

***Die räumliche Verbreitung des Makrophytobenthos und seine Akkumulation  
Von Nährstoffen und Schwermetallen.***

***Teil 2: Akkumulation von Stickstoff, Phosphor und anderen Elementen im Makrophytobenthos des Greifswalder Boddens sowie sein Gehalt an kompatiblen Substanzen und Photosynthesepigmenten***

*K. Conrad, R. Bernhardt, V. Miske, K. Schröder*  
Universität Greifswald, Botanisches Institut, Grimmer Str. 88, 17487 Greifswald

### **Aufgabenstellung**

Das Teilprojekt wurde im September 1994 auf das Teilprojekt „Erfassung des Bedeckungsgrades des Greifswalder Boddens mit submersen Makrophyten“ aufgestockt. Es verfolgte das Ziel, die aus Luftbildern gewonnenen Angaben zur räumlichen Verteilung der Pflanzen durch Ground-truth-Untersuchungen der Biomasse zu quantifizieren. Vor allem aber sollten die Mengen an C, N, P, S, Mg und Schwermetallen ermittelt werden, die das Makrophytobenthos während der Vegetationsperiode vorübergehend bindet, um so dessen Anteil am Stoffhaushalt und an der Stoffrückhaltefunktion des Greifswalder Boddens abschätzen zu können. Voraussetzung für die Hochrechnungen waren die Erfassung der Trockenmassen der einzelnen Makrophytenarten auf einer Vielzahl von ausgewählten Probeflächen und die Bestimmung der „artspezifischen“ Elementgehalte/TM. Inwieweit letztere saisonal bzw. durch Eutrophierung, Schwermetalleintrag und andere Milieusituationen bedingt variierten, war ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen. Unter anderem interessierte, ob der Chlor(id)-Gehalt einiger Makro-phyten von der Salinität abhängt und ob neben diesem Element Prolin und Glycinbetain an der osmotischen Adaptation beteiligt sind. Da ursprünglich die Vorstellung bestand, daß bei der Erfassung des Makrophytobenthos durch Luftaufnahmen Unterschiede in der Pigment-ausstattung der Pflanzen zu berücksichtigen seien, und um Alterungs- und Absterbevorgänge messend verfolgen zu können, wurden auch quantitative Bestimmungen von Chlorophyllen und Carotinoiden eingeplant.

## Methodik

Das Pflanzenmaterial wurde meistens von Tauchern, die von Booten oder vom Ufer aus agierten, unmittelbar über dem Meeresboden abgerissen oder abgeschnitten, wobei sie in der Regel durch einen Quadratrahmen von 1 m x 1 m gekennzeichnete Flächen vollständig abernteten. Nach Überführung der Makrophyten ins Labor wurden die Pflanzen, u. U. nach 12-36stündigem Aufenthalt in der Kühlzelle, nach Arten getrennt, mit 7 ‰ NaCl p. a. gewaschen, abgetrocknet und vor und nach Trocknung bei 105 °C gewogen.

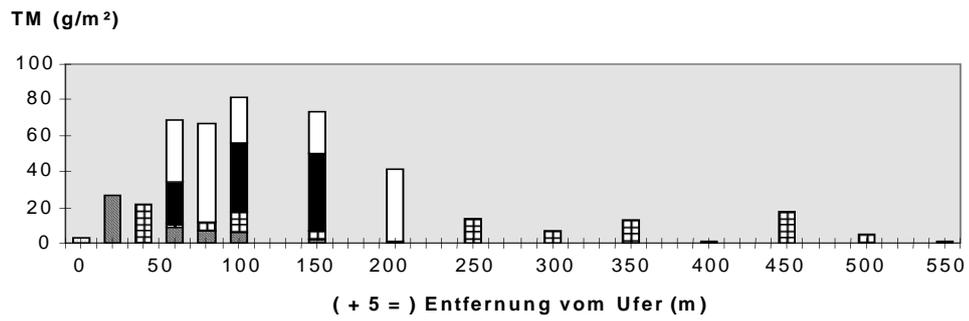
Später erfolgten Untersuchungen von zerriebener Trockensubstanz teils mittels eines CHN-Analyzers, teils nach Naßveraschung mittels eines ICP-Atomemissionsspektrometers auf P, S, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Sr und Ba. Zur Bestimmung von Pb und Cd diente ein Graphitrohrofen-Atomabsorptionsspektrometer. Chlorid wurde in verdünntem Preßsaft mit AgNO<sub>3</sub> titriert und Prolin nach BATES u. a. (1973) kolorimetrisch bestimmt, während für die Photosynthesepigment-Analyse meistens ein Spektralphotometer zum Einsatz kam (vgl. LICHTENTHALER und WELLBURN, 1983).

## Ergebnisse und Diskussion

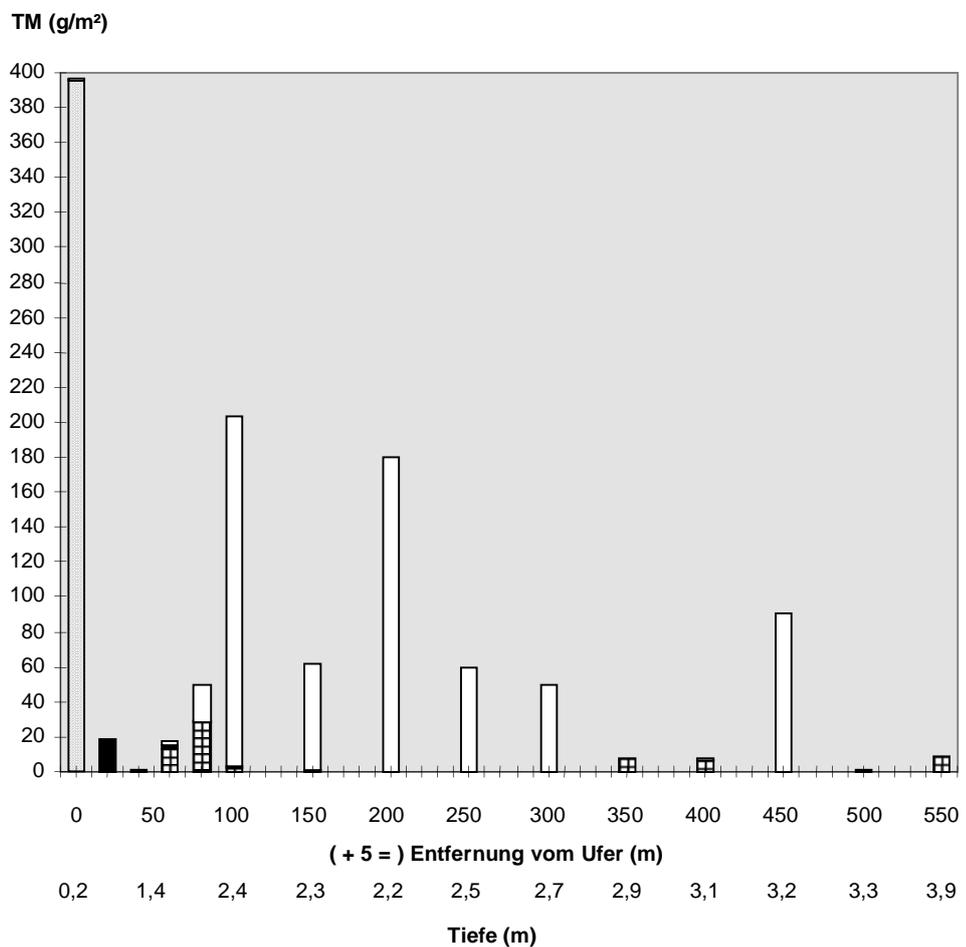
### **Flächenbezogene Untersuchung des Makrophytobenthos des Greifswalder Boddens und Hochrechnung auf dessen Gesamtstoffgehalte im Frühjahr 1997**

