARGE-EBBE-DATEN KM 609

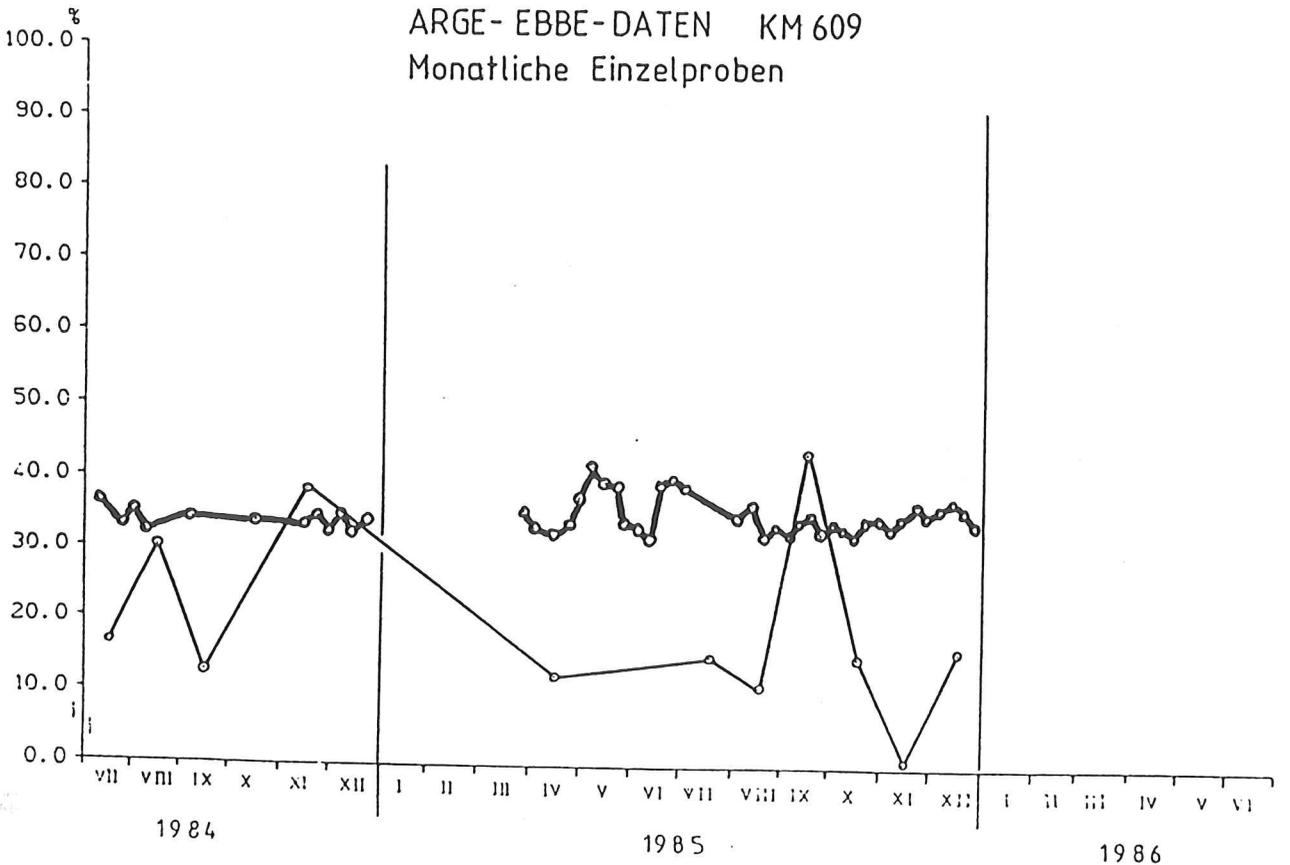
Monatliche Einzelproben



GLUEVERLUST

ARGE-EBBE-DATEN KM 609

Monatliche Einzelproben



B.1.1 Transportbetrachtungen

Inwieweit die Daten der AMO zur Berechnung von Wochen-, bzw. Jahresfrachten geeignet sind, soll im folgenden Abschnitt diskutiert und anhand eines Vergleichs mit anderen Datensätzen für das Jahr 1985 behandelt werden. Um hierfür zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen, wurden die Daten der AMO mit den Korrekturfaktoren beschickt, die im Abschnitt B.5 ermittelt werden.

Als Vergleich für derartige Betrachtungen können nur Daten dienen, die über lange Zeiträume erhoben wurden, um zufällige und natürliche Schwankungen im langfristigen Mittel für alle Datensätze zu erfassen. Die Ergebnisse des Vergleichs zeigt Tabelle B.1.1.1 .

Eine gute Übereinstimmung besteht zwischen den Daten der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und den Daten der AMO, während der Vergleich zu den Daten der ARGE-Elbe erheblich schlechter ausfällt. Der Grund hierfür scheint in der Probenahmetechnik und im Probenahmeintervall zu liegen. Verglichen wurden die *Wochenwerte* der AMO mit den anderen Datensätzen. Bei den ARGE-Elbe-Daten lag hierfür nur ein Wert pro Woche vor. Für den Vergleich mußte dieser daher als repräsentativ angenommen werden.

Da für diese ARGE-Elbe-Daten keine am Ort ermittelten Oberwasserwerte vorlagen, wurden die Werte vom Meßort Neu Darchau verwendet. Inwieweit der Tideeinfluß eine Rolle für Transportberechnungen spielt, zeigt der Unterschied

V E R H Ä L T N I S D E R F E S T S T O F F -
T R A N S P O R T E Z U D E N E N A N
D E R A M O

Woche	Oo/Zoll OW.OOrt	Oo/Zoll OW.ND	Oo/Gees	Oo/Hitz
1	2	3	4	5
8513	0.82	0.87	1.38	0.44
8514	1.17	1.10	1.37	0.73
8516	1.06	1.14	1.24	0.73
8517	0.92	1.02	1.86	1.24
8518	1.27	1.46	2.13	1.02
8519	0.99	0.90	1.19	0.78
8520	1.08	0.99	1.72	0.90
8521	1.00	0.97	1.90	0.75
8522	0.82	0.80	0.93	0.93
8523	2.01	2.10	1.58	0.97
8524	1.54	1.80	1.94	1.29
8525	1.97	2.09	1.44	1.12
8526	1.06	1.13	1.53	1.36
8527	1.67	1.81	1.88	1.32
8532	2.58	3.11	2.00	1.30
8533	1.47	1.46	1.33	0.68
8534	1.45	1.51	1.51	0.92
8535	2.29	2.34	2.17	1.44
8536	1.31	1.38	1.73	1.06
8537	1.26	1.35	2.06	1.19
8538	1.74	2.03	1.75	1.17
8539	1.36	1.37	1.50	0.98
8540	1.84	1.95	2.79	1.11
8541	1.87	2.12	2.35	1.31
8542	1.53	1.86	1.86	1.06
8543	1.18	1.27	1.42	0.65
8544	1.28	1.45	1.90	0.65
8545	1.02	0.85	1.19	0.51
8546	1.60	1.56	2.35	0.96
8547	2.06	1.74	2.62	0.70
8548	1.75	2.01	2.68	0.97
8549	1.61	1.64	0.94	0.58
8550	1.40	1.47	1.61	1.17
8551	0.82	0.78	1.06	0.87
Mittel	1.44	1.52	1.68	0.97

Ortsangaben (Strom-km):

Hitzacker 523
Geesthacht 585.9
Zollenspieker 589.7
Oortkaten 607.5

Messintervalle:

Hitzacker täglich
Geesthacht wöchentlich
Zollenspieker wöchentlich
Oortkaten kontinuierlich

Betreiber:

Hitzacker BfG
Geesthacht ARGE-Elbe
Zollenspieker ARGE-Elbe
Oortkaten KFKI

Spalte 1 - Messwoche AABB A-Jahr B-Woche

Spalte 2 - Verhältnis des Feststofftransportes in Oortkaten zu dem in Zollenspieker (berechnet mit dem Oberwasserwerten der AMO)

Spalte 3 - wie Sp.2 aber berechnet mit den Oberwasserwerten aus Neu Darchau

Spalte 4 - Verhältnis des Feststofftransportes in Oortkaten zu dem an der Meßstelle Geesthacht

Spalte 5 - Verhältnis des Feststofftransportes in Oortkaten zu dem in Hitzacker

der Vergleichswerte für Zollenspieker, für die zum einen mit dem Neu Darchauer Oberwasser, zum anderen mit dem Oortkatener Oberwasser gerechnet wurde. Eine Verbesserung der Verhältniszahl um 5% belegt, daß eine Berechnung von Transportraten mit Oberwasserwerten aus dem tidefreien Gebiet zu größeren Abweichungen der Ergebnisse führt, je weiter der Meßort stromab liegt.

Die gute Übereinstimmung mit den BfG-Daten aus Hitzacker ist bei genauerer Betrachtung nicht befriedigend, da es sich hierbei um Oberflächenproben aus Strommitte handelt, die eigentlich, ähnlich den ARGE-Elbe-Daten, zu geringeren Mengen führen mußten, als die Meßergebnisse in Oortkaten. Die anscheinend zu hohen Werte lassen sich nur begründen mit :

1. der Probenahmetechnik, die eine Erhöhung der Schwebstoffkonzentration bewirken müßte.
2. der Analysetechnik, die nicht die Trockensubstanz unter den gleichen Bedingungen bestimmt, wie die, die bei den Analysen der AMO-Proben Anwendung findet.
3. der Sedimentation von Schwebstoffen zwischen Hitzacker und Oortkaten. Diese Mengen würden dann zu Zeiten des Frühjahreshochwassers erodiert und zu erhöhten Schwebstofftransporten in diesem Zeitraum führen. (Zu diesen Zeiten wurde auf der AMO nicht gemessen.)

Alle drei Gründe lassen sich nicht abschließend klären und dienen hier ausschließlich dem Zweck, die gute Übereinstimmung der Transportmengen von Hitzacker und Oortkaten kritisch zu betrachten.

Transportraten

Transportraten werden in der Literatur unterschiedlich angegeben. In tidefreien Gebieten werden Mengen pro Tag, Monat oder Jahr angegeben; im Tidegebiet dagegen häufig als Menge pro Tide.

Um nun im Tidegebiet die Transportraten einzelner Tiden vergleichen zu können, ist ein Bezug auf eine Zeiteinheit notwendig. Die in Tabelle B.1.1.2 angegebenen Mengen beziehen sich deshalb auf den Transport pro Sekunde. Dieser rein theoretische Wert des "Nettotransportes" ist notwendig, um mit den Ergebnissen von Messungen im tidefreien Gebiet Vergleiche anstellen zu können, und um absolute Transportraten während einer Tide durch einen Querschnitt angeben zu können.

Die Tabelle B.1.1.2 zeigt Ergebnisse verschiedener Meßorte und Berechnungsverfahren. Die Angaben sind in kg/sec angegeben. Auf die Unterschiede der einzelnen Ergebnisse wurde schon eingegangen.

Ergänzend zu den Meßergebnissen wurden die Daten der Meßstation Oortkaten für eine Berechnung verwandt, die nach einer von CHRISTIANSEN (1985) aufgestellten, empirisch gewonnenen Formel durchgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser Berechnung, die lediglich das Oberwasser und die Temperatur zur Ermittlung der Schwebstoffkonzentration berücksichtigt korreliert nicht mit den Meßdaten nur nicht wieder, auch ein Trend der Transportwerte, der gewisse

Transportraten ermittelt aus Wochenmittelwerten

-----Transporte (Angabe der Trockensubstanz)-----

lfd.Nr	Wochenr. (JJWW)	Hitzacker (kg/sec)	Wehr-Geesth. (kg/sec)	Zollensp. (kg/sec)	Oortk.(AMO) (kg/sec)	Oortk.* (kg/sec)	Temp. (°C)	Qo-Neu Darch. (m3/sec)	Qo-Oortk. (m3/sec)
1	8513	62.2	20.0	33.6	27.9	18.9	7.1	1055	1107
2	8514	45.0	24.2	28.2	33.5	22.3	10.5	1156	1071
3	8516	37.5	22.1	25.9	27.8	21.4	10.9	964	1025
4	8517	31.9	21.2	42.8	40.0	15.0	10.2	760	827
5	8518	31.5	15.0	25.2	32.5	12.6	8.8	686	777
6	8519	31.2	20.5	24.6	24.7	18.6	15.5	822	738
7	8520	32.8	17.1	27.2	29.9	19.2	17.6	747	669
8	8521	28.6	11.3	21.5	21.8	17.9	19.2	596	572
9	8522	23.4	23.4	26.7	22.2	20.7	19.9	652	626
10	8523	20.4	12.5	9.8	20.2	18.3	20.5	524	537
11	8524	18.1	12.0	15.1	23.8	12.9	15.7	465	530
12	8525	19.8	15.4	11.2	22.5	14.2	17.9	483	502
13	8526	16.4	14.6	21.0	22.8	14.4	18.5	471	490
14	8527	18.6	13.1	14.7	25.1	18.1	20.4	505	536
15	8532	12.5	8.2	6.3	16.7	11.0	19.9	293	344
16	8533	22.9	11.7	10.6	16.0	18.6	22.2	510	496
17	8534	18.9	11.5	12.0	17.7	15.8	20.5	463	472
18	8535	17.4	11.6	11.0	25.5	13.9	20.5	416	414
19	8536	16.1	9.9	13.0	17.5	10.8	16.5	413	424
20	8537	12.5	7.2	11.7	15.2	9.7	16.0	379	396
21	8538	12.5	8.3	8.4	14.9	11.3	16.9	379	433
22	8539	12.0	7.9	8.6	12.1	9.6	16.9	377	368
23	8540	12.0	4.8	7.2	13.6	9.7	17.7	343	353
24	8541	11.2	6.3	7.9	15.1	8.4	15.0	332	366
25	8542	9.0	5.1	6.2	9.8	7.8	13.3	323	384
26	8543	11.8	5.4	6.5	7.9	5.7	9.8	339	356
27	8544	12.5	4.2	6.3	8.3	5.0	7.5	329	362
28	8545	14.4	6.1	7.1	7.6	3.7	6.7	344	278
29	8546	12.9	5.3	7.7	12.7	4.6	6.1	380	362
30	8547	13.6	3.6	4.6	9.8	3.3	2.0	369	305
31	8548	11.8	4.2	6.5	11.7	4.4	2.2	358	402
32	8549	18.6	11.6	6.7	11.1	5.2	5.7	415	413
33	8550	14.7	10.6	12.2	17.5	6.8	6.2	509	524
34	8551	20.7	17.1	22.1	18.4	7.7	6.7	611	573
35	8552	32.1			23.8	11.0	5.0	825	824
Mittelwerte		20.79	11.90	15.06	19.40	12.29	13.3	531	539

* Berechnete Werte nach der Formel von CHRISTIANSEN (1985)

Abhängigkeiten zwischen den Daten erkennen ließe, kann nur andeutungsweise erkannt werden, wie Abbildung B.1.1.3 zeigt.

Eine Abschätzung der Jahresfracht für 1985 kann für die verschiedenen Meßorte nur für den gleichen Datensatz abgeschätzt werden. Es werden daher die in der Tabelle B.1.1.2 aufgezeigten Zeiträume genommen und die Werte gemittelt.

Der so berechnete Mittelwert ist sicherlich für die Berechnung der Jahresfracht nicht repräsentativ, da die Zeiten der Frühjahrhochwässer nicht mit erfaßt wurden.

Jahresfrachten für 1985

<i>Meßort</i>	<i>Menge in Tonnen</i>
<i>Hitzacker</i>	<i>666.071</i>
<i>Wehr Geesthacht</i>	<i>364.619</i>
<i>Zollenspieker</i>	<i>461.561</i>
<i>Oortkaten</i>	<i>612.082</i>
<i>Oortkaten (berechnet nach der Formel v. CHRISTIANSEN)</i>	<i>387.577</i>

Betrachtet man aber die Zahlen, die sich aus einer anderen Berechnung für einige Meßstellen ergibt (hier wurden die Daten des gesamten Jahres 1985 benutzt), so zeigt sich eine gute, faßt überraschende Übereinstimmung:

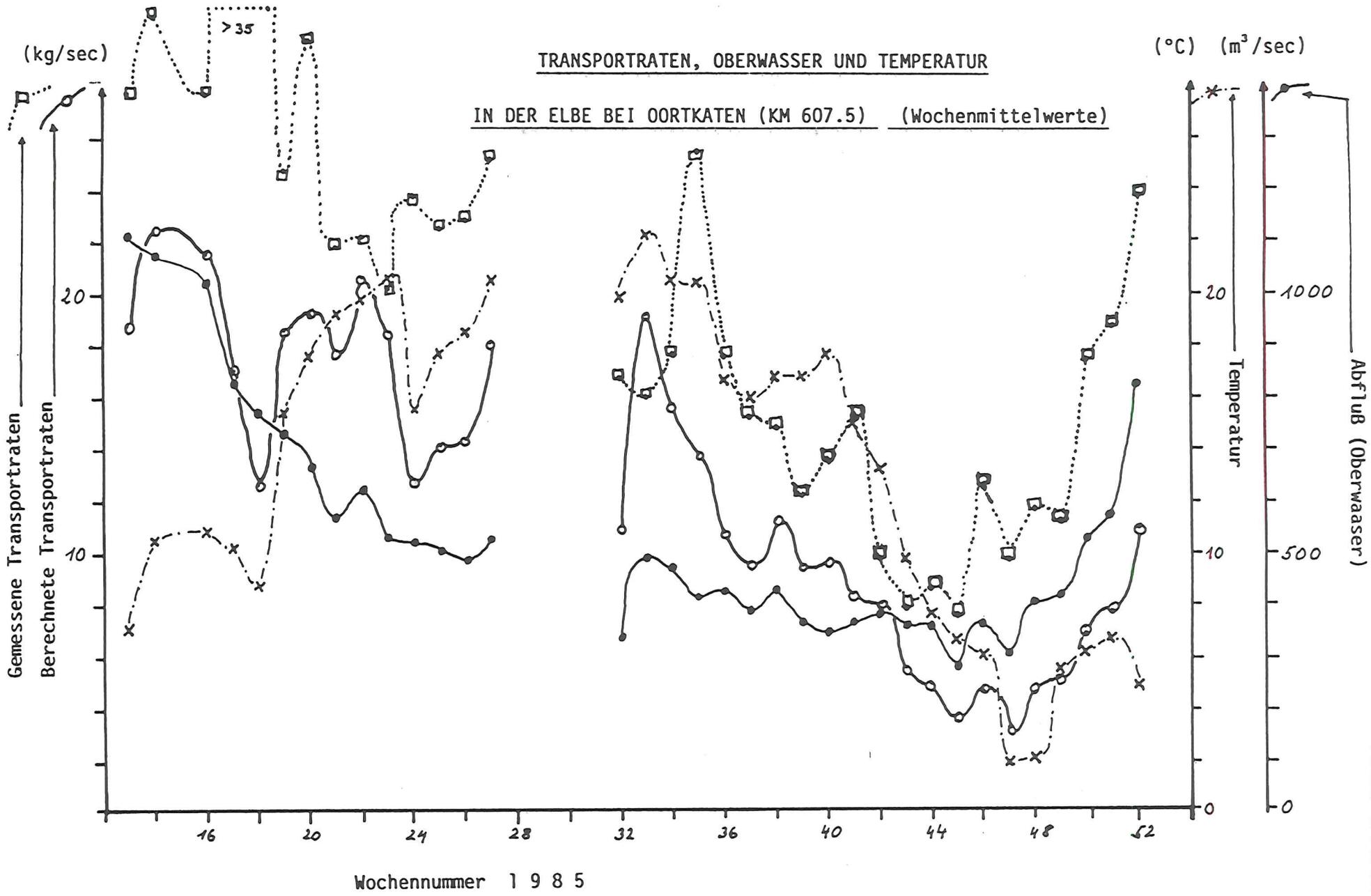


Abb. B.1.1.3

Daten aus: Daten u.Fakten z.Frage d.Verschlickung des
Staupraumes Geesthacht (unveröffentl.Ber.GKSS
NEUMANN,L.J.R./FANGER,H.-U.; 1987)

<i>Meßort</i>	<i>Menge in Tonnen</i>
<i>Hitzacker</i>	<i>633.828</i>
<i>Wehr Geesthacht</i>	<i>391.641</i>
<i>Zollenspieker</i>	<i>492.559</i>

Auf eine Interpretation dieser Ergebnisse kann hier nicht eingegangen werden. Die Hypothesen, die GREISER (1987) und CHRISTIANSEN (1987) zu dieser Frage entwickelt haben, sind meßtechnisch noch nicht belegt, und werden auch solange offen bleiben, bis eine langfristig und großräumig angelegte Meßkampagne in der Oberelbe oder eine hydrodynamisch-numerische Behandlung zu einer Klärung dieser Frage führen wird.

B.2. Korrelationsberechnungen

Für die Korrelationsberechnungen werden nur die Wochenmittelwerte bzw. die Transporte pro Sekunde für die Wochenmittelwerte betrachtet, da die Abweichungen zu den Tidewerten sehr gering sind.

Die Wochenmittelwerte ergeben für die Parameter Durchfluß und Geschwindigkeit eine sehr positive Korrelation, für die Konzentration des suspendierten Materials und der Attenuation eine stark bis schwach positive Korrelation (Abb.B.2.4). Unter starken Korrelationen wird hier eine Korrelation mit einem hohen Korrelationskoeffizienten verstanden. Eine positive Korrelation liegt vor, wenn die betrachteten Parameter sich proportional zueinander verhalten; eine negative, wenn sie sich umgekehrt proportional zueinander verhalten.

Die allgemein nur schwach positive Korrelation bei Flut läßt sich z.T. mit der erheblich niedrigeren und auch ungleichmäßigeren Flutströmungsgeschwindigkeit erklären. Die Zusammensetzung des suspendierten Materials ist ebenfalls anders (siehe Abschnitt B.3.Korngrößenuntersuchung). Für die Parameter Temperatur und Sauerstoff zeigt sich eine deutliche negative Korrelation. Weitere Zusammenhänge sind für die Wochenmittelwerte nicht zu erkennen. Dies verdeutlichen auch die Tabellen der Korrelationskoeffizienten (Abb.B.2.22-B.2.25).

Aussagekräftiger sind die Korrelationsberechnungen für die

Transporte pro Sekunde im Wochenmittel. Bei diesen Korrelationen handelt es sich ausschließlich um positive Korrelationen. Es korrelieren die Parameter Wärme und Glühverlust, sowie Sauerstoff und Glühverlust relativ stark miteinander (Abb.B.2.11-B.2.13). Mit dem suspendierten Material korrelieren jeweils Wärme, Durchfluß, Geschwindigkeit, Glühverlust und Sauerstoff. Auffällig sind hier die sehr schwachen Korrelationen nahe Null der Ebbe- Werte für die Parameter Glühverlust zu Sauerstoff, suspendiertes Material zur Geschwindigkeit und zum Sauerstoff bei gleichzeitig deutlich positiven Korrelationen für die Flut- oder Tide- Werte (s. Abschn. B.4 Ebbe- Flut- Vergleich).

Deutlich wird bei diesen Betrachtungen, daß - zumindest für die Flut- und Tide- Werte - eine Wechselbeziehung zwischen den Parametern Glühverlust, Konzentration des suspendierten Materials, Temperatur und Sauerstoff bestehen: Wächst der biologische Anteil am Schwebstoff, dann steigt auch die Konzentration des suspendierten Materials insgesamt und umgekehrt. Hier kann also eine enge Beziehung zwischen dem mineralischen Anteil am Schwebstoffmaterial und der Biomasse angenommen werden, wobei die entscheidende Rolle wahrscheinlich nicht der Gewichtsanteil des suspendierten Materials spielt, sondern das Schwebstoffvolumen (GREISER, 1985/1987).

Der lebende biologische Anteil seinerseits steigt bei höherem Sauerstoffgehalt und bei höherer Temperatur an,

wobei sich die Parameter Sauerstoff und Temperatur umgekehrt proportional zueinander verhalten.

Die folgenden Abbildungen (Abb. B.2.1-B.2.21) zeigen die Korrelationsdiagramme ausgewählter Parameter der Meßstation Oortkaten mit Angabe des Korrelationskoeffizienten. Teilweise ist zur Verdeutlichung die Korrelationsgerade eingezeichnet. Die Konzentration des suspendierten Materials wird in den folgenden Graphiken mit SM bezeichnet.

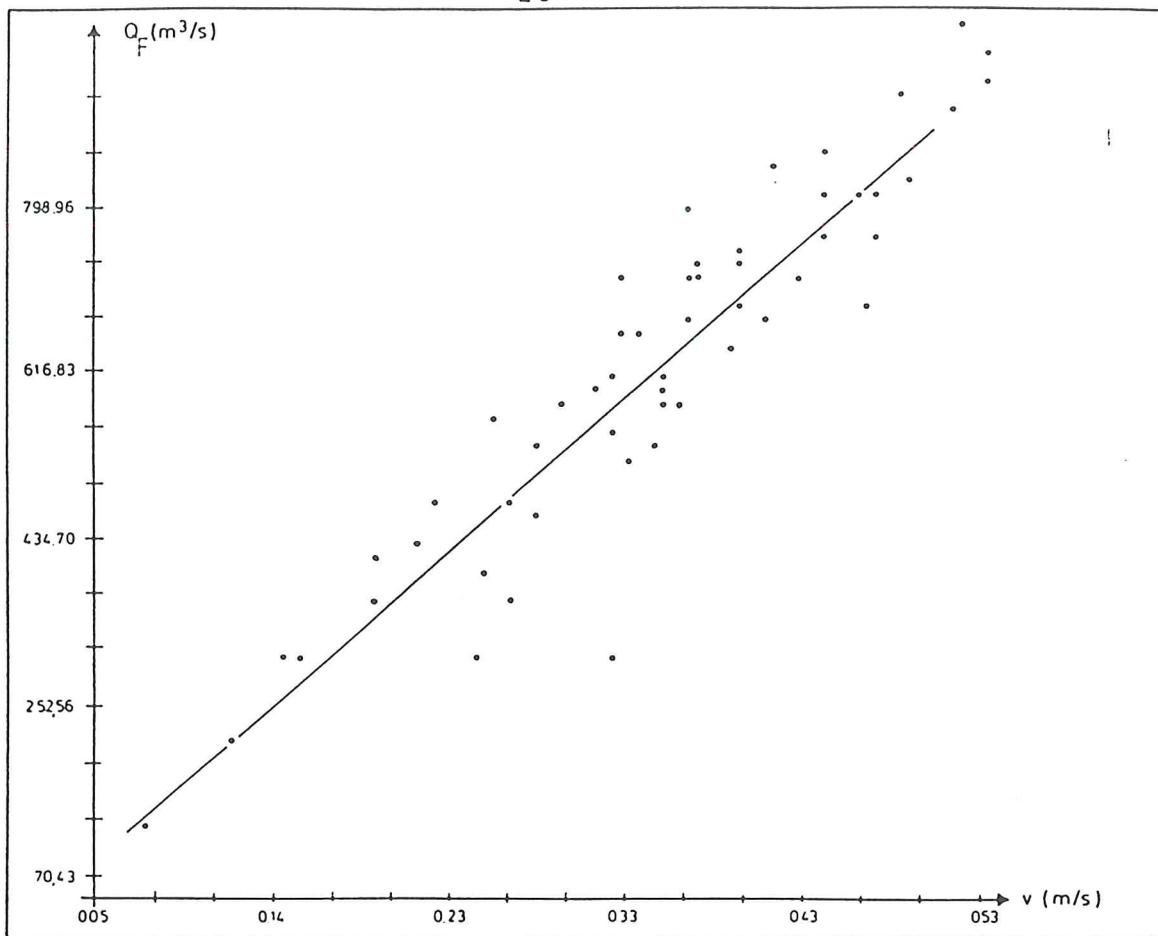


Abb.B.2.1 Wochenmittelwerte für mittlere Flut. Durchfluß und Geschwindigkeit.
Korrelationskoeff. = 0,95

