

Ulrich Vietinghoff

Zur Strategie der Meßwerterfassung im Programm "Ökologie Greifswalder Bodden"

Abstract

Strategy of ecological data acquisition in the programme "Ecology of the Greifswald Bodden"

The acquisition of ecological data poses several problems. The rapid changes caused by short generation times and the heterogeneous distribution of components necessitate dense grids in time and space for both sampling and analysis. However, many of the quantitative methods used in ecology are time-consuming. These conflicting requirements can be reconciled by integrated sampling and automatic data acquisition. Simple statistical analysis could consist of the calculation of medians and their confidence intervals.

1 Einleitung

Die Meßwerterfassung in der Ökologie ist mit mehreren Schwierigkeiten verbunden (VIETINGHOFF, ERDMANN, KELL, ARNDT und HUBERT 1984, VENRICK 1978, WUHRMANN 1973 u.a.):

1. Produktionsbiologisch wichtige Gruppen wie Phytoplankton, Rotatorien, Protozoen, Bakterien haben sehr kurze Generationszeiten, d.h. sie können innerhalb von Stunden bzw. Tagen ihre Biomasse vervielfachen.
2. Aufgrund verschiedenster Ursachen (circadiane Vertikalwanderung, Uferflucht, Gasvakuolen, Langmuir-Zellen, lokale Nährstoffanreicherungen etc. etc.) sind die Organismen nicht homogen, sondern u. U. sehr heterogen im Wasserkörper verteilt.
3. Viele traditionelle Methoden in der ökologischen Forschung (Identifizieren und Zählen von Phytoplankton, Zooplankton, Bakterien, Bestimmung von Nährstoffen, Primär- und Sekundärproduktion etc.) sind sehr zeitaufwendig; das aus den beiden erstgenannten Gründen notwendige enge

räumlich-zeitliche Raster der Probenahme kann aus dem dritten Grunde nicht realisiert werden. Eine statistische Bearbeitung der Werte unterbleibt in vielen Fällen. Fragen der Repräsentativität der Werte und der Qualitätssicherung werden direkt berührt.

4. Für Biokomponenten mit mehrjährigem Lebenszyklus reichen gewöhnlich 2 - 3 Aufnahmen im Jahr.

Im folgenden wird dargestellt, wie das Problem im Programm der ökologischen Untersuchungen im Greifswalder Bodden gelöst wurde.

2 Material und Methode

Horizontalschnitte von Chlorophyll-a-Gehalten wurden mit einem Fluorometer der Fa. Ecomonitor bestimmt. Das Fluorometer wurde auf einem Schlepp-Ponton, der seitlich vom Forschungskutter "GADUS" geschleppt wurde, montiert (Abb. 1), (s.a. VIETINGHOFF, HUBERT und ESCHHOLZ 1995, dieser Band). Etwa jede Sekunde wurde ein Fluoreszenzwert gemessen und direkt über ein Kabel im Laptop auf dem Forschungskutter gespeichert. Auf diese Weise können in 2 Tagen 40 km Horizontalschnitt vermessen und ca. 40.000 Chlorophyll-a-Werte genommen werden.