Vom 29.04. bis 08.05.1997 wurden folgende 9 von BARTELS ausgewählte und schon früher bearbeitete Repräsentativschnitte beerntet: vom Zickerschen Höft nach „WSW“ (Abb. 1 von Teil 1), vom Reddevitzer Höft nach „SW“ (Abb.1 von Teil 1, bis zur ersten Tiefenzone), von Neu Reddevitz nach „W“, vom Wald zwischen Wreechen und Neuendorf nach „SSO“, vom Gelben Ufer nach „OSO“, von Koos nach „N“, westlich neben dem Vierower Anleger nach „N“, nördlich vom O-Struck in „Ost-West“-Richtung und vom N-Ruden nach „NNW“. Die 40 bis 1200 m langen Transekte verliefen meistens etwa senkrecht zur Küstenlinie, begannen 5 bis 400 m (Struck 1500 m) vom Ufer entfernt mit dem Einsetzen des Bewuchses und endeten an der Bewuchsgrenze zum tiefen Wasser (vgl. Abb. 1). In der Regel wurde aller 20, 50 oder 100 m ein Quadratmeter beprobt. Dabei wurden im wesentlichen die in Tab. 3 angegebenen Arten gefunden.

## Mai 1997



## August 1996



**Abb.1:** Verteilung von Makrophyten-Trockenmassen auf ein Transekt vor dem Gelben Ufer am 01.05.1997 und am 23.08.1996

- *Zostera marina* (37 % der Gesamt-TM der entnommenen Pflanzen, jeweils Mai)
- *Potamogeton pectinatus* (25 %)
- ▤ *Enteromorpha intestinalis* (0,3 %) + *Cladophora sericea* (0,2 %, fehlte 1996)
- ▧ *Polysiphonia nigrescens* (26 %) + *Ceramium diaphanum* (2 %) + *Furcellaria lumbricalis* (0,6 %)
- ▨ *Ectocarpus siliculosus* (7 %) + *Fucus vesiculosus* (0,02 %)

Das Makrophytobenthos vor dem Zickerschen Höft bestand z. B. aus *Polysiphonia nigrescens* (50 % der Gesamt-TM der entnommenen Pflanzen), *Furcellaria lumbricalis* (9 %), *Ceramium diaphanum* (0,7 %), *Fucus vesiculosus* (39 %), *Fucus serratus* (1 %), *Ectocarpus siliculosus* (0,02 %) und *Enteromorpha intestinalis* (0,006 %). Entsprechende Angaben für das Transekt am Gelben Ufer sind in Abb. 1 aufgezeichnet.

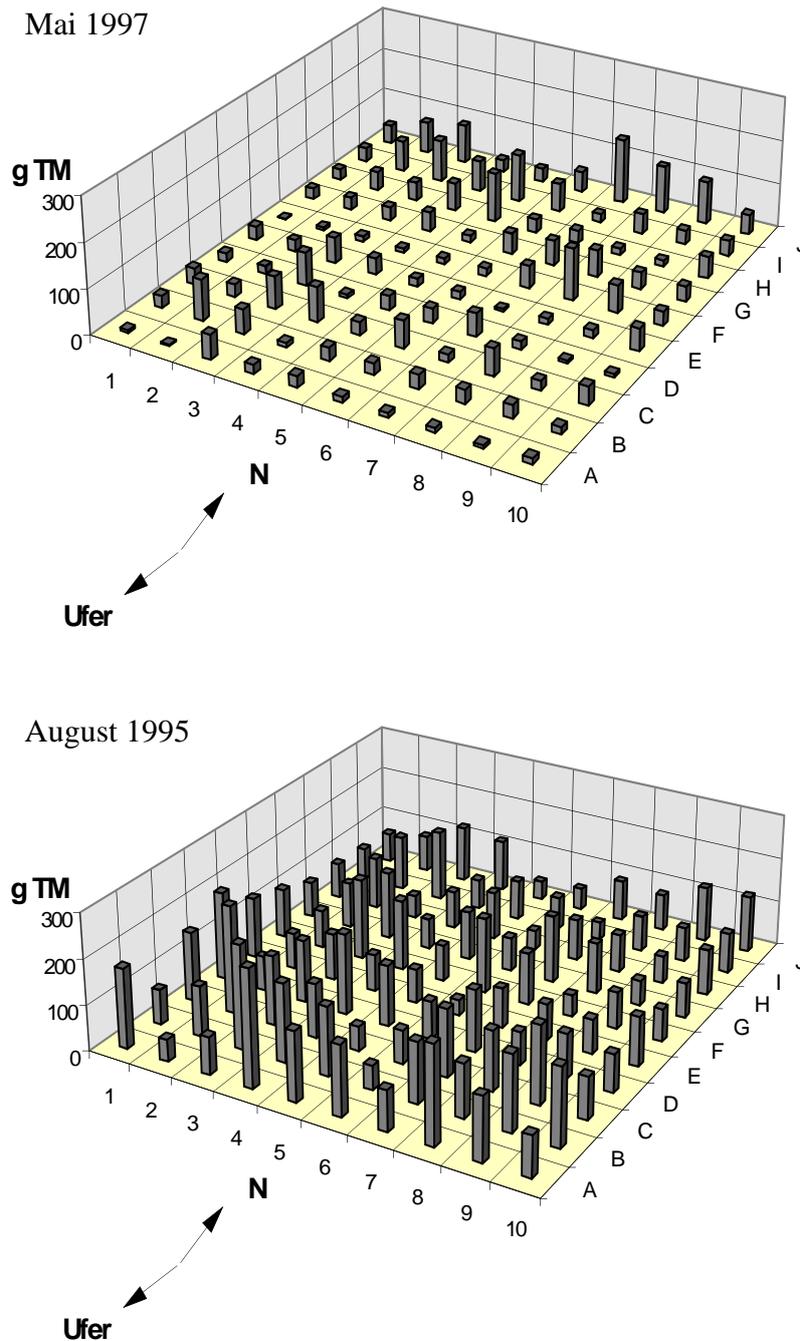


Abb. 2: Makrophyten-Trockenmassen auf 100 m<sup>2</sup> der Dänischen Wiek im Mai 1997 und im August 1995