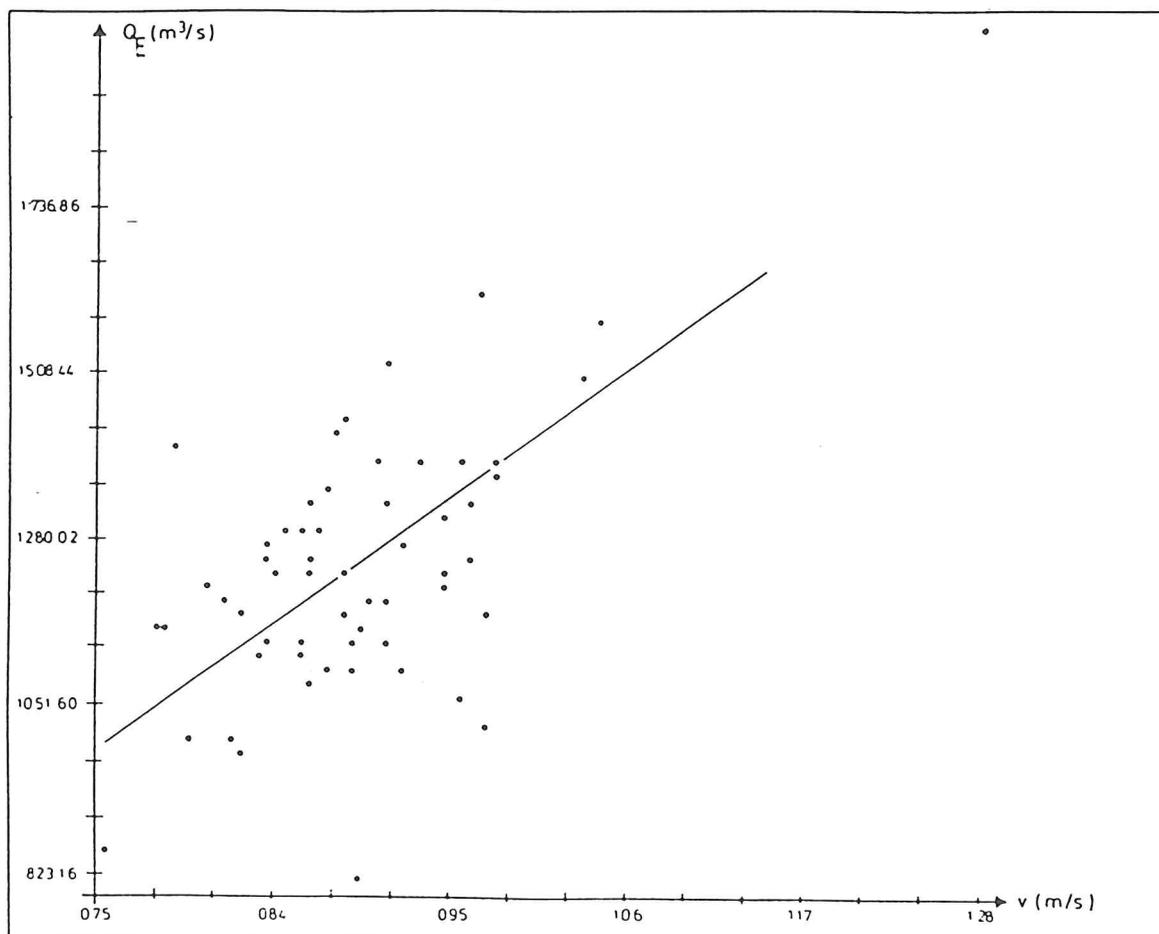


Abb.B.2.2 Wochenmittelwerte für mittlere Ebbe. Durchfluß und Geschwindigkeit.
Korrelationskoeff. = 0,73

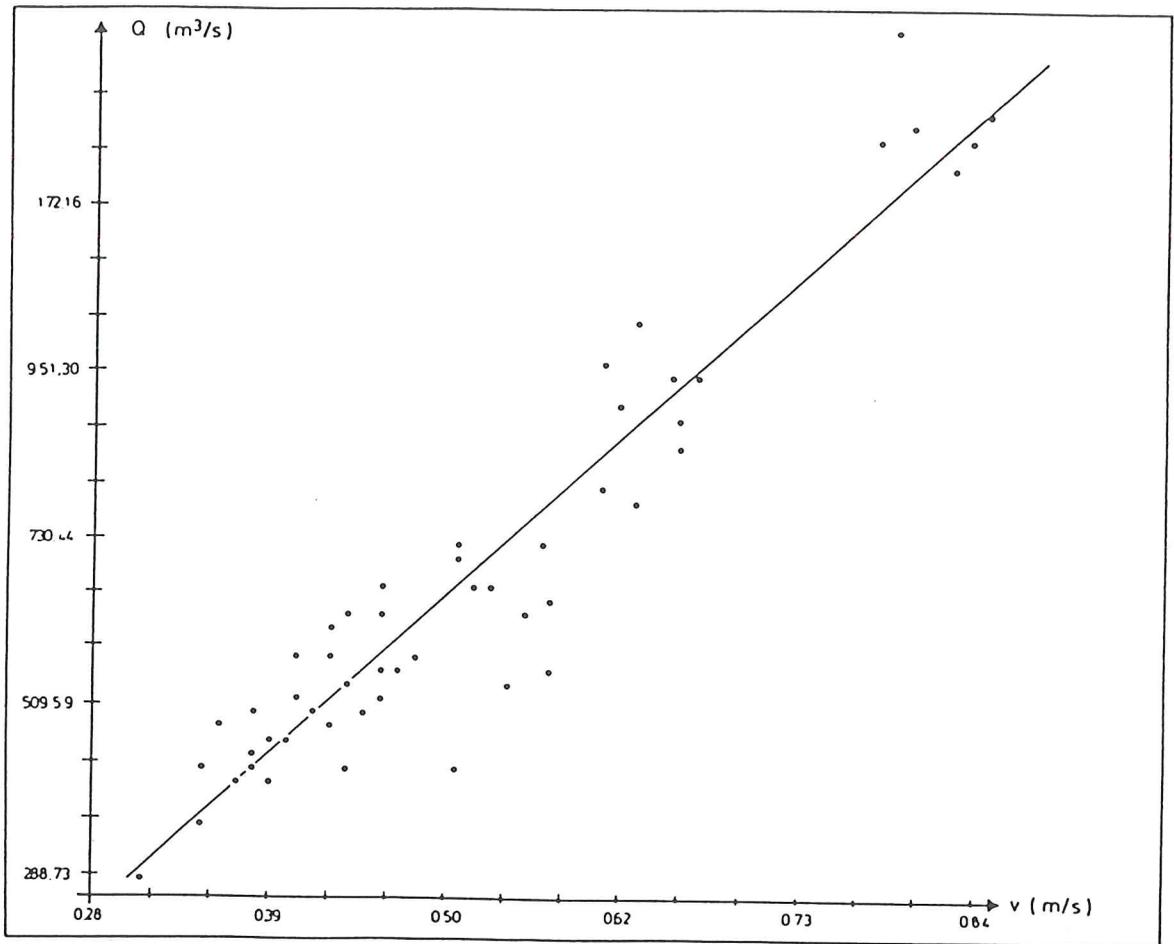


Abb.B.2.3 Wochenmittelwerte für mittlere Tide. Durchfluß und Geschwindigkeit. Korrelationskoeff. = 0,95

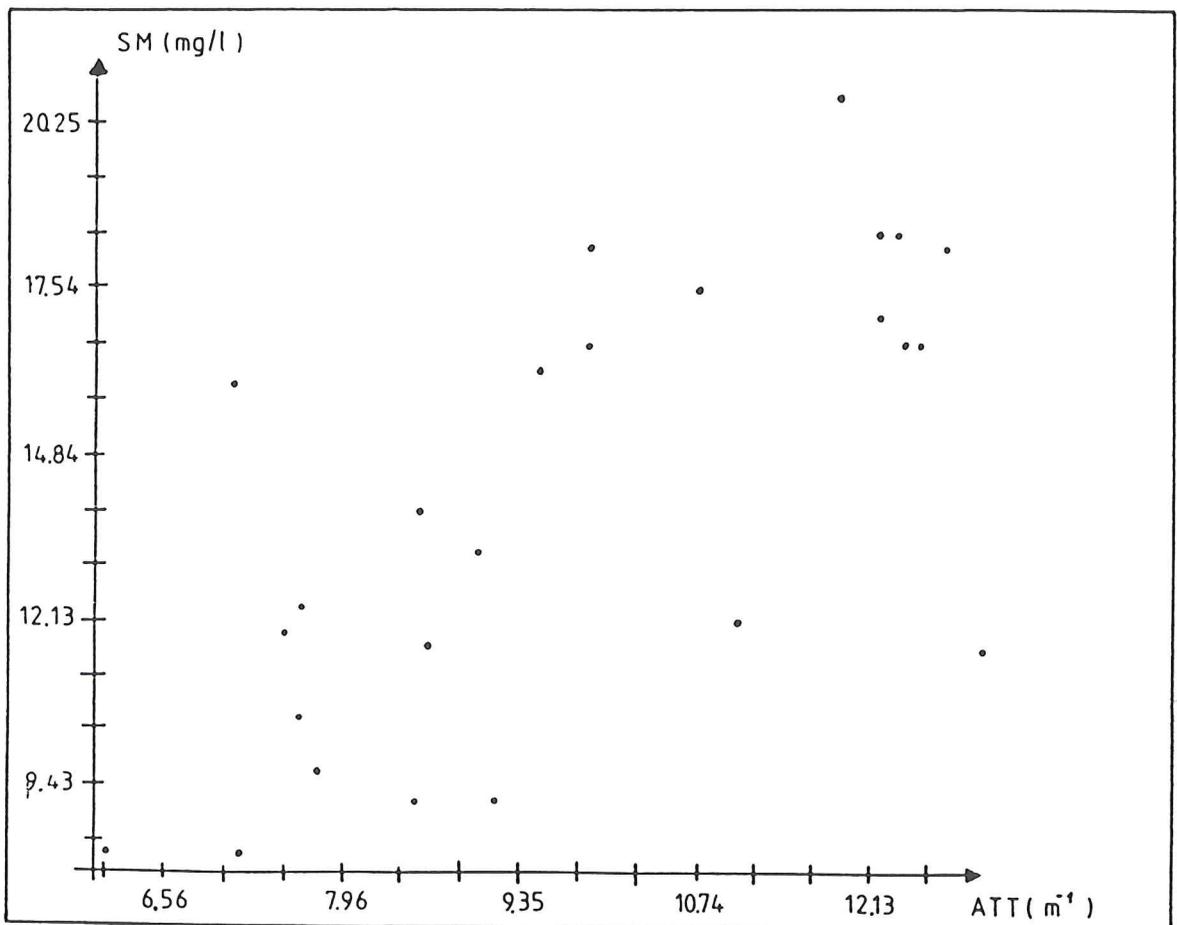


Abb.B.2.4 Wochenmittelwerte für mittlere Flut. Susp. Material und Attenuation. Korrelationskoeff. = 0,51

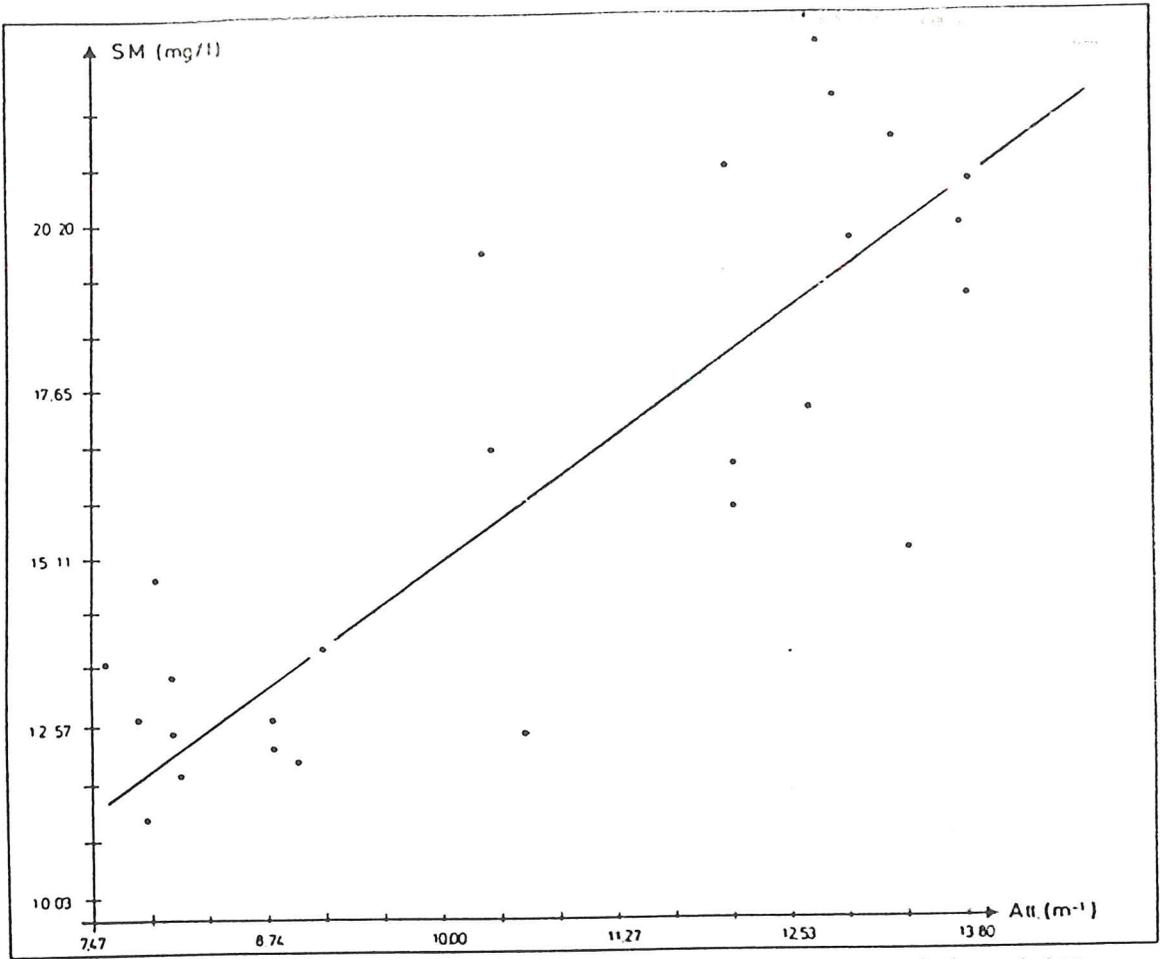


Abb.B.2.5 Wochenmittelwerte für mittlere Ebbe. Susp. Material und Attenuation. Korrelationskoeff. = 0,85

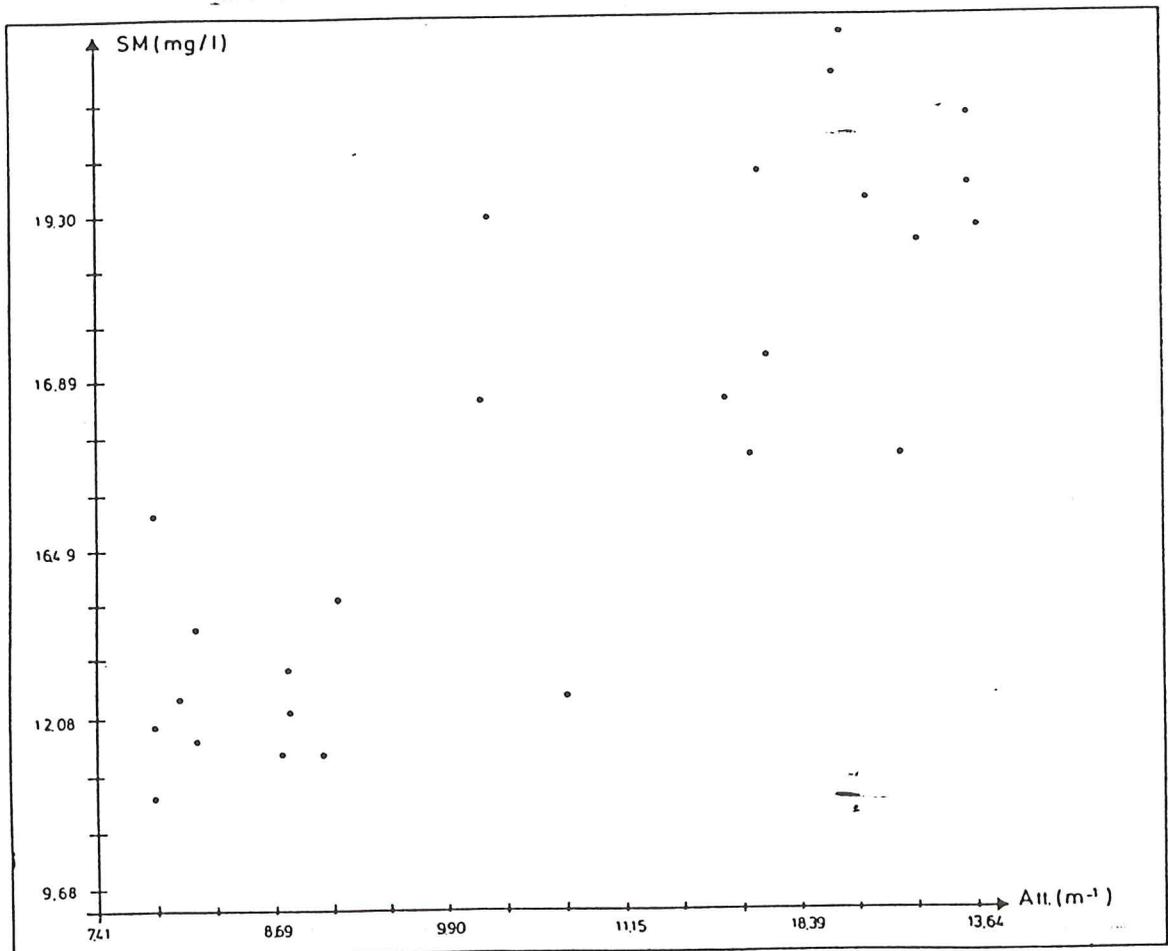


Abb.B.2.6 Wochenmittelwerte für mittlere Tide. Susp. Material und Attenuation. Korrelationskoeff. = 0,86

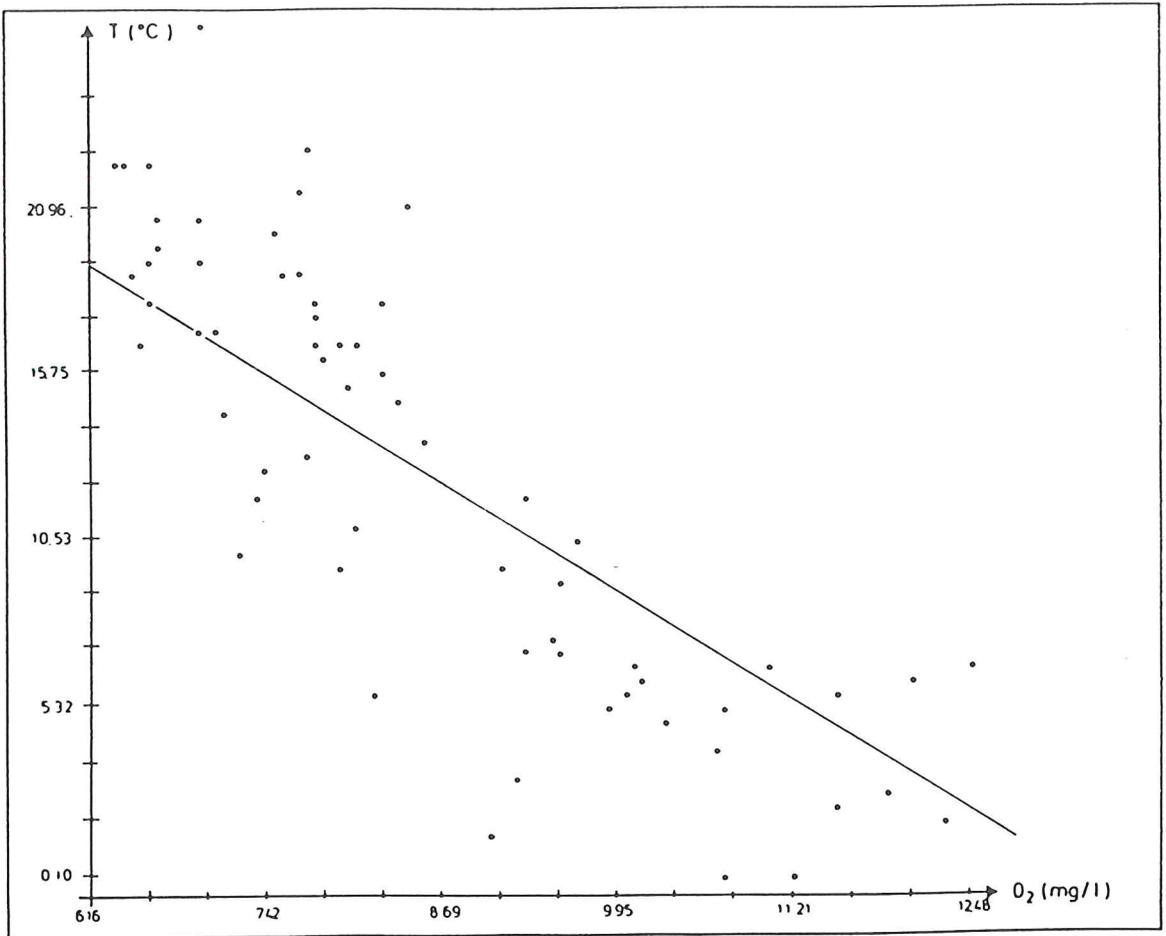


Abb.B.2.7 Wochenmittelwerte für mittlere Flut. Temperatur und Sauerstoff.
Korrelationskoeff. = 0,79

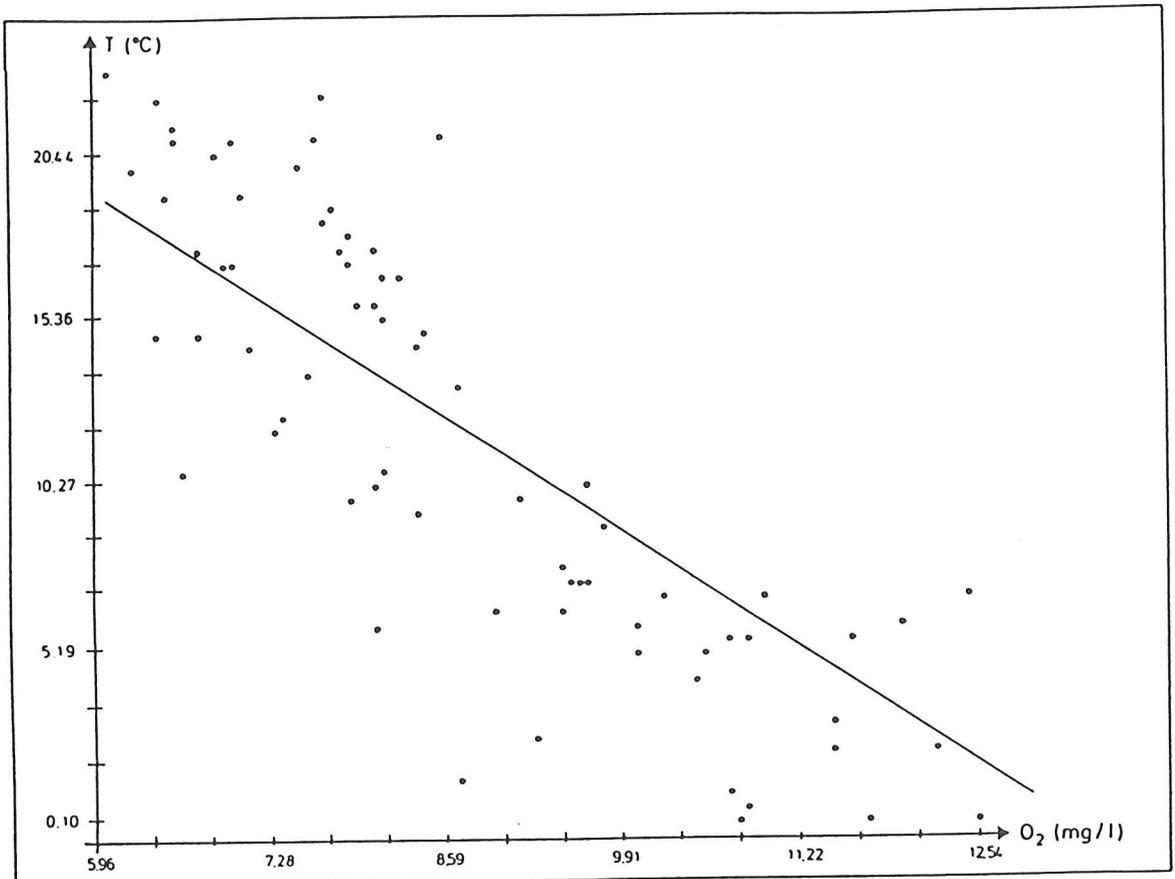


Abb.B.2.8 Wochenmittelwerte für mittlere Ebbe. Temperatur und Sauerstoff.
Korrelationskoeff. = 0,68

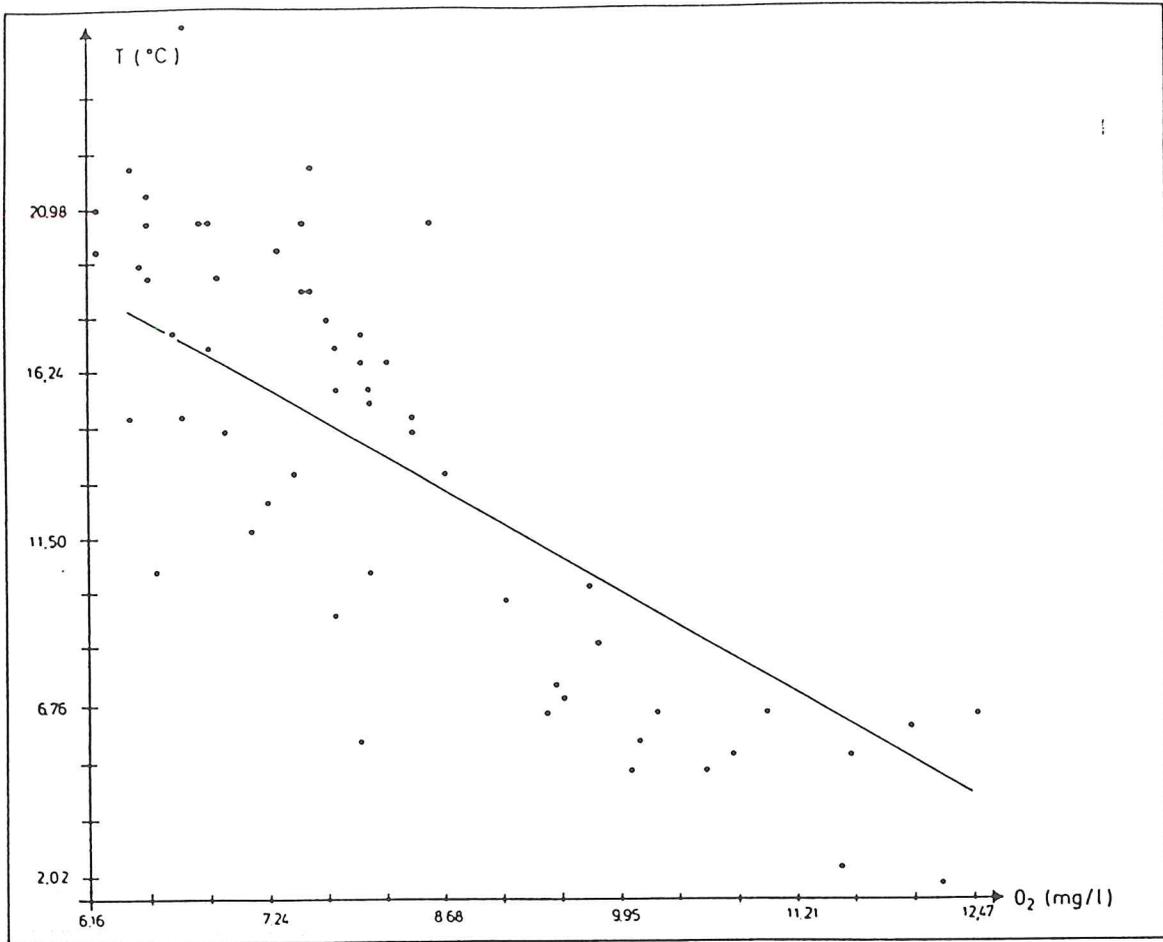


Abb.B.2.9 Wochenmittelwerte für mittlere Tide. Temperatur und Sauerstoff. Korrelationskoeff. = 0,62

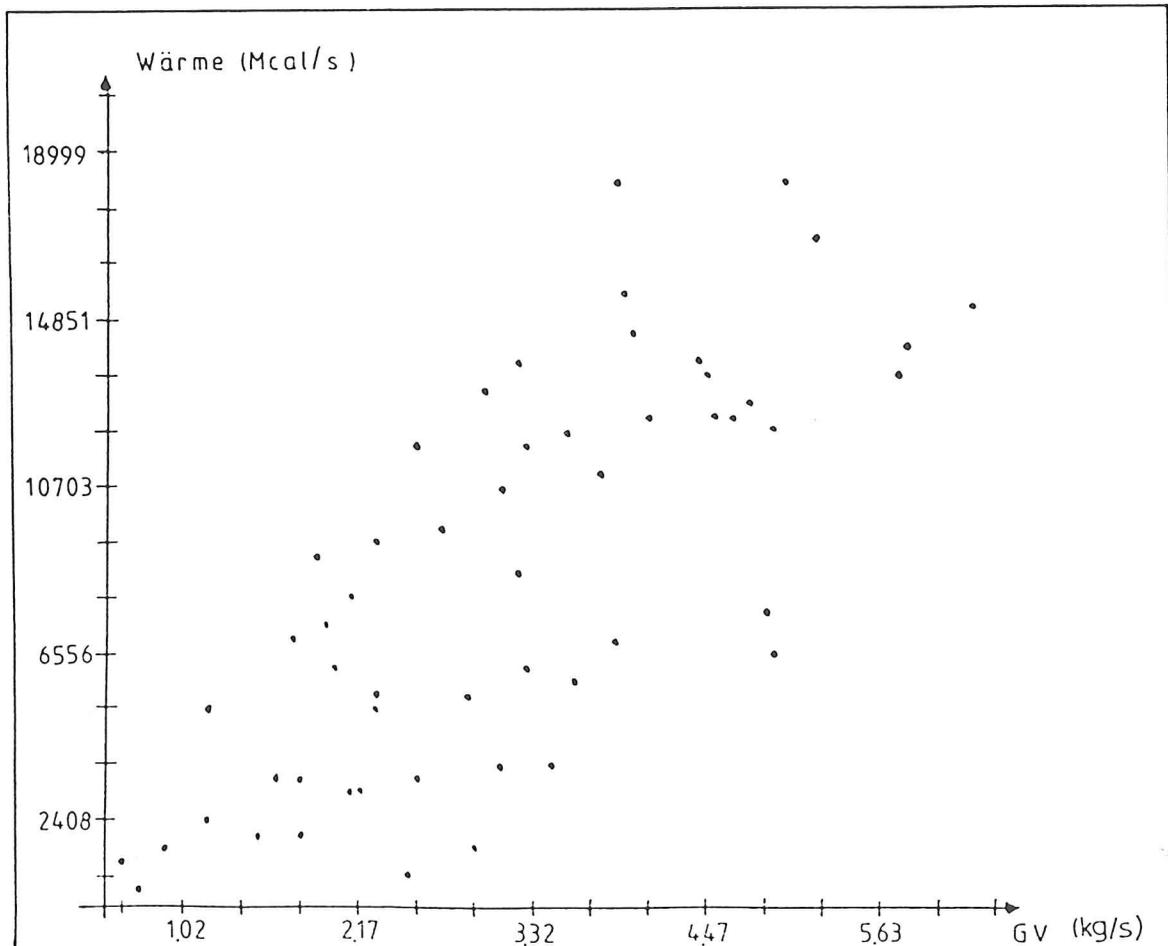


Abb.B.2.10 Transporte pro Sekunde für Flut, Wochenmittel. Wärme und Glühverlust. Korrelationskoeff. = 0,81