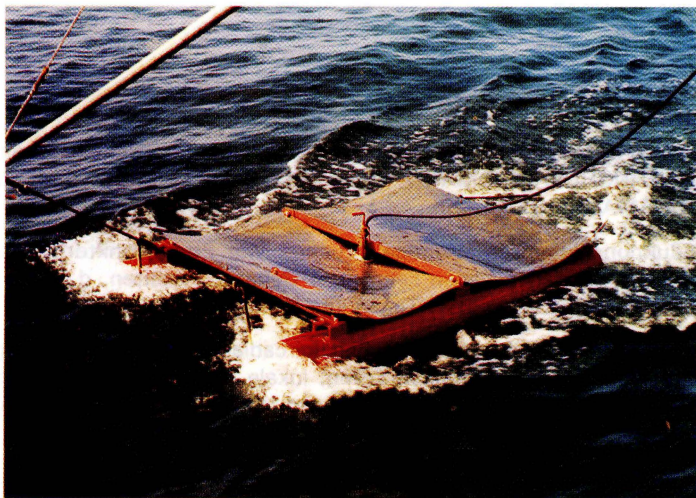


Abb. 1 Schlepp-Ponton mit Fluorometer

3 Ergebnisse

In Abb. 2 ist ein Ausschnitt aus einem Horizontalschnitt vom 28.4.94 zwischen Tonne Greifswald 2 und dem Hafen von Greifswald-Wieck aufgezeichnet. Auf den ersten Blick fällt die Heterogenität des Gewässers auf.

Das gewählte Beispiel ist aber kein Sonderfall! In Abb. 3 und 4 sind zwei weitere Beispiele (Lake Tahoe und Georges-Bank, aus STEELE 1978) dargestellt. Auch sie zeigen eindringlich, wie heterogen die Wasserkörper sind.

Aus den Abb. 2 bis 4 ergeben sich einige grundsätzliche Fragen zur Probenahmestrategie, zur Frage der Repräsentativität der gewonnenen Werte und zum Problem der Qualitätssicherung: Wo sollen die Proben genommen/Messungen vorgenommen werden? An wieviel Orten soll gemessen werden, an einem oder an mehreren Orten? Wie genau lohnt es sich, angesichts der Heterogenität zu messen?

Im Untersuchungsprogramm zur Ökologie des Greifswalder Boddens wird folgende Strategie angewandt:

1. Das Monitoring wird an 7 Stationen und zwar jede Woche durchgeführt. Damit wurde das alte Schema des Monitorings stark verändert; in der Zeit vor 1993 wurde an 14 Stationen alle 4 Wochen das Monitoring durchgeführt, wobei von Mitte Dezember bis Mitte März nicht gemessen wurde. In den letzten 2 Jahren hat es witterungsbedingt (Eis, Sturm) natürlich auch Ausfälle gegeben. Für die Erfassung von Makrophytobenthos und Makrozoobenthos werden Sonderprogramme durchgeführt. Da vertikale Differenzen nur selten festgestellt wurden (EINSELE 1957, KELL, pers. Mitt., HÜBEL et al. 1995, dieser Band, SCHOLZ und VIETINGHOFF 1995, dieser Band) erfolgte die Wasserprobenentnahme aus 1 m Wassertiefe, in wenigen Fällen zusätzlich auch aus 1 m über Grund (Strelasund, Peenestrom). Die Ergebnisse des Monitoringprogramms werden in HÜBEL et al. 1995, dieser Band) ausführlich dargestellt.
2. Die zweite Informationsquelle ist ein Programm der automatischen Meßwerterfassung. Unseres Erachtens ist bei der hohen Variabilität und Heterogenität der Gewässerökosysteme die automatische Meßwerterfassung zwingend anzuwenden. Das von uns angewandte System der Meßwerterfassung basiert auf 5 Gerätesystemen:
 - 2.1 Durch den Einsatz von Gewässersonden (KORPAL, ESCHHOLZ und VIETINGHOFF 1995, dieser Band, VIETINGHOFF, HUBERT und ESCHHOLZ 1995, dieser Band) werden vor allem ökologisch relevante physikalische, wenige chemische und ein biologischer Parameter an 6 Stationen (maximal) gemessen. Ein Gerätesystem im Strelasund besteht aus einer ECO-Memory-Sonde von Meerestechnik - Elektronik Trappenkamp und einem Wetterhäuschen der Firma Thiess Clima Göttingen. Dieser dichte Datenstrom vor allem physikalischer Parameter ist für die Aufklärung ökologischer Vorgänge von großer Wichtigkeit.

Fluoreszenz 28.04.1994 12:52:56 -13:41:45

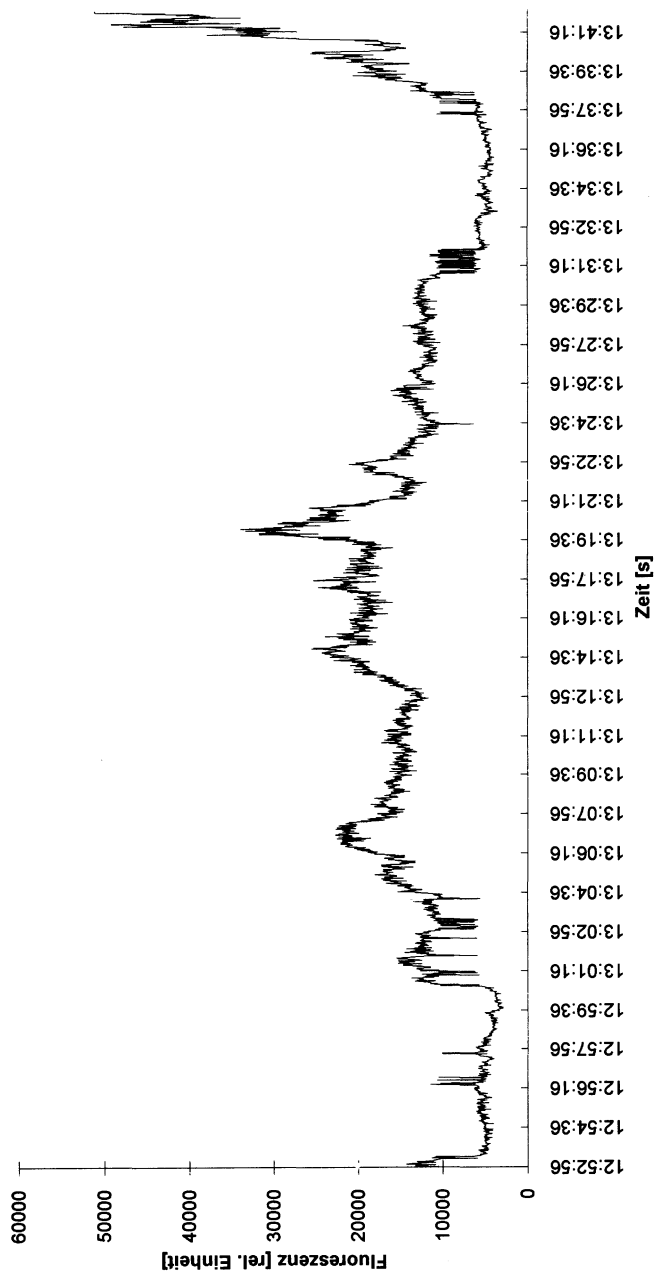


Abb. 2 Horizontalschnitt zur Messung der Chlorophyll-a-Konzentration, Greifswalder Bodden, Tonne Greifswald 2 bis Hafen Greifswald-Wieck, 28.4.94

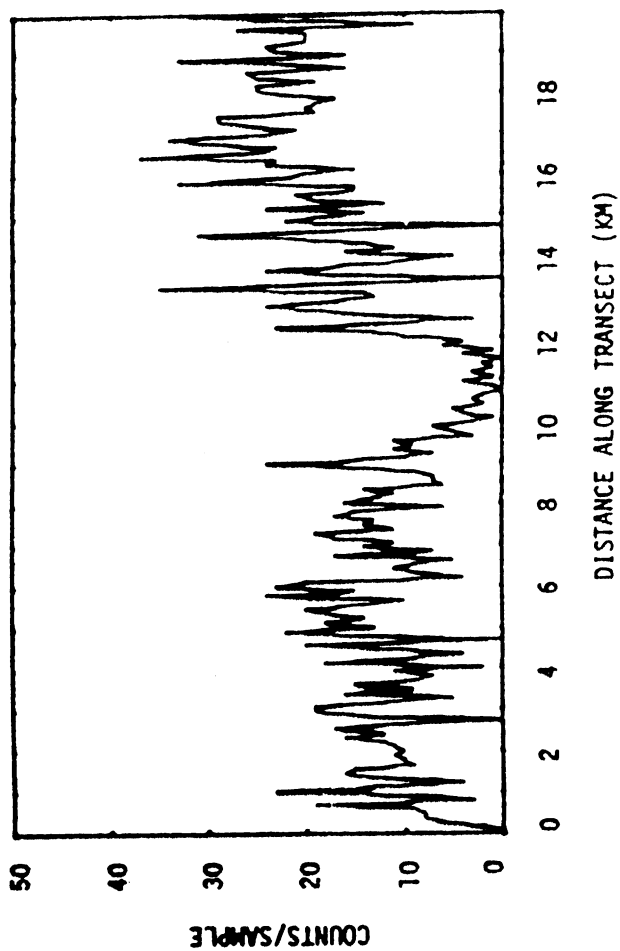


Abb. 3 Horizontalverteilung von *Asterionella formosa* im Lake Tahoe (nach RICHERSON et al., aus STEELE 1978)