In der Dänischen Wiek war bereits im Juni 1995 östlich neben dem Eldenaer Strandbad 200 m vom Schilfsaum entfernt in 1,2 m Tiefe ein 10 m x 10 m großes Quadrat markiert worden. Die-ses wurde vom 19.05. bis 21.05.1997 vollständig abgeerntet. Abb. 2 dokumentiert die Trockenmasseerträge jedes einzelnen Quadratmeters und Abb. 3 die Gesamttrockenmasse-Anteile einzelner Arten.

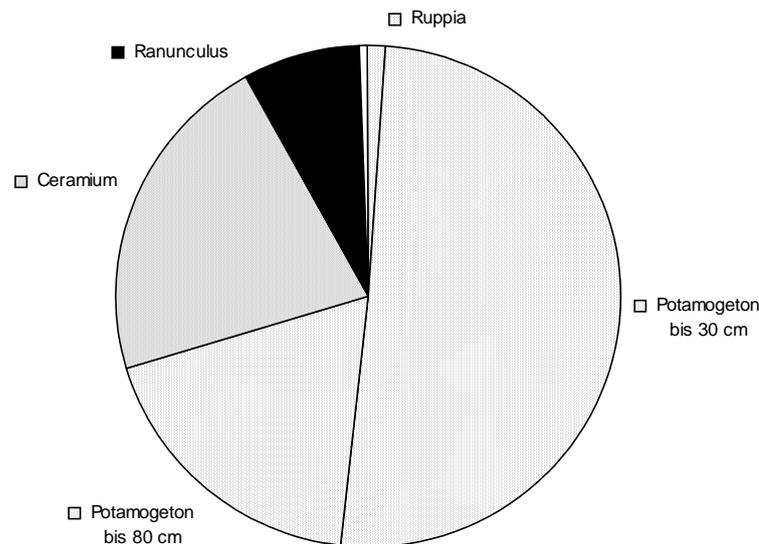


Abb. 3: Anteile von *Potamogeton pectinatus*, *Ruppia cirrhosa*, *Ceramium diaphanum* und *Ranunculus baudotii* an der Gesamttrockenmasse der Makrophyten des „Eldenaer Quadrats“ von 3,9 kg im Mai 1997. Der weiße Sektor bezieht sich auf *Myriophyllum spicatum*, *Chaetomorpha linum*, *Furcellaria lumbricalis* und *Cladophora glomerata*.

Die durchschnittliche TM/m<sup>2</sup> des Quadrats ist in Tab. 1 eingetragen, der auch die mittleren TM/m<sup>2</sup> für die Transekte zu entnehmen sind. Bei der Berechnung der letzteren wurde davon ausgegangen, daß der Ertrag eines nicht beprobten Quadratmeters jeweils so groß war, wie der des nächstliegenden abgeernteten Quadratmeters. Die Durchschnittswerte schwanken zwischen 21 g beim Struck und 59 g bei Koos. In Tab. 1 sind weiterhin die Mengen an N, P, S und anderen Elementen aufgeführt, die im Mittel in den Makrophyten eines Quadratmeters eines Transekts enthalten waren. Sie basieren auf Analysen von Stichproben einzelner Arten aus dem betreffenden Transekt bzw. Quadrat oder in manchen Fällen aus einem benachbarten Transekt. Auch hier wurden die nicht beprobten Quadratmeter wie die nächstliegenden beprobten veranschlagt. Für eine Hochrechnung der Trockenmassen und Elemente auf den gesamten Greifs-walder Bodden auf der Grundlage von Luftbildern konnten die Daten der

Tab. 1 nicht heran-gezogen werden, sondern es waren andere durchschnittliche Quadratmeter-Werte für jedes Transekt zu ermitteln. Alle nicht oder sehr schwach bewachsenen Stellen durften dabei nicht berücksichtigt werden, weil sie bei der Luftbildauswertung definitiv herausgefallen waren. Die Resultate sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

Tab.1: Durchschnittliche Frischmassen, Trockenmassen und Elementgehalte der oberirdischen Makrophytenteile charakteristischer Transekte in g/m<sup>2</sup>

| Transekt     | Länge<br>[ m ] | Tiefe<br>[ m ] | Beprob.-<br>zeit | FM  | TM  | C  | N   | P    | S   | Mg   | Mn    | Fe    | Zn     | Cu      |
|--------------|----------------|----------------|------------------|-----|-----|----|-----|------|-----|------|-------|-------|--------|---------|
| Zick. Höft   | 400            | 1,5 - 6,0      | Mai 97           | 187 | 43  | 14 | 1,4 | 0,15 | 1,2 | 0,23 | 0,045 | 0,074 | 0,0110 | 0,00042 |
|              |                |                | Aug 96           | 157 | 33  | 11 | 0,5 | 0,08 | 0,8 | 0,19 | 0,053 | 0,044 | 0,0031 | 0,00013 |
| Reddev. Höft | 470            | 1,0 - 5,5      | Mai 97           | 240 | 42  | 16 | 1,1 | 0,14 | 0,6 | 0,26 | 0,023 | 0,018 | 0,0049 | 0,00033 |
|              |                |                | Aug 96           | 632 | 130 | 51 | 4,2 | 0,29 | 1,2 | 0,64 | 0,135 | 0,296 | 0,0087 | 0,00096 |
| Neu Reddev.  | 400            | 1,0 - 5,0      | Apr 97           | 249 | 46  | 15 | 1,7 | 0,18 | 1,4 | 0,24 | 0,077 | 0,069 | 0,0121 | 0,00056 |
|              |                |                | Aug 96           | 410 | 85  | 26 | 2,5 | 0,25 | 1,1 | 0,43 | 0,196 | 0,269 | 0,0099 | 0,00182 |
| Wreechen     | 250            | 1,0 - 5,2      | Apr 97           | 228 | 42  | 14 | 1,4 | 0,20 | 1,0 | 0,19 | 0,060 | 0,075 | 0,0060 | 0,00045 |
|              |                |                | Aug 96           | 689 | 155 | 44 | 4,2 | 0,37 | 3,3 | 0,70 | 0,511 | 0,483 | 0,0143 | 0,00121 |
| Gelbes Ufer  | 550            | 0,2 - 3,9      | Mai 97           | 158 | 25  | 9  | 0,8 | 0,11 | 0,3 | 0,14 | 0,047 | 0,055 | 0,0044 | 0,00046 |
|              |                |                | Aug 96           | 402 | 66  | 21 | 1,5 | 0,33 | 0,6 | 0,53 | 0,083 | 0,046 | 0,0044 | 0,00374 |
| Koos         | 1125           | 1,5 - 3,0      | Mai 97           | 335 | 59  | 21 | 1,7 | 0,23 | 0,5 | 0,35 | 0,059 | 0,038 | 0,0072 | 0,00059 |
| Eldena       |                | 1,2            | Mai 97           | 225 | 39  | 13 | 0,9 | 0,14 | 0,5 | 0,22 | 0,119 | 0,062 | 0,0043 | 0,00036 |
|              |                |                | Aug 95           | 590 | 110 | 53 | 3,9 | 0,52 | 1,2 | 0,68 | 0,323 | 0,079 | 0,0063 | 0,00125 |
| Vierow       | 400            | 1,0 - 4,0      | Mai 97           | 230 | 41  | 12 | 1,2 | 0,14 | 0,5 | 0,18 | 0,039 | 0,078 | 0,0064 | 0,00045 |
|              |                |                | Aug 96           | 381 | 63  | 22 | 0,9 | 0,16 | 0,5 | 0,31 | 0,149 | 0,031 | 0,0062 | 0,00049 |
| Struck       | 40             | 1,9 - 3,2      | Mai 97           | 97  | 21  | 2  | 0,2 | 0,02 | 0,1 | 0,03 | 0,013 | 0,013 | 0,0020 | 0,00013 |
|              |                |                | Aug 96           | 171 | 22  | 8  | 0,3 | 0,06 | 0,2 | 0,13 | 0,043 | 0,005 | 0,0018 | 0,00012 |
| Ruden        | 1200           | 1,0 - 3,0      | Mai 97           | 212 | 38  | 15 | 1,2 | 0,12 | 0,2 | 0,20 | 0,005 | 0,014 | 0,0049 | 0,00034 |
|              |                |                | Aug 96           | 390 | 60  | 23 | 0,8 | 0,15 | 0,5 | 0,44 | 0,077 | 0,025 | 0,0037 | 0,00032 |

Tab.2: Mittlere Makrophyten-FM, -TM und -Elementgehalte der bewachsenen Abschnitte von Transekten in g/m<sup>2</sup>

| Transekt     | Beprob.-<br>zeit | FM  | TM  | C   | N   | P    | S   | Mg   | Mn    | Fe    | Zn     | Cu      |
|--------------|------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-------|-------|--------|---------|
| Zick. Höft   | Mai 97           | 197 | 45  | 15  | 1,4 | 0,23 | 1,2 | 0,24 | 0,048 | 0,079 | 0,0113 | 0,00045 |
|              | Aug 96           | 161 | 34  | 11  | 0,6 | 0,08 | 0,8 | 0,19 | 0,055 | 0,047 | 0,0031 | 0,00014 |
| Reddev. Höft | Mai 97           | 409 | 71  | 27  | 1,8 | 0,23 | 1,0 | 0,44 | 0,040 | 0,031 | 0,0082 | 0,00055 |
|              | Aug 96           | 580 | 122 | 53  | 4,3 | 0,27 | 1,0 | 0,63 | 0,079 | 0,144 | 0,0082 | 0,00082 |
| Neu Reddev.  | Apr 97           | 371 | 69  | 23  | 2,5 | 0,27 | 2,0 | 0,37 | 0,114 | 0,098 | 0,0161 | 0,00074 |
|              | Aug 96           | 655 | 136 | 42  | 3,9 | 0,40 | 1,8 | 0,69 | 0,314 | 0,430 | 0,0158 | 0,00292 |
| Wreechen     | Apr 97           | 270 | 49  | 17  | 1,6 | 0,25 | 1,0 | 0,23 | 0,094 | 0,091 | 0,0063 | 0,00050 |
|              | Aug 96           | 783 | 187 | 54  | 4,4 | 0,40 | 3,5 | 0,84 | 0,582 | 0,593 | 0,0167 | 0,00154 |
| Gelbes Ufer  | Mai 97           | 186 | 33  | 11  | 1,0 | 0,13 | 0,3 | 0,16 | 0,056 | 0,064 | 0,0052 | 0,00055 |
|              | Aug 96           | 487 | 75  | 24  | 1,7 | 0,39 | 0,7 | 0,60 | 0,096 | 0,048 | 0,0051 | 0,00441 |
| Koos         | Mai 97           | 335 | 59  | 21  | 1,6 | 0,23 | 0,5 | 0,35 | 0,059 | 0,038 | 0,0072 | 0,00059 |
| Eldena       | Mai 97           | 235 | 40  | 14  | 1,0 | 0,14 | 0,5 | 0,23 | 0,125 | 0,065 | 0,0046 | 0,00038 |
|              | Aug 95           | 603 | 113 | 55  | 4,0 | 0,54 | 1,2 | 0,71 | 0,340 | 0,082 | 0,0064 | 0,00127 |
| Vierow       | Mai 97           | 345 | 59  | 17  | 1,7 | 0,20 | 0,8 | 0,27 | 0,057 | 0,113 | 0,0093 | 0,00066 |
|              | Aug 96           | 548 | 90  | 25  | 1,3 | 0,24 | 0,7 | 0,45 | 0,209 | 0,042 | 0,0087 | 0,00069 |
| Struck       | Mai 97           | 179 | 42  | 3,4 | 0,3 | 0,04 | 0,2 | 0,06 | 0,024 | 0,027 | 0,0038 | 0,00024 |
|              | Aug 96           | 339 | 43  | 15  | 0,7 | 0,12 | 0,4 | 0,25 | 0,085 | 0,010 | 0,0036 | 0,00024 |
| Ruden        | Mai 97           | 330 | 58  | 23  | 1,6 | 0,19 | 0,4 | 0,31 | 0,009 | 0,021 | 0,0067 | 0,00053 |
|              | Aug 96           | 608 | 94  | 36  | 1,3 | 0,23 | 0,8 | 0,69 | 0,115 | 0,040 | 0,0058 | 0,00050 |

Jedem bewachsenen Teilareal des Boddens hatte BARTELS auf Grund mehrjähriger Erfahrungen und Aufzeichnungen eins der Transekte oder zu gewissen Prozentsätzen mehrere Transekte zugeordnet, so daß sich seine Erträge aus den bereinigten Durchschnittswerten, seiner Fläche und seinem „Luftbild-Bedeckungsgrad“ ungefähr errechnen ließen. Leider standen für die Hochrechnung keine Luftbilder vom Frühjahr 1997, sondern nur Aufnahmen vom 23.05. und 24.05.1995 zur Verfügung. Unter der Voraussetzung, daß die von uns im April/Mai 1997 erfaßte Situation etwa mit der zwei Jahre früher photographierten übereinstimmte, ergaben sich für die oberirdischen Makrophytenanteile des Greifswalder Boddens folgende Zahlen:

7200 t FM, 1100 t TM, 490 t C, 33 t N, 5,5 t P, 19 t S, 6,4 t Mg, 2,4 t Fe, 1,5 t Mn, 0,18 t Zn und 0,012 t Cu.

Die entsprechenden ha-Erträge sind in Abb. 4 dargestellt.

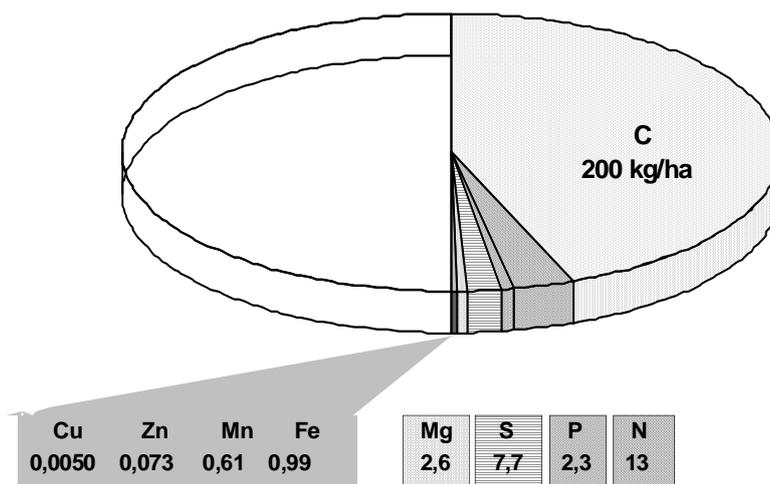


Abb. 4: Hochgerechnete Mengen [kg] von Elementen in den Makrophyten von 1 ha des bewachsenen Teils des Greifswalder Boddens im Mai

### **Beerntung von repräsentativen Flächen im August 1995 und 1996 sowie Schlußfolgerungen zu Produktivität und Stoffrückhaltevermögen**

Analog wie im Frühjahr 1997 wurden vom 19.08. bis 25.08.1995 das „Eldenaer Quadrat“ und vom 20.08. bis 26.08.1996 acht der Repräsentativschnitte von BARTELS beprobt. Die Analyseergebnisse sind in Abb. 2 und 1 sowie in Tab.1 und 2 dokumentiert. Diese Darstellungen belegen, daß die Trockenmasse und die Elementgehalte des

Makrophytobenthos vom Mai bis zum August zunehmen. Beim „Eldenaer Quadrat“ beträgt dieser Zuwachs in den meisten Rubriken etwa das 1,5- bis 3fache der Frühjahrsdaten. Es ist allerdings nicht ganz sicher, ob sich die Makrophytenentnahme vom August 1995 nicht doch noch auf die Werte vom Frühjahr 1997 ausgewirkt hat. Im August 1996 war das Quadrat im Gegensatz zum Mai 1997 dem Augenschein nach noch schwächer bewachsen als die Umgebung. Ähnliche Bedenken entfallen beim Vergleich der Transekteerträge vom August 1996 und vom Mai/April 1997, weil die mit dem D-GPS erfolgte Einmessung kein punktgenaues Wiederfinden erlaubte. Die TM- und Element-Werte liegen bei 7 von 8 Transekten im August höher als im Mai. Das ist zum großen Teil auf das Wachstum von im Frühjahr schon vorhandenen Sprossen bzw. Thalli von *Potamogeton*, *Zostera*, *Ceramium* u. a. zurückzuführen, wahrscheinlich aber auch auf das Aufkommen von neuen Sprossen bzw. Pflanzen. In Abb. 1 fällt bei 0 (+5) m ein besonders starker Zuwachs von *Enteromorpha intestinalis* auf, der – wenn auch bei geringeren TM – durch vier weitere Transekte bestätigt wurde. Allerdings war der Ertrag an *Enteromorpha*-TM/m<sup>2</sup> im Mai bei Vierow unmittelbar am Strand fast ebenso hoch wie im August 5 m vor dem Gelben Ufer. Die aus Tab. 1 hervorgehende „Abnahme“ der Makrophyten-TM am Zickerschen Höft von 43 auf 33 g/m<sup>2</sup> läßt sich nicht durch das Abwerfen von *Fucus*-Rezeptakeln (s. u.) erklären, sondern scheint auf Beprobungszufällen zu beruhen, da im August mehr *Fucus*-TM erfaßt wurde als im Mai.

Eine Hochrechnung von Augustwerten auf den Makrophytenbestand des Greifswalder Boddens wäre insofern aussagekräftiger als die Hochrechnung von Frühjahrswerten, als sie Auskunft über die maximal durch Makrophyten festgelegten Stoffmengen geben würde. Leider scheitert hier die Kalkulation über Luftbilder prinzipiell daran, daß die Makrophyten wegen der Phytoplanktonentwicklung auf Sommeraufnahmen mit der angewandten Technik nicht mehr zu erkennen sind. Um dennoch eine Vorstellung von den Maximalwerten zu bekommen, wurden unter der – nicht zutreffenden – Voraussetzung, daß im August 1996 soviel Fläche bewachsen war, wie die Luftbilder vom Mai 1995 erfaßt haben, folgende – offenbar zu geringe – Zahlen ermittelt:

16000 t FM, 3000 t TM, 1100 t C, 77 t N, 10 t P, 41 t S, 18 t Mg, 5,6 t Fe, 7,2 t Mn, 0,25 t Zn und 0,051 t Cu

(6500 kg FM, 1300 kg TM, 460 kg C, 32 kg N, 4,2 kg P, 17 kg S, 7,3 kg Mg, 2,3 kg Fe, 3,0 kg Mn, 0,10 kg Zn und 0,021 kg Cu /ha).

Das entspricht meistens dem Zwei- bis Dreifachen der Frühjahrswerte und läßt darauf schließen, daß das Makrophytobenthos oberirdisch während des Winters etwa 2/3 an Substanz verliert.

In den Makrophyten wäre im Sommer 1996 demnach und nach den Ergebnissen von Wasseranalysen mindestens doppelt soviel N und viertel soviel P enthalten gewesen, wie in entsprechenden anorganischen Verbindungen im Wasser des Greifswalder Boddens gelöst, aber ca. nur 1/30 soviel N und 1/20 soviel P wie in Seston und Wasser („Gesamt-N“ und „Gesamt-P“) gebunden war. Für den Mai gälte analog: 1/15 soviel N und 1/2 soviel P wie in den anorganischen Verbindungen des Wassers sowie 1/60 des „Gesamt-N“ und 1/15 des „Gesamt-P“. Die im Makrophytobenthos gebundenen N- und P-Mengen fallen also im Vergleich zu dem, was aus dem Bodden (bzw. in den Bodden) leicht aus- (bzw. ein)getragen werden kann, nur wenig ins Gewicht. Allein das Seston enthält etwa 20 bis 300mal soviel Cu, Zn bzw. Fe wie die Boddenmakrophyten.

### **Abhängigkeit von Elementgehalten/TM bei *Zostera* und *Potamogeton* von der Jahreszeit**

Ein regulärer Grund dafür, daß beim Vergleich der durchschnittlichen Elementgehalte/m<sup>2</sup> eines Transekts vom Mai und August kein einheitlicher Steigerungsfaktor zu erwarten ist, liegt in der unterschiedlichen Veränderung der einzelnen Elementgehalte/TM in einigen Hauptarten. Wie schon von FELDNER (1979) wurde bei *Zostera marina* zwischen April und August eine Ab-nahme von N sowie P gefunden, während die S- und Mn-Gehalte anstiegen. Für *Potamogeton pectinatus*-Sprosse konnte beim Vergleich von 50 Proben ein Abfall der prozentualen N- und P-Gehalte von Mai bis August festgestellt werden, wohingegen S im Juli die höchsten Werte aufwies.

## **Beziehungen zwischen Standort und Elementgehalten/TM von *Potamogeton pectinatus***

Es wurden Kamm-Laichkräuter von 15 Stellen des Boddens und des Peenestroms verglichen. Dabei fand sich relativ viel N und P in Trockenmaterial vom Großen Wottig, von Hollendorf und von Eldena und relativ viel Schwefel in Trockenmaterial von Eldena und von Lauterbach. Während die Eldenaer Pflanzen 0,3 TM-% Mn enthielten, wurden in den Exemplaren vom Ruden nur 0,07 TM-% gemessen. In den Sedimenten der flachen Dänischen Wiek herrschen offenbar reduzierende Bedingungen, unter denen unlösliches  $\text{Mn}^{\text{IV}}$  in lösliches, von Pflanzen aufnehmbares  $\text{Mn}^{\text{II}}$  überführt wird. Blei, das wie Cd in 45 *Potamogeton*-Proben bestimmt wurde, war vor allem in Exemplaren vom Großen Wottig (0,0013 TM-%), von Hollendorf (0,0005 TM-%) und vom Süd-Ruden (0,0005 TM-%) angereichert. Dagegen wurden bei Koos und Eldena nur 0,0002 TM-% festgestellt. Die Werte deuten darauf hin, daß der Peenestrom bzw. die Oder Pb in den Bodden eintragen. Als ziemlich gleichmäßig verteilt auf die Kamm-Laichkräuter aller Stellen erwies sich Cd (Durchschnitt 0,00005 TM-%). Der höchste Makrophyten-Cd-Wert wurde mit 0,00025 TM-% in *Polysiphonia nigrescens* bei Lauterbach gefunden und ist ebenso wie das Pb-Maximum von *Potamogeton* im Vergleich zu tolerierbaren Gehalten in Kulturpflanzen als unbedenklich zu betrachten.

### **Unterschiede zwischen den Elementgehalten/TM von Makrophytenarten**

Daß sich die Elementgehalte des Makrophytobenthos vom Frühjahr zum Sommer nicht gleich-artig verändern, hängt auch mit einer Verschiebung von Massenverhältnissen zwischen Arten zusammen, die in ihren Elementgehalten differieren. Derartige Unterschiede gehen aus Tab. 3 hervor. Zur Ermittlung der dort aufgeführten mittleren Elementgehalte einzelner Spezies wurden nach Möglichkeit Frühjahrs- und Sommerexemplare unterschiedlicher Herkunft in ausgewogenen Mengen herangezogen. Die Tabelle zeigt, daß beim N-Gehalt die Rotalgen, gefolgt von den Spermatophyten, über die Grün- und Braunalgen dominieren und daß beim P-Gehalt die Grünalgen etwas hinter den anderen Gruppen zurückbleiben. Alle Algen, mit Ausnahme von *Ectocarpus*, verfügen über bedeutend mehr S als die Spermatophyten. Bezüglich des Mg-Gehalts ragt *Enteromorpha* beträchtlich heraus und bezüglich des Fe-Gehalts *Ectocarpus*, während *Ceramium* und *Polysiphonia* relativ reich an Zn und Cu sind.

Tab. 3: Elementvorkommen in Prozent der Trockenmasse bei Spermatophyten sowie Grün-, Rot- und Braunalgen des Greifswalder Boddens (April bis August 1995-97)

| Nr. | Art                              | C         | N          | P           | S          | Mg          | Fe          | Mn          | Zn           | Cu            | n  |
|-----|----------------------------------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|----|
| 1   | <i>Zannichellia palustris</i>    | 44        | 2,9        | 0,46        | 0,8        | 0,53        | 0,05        | 0,06        | 0,007        | 0,0005        | 2  |
| 2   | <i>Zostera marina</i>            | 40        | 2,7        | 0,34        | <b>0,4</b> | 0,65        | 0,06        | 0,10        | 0,012        | 0,0010        | 18 |
| 3   | <i>Ruppia cirrhosa</i>           | 37        | 2,2        | 0,41        | 0,6        | 0,40        | 0,08        | 0,24        | 0,006        | 0,0007        | 3  |
| 4   | <i>Potamogeton pectinatus</i>    | 41        | 2,3        | 0,29        | 0,7        | 0,51        | 0,07        | 0,17        | 0,008        | 0,0007        | 19 |
| 5   | <i>Myriophyllum spicatum</i>     | <b>46</b> | 2,7        | 0,36        | 0,8        | 0,66        | 0,12        | <b>0,39</b> | 0,011        | 0,0008        | 8  |
| 6   | <i>Ranunculus baudotii</i>       | 43        | 3,1        | 0,33        | 0,6        | 0,53        | 0,05        | 0,25        | 0,006        | 0,0007        | 6  |
| 7   | <i>Chaetomorpha linum</i>        | 31        | 1,9        | 0,22        | 3,4        | 0,34        | 0,24        | 0,21        | 0,004        | 0,0008        | 3  |
| 8   | <i>Cladophora rupestris</i>      | 41        | 2,0        | 0,23        | 3,1        | 0,76        | 0,09        | 0,33        | 0,009        | 0,0007        | 2  |
| 9   | <i>Enteromorpha intestinalis</i> | 28        | <b>0,9</b> | 0,23        | 2,9        | <b>1,52</b> | 0,11        | <b>0,04</b> | <b>0,003</b> | 0,0003        | 12 |
| 10  | <i>Polysiphonia nigrescens</i>   | 33        | 3,7        | 0,31        | 2,3        | 0,34        | 0,36        | 0,21        | 0,023        | <b>0,0014</b> | 10 |
| 11  | <i>Ceramium diaphanum</i>        | 42        | <b>4,7</b> | 0,32        | 2,2        | 0,60        | 0,18        | 0,15        | <b>0,029</b> | 0,0013        | 10 |
| 12  | <i>Furcellaria lumbricalis</i>   | 35        | 4,5        | 0,30        | <b>3,8</b> | 0,63        | 0,09        | 0,24        | 0,007        | 0,0010        | 15 |
| 13  | <i>Fucus vesiculosus</i>         | 38        | 1,8        | 0,29        | 2,4        | 0,84        | 0,04        | 0,08        | 0,010        | <b>0,0003</b> | 13 |
| 14  | <i>Chorda filum</i>              | 32        | 1,6        | <b>0,58</b> | 2,5        | 0,59        | <b>0,02</b> | 0,11        | 0,016        | 0,0007        | 3  |
| 15  | <i>Ectocarpus siliculosus</i>    | <b>18</b> | 1,4        | <b>0,21</b> | 0,8        | <b>0,27</b> | <b>0,55</b> | 0,07        | 0,006        | 0,0007        | 7  |

### **Einfluß der Gewässer-Salinität auf den Gehalt an Chlor(id) und kompatiblen Substanzen in *Potamogeton pectinatus* und anderen Makrophyten**

Eine deutliche Abhängigkeit vom Standort, die mit dem Hauptanliegen des Projekts weniger in Zusammenhang steht, konnte beim Vorkommen von Chlor(id) in einigen Makrophyten demonstriert werden. Sprosse des Kamm-Laichkrauts, das sich durch eine große synökologische Salinitätsamplitude auszeichnet, wurden an folgenden Stellen entnommen: A – Großer Warthe-See bei Templin, B – Ryck an der Eisenbahnbrücke bei Greifswald, C – Ryck oberhalb von Wackerow, D – Dänische Wiek bei Eldena, E – Kooser See. Je höher die Salinität des Gewässers (Abb. 5), um so mehr Chlorid wurde in den Vakuolen gefunden, wobei die Konzentration deutlich über der des Milieus lag (z. B. C 5,6; D 10,8; E 10,9‰ „NaCl“, Juli 1993). Entsprechend war das osmotische Potential des Preßsafts niedriger als das des jeweiligen Gewässers.

Wie Abb. 5 zeigt, enthielten Kamm-Laichkräuter aus Brackwässern auch deutlich größere Mengen der kompatiblen Substanz Prolin /g FM als Süßwasserexemplare (insgesamt 38 Analysen, vgl. SCHRÖDER, 1993). Die Aminosäure trägt als plasmatisches Osmotikum sowie durch Wirkungen auf Enzyme und Membranen zum Schutz vor Salinität bei. An

Proben von *Potamogeton pectinatus* aus Hiddenseer Gräben und Buchten ließ sich der Zusammenhang zwischen Außenchlorid und Innenchlorid bzw. Prolin bestätigen. Analoge Adaptationen stellten wir bei *Potamogeton crispus*, *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha compressa* und *Cladophora glomerata* fest, deren synökologische Salinitätsamplituden allerdings geringer sind als die von *Potamogeton pectinatus*. Mittels HPLC fanden wir in Kamm-Laichkräutern aus dem Ryck (C) und aus dem Bodden (D) jeweils etwa 5  $\mu\text{mol}$  der kompatiblen Substanz Glycinbetain /g FM. Ob eine N-Eutrophierung von Küstengewässern zu einer Erhöhung des Prolin- und Glycinbetaingehalts ihrer Makrophyten führt, wurde noch nicht untersucht. Es ist anzunehmen, daß eine Zunahme dieser N-haltigen Substanzen die Wettbewerbsfähigkeit bei höherer Salinität verbessert.

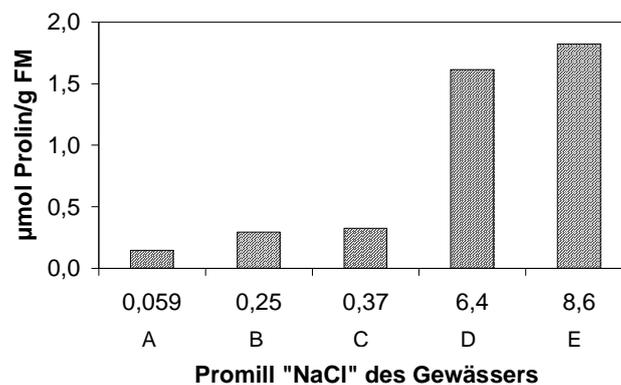


Abb. 5: Prolingehalt von *Potamogeton pectinatus* aus Gewässern unterschiedlichen „NaCl“-Gehalts, Juni 1993

### **Pigmentvorkommen bei *Potamogeton pectinatus* und *Fucus vesiculosus***

In der Planungsphase des Projekts war angenommen worden, daß die Luftbildauswertung durch Messung von Pigmentgehalten von Spermatophyten sowie Grün-, Braun- und Rotalgen etwa bei der Festlegung von Schwellen zwischen „bewachsen“ und „nicht bewachsen“ unterstützt werden könnte. Als sich das später als unrealistisch erwies, wurde dieser Programmteil auf zwei Arten beschränkt.

Bei Kamm-Laichkraut-Sprossen schwankten die auf FM bezogenen Mengen der mit Methanol extrahierten Chlorophylle in Abhängigkeit von Sproßgröße und Jahreszeit. Zum Beispiel fanden wir in der ersten Märzwoche des Jahres 1995 in 10 Sprossen von jeweils um 0,3 g FM 460 µg Chlorophyll a und 140 µg b /g FM und in 6 Sprossen um 1 g FM 260 µg a und 82 µg b /g FM. Im September enthielten 11 Sprosse um 1 g FM 750 und 5 Sprosse um 2 g FM 530 µg Chlorophyll /g FM. In den 750 µg waren 1,3% des in diesen Pflanzen festgestellten Mg gebunden. Gleiche Chlorophyllmengen repräsentieren im Vorfrühling also andere *Potamogeton*-Frischmassen als im Spätsommer, was bei einer weiterentwickelten Makrophyten-erfassung über Luftbilder von Bedeutung sein könnte, wenn sie wegen des Phytoplanktons nicht ohnehin auf April/Mai beschränkt wäre.

Während bei *Potamogeton* Blattverbräunung und Blattverlust vor allem im Spätherbst und im Winter stattfinden, setzen bei der diözischen Braunalge *Fucus vesiculosus* analoge Absterbevorgänge eines Teils des Thallus bereits im Frühsommer ein. Die die Antheridien bzw. Oogonien enthaltenden Rezeptakeln und die darunterliegenden Abschnitte vergilben und werden schließlich abgerissen, wobei die weiblichen Rezeptakeln oft eher altern als die männlichen (CONRAD und CONRAD, 1968). Dieser Unterschied ließ sich am 18.07.1997 am Libbenufer des Neuen Bessins dem Augenschein nach bestätigen. Mit Hilfe der HPLC (PD Dr. H. SCHUBERT, Rostock) wurden zwischen den Pigment-Mittelwerten (µg/g FM) von je 4 1-g-Proben männlicher und weiblicher Rezeptakeln folgende Relationen gefunden: Chlorophyll a 2,1 : 1, Chlorophyll c 2,3 : 1, Fucoxanthin 2,3 : 1, Violaxanthin 1,8 : 1 und β-Carotin 1,2 : 1. Bei den Männchen überwiegt in der Regel auch der Gehalt an Vertretern der Phytohormon-gruppen Auxine (CONRAD und CONRAD, 1968) und Cytokinine, die ähnlich wie bei Laubblättern zur Chlorophyll-Erhaltung beitragen könnten. Zum Beispiel wurden in Rezeptakeln, die am 26.05.1997 am Teufelsstein bei Lubmin entnommen worden waren, mittels eines ELISA (CONRAD u. a., 1992) 8 nmol Zeatin und 9 nmol Zeatinribosid (♂) bzw. 1 nmol Zeatin und 1 nmol Zeatinribosid (♀) /kg FM nachgewiesen.

## Zusammenfassung

Mit Hilfe von Tauchern wurden vor den Küsten rund um den Greifswalder Bodden im Verlauf von 3 Jahren Makrophyten von ca. 500 m<sup>2</sup> entnommen. Eine Beerntung von 10 Transekten im April/Mai 1997 ermöglichte auf Grund der von S. BARTELS für Teilareale ermittelten „Luftbild-Bedeckungsgrade 1995“ eine Hochrechnung, nach der der Bodden oberirdisch im Frühjahr 7200 t Frischmasse bzw. 1100 t Trockenmasse an submersen Makrophyten enthält. Elementaranalysen erbrachten entsprechende Mengen von 490 t C, 33 t N, 5,5 t P, 19 t S, 6,4 t Mg, 2,4 t Fe, 1,5 t Mn, 0,18 t Zn und 0,012 t Cu. Nach Ground-truth-Erhebungen vom August 1996 bzw. 1995 erreichen die TM und die Elementmengen im Jahresmaximum etwa das Dreifache davon. Bezüglich N und P entspricht das etwa dem Doppelten bzw. einem Viertel dessen, was in Form von anorganischen Verbindungen im Sommer im Wasser des Boddens gelöst ist, aber nur ca. 1/30 bzw. 1/20 der in Seston und Wasser gebundenen Menge. Die Quotienten aus den in Makrophyten festgelegten und den beweglichen Mengen sind noch kleiner für Cu, Zn und Fe.

Bei einem Vergleich der auf TM bezogenen Elementgehalte von 15 Makrophyten-Spezies fiel auf, daß Rotalgen viel N, Spermatophyten wenig S und *Enteromorpha intestinalis* viel Mg aufzuweisen haben. Die Gehalte einiger Elemente einzelner Arten verändern sich mit der Jahreszeit. Zum Beispiel sinken von Mai bis August die N- und P-Anteile von *Potamogeton pectinatus* und *Zostera marina*. Eine Abhängigkeit vom Standort ließ sich am deutlichsten bei Pb erkennen, das in relativ großen Mengen in Kamm-Laichkräutern des Peenestroms gefunden wurde.

In Exemplaren von *Potamogeton pectinatus* und *Enteromorpha intestinalis* aus dem Ryck ist die kompatible Substanz Prolin in geringerem Maße nachzuweisen als in osmotisch belasteten Bodden-Exemplaren.

Männliche Rezeptakeln der diözischen Braunalge *Fucus vesiculosus* vergilben später und enthalten mehr Cytokinin als weibliche.

## Literatur

- BATES, L. S., R. P. WALDREN & I. D. TEARE (1973): Rapid determination of free proline for water stress studies. – *Plant and Soil* **39**: 205-207.
- CONRAD, K., & J. CONRAD (1968): Über geschlechtsgebundene Unterschiede im Auxin-gehalt und im Vergilben der Rezeptakeln von *Fucus vesiculosus*. *Flora A* **159**: 77-81.
- CONRAD, K., D. BETTIN & S. NEUMANN (1992): The cytokinin production of *Azospirillum* and *Klebsiella* and its possible ecological effects. – In: *Physiology and biochemistry of cytokinins in plants*. Hrsg. von M. Kaminek, D. W. S. Mok und E. Zazimalova. Academic Publishing, Den Haag. S. 401-405.
- FELDNER, J. (1979): Untersuchungen zum Stickstoff- und Phosphorhaushalt von *Zostera marina*-Beständen. – *Verh. d. Gesellsch. f. Ökologie* **XII**: 393-401.
- LICHTENTHALER, H. K., & A. R. WELLBURN (1983): Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. – *Biochem. Soc. Trans.* **603**: 591-592.
- SCHRÖDER, K. (1993): Ökophysiologische Untersuchungen über den Einfluß der Salinität von Gewässern auf Inhaltsstoffe von submersen und schwimmenden Hydrophyten. – Diplomarbeit, Univ. Greifswald.