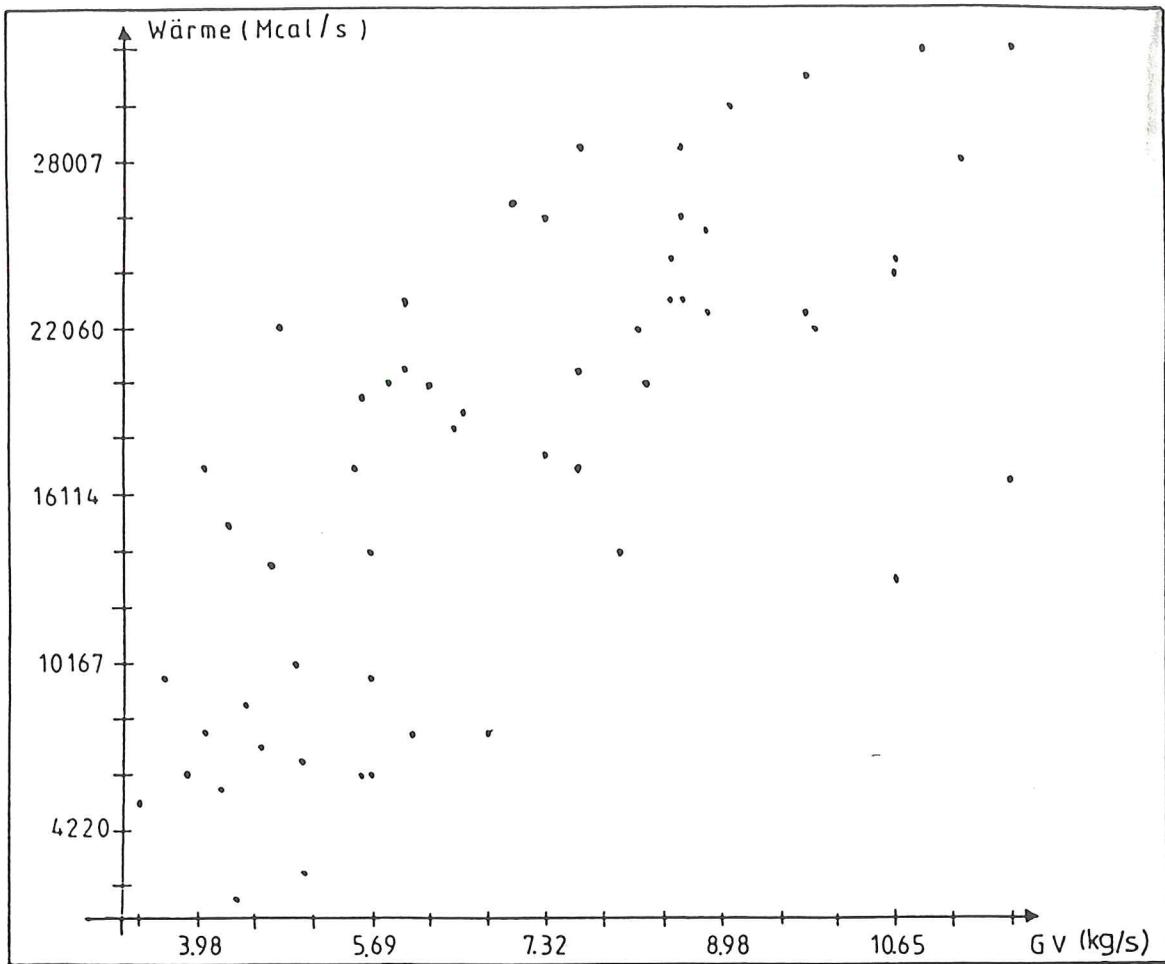


Abb.B.2.11 Transporte pro Sekunde für Ebbe, Wochenmittel. Wärme und Glühverlust. Korrelationskoeff. = 0,73

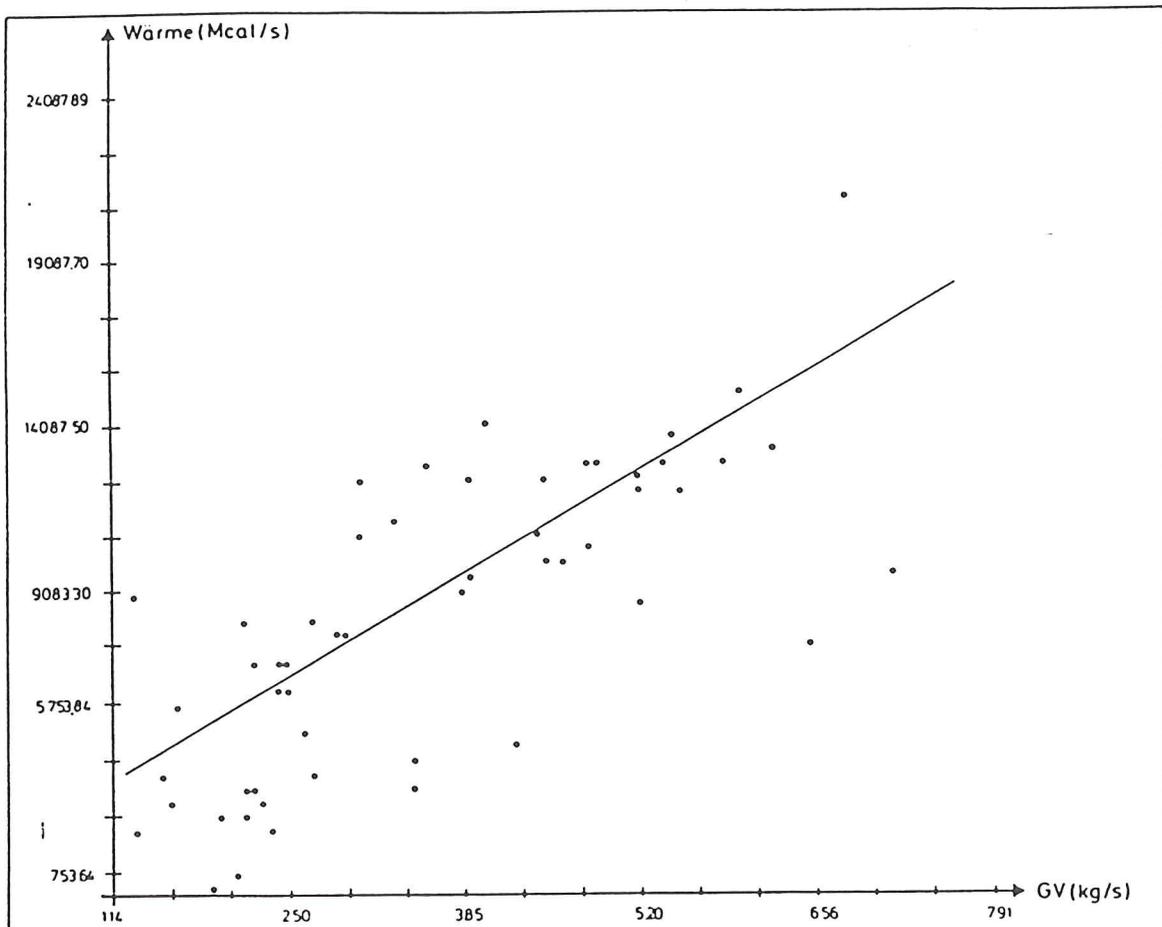


Abb.B.2.12 Transporte pro Sekunde für Tide, Wochenmittel. Wärme und Glühverlust. Korrelationskoeff. = 0,80

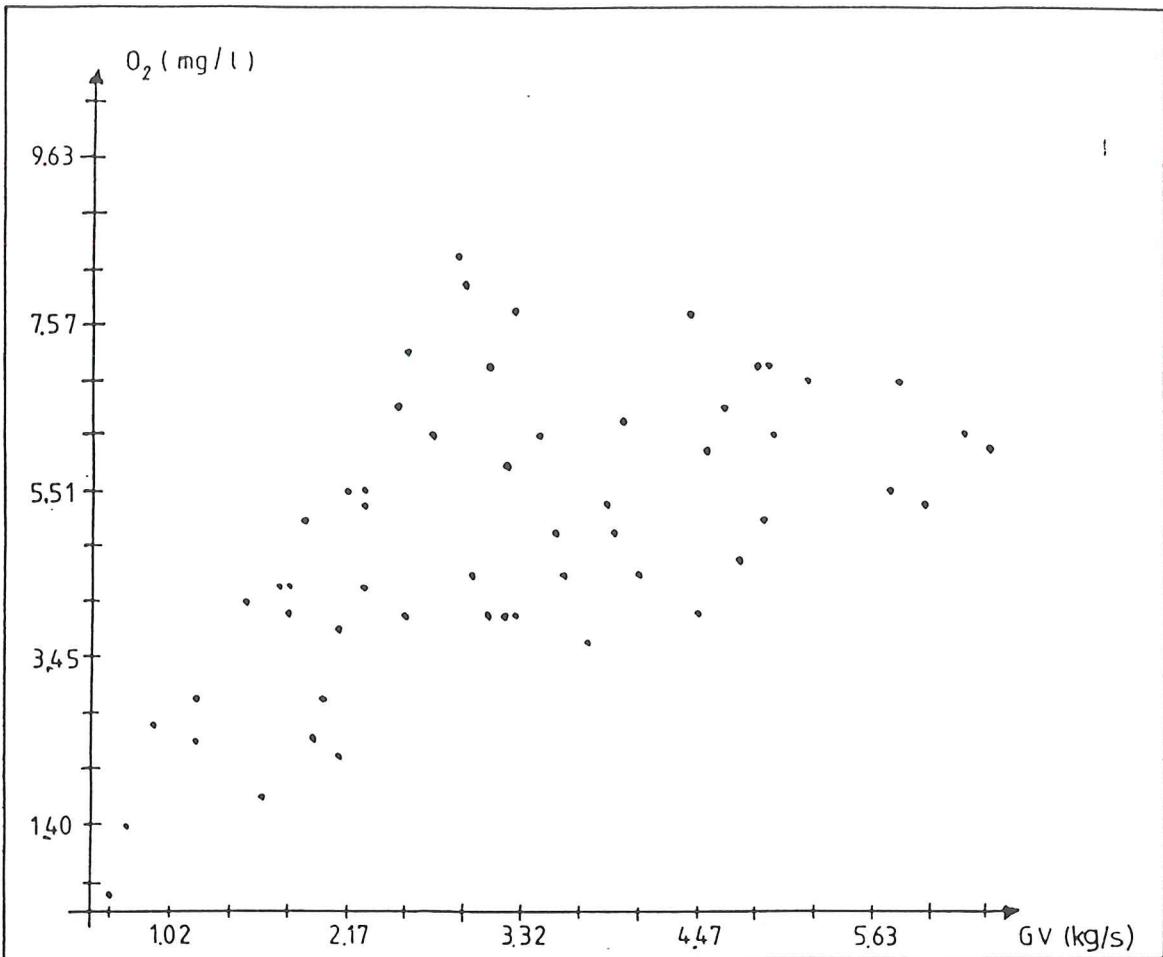


Abb.B.2.13 Transporte pro Sekunde für Flut, Wochenmittel. Sauerstoff und Glühverlust. Korrelationskoeff. = 0,62

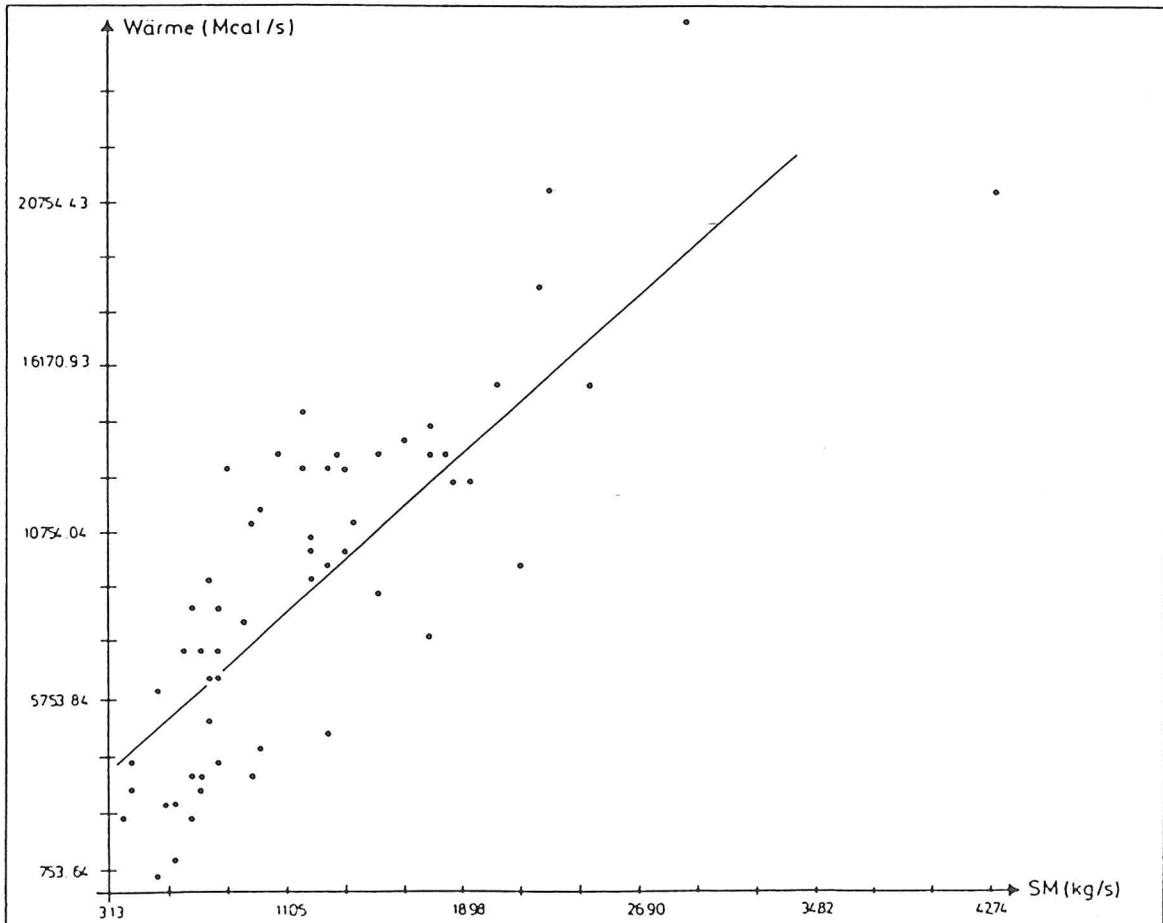


Abb.B.2.14 Transporte pro Sekunde für Tide, Wochenmittel. Wärme und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,84

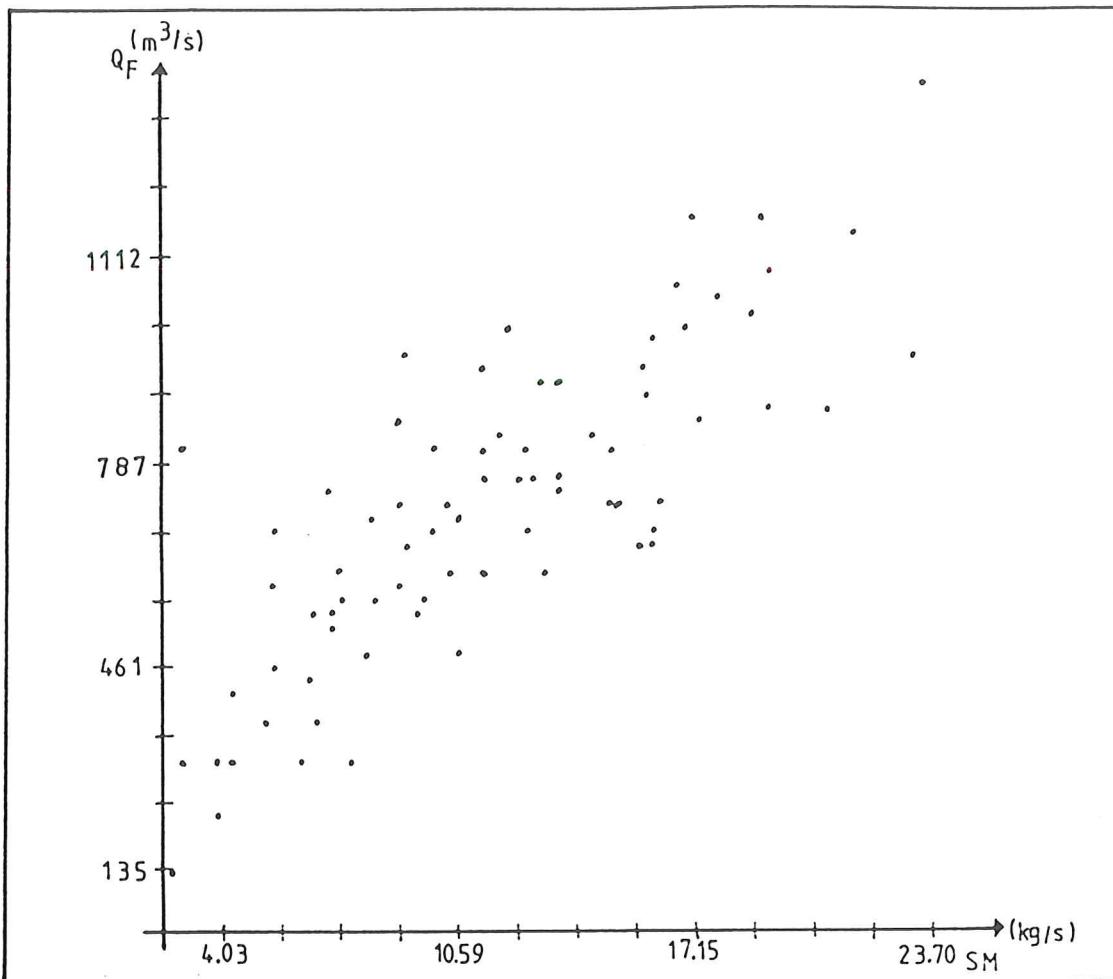


Abb.B.2.15 Transporte pro Sekunde für Flut, Wochenmittel. Durchfluß und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,83

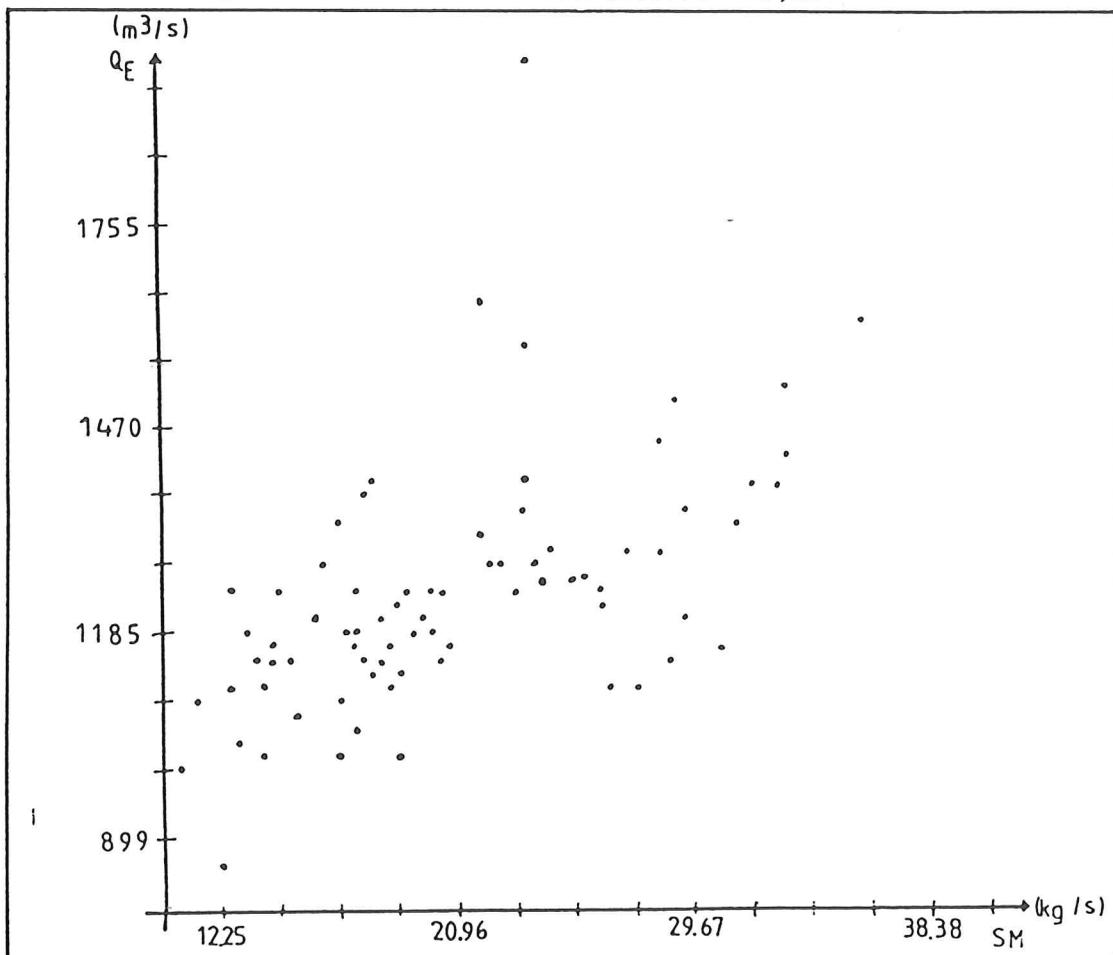


Abb.B.2.16 Transporte pro Sekunde für Ebbe, Wochenmittel. Durchfluß und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,65

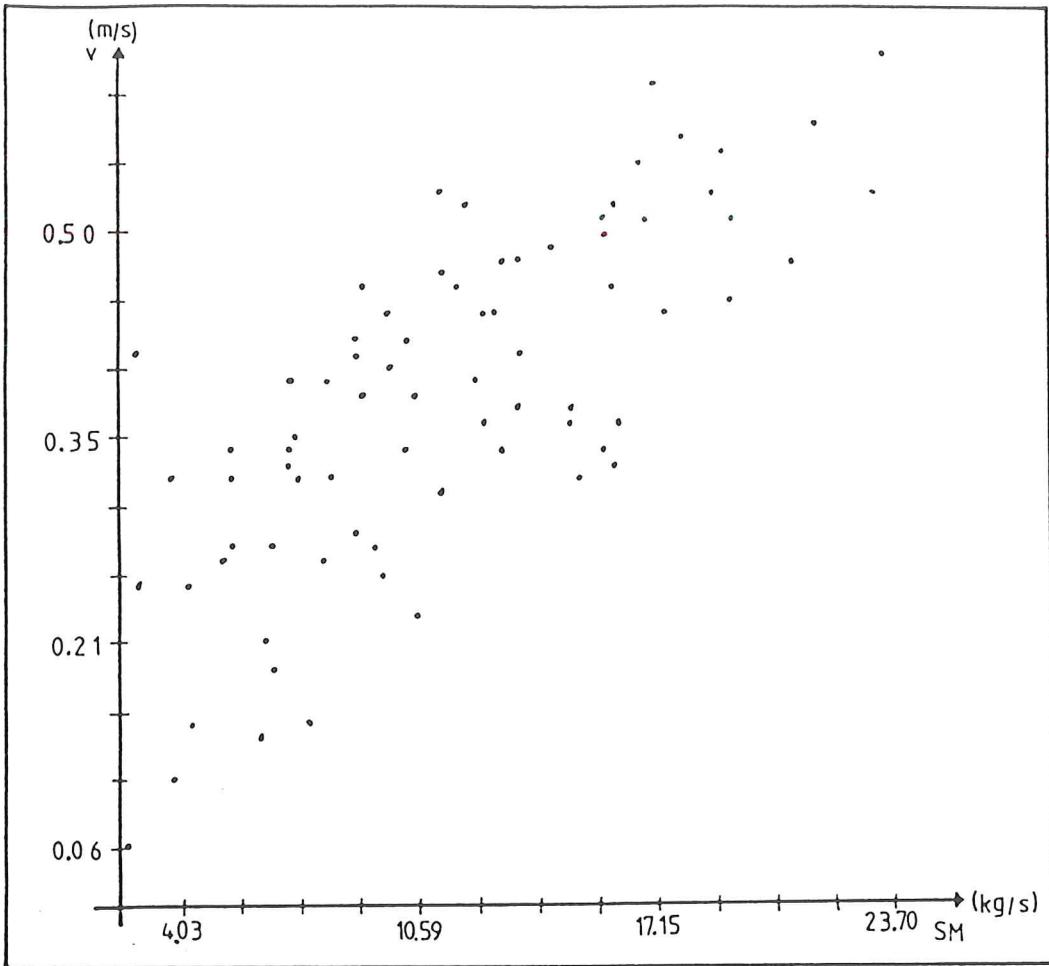


Abb.B.2.17 Transporte pro Sekunde für Flut, Wochenmittel. Geschwindigkeit und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,76

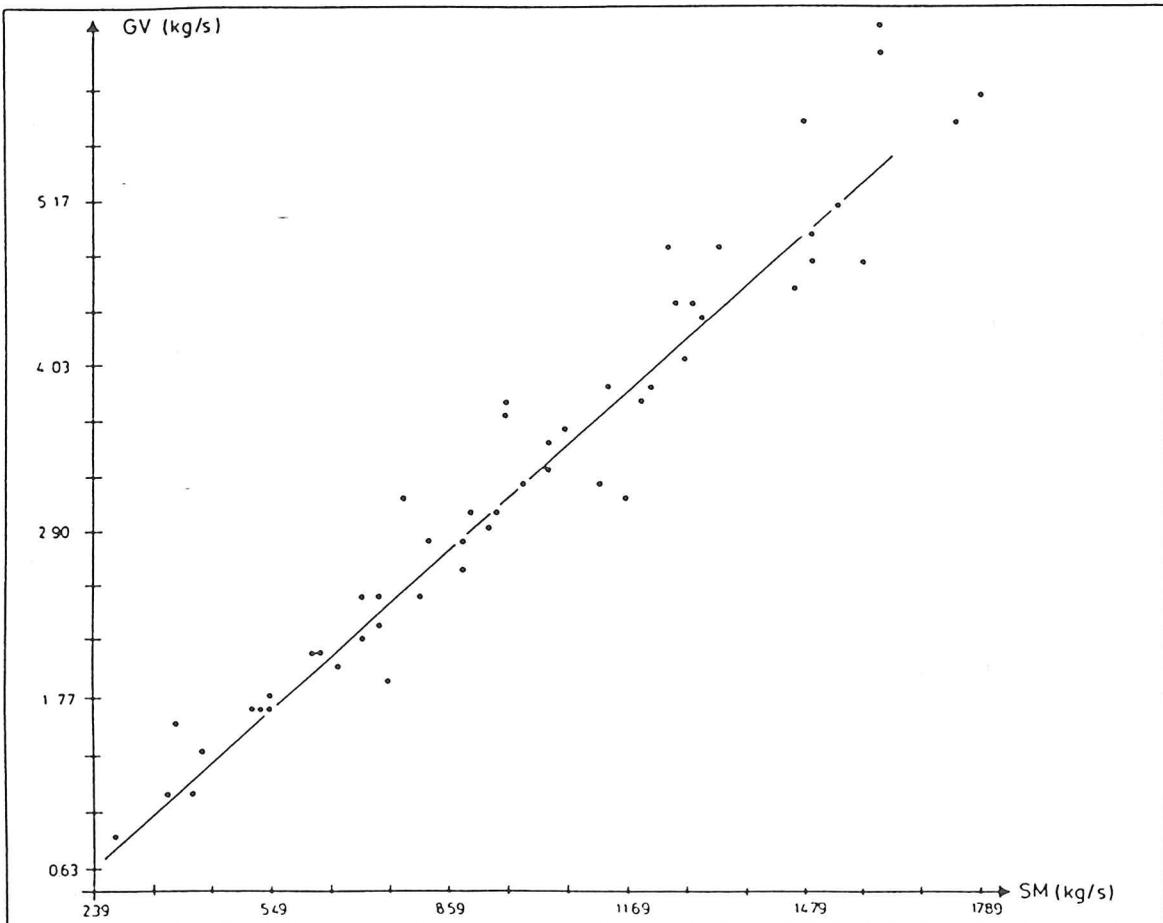


Abb.B.2.18 Transporte pro Sekunde für Flut, Wochenmittel. Glühverlust und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,98

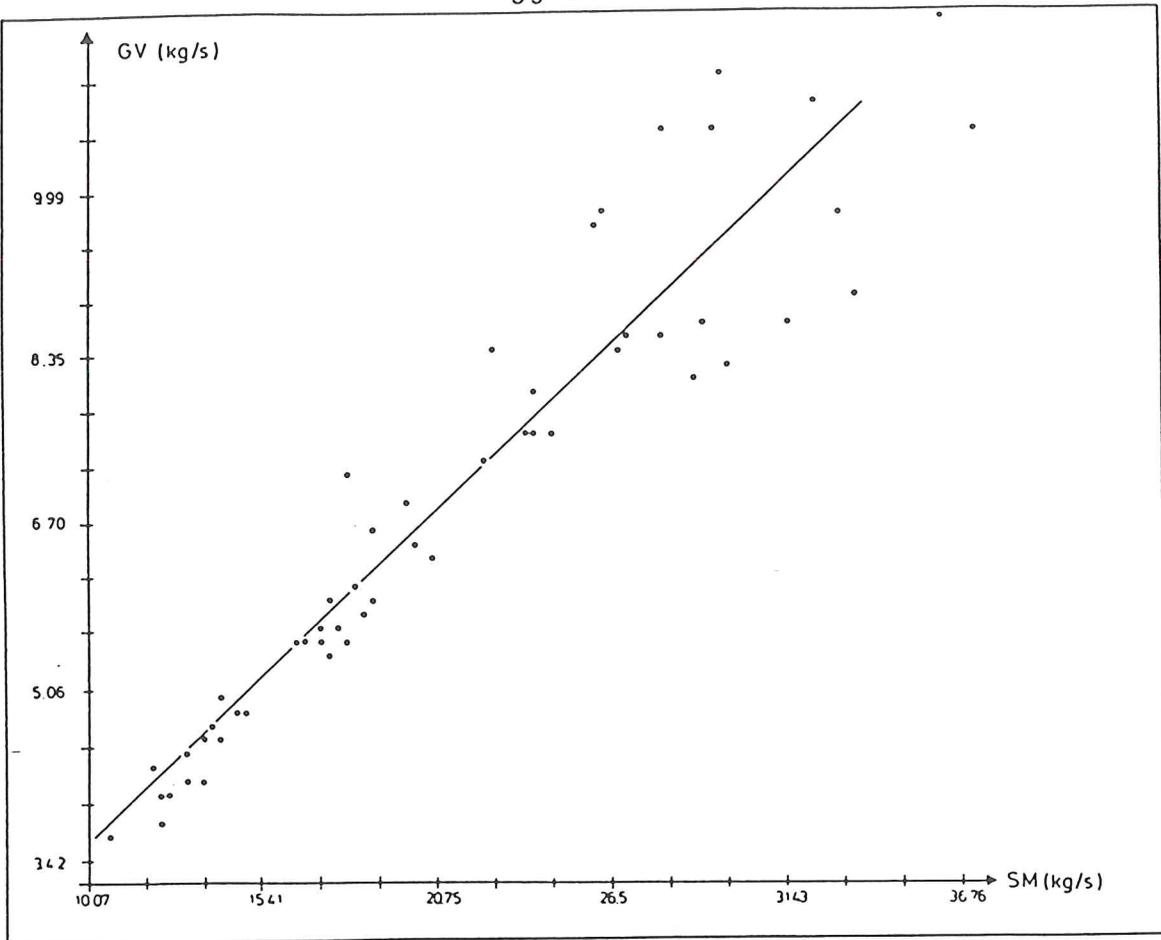


Abb.B.2.19 Transporte pro Sekunde für Ebbe, Wochenmittel. Glühverlust und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,95

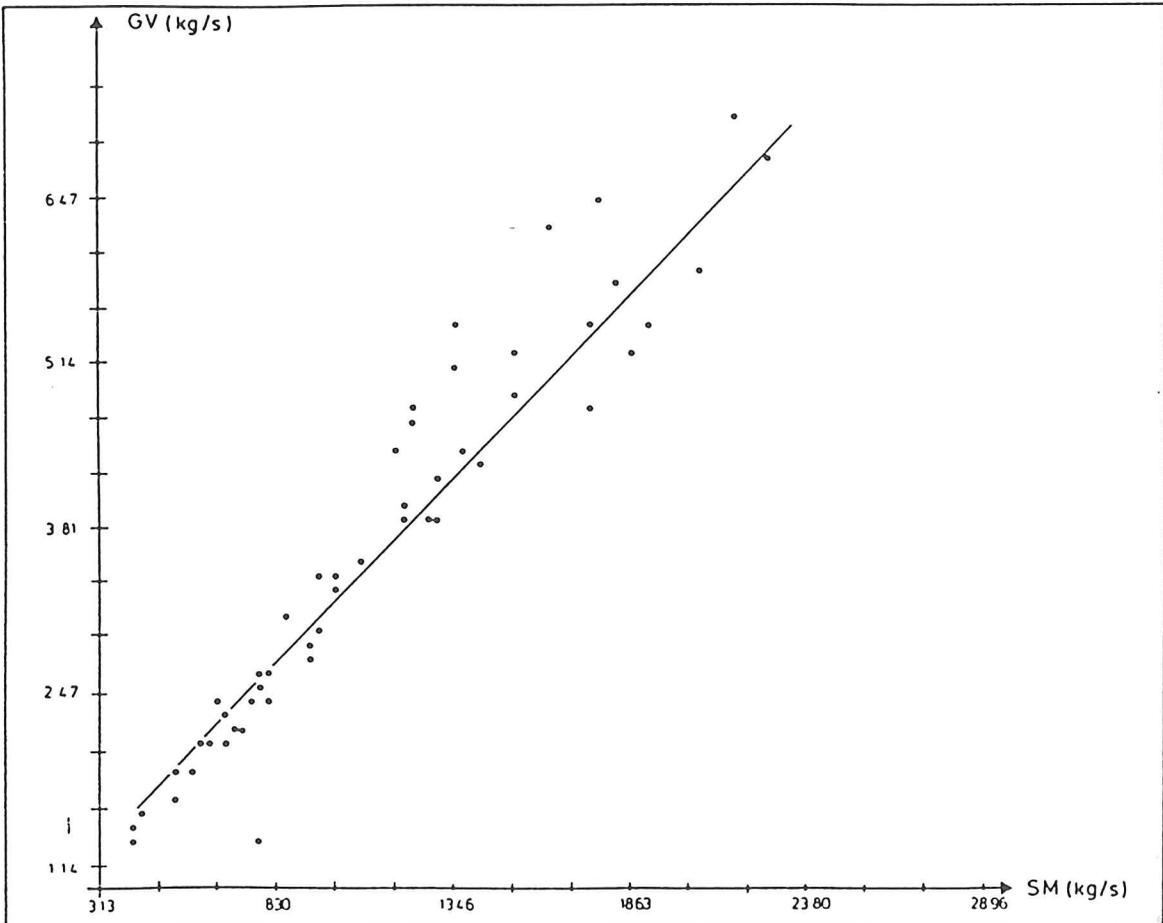


Abb.B.2.20 Transporte pro Sekunde für Tide, Wochenmittel. Glühverlust und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,96

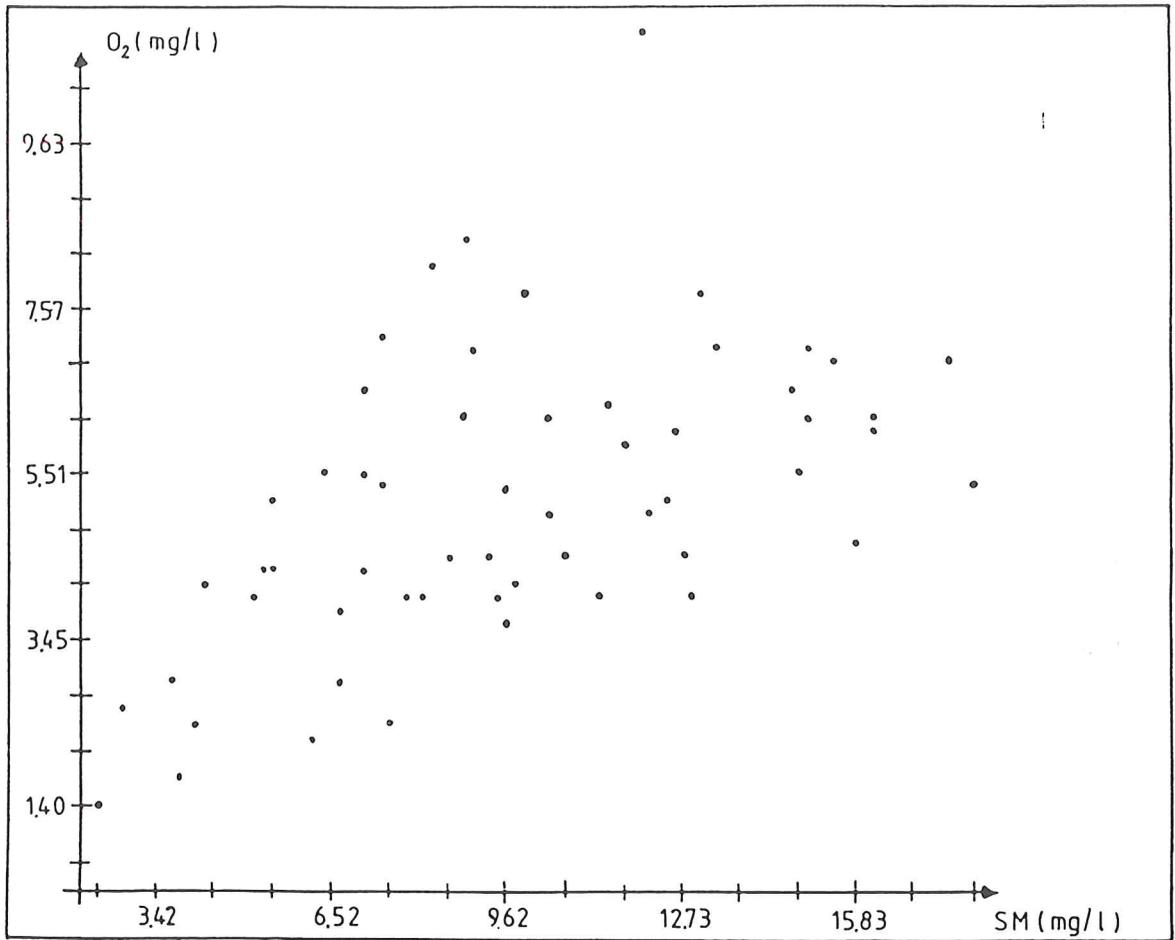


Abb.B.2.21 Transporte pro Sekunde für Flut, Wochenmittel. Sauerstoff und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,63

Eine Gesamtübersicht über die Korrelationen geben die folgenden KORRELATIONSTABELLEN (B.2.22-B.2.25). Hierbei sind die starken Korrelationen mit einem Korrelationskoeffizient >0.75 durch Fettdruck hervorgehoben.

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN

(Wochenmittelwerte für Ebbe)

	Korngrößen														
	pH	O ₂	Leit	Temp	v	Q _E	Att	S M	G V	>100	60-100	40-60	20-40	10-20	<10
pH	1	.31	.12	.09	.52	.49	.29	.16	.28	.32	.51	.47	.27	.52	.07
O ₂	-	1	.08	.68	.01	.05	.09	.29	.34	.18	.23	.17	.03	.01	.26
Leit	-	-	1	.37	.09	.08	.08	.16	.06	.17	.02	.04	.26	.12	.33
Temp	-	-	-	1	.24	.29	.56	.61	.06	.04	.07	.02	.22	.42	.14
v	-	-	-	-	1	.73	.15	.18	.26	.24	.67	.57	.44	.26	.03
Q	-	-	-	-	-	1	.27	.43	.49	.46	.70	.62	.51	.34	.20
Att	-	-	-	-	-	-	1	.86	.68	.24	.06	.04	.09	.74	.40
S M	-	-	-	-	-	-	-	1	.15	.22	.13	.15	.24	.49	.04
G V	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.19	.07	.09	.04	.31	.44
Korngrößen >100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.60	.49	.42	.02	.31
60-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.91	.57	.09	.36
40-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.62	.12	.37
20-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.15	.42
10-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.06
<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

(Wochenmittelwerte für Flut)

	KORNGRÖßEN														
	P H	O ₂	Leit	Temp	v	Q _f	Att	S M	G V	>100	60-100	40-60	20-40	10-20	<10
P H	1	.38	.02	.10	.03	.01	.36	.26	.25	.37	.56	.42	.29	.40	.08
O ₂	-	1	.04	.66	.03	.01	.14	.06	.19	.37	.21	.22	.15	.13	.10
Leit	-	-	1	.36	.27	.20	.15	.12	.05	.08	.04	.02	.15	.10	.42
Temp	-	-	-	1	.29	.33	.45	.54	.15	.12	.06	.04	.04	.27	.30
v	-	-	-	-	1	.95	.33	.09	.32	.30	.04	.03	.06	.04	.52
Q _f	-	-	-	-	-	1	.33	.00	.33	.24	.01	.00	.04	.03	.49
Att	-	-	-	-	-	-	1	.51	.49	.12	.13	.14	.03	.54	.37
S M	-	-	-	-	-	-	-	1	.11	.27	.21	.22	.08	.36	.10
G V	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.05	.07	.08	.11	.44	.36
Korngrößen >100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.71	.76	.52	.22	.42
60-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.93	.58	.14	.45
40-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.69	.24	.53
20-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.28	.49
10-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.07
<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

(Wochenmittelwerte für Tide)

	Korngrößen														
	pH	O ₂	Leit	Temp	v	Q _o	Att	S M	G V	>100	60-100	40-60	20-40	10-20	<10
pH	1	.34	.11	.06	.48	.46	.30	.19	.26	.32	.51	.46	.29	.34	.09
O ₂	-	1	.00	.62	.01	.04	.09	.12	.32	.20	.21	.16	.02	.01	.22
Leit	-	-	1	.25	.05	.07	.08	.12	.01	.17	.02	.03	.26	.10	.39
Temp	-	-	-	1	.10	.13	.56	.61	.10	.05	.07	.02	.22	.42	.21
v-Rest	-	-	-	-	1	.96	.00	.37	.02	.63	.59	.49	.43	.22	.31
Q _o	-	-	-	-	-	1	.06	.46	.02	.70	.62	.52	.44	.23	.32
Att	-	-	-	-	-	-	1	.86	.27	.20	.07	.04	.09	.75	.50
S M	-	-	-	-	-	-	-	1	.09	.27	.21	.23	.34	.54	.58
G V	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.19	.07	.10	.03	.37	.45
Korngrößen >100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.63	.54	.45	.03	.31
60-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.93	.57	.09	.37
40-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.63	.13	.35
20-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.14	.38
10-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.13
<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Abb.: B. 2. 22.

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN

Ebbetransporte pro Sekunde ; Wochenmittel

	Korngrößen								E-Weg	O ₂	Wärme	Sand	Schlick
	SM	GV	>100	60-100	40-60	20-40	10-20	>10					
SM	1	.95	.73	.67	.75	.89	.98	.99	.33	.24	.71	.74	.99
GV	-	1	.54	.58	.68	.79	.95	.94	.16	.26	.73	.59	.96
>100	-	-	1	.79	.76	.78	.62	.66	.64	.38	.40	.97	.69
60-100	-	-	-	1	.94	.72	.58	.57	.47	.56	.31	.92	.63
40-60	-	-	-	-	1	.80	.69	.67	.45	.50	.42	.87	.72
20-40	-	-	-	-	-	1	.84	.83	.37	.30	.68	.79	.88
10-20	-	-	-	-	-	-	1	.96	.26	.20	.73	.64	.97
<10	-	-	-	-	-	-	-	1	.30	.21	.74	.65	.99
E-Weg	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.23	.13	.60	.31
O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.20	.46	.24
Wärme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.38	.74
Sand	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.70
Schlick	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Fluttransporte pro Sekunde ; Wochenmittel

	Korngrößen								F-weg	O ₂	Wärme	Sand	Schlick
	SM	GV	>100	60-100	40-60	20-40	10-20	<10					
SM	1	.98	.40	.49	.62	.84	.96	.98	.69	.63	.81	.46	.99
GV	-	1	.36	.47	.60	.81	.95	.97	.67	.62	.81	.42	.97
>100	-	-	1	.89	.86	.52	.37	.29	.06	.32	.14	.97	.35
60-100	-	-	-	1	.96	.63	.47	.37	.15	.40	.22	.97	.45
40-60	-	-	-	-	1	.77	.63	.51	.27	.46	.38	.93	.59
20-40	-	-	-	-	-	1	.86	.76	.51	.55	.65	.59	.83
10-20	-	-	-	-	-	-	1	.92	.52	.56	.73	.43	.96
<10	-	-	-	-	-	-	-	1	.65	.63	.77	.34	.99
F-weg	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.80	.68	.10	.63
O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.37	.36	.63
Wärme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.18	.78
Sand	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.41
Schlick	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Nettotransporte pro Sekunde ; Wochenmittel

	Korngrößen								R-Strom weg	O ₂	Wärme	Sand	Schlick
	SM	GV	>100	60-100	40-60	20-40	10-20	<10					
SM	1	.96	.91	.82	.85	.94	.98	.99	.64	.68	.84	.91	.99
GV	-	1	.76	.71	.77	.86	.96	.96	.36	.67	.80	.78	.96
>100	-	-	1	.87	.84	.89	.85	.89	.74	.71	.74	.98	.89
60-100	-	-	-	1	.95	.81	.77	.79	.65	.78	.61	.94	.81
40-60	-	-	-	-	1	.86	.82	.81	.62	.73	.66	.90	.84
20-40	-	-	-	-	-	1	.92	.91	.59	.68	.86	.89	.94
10-20	-	-	-	-	-	-	1	.98	.58	.66	.86	.86	.98
<10	-	-	-	-	-	-	-	1	.63	.67	.86	.88	.99
R-Strom weg	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.59	.50	.73	.63
O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.45	.75	.69
Wärme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.72	.86
Sand	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.90
Schlick	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (Ebbetransporte pro Sekunde)
Korngrößen

KORNGRÖSSEN	Korngrößen											
	O ₂	WÄRME	SM	GV	> 100	60 + 100	60 +	40 +	20 +	10 + 20	< 10	SAND
O ₂	1	.26	.31	.27	.34	.35	.36	.26	.24	.27	.37	.28
WÄRME	-	1	.63	.63	.09	.17	.26	.48	.63	.64	.13	.65
SM	-	-	1	.96	.41	.53	.64	.78	.91	.96	.51	.99
GV	-	-	-	1	.34	.46	.55	.71	.90	.94	.42	.96
> 100	-	-	-	-	1	.68	.70	.49	.35	.26	.94	.35
60 + 100	-	-	-	-	-	1	.86	.68	.47	.34	.89	.47
40 + 60	-	-	-	-	-	-	1	.79	.60	.45	.83	.60
20 + 40	-	-	-	-	-	-	-	1	.78	.61	.62	.76
10 + 20	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.82	.44	.91
< 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.31	.97
SAND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.44
SCHLICK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (Fluttransporte pro Sekunde)
Korngrößen

KORNGRÖSSEN	Korngrößen											
	O ₂	WÄRME	SM	GV	> 100	60 + 100	60 +	40 +	20 +	10 + 20	< 10	SAND
O ₂	1	.26	.62	.56	.32	.34	.40	.54	.52	.60	.34	.60
WÄRME	-	1	.72	.71	.07	.22	.33	.62	.67	.72	.17	.73
SM	-	-	1	.97	.35	.45	.59	.85	.94	.98	.41	.99
GV	-	-	-	1	.32	.42	.57	.83	.94	.96	.38	.97
> 100	-	-	-	-	1	.74	.74	.42	.36	.24	.95	.30
60 + 100	-	-	-	-	-	1	.84	.56	.44	.34	.92	.40
40 + 60	-	-	-	-	-	-	1	.69	.82	.49	.83	.56
20 + 40	-	-	-	-	-	-	-	1	.83	.77	.51	.84
10 + 20	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.90	.41	.93
< 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.29	.99
SAND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.35
SCHLICK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (Nettotransporte pro Sekunde)
Korngrößen

KORNGRÖSSEN	Korngrößen											
	O ₂	WÄRME	SM	GV	> 100	60 + 100	60 +	40 +	20 +	10 + 20	< 10	SAND
O ₂	1	.23	.65	.63	.63	.64	.63	.54	.55	.59	.67	.63
WÄRME	-	1	.70	.72	.31	.36	.41	.54	.72	.73	.35	.74
SM	-	-	1	.97	.62	.68	.74	.83	.92	.96	.69	.99
GV	-	-	-	1	.55	.62	.65	.76	.90	.96	.62	.97
> 100	-	-	-	-	1	.77	.82	.66	.36	.48	.95	.57
100 + 60	-	-	-	-	-	1	.88	.77	.60	.52	.93	.63
60 + 40	-	-	-	-	-	-	1	.85	.68	.57	.89	.70
40 + 20	-	-	-	-	-	-	-	1	.83	.66	.76	.81
20 + 10	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.84	.61	.92
< 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.53	.97
SAND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.64
SCHLICK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (Mittelwerte Ebbe)

	PH	O ₂	LEIT.	TEMP.	h	v	Durchfl.	Att.	SM	GV	KORNGRÖSSEN					
											>100	60-100	40-60	20-40	10-20	<10
PH	1	.24	.03	.20	.24	.20	-.26	.20	.15	.06	.21	.24	.24	.07	.12	.10
O ₂	-	1	.02	.80	.05	.36	-.16	.18	.30	.19	.22	.09	.09	.08	.14	.10
LEIT.	-	-	1	.05	.05	.03	-.11	.29	.07	.13	.17	.05	.05	.13	.13	.06
TEMP.	-	-	-	1	.13	.32	-.25	.47	.58	.05	.20	.11	.09	.06	.30	.02
h	-	-	-	-	1	.05	-.80	.14	.28	.11	.18	.20	.15	.13	.17	.10
v	-	-	-	-	-	1	-.60	.09	.15	.04	.03	.27	.25	.27	.13	.12
Durchfl.	-	-	-	-	-	-	1	.15	.26	.10	.08	.28	.24	.23	.18	.17
Att.	-	-	-	-	-	-	-	1	.72	.52	.15	.05	.04	.35	.52	.20
SM	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.21	.03	.04	.04	.01	.32	.02
GV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.09	.04	.03	.11	.09	.19
>100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.48	.33	.19	.03	.39
60-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.75	.47	.11	.59
40-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.51	.16	.59
20-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.27	.70
10-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.45
<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (Mittelwerte Flut)

	PH	O ₂	LEIT.	TEMP.	h	v	Durchfl.	Att.	SM	GV	KORNGRÖSSEN					
											>100	60-100	40-60	20-40	10-20	<10
PH	1	.29	.03	.22	.20	.13	-.04	.15	.12	.03	.28	.38	.24	.12	.21	.18
O ₂	-	1	.01	.79	.03	.01	-.03	.25	.10	.13	.26	.11	.09	.01	.03	.02
LEIT.	-	-	1	.04	.01	.03	-.02	.18	.08	.03	.06	.05	.07	.07	.10	.15
TEMP.	-	-	-	1	.11	.03	-.05	.42	.45	.11	.21	.12	.12	.03	.24	.13
h	-	-	-	-	1	.08	-.37	.07	.22	.01	.25	.22	.16	.13	.06	.09
v	-	-	-	-	-	1	-.93	.30	.04	.17	.29	.10	.15	.04	.18	.40
Durchfl.	-	-	-	-	-	-	1	.28	.05	.19	.17	.01	.07	.01	.11	.31
Att.	-	-	-	-	-	-	-	1	.61	.52	-.02	.01	.05	.41	.50	.20
SM	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.09	.04	.06	.03	.01	.26	.07
GV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.02	.05	.04	.23	.28	.20
>100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.59	.55	.30	.21	.51
60+100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.75	.43	.14	.56
40+60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.53	.27	.69
20+40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.16	.63
10+20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.34
<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (Mittelwerte Über eine Tide)

	O ₂	TEMP	v	Durchfl.	Att.	PH	LEITF.	SM	GV	Korngrößen									
										100	60-100	40-60	20-40	10-20	10	SAND	SCHLICK	Ab.Weg	
O ₂	1	.79	.21	.14	.22	.25	.01	.27	.17	.27	.10	.09	.05	.16	.06	.21	.14	.03	
TEMP	-	1	.23	.21	.39	.20	.04	.59	.01	.27	.12	.10	.15	.04	.07	.24	.03	.10	
v	-	-	1	.90	.17	.38	.01	.25	.06	.15	.28	.20	.11	.07	.11	.24	.21	.41	
Durchfl.	-	-	-	1	.22	.39	.02	.34	.09	.22	.33	.23	.13	.16	.17	.30	.34	.41	
Att.	-	-	-	-	1	.21	.18	.66	.44	.06	.01	.06	.30	.48	.21	.04	.32	.17	
PH	-	-	-	-	-	1	.02	.13	.03	.23	.27	.25	.09	.01	.12	.29	.15	.17	
LEITF	-	-	-	-	-	-	1	.03	.09	.12	.03	.03	.11	.27	.11	.09	.15	.13	
SM	-	-	-	-	-	-	-	1	.09	.09	.01	.01	.03	.23	.03	.06	.31	.15	
GV	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.06	.03	.02	.10	.59	.13	.06	.54	.06	
>100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.52	.40	.23	.08	.42	.89	.49	.17	
60+100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.80	.52	.07	.62	.84	.34	.30	
40-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.55	.15	.62	.66	.19	.22	
20+40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.15	.71	.41	.12	.12	
10+20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.17	.23	.72	.08	
<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.59	.41	.12	
SAND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.49	.25	
SCHLICK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	.22	
Ab.Weg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	

Abb.: B. 2. 25.

B.3. Korngrößenuntersuchungen

Der Elbeschwebstoff läßt sich in Kornfraktionen aufteilen. Diese Aufteilung entspricht jedoch nicht der in der Natur vorkommenden Verteilung. Die Komplexbildung durch die Biomasse formt den Schwebstoff zu undefinierbaren Strukturen (Flocken), die einer ständigen Veränderung aufgrund ihres losen Verbandes unterliegen. Dies schließt eine Einteilung in natürliche Korngrößenklassen aus. Damit sind demzufolge auch Angaben zur Sinkgeschwindigkeit aufgrund von Korngrößenuntersuchungen rein akademischer Natur und entsprechen in keiner Weise dem tatsächlichen Geschehen (s.a.PULS, 1985).

Hieraus könnte der Schluß gezogen werden, daß eine Korngrößenanalyse von Schwebstoffproben überhaupt überflüssig sei, da ihr Aussagewert keinen Beitrag zu Erklärungen des Transportes suspendierter Feststoffe leisten kann. Dies ist nicht richtig, denn die Kenntnis des mineralischen Anteils des Korngrößenspektrums ist für Fragen des Apparatebaues (Optische Meßgeräte, Zentrifugen, Hydrozyklone, Ventile u.a.) und des Umweltschutzes (Schwermetallbelastungen, Bindungsvermögen, u.a.) von sehr großem Interesse. Weiterhin gibt der Korngrößenvergleich von suspendiertem Feststoff zum Sediment Aufschluß über Erosions- und Sedimentationsverhalten der Partikel.

Eine eingehende Betrachtung der Zusammenhänge zwischen dem Verhalten suspendierter Feststoffe und der Kornfrak-

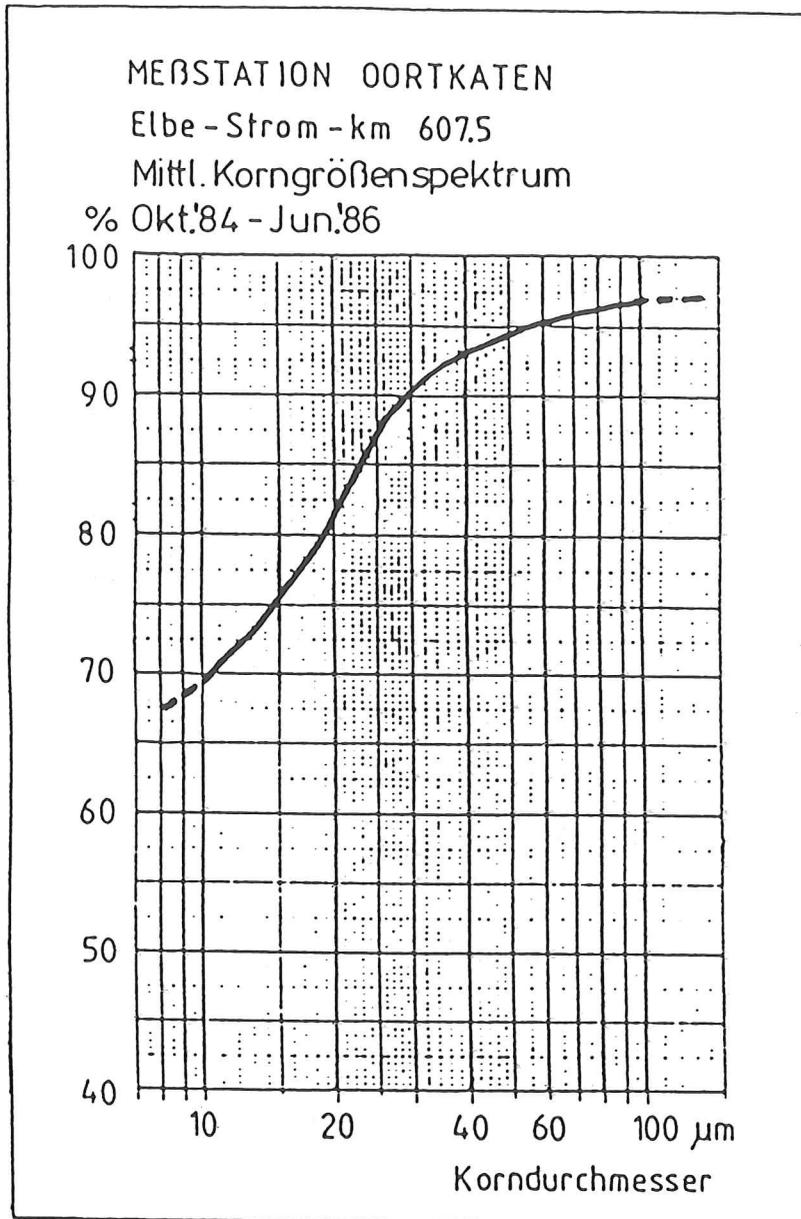


Abb. B.3.1

tionierung, bzw. der Flockengrößen, muß Aufgabe weiterführender Forschung bleiben.

Der Elbeschwebstoff, der durch den Flußquerschnitt bei Oortkaten (Strom-km 607.5) transportiert wird, ist im Jahresgang gekennzeichnet durch eine gleichmäßige Kornverteilung. Das mittlere Korngrößenspektrum für den Querschnitt bei km 607.5 vom Oktober '84 bis Juni '86 zeigt Abbildung B.3.1. Der Streubereich der Einzelwerte von dieser mittleren Verteilung ist für Ebbe in Abbildung B.3.2 dargestellt.

Jahreszeitliche Abhängigkeiten der Kornverteilung lassen sich im Jahre 1985 von März bis Mai erkennen (Abb.B.3.3 a,b). In dieser Zeit erhöht sich der prozentuale Anteil der feinen Fraktionen gegenüber den Fraktionen >60 μm . Eine Erklärung gibt das Frühjahrshochwasser, das durch die Schneeschmelze ausgelöst wird. Der dabei auftretende Abrieb durch Eisschollen an Schorren, Uferwerken und anderen Flußbegrenzungen führt im Februar/März zu einer Verschiebung des Korngrößenspektrums zu gröberen Partikeln hin.

Diese Erhöhung ist neben erhöhter Erosion eine Ursache für die Zunahme des Schwebstoffgehaltes während der Hochwasserwellen in dieser Zeit. Im weiteren Verlauf des Frühjahres bis Mai nimmt der Anteil der feinen Fraktionen kontinuierlich zu.

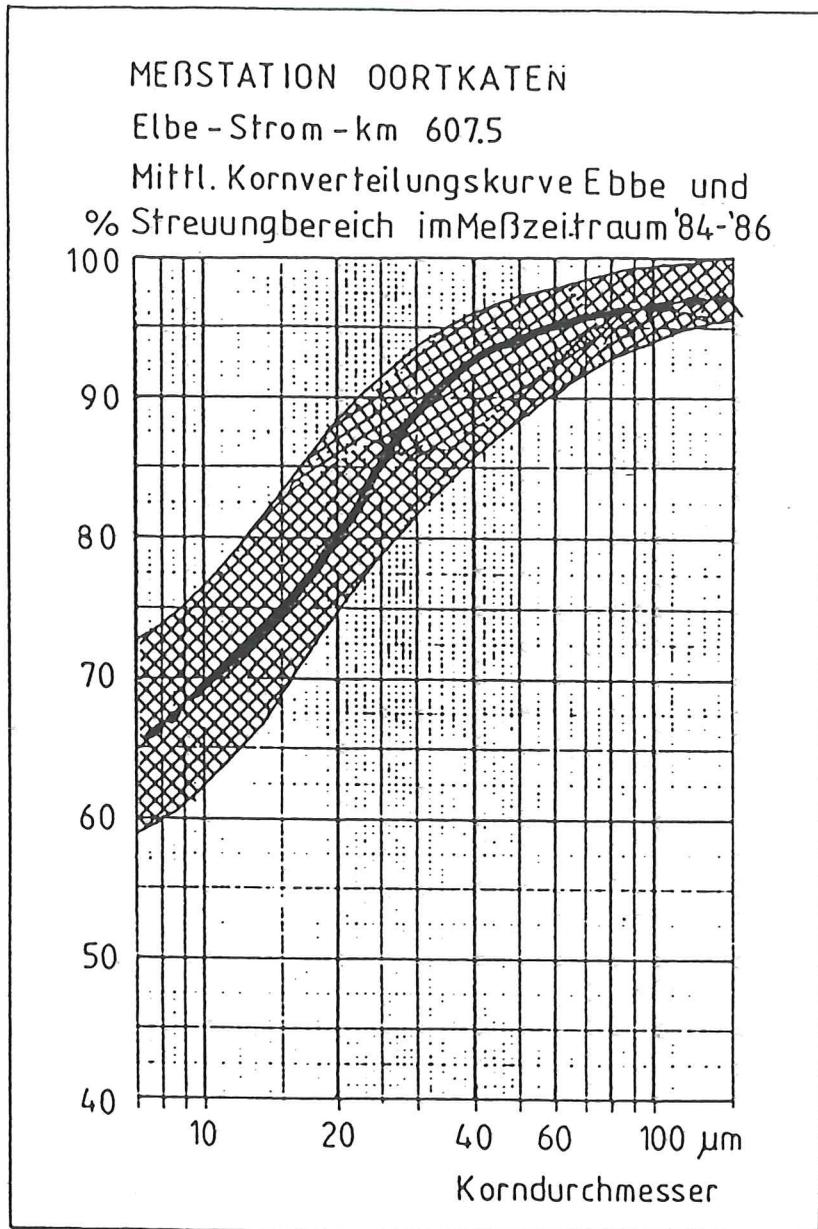


Abb. B.3.2

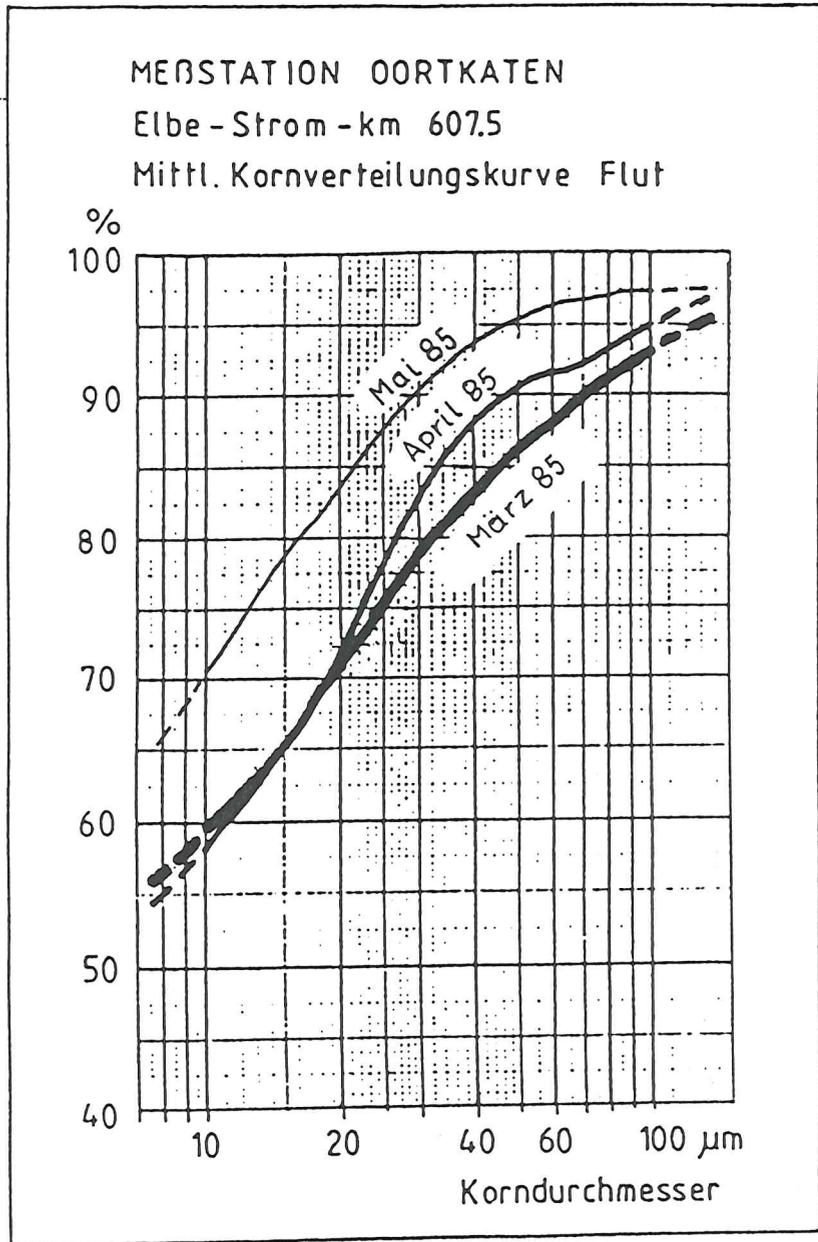


Abb. B.3.3. a

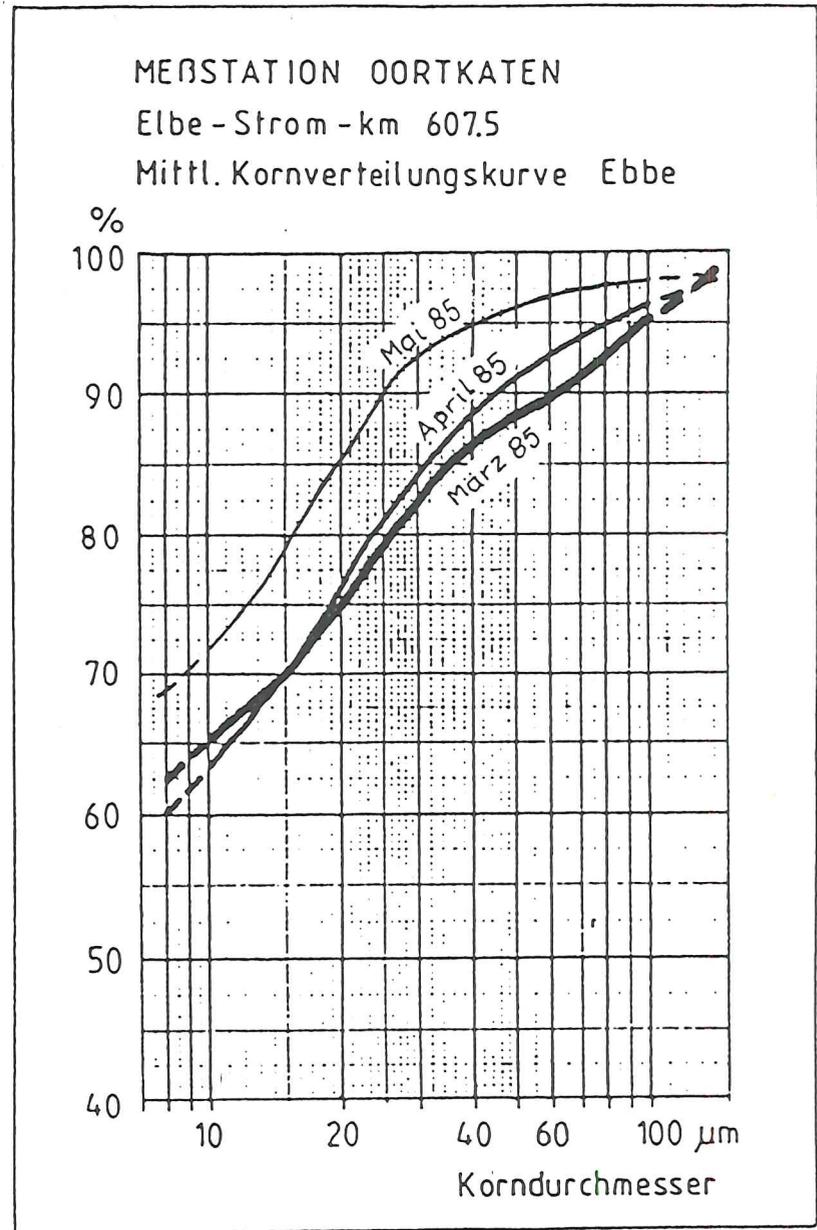


Abb. B.3.3. b

Im Gegensatz zu dieser Verschiebung des Korngrößenspektrums hin zu feineren Fraktionen im Frühjahr, ist im Sommer kein eindeutiger Trend erkennbar (Abb.B.3.4 a,b).

Im Herbst verschiebt sich das Spektrum hin zu feineren Fraktionen (Abb.B.3.5 a,b). Erkennbar ist dieser Trend jedoch nur bei ablaufendem Wasser (Ebbe), da bei auflaufendem Wasser (Flut) die Korngrößenspektren wahrscheinlich durch Sturmfluten und Hochwasser beeinflusst werden (Abb.B.3.6 a,b). Der Trend der Korngrößenspektren bei ablaufendem Wasser steht im Einklang mit einer Verminderung des Schwebstoffgehaltes im Herbst/Winter, die wiederum verbunden ist mit einer Abnahme von "biologischen Trägereinheiten", die die Schwebefähigkeit des abiotischen Anteils des Schwebstoffes begünstigen.

Die bisherigen Erkenntnisse lassen den Schluß zu, daß der Schwebstoff der Elbe ein Korngrößenspektrum besitzt, das durch folgende Parameter bestimmt wird :

- Bodenverhältnisse des Elberaumes
- regelmäßige anthropogene Einleitungen
- mittlere Oberwasserführung
- Menge biologischer Schwebstoffe

Dieses Spektrum wird nun zeitweise überlagert und verändert durch Faktoren, deren Einflüsse zeitlich und örtlich variieren; so kann z. B. ein Schiff große Mengen an Sediment in Suspension bringen, von dem jedoch die gröberen Teile nach kurzer Zeit wieder sedimentieren, während eine

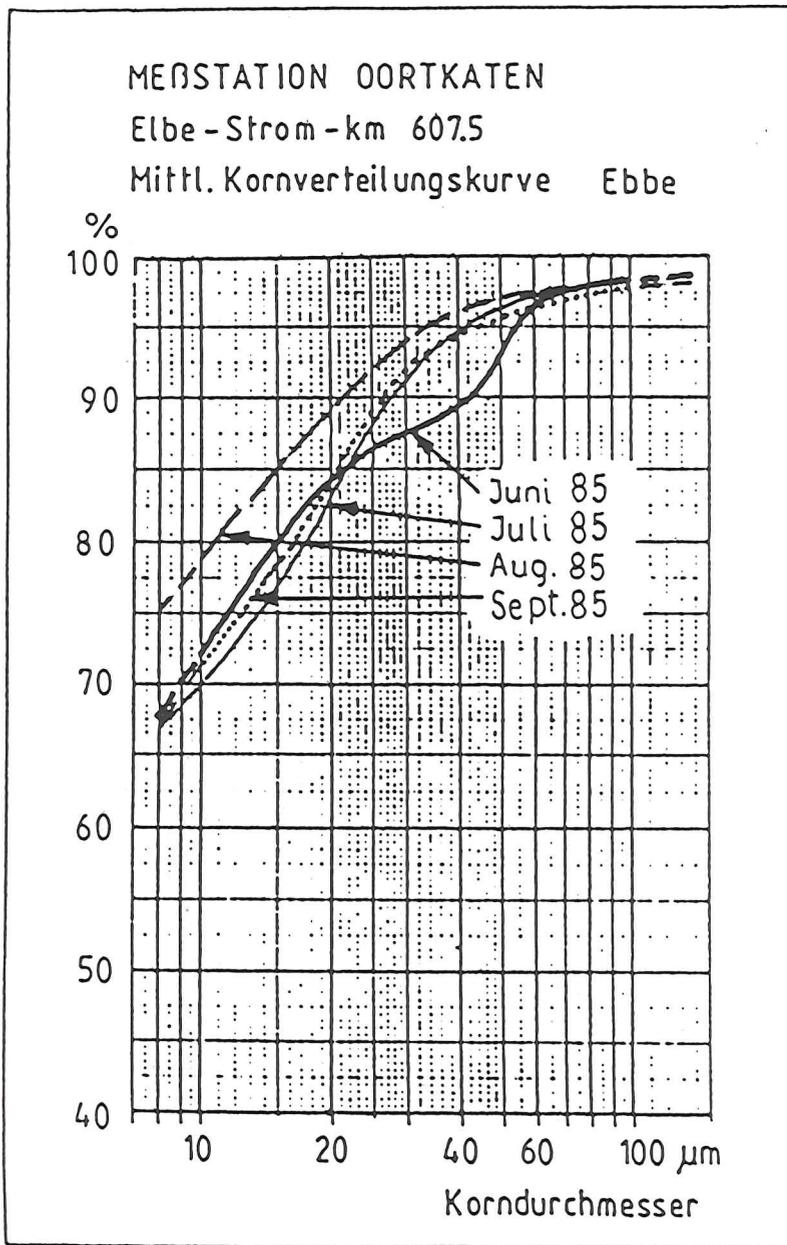


Abb. B.34.a

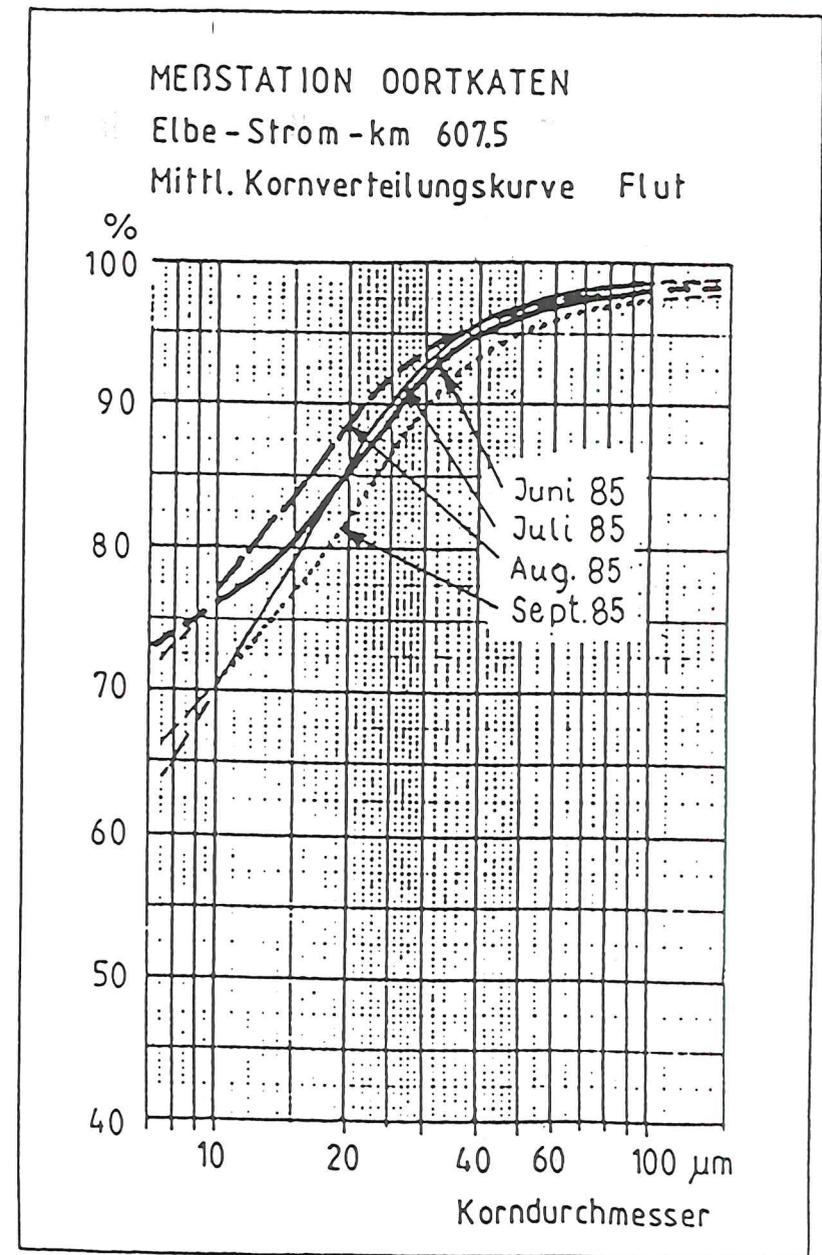


Abb. B.34.b

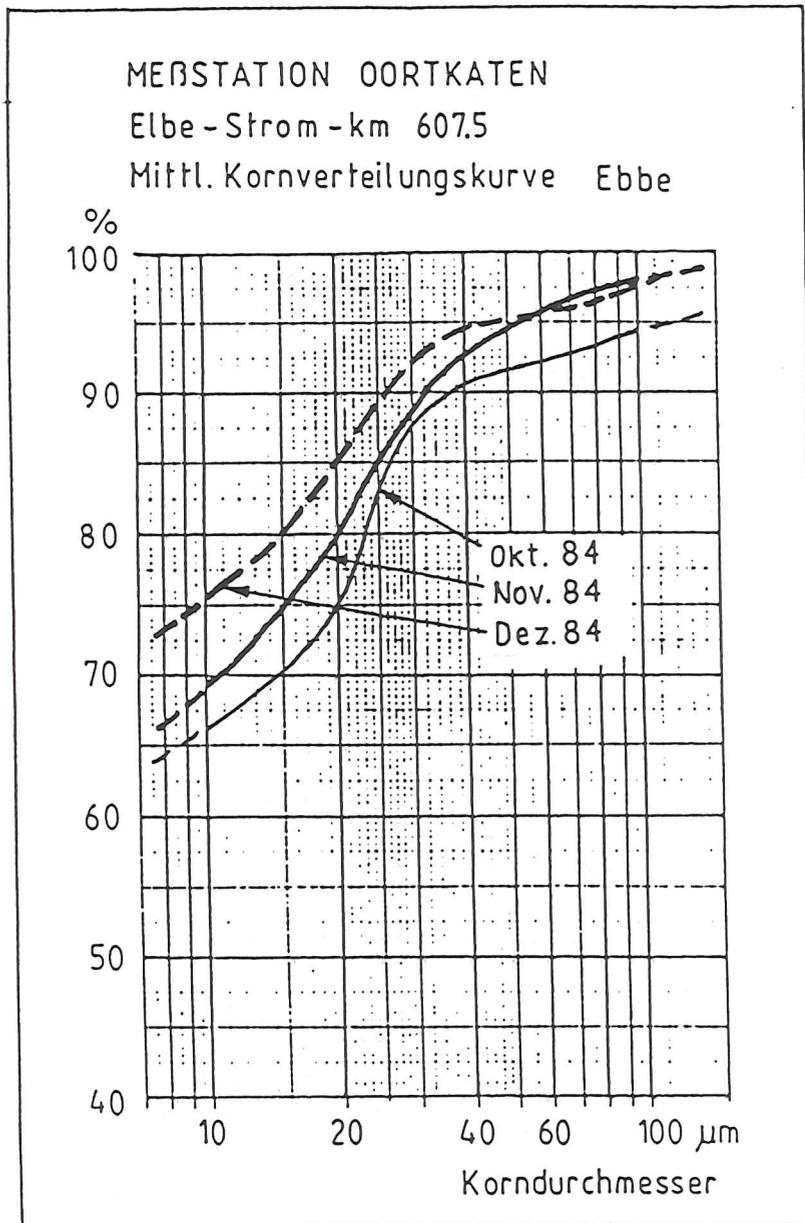


Abb. B.3.5 a

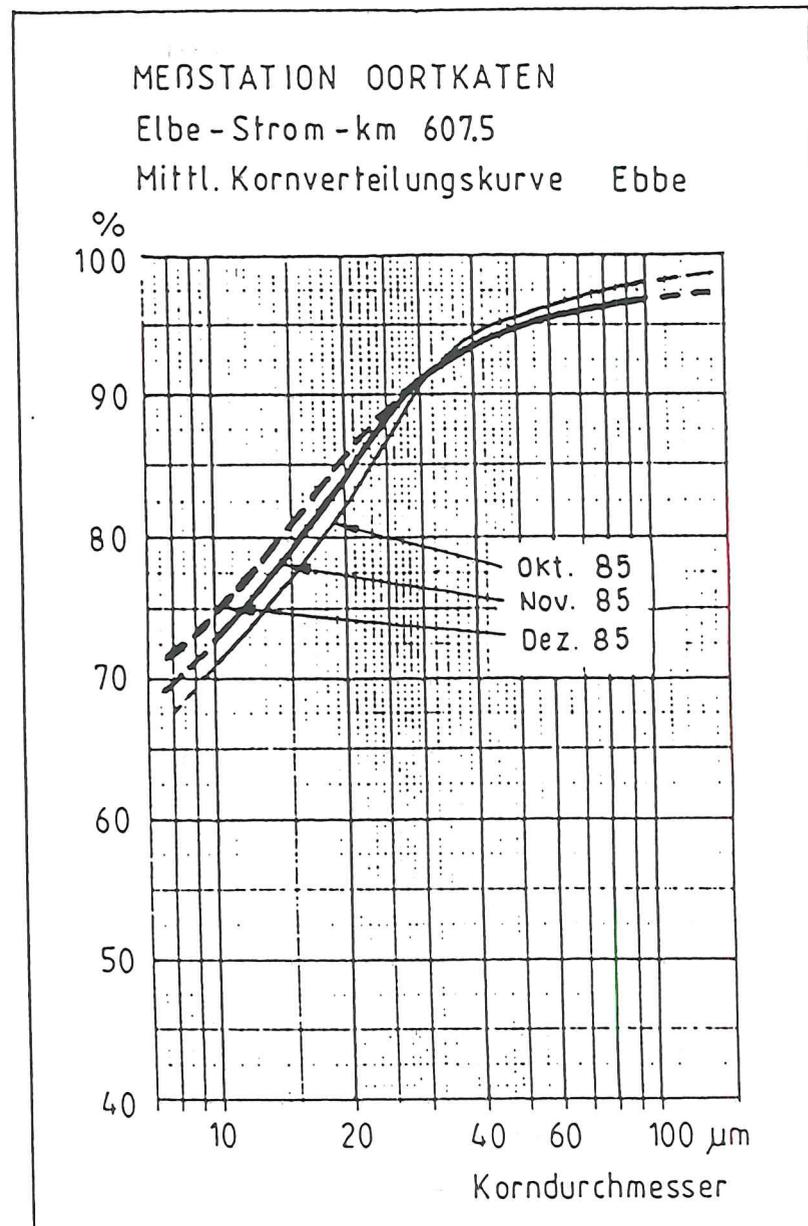


Abb. B.3.5 b

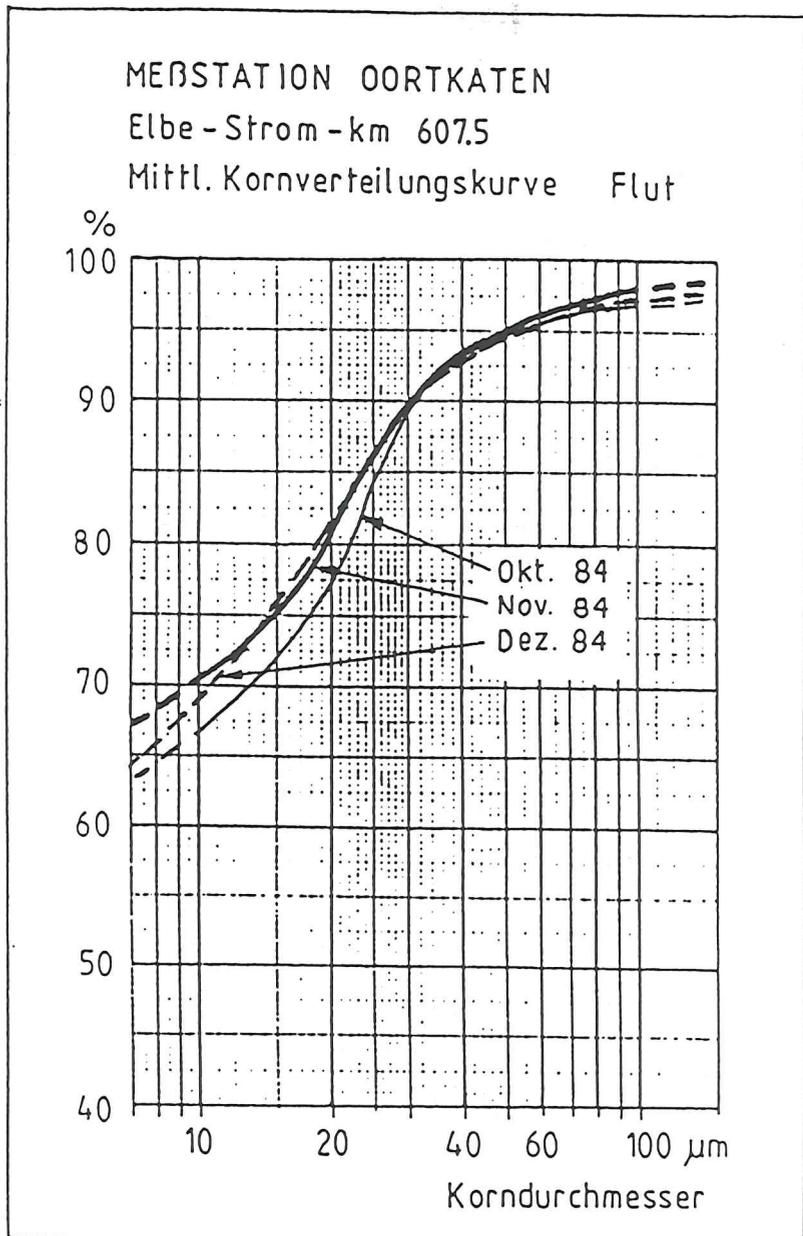


Abb. B.3.6.a

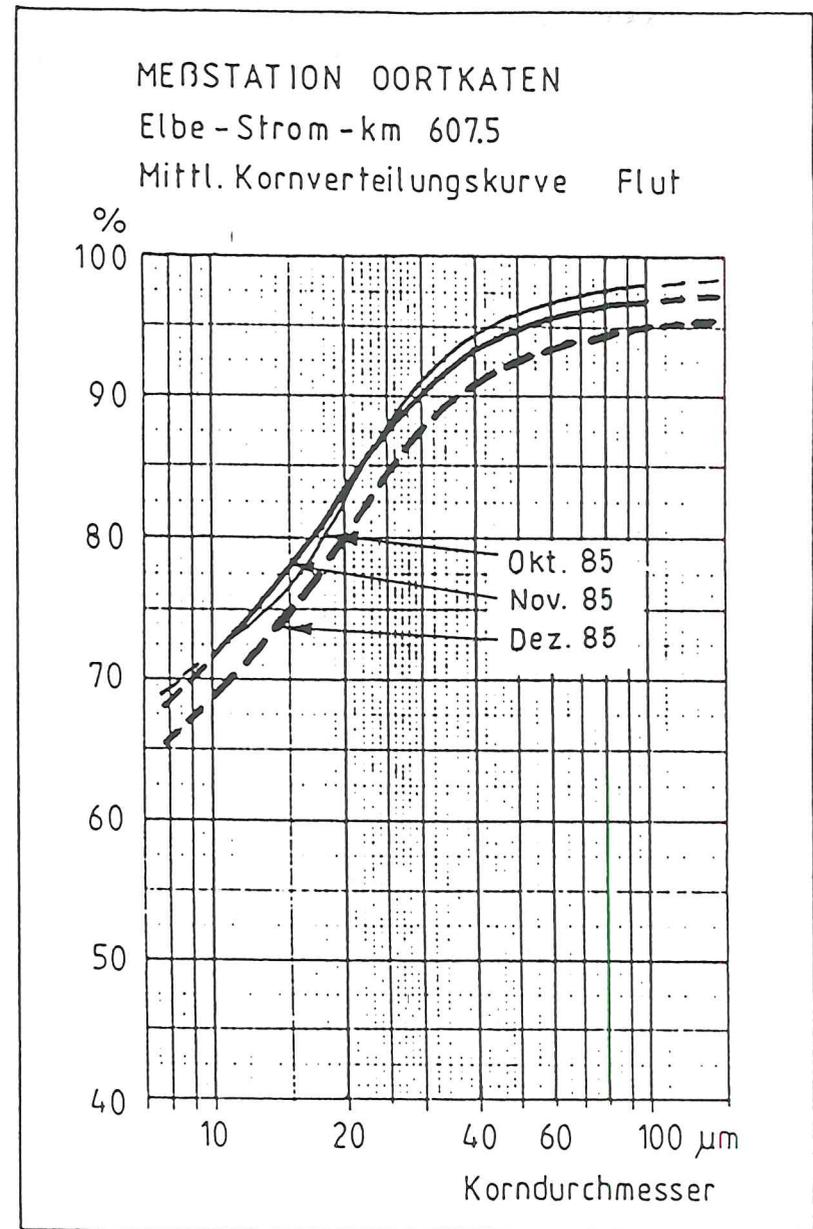


Abb. B.3.6.b

Hochwasserwelle über einen Zeitraum von mehreren Wochen das Spektrum beeinflusst. Dazu kommen Einflüsse durch Sturmfluten, Eisgang, Hochwasser u.s.w..

Trotz des geringen Aussagewerts von Korngrößenvergleichen mehrfach behandelte Proben, lassen sich für die Ergebnisse der Korngrößenanalyse der AMO-Proben Abhängigkeiten ableiten, die im wesentlichen die in Abschnitt B.2 dargestellten Ergebnisse unterstützen.

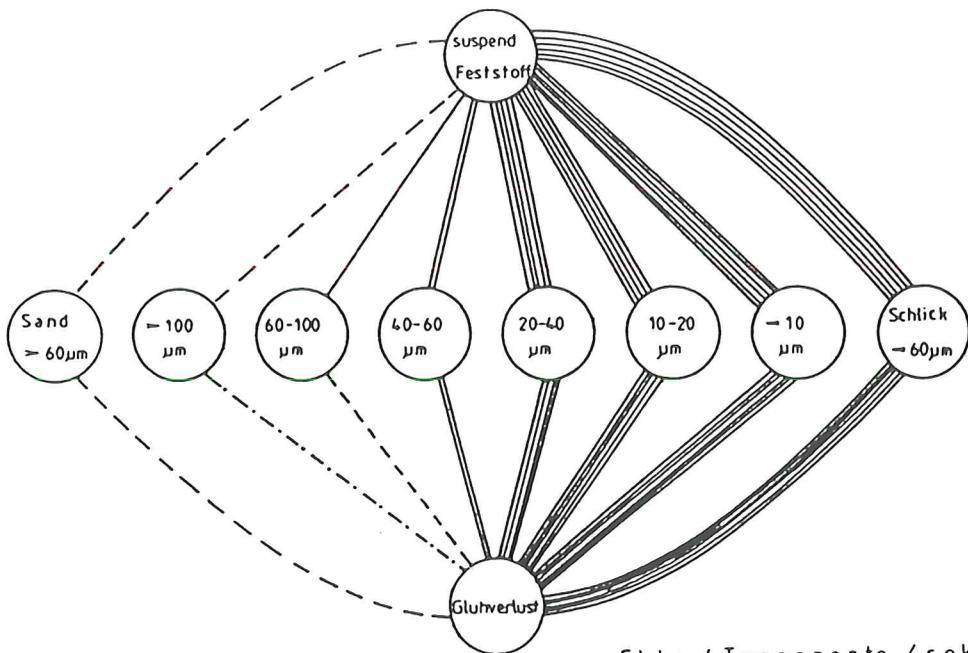
Die Abbildungen B.3.7.a-c zeigen, daß der Zusammenhang zwischen dem Transport feiner Fraktionen zum Glühverlust und Schwebstofftransport pro Sekunde gegenüber den Fraktionen $>60 \mu\text{m}$ dominiert. Dies bedeutet, daß nicht die Größe der Partikel, sondern die Menge an Kondensationskernen, hier die abiotischen Teilchen, für die Mikroorganismen entscheidend ist, d.h., daß die verfügbare Besiedelungsfläche ein Maß für die Entfaltung biologischer Aktivität darstellt.

Die Korrelation zwischen dem Transport suspendierter Feststoffe zu Fraktionen $>60 \mu\text{m}$ zeigt wiederum, daß diese Fraktionen anderen Gesetzmäßigkeiten unterliegen und nicht dem eigentlichen Schwebstoff zugeteilt werden sollten; vielmehr handelt es sich hierbei um Sinkstoffe, die im Kreislauf der Sedimentations- und Erosionsphasen auch von anderen Faktoren als der Wasserführung abhängen. Zwei Beispiele, die den Grad der Korrelation der Abbildungen

B.3.7 deutlich machen sind in Abbildung B.3.8.a,b dargestellt.

Als außergewöhnliche Korrelation sei abschließend auf die Beziehung des Attenuationskoeffizienten zur Korngrößenklasse 10-20 μm hingewiesen (Abb.B.2.22). Diese sehr eindeutige Beziehung zeigt auf, daß die optische Meßmethode von der Korngrößenverteilung abhängt und daher beim Einsatz in situ ständige Eichungen erforderlich sind. Dies hat insbesondere bei Extremsituationen zu geschehen (Wetterveränderungen, hohe Wassertemperaturen, etc.), die das natürliche Korngrößenspektrum beeinflussen können. Aus diesem Grunde ist auch die Korrelation zwischen Attenuationskoeffizienten und suspendiertem Feststoff bei ablaufendem Wasser (Ebbe) bedeutend besser als bei auflaufendem Wasser (Flut), da die Flutwassermengen durch Windstau und Oberwasseränderungen größeren Schwankungen unterliegen als die der Ebbe.

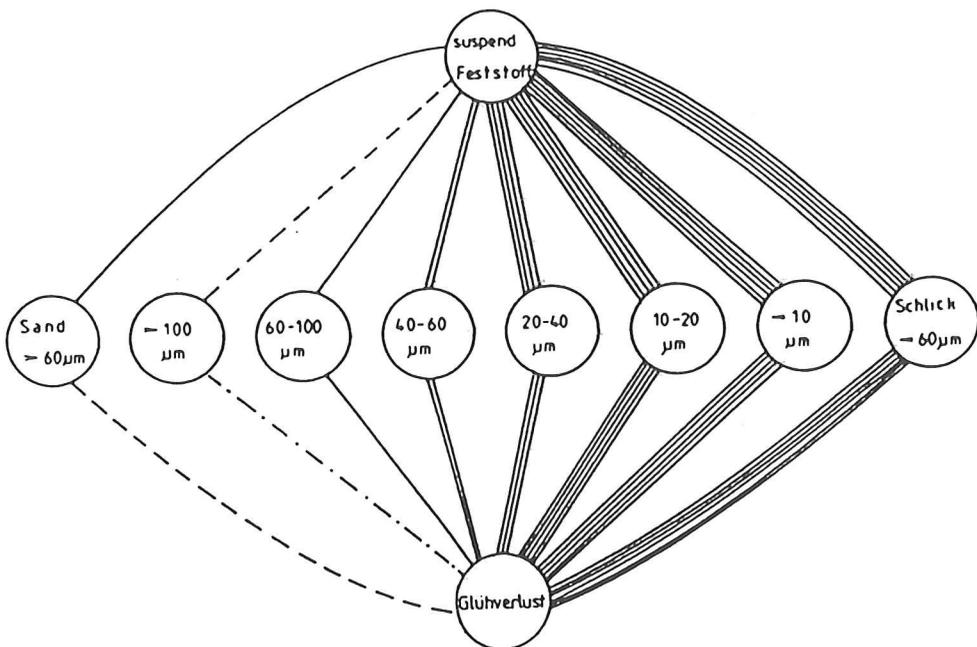
Für den Querschnitt bei Oortkaten wird die Veränderung der Flutwassermenge besonders dadurch bewirkt, da sich dieser Querschnitt im Bereich der Flutstromgrenze befindet. Die zeitlichen Variabilitäten der Flutwassermengen werden dokumentiert anhand der Flutstromdauer und der Flutstromwege, die in Teil II Abb.B.3.18 und B.3.19 des Abschlußberichtes dargestellt sind.



A

Ebbe (Transporte / sek)

B



Netto (Transporte / sek)

C

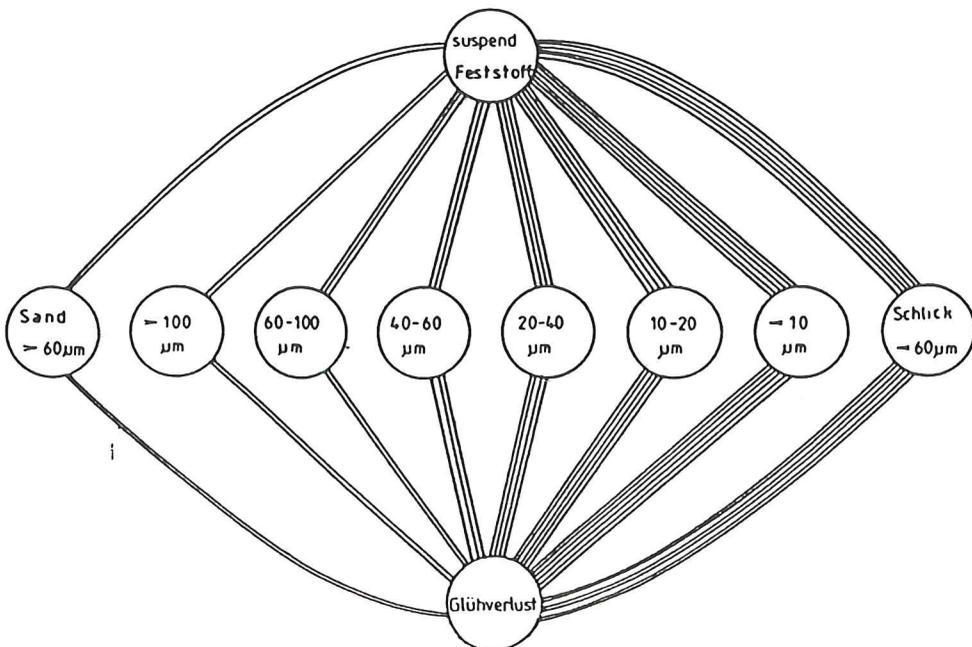
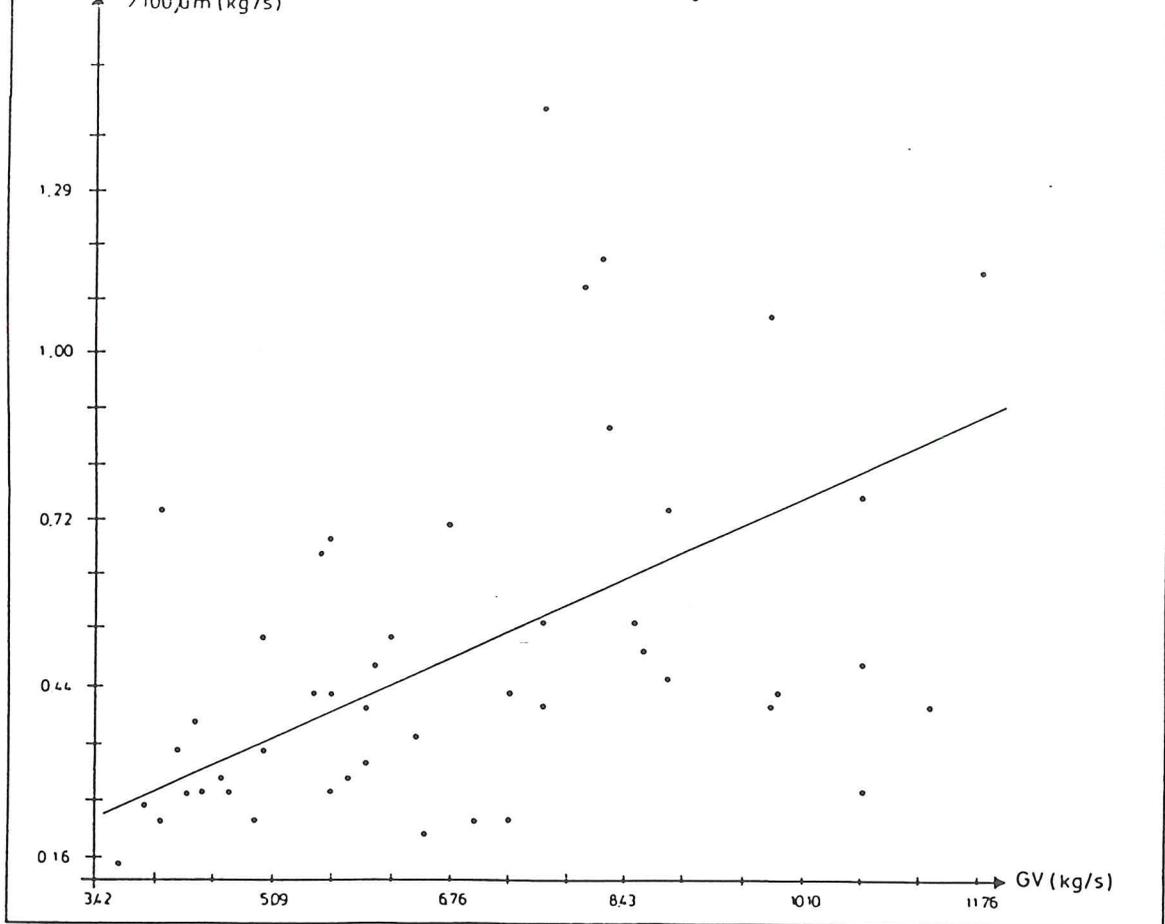
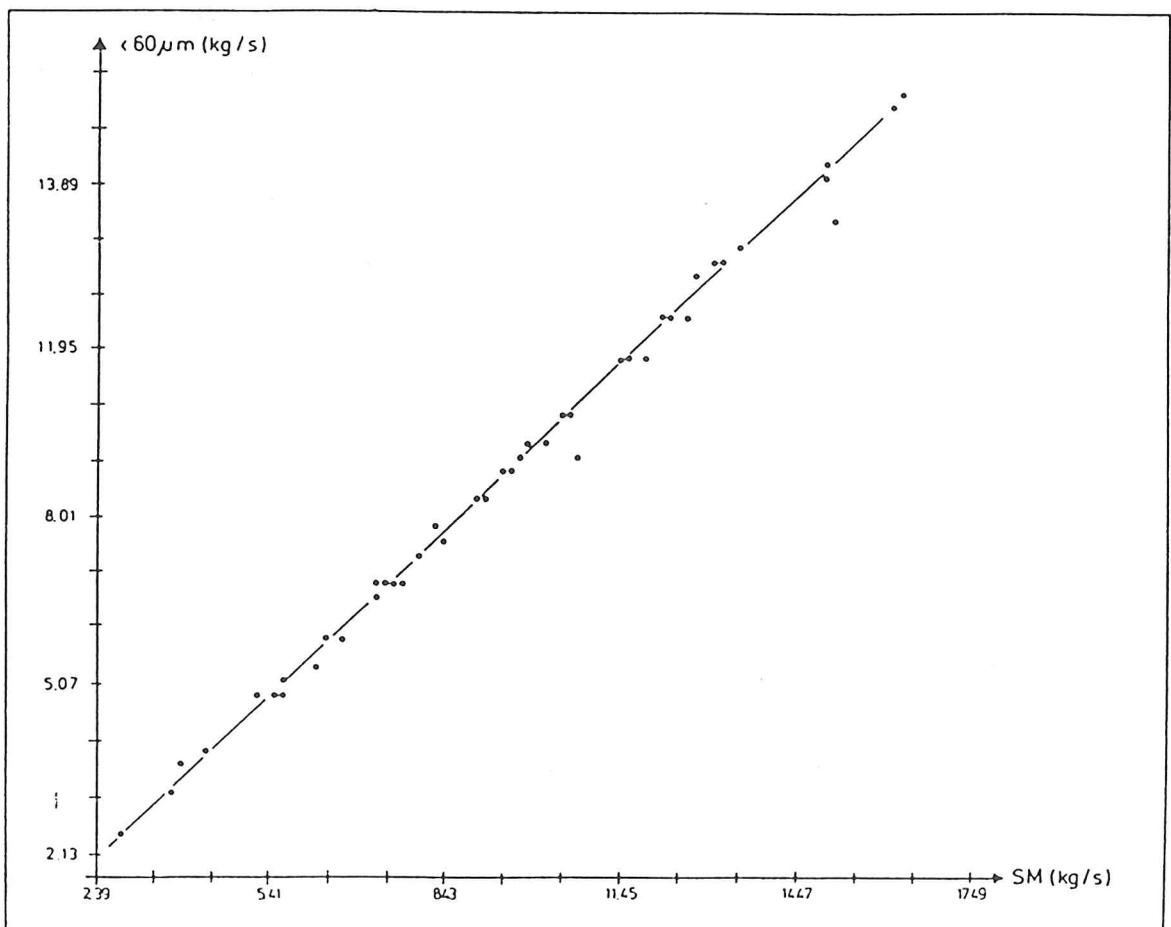


Abb. B.3.7



Transporte pro Sekunde für Ebbe, Wochenmittel. Kornfraktion >100 μm u. Glühverlust. Korrelationskoeff. = 0,55

Abb. B.3.8 a(oben), b(unten)



Transporte pro Sekunde für Flut, Wochenmittel. Schlick und Susp. Material. Korrelationskoeff. = 0,99

B.4. Ebbe- Flut- Vergleiche

Entsprechend den vorangegangenen Kapiteln wird auch beim Ebbe-Flut-Vergleich die Bezeichnung Ebbe für den Zeitraum verwendet, während der die Strömungsrichtung stromab weist. Für die Flut gilt das entsprechende Analogat. Daneben wird zudem für Daten die Flutstromrichtung (stromauf) betreffend in Vergleichen und insbesondere bei "netto"-Angaben als Vorzeichenkonvention das Minus-Zeichen verwendet.

Ausgehend von der Annahme, daß Ebbe- und Flutwassermengen und deren Inhaltsstoffe sich im Verlauf einer Halbtide verändern, werden Unterschiede für den Querschnitt Oortkaten für diejenigen Tiden betrachtet, in denen der Flutweg mindestens 7.5 km beträgt. Bei dieser Flutweglänge werden diejenigen Wassermassen für die Flut betrachtet, die sich im Bereich zwischen km 607.5 (Oortkaten) und mindestens km 615.0 (Elbbrücken) befinden. Bei größeren Flutwegen kann sogar davon ausgegangen werden, daß sich Flutwasser aus dem Hafengebiete mit in die Betrachtung einget. Die Einschränkung auf diesen Mindestweg ist notwendig, weil andererseits die Zeiträume für Veränderungen der Ebbwässer (alle Flutwassermengen im Querschnitt Oortkaten entstammen der vorausgegangenen Ebbe) im Bereich des Stromspaltungsgebietes zu gering sind. Der Parameter Flutweg wurde für diese Festlegung gewählt, da hierüber in etwa auf die Herkunft der Flutwassermengen geschlossen werden kann.

Da jedoch für die Betrachtung der einzelnen Tiden die Zeit der Auswertephase nicht ausreicht, kann hier nur auf die Wochenmittelwerte zurückgegriffen werden. Aufgrund der Mittelung der einzelnen Tiden kann nicht ausgeschlossen werden, daß Tiden mit kürzerem Flutweg als dem o.a. mit in die Betrachtung einfließen.

Ein Vergleich wird vorgenommen für die Parameter :

- Konzentration suspendierter Feststoffe
- Glühverlust
- Sauerstoff
- Temperatur
- Stromweg
- Durchfluß
- Strömungsgeschwindigkeit
- Leitfähigkeit
- Attenuation
- pH-Wert
- Halbtidedauer

Im Vorwege sollen die wesentlichen Unterschiede beider Tidephasen aufgezeigt werden. Diese Unterschiede sind ortsspezifisch und beeinflussen die Halbtidenmerkmale speziell für den Stromkilometer 607.5. Dieselben Einflüsse wirken sicherlich auch in anderen Stromabschnitten, die Auswirkungen werden aber anders gewichtet sein.

Ebbe

Die Ebbe wird charakterisiert durch eine Strömung, die kurz nach dem Kenterpunkt ihr Maximum erreicht und dann über eine Phase von ca. 6 Stunden ihren Wert beibehält und entsprechend dem Anstieg zum Kenterpunkt Ke wieder abfällt (Abb.B.4.1). Dabei steigt während dieser Zeit der Sauerstoffgehalt kontinuierlich an und erreicht bei Ke sein

STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN BEI EBBE UND FLUT

Abb B.4.1

(m/sec) (11. November 1986)

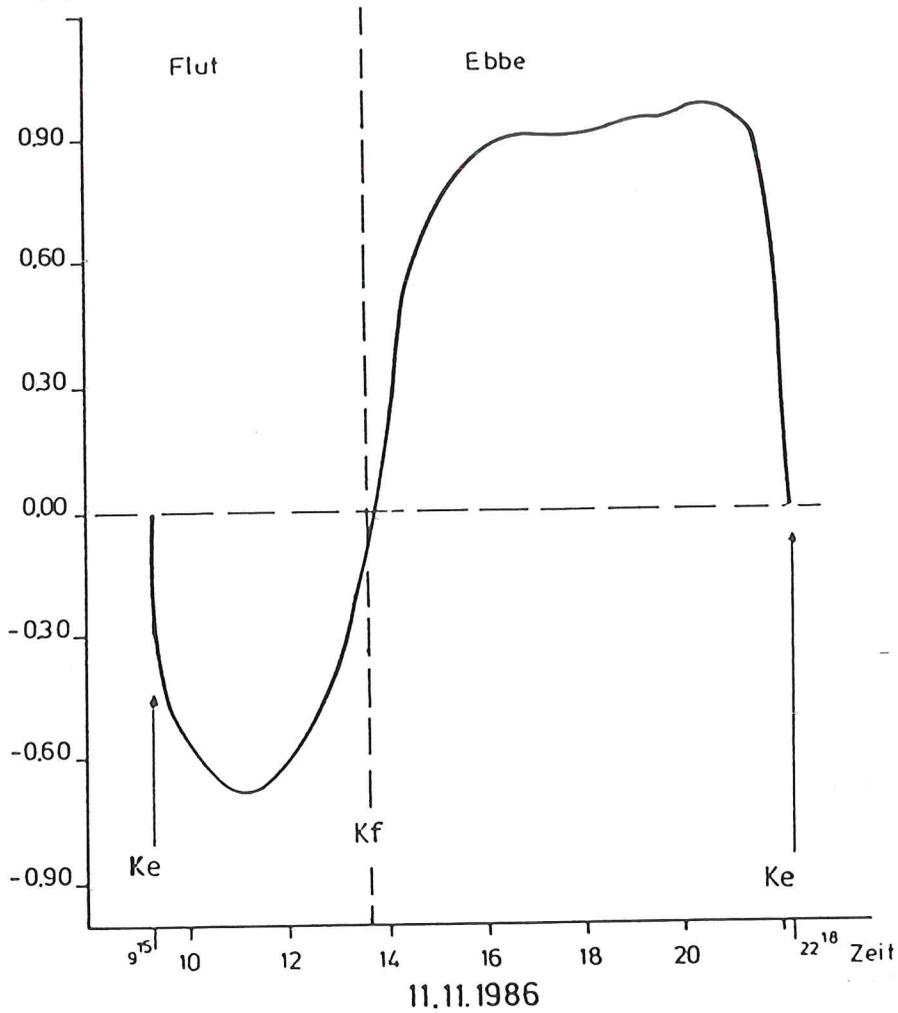
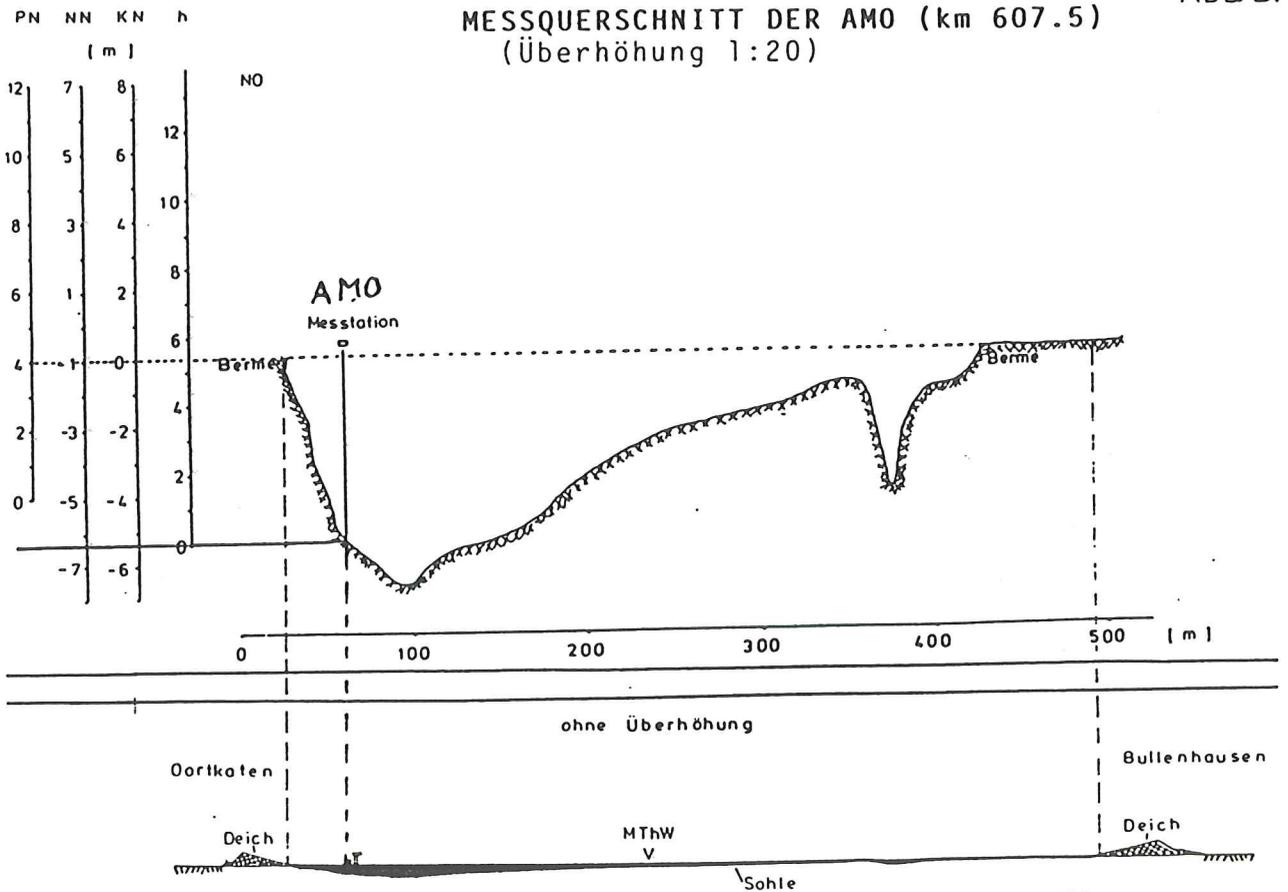


Abb B.4.2

MESSQUERSCHNITT DER AMO (km 607.5)
(Überhöhung 1:20)



Maximum. Die Variationen der anderen Parameter sind während der vollen Ebbeströmung dagegen gering. Die Kenterung bei Kf verläuft nicht gleichmäßig über den Querschnitt, wie aus Messungen mit dem CUX-Sampler und Beobachtungen während vieler Kenterungen durch den Autor hervorgeht. Die Kenterung setzt zunächst auf der Nordseite der Fahrrinne ein und breitet sich dann zum Nord- und Südufer hin aus. Dieser Vorgang benötigt ca. 30 Minuten.

Schwimmermessungen haben gezeigt, daß während der Ebbe die Hauptstromrichtungen vor und hinter dem Meßquerschnitt eine leichte Krümmung entsprechend der Flußmorphologie beschreiben. Dies läßt darauf schließen, daß die Meßstation nicht an einem Prallhang lag, sondern daß sie sich im Bereich gleitender Strömungsrichtungswechsel befand. Ein Indiz hierfür ist auch die Querschnittsmorphologie, die in Abb.B.4.2 wiedergegeben ist.

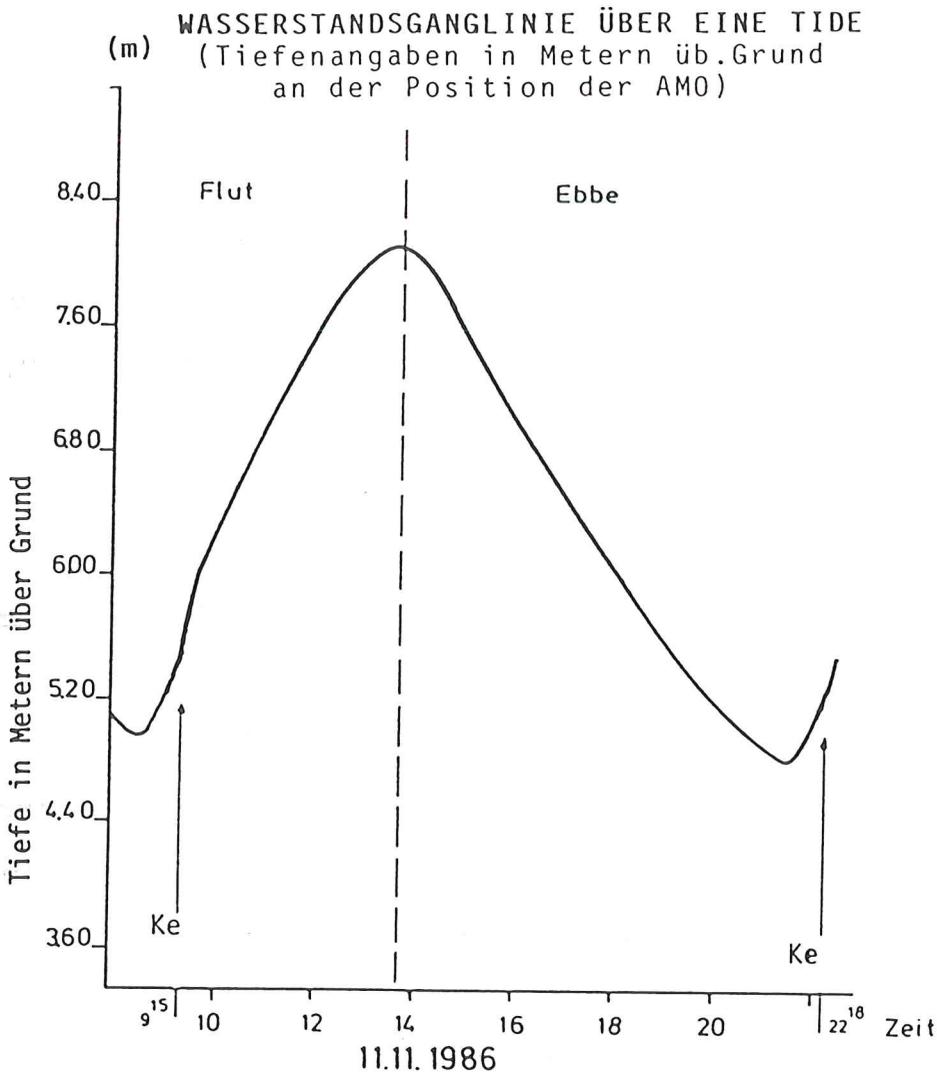
Flut

Entschieden anders als bei der Ebbe finden wir die Verhältnisse während der Flut vor. Einen Hinweis auf diese Unterschiede gibt schon der Verlauf der Tidekurve, die für Oortkaten den typischen Verlauf der Tide im Oberlauf eines Ästuars zeigt (Abb.B.4.3). Man erkennt die unterschiedlichen Tidezeiten, die im Verhältnis 2:1 liegen, und in Abb.B.4.1 die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten, die bei der Flut nur die Hälfte der Werte der Ebbe erreichen.

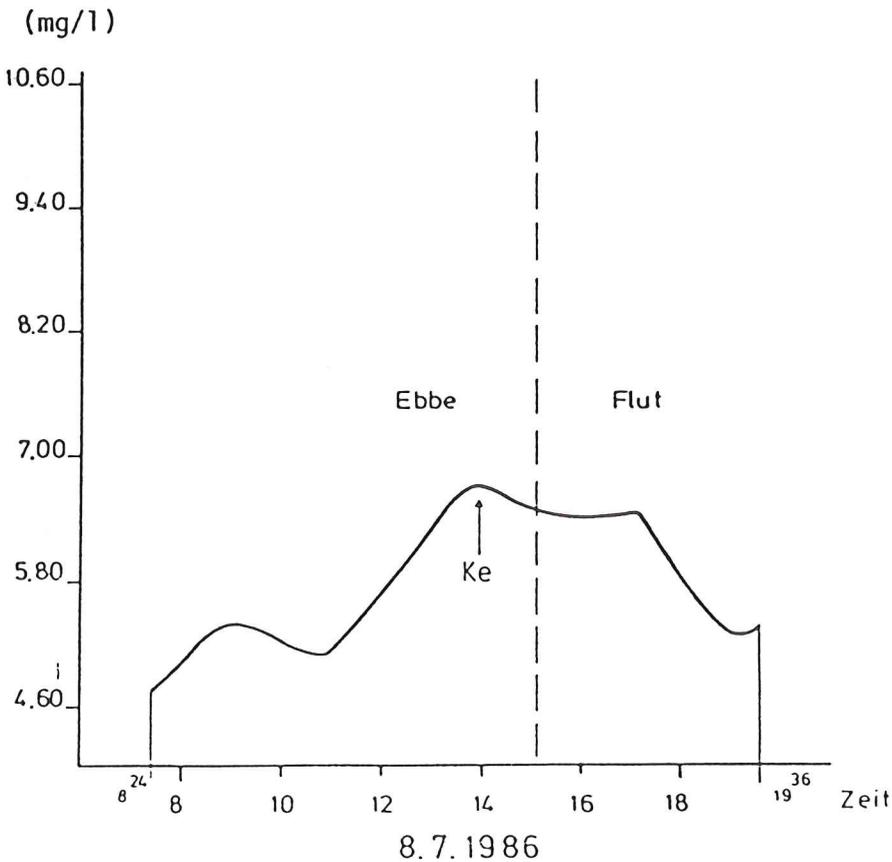
Im Gegensatz zur Ebbe setzt die Flut zunächst auf der Südseite der Elbe ein und setzt sich dann zunehmend über den ganzen Strom durch. Dieser Strömungsrichtungswechsel bei Ke verläuft, jedoch entgegen dem bei Kf, nicht homogen über die Wassersäule verteilt. Während vieler Kenterungen konnte durch den Autor immer wieder beobachtet werden, daß die Strömung zunächst am Boden einsetzte und sich schließlich bis zur Oberfläche hin durchsetzte. Diese Beobachtungen, die eigentlich nur in Gebieten mit starken Salz- oder Temperaturgradienten zu erkennen sind, können zur Zeit noch nicht erklärt werden. Die "Strömungseigenschaften" der Flut sind andere als bei der Ebbe. Während die Strömungsgeschwindigkeitskurve der Ebbe (Abb.B.4.1) ein Plateau über lange Zeiten der Halbtide zeigt, finden wir bei der Flut einen Anstieg bis zu einem Maximum und einen Abfall danach bis zum Kenterpunkt Kf. Dabei verhalten sich die Zeiten für dieses Ansteigen und Abfallen über die Halbtide im Mittel im Verhältnis 2/5 zu 3/5.

Dieser allgemeinen Betrachtung über die Verhältnisse der Halbtiden folgen nun die Ergebnisse der Ebbe- und Flutvergleiche, die in Tabelle B.4.5 aufgeführt sind. Eine Interpretation dieser Ergebnisse ist im Rahmen dieser Auswertung nicht möglich und wird nur im Abschnitt B.5 kurz diskutiert.

Aufgrund der o.a. Konvention, daß nur Tiden betrachtet werden, bei denen der Flutweg >7.5 km beträgt, verbleiben für den Vergleich maximal 31 Tiden (Wochenmittel). Für



SAUERSTOFFGEHALTSGANGLINIE ÜBER EINE TIDE



VERHÄLTNIS DER HALBTIDEWERTE EBBE / FLUT (WOCHENMITTEL) FÜR TIDEN MIT EINEM FLUTWEG >7.5 KM

Woche. Leitfk. pH-Wert Glühverl. O2-Geh. Schwebstoffkonz. Temp. Durchfl. Stromwg. Geschw. Dauer Atten.

8428	1.005	1.01	0.86	0.97	1.50	1.02	1.36	3.49	1.73	1.88	1.02
8430	1.007	1.00	0.97	1.03	1.52	0.99	1.30	3.61	1.74	1.93	0.98
8431	0.995	1.00	0.82	1.03	2.00	0.96	1.40	3.78	1.84	1.96	1.02
8436	0.975	1.06	1.04	0.90	0.93	1.11	1.03	2.56	1.43	1.67	1.07
8448	0.996	1.00	1.00	0.99	1.14	1.01	1.33	3.20	1.77	1.73	0.95
8532	0.997		1.06	1.02	1.42	1.00	1.54	3.35	1.97	1.59	
8536	1.000		0.95	1.03	1.02	0.99	1.39	3.43	1.80	1.81	
8537	1.000		0.91	1.02	1.13	1.00	1.45	3.49	1.93	1.75	
8539	0.997	1.00	1.23	0.99	1.11	1.00	1.36	3.63	2.00	1.71	
8540	0.999	1.00	0.93	1.01	1.23	1.00	1.34	3.22	1.79	1.69	
8541	0.998	1.00	0.93	1.01	1.27	1.00	1.27	3.12	1.75	1.71	
8542	1.000	1.00	1.03	1.01	1.05	0.99	1.50	3.42	1.92	1.70	
8544	0.999	1.00	1.05	1.00	0.98	1.01	1.38	3.11	1.77	1.67	
8545	1.012	1.00	1.00	0.96	1.16	1.01	1.24	2.74	1.66	1.54	
8628	0.998	0.99	0.98	1.00	1.10	1.02	1.21	2.57	1.45	1.66	
8629	1.000	1.00	1.00	1.00	1.15	1.00	1.23	2.68	1.43	1.78	
8630	1.003	1.00	0.99	1.00	1.09	0.99	0.96	2.34	1.34	1.64	
8631	0.997	1.00	0.97	1.02	1.30	1.00	1.20	2.55	1.49	1.63	
8632	1.000	1.00	0.99	1.02	1.13	1.00	1.05	2.16	1.35	1.55	
8633	1.006	1.00	1.00	1.01	1.14	1.00	1.06	2.18	1.31	1.55	
8636	0.998	1.00		1.01		1.00	1.10	2.39	1.37	1.65	
8637	1.000	1.00		1.01		1.00	1.18	2.35	1.50	1.66	
8638	0.993	0.98		1.00		1.02	1.10	2.49	1.49	1.59	
8640	0.996	1.01		0.98		1.00	1.18	2.77	1.54	1.69	
8641	0.998	1.01		1.01		1.00	1.12	2.35	1.38	1.63	
8642	1.003	1.01		1.00		1.01	0.95	2.00	1.21	1.56	
8643	1.000	1.00		1.00		0.99	0.84	1.70	1.03	1.54	
8644	1.000	1.00		1.00		0.99	1.24	3.11	1.57	1.86	
8645	1.012	1.01		1.01		0.98	1.02	2.80	1.43	1.88	
8646	1.001	1.00		1.00		1.00	1.30	3.25	1.71	1.78	
8647	1.001	1.00		1.00		1.00	1.25	2.84	1.56	1.72	

einige Parameter reduziert sich diese Zahl sogar noch erheblich dadurch, daß während dieser Zeiten diese Parameter nicht gemessen wurden.

Die Verhältnisse der Parameter von Ebbe zu Flut sind in Tabelle B.4.5 angegeben. Anhand dieser Verhältnisse ist die Beurteilung der einzelnen Mittelwerte möglich, die allein für sich noch keine Aussage zulassen.

Mittelwerte einiger Parameter über die Halbtiden

Parameter	Mittelwert für	
	Flut	Ebbe
Leitfähigkeit(mS/cm)	1.242	1.242
pH-Wert	7.44	7.45
Glühverlust(%)	33.1	32.5
Sauerstoffgehalt(mg/l)	7.83	7.84
Schwebstoffkonz.(mg/l)	30.36	36.70
Temperatur(Grad Cels.)	15.5	15.6
Durchfluß(m ³ /sec)	872	1046
Stromweg(km)	8.3	23.2
Stromgeschw.(m/sec)	0.72	0.46
Halbtidendauer(sec)	16574	28112

Die hier aufgeführten Werte zeigen bis auf einige Ausnahmen keine prägnanten Unterschiede zwischen der Ebbe- und der Flutwassermenge. Eine genaue Betrachtung der Einzeltiden würde sicherlich die doch zum Teil vorhandenen Unterschiede klarer erkennen lassen.

B.5. Fehlerbetrachtung

Die Meßergebnisse der Meßstation Oortkaten (AMO) wurden im Teil II des Abschlußberichtes in Form von Ganglinien und Datenlisten zusammengefaßt. Dabei blieben die absoluten und relativen Fehler unberücksichtigt, d.h. die in diesen Abbildungen und Tabellen aufgeführten Daten sind an der AMO gemessene "Rohdaten", die noch keiner Fehlerbetrachtung unterzogen wurden, und somit auch nur in sich einen konsistenten Datensatz darstellen, im Vergleich zu Messergebnissen Dritter aber in dieser Form nicht verwendet werden können.

Um den Vergleich mit anderen Ergebnissen durchführen zu können, wie es in den vorliegenden Abschnitten geschehen ist, wurden die Ergebnisse der AMO einer Fehlerbetrachtung unterworfen, die im folgenden dargestellt ist. Eine statistische Absicherung konnte dabei nicht vorgenommen werden, da die zur Verfügung stehende Auswertzeit hierfür nicht ausreichte.

Untersuchungen des Ingenieurbüros Goepfert und Reimer und Partner (s.Anhang) und Angaben des Labors der GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH sowie Angaben der Hersteller der Meßgeräte bilden die Grundlage für die Fehlerbetrachtung.

Fehler der Schwebstoffkonzentrationsdaten :

- Verlust grober Fraktionen im Schlauch des Entnahmesystems durch Separation und Verlust feinsten Partikel durch Absorption an den Schlauchwandungen
(Abschätzung über Vergleichsmessungen nach Neumann, ca-Angabe) -10.0 % TS
- Verlust von Schwebstoffen beim Zentrifugieren (nach Goepfert und Reimer) -31.3 % TS
- Verluste im Labor (beim Dekantieren) (nach GKSS, ca-Angabe) - 5.0 % TS

Summe der absoluten Fehler : - 46.3 % TS

- Einwaage der Feuchtwichte (nach GKSS) +/- 2.5 % TS
- Homogenisieren (nach GKSS) +/- 5.0 % TS
- Wägung (nach GKSS) +/- 0.1 % TS
- Unregelmäßigkeiten bei der Tankentleerung (nach Neumann) +/- 2.4 % TS

Summe der relativen Fehler : +/-10.0 % TS

Fehler der Schwebstoffkonzentrationsdaten : -46.3 % +/-10 %
=====

Hieraus ergibt sich, daß alle Schwebstoffdaten bei Angaben über die "natürlichen" Verhältnisse als Querschnittsmittel mit einem Faktor beschickt werden müssen.

VERGLEICH DER MESSERGEBNISSE AN DER POSITION DER AMO ZUM
QUERSCHNITTMITTEL NACH MESSUNGEN MIT DEM CUX-SAMPLER

Parameter : *Strömungsgeschwindigkeit*

Datum	Pos I		Querschnittsmittel		PosI/Querschn.Mittel	
	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe
04.12.85	0.69	0.84	0.57	0.80	1.21	1.05
03.12.85	0.94	0.92	0.67	0.81	1.38	1.14
04.06.85	0.45	0.92	0.42	0.71	1.07	1.30
01.04.85	-	0.90	-	0.76	-	1.18
04.09.84	0.50	0.75	0.47	0.69	1.06	1.09
29.11.83	0.48	0.89	0.44	0.70	1.09	1.27
12.10.83	0.74	0.87	0.67	0.76	1.10	1.14
29.06.83	0.56	0.93	0.49	0.79	1.14	1.18
19.04.83	-	1.05	-	0.88	-	1.19
10.03.83	0.18	0.85	0.20	0.72	0.90	1.18
07.12.82	0.55	0.82	0.48	0.72	1.15	1.14
26.10.82	0.42	0.72	0.37	0.65	1.14	1.11
10.08.82	0.46	0.62	0.49	0.63	0.94	0.98
08.06.82	0.38	0.84	0.43	0.76	0.88	1.11
30.03.82	-	0.87	-	0.76	-	1.14
16.02.82	-	0.93	-	0.82	-	1.13
Mittelwerte					1.09	1.15
Gesamtmittel						1.12

Parameter : *Konzentration suspendierter Feststoffe*

Datum	Pos I		Querschnittsmittel		PosI/Querschn.Mittel	
	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe	Flut	Ebbe
04.12.85	14.40	18.80	16.40	21.20	0.88	0.89
03.12.85	16.70	17.30	16.70	17.90	1.00	0.97
04.06.85	18.30	14.80	20.10	19.10	0.91	0.77
01.04.85	-	22.70	-	27.40	-	0.83
04.09.84	16.00	16.30	16.60	18.10	0.96	0.90
29.11.83	15.70	15.10	17.30	16.30	0.91	0.93
12.10.83	13.50	14.10	14.80	15.10	0.91	0.93
29.06.83	28.60	26.70	26.30	28.30	1.09	0.94
19.04.83	-	45.20	-	49.70	-	0.91
10.03.83	11.90	12.30	9.70	13.80	1.23*	0.89
07.12.82	13.50	11.40	13.80	13.00	0.98	0.88
26.10.82	16.00	13.10	16.90	16.80	0.95	0.78
10.08.82	23.80	28.90	28.80	32.90	0.83	0.88
08.06.82	18.10	22.40	17.70	30.60	1.02	0.73*
30.03.82	-	15.20	-	18.80	-	0.81
16.02.82	-	16.80	-	17.60	-	0.95
Mittelwerte					0.95	0.88
Gesamtmittel						0.915

* - Werte wurden bei der Mittelwertberechnung nicht mitgerechnet

Ergänzend zu den o.a. Fehlern werden hinsichtlich der Repräsentativität der Meßwerte für den Querschnitt die Ergebnisse der Eichmessungen mit dem CUX-Sampler berücksichtigt. Die dabei abweichenden Meßverfahren zwischen CUX-Sampler und AMO würden zwar eine derartige Eichung nicht zulassen. Es hat sich aber bei den Messungen der GKSS (BILEX'84 und BILEX'85) gezeigt, daß eine sehr große Vertikaldurchmischung im Querschnitt vorherrscht. Diese erlaubt es nun trotz der unterschiedlichen Berechnungsverfahren die Meßergebnisse der CUX-Sampler-Messungen als Eichgrößen für die AMO mit zu berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung der o.a. Fehler und der in Tabelle B.5.1 berechneten Eichfaktoren ergeben sich für die Hochrechnung der AMO-Daten auf "wirklichkeitsnahe" Verhältnisse folgende Faktoren :

-für Flutstromrichtung :	2.05
-für Ebbstromrichtung :	2.40

Weiterhin ergibt die Betrachtung nach Abwägung aller Wahrscheinlichkeiten, daß der relative Meßfehler in der Größenordnung von +/-10 % liegt.

Fehler anderer Meßgrößen :

Die Untersuchungen des Ingenieurbüros Goepfert und Reimer und Partner (s. Anhang) ergeben folgende Meßtoleranzen :

- Leitfähigkeitsmessung	+/- 1 %
- pH-Wert-Messung	+/- 1 %
- Sauerstoffmessung	+/- 3 %
- Temperaturmessungen	+/- 1 %

Meßtoleranzen zu weiteren Meßgrößen können nur anhand der Herstellerangaben aufgeführt werden :

- Geschwindigkeitsmessung	max.	+/- 0.5 %
- Pegelmessung	max.	+/- 1.0 %

"Theoretische Fehler"

Weitere Fehler, die die Meßergebnisse beeinflussen könnten wären:

- Füllstandsmessungen der Tankinhalte
- Meßfehler bei der Erstellung der Eichkurven
- Linearisierung der Eichkurven von Eichpunkt zu Eichpunkt
- Rundungsfehler bei Mittelwertbildungen

Diese Fehler können aber weder belegt, noch abgeschätzt werden, und werden daher nicht in der weiteren Betrachtung berücksichtigt.

Die Fehler der Rechenergebnisse der Transporte pro Sekunde und der Transporte pro Halbtide ergeben sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz. Da jedoch für den Durchfluß kein Fehler angegeben werden kann (Ausnahme : +/- 1 % der Pegelmessung), werden die Fehler der Grundgrößen für die Rechengrößen übernommen. (Tabelle B.5.1)

Für den Parameter Strömungsgeschwindigkeit sind die Meßwerte an der Position der AMO bei Ebbe um 15 %, bei Flut um 9 % höher als im Querschnittsmittel. Für den Parameter Schwebstoffkonzentration liegen diese Werte hingegen um ca.10 % unter den Mittelwerten des Querschnitts.

Bei der Berechnung der Schwebstofftransporte heben sich somit beide Fehler auf. Aus diesem Grunde sind die Transportangaben des suspendierten Materials repräsentativ über den ganzen Querschnitt. Alle Angaben auf Transporte hinsichtlich anderer Parameter (Wärme,Sauerstoff) brauchen jedoch nur mit dem Faktor 0.89 versehen werden, da zum einen für diese keine Angaben über den Querschnitt vorliegen und zum anderen davon ausgegangen werden kann, daß sich diese Parameter konservativ in diesem Flußabschnitt verhalten.

B.6. Diskussion der Ergebnisse

Die Ziele, die zum Bau der Automatischen Meßstation Oortkaten geführt haben, sind z.T. erreicht, z.T. auch übertroffen worden. Aus der Vorhabenbeschreibung des Jahres 1980 sollen hier nochmals die Ziele, die mit dem Bau der Anlage verbunden waren, zitiert werden:

"...Gegenstand dieses Antrages ist die Entwicklung und Erprobung von Meßsystemen, die als Prototyp eingesetzt werden können. Sie sollen die Verteilung des Schlicks in der Wassersäule und die zeitliche Veränderung unter Einfluß der Wasserbewegung und anderer Faktoren erfassen....

....So soll untersucht werden, in welchen Größenordnungen chemische, physikalische und biologische Inhaltsstoffe den Suspensionsgehalt und das Sedimentationsverhalten von Schlick beeinflussen....

....Um die anstehenden Fragen befriedigend beantworten zu können, soll das Meßprogramm zwei Teilprobleme erfassen.

a)(Meßprogramm Weser)...b) Erfassung der für ein Problemgebiet maßgebenden Randwerte in ihrer zeitlichen Veränderung durch eine Dauermeßstation. Daneben werden ergänzend zu den Faktoren --Strömungsgeschwindigkeit- und Richtung, Wassertemperatur, Salzgehalt(Leitfähigkeit), pH-Wert, Suspension(Konzentration,Zusammensetzung)-- Suspensionsproben für qualitative und quantitative Analysen auch in biologisch-chemischer Hinsicht entnommen.

Alle Parameter sollen auf ihre Meßbarkeit und die vorkommende Variationsbreite im Jahresgang untersucht werden. Dabei spielt die Frage, welche Einflußfaktoren sich durch bauliche oder andere Maßnahmen verändern lassen, eine wesentliche Rolle für die spätere praktische Anwendung.

Die ADV-gerechte Aufbereitung der Meßergebnisse ist ein weiterer Bestandteil des Programms.....".

Dieses sehr anspruchsvolle Programm konnte in seinen wesentlichen Forderungen erfüllt werden. Lediglich der Teil über die "Einflußfaktoren baulicher Maßnahmen" konnte nicht erbracht werden, da hierfür eine weitere Meßphase erforderlich gewesen wäre, für die zudem eine einzelne Dauermeßstation nicht ausgereicht hätte.

Das Ergebnis der Arbeit besteht also nicht nur in der wissenschaftlichen Interpretation der Meßergebnisse, sondern ist auch in der erfolgreichen Konstruktion der Meßanlage und dem Erstellen der Auswerteprogramme zu sehen.

Auf die einzelnen Interpretationen der Meßergebnisse soll hier nur zusammenfassend eingegangen werden, da dies schon, soweit es der Stand der Auswertung zuläßt, in den vorangegangenen Abschnitten eingegangen wurde.

Die Problematik von Schwebstoffmessungen wird ausführlich bei CHRISTIANSEN (1987) beschrieben. Legt man diese Schwierigkeiten als Maß für die auf der AMO gewonnenen Daten an, so ist das Ergebnis mehr als zufriedenstellend. Zwei Jahre Dauermessungen, mit einer Meßfrequenz, die für die meisten Parameter unter 15 Minuten, für die Proben-sammlung als Mittel einer Haltide unter 8 Stunden lag, wurden bislang in dieser Intensität noch nicht durchgeführt.

Der enge Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentrationen und biologischer Aktivität wird bei GREISER (1987) beschrieben. Die Ergebnisse der Probeanalyse hinsichtlich des Anteils biogener Substanz werden auch durch seine Ergebnisse, die an ungestörten Proben gewonnen wurden, bestätigt. Die daraus folgenden Interpretationen (s. Anhang Bd. 2, Abschn. 3 und 4) werden jedoch z.T. auf Laborversuche und Ergebnisse in anderen Gebieten zurückgeführt. Damit sind die in situ in der Oberelbe ablaufenden Prozesse

jedoch meßtechnisch noch nicht nachgewiesen. Die von GREISER vorgestellten Modellvorstellungen lassen sich auch auf die in diesem Teil des Abschlußberichtes dargestellten Meßergebnisse anwenden (s.z.B.Abschn.B.3). Inwieweit die im Anhang Band 2 aufgeführten Hypothesen durch die Meßergebnisse der AMO bestätigt oder widerlegt werden, kann zur Zeit nicht beantwortet werden. Es ist GREISER jedoch gelungen ein vollständiges Bild der biogenen und hydrographischen Prozesse, die in der Oberelbe zwischen Geesthacht und Hamburg ablaufen aufzuzeigen. Zukünftigen Forschungsarbeiten ist damit eine Grundlage gegeben, die ein zielorientiertes Arbeiten ermöglicht (siehe Anhang Bd. 2 Abschn.5).

Kausalitäten zwischen hydrographischen Parametern, wie sie von vielen Autoren nachgewiesen wurden, können anhand der Daten der AMO nur bedingt bestätigt werden. So wird die hinlänglich bekannten Beziehungen zwischen Sauerstoff und Temperatur, Durchfluß und Geschwindigkeit, Attenuation und Schwebstoffkonzentration u.a. auch anhand der Daten der AMO sichtbar. Es zeigt sich jedoch eine starke Streuung dieser Daten, die -schließt man in erster Näherung Meßfehler aus- die Heterogenität und natürliche Fluktuation der Prozesse im Freiland reflektiert. Diese Streuung der Meßdaten ist somit nicht als negativer Aspekt bei der Beurteilung der Daten zu werten, sondern sollte als Hinweis aufgenommen werden, daß, trotz aller meßtechnischen Raffinesse, auch heute noch ein Einblick in die einzelnen Prozesse, die im Labor nachweisbar sind, bei in situ

Messungen noch Fragen offen lassen.

Neben diesen Trivialbeziehungen zeigen die Daten jedoch einige neue Ergebnisse, die bislang in ihrer Abhängigkeit nicht bekannt, beziehungsweise in anderer Weise nachgewiesen wurden. So hat z.B. CHRISTIANSEN (1974) die Abhängigkeit der Konzentration suspendierter Feststoffe von der Temperatur für die Außenelbe in genau entgegengesetzter Weise nachgewiesen, als sie sich jetzt für die Oberelbe andeutet. Dies geht auch aus Laborversuchen hervor, die von DILLO durchgeführt wurden, und als Bestätigung der Ergebnisse in der Arbeit von CHRISTIANSEN (1974) verwendet wurden. Der wesentliche Unterschied dieser Ergebnisse, die im krassen Gegensatz zu den Ergebnissen der AMO liegen, besteht in der Zusammensetzung des suspendierten Materials, das in der Außenelbe (DILLO benutzte Sand von Norderney) einen dominierenden Anteil mineralischer Substanzen enthält, während in der Oberelbe der biogene Anteil mit >30 % zu ganz anderen Prozessen führt, die bei GREISER (1987) und CHRISTIANSEN (1987) beschrieben sind.

Ungeklärt ist bislang die Konstanz des biogenen Anteils am Schwebstoff, die nach den Ergebnissen der AMO zwischen 30 und 40 Prozent liegt; und dies unabhängig von Jahreszeiten oder anderen örtlichen wie zeitlichen Einflüssen. Die Beantwortung dieser Frage anhand gemessener Daten wird weitere Einblicke in die Frage der Rolle der Biologie im System Oberelbe hinsichtlich der Schwebstoffdynamik bringen.

Suspendiertes Material in der Wassersäule eines Flusses erscheint dem uneingeweihten Betrachter zunächst ein natürliches Phänomen zu sein. Das dies nicht so sein muß, zeigt sich bei Betrachtung klarer Gebirgsbäche, in denen Feststoffkonzentrationen unter 1 mg/l liegen können. Auf der anderen Seite existieren auch Flußbereiche, in denen die Konzentrationen mehrere g/l erreichen können. Neben den o.a. biologischen Faktoren ist es die Hydrodynamik, die eine Zunahme, bzw. Abnahme der Schwebstoffkonzentration bewirkt. Dies wird in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben, auf die hier im einzelnen nicht eingegangen werden kann.

Erosion und Sedimentation als Folge erhöhter, bzw. verminderter Geschwindigkeit trägt nun zu einer Steigerung, bzw. Minderung der Konzentration bei. Dieser Effekt läßt sich anhand der Daten und den in Abschn.B.2 dargestellten Korrelationen nicht erkennen. Als Erklärung kann hier nur angenommen werden, daß sich die Prozesse der Sedimentation und Erosion in kürzeren Zeiten vollziehen, als durch die AMO meßtechnisch erfaßbar war. Als interessantes Ergebnis ergibt sich jedoch daraus, daß jede Wassermenge einer Halbtide, ungeachtet ihrer veränderten hydrodynamischen Eigenschaften, eine Schwebstofffracht mit sich führt, deren Konzentration eben nicht von diesen Eigenschaften direkt abhängt. Hier muß betont werden, daß sich diese Aussagen nur auf Wasserkörper beschränken, die sich im Bereich des Hauptstromes bewegen. Seitenräume und Ha-

fenbecken, die ausgeprägte Stillwasserzonen darstellen haben ihre eigene Dynamik und sollen nicht Thema dieser Arbeit sein.

Inwieweit sich die hier aufgestellten Hypothesen bestätigen werden, muß der weiteren Interpretation der Daten der Meßstation Oortkaten vorbehalten bleiben.

Entgegen der zu Beginn dieses Abschnittes vorgestellten Vorhabenbeschreibung, wurden an der Meßstation und auch im Labor keine chemischen Untersuchungen durchgeführt. Dies stellt sich nun nachhinein als großer Mangel heraus. Auch die Streichung der Mittel für einen automatischen Bildanalysator muß bei jetzigem Kenntnisstand als großer Verlust angesehen werden, da dadurch eine Beobachtung ungestörter Schwebstoffe möglich geworden wäre. Diese Kenntnisse hätten sehr wahrscheinlich Erklärungen für die noch offenen Fragen, wie sie weiter oben und in Abschnitt F formuliert sind, gebracht.

C. MESSPFAHL NORDENHAM

Anhand der Daten des Meßpfahles Nordenham lassen sich keine Aussagen über Zusammenhänge und Kausalitäten beim Transport suspendierter Feststoffe machen. Bezüglich der Meßergebnisse sei auf die Jahresberichte 1983-1985 verwiesen.

Beispiele der Meßergebnisse, die mit der Multisonde am Meßpfahl von Nordenham gewonnen wurden, sind im Teil II, Abschn.C des Abschlußberichtes aufgeführt.



MASEX-Arbeitsgruppe (v.l.n.r. R.Schubert*, G.Lange*, L.J.R.Neumann**, Dr.H.Krasemann**
I.Grabemann**, Dr.R.Riethmüller**, Prof.Dr.M.Markofsky*, Dr.H.-U.Fanger**
J.Böning****)

* -Inst.f.Strömungsmechanik, Univ.Hannover ** -GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

**** -WSA-Bremerhaven

D. PROJEKT MASEX

Das MASEX-Konzept (NEUMANN et al, 1986) hat sich als eine Möglichkeit erwiesen, eine synoptische Meßdatenerfassung im Tidegebiet eines Flusses erfolgreich durchzuführen. Die dabei verwendete Meßstrategie ist nicht nur für die Unterweser geeignet, sondern bei entsprechender Modifikation auch auf andere Ästuarie übertragbar.

Die Ergebnisse (s. Abschlußbericht Teil II, Abschnitt D) zeigen, daß die Verhältnisse im Bereich der Trübungszone sehr komplex sind und von einer großen Zahl von Faktoren abhängen. Es ist jedoch bei MASEX'85 zum ersten Mal gelungen, die Trübungszone vollständig im Längsschnitt über mehrere Tiden meßtechnisch zu erfassen, um dadurch ein synoptisches Bild der physikalischen Vorgänge zu erhalten.

Für das Verständnis der Zusammenhänge ist die Einbindung der Ergebnisse in ein hydrodynamisch-numerisches Modell notwendig. So wurden die Meßdaten von MASEX'83 zur Eichung eines hydrodynamisch-numerischen Transportmodells verwendet (MARKOFISKY, SCHUBERT, 1986). Dieses Modell ist an der Universität Hannover im Rahmen des SFB 205 entwickelt worden. Die Ergebnisse der Modelluntersuchungen sind im Anhang B dargestellt. Die detaillierten Ergebnisse der MASEX-Kampagnen 1983 und 1985 sind in den Jahresberichten des Projektes "Schlick und Schwebstoffe in Ästuaren", in unveröffentlichten Reports (NEUMANN, 1984 und 1986) sowie in mehreren Veröffentlichungen (z.B.: FANGER et al., 1985

und RIETHMÜLLER et al., 1986) niedergeschrieben.

Neben diesen ersten Ergebnissen liegen keine weiteren abschließenden Erkenntnisse vor. Der Stand der Auswertung von MASEX'85 bei der GKSS befindet sich im Stadium der Datenaufbereitung, die im Dezember 1987 weitgehend abgeschlossen ist.

Nach Abschluß der Datenaufbereitung sind nun Datensätze verfügbar, die als Randwerte in ein numerisches Modell eingehen sollen, so daß Simulationsrechnungen verschiedener Gewässerzustände der Weser möglich sind auf der Grundlage eines gut verifizierten Transportmodells.

Eine abschließende Analyse der aufbereiteten Daten kann bei GKSS aus Zeitgründen, und aufgrund von Personalmangel nicht mehr durchgeführt werden.

Ziel einer derartigen Analyse wäre es gewesen, die Ergebnisse der Querprofilmessungen zur Repräsentativitätsprüfung der Messungen im Längsschnitt heranzuziehen, beziehungsweise Korrekturfaktoren zu liefern, mit denen die Werte der Längsschnittmessungen dann beschickt werden könnten.

Weiterhin sollten qualitative und quantitative Aussagen zu den Umlagerungsprozessen der temporären Schwebstoffe in der Trübungszone abgeleitet werden, um die dabei ablaufenden physikalischen Prozesse, die bislang noch völlig unbekannt, bzw. meßtechnisch noch nicht nachgewiesen sind zu untersuchen.

E. BIBLIOGRAPHIE

Die Bibliographie dieses Abschlußberichtes ist dreigeteilt. Im Teil 1 sind die unveröffentlichten internen Berichte aufgeführt, die in begrenzter Anzahl beim Amt für Strom- und Hafenbau in Hamburg vorrätig sind. Im Teil 2 sind die Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes aufgelistet und Teil 3 beinhaltet ein Literaturverzeichnis weiterführender Literatur.

E.1. Unveröffentlichte interne Berichte

- Fanger, H.-U. Datenbericht MASEX '85, GKSS, Geesthacht
Grabemann, I. 1987
Heymann, K.
Krasemann, H.-L.
Kühl, H.
Puls, W.
Riethmüller, R.
Schubert, R.
- Hülsemann, J. Schlicktransport und Sedimentation in
deutschen Tideästuaren - Meßdatenerfassung.
1981
- Neumann, L.J.R. Betrachtungen über die Zusammenhänge von
Oberwasser, Strömungsgeschwindigkeiten,
Morphologie und Baggermengen in der Unter-
weser, 1983
- Neumann, L.J.R. Vergleich der Gammasondenmessungen
mit den Ergebnissen der Kernentnahme- MASEX
'83, 1983
- Neumann, L.J.R. Oberwasser- und Pegelstandsbeobachtungen
während MASEX '83, 1983
- Neumann, L.J.R. Strömungsmessungen MASEX '83 ,Teil A: Diagramme
Teil B: Datensammlung. 1983
- Neumann, L.J.R. Korngrößenvergleich als Grundlage f.d.
Beschaffung eines Korngrößenanalysators, 1983.
- Neumann, L.J.R. Meßvergleichsfahrt mit FS Ludwig Prandle am
15.11.84- Ergebnisbericht. 1984

- Nemann, L.J.R. Ergebnisse der Probenanalysen- MASEX'85, Rep.No.1, 1985.
- Neumann, L.J.R. Positionsvergleiche und Peilungen-MASEX'85, Rep.No.2, 1985.
- Neumann, L.J.R. Pegeldata, Wasserstandsbeobachtungen, Oberwasser und meteorologische Daten- MASEX'85, Rep.No.3, 1985.
- Neumann, L.J.R. Ergebnisse d.Dauerregistriergeräte-MASEX'85 Teil 1- Strömungsmessungen, Rep.No.4, 1985.

E.2. Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes

- Christiansen, H. Das Forschungsvorhaben Schlick/Schwebstoffe in Ästuaren. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.123-
- Christiansen, H. Erste Ergebnisse aus Schwebstoffmessungen mit dem CUX-Sampler in der Elbe. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.123-134
- Fanger, H.-U.
Neumann, L.J.R.
Ohm, K.
Riethmüller, R. MASEX'83, eine Untersuchung über die Trübungszone der Unterweser. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.171-187
- Fanger, H.-U.
Bössow, E.
Kuhn, H. Eine Gammasonde zur Schlickdichtebestimmung: Ihre Entwicklung, Erprobung und Bewährung im Feldeinsatz. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.188-207
- Greiser, N. Die Bedeutung biologischer Faktoren für die Schwebstoffbildung - Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse. DIE KÜSTE; H.42; 1985 S.135-149
- Greiser, N. Zur Dynamik von Schwebstoffen und ihren biologischen Komponenten in der Elbe bei Hamburg. Diss.a.Inst.f.Hydrobiol.u.Fisssereiwiss.d.Univers. Hamburg, 1987
- Neumann, L.J.R. Die Automatische Meßstation Oortkaten: Meßsystem zur Sammlung von Schwebstoffen und Begleitparametern. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.151-161
- Neumann, L.J.R. MOSTRA - ein neues Verfahren zur strömungs- und morphologieadäquaten Bilanzierung von suspendierten Feststoffen und Begleitparametern in geschichteten Ästuaren. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.163-170

- Neumann, L.J.R. An Automated Measuring System to Register and Balance Suspended Sediment and Associated Parameters. Proceedings 20th ICCE, Taiwan, 1986.
- Müller, H. Vergleichende Vermessung der Sohlage in einem Unterweserquerschnitt innerhalb der Schlickstrecke bei Nordenham. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.209-225

E.3. Literaturverzeichnis

- Ackermann, F. Welche gelösten Stoffe tragen wesentlich zur Schlickbildung im Ästuar bei? BfG-Koblenz; unveröffentl.; 1982
- Autsyferor, S. Measurements of Coastal Suspended Sediment Concentration. Coastal Engineering 7; 1983.
- Burmeister, W. Charakterisierung des organischen Anteils von Schwebstoffen aus Flußwasserproben durch Elementaranalysen mit einem automatischen CHN-Analysator. Fresenius, Z.; Analy.Chemie 289; 1978; S.86-90
- Christiansen, H. Über den Transport suspendierter Feststoffe in Ästuarien am Beispiel der Elbemündung bei Neuwerk. Hamburger Küstenforschung; H.28; 1974
- Christiansen, H. Neue Erkenntnisse über Schlickbildungs- und Sedimentationsprozesse im Hamburger Hafen. Jb.d.Hafenb.Techn.Ges., 1987; i.Druck
- Dowing, J.P.
Sternberg, R.W.
Lister, G.R.B. New Instrumentation for the Investigation of Sediment Suspension Processes in the Shallow Marine Environment. Marine Geology 42; 1981; S.19-34
- Durst, F. Entwicklung von Meßverfahren für Teilchengeschwindigkeit, Teilchengröße und Teilchenkonzentrationen. Wasserwirtschaft 73; 1983; S.11
- DVWK-
Fachausschuß Trübungsmessung in der Wasserpraxis. DVWK-Schriftenreihe Wasser; Nr.12; 1976
- Göhren, H.
Laucht, H. Entwicklung eines Gerätes zur Dauermessung suspendierter Feststoffe. DGM 16; 1972
- Göhren, H. Ein automatisches Schwebstoff-Dauermeßgerät für den Einsatz im Wattenmeer und in Brandungszonen. DIE KÜSTE; H.24; 1973

- Grabemann, I. Untersuchungen zum Schwebstofftransport in der Unterweser. Inst.f.Meeresf.Bremerhaven; unveröff.; 1985
- Grieve, D.
Fletscher, K. Interactions between Zinc and Suspended Sediments in the Fraser River Estuary. Brit. Columbia Estuarine and Coastal Marine Science 5; 1977: S.415-419
- Griesseier, H.
Markowski, J. Ein radiometrisches Verfahren für die Untersuchung der Sinkstoffbewegungen in Flüssen und Küstengewässern. Dt.Akad.d.Wiss.Berlin; Bd.6; H.6; 1964: S.731-734
- Hahn, H.H. Kolloide Wasserinhaltsstoffe in natürlichen Gewässern. Wasserwirtschaft 73; 1983; S.11
- Heyn, R.-D. Untersuchungen zum Einsatz von Partikelgrößenanalysatoren für Anwendungen auf Elbeschwebstoffe unter besonderer Berücksichtigung eines Laser-Streulicht-Verfahrens. Diss.a.d.Univ. Hamburg; Fachb. Chemie; 1982
- Hinrich, H. Beitrag zur Schwebstoffmessung in Wasserläufen mit Beschreibung eines einfachen Filterverfahrens. DGM 9; 1965; S.49-60
- Hinrich, H. Ermittlung von Schwebstoffgehalt und Schwebstofffracht der Elbe im Bereich Hitzacker in den Jahren 1960-1971. Wasser und Boden;3-73; 1973
- Hovers, G. Messungen des suspendierten Feststoffgehaltes, der Strömungsgeschwindigkeit, sowie des Salzgehaltes an verschiedenen Stationen der Außenweser. Unveröff.Ber.d.WSA-Bremerhaven; 1969/70
- HTG-Ausschuß Meßgeräte und Meßverfahren im Küsteningenieurwesen. DIE KÜSTE; H.41; 1984
- Kaeser, F. Transport partikulärer Substanzen in Fließgewässern, Modellierung und Naturmessungen. Wasserwirtschaft 71; 1981; S.139-144
- Koske, P.H.
Krumm, H.
Rheinheimer, G.
Szekielda, K.H. Untersuchungen über die Einwirkung der Tide auf Salzgehalt, Schwebstoffgehalt, Sedimentation und Bakteriengehalt in der Unterelbe. Kieler Meeresforschung 12; 1966; S.47-63
- Krause, G.
Ohm, K. A Method to Measure Suspended Load Transport in Estuaries. Estuar.Coast.Shelf Sci.; Vol.19; 1984
- Michaelis, W.
Knauth, H.-D.
(Hrsg.) Das Bilanzierungsexperiment 1982 (BILEX'82) auf der Unterelbe. GKSS 85/e/3; 1985

- Nelson, M.E.
Benedict, P.C. Study of Methods used in Measurement and Analysis of Suspended sediment Loads in Streams. Am.Soc.of Civ.Eng.; Ann.Conv.; Spokane: 1946
- Ohm, K. Optische Messungen zur Bestimmung von Schwebstofftransporten. DIE KÜSTE; H.42; 1985; S.227-236
- Pahlke, H. Messungen von Sandbewegungen mit Leitstoffen. DFG-Forschungsbericht; S.273-292
- Postma, H.
Kalle, K. Die Entstehung von Trübungszonen im Unterlauf der Flüsse, speziell im Hinblick auf die Verhältnisse in der Unterelbe. DHZ 8; 1955; S.137-144
- Puls, W.
Kühl, H. Field Measurements of Settling Velocities of Estuarine Flocs. Euromech 192; München: Balkema Publishers; Netherlands; 1985
- Puls, W.
Kuehl, H.
Heymann, K. Settling Velocity of Mud Flocs: Results of Field Measurements in the Elbe and the and the Weser Estuary.Proc.Int.Symp. Phys. Processes in Estuaries; Delft; 1986
- Reinemann, L. Trübungsmessungen zur Bestimmung des Schwebstoffgehaltes. DGM 26; H.6; 1982
- Renger, E. Dauermessungen des suspendierten Feststoffgehalts im Tidegebiet mit Hilfe von Durchlaufzentrifugen. Intermaritec'82; 1982
- Renger, E. Development of a Sediment Transport Measurement System. Proc. of the 18th ICCE; Houston/Texas;1984
- Riethmüller, R.
Fanger, H.-U.
Böning, J.
Neumann, L.J.R.
Schubert, R.
Markofsky, M. Experimental Results from Hydrographical Measurements in the Turbidity Zone of the Weser Estuary. Proc. Int. Sym. Physical Processes in Estuaries; Delft; 1986
- Schreier, C.
Schreier, H.H. Chemische, physikalische, hydrographische und radiologische Daten von Wasser, Schwebstoff und Sediment der Elbe - Literaturstudie. GKSS I/40; 1980
- Vick, F. Über die Erfassung des Sinkstofftransportes in Tideflüssen. Wasserwirtschaft; Jg.43; 1952
- Wellershaus, S. Turbidity Maximum and Mud Shoaling in the Weser Estuary. Arch.Hydrobiol.; Vol.92; H.2; 1981
- Wellershaus, S. The Role of Organic Matter in the Wadden Sea. Proc.of the 4th Int. Wadden Sea Symp.:Pub.Ser. No.10; 1984

Wirth, H.

Sedimentologie und Geochemie von Elbeschwebstoffen zwischen Schnackenburg und Hamburg. Geol.Paläontolog.Inst., Hamburg: 1980

F. Ausblicke

In den vorangegangenen Abschnitten wurde mehrfach deutlich, daß im Zuge des Forschungsvorhabens neben den gewonnenen Erkenntnissen, mindestens ebensoviele Wissenslücken erkannt wurden, deren Bedeutung zu Beginn der Arbeiten z.T. noch gar nicht bekannt, zum anderen unterschätzt wurden.

Als wichtigster Aspekt für zukünftige Arbeiten, die zum Inhalt das Verhalten von Schwebstoffen haben sollen, kann aus den Erfahrungen dieses Vorhabens die Erkenntnis abgeleitet werden, daß Forschung auf diesem Gebiet nur interdisziplinär erfolgen kann, will man zu Aussagen über die Kausalitäten der Einflußgrößen kommen.

Die Arbeiten haben gezeigt, daß insbesondere dem Bereich der Kornspektren, bzw. der Flockenspektren und den damit verbundenen Fragen des Sinkverhaltens von Schwebstoffen, noch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Diese Fragen verlangen zudem neue Geräteentwicklungen im Bereich der Automatischen Bildanalyse in situ.

Um bessere Aussagen zum Verhalten von Schwebstoffen hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von hydrodynamischen Vorgängen zu erhalten, ist eine größere Meßfrequenz erforderlich, als sie durch die AMO vorgegeben war. Daneben ist die vertikale Auflösung der Messungen als Mittelwert über die gesamte Wassertiefe für Aussagen über die Verhältnisse in der Wassersäule nicht geeignet.

Insbesondere werden dabei die in Bodennähe ablaufenden Prozesse nicht erfaßt, die nach Aussagen mehrerer Autoren wesentlich zum Transportgeschehen beitragen sollen. Befriedigende Lösungen diese Transportprozesse meßtechnisch zu erfassen, liegen bis heute nicht vor. Es ist demnach eine vordringliche Aufgabe hierfür, neue Meßmethoden zu entwickeln und Meßsysteme zu konstruieren. Gestützt wird diese Forderung durch das Verlangen immer größerer Gruppen nach Aussagen zum Transport partikulär gebundener Schadstoffe, wie Schwermetalle u.a..

Die Prozesse der Absorption und Desorption von biologischer Substanz an Mineralkörner sowie die Prozesse der Bindungseigenschaften von Schadstoffen an Schwebstoffe sind für Freilandprozesse bis heute weitgehend unbekannt, obwohl sie im Labor simuliert werden können. Ebenso ist die Wirkung chemischer Umwandlungen der Schwebstoffe, ihre Lösungseigenschaften und ihr Adhäsionsverhalten in situ noch nicht untersucht worden. Die offenen Fragen zu diesem Themenkreis ließen sich beliebig fortsetzen. Speziell dieser Fragenkomplex wird auch im Anhang Bd. 2 Absch. 5 behandelt.

Die Untersuchungen, die im Rahmen der MASEX-Programme in der Trübungszone der Weser durchgeführt wurden, haben neben den schon erwähnten Fragen weitere hinzugefügt, die im besonderen das Verhalten der Schwebstoffe in der Trübungszone und im Gebiet des äußeren Ästuars betreffen. Da die Auswertung der MASEX-Experimente noch nicht abge-

schlossen ist, fehlt bislang eine Bestätigung der bestehenden Theorien zum hydrodynamischen Geschehen und zu den Prozessen der Schwebstoffanreicherung in diesen Gebieten. Sollte es, trotz aller verwaltungsbedingten Schwierigkeiten, zu einer Weiterführung der Auswertung der MASEX-Experimente kommen, würde hierdurch sicherlich ein wertvoller Beitrag zum Verständnis der Hydrodynamik und der Transportmechanismen suspendierter Feststoffe kommen, die bis heute (außer bei den MASEX-Experimenten) noch nicht meßtechnisch erfaßt wurden.

Abschließend wird auf eine Erkenntnis hingewiesen, die insbesondere bei der Auswertung der AMO-Daten zu großen Schwierigkeiten geführt hat. Messungen müssen nicht nur kontinuierlich und langfristig durchgeführt werden, will man die Prozesse im Jahresgang erkennen, sondern sie müssen auch zu Schlechtwetterphasen und im Winter stattfinden. Singuläre Erscheinungen wie Hochwasserwellen und Sturmfluten führen häufig Veränderungen herbei, die während eines ganzen Jahres nicht durch die resuspendierenden Kräfte der normalen Strömung erreicht werden, wobei auch das Gegenteil der verstärkten Anhäufung von Sedimenten durch derartige Erscheinungen beobachtet wird. Es ist daher notwendig, das Ausmaß dieser besonderen Ereignisse zu kennen, um nicht zu falschen Schlüssen hinsichtlich dem Transportverhalten der Ströme zu kommen.

KFKI-PROJEKTGRUPPE

" Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in Tideästuaren."

Mitglieder

DHJ, Hafenbauamt Bremen, WSA- Bremerhaven, Institut für Meeresforschung Bremerhaven;
Strom- und Hafenbau, Hamburg; Bundesanstalt f Wasserbau, WSA- Emden, BIG; WSD- Nord

Ständige Gäste

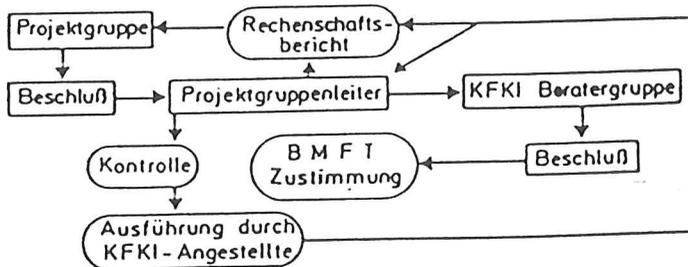
GKSS- Forschungszentrum, Inst f. Strömungsmechanik, Universität Hannover, Universität Hamburg
Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft

Untergruppen

MASEX (IIM - Bremerhaven
WSA - Bremerhaven
S-H - Hamburg
GKSS- Geesthacht
Uni - Hannover)

WORKSHOP - Gruppe
Symposium - Gruppe
A M O - Gruppe

ARBEITSABLAUF

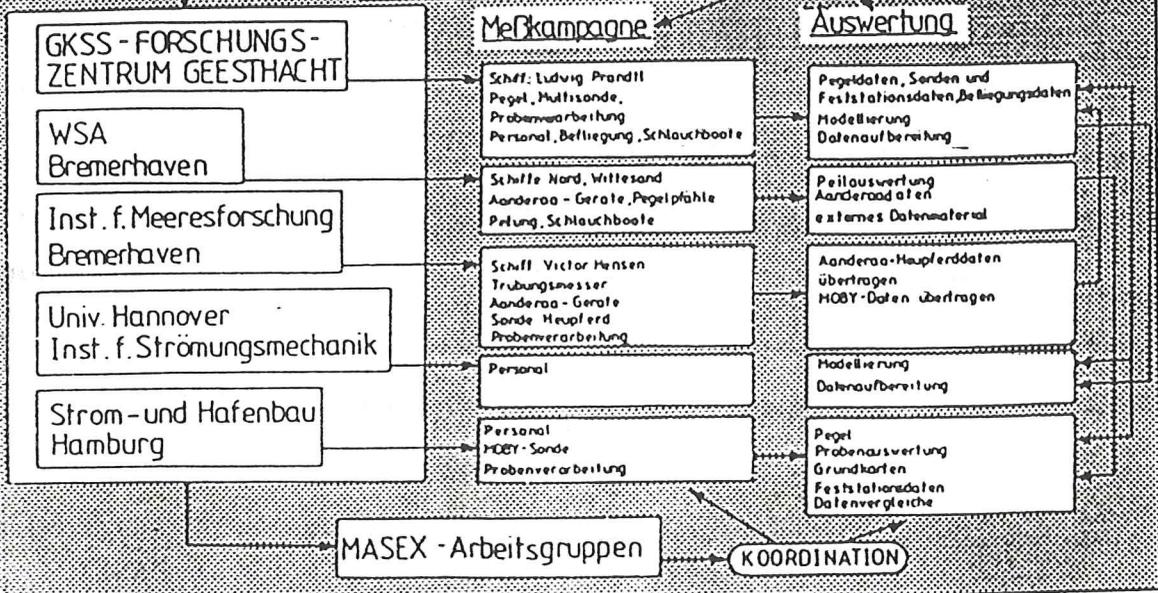


MASEX - GRUPPE

VORBEREITUNG

Meßkampagne

Auswertung



Strukturplan der Projektgruppe und Aufgabengliederung der MASEX-Gruppe.

G. Zusammenfassung

Teil III des Abschlußberichtes des Forschungsvorhaben "Verhalten von Schlick und Schwebstoffen in Ästuaren" faßt den Stand der Auswertung zusammen, wie er sich im Dezember 1987 darstellt. Viele Fragen, die im Zusammenhang mit den Prozessen des Schwebstofftransportes stehen, konnten nicht beantwortet werden; neue Problemstellungen sind dazugekommen (Abschn.F.).

In den Abschnitten B., C. und D. werden die Einzelprojekte und ihre ersten Interpretationen vorgestellt, basierend auf den, im Teil II des Abschlußberichtes dargestellten Meßergebnissen. Dabei nehmen die Ergebnisse der Meßstation Oortkaten den größten Raum ein, da diese Daten ausschließlich von den Autoren bearbeitet wurden, während die Auswertung aller anderen Meßergebnisse z.T. durch Dritte ausgeführt wurden, und in Zukunft werden.

Die in Teil B.3 (Diskussion der Ergebnisse) aufgeführten ersten Erkenntnisse beziehen sich auf

- den Einfluß biologischer Faktoren,
- den Einfluß hydrodynamischer Prozesse,
- und Qualitätsunterschiede

bei der Schwebstoffdynamik. Diese Interpretationen berücksichtigen die von N.GREISER (1987) aufgestellten Hypothesen und seine Ergebnisse, die im Anhang Band 2 dieses Berichtes dargestellt sind. Interpretationen zur Dynamik der Einzelparameter sind beispielhaft in den Abschnitten B.3 und B.4 wiedergegeben.

Der Vergleich zu Messungen anderer Institutionen wurde in Abschnitt B.1 vorgenommen. Hier werden auch unter dem Titel "Transportbetrachtungen" Jahrestransporte für 1985 angegeben.

Eine ausführliche Fehlerbehandlung, die erst die Qualität der Meßdaten und der daraus resultierenden Schlußfolgerungen belegt, wird in Abschn.B.5 vorgenommen. Die dabei festgestellten Fehler konnten jedoch nicht gemessen werden an den Fehlern Dritter (keine Angaben in der Literatur), so daß eine Beurteilung, ob die Ergebnisse als "gut oder schlecht" zu bewerten sind, nicht möglich ist.

Der hier vorliegende Teil des Abschlußberichtes schließt mit einer Auflistung der erstellten unveröffentlichten Berichte und der in der Förderungszeit erschienenen Veröffentlichungen aller Mitarbeiter am Projekt. Ein Literaturverzeichnis weiterführender Literatur, das keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, schließt sich daran an.

Anschriften der Autoren :

S. Haar
Strom- und Hafengebäude Abt.SB41
Dalmannstr. 1-3
2000 Hamburg - 11

L.J.R. Neumann
Gilgegr.2
2000 Hamburg - 70

ANNEX

Die Zeit, die zur Erstellung dieses Abschlußberichtes zur Verfügung stand, reichte bei weitem nicht aus, diese Arbeit zu beenden. Ich bedanke mich daher bei allen Mitarbeitern, die unter persönlichem Engagement zur erfolgreichen Erstellung dieses Berichtes beigetragen haben:

A.Fabisiak, S.Frodenau, N.Greiser, S.Haar, H.Hochhard,
D.Kownacki, F.Mertens, P.Mohrmann,
M.Schröder und W.Wielgomas.

J.R.

