

Greifswalder Geographische Arbeiten	16	316 - 325	Greifswald 1998
-------------------------------------	----	-----------	-----------------

Die räumliche Verbreitung des Makrophytobenthos und seine Akkumulation von Nährstoffen und Schwermetallen.

Teil 1: Erfassung des Bedeckungsgrades des Greifswalder Boddens mit submersen Makrophyten

S. Bartels

Universität Rostock, FB Biologie, Abt. Biophysik, Wismarsche Str. 8, 18051 Rostock

U. Klüber

Universität Rostock, Inst. f. Schiffbau & Meerestechnik, A.-Einstein-Str. 2, 18051 Rostock,

Einleitung

Die Makrophyten eines Küstengewässers gelten als sensibler Indikator von Eutrophierungsprozessen. Die Erfassung und weitergehende Beobachtung ihrer Bestände ermöglicht eine Beurteilung von ökologischen Entwicklungsprozessen. Die umfassende Analyse des Bedeckungsgrades des Gewässergrundes mit submersen Pflanzen läßt dabei in besonderem Maße Aussagen über eine Bestandsentwicklung zu. Mit Hilfe der Luftbildauswertung konnte der Bedeckungsgrad des Boddens mit submersen Makrophyten für die Befliegungsjahrgänge 1990, 1994 und 1995 ermittelt werden. Die unterstützend eingesetzte Unterwasservideographie lieferte neben den für die Luftbildauswertung nötigen Basisdaten (vertikale Bewuchsgrenzen) eine Reihe zusätzlicher Informationen über das Phytal. Da die Unterwasseraufnahmen erstmalig entlang der gesamten Küstenlinie des Gewässers aufgezeichnet wurden, bestand die Möglichkeit, Repräsentativstandorte mit in der Region charakteristischen Biotopparametern, wie Substrat (Qualität und Mobilität), Wasserqualität (Lichtbedingungen), Relief-Struktur und Strömungsexposition, auszuwählen.

Aufgrund der so rings um den Greifswalder Bodden ausgewählten Repräsentativstandorte konnten im August 1996 (Vegetationsmaximum) und im Mai 1997 (Winteraspekt) gemeinsam mit dem Projektpartner (AG Conrad) und unter maßgeblicher Beteiligung der Gruppe Unterwassertechnik Komplexbeprobungen des Makrophytobenthos durchgeführt werden. Sie und die Ergebnisse der Luftbildauswertung ermöglichten nun erstmals eine

Bilanzierbarkeit von Biomasse und Elementgehalten für das Phytal des gesamten Untersuchungsgebietes.

Kenntnisstand

Leider lagen zu Beginn der Projektarbeit nur sehr unzureichende Angaben zum Bedeckungsgrad vor. So sagt eine Veröffentlichung von SEIFERT (1938) aus, daß 9/10 der Bodenfläche des Greifswalder Boddens mit Makrophyten besiedelt seien (Annahme). In der umfangreichen soziologischen Arbeit von GEISEL (1986) findet man den geschätzten Wert für den Bedeckungsgrad von 15%.

Da die konventionellen Methoden einer sporadischen und punktuellen Beprobung bei einer entsprechenden Größe des Untersuchungsgebietes und hinzukommender starker Heterogenität des Makrophytobenthos leider bei Hochrechnungen nur zu Schätzwerten führten, ergab sich eine Notwendigkeit der Ermittlung eines realen Wertes für die bedeckte Bodenfläche. Mit dem Einsatz der rechnergestützten Luftbildanalyse von Flachwassergebieten sollten nun innerhalb des Projektes neue Untersuchungsmethoden für eine ganzheitliche Analyse gefunden und profiliert werden. Innerhalb der Diplomarbeit von RAMBOW (1994) wurden die methodischen Grundlagen anhand eines Testgebietes des Greifswalder Boddens geliefert. Die Arbeit zeigte im wesentlichen, daß zur Determinierung kritischer Luftbild-Bereiche Unterwasseraufnahmen herangezogen werden müssen, bevor die Luftbilder mit entsprechenden Verfahren der digitalen Bildverarbeitung ausgewertet werden können.

Fragestellung und Ziele

Zunächst bestand das Ziel in der Ermittlung des Bedeckungsgrades des Greifswalder Boddens mit Makrophyten. Die Grundlage bildeten ein Luftbildbestand der INTERFLUG von 1990 und einer von GOAP finanzierten Befliegung 1995 durch die BSF. Zusätzlich konnten Bildbestände der DLR einer Befliegung von 1994 beschafft werden.

In Verknüpfung mit dem Greifswalder Teilprojekt der AG Conrad "Akkumulation von Stickstoff, Phosphor und anderen Elementen im Makrophytobenthos des Greifswalder Boddens" (s. Teil 2, in diesem Band) sollte die in der Luftbildauswertung ermittelte Bewuchsfläche des Greifswalder Boddens als Grundlage der Hochrechnung der Elementgehalte dienen, um den Anteil von Großalgen und Blütenpflanzen am Stoffkreislauf Greifswalder Bodden bilanzieren zu können. Hierzu wurden in direkter Zusammenarbeit beider Makrophytobenthos-Teilprojekte Komplexbeprobungen an Repräsentativschnitten rings um den Greifswalder Bodden durchgeführt.

Methodik

Da innerhalb der Luftbilder zwischen Untersuchungsobjekt und Umgebung z.T. gleiche Farbkomponenten auftreten (bei: tiefem Wasser, dunklem Substrat ohne Bewuchs, Mytilusbänken, Ablagerungen abgestorbenen Pflanzenmaterials), besteht die Notwendigkeit diese Bildbereiche zu determinieren und die vertikale Bewuchsgrenze der Makrophyta in den einzelnen Biotopen zu erfassen. Der Einsatz der Unterwasservideographie (AG Unterwassertechnik) ermöglichte hierbei die Bearbeitung größerer Küstenareale in relativ kurzer Zeit.

- Einsatz einer mobilen, batteriebetriebenen, kabelgebundenen Unterwasservideoanlage (Eigenentwicklung der AG Unterwassertechnik)
- Schleppen der Unterwasserkamera über dem Benthos, Kreuzen über der Bewuchsgrenze
- Aufzeichnung von Position und Wassertiefe
- Auswertung: Erfassung von Position (D-GPS), Wassertiefe, Substrat, Digitalisierung und Kartierung der Daten, Festlegung der Bewuchsgrenzen für Einzelbiotope im gesamten Untersuchungsgebiet Greifswalder Bodden
- Festlegung der Positionen von Repräsentativschnitten (auf Grundlage der Datenfülle) rings um den Greifswalder Bodden und videographische Beobachtung vor und während der Komplexbeprobungen
- Bildvorverarbeitung: Digitalisierung des Luftbild-Originals, Weiterbearbeitung und Auswertung im grünen Kanal), Entfernen kritischer Bildbereiche (Daten aus der

Unterwasservideographie), Kontrastanhebung und Binarisierung mit einer bereichsabhängigen Schwelle

- Bildauswertung: Histogrammanalyse (Erfassung der absoluten Anzahl an Pixeln mit dem Grauwert 0 = Makrophytenbewuchs), Umrechnung der Pixelzahl in eine gebräuchliche Flächenangabe [m²], Bilanzierung des Anteils der Fläche mit Makrophytenbewuchs am Untersuchungsgebiet = Bedeckungsgrad

Untersuchungsverlauf

Die Aufzeichnung der Unterwasseraufnahmen erfolgte in jeweils 10- bis 20 tägigen Aufnahmekampagnen im Oktober / November 1993, April / Mai 1994, Mai 1995 sowie September 1995 zur grundsätzlichen Beurteilung der mit Makrophyten bewachsenen Flachwassergebiete im gesamten Greifswalder Bodden und im Mai und August 1996 zur Festlegung, Vermessung und videographischen Beobachtung des Phytals der Repräsentativschnitte für die Komplexbeprobung. Die Auswertung des umfangreichen Unterwasservideomaterials erfolgte schwerpunktmäßig 1994 und 1995, um die Voraussetzungen für die Luftbildauswertung zu schaffen, sowie jeweils im Anschluß an die nachfolgenden Aufnahmekampagnen. Der Luftbildbestand der Befliegungen von 1990, 1994 und 1995 wurde maßgeblich im Zeitraum von 1995 bis 1997 unter Zuhilfenahme der jeweiligen Analysedaten aus der Unterwasservideographie bearbeitet und ausgewertet. Während der Synthesephase 1997 erfolgte im Hinblick auf eine Bilanzierung des Elementgehaltes des gesamten Phytals eine enge Zusammenarbeit mit dem Greifswalder Projektpartner / AG Conrad (Empfehlungen für die Komplexbeprobungen im Mai 1997, Diskussion und Festlegung von Berechnungsmodi, Fehleranalyse).

Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der 1996 ermittelten vertikalen Bewuchsgrenze einzelner Biotope. Ein Vergleich der aktuellen Daten mit den Untersuchungen der vorangegangenen Jahrgänge zeigt im wesentlichen Übereinstimmung der Areale Ruden, Gahlkower Haken, Dänische Wiek, Kooser Haken, Großer Stubber und Buchtausgang der

Hagenschen Wiek. Negative Entwicklungen der Bestände sind lediglich auf den nördlichen Greifswalder Bodden beschränkt. So konnten in den Vorjahren auf Höhe des Wreechensees Rhodophyceen noch in Wassertiefen von bis zu 4,5 m auf Steinen und Zostera bis 3,4 m auf Sand vorgefunden werden. Eine ähnlich extreme Entwicklung zeigt das Territorium vor Muglitz. Die frühere Bewuchsgrenze lag hier bei 4,1 m für Zostera. In der Stresower Bucht konnten Rhodophyceen ehemals auch bis 4,8 m vorgefunden werden. Der extreme Rückgang der Makrophytenbestände in diesen Biotopen ist vermutlich auf den extremen Eisgang im April 1996 zurückzuführen, der insbesondere, wie die Videobilder vom Mai 1996 zeigten, die Makrophytenbestände in diesen Bereichen in Mitleidenschaft gezogen hatte. Neben tiefen Furchen in den Sedimenten dieser Areale (vermutlich verursacht durch aufgeschobene Eisschollen) zeigten die Videobilder eine extreme Ablagerung abgestorbener Pflanzenmaterials in tieferen Bereichen und Senken (starke Lichtlimitation der Rotalgenbestände darunter) sowie z.T. auch in unmittelbarer Ufernähe. An dieser Stelle bleibt zunächst die Frage offen, inwieweit sich die Pflanzenbestände mittlerweile erholt haben.

Tab. 1: Vertikale Bewuchsgrenzen der Makrophyta 1996

Nr.	Areal	Tiefe	Gattung
1	Gelbes Ufer	4,5 m	Polysiphonia
		3,0 m	Zostera
2	Höhe Wreechensee	2,8 m	Polysiphonia & Zostera
3	Muglitz	3,0 m	Zostera
4	Stresower Bucht / Neu Reddevitz	4,1 m	Polysiphonia
		3,7 m	Zostera
5	Reddevitzer Höft / Buchtausgang Hagensche Wiek	6,2 m	Polysiphonia
		3,4 m	Zostera
6	Zickersches Höft	5,9 m	Polysiphonia & Furcellaria
		3,5 m	Zostera
7	Ruden	3,2 m	Zostera
8	Struck	2,2 m	Zostera
9	Vierow	4,5 m	Polysiphonia
		2,7 m	Zostera
10	Gahlkower Haken	3,0 m	Zostera
11	Dänische Wiek	1,8 m	Potamogeton
12	Kooser Haken	3,1 m	Zostera
13	Großer Stubber	3,6 m	Zostera

In den Bereichen Gelbes Ufer, Zickersches Höft und Vierow waren ausnahmslos Vergrößerungen des Makrophytenbestandes zu verzeichnen. Am Gelben Ufer konnten so

Rotalgen ehemals nur bis zu Wassertiefen von 3,8m angetroffen werden. Da dieses Areal mit seinen ausgedehnten Beständen an *Polysiphonia nigrescens* und *Furcellaria fastigiata* ein bevorzugtes Laichgebiet des Rügenschon Frühjahrsrings ist (Belegmaterial: Videoaufnahmen Frühjahr

1994), ist diese Bestandsentwicklung im ökologischen Sinne als sehr positiv einzuschätzen. Eine ähnlich positive Entwicklung der Rotalgenbestände konnte am Zickerschen Höft festgestellt werden (frühere Bewuchsgrenze lag bei 5,4 m), darüberhinaus konnte im Verlauf der letzten Jahre hier eine extreme Zunahme der *Fucus*-Bestände verzeichnet werden. Im Bereich Vierow (insbesondere auf dem Steinfeld westlich des Hafens) dehnten sich in den letzten Jahren ebenfalls die Rotalgenbestände in tiefere Gewässerzonen aus (frühere Bewuchsgrenze lag bei etwa 3,0 m).

Da das Gebiet zwischen Reddevitzer und Zickerschem Höft am Buchtausgang der Hagenschon Wiek in den vergangenen Jahren am intensivsten videographisch untersucht wurde, konnte, wie in Abb. 2 dargestellt, eine umfassende Vegetationskarte erstellt werden. Abb. 1 zeigt das gleiche Untersuchungsgebiet mit den Untersuchungsergebnissen des Videoschnittes August 1996 zur Komplexbeprobung. Tab. 2 zeigt eine Zusammenfassung der ermittelten Bewuchsflächen der drei Befliegungsjahrgänge.

Die Aufnahmen des Jahrgangs 1994 (Leihstellung IfP und DLR) warfen bei der Bearbeitung und Auswertung eine Reihe von Problemen auf. Da es sich hierbei nicht um eine gezielte Aufnahme der Makrophytenbestände handelte, fehlen Luftbilder von Arealen, wie der Schoritzer Wiek, das Flachwassergebiet nordwestlich des Rudens und größere Bereiche nördlich (Thiessower Haken) und südlich der Landtiefenrinne. Daher kann der Bedeckungsgrad für den gesamten Greifswalder Bodden nicht ermittelt werden. Ein Datenvergleich sollte also nur für bestimmte einzelne Küstenabschnitte bzw. Buchten angestellt werden. Hinzu kommt, daß die Bildqualität vor allem aufgrund der vorherrschenden Witterungsverhältnisse zum Befliegungszeitpunkt im Vergleich zu den anderen Befliegungsjahrgängen deutlich schlechter ist (Wassertrübung, starke Reflexionen, Wasseroberfläche häufig mit Wellen). Die Bilder liefern weniger Informationen über den Bewuchs und die Ergebnisse sind daher als relativ fehlerhaft einzuschätzen.

Ein Vergleich der Bewuchsdaten für einzelne Küstenabschnitte von 1990 und 1995 (Tab. 3) zeigt, daß in den nördlich gelegenen Bereichen des Greifwalder Boddens zumeist ein Rückgang des Bewuchses zu verzeichnen ist, eine Ausnahme bilden das Zickersche Höft, der Zickersee, Klein Zicker und der Thiessower Haken (nordöstlich im Greifwalder Bodden gelegen, guter Wasseraustausch mit der Ostsee!), die entweder mehr oder zumindest gleich viel Bewuchs aufweisen. Bilanziert man die Bewuchsentwicklung für den gesamten nördlichen Teil von Lauterbach bis zum Südperd einschließlich der Flachwassergebiete um Vilm, so steht ein Bewuchs von 10,25 km² 1990 einer Besiedlung von 9,26 km² 1995 entgegen, also in der Summe ein recht unwesentlicher Rückgang.

Tab. 2: Makrophytenbewuchs der Küstenabschnitte

Areal	1990 [km ²]	1994 [km ²]	1995 [km ²]
Vilm (einschl. Steinriff und Vilmgrund)	1,99	1,81	1,42
Lauterbach bis Muglitz	0,29	0,34	0,23
Stresower Bucht	1,15	1,63	0,82
Having	1,54	0,82	1,29
Hagensche Wiek	2,17	1,77	1,68
Buchtausgang Hagensche Wiek	0,96	1,24	0,61
Zickersches Höft	0,27	0,29	0,35
Kaming	0,11	0,06	0,03
Zickersee	0,45	-	0,56
Klein Zicker	1,27	0,55	1,27
Thiessower Haken	0,08	0,84	1,01
südl. Landtief Richtung Ruden	0,00	-	0,36
Lauterbach bis Palmer Ort (ohne Schoritzer Wiek)	3,51	2,81	4,09
Schoritzer Wiek	0,53	-	1,30
Koos bis Wampen (ohne Kooser See)	3,57	1,56	2,99
Kooser See	0,43	0,51	0,32
Wampener Riff	0,66	0,05	0,86
Dänische Wiek	1,62	2,22	1,02
Buchtausgang Dänische Wiek bis Vierow	1,03	1,51	1,55
Vierow bis Lubmin	0,10	0,17	0,12
Lubmin bis Struck	0,20	0,67	0,68
Peenemünde	0,00	0,12	0,00
Flachwassergebiete um den Ruden	0,62	-	1,66
Greifwalder Bodden gesamt	22,54	-	24,20

Tab. 3: Bewuchsdaten und Bedeckungsgrad für einzeln abgrenzbare Buchten und den gesamten Greifswalder Bodden

Areal	Fläche _{ges.}	Bewuchs [km ²]			Bedeckungsgrad [%]		
		1990	1994	1995	1990	1994	1995
Stresower Bucht	5,10 km ²	1,15	1,63	0,82	22	32	16
Having	7,90 km ²	1,54	0,82	1,29	20	10	16
Hagensche Wiek	10,30 km ²	2,17	1,77	1,68	21	17	16
Zickersee	2,00 km ²	0,45	-	0,56	22	-	28
Dänische Wiek	9,71 km ²	1,62	2,22	1,02	17	23	10
Greifswalder Bodden ges.	510,2 km ²	22,54	-	24,20	4	-	5

Bei Betrachtung des westlich gelegenen Küstenabschnittes von Lauterbach bis Palmer Ort und der Schoritzer Wiek werden Bewuchszunahmen deutlich (Bewuchs westlicher Greifswalder Bodden 1990: 4,03 km² / 1995: 5,38 km²). Der südliche Greifswalder Bodden weist in der Summe eine geringe Bewuchsabnahme auf (Vgl.: Bewuchs 1990: 7,63 km²/ 1995: 7,54 km²), die auf die Regionen Koos bis Wampen, Kooser See und Dänische Wiek zurückzuführen sind. Die Bewuchssituation der wiederum ostseebeeinflussten Flachwassergebiete auf der Boddenrandschwelle (Region Ruden) hat sich 1995 (2,01 km²) gegenüber 1990 mit 0,62 km² deutlich verbessert. In der Summe ergibt sich für das gesamte Territorium des Greifswalder Boddens eine Vergrößerung der Bewuchsfläche von 22,54 km² 1990 auf 24,20 km² 1995.

Weiterführende Forschungsansätze

Die erzielten Untersuchungsergebnisse unterstrichen wiederum, daß es sich beim Makrophytobenthos um ein extrem heterogenes Forschungsobjekt handelt, das sehr sensibel und kurzfristig (Bsp.: Eisgang, Sturm) aber auch über längere Zeiträume (Lichtlimitation infolge veränderter Lichtbedingungen im Wasserkörper) auf Umwelteinflüsse reagiert. Diese Indikatorwirkung erfordert umso mehr weitergehende Langzeitbeobachtungen der Pflanzenbestände. Es hat sich gezeigt, daß es mit der Luftbildauswertung möglich ist, Pflanzenbestände von Küstengewässern zu erfassen. Zur Beurteilung langfristiger Entwicklungstrends ist es jedoch nötig, ein weiteres Zeitraster von Befliegungen zur Verfügung zu haben. Bei weiteren Befliegungen ist darauf zu achten, daß optimale Bedingungen gegeben sind, um Datenverluste aufgrund von nichtauswertbarem Bildmaterial zu vermeiden.

Eine deutlich kostengünstigere Variante von Langzeitbeobachtungen ist der Einsatz der Unterwasservideographie, da große Biotop innerhalb kurzer Zeiträume erfaßt werden können und das Datenmaterial zusätzliche Biotopparameter liefert, die im Luftbild gänzlich fehlen, wie:

- Bewuchsqualität
- Bestimmung der Gattung (Nahaufnahmen), Bewuchsdichte
- Substratqualität, –mobilität und Strömungsexposition
- Wasserqualität / Lichtbedingungen
- Reliefstrukturen.

Das Festlegen von Repräsentativschnitten ermöglicht dabei eine deutlich kosten- und zeitoptimiertere Bearbeitung des Makrophytobenthos gerade im Hinblick auf Langzeituntersuchungen. Tauchereinsätze für gezielte Beprobungen und damit genaue qualitative Untersuchungen können hiermit allerdings nicht ersetzt werden, vielmehr sollten beide Methoden in Ergänzung zueinander koordiniert werden.