GEORGES BANK 11-12 AUG. 1976

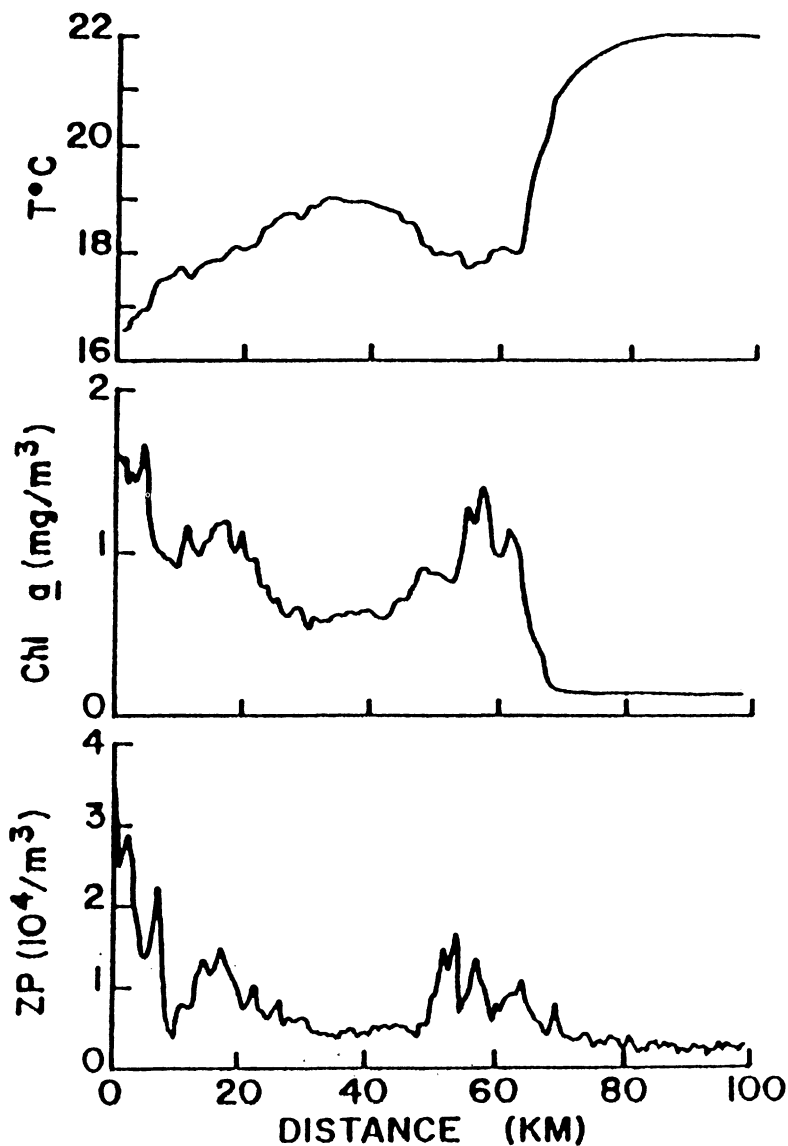


Abb. 4 Horizontalprofil von Temperatur, Chlorophyll a und Zooplankton auf der Georges-Bank 11./12.8.76 (nach DENMAN und MACKAS, aus STEELE 1978)

- 2.2 Die Homogenität/Heterogenität des Wasserkörpers zwischen den Stationen wird gemessen, indem eine Sonde auf einen Schlepp-Ponton montiert und Horizontalschnitte gefahren werden (s. Abb. 1). Eine Montage von mehreren gleichartigen Sensoren in unterschiedlichen Tiefen ist möglich. Strömungsmessungen können mit dem Schlepp-Ponton nicht durchgeführt werden.
- 2.3 Zur Durchführung von Strömungsmessungen außerhalb der Stationen der automatisch messenden Sonden wurde ein Strömungskreuz entwickelt (VIETINGHOFF, KORPAL und ESCHHOLZ 1995, dieser Band), das aus einem Driftkörper besteht, mit Hilfe eines D-GPS alle Stunde seine Position bestimmt und diese per Funk an eine Empfangsstation sendet.
- 2.4 Die für die Ökosystemanalyse wichtigen Nährstoffe Phosphat, Ammonium, Nitrit und Nitrat werden mit Hilfe eines Monolithischen Miniatur Spektrometers von ZEISS halbautomatisch im Labor bestimmt (SCHOLZ und VIETINGHOFF 1995, dieser Band). Es bestehen Pläne, hieraus einen Feldautomaten zu entwickeln.
- 2.5 Die Komponenten, die für die Ökosysteme und die Gewässerqualität von ausschlaggebender Bedeutung sind, Phytoplankton und Zooplankton, haben sich lange Zeit einer automatischen Analyse entzogen. Durch Einführung der Bildverarbeitung zur Auswertung von Mikroskopbildern des Zooplanktons (ZÖLDER, PALZER und VIETINGHOFF 1995, dieser Band), zur Auswertung von Videobildern des Zooplanktonrecorders und Ichthyoplanktonprofilers (Zusammenarbeit mit dem Institut für Meereskunde Kiel) wurde ein Anfang gemacht zur automatischen Auswertung von Biokomponenten.
- 3 Die Fragen, die sich aus den Abb. 2 bis 4 ergeben, können und werden unterschiedlich beantwortet. Extreme Antworten könnten lauten: Es wird nur an einer Stelle gemessen, aber dort sehr genau, o d e r es wird an mehreren Stellen gemessen und mit mittlerer Genauigkeit. Wir haben uns für letztere Strategie entschieden; mit 6 automatisch messenden Sonden, die im Abstand von 10 Minuten 9 Parameter mit einer Genauigkeit von 1 bis 5% (s. VIETINGHOFF, HUBERT und ESCHHOLZ 1995, dieser Band) messen, sind u. E. die Erfordernisse gut getroffen.
- 4 Die in letzter Zeit sehr häufig gestellte Forderung nach **Qualitätssicherung** geht über einen Ringversuch mit gleichem Probenmaterial hinaus. Wenn eine geteilte Probe von allen Teilnehmern am Monitoring mit recht übereinstimmendem Erfolg analysiert wird, ist nur eine Teilforderung der Qualitätssicherung erfüllt. Zur Qualitätssicherung gehört auch die Aufgabe, die **Heterogenität** der Gewässer zu beachten und dies bei der Probenahme zu berücksichtigen. Qualitätssicherung bedeutet demnach auch, an **mehreren Orten** zu messen, um die **Repräsentativität** der Daten für das untersuchte Gebiet zu sichern.

5. Auch ökologische Meßwerte müssen statistisch bearbeitet werden. Im **einfachsten Falle** bietet sich die Berechnung eines monatlichen Medians mit seinen Vertrauensintervallen an. Wenn sich die Vertrauensintervalle zweier Meßperioden überschneiden, besteht kein statistisch sicherer Unterschied zwischen den verglichenen Medianen; wenn sich die Vertrauensintervalle nicht überschneiden, besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den verglichenen Medianen.
6. Die erfaßten Meßwerte werden in einer Datenbank (dBase IV) gespeichert und dienen als Basisdaten für die Modellierung; nach wie vor muß die mathematische Modellierung helfen, schwer zugängliche Daten (insbesondere Prozeßraten) abzuschätzen.

4 Diskussion

Einleitend wurde festgestellt, daß die Meßwerterfassung in der Ökologie mit einer Reihe von Schwierigkeiten verbunden ist, was aufgrund der Komplexität der Ökosysteme nicht unerwartet ist. Versuchsplanung und -auswertung sollten deshalb in der Ökologie ein besonderes Gewicht erhalten.

Hohe Variabilität und Heterogenität verlangen bei vielen Ökosystemkomponenten ein räumlich und zeitlich enges Netz der Probenahme und -auswertung, das mit traditionellen Methoden allein nicht bewältigt werden kann.

Zuerst wurde das Monitoring den Erfordernissen angepaßt. Es wurde ab September 1993 **wöchentlich an 7 Stationen** durchgeführt, weitere langjährige Stationen wurden aufgegeben. Für die Auswertung der Proben stehen dann 4 Arbeitstage zur Verfügung.

Eine zweite wichtige Informationsquelle ist die automatische Meßwerterfassung, wobei verschiedene Gerätesysteme zum Einsatz kommen. Die Erweiterung des Spektrums der erfaßten Parameter ist eine ständige Aufgabe. Uns erscheint die eingeschlagene Strategie, an mehreren Orten, mit relativ hoher Meßrate (alle 10 Minuten), mit Geräten der Mittelklasse, eine dem Problem angepaßte Strategie zu sein. Die alternative Lösung, an einem Meßort mit sehr teuren Geräten höchster Präzision zu messen, erscheint uns nicht so günstig.

Als ersten Schritt der Datenauswertung empfehlen wir die Schätzung von Medianen und ihrer Vertrauensintervalle; die Prüfung von Differenzen zwischen Medianen auf Signifikanz ist dann besonders einfach. Die Daten dienen u.a. auch als Eingangswerte für ein mathematisches Modell des Ökosystems, das weiterhin unentbehrlich ist für die Abschätzung schwer erfaßbarer Größen (insbesondere von Raten).

5 Zusammenfassung

Die Meßwerterfassung in der Ökologie ist mit mehreren Schwierigkeiten verbunden. Schnelle Veränderungen durch kurze Generationszeiten und heterogene Verteilung der Komponenten verlangen ein enges räumlich-zeitliches Raster der Probenahme und -auswertung. Viele quantitative Methoden in der Ökologie sind aber sehr zeitaufwendig. Einen Ausweg aus der Situation sehen wir in der Anwendung der integrierten Probenahmetechnik und der automatischen Meßwert-
erfassung. Eine einfache statistische Auswertung könnte durch Kalkulation des Medians und seines Vertrauensintervalles erfolgen.

Literatur

- BENDAT, J. S. & A. G. PIERSOL (1971): Random data: Analysis and measurement procedures. Wiley Interscience New York.
- HÜBEL, H.-J.; U. VIETINGHOFF; M.-L. HUBERT; S. RAMBOW-BARTELS; B. KORTH; H. WESTPHAL u. B. LENK (1995): Ergebