

Die vorpommerschen Boddengewässer – Hydrographie, Bodenablagerungen und Küstendynamik

Von REINHARD LAMPE

Zusammenfassung

Die vorpommerschen Boddengewässer bilden durch ihre genetisch bedingte Anordnung in sog. Boddenketten ein tiefgestaffeltes Filtersystem, in dem die Einträge der Flüsse transformiert und teilweise sedimentiert werden. Im Beitrag werden die Grundzüge der Genese sowie wesentliche, den Stoffhaushalt bestimmende oder charakterisierende Parameter vorgestellt.

Summary

The coastal lagoons of Vorpommern form a chain of linked basins and function as a system of staggered filters. Here the discharge of coastal rivers and tributaries is transformed and sediments can accumulate. The paper describes the basic principles of these processes as well as the essential parameters which govern or characterize the sediment regime.

Inhalt

1. Genese der Boddengewässer	25
2. Topographische und morphometrische Daten	27
3. Wasserhaushalt	29
4. Seegang und Strömung	31
5. Salinität, Nährstoff- und Sauerstoffkonzentrationen	35
6. Qualität und Akkumulationsraten der Schlicksedimente	39
7. Küstendynamik und Litoralsedimente	41
8. Schlußbemerkungen	45
9. Schriftenverzeichnis	46

1. Genese der Boddengewässer

Das Gebiet der vorpommerschen Boddenlandschaft erlangte seine Spezifik durch die Wirkungen zweier Formungsprozesse – zum einen durch die Modellierung der Erdoberfläche durch das pleistozäne Inlandeis und zum anderen durch die Überflutung und Umformung des Reliefs durch die Ostsee und ihre Küstendynamik.

Das pleistozäne Relief der Boddenlandschaft ist bereits präweichselzeitlich in seinen wesentlichen Zügen angelegt worden (JANKE u. KLIEWE, 1990). Dabei entstanden die Bodden und ihre Niederungen als Gletscherzungenbecken, die weichselzeitlich überfahren und bis in das Alleröd verbreitet mit Toteis und hangenden Staubeckensanden ausgefüllt waren (BRAMER, 1975; JANKE, 1971, 1978). Danach schloß sich ein Festlands- bzw. durch limnisch-fluviatile Prozesse charakterisierter Entwicklungsabschnitt an.

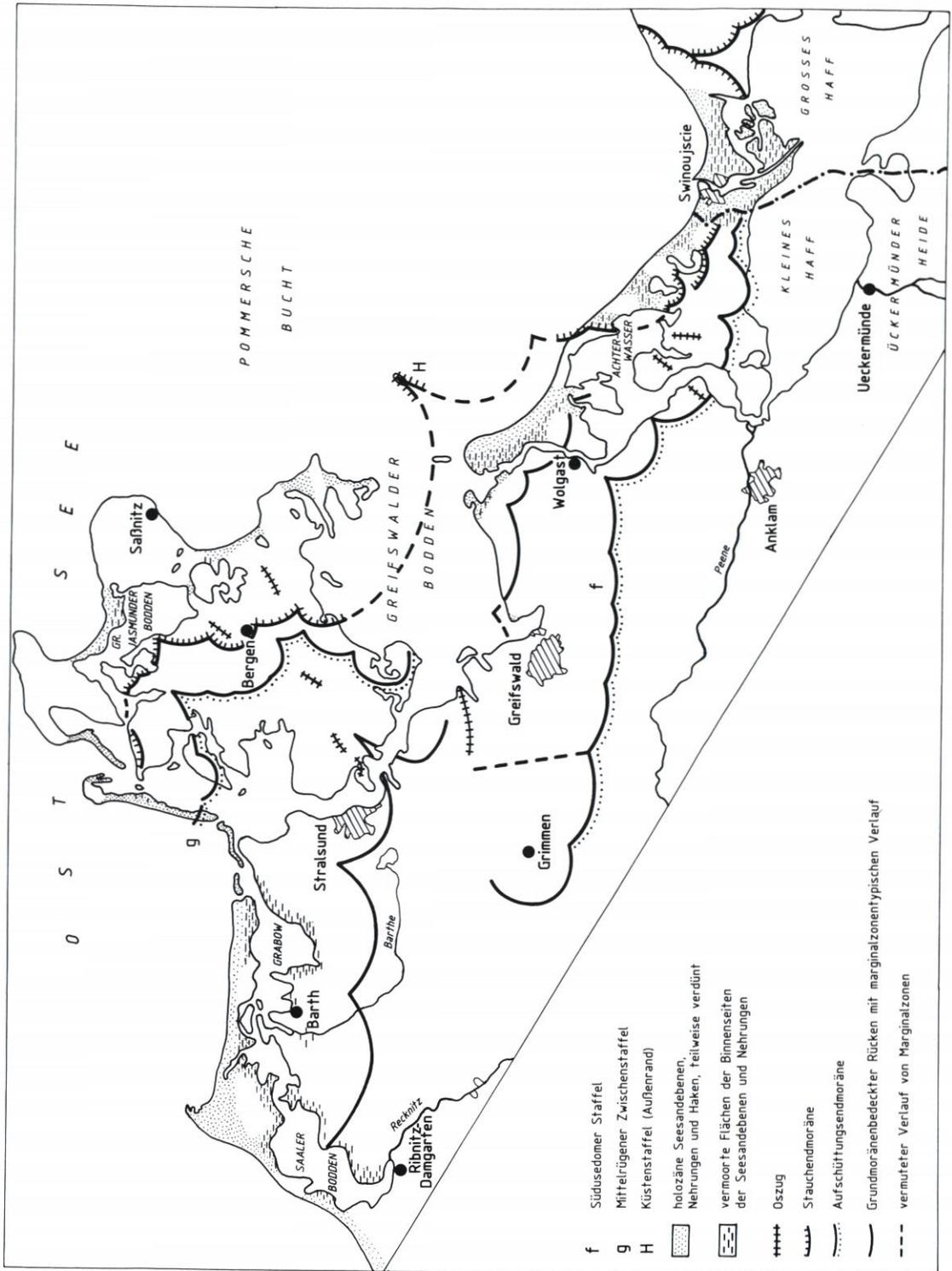


Abb. 1: Geographische Lage der vorpommerschen Boddenlandschaft und der an ihrer Morphogenese ursächlich beteiligten spätglazialen Marginalzonen und holozänen Seesandebenen, Hakenbildungen und Nehrungen (nach KLIEWE u. JANKE, 1991)

Die die Festlandszeit unterbrechende Transgression des Ancyclus-Sees hat in den Bodden nur die tiefer als -8 m ausgeschürften Bereiche beeinflußt und diese mit sandig-schluffigen Sedimenten aufgefüllt (KLEIWE u. JANKE, 1982, 1991). Nach der Ancyclusregression gelangte mit dem postpleistozänen Meeresspiegelanstieg um 7900 BP das Meer in die Bodden, womit gleichzeitig die tiefgreifende Umgestaltung der Glazialbecken- zur Boddenlandschaft einsetzte (Abb. 1). Während der sog. Litorinatransgression kam es zur Bildung eines Inselarchipels und zu einer weiteren Verfüllung der Hohlformen mit meist feinsandigen Sedimenten, die von den schnell zurückverlegten Kliffen vor allem der Außenküsten geliefert wurden (KLEIWE u. JANKE, 1982), aber auch zu einer Abrasion von Pleistozänauftragungen im Zentralteil der Bodden mit Bildung von Restsedimenten (WEHNER, 1990).

Der Anstieg des Meeresspiegels war etwa um 5700 BP abgeschlossen, danach oszillierte er nur noch geringfügig um die heutige Spiegellage. Damit verbunden war das verstärkte Einsetzen von Küstenausgleichsprozessen. Bis 3500 BP entstand eine Vielzahl von Haken und Nehrungen, die sich an die glazialen Hochlagen anhängten und die dahinter liegenden flachen Wasserbecken von der offenen See zunehmend abriegelten (Abb. 1), obwohl vereinzelte Durchlässe – sog. Seegatts – noch bis in das 19. Jh. existierten, die zumeist künstlich geschlossen wurden. So mögen Hochwässer die Küsten der Bodden noch bis in historische Zeit stärker in Mitleidenschaft gezogen haben als dies nach der vollständigen Abriegelung der Fall sein konnte, aber allein die Tatsache des stark eingeschränkten Seeraumes muß schon recht früh zu einer deutlich geringeren Küstendynamik wie auch zu einem tiefgreifenden Wandel der hydrographischen – und damit verbunden der sedimentbildenden – Bedingungen geführt haben.

Infolge der Litorina-Transgression und des nachfolgenden Küstenausgleichs durch Nehrungsbildung verwandelten sich die glazial angelegten Hohlformen über das Stadium von +/- von einander isolierten Meeresbuchten zu perlschnurartig angeordneten und über kanalartige Einengungen miteinander verbundenen Boddenketten.

Genetisch ähnlich sind auch das Salzhaff und der Breitling im Unterwarnowgebiet entstanden. Obwohl sie deshalb streng genommen zu den Bodden- und Haffgewässern gehören, sind sie infolge ihrer abseitigen Lage nicht zur vorpommerschen Boddenlandschaft zu zählen und sollen daher unberücksichtigt bleiben.

2. Topographische und morphometrische Daten

Die einzige geschlossene Darstellung solcher Daten stammt von CORRENS (1976), auf die im folgenden zurückgegriffen wird (Tab. 1). Die von CORRENS gewählten Grenzen zwischen den einzelnen Gewässern werden deshalb beibehalten, obwohl es in der Literatur auch andere Vorschläge gibt (vgl. AL AHMAD (1990) zur Abgrenzung des Achterwassers oder SUBKLEW (1955) zur Grenzziehung zwischen Strelasund und Greifswalder Bodden). Wegen der genetischen und hydrographischen Zusammenhänge werden die Daten für das Große Haff (Wielki Zalew) mit aufgenommen. In Tabelle 2 sind die Flächenanteile verschiedener Tiefenstufen in den Boddengewässern aufgeführt (CORRENS, 1979). Auffällig ist der hohe Anteil der Tiefenstufe 0...2 m, die z. B. in den Darß-Zingster Gewässern nahezu 50 % der Gesamtfläche einnimmt. Die damit repräsentierten breiten Schaarflächen sind geradezu ein Charakteristikum der Bodden, welches noch deutlicher zum Ausdruck kommen würde, wenn der Bereich 0...1 m ausgehalten werden könnte, was wegen der bis in diese flachen Bereiche nicht durchgeführten Seevermessung allerdings nur für speziell untersuchte Lokalitäten möglich ist (z. B. LAMPE, 1987). Auf die Genese dieser Flächenbauformen wird in Abschn. 7 noch einmal zurückzukommen sein.

Tabelle 1. Morphometrische Daten der Boddengewässer (nach CORRENS, 1976)

Gebiet	Fläche [km ²]	Volumen [Mio. m ³]	mittl. Tiefe [m]	max. Tiefe [m]
Darß-Zingster-Bodden	196,8	397,1	2,0	12
- Saaler Bodden	80,9	174,5	2,2	4,2
- Koppelstrom	7,6	13,6	1,8	6,6
- Bodstedter Bodden	24,1	46,8	1,9	10,1
- Fitt	3,1	1,6	0,5	1
- Zingster Strom	2,7	5,7	2,1	12
- Barther Bodden	19,4	34,1	1,8	6,0
- Prerow-Strom	1,0	3,8	3,8	4,1
- Barther Strom	2,1	3,3	1,6	2
- Grabow	41,5	93,8	2,3	4,5
- Aue bis Pramort	4,2	6,2	1,5	5,0
- Fahrwasser am Bock	10,2	13,7	1,3	5,0
Bodden zwischen Hiddensee und Rügen	171,3	300,5	1,8	7,6
- Vitter Bodden	12,4	17,7	1,4	6,0
- Schaproder Bodden	46,6	86,3	1,9	6,5
- Udarser Wiek	8,5	2,6	0,3	6,5
- Koselower See	3,7	0,7	0,2	0,3
- Wittenberger Strom	3,7	1,1	0,3	4,0
- Die Breite	4,8	6,3	1,3	4,5
- Kubitzer Bodden	35,4	52,0	1,5	4,3
- weitere Gewässer	56,2	133,8	2,4	7,6
Binnenbodden Rügens	158,6	553,5	3,5	10,3
- Rassower Strom	20,0	49,6	2,5	6,0
- Wieker Bodden	16,0	41,1	2,6	4,9
- Breetzer Bodden	11,6	24,5	2,1	4,1
- Neuendorfer Wiek	3,7	4,6	1,2	2
- Breeger Bodden	9,7	23,5	2,4	4,2
- Lebbiner Bodden	4,7	11,3	2,4	4,1
- Tetzitzer See	5,9	8,4	1,4	2,1
- Großer Jasmunder B.	58,6	312,8	5,3	10,3
- Kleiner Jasmunder B.	28,4	77,7	2,8	5,0
Strelasund	64,4	252,5	3,9	16,0
Greifswalder Bodden	510,2	2960,0	5,8	13,5
Peenestromsystem	163,9	429,3	2,6	16
- Peenestrom	69,6	153,1	2,2	16
- Krumminer Wiek	13,5	33,8	2,5	4
- Achterwasser	80,8	242,4	3,0	6
Kleines Haff	277,2	1025,6	3,7	7,8
	1542,4	5918,5	3,8	
Großes Haff	409,7	1556,9	3,8	

Tabelle 2. Flächenanteile der Tiefenstufen in den Boddenketten (nach CORRENS, 1979)

Tiefenstufe [m]	Darß-Zingster- Boddenkette		Nordrügensch Boddenkette		Greifswalder Bodden		Kleines Haff		Großes Haff	
	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]
0... 2 m	87,9	47,1	46,9	36,0	73,8	14,5	50,0	18,1	123,4	30,1
2... 4 m	96,2	51,6	36,5	28,0	84,2	16,5	65,0	23,5	82,2	20,1
4... 6 m	2,5	1,3	14,0	10,8	85,5	16,8	161,0	58,0	140,0	34,2
6... 10 m			32,5	25,0	248,7	48,7	1,2	0,4	64,1	15,6
> 10 m			0,3	0,2	18,0	3,5				

3. Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt einer Boddenkette wurde erstmalig durch BROSIN (1965) mit der Zielsetzung bearbeitet, Aufschluß über die Wechselwirkung der einzelnen Bilanzelemente und ihre Schwankungen zu erhalten und daraus mögliche Auswirkungen auf die Meeresumwelt abzuleiten. Die Arbeiten wurden von CORRENS (1973) im Zusammenhang mit der grenzüberschreitenden Erforschung der Hydrographie des Odermündungsraumes (INSTITUTS METEOROLOGII . . . , 1980) im Gebiet Kleines Haff und Peenestrom fortgesetzt und von ihm 1979 auf das Gesamtareal der vorpommerschen Boddengewässer und die Unterwarnow ausgedehnt. Die Auswertung der diesen Untersuchungen zugrunde liegenden Meßreihe 1966 . . . 1975 wurde von MERTINKAT (1986) für den Zeitraum 1966 . . . 1985 fortgesetzt und liegt inzwischen als 25jährige Reihe vor.

Die Analyse basiert auf der die (unbedeutenden) unterirdischen Zu- und Abflüsse vernachlässigenden Wasserhaushaltsgleichung

$$(E + F - A) + (N - V) = W$$

mit E = Einstrom von der Ostsee

F = Flußwasserzufuhr

N = Niederschlag auf die Gewässeroberfläche

A = Ausstrom zur Ostsee

V = Verdunstung von der Gewässeroberfläche

W = Wasserinhaltsänderung

Bei einer Bilanzierung über längere Zeiträume sollte W praktisch Null sein; bei einer Bilanzierung über kürzere Zeitabschnitte wie im vorliegenden Fall treten jedoch Restglieder auf, die sich aus der unterschiedlichen Füllung zu Beginn und am Ende der Bilanzperiode ergeben. Die Elemente der ersten Klammer umfassen den horizontalen, die der zweiten den vertikalen Wasseraustausch.

Zur mengenmäßigen Abschätzung des Wasserumsatzes der Bodden wird wie folgt verfahren: Für die kleinste Bilanzeneinheit (Monat) werden die aus Pegelregistrierungen ermittelten Aufstaueträge ($W_{A1} \dots W_{An}$) summiert und mit den entsprechenden Gewässerflächen multipliziert. Um die Berücksichtigung von Eigenschwingungen zu unterdrücken, werden dabei nur die 10 cm übersteigenden Wasseranstiege berücksichtigt, die mindestens 8 Stunden andauern. Da in den Aufstaueträgen die Größen F, N und V implizit enthalten sind, sind die Ergebnisse entsprechend der zeitlich wechselnden Länge der Stauabschnitte am Ende des Bilanzzeitraumes zu korrigieren.

Für ein in sich nicht differenziertes Gewässer mit nur einer Verbindung zur Ostsee ist die Anwendbarkeit der o. g. Bilanzgleichung nicht in Frage gestellt. Im Falle, daß zwei Verbindungen existieren (z. B. Greifswalder Bodden, Kleines Haff), muß aber für eine Verbindung eine empirisch ermittelte Beziehung zwischen Wasserstandsgefälle und Strömungsgeschwindigkeit genutzt und für die zweite Verbindung weiter wie o. a. verfahren werden. Die empirischen Beziehungen haben die Form

$$v = a * W^b$$

mit v = Strömungsgeschwindigkeit, W = Wasserstandsgefälle und a, b = Konstanten, wobei diese für Ein- bzw. Ausstromlagen in der Regel verschieden groß ausfallen und mit z. T. erheblichen Streuungen behaftet sind (BIRR, 1988; BROSIN, 1965; CORRENS, 1973/74; GUTH, 1990; LAMPE, 1989). Soll für eine Boddenkette auch der Wasserhaushalt der Einzelbodden untersucht werden, kann auf das bei CORRENS (1979) beschriebene Kaskadenmodell zurückgegriffen werden.

- Die von MERTINKAT (1986) bearbeitete 20jährige Reihe des Wasserhaushaltes zeigt, daß
- Verdunstung und Niederschlag praktisch vernachlässigt werden können, da sie nur je 1-2 % des Umsatzes ausmachen und damit innerhalb des Fehlerintervalls der Ein- und Ausstrombestimmungen liegen;
 - die Flußwasserzufuhr für die Darß-Zingster-Bodden insgesamt mit 10 % ($295 \times 10^6 \text{ m}^3$) an der Bilanz beteiligt ist, bei einer Differenzierung entsprechend dem Kaskadenmodell für den Saaler Bodden 16 % ($191 \times 10^6 \text{ m}^3$), für den Bodstedter Bodden 1 % ($18 \times 10^6 \text{ m}^3$), den Barther Bodden 2 % ($66 \times 10^6 \text{ m}^3$) und den Grabow 0,5 % ($24 \times 10^6 \text{ m}^3$) zu veranschlagen sind. Für die Nordrügensch Bodden macht die Flußwasserzufuhr 1 % ($45 \times 10^6 \text{ m}^3$), den Greifswalder Bodden unter Vernachlässigung der Peenestrommündung 0,3 % ($106 \times 10^6 \text{ m}^3$) und für das Kleine Haff 5,0 % ($434 \times 10^6 \text{ m}^3$) aus.

Damit wird die überragende Bedeutung des Wasseraustausches mit der Ostsee unterstrichen, der als Bilanzelement bei weitem dominiert. Es wird gleichzeitig die Sonderstellung des Greifswalder Boddens deutlich, der gegenüber den anderen Gewässern einen vielfach höheren Umsatz realisiert. Dank der breiten Verbindung zur Oderbucht wird hier dem Wasseraustausch ein weit geringerer Widerstand entgegengesetzt als durch die engen Verbindungskanäle der anderen Bodden. Die Austauschgrößen können in einzelnen Tabelle 3 entnommen werden.

Ein so wertvolles Material dieser Datensatz für die Interpretation ökologischer Prozesse darstellt, darf doch nicht übersehen werden, daß der Methode einige Mängel anhaften, derer sich CORRENS aber schon durchaus bewußt war. Ein erster besteht in der Nichtberücksichti-

Tabelle 3. Wasserhaushalt der Boddengewässer (nach MERTINKAT, 1986)

Gewässer	Wasser- zufuhr [Mio. m ³]	Fluß- wasser- zufuhr [%]	Nieder- schlag [%]	Verdun- stung [%]	Wasser- zufuhr/ Volumen
Darß-Zingster Bodden (o. Grabow)	3 046	10,0	4,0	4,0	8,0
Grabow	4 543	0,5	0,6	0,5	45,4
Binnenbodden Rügens	3 438	1,0	2,0	2,5	7,3
Greifsw. Bodden	34 823	0,3	0,9	1,0	11,7
Kleines Haff	8 784	5,0	2,0	2,0	8,6

gung der Triftströmung, was sich bei der Berechnung des Wasserhaushaltes des Greifswalder Boddens besonders bemerkbar machen dürfte. Da seine Längsachse mit der breiten Öffnung zur Oderbucht und die Hauptwindrichtung zusammenfallen und ein Nachstrom durch den Strelasund gewährleistet ist, sollten die mit 40 % an der Windverteilung beteiligten SW- bis WNW-Winde bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 Bft (5,5 . . . 7,9 m/s) und einer daraus resultierenden oberflächennahen Stromgeschwindigkeit von 5 . . . 10 cm/s einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zum Wasserhaushalt hervorbringen. Daß im Mittel ein nach Osten gerichteter Strom existiert, ist inzwischen an Hand von Strömungsmessungen (GUTH, 1990), morphologischen Merkmalen (LAMPE, 1987) und Beobachtungen im Mündungsbereich des Peenestromes (LAMPE, 1989) hinreichend belegt.

Der zweite, schwerwiegendere Mangel besteht in der Deutung jeden Pegelanstieges als Wasseraustausch bei stillschweigender Voraussetzung einer gleichzeitig erfolgenden vollständigen Durchmischung. MAJEWSKI (1964, 1972, zit. in CORRENS, 1979) konnte z. B. nachweisen, daß an den in das Oderhaff einströmenden Wassermassen nicht nur Ostseewasser, sondern – und das zu einem großen Teil – auch Haffwasser beteiligt ist, welches zwischen Oderbucht und Oderhaff hin und her pendelt. Auf entsprechende Beobachtungen wies auch AL AHMAD (1990) am Beispiel des Achterwassers hin. Es ist deshalb ganz wesentlich, zu definieren, ob mit Wassereinstrom der Eintritt eines wie auch immer beschaffenen Wasserkörpers oder eben von Ostseewasser gemeint ist. Unter dem Gesichtspunkt der Berechnung von turn-over-Zeiten, von effektiven Stofftransporten u. ä. sollten die Bestrebungen dahin gehen, mit Hilfe eines konservativen Tracers wie dem Salz- bzw. Chloridgehalt gerade letzteres zu bestimmen. Ein einfaches Instrumentarium dafür liefert der hydrographische Satz von KNUDSEN oder eine Mischungsformel, wie sie MIEHLKE (1969/70) für Untersuchungen in den Darß-Zingster Gewässern benutzt hat.

LAMPE (1993) hat am Beispiel des Achterwassers den Unterschied zwischen beiden Herangehensweisen deutlich gemacht. Nach der Pegeldifferenzmethode von CORRENS beträgt der Gesamtwasseraustausch für das Berechnungsjahr 1988/89 $2628 \times 10^6 \text{ m}^3$, was dem 11fachen des Gewässervolumens entspricht, während nach den täglichen Chloridmessungen jedoch nur $121 \times 10^6 \text{ m}^3$ Ostseewasser eingeströmt sind, was etwa der Hälfte des Volumens entspricht. Diese gravierenden Unterschiede zeigen, daß das Verfahren von CORRENS noch relativ problemlos bei Gewässern angewandt werden kann, deren Verbindungsweg zur vorgelagerten Ostsee relativ kurz ist, daß die Ergebnisse aber zunehmend schwieriger zu deuten sind, je weiter dieser Weg und je größer damit die Menge an rückgestautem Wasser ist. Das Problem des Wasserhaushaltes der Boddengewässer kann daher keineswegs als abgeschlossen angesehen werden. Die Bemühungen konzentrieren sich gegenwärtig auf die Berechnung mittels hydrodynamischer Modelle, wie sie von NÖHREN (1988), JASINSKA (1991) und BUCKMANN (1993, s. u.) für das Oderhaff-Gebiet, STOYAN, MÜLLER u. BAUMERT (1986), BAUMERT et al. (1989), BUCKMANN, LAMPE u. KROHN (1990) für den Greifswalder Bodden und HINKELMANN u. ZIELKE (1993) für die Darß-Zingster Gewässer als 2D- bzw. 3D-Modelle unterschiedlicher Auflösung vorgestellt wurden.

4. Seegang und Strömung

Infolge der geringen Wassertiefen und der kurzen Windwirkklängen kommt dem Seegang als küstengestaltender Kraft eine weit geringere Bedeutung zu, als dies an der Außenküste der Fall ist. Um einen Vergleich zu ermöglichen, soll trotzdem eine kurze Darstellung des Kenntnisstandes erfolgen.

Der erste Bericht über Seegangsbeobachtungen in den Darß-Zingster Gewässern stammt von BROSN (1965), der von visuellen Schätzungen berichtet. GOMOLKA (1971) teilt berechnete Werte für den Greifswalder Bodden mit. Umfangreichere Messungen und Beobachtungen im Strelasund wurden von BIRR (1970, 1990) und in den Darß-Zingster-Gewässern sowie im Greifswalder Bodden von GREWE (1985) angestellt. GREWE konnte zeigen, daß die von SCHELLENBERGER (1962) für Binnengewässer abgeleiteten Beziehungen zwischen Windgeschwindigkeit und Streichlänge einerseits und Wellenperiode und -höhe andererseits bei den kleineren Bodden mit Messungen gut übereinstimmen, für den Greifswalder Bodden in der Regel aber zu kleine Werte liefern. Umfangreiche Berechnungen wurden mit einem von WEISS et al. (1977) dargestellten Verfahren, daß auf der Spektralmethode von KRYLOV basiert und neben der Wassertiefe und den Windfaktoren auch die Gewässerform berücksichtigt, von RAUCH (1986) und LAMPE (1987, 1989b, 1990) durchgeführt. Die Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse mit Messungen ist bis Windstärke 6 Bft recht gut, danach kommt es auf Grund der Ausbildung von Flachwasserbedingungen zu Abweichungen, die sich insofern in Grenzen halten, als auf Grund des begrenzten fetches sehr bald stationäre Bedingungen eintreten.

Für den Greifswalder Bodden sind die Berechnungsergebnisse in Form eines Seegangsatlases zusammengefaßt worden (LAMPE 1989b), aus dem ein Beispiel in Abbildung 2 wiedergegeben ist. Das Flachwassergebiet des Großen Stubbers im Zentrum des Boddens

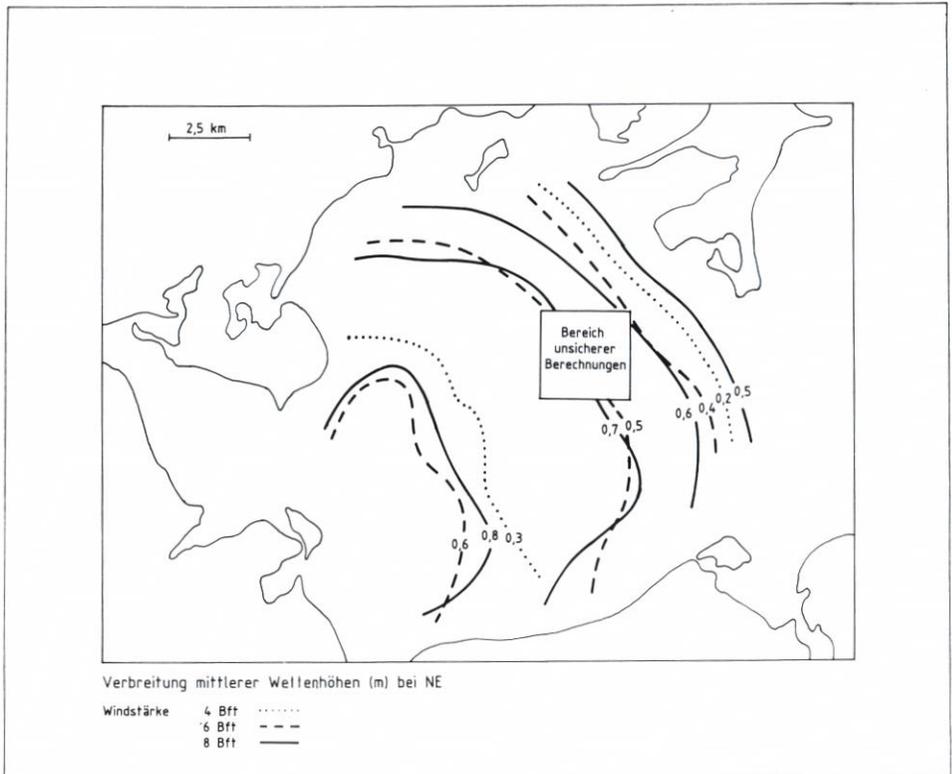


Abb. 2: Räumliche Verbreitung mittlerer Wellenhöhen bei verschiedenen Windstärken im Greifswalder Bodden (nach LAMPE, 1989)

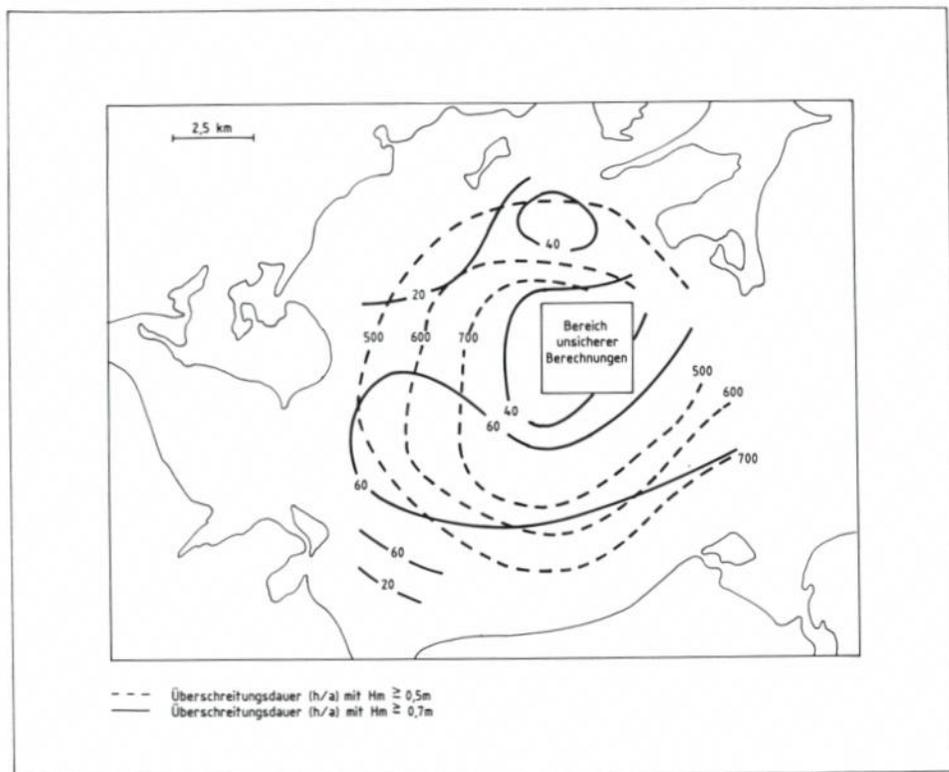


Abb. 3: Räumliche Differenzierung der Überschreitungsdauer des Auftretens verschiedener mittlerer Wellenhöhen im Greifswalder Bodden (nach LAMPE, 1989)

wurde dabei von den Berechnungen ausgenommen. Legt man die relative Häufigkeit der Windszenarien entsprechend der Windverteilung eines mittleren Jahres zugrunde, so lassen sich durch Stapelung auch die Gebiete mit einer bestimmten Überschreitungsdauer der H_m pro Jahr ermitteln. Zwei Beispiele sind in Abbildung 3 dargestellt. Aus ihnen kann entnommen werden, daß bei relativ niedrigen H_m ($< 0,5 m$) die Isolinien noch nahezu konzentrisch verlaufen, mit leicht nach Osten verschobenem Schwerpunkt entsprechend der Häufigkeit aus dem Westsektor. Das Auftreten höherer H_m konzentriert sich dann zunehmend auf die Gebiete vor der Küste des Mönchgutes bzw. einen großen Bogen, der von der Boddenrandschwelle beginnend und nach Süden ausschwingend bis vor die Halbinsel Zudar reicht. Daß eine solche Verteilung real ist, wird durch die Beobachtungen zur Küstendynamik sowie durch die Verteilung der Sedimenttypen am Gewässerboden gestützt.

Die für die Küstenmorphodynamik wichtige Größe der mittleren jährlichen Seegangsbelastrung kann mit Hilfe des o.a. Algorithmus bei Zugrundelegung einer langjährigen mittleren Windverteilung und der Vernachlässigung von Refraktionserscheinungen (d.h. für Tiefwasserbedingungen) als Größe der Dimension kWh/m/a und einer mittleren Anlaufzeit berechnet werden. Danach treten in den inneren Seegewässern Belastungen von maximal 790 kWh/m/a (Groß Zicker, Greifswalder Bodden) und im Mittel von 550 kWh/m/a im Greifswalder Bodden, 150 kWh/m/a im Achterwasser und weniger als 100 kWh/m/a in den Darß-Zingster-Gewässern auf. Verglichen mit Werten der Außenküste (maximal

13 MWh/m/a bei Arkona, 8,5 MWh/m/a bei Lohme, 3,8 MWh/m/a am Südpard/SE-Rügen; WEISS et al., 1977), bedeutet dies eine um reichlich eine Größenordnung niedrigere Belastung der Binnenküsten.

Die Strömungen der Haff- und Boddengewässer resultieren vor allem aus dem Einfluß des Windes – entweder direkt als Triftstrom oder indirekt als Gefälleausgleichsstrom, wobei beide Komponenten fast stets gemeinsam auftreten und schwer voneinander zu trennen sind. Zur Ermittlung der Strömungsverhältnisse sind in den sechziger und siebziger Jahren (vereinzelt auch danach) umfangreiche Messungen mit Stromkreuzen (HACKERT, 1969) wie auch mechanischen, später akustischen Strömungsmessern (BROSIN, 1965; BIRR, 1988; CORRENS, 1979; GUTH, 1990; LAMPE, 1989a) vorgenommen worden. Trotz gewisser lokaler Abweichungen vor allem bei der Stromrichtung hat sich dabei stets gezeigt, daß im Mittel die Stromgeschwindigkeit der alten Faustregel gehorcht, wonach sie 1,5 % der Windgeschwindigkeit ausmacht. Damit weist sich der Strom auf den großen Wasserflächen vorrangig als

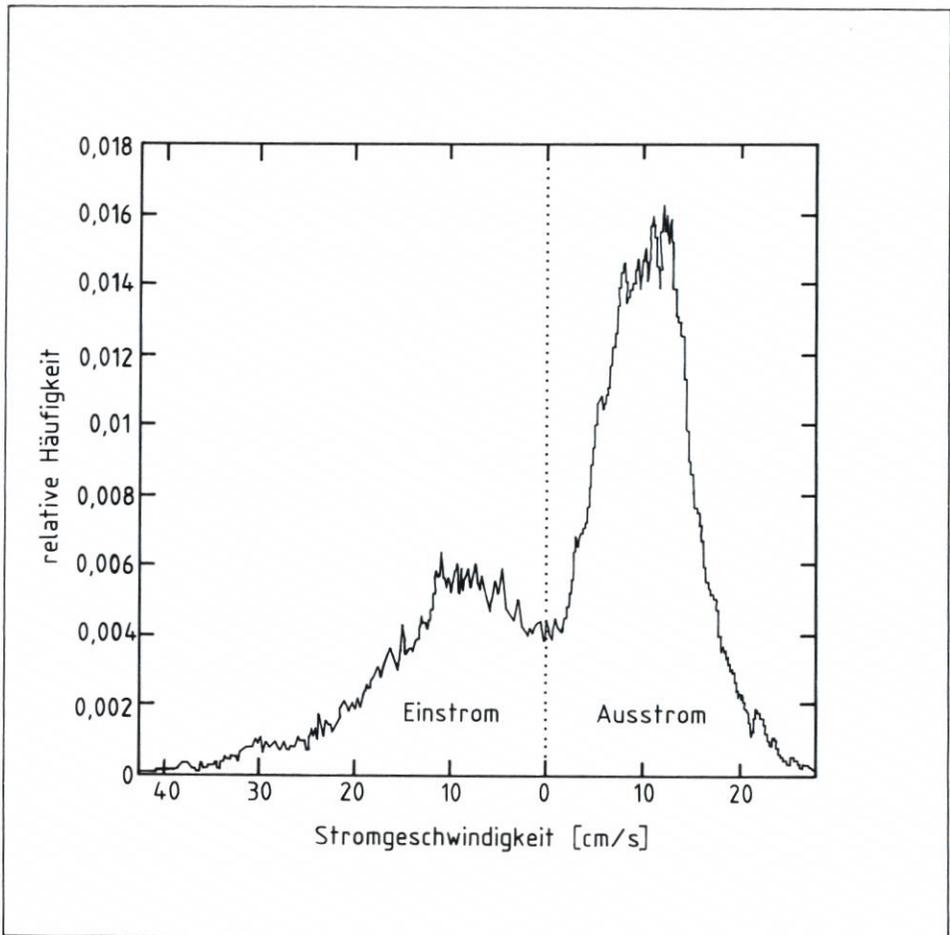


Abb. 4: Häufigkeit des Auftretens unterschiedlicher Ein- und Ausstromgeschwindigkeiten an einem Profil des nördlichen Peenestromes bei Karlshagen, berechnet mit einem hochaufgelösten 2D-Modell für das Jahr 1990/91 (nach BUCKMANN, 1993)

Triftstrom aus. Anders liegen die Verhältnisse in den flußartigen Verbindungen zwischen den Bodden, den sog. Strömen. Am besten untersucht ist der Peenestrom (CORRENS, 1973/74; TREMP u. THIEME, 1984; LAMPE, 1989a; BUCKMANN, 1993), dessen mittels eines hochauflösenden 2D-Modells ermittelte Strömungsgeschwindigkeitsverteilung für das Jahr 1990/91 in Abb. 4 dargestellt ist und eine Vorstellung über Stärke und Richtung der Gefälleströmungen zwischen den Bodden vermittelt.

5. Salinität, Nährstoff- und Sauerstoffkonzentrationen

Die Bodden sind als Übergangsgewässer zwischen den vom Festland abfließenden Flüssen einerseits und der Ostsee andererseits hinsichtlich ihrer Salinität in starkem Maße von den aktuellen Mischungsverhältnissen von Fluß- und Ostseewasser geprägt. Diese werden bestimmt

- von den stündlich bis täglich wechselnden Ein- bzw. Ausstromsituationen, die vom jeweiligen Wasserstand der Ostsee gesteuert werden und auf dem Windstau des großräumigen Windfeldes vor allem der mittleren Ostsee beruhen (SAGER u. MIEHLKE, 1956) (interdiurne Veränderungen; Abb. 5, oberes Diagramm, gerissene Linie),
- von den Jahregängen des Festlandsabflusses, der Intensität des Wasseraustausches zwischen Bodden und Ostsee (entsprechend dem Jahrgang der Wasserstandsschwankungen) und des Salzgehaltes des Ostseewassers (Abb. 5, oberes Diagramm, ausgezogene Linie)
- sowie längerfristigen Schwankungen der atmosphärischen Zirkulation, denen Schwankungen des mittleren jährlichen Salzgehaltes der Ostsee wie auch der Bodden folgen (vgl. HUPFER, 1992; Abb. 5, unteres Diagramm).

Die höchsten Salzgehalte treten in den Gewässern um die Insel Hiddensee auf, die den kürzesten Zugang zu dem noch relativ salzreichen Seegebiet östlich der Darsser Schwelle (9,6–8,9 PSU; BACHOR, 1990) besitzen. Mit zunehmender Entfernung von diesen Öffnungen (Libben zwischen Rügen und Hiddensee, Gellenrinne zwischen Hiddensee und Bock sowie den Rinnen zwischen Bock und Zingst) sinkt nicht nur der Salzgehalt, sondern auch seine tägliche und jährliche Schwankungsbreite. In den Nordrügensch Bodden geht die Salinität aufgrund des geringen Süßwasserzustromes lediglich auf 8,5 PSU zurück, der Kleine Jasmunder Bodden, der seit 1868 durch einen Eisenbahndamm weitgehend vom natürlichen Wasseraustausch mit den vorgelagerten Gewässern abgeschnitten ist, weist heute noch einen Salzgehalt von 4 PSU auf. In den Darß-Zingster-Gewässern nimmt er von 8–9 PSU im Grabow auf ca. 2 PSU im Saaler Bodden ab. Eine allmähliche Abnahme ist auch durch den Strelasund nach Osten zu beobachten, da der anschließende Greifswalder Bodden (7,5 PSU) dank seiner breiten Verbindung zur Oderbucht deren Salzgehalt weitgehend folgt. Am Übergang vom Greifswalder Bodden zum nördlichen Peenestrom tritt der größte Salinitätsgradient innerhalb der Boddengewässer auf. Aufgrund eines relativ starken Abflusses aus dem Oderästuar (Kleines Haff 1–2,5 PSU) wird hier ein Gefälle von im Mittel 3,5 PSU im Peenestrom auf 7,5 PSU im Greifswalder Bodden innerhalb einer, je nach Stromlage wechselnden, aber in der Regel nur einige 100 m bis Kilometer messenden Strecke beobachtet. In diesem Übergangsbereich werden daher auch regelmäßig ausgeprägte Schichtungen mit stark variierender Neigung einer Thermohalokline angetroffen. Eine zweite, weit undeutlicher ausgebildete Front innerhalb des Peenestroms liegt im Mittel im Übergang des nördlichen Peenestromes zur seeartigen Erweiterung der Krumminer Wiek. Das Achterwasser weist wegen seiner abseitigen Lage im Peenestromsystem deutliche Anzeichen einer eigenständigen Hydrographie auf, die sowohl bei den Nährstoff- als auch bei den Salzgehalten zu erkennen ist. Die in Abb. 6

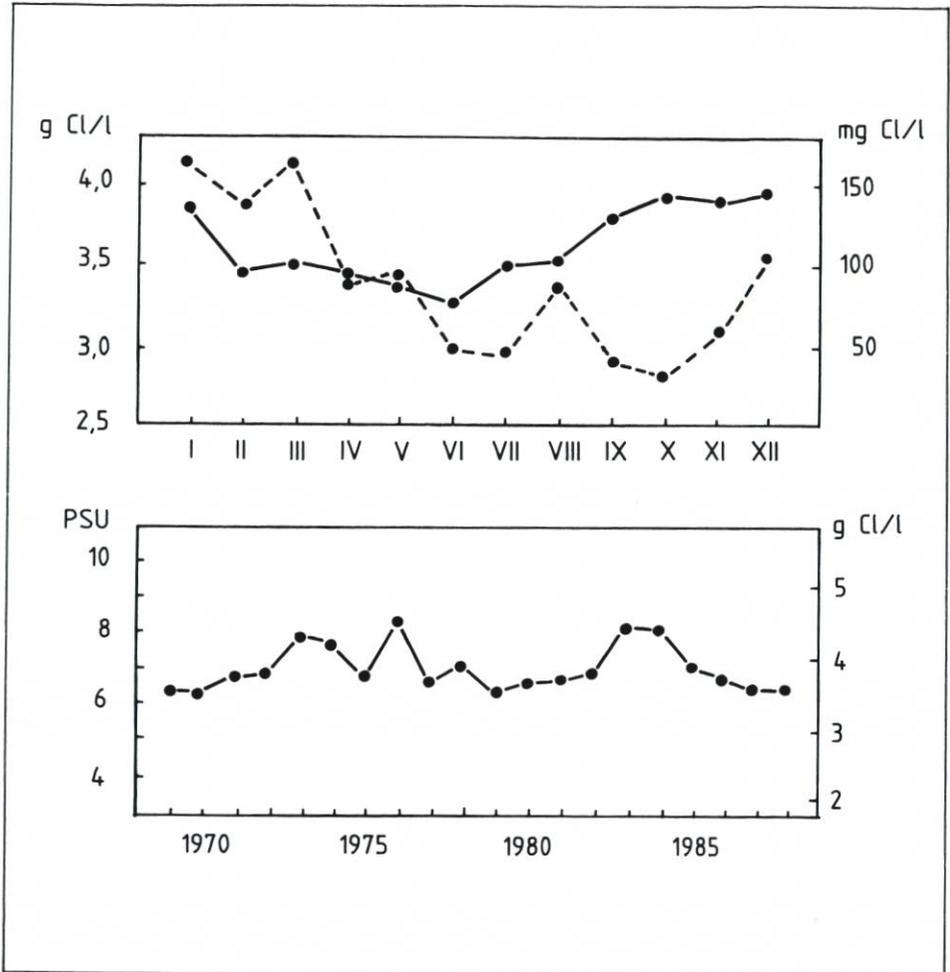


Abb. 5: Jahrgänge von kurz-, mittel- und langfristigen Schwankungen des Salzgehaltes im Greifswalder Bodden, Station Lubmin (nach Daten der WWD Küste aus LAMPE, 1989):

- oberes Diagramm, gerissene Linie: Monatsmittel der interdiurnen Änderungen der Chloridkonzentration (mg/l), 1977-1981
- oberes Diagramm, ausgezogene Linie: Monatsmittel der Chloridkonzentration (g/l), 1977-1981
- unteres Diagramm: Schwankungen der Jahresmittel des Salzgehaltes (PSU bzw. g Cl/l), 1969-1988

dargestellte Reihe von Wochenmitteln des Salzgehaltes zeigt, wie starke, andauernde Einstromlagen die Salinität kräftig erhöhen, während der normale Wasseraustausch mit dem vorgelagerten Peenestrom nur zu einer allmählichen Aussüßung führt. Zeitweise wurde so die eigenartige Situation beobachtet, daß ein aufgrund weniger, starker Ostseewassereinschübe aufgesalzenes Achterwasser mit bis zu 4 PSU inmitten des viel schneller wieder aussüßenden Peenestromsystems existierte.

Innerhalb des Kleinen Haffs nimmt der Salzgehalt, der vor der Peenemündung bei Karnin sein Minimum erreicht, nach Osten mit der Annäherung an die Swine-Pforte erneut zu. In der Umgebung des Piastowski-Kanals werden schließlich wieder ähnliche Verhältnisse wie an der

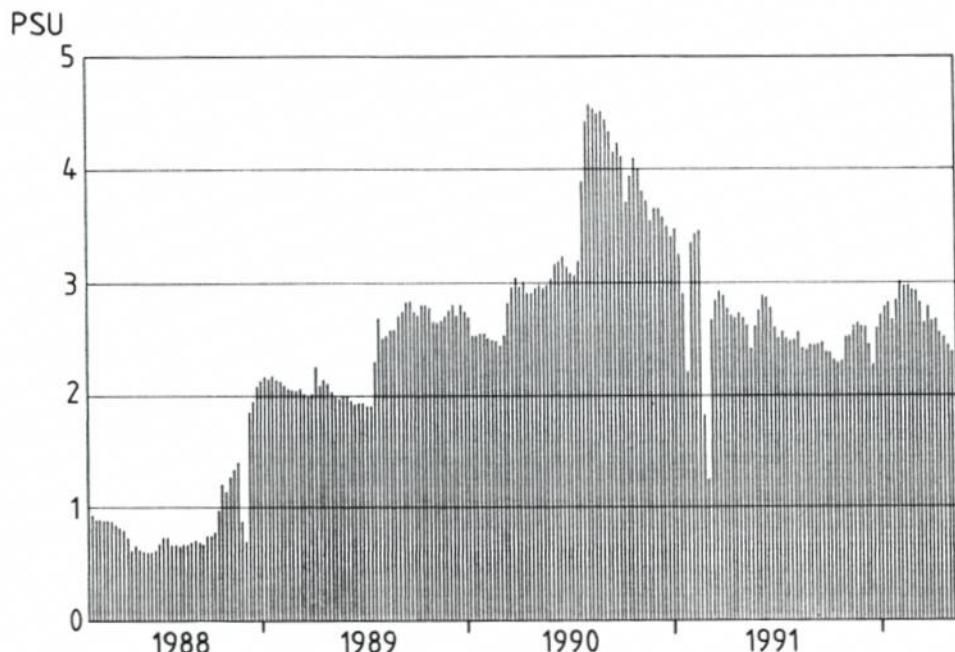


Abb. 6: Zeitreihe von Wochenmitteln des Salzgehaltes im Achterwasser, Station Loddin

Mündung des nördlichen Peenestromes in den Greifswalder Bodden beobachtet, wobei hier die Erscheinungen aufgrund des intensiveren Wasseraustausches noch ausgeprägter sind (INSTYTUT METEOROLOGII . . ., 1980; NÖHREN, 1988; JASINSKA, 1991).

Die hydrographischen Besonderheiten der Boddengewässer, die durch den Salzgehalt charakterisiert werden, bestimmen maßgeblich auch die Verteilung weiterer Parameter, von denen hier auf die anorganisch-gelösten Nährstoffe und den Sauerstoff eingegangen werden soll. Die Bodden sind als polymiktische Flachgewässer durch eine intensive Wechselwirkung zwischen Sediment und Pelagial gekennzeichnet und können demzufolge die Bodenablagerungen nur eingeschränkt als Nährstoffsенke nutzen. Sie gelten somit als aus morphologischen Gründen natürlich eutroph und unterliegen in ihrer Steuerung um so mehr dem Einfluß physikalischer Faktoren, je flacher sie sind (SCHLUNGBAUM, 1988). Gleichzeitig resultiert daraus eine erhebliche räumliche und zeitliche Variabilität der Beschaffenheitsparameter, die das Erstellen ökologischer Bilanzen sehr erschwert. Von den physikalischen Einflußgrößen besitzt der Wasseraustausch mit der Ostsee die größte Bedeutung, weil praktisch nur der Austausch eines Teils des Wasserkörpers zu einer Änderung des Gesamtnährstoffstatus führen kann. Aus diesem Grunde existieren auch enge Relationen zwischen dem Salzgehalt und der Trophie der Gewässer und in deren Gefolge auch zu anderen Parametern wie pH, Sichttiefe, Sauerstoffsättigung und BSB. Die beobachtete langfristige Zunahme der Nährstoffkonzentrationen (SCHÖPPE, 1989; BACHOR, 1990) ist dagegen unabhängig vom Wasseraustausch als Folge stetig wachsender Nährstoffeinträge aus dem Einzugsgebiet und über die Atmosphäre anzusehen. (Eine gewisse Trendwende deutet sich seit 1989 im Zuge eines tiefgreifenden Struktur- und Nutzungswandels und des Ausbaus der Entsorgungseinrichtungen an. Noch sind aber Signale einer Entlastung der Boddengewässer nicht zu erkennen.) Im Jahresgang gibt es zwischen den einzelnen Gewässern insofern Unterschiede, als insbesondere die Nitratkon-

zentrationen im Frühjahr stark vom Umfang der Flußwasserzufuhr abhängig sind (die höchsten Konzentrationen werden im Haff und in der Umgebung der Peenemündung gemessen) und im Spätsommer in den stärker belasteten Gewässern (Peenestrom, Kleines Haff) noch Werte bis 30 $\mu\text{mol/l}$ gemessen werden, während in den weniger stark belasteten Gewässern regelmäßig die Werte in die Nähe der Nachweisgrenze sinken. Beim Phosphat werden im Oderästuar nach einem Minimum im Frühjahr Spitzenwerte häufig im Sommer gemessen, während in den Darß-Zingster und den Nordrügenschischen Gewässern kein Jahresgang feststellbar ist. Die Werte liegen ganzjährig auf einem relativ einheitlichem Niveau um 0,5 $\mu\text{mol/l}$, wofür es bisher zwei Erklärungsversuche gibt: zum einen könnten die hohen Algenkonzentrationen das Phosphat im kurzgeschlossenen Kreislauf umsetzen und Schwankungen dadurch abpuffern, zum anderen könnte das Zusammenwirken von häufiger, windbedingter Resuspendierung der Schlicksedimente und ihrer auf Grund des hohen Gehaltes an organischer Substanz erheblichen Sorptionsfähigkeit zur Einstellung eines Gleichgewichtszustandes führen, der ebenfalls einem ausgeprägtem Jahresgang entgegenwirkt (SCHLUNGBAUM u. NAUSCH, 1988).

Hinsichtlich der Sauerstoffsättigungen kann generell davon ausgegangen werden, daß die Verhältnisse um so ausgeglichener sind, je niedriger die Trophie und je höher die Salzgehalte sind. Extreme Verhältnisse werden im Frühjahr daher in den inneren Darß-Zingster-Gewässern, im Kleinen Jasmunder Bodden und im Oderästuar angetroffen, wo Übersättigungen von 150–180 % keine Seltenheit darstellen. Im Sommer wurden vor allem im Kleinen Haff minimale O_2 -Gehalte als Zeichen verstärkt ablaufender Mineralisationsvorgänge beobachtet (SCHÖPPE, 1989). Im Winter liegen die Werte in Abhängigkeit von der Höhe der landseitigen Belastung mit sauerstoffzehrenden Substanzen mehr oder weniger deutlich unter den Werten, die in der offenen See gemessen wurden (BRÜGMANN u. BACHOR, 1990; BACHOR, 1990). Für den grundnahen Bereich ist bisher davon ausgegangen worden, daß infolge der allgemeinen Polymixie keine statistisch abzusichernden Unterschiede zwischen den Parametern in der oberflächennahen bzw. grundnahen Lamelle existieren (SCHOKNECHT, 1973). Neuere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß es durchaus auch in diesen flachen Gewässern zu länger andauernden Schichtungen kommen kann, die bisher nachgewiesen wurden für Salzwassereinschübe aus dem Gebiet der Darßer Schwelle über den Strelasund in den südwestlichen Greifswalder Bodden (WARSCHKOW, 1987) bzw. aus der Pommerschen Bucht über die Swina in den östlichsten Teil des Kleinen Haffs (LAMPE et al., 1992). Die Einschichtung dieser Wasserkörper führt bei der starken organischen Belastung der Sedimente vor allem im Kleinen Haff schnell zu einer Auszehrung des Sauerstoffgehaltes der grundnahen Lamelle und – allerdings auf kleinere Areale beschränkt – zu durchaus kritischen Situationen.

Aber auch für längere Untersuchungsreihen des Greifswalder Boddens lassen sich inzwischen für die Sommermonate Juni und August eindeutige Unterschiede in den O_2 -Konzentrationen der grund- bzw. oberflächennahen Schichten statistisch nachweisen (LAMPE, 1990), was als Zeichen einer zunehmenden organischen Belastung der Sedimente gedeutet wird. Es steht nicht zu erwarten, daß die kritischen Situationen hier großflächig und länger andauernd auftreten könnten. Die Gefahr wird eher in einem häufigeren Auftreten gesehen, welches auf die Dauer die Artenzusammensetzung und Biomasse des Benthos nachteilig beeinflusst.

6. Qualität und Akkumulationsraten der Schlicksedimente

Seit LINDNER (1972) hat sich die Einteilung der Bodenablagerungen der Boddengewässer in einen Mineral- und einen Schlickbodenkomplex eingebürgert. Zuordnungskriterium ist der Glühverlust einer Probe, wonach ein Sediment zum Schlickbodenkomplex gerechnet wird, wenn $GV > 5\%$ ist. SCHLUNGBAUM (1979) hat gezeigt, daß eine Reihe weiterer Parameter (vor allem P, Fe, Huminstoffe) damit korrespondieren und zur Einordnung herangezogen werden können. Ungeachtet dessen scheint eine solche Einteilung bedenklich: Schlick ist ein Terminus, der nach der Korngrößenverteilung des Sedimentes vergeben werden und auf dominante Anteile der Ton- und Schluff-Fraktion hindeuten sollte. Wohl ist mit dem Begriff „Schlick“ immer ein merklicher Gehalt an organischer Substanz verbunden, (weshalb das Sediment auch nicht einfach als Ton oder Schluff bezeichnet wird), aber entscheidend ist der Gewichtsanteil der Fraktion $< 0,063$ mm. KOLP (1966), der dies besonders herausgearbeitet hat, gibt für die Schlicke (Fraktion $< 0,063$ mm) > 45 Gew.-% nach seiner Definition) der Mecklenburger Bucht Organogehalte von 2–9% an. Andererseits sind im Großen Jasmunder Bodden reine Feinsande mit 24% GV gefunden worden. Erheblichen Einfluß hat auch die Art der Korngrößenbestimmung entweder an frischem, gefriergetrockneten oder durch Naßoxidation vom organischen Anteil befreiten Material. Im einzelnen wird der Zweck die Vorgehensweise bestimmen – die Ergebnisse unterscheiden sich in jedem Falle grundlegend! Jüngste Untersuchungen an 2 Schlickkernen des Greifswalder Boddens mit Hilfe des CIS-1-Kornspektrenanalysators des Institutes für Ostseeforschung Warnemünde haben gezeigt, daß sich an frischen Proben (< 150 μ m) stets ein charakteristisches Maximum bei 45–50 μ m (Md rd. 60 μ m) einstellt, welches auch an Ostseeschlicks beobachtet wurde (LEIPE mndl. Mitt.). Naßoxidiertes Material liefert demgegenüber Maxima bei 5–20 μ m (Md rd. 20 μ m). Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand kann davon ausgegangen werden, daß die Boddenschlicke im wesentlichen aus der Schluff-Fraktion mit geringen Ton- und wechselnden Feinsandgehalten bestehen (vgl. LEIPE, 1986) und ein charakteristisches Konzentrationsmaximum der organogenen Substanz in dieser Fraktion von 20–25% besitzen (Abb. 7). Schließlich sei angemerkt, daß sich in Analogie zur Spurenelementanalytik eine fraktionsbezogene Angabe von sedimentgütebestimmenden Analysedaten empfiehlt, wobei angesichts der sehr schwachen Besetzung der Ton- der Schlufffraktion der Vorrang gegeben werden sollte (Tab. 5).

Schlicksedimentation tritt unterhalb einer für jeden Gewässerpunkt individuell verschiedenen Tiefe auf, die abhängig ist vor allem von einer gegen Null gehenden geomorphologischen Arbeit des Seegangs am Gewässerboden. Das schließt nicht aus, daß bei Extremereignissen die Schlickablagerungen teilweise resuspendiert und über dabei entstehenden „Sturmflutlagen“ schneller aussinkender Molluskenschalen erneut sedimentiert werden können. Je nach Exposition bewegt sich die Tiefenlage der Schlickgrenze bei den Boddengewässern zwischen 2 m und 7 m (LAMPE, 1992a).

In den einzelnen Gewässern erreichen die Schlicke unterschiedlichste Mächtigkeiten, die bis zu 5 m und mehr betragen können (KOLP, 1965; WORMS, 1983). Der Kenntnisstand ist aber außerordentlich unbefriedigend, so daß kaum repräsentative Daten zur Verfügung stehen. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, rezente Schlicksedimentationsraten zu bestimmen (u. a. NAUSCH, SCHLUNGBAUM, v. OERTZEN, 1980). Während Untersuchungen mit Sedimentfallen auf Grund der intensiven Resuspension wohl kaum Erfolg bei der Bestimmung der rezenten Akkumulationsraten haben werden, haftet Datierungen mit Hilfe der Pollen- oder Radionuklidanalyse ein zusätzlicher Mangel auf Grund mehr oder weniger starker Bioturbation (WEISS, 1990) an. Die wenigen zur Verfügung stehenden Daten gestatten lediglich folgende Aussage: Entsprechend der Trophie der Gewässer bewegen sich die Sedimentations-

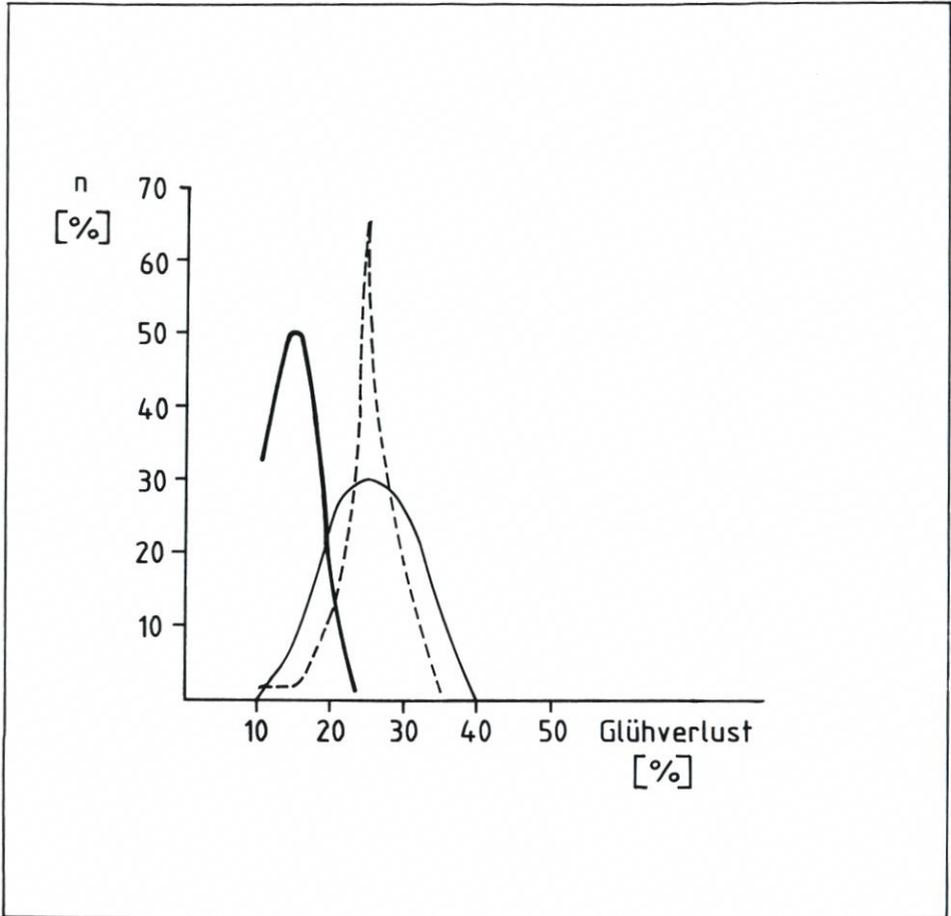


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung des Glühverlustes in der Fraktion $< 63 \mu\text{m}</math> von Sedimenten des Greifswalder Boddens (dicke Linie, $n = 20$; des Großen Jasmunder Boddens (dünne Linie, $n = 36$; und des Kleinen Haffs (gerissene Linie, $n = 55$)$

geschwindigkeiten zwischen $0,3 \text{ mm/a}$ (Greifswalder Bodden) und $1,2 \text{ mm/a}$ (Achterwasser), wobei bisher nicht festgestellt werden konnte, daß ein Gewässer im Laufe seiner Entwicklung und spezifischen anthropogenen Inanspruchnahme seinen Platz in dieser Reihe verändert hat (Tab. 4).

Die Sedimentationsgeschwindigkeiten sind infolge unterschiedlicher Kompaktion meist nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. Besser gelingt dies nach Bestimmung der Dichte und des Wassergehaltes und Berechnung der Sedimentationsraten (Tab. 5). Die Werte belegen die im Vergleich mit den anderen Gewässern ebenso wie im Verhältnis zur Akkumulation organischer Substanz überragende Stellung der anorganischen Sedimentation im Greifswalder Bodden. Die besonders hohe Rate in 20–30 cm Tiefe ist zeitlich in das 13. Jh. einzuordnen und als Molluskenschill-Lage ausgebildet, von der anzunehmen ist, daß es sich um eine Sturmflutlage handelt.

Von größter Bedeutung sind die organogenreichen Schlicke und Feinsande für den Eutrophierungsmechanismus der Gewässer. Infolge der nur geringen Tiefe und einer fehlen-

Tabelle 4. Sedimentationsgeschwindigkeiten in vier ausgewählten Boddengewässern nach Datierung mittels Pollen- und Diatomeenanalyse (JANKE, in LAMPE et al., 1992)

Gewässer	Tiefenbereich [m]	erfaßte Zeitspanne [a]	Sedimentations- geschwindigkeit [mm/a]
Achterwasser	0,00 – 0,30	250	1,2
	0,30 – 0,58	300	0,93
Kl. Haff	0,00 – 0,25	250	1,0
	0,25 – 0,53	300	0,93
Greifsw. Bodden	0,00 – 0,30	800	0,38
	0,30 – 0,53	700	0,33
Barther B. 1	0,00 – 0,20	max. 350	max. 0,57
Barther B. 2	0,00 – 0,22	350	0,63

den Schichtung des Wasserkörpers stehen diese nährstoffreichen und mit hohem Sorptionsvermögen ausgestatteten Ablagerungen ständig in Wechselwirkung mit dem Wasserkörper und können je nach äußeren Bedingungen als Quelle oder Senke gelösten wie auch partikulären Materials wirken. Einen Überblick über den Nährstoffstatus gibt Tab. 6.

7. Küstendynamik und Litoralsedimente

Infolge der geringen Belastung durch den Seegang bleibt das Ausmaß der Küstenveränderung im allgemeinen weit hinter dem der Außenküste zurück. Das Fehlen spektakulärer Rückgangsbeträge ist seinerseits wieder verantwortlich für ein nur spärliches Interesse an der Dokumentation dieser Veränderungen und einer daraus folgenden relativ schlechten Quellenlage. Eine Einschätzung des Küsterückganges ist somit meist nur für einige wenige Lokali-

Tabelle 5. Sedimentationsraten anorganischer und organischer Substanz in drei ausgewählten Boddengewässern (LAMPE, in LAMPE et al., 1992)

Tiefenstufe [cm]	Kleines Haff		Achterwasser		Greifsw. Bodden	
	anorg. Substanz	org. Substanz	anorg. Substanz [g/m ² a]	org. Substanz	anorg. Substanz	org. Substanz
0 – 5	42,4	18,1	42,7	19,7	86,1	11,0
5 – 10	79,8	30,0	76,9	29,8	62,2	8,3
10 – 15	107,7	35,1	85,9	30,6	110,7	14,5
15 – 20	87,0	33,7	101,0	28,6	132,5	13,9
20 – 25	107,0	37,3	128,3	32,1	203,7	13,9
25 – 30	108,1	37,8	143,9	41,5	203,0	15,2
30 – 35	109,1	34,1	103,3	32,4	141,8	12,2
35 – 40	100,8	30,5	101,7	36,0	150,3	14,1
40 – 45	100,5	31,3	105,8	36,5	219,9	13,3
45 – 50	117,6	29,0	84,7	38,0		

Tabelle 6. Überblick über den Nährstoffstatus der Schlicksedimente. Um einen Vergleich zu ermöglichen, sind als Schlicke vorerst alle Sedimente mit $GV > 5\%$ aufgefaßt worden. Mit * versehene Daten entstammen SCHLUNGBAUM u. NAUSCH, 1984, mit ** gekennzeichnete SCHLUNGBAUM et al., 1989. Die Daten sind in % TS angegeben, mit ^f markierte in % TS der Fraktion $< 0,063$ mm

Gewässer	n	C	N	P	GV	Fraktion < 0,063 mm
Greifsw. B	20	5,59	0,56	0,11	16,0	59,8
Greifsw. B.	20	6,05 ^f	0,64 ^f	0,07 ^f	14,9 ^f	59,8
Greifsw. B.**	8			0,10	10,4	50,8
Gr. Jasm. B.	36	8,65 ^f	0,93 ^f	0,06 ^f	22,6 ^f	36,0
Kl. Jasm. B.	8	8,16 ^f	1,03 ^f	0,06 ^f	19,1 ^f	43,9
Kl. Haff	55			0,24 ^f	22,7 ^f	75,3
Grabow*	36			0,0590	16,6	-
Barther B.*	43			0,0616	12,1	20,2
Bodstedter B.*	51			0,0893	20,3	16,1
Saaler B.*	33			0,0909	15,8	40,9
Ribnitzer See*	42			0,1294	19,5	44,2

täten möglich, wobei es sich vorzugsweise um große, auffällige Geschiebe, um gefährdete Gehöfte, militärisch interessante Lokalitäten oder alte Vermessungspunkte handelt (GOMOLKA, 1987; JANKE u. LAMPE, 1993).

Allgemein kann auf Grund des derzeitigen Kenntnisstandes davon ausgegangen werden, daß die mittleren Rückgänge aktiver Abschnitte zwischen 10–20 cm/a liegen, nur ausnahmsweise werden auch höhere Beträge erreicht (z. B. Lubmin, Südküste Greifswalder Bodden, ca. 40 cm/a). Da in der Regel der Rückgang aber höchst diskontinuierlich erfolgt (s. u.), ist die Höhe der Rate entscheidend von der Wahl des Bezugszeitraumes abhängig. Über sehr lange Zeiträume zu mitteln, gelingt mit Hilfe fossiler submariner Kliffe: Während verschiedener Stagnationsphasen der Litorina-Transgression entstanden an den damaligen Ufern Kliffe, die bei weiterem Meeresspiegelanstieg ertranken und sich heute an verschiedenen Stellen des Peenestrom/Achterwasser-Systems sowie im Greifswalder Bodden nachweisen lassen (GUSEN, 1978; KNOLL, 1983; LAMPE, 1987). Für diese Stellen kann man schließen, daß der Rückgang in den letzten 6800 Jahren zwischen 75 und 300 m lag, was – verglichen mit den heutigen Werten – lange Stagnationszeiten nahelegt.

Statt der Angabe der Küstenrückgangsrates ist aus sedimentdynamischer Sicht vielfach die Angabe der Materialmenge interessanter, die von einem Küstenabschnitt bereitgestellt wird (GURWELL, 1989). GOMOLKA (1987) hat für den Greifswalder Bodden exemplarisch solche Werte durch Analyse historischer Karten ermittelt, die – über einen Zeitraum von 125–290 Jahren gemittelt – zwischen $0,5$ und $2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ a}^{-1}$ liegen, womit sie um annähernd eine Zehnerpotenz kleiner sind als vergleichbare Angaben für die Außenküste (WIEMER u. GURWELL, 1991). Da der Greifswalder Bodden aufgrund seiner Größe und Tiefe die intensivste Küstendynamik aufweist, kann leicht abgeschätzt werden, daß an anderen aktiven Boddenküstenabschnitten diese Werte kaum erreicht werden.

Über die Ausbildung der Litoralsedimente geben eine Reihe von Kartierungsarbeiten Aufschluß, die Gebiete der Darß-Zingster Boddenkette, des Strelasundes, des Greifswalder Boddens und des Achterwassers zum Gegenstand hatten und von denen erwartet werden darf, daß sie die Spanne der natürlichen Variabilität weitgehend abdecken. Die Gestaltungsprinzipien der submarinen Boddenküstenbereiche können daher als relativ gut bekannt gelten

Tabelle 7. Charakteristik der Sedimentzonen in der Ostsee (zusammengestellt nach PRATJE, 1948; DIETRICH u. KÖSTER, 1974; KOLP, 1966; GUSEN, 1978; teilweise ergänzt; nach LAMPE, 1987); Abkürzungen: unRz – ufernahe Restsedimentzone; unSz – ufernahe Sandzone; uFRz – uferferne Restsedimentzone; uFSz – uferferne Sandzone; saZ – sedimentarme Zone; Slz – Schlickzone

Zonen	unRZ	unSz	uFRz	uFSz	saZ	Slz
Bodenbedeckung	Grobe Klastika mit Sandlinsen	Fein-/Mittelsand	Mittel-Grob-Sand, Kies	Fein-, Mittelsand	Mergel mit dünner Schluff/Sandlage	Schlick
Sortierung	sehr schlecht	gut	mäßig – sehr	sehr gut	sehr gut	schlecht
Tiefe (m)						
W-Ostsee		0 – 6	6 – 10	10 – 15	15 – 17	> 17
m. Ostsee		0 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 50	> 50
Gwd. Bodd.	0 – 0,5	0 – 2,5	2 – 4	4 – 7	fehlt	> 7

(GOMOLKA, 1971; KNOLL, 1981; GUSEN, 1978; GURWELL, 1981; LAMPE, 1987, 1992b; FRANK, 1988; TRILLER, 1987). Die Kartierungen zeigen, daß die Zonen der Küstensedimente im Sinne von PRATJE (1948; vgl. auch KOLP, 1966; DIETRICH u. KÖSTER, 1974; LAMPE, 1987; Tab. 7) unabhängig von der hydrodynamischen Belastung in allen durch Abrasions- oder Transitprozesse geprägten Schorreabschnitten nachgewiesen wurden. Die konkrete Ausprägung der Kornverteilungen wird aber wegen der allgemein kurzen Transportwege und der geringen Differenzierungsmöglichkeiten besonders stark von den Herkunftsgebieten mitbestimmt, welche vorzugsweise an den Südustrandungen (s. Abschn. 1) aus gut sortierten Staubeckensanden bestehen. In Akkumulationsbereichen finden sich in der Regel nur eintönige Feinsanddecken, die kaum zu gliedern sind. Von 691 Proben aus verschiedenen Küstenabschnitten und -zonen waren 399 als gut sortierte Feinsande bzw. Fein- u. Mittelsande mit Medianwerten zwischen 0,14 und 0,18 anzusprechen (LAMPE, 1987).

Entsprechend der geringen Materialbereitstellung durch den Küstenabbruch sind auch größere Anlandungsformen kaum zu erwarten. Rezente Aufbauformen wie Haken und Höftländer sind trotz der starken Gliederung der Binnenküste selten, von geringen Ausmaßen und an Tieflagen des glazialen Reliefs gebunden. Viel häufiger sind fossile (oder zumindest subrezente) Formen, die auf eine vor Schließung der Nehrungen stärkere Strömungs- und Seegangsexposition mit Tendenz zur Bildung von Ausgleichsformen hinweisen (u. a. Nadelhaken im Bodstedter Bodden: ROLL u. ZILLMANN, 1985; Stolper Haken, Westrügen: SCHMIDT, 1978; Haken der Fährinsel/Hiddensee: JACOB, 1987). Auch die großen submarinen Sandkörper, deren Lage durchaus eine Interpretation als schaarähnliche Akkumulationsformen zuläßt (Gahlkower und Freesendorfer Haken im Greifswalder Bodden, Warther Haken und Trocken Ort im Achterwasser, die Schaarflächen bei Grabow und Dumsewitz (westl. Greifswalder Bodden) sowie Nisdorf und Fahrenkamp (Grabow)) unterliegen gegenwärtig weitgehend der Stagnation. Sie sind im Kern spätglazialer Entstehung (Geschiebemergel oder Staubeckensande), tragen verbreitet litorinazeitliche Vernässungstorfte und sind von nur geringmächtigen holozänen (rezenten) Sanden bedeckt (GUSEN, 1988; LAMPE, 1987). Hier handelt es sich um fossile Abrasionsplattformen, die auf einem energetisch höheren Niveau entstanden und derzeit kaum umgeformt werden können. Die Begrenzung des „fetch“ durch den Küstenausgleich an der Außenküste hat somit zu einem tiefgreifenden Wandel der Dynamik an der Binnenküste vornehmlich in Richtung Stagnation geführt. Damit einher geht

jedoch auch eine deutlicher in Erscheinung tretende Formung durch seltene Ereignisse, vornehmlich durch Sturmhochwasser (GOMOLKA, 1987). Die dabei entstehenden Formen wie Sturmflutwälle (z. B. bei Kinnbackenhagen, Fahrenkamp, Silmenitzer Heide, Insel Struck) und -rinnen (Damerow/ Usedom), Binnendeltas (z. B. Vierendehgrund, Hahnentiefschaar), Abbruchnischen (bei Gager/SE-Rügen) und Terrassen (Südküste Greifswalder Bodden) usw. bleiben viel länger erhalten als an der Außenküste, wo sie durch die allgemein höhere Dynamik schneller wieder verwischt werden. Der Prozeß der Ausgleichung durch bewegliches klastisches Material ist durch die schnelle Schließung der Nehrungen im Ansatz steckengeblieben und durch einen Ausgleich durch organogene Verlandung (Akkumulation autochthonen phytogenen Materials in Küsten-Überflutungsmooren, SUCCOW, 1981) weitgehend ersetzt worden.

Auf ca. 75 % ihrer Länge von insgesamt 1130 km wird die Binnenküste heute von artenarmen Boddenröhrichten (untergeordnet auch Salzgrasländern) geprägt. Der Beginn der Torfakkumulation reicht teilweise bis in das jüngere Subboreal zurück, teilweise nur bis in das 11./12. Jh., was offenbar abhängig ist von der jeweiligen Lage zum Meeresspiegel während der ausklingenden L3- bzw. der postlitorinen Transgression (JESCHKE u. LANGE, 1992; JANKE, mdl.Mitt.) Die Organogenakkumulation hält also Schritt mit dem Anstieg des Meeresspiegels. Mit dem Einsetzen der letzten Transgressionsphase beginnt an den Stellen, wo das Röhricht extensiv durch Rinder beweidet wird, die Entwicklung von Salzwiesentorfen, die infolge von Trittvverdichtung und Bildung anaerober Zonen vor oxidativem Abbau geschützt sind und aus dem Mittelwasserbereich herauswachsen können. Unterstützt wird dieser Prozeß durch den Eintrag minerogenen Materials, so daß Akkumulationsgeschwindigkeiten von 0,4–0,6 mm/a resultieren (JESCHKE u. LANGE, 1992). Auflassung und Nährstoffanreicherung haben heute zu einem weitgehenden Verschwinden der Salzwiesen und zur Eroberung des Areals durch mehr oder weniger eutrophe Röhrichte geführt, die in Abhängigkeit von Nährstoffversorgung, Substrat sowie direkten und indirekten Nutzungseinflüssen in Vergangenheit und Gegenwart unterschiedliche Bestandstypen in vorwiegend zonaler Anordnung aufweisen. Diese Bestandstypen lassen sich vor allem nach der Halmlänge, der Halmdichte, der Trockenmasse und der Jahresproduktivität unterscheiden. Die zonale Anordnung der Bestandstypen Uferschilf, Hochschilf, Niederschilf, Quellschilf hat ihre Ursachen wahrscheinlich in der unterschiedlichen Nitratversorgung und Wasserzügigkeit am jeweiligen Standort. Quellschilf wird von der Landseite, Hochschilf dagegen von der Wasserseite mit Nitrat versorgt. Der Schilfsaum verfügt damit über ein Puffervermögen, welches es ihm gestattet, sowohl die land- als auch die wasserseitig eingespülten Nitrate in Biomasse zu fixieren und später im Torf zu akkumulieren. Die Existenz des Bestandstyps Niederschilf im Zentrum des Röhrichtgürtels zeigt an, daß dort eine Mangelsituation herrscht, d. h. der Schilfsaum insgesamt noch in der Lage ist, die Nitratfracht zu kompensieren und einen durchgehenden Stofffluß zwischen Land und Gewässer weitgehend zu verhindern. Bei den Bestandstypen Hochschilf und besonders beim Quellschilf ist die Belastungsgrenze i. d. R. erreicht oder überschritten. Die Schilfhalme verlieren ihre Bruchfestigkeit und werden zunehmend durch nitrophile Pflanzengesellschaften ersetzt (VOIGTLAND, 1983; SLOBODDA, 1989; LAMPE et al., 1987). Damit einher gehen Veränderungen des Schilfareals, die aber infolge der starken Einflußnahme des winterlichen Eisganges auf die wasserseitige Röhrichtgrenze nicht immer eindeutig auf Eutrophierungserscheinungen zurückführbar sind. Am ehesten gelingt dies noch mit Hilfe des Vergleichs von Luftbildern über einen mittelfristigen Zeitraum hinweg. Danach zeigen die Mehrzahl der untersuchten Brackwasserröhrichte der Darß-Zingster Boddenkette, der Boddengewässer Rügens und Usedom eine regressive Schilfsaumentwicklung, die sich vorzugsweise am wasserseitigen Rand und in abgeschlossenen Boddenbereichen bemerkbar macht, die stärke-

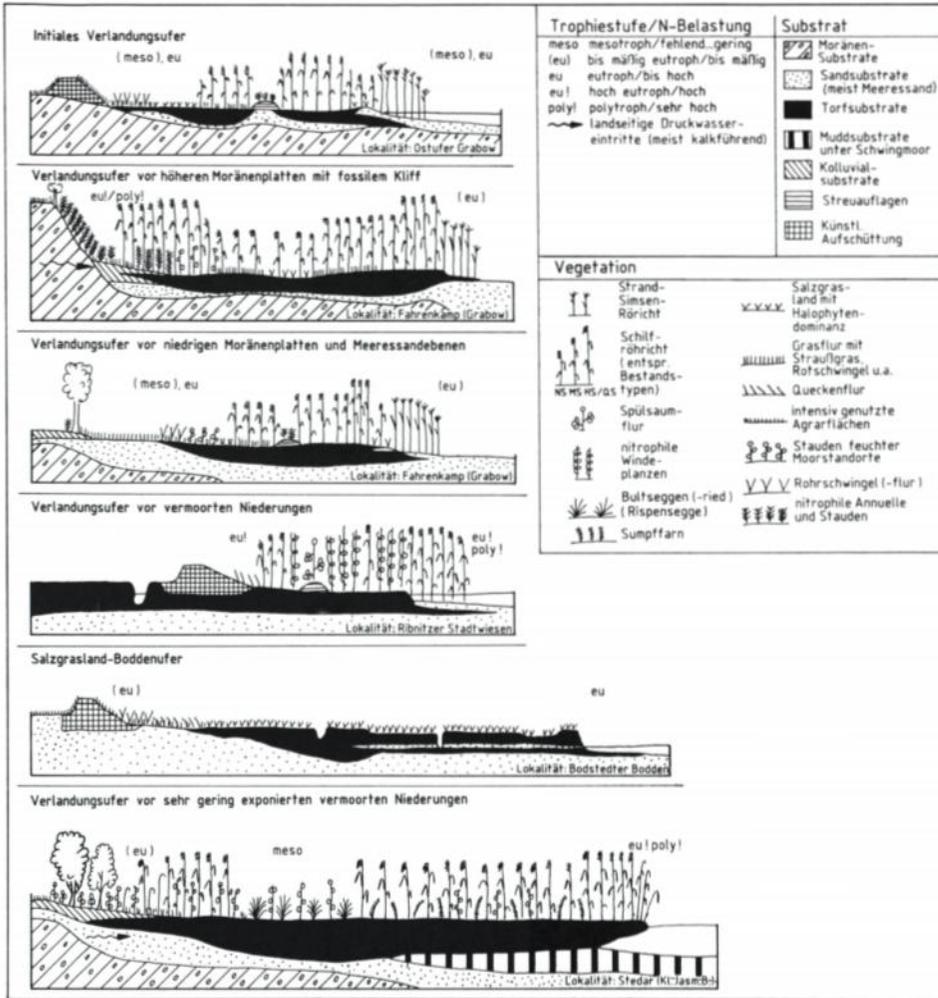


Abb. 8: Ausbildung unterschiedlicher Typen von Verlandungsufern entsprechend morphologischer Situation, Exposition, Substratbindung und Trophie (nach SLOBODDA, 1989)

ren Eutrophierungserscheinungen ausgesetzt sind. Die höchsten Werte des Schilfrückgangs wurden im Kleinen Haff mit 5,6 ha und bei Kinnbackenhagen im Grabow mit 4,4 ha im Zeitraum 1966/86 bzw. 1966/83 festgestellt (LIPPERT, 1989).

8. Schlußbemerkungen

Die vorpommerschen Boddengewässer stellen einen geologisch jungen, ökologisch vielschichtigen und robusten Typ von Küstengewässern dar. Die einzigartige Kombination glazialer Kerne und holozäner Haken und Nehrungen und die Hintereinanderschaltung der flachen Einzelgewässer zu Boddenkettensystemen mit unterschiedlichster Wechselwirkung mit der

vorgelagerten Ostsee finden ihren Ausdruck in einer hohen landschaftsökologischen Diversität. Weite Teile der Boddenlandschaft gehören daher zu Schutzgebieten verschiedener Kategorien (Nationalpark, Biosphärenreservat, Feuchtgebiet nationaler bzw. internationaler Bedeutung, Naturschutzgebiet, Naturpark). Ihre größte Bedeutung haben die Bodden aber als Filter und Puffer zwischen den vom Festland entwässernden Flüssen und der Ostsee. In dieser Übergangszone mit ästuarinem Charakter werden die eingetragenen Schweb-, Nähr- und Schadstoffe in die Nahrungskette eingeschleust, transformiert und teilweise sedimentiert. Andererseits hat der massenhafte Import dieser Stoffe die Gewässer an den Rand ihrer Belastbarkeit gebracht und damit nicht nur das Gleichgewicht ihres eigenen Stoffhaushalts gestört, sondern auch die Ostsee eines wichtigen Schutzes beraubt. Es kann daher nicht ausdrücklich genug darauf verwiesen werden, daß alle Bemühungen zum Schutz der Bodden letztlich aktiver Schutz der Ostsee sind.

9. Schriftenverzeichnis

- AL AHMAD, H.: Ozeanologisch-hydrographische Kennzeichnung von Ästuaren der DDR-Küste, dargestellt am Beispiel des Achterwassers. Diss. A, Greifswald, 1990.
- BACHOR, A.: Räumliche und zeitliche Veränderungen ausgewählter hydrographisch-chemischer Parameter in den Küstengewässern der DDR. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 39, H. 3, 1990.
- BAUMERT, H. et al.: Numerical simulation of estuarine hydrodynamics. *Syst. Anal. Model. Simul.*, Jg. 6, H. 7, 1989.
- BIRR, H.-D.: Hydrographie des Strelasundes. Diss. A, Potsdam, 1970.
- BIRR, H.-D.: Zu den Strömungsverhältnissen des Strelasundes. *Beitr. Meereskde*, H. 58, 1988.
- BIRR, H.-D.: Zur Seegangsentwicklung auf Boddengewässern. *Greifsw. Geogr. Arb.*, H. 8, 1990.
- BRAMER, H.: Über ein Vorkommen von Allerödortf in Sedimenten der Ueckermänder Heide. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 24, H. 3/4, 1975.
- BROSIN, H.-J.: Hydrographie und Wasserhaushalt der Boddenkette südlich des Darß und Zingst. *Veröff. Geophys. Inst. Univ. Leipzig, Ser. 2*, Jg. 18, H. 3, 1965.
- BRÜGMANN, L. u. BACHOR, A.: Present State of the Baltic Coastal Waters of Mecklenburg-Vorpommern, Germany. *GeoJournal*, Jg. 22, H. 2, 1990.
- BUCKMANN, K.: Modellierung der Hydrodynamik im Oder-Ästuar (unveröff.). *F/E-Zwischenber.*, Greifswald, 1993.
- BUCKMANN, K., LAMPE, R. u. KROHN, J.: Modellierung der Wasserdynamik im Greifswalder Bodden (unveröff.). *F/E-Bericht, GKSS Geesthacht*, 1990.
- CORRENS, M.: Beitrag zum Wasserhaushalt des Oderhaffs. *Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-nat. R.*, Jg. 22, H. 6, 1973.
- CORRENS, M.: Strömungsverhältnisse im Peenestrom. *Acta hydrophys.* Jg. 18, H. 1, 1973/74.
- CORRENS, M.: Charakteristische morphometrische Daten der Bodden- und Haffgewässer der DDR. *Vermessungstechnik*, Jg. 24, H. 12, 1976.
- CORRENS, M.: Der Wasserhaushalt der Bodden- und Haffgewässer der DDR als Grundlage für die weitere Erforschung ihrer Nutzungsfähigkeit zu Trink- und Brauchwasserzwecken. *Diss. B*, Berlin 1979.
- DIETRICH, G. u. KÖSTER, R.: Bodengestalt und Bodenbedeckung. In: MAAGARD, L.; RHEINHEIMER, G.: *Meereskunde der Ostsee*. Berlin, Heidelberg, New York, 1974.
- FRANK, : Charakteristik der sedimentologischen Verhältnisse auf der Schorre im Bereich Lubmin (Greifswalder Bodden). *Diplomarb.*, Greifswald, 1988.
- GOMOLKA, A.: Untersuchungen über die Küstenverhältnisse und die Küstendynamik des Greifswalder Boddens. *Diss. A*, Greifswald, 1971.
- GOMOLKA, A.: Untersuchungen über geomorphologische Veränderungen an Boddenküsten in den letzten drei Jahrhunderten unter besonderer Berücksichtigung des Greifswalder Boddens. *Diss. B*, Greifswald, 1987.

- GREWE, I.: Messung und Beschreibung des Seegangs auf Boddengewässern. Diplomarb., Greifswald, 1985.
- GURWELL, B. R.: Kornparameter und Gefüge in Schorresedimenten Südostrügens. *Peterm. Geogr. Mitt.*, Jg. 125, H. 2, 1981.
- GURWELL, B. R.: Grundsätzliche Anmerkungen zur langfristigen Abrasionswirkung und ihrer Quantifizierung. – *Mitt. FA Schifffahrt, Wasser-, Grundbau*, H. 54, 1989.
- GUSEN, B. R.: Geologisch-morphologische Untersuchungen auf der Schorre von Neu-Reddevitz (Greifswalder Bodden) – ein aktuogeologischer Beitrag zur Untersuchung des strukturellen und textuellen Baus rezenter Flachwassersedimente. Diss. A, Greifswald, 1978.
- GUSEN, R.: Der lithologische Bau der Schorre von Neu Reddevitz (Greifswalder Bodden). *Z. geol. Wiss.*, Jg. 11, H. 2, 1983.
- GUSEN, R.: Sedimentverteilung und geologischer Bau der Schorre vor Lubmin (Südküste des Greifswalder Boddens). – *Z. angew. Geol.*, Jg. 34, H. 3, 1988.
- GUTH, A.: Untersuchungen über die Wasserstands- und Strömungsverhältnisse im Seegebiet Stahlbrode–Palmer Ort. – *Greifsw. Geogr. Arb.*, H. 8, 1990.
- HACKERT, K.: Die Strömungsverhältnisse des Greifswalder Boddens bei Ost- und Westwinden. *Wasserwirtschaft, Wassertechnik*, Jg. 19, H. 6, 1969.
- HINKELMANN, R. u. ZIELKE, W.: Hydrodynamisch-numerische Modellierung der Darß-Zingster-Boddenkette (unveröff.). F/E-Zwischenbericht, Hannover, 1993.
- HUPFER, P.: Zu Folgen von Schwankungen der atmosphärischen Zirkulation für das Küstengebiet der westlichen Ostsee. *Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, R. Math./Naturwiss.*, Jg. 41, H. 2, 1992.
- INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ: Zalew Szczecinski. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1980.
- JACOB, H.-E.: Die Fährlinsel bei Hiddensee – Geomorphologie und Genese. – *Peterm. Geogr. Mitt.*, Jg. 131, H. 2, 1987.
- JANKE, W.: Beitrag zur Entstehung und zum Aufbau der Dünengebiete der Lubminer Heide sowie der Peenemünde-Zinnowitzer-Seesandebene. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 20, H. 1/2, 1971.
- JANKE, W.: Schema der spät- und postglazialen Entwicklung der Talungen der spätglazialen Haffstauseeabflüsse. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 27, H. 1/2, 1978.
- JANKE, W. u. KLIEWE, H.: Genese und Sedimentabfolge einiger ausgewählter Bodden. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 39, H. 3, 1990.
- JANKE, W. u. LAMPE, R.: Monographische Darstellung der subrezent, historischen und prognostischen Küstenentwicklung der Außenküste Mecklenburg-Vorpommerns auf der Grundlage derzeit verfügbarer Daten und Untersuchungsergebnisse. (unveröff.) Zwischenbericht, Staatl. Amt f. Umwelt und Natur, Warnemünde, 1993.
- JASINSKA, E.: Dynamika slonych wod w estuariach polskich rzek. – *Prace instytutu budownictwa wodnego PAN*, 24, Gdansk, 1991.
- JESCHKE, L. u. LANGE, E.: Genese der Küstenüberflutungsmoore der vorpommerschen Boddengewässer. In: Billwitz, K.; Jäger, K.-D.; Janke, W. (Hrsg.): *Jungquartäre Landschaftsräume*. Springer-Verl., Berlin, Heidelberg, New York, 1992.
- KLIEWE, H. u. JANKE, W.: Der holozäne Wasserspiegelanstieg der Ostsee im nordöstlichen Küstengebiet der DDR. *Peterm. Geogr. Mitt.*, Jg. 126, H. 2, 1982.
- KLIEWE, H. u. JANKE, W.: Holozäner Küstenausgleich im südlichen Ostseegebiet bei besonderer Berücksichtigung der Boddenausgleichsküste Vorpommerns. *Peterm. Geogr. Mitt.*, Jg. 135, H. 1, 1991.
- KNOLL, B.: Der Uferückgang des Neu-Reddevitzer Kliffs. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 32, H. 1/2, 1983.
- KNOLL, B.: Sedimentverteilung und Sedimentumlagerung auf der Schorre von Neu Reddevitz (Südostrügen). *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 32, H. 1/2, 1983.
- KOLP, O.: Schlickmächtigkeit im Greifswalder Bodden. Karte 1:50 000. SHD Rostock, 1965.
- KOLP, O.: Die Sedimente der westlichen und südlichen Ostsee und ihre Darstellung. *Beitr. Meereskde*, H. 17/18, 1966.
- LAMPE, R.: Morphodynamisch-lithologische Kennzeichnung und Kartierung ausgewählter Schorrebereiche der inneren Seegewässer der DDR. Diss. B, Greifswald, 1987.
- LAMPE, R.: Untersuchungen zur Beeinflussung der natürlichen Umwelt im Bereich des KKW. – Unveröff. F/E-Bericht, Greifswald 1989a.

- LAMPE, R.: Hydrographie des Greifswalder Boddens. (unveröff.) F/E-Bericht, Greifswald, 1989b.
- LAMPE, R.: Neue Untersuchungsergebnisse zur Hydrographie des Greifswalder Boddens. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 39, H. 3, 1990.
- LAMPE, R.: Morphologie und Dynamik der Boddenküsten Vorpommerns. *Geogr. Rdsch.*, Jg. 44, H. 11, 1992a.
- LAMPE, R.: Die Berücksichtigung von Häufigkeit und Richtung des Seegangs bei der Einschätzung des küstennahen Sandtransportes. – In: Billwitz, K.; Jäger, K.-D.; Janke, W. (Hrsg.): *Jungquartäre Landschaftsräume*. Springer-Verl., Berlin, Heidelberg, New York, 1992b.
- LAMPE, R.: Environmental state and material flux in the western part of the Oder river estuary – results and consequences. – *Peterm. Geogr. Mitt.*, 137, H. 5, 1993.
- LAMPE, R., GOMOLKA, A., LEIPE, T., SLOBODDA, S. u. VOIGTLAND, R.: Ergebnisse der Untersuchung von Struktur und Dynamik von Boddenküsten. – *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 36, H. 2/3, 1987.
- LAMPE, R. et al.: Rezente und Paläostoffkreisläufe in den Bodden- und Haffgewässern, die unter dem Einfluß der Oder-Mündung stehen. Zwischenbericht zum BMFT-Projekt 03F0043A, 1992.
- LEIPE, T.: Beiträge zur Geochemie und Geoökologie rezenter Sedimente der Boddengewässer im Nordosten der Deutschen Demokratischen Republik. Diss. A, Greifswald, 1986.
- LINDNER, A.: Soziologisch-ökologische Untersuchungen an der submersen Vegetation in der Boddenkette südlich des Darßes und des Zingst. Dissertation, Univ. Rostock, 1972.
- LIPPERT, K.: Untersuchungen zur Veränderung und Bonitierung von Schilfröhrichtvorkommen an den Boddenküsten der DDR. Diss. A, Greifswald, 1989.
- MERTINKAT, M.-L.: Der Wasserhaushalt der Bodden- und Haffgewässer der DDR 1966/85. (unveröff.) Bericht, WWD Küste, Warnemünde, 1986.
- MIEHLKE, O.: Abschätzungen zur Veränderlichkeit der Konzentration gelöster Inhaltsstoffe in Wasserreservoirten. *Acta hydrophys.*, Jg. 14, H. 1/2, 1969/70.
- NAUSCH, G., SCHLUNGBAUM, G. u. VON OERTZEN, J.-A.: Untersuchungen zur Sedimentation in den Darß-Zingster-Boddengewässern – ein Beitrag zur Aufstellung einer Energie- und Stoffbilanz im Ökosystem. Teil 1: Die Bestimmung der Sedimentationsrate und die Erfassung produktionsbiologisch wichtiger Parameter des sedimentierenden Materials. *Acta hydrochim. hydrobiol.*, Jg. 8, H. 1, 1980.
- NÖHREN, I.: Modelluntersuchungen zur Dynamik des Oder-Mündungsgebietes. Diplomarb. Hamburg, 1988.
- PRATJE, O.: Die Bodenbedeckung der südlichen und mittleren Ostsee und ihre Bedeutung für die Ausdeutung fossiler Sedimente. – *Dt. Hydrogr. Z.* Jg. 1, H.2/3, 1948.
- RAUCH, A.: Energieeintrag an ausgewählten Küstenabschnitten der inneren Seegewässer. Diplomarb., Greifswald, 1986.
- ROLL, H. u. ZILLMANN, R.: Untersuchungen des Aufbaus und der Genese von Haken. Diplomarb., Greifswald, 1985.
- SAGER, G. u. MIEHLKE, O.: Untersuchungen über die Abhängigkeit des Wasserstandes in Warnemünde von der Windrichtung über der Ostsee. *Ann. Hydrogr.*, H. 4, 1956.
- SCHMIDT, H.: Zur Morphologie und Genese des Stolper Hakens bei Seehof/Westrügen. – *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 27, H.1/2, 1978.
- SCELLENBERGER, G.: Untersuchungen über Windwellen auf einem Binnensee. *Acta hydrophys.*, Jg. 7, H. 1, 1962.
- SCHLUNGBAUM, G.: Untersuchungen über die Sedimentqualität in den Gewässern der Darß-Zingster-Boddenkette unter besonderer Berücksichtigung der Stoffaustauschprozesse zwischen Wasser und Sediment. Diss. B, Rostock, 1979.
- SCHLUNGBAUM, G.: Der Entwurf einer Küstengewässer-TGL – ein Ergebnis komplexer ökologischer Forschung der Sektion Biologie und ihrer Kooperationspartner. – *Wiss. Z. Univ. Rostock, Naturwiss. R.*, Jg. 37, H. 5, 1988.
- SCHLUNGBAUM, G. u. NAUSCH, G.: Sedimentchemische Untersuchungen in Küstengewässern der DDR. XX. Die Sedimente der Darß-Zingster-Boddengewässer – eine zusammenfassende und vergleichende Übersicht. *Wiss. Z. Univ. Rostock, Naturwiss. R.*, Jg. 33, H. 6, 1984.
- SCHLUNGBAUM, G. u. NAUSCH, G.: Nutrient turnover at the sediment/water interface in shallow eutrophic coastal waters. *Kieler Meeresforsch. Sonderh.* 6, 1988.
- SCHLUNGBAUM, G. et al.: Sedimentchemische Untersuchungen in Küstengewässern der DDR –

- XXX. Zur Beschaffenheit der Sedimentoberflächenschicht des Greifswalder Boddens. *Wiss. Z. Univ. Rostock, Naturwiss. R.*, Jg. 38, H. 5, 1989.
- SCHÖPPE, C.: Untersuchungen ausgewählter Wasserbeschaffenheitsparameter von 1968 bis 1987 im Oderhaff, eines Ästuars der südlichen Ostsee. (unveröff.) Bericht, WWD Küste, Stralsund, 1989.
- SCHOKNECHT, G.: Einige Untersuchungsergebnisse über die Wasserbeschaffenheit des Greifswalder Boddens. – *Acta hydrochim. hydrobiol.*, Jg. 1, H. 4, 1973.
- SLOBODDA, S.: Landschaftsökologische Kennzeichnung und Typisierung von Bodden-Verlandungssaumufern an den inneren Seegewässern der DDR unter Einbezug vegetationsökologischer Untersuchungen. Diss. B, Greifswald, 1989.
- STOYAN, G., MÜLLER, W. u. BAUMERT, H.: Numerische Simulation von wind- und durchfluß-induzierten Strömungen in Flachgewässern auf Basis des Ekman-Modells. *Acta hydrophys.*, Jg. 30, H. 1, 1986.
- SUBKLEW, H.-J.: Der Greifswalder Bodden, fischereibiologisch und fischereiwirtschaftlich betrachtet. *Z. Fischerei*, Jg. 4, H. 7/8, 1955.
- SUCCOW, M.: Topische und chorische Naturraumtypen der Moore. In: KOPP, D., JÄGER, K. D., SUCCOW, M.: *Naturräumliche Grundlagen der Landnutzung am Beispiel des Tieflandes der DDR*. Akad. Verl. Berlin, 1981.
- TREMP, D. u. THIEME, A.: Ermittlung von Wasserstandsganglinien im seeartig erweiterten Gebiet des Peenestromes bei Ostseehochwasser. *Wiss. Z. Univ. Rostock, Naturwiss. R.*, Jg. 33, H. 5, 1984.
- TRILLER, T.: Sedimentologische Untersuchungen auf der Schorre im Küstenabschnitt Thiessow – Klein Zicker (Greifswalder Bodden). Diplomarb., Greifswald 1987.
- WARSCHKOW, F.: Beiträge zu speziellen Problemen der Hydrographie des Greifswalder Boddens. Diplomarb., Greifswald, 1987.
- WEHNER, K.: Oberflächennahe quartäre Sedimente im Greifswalder Bodden. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 39, H. 3, 1990.
- WEISS, D.: Verteilung und Migration künstlicher Radionuklide in rezenten Sedimenten des Greifswalder Boddens. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math.-nat. R.*, Jg. 39, H. 3, 1990.
- WEISS, D. et al.: Beeinflussung der Seegangs- und Sedimentdynamik vor Steilufern der DDR-Küste. (unveröff.) F/E-Bericht, WWD Warnemünde, 1977.
- WIEMER, R. u. GURWELL, B. R.: Die Ostseeküste in Mecklenburg-Vorpommern. – *Wasser, Boden*, Jg. 43, H. 1, 1991.
- WORMS, A.: Sedimentverteilung im Bereich des Darß-Zingst und des Westteils der Boddenkette West. Diplomarb., Greifswald, 1983.
- VOIGTLAND, R.: Biologische und hydrochemische Stoffhaushaltsuntersuchungen in Schilfverlandungszonen. Diss. A, Greifswald, 1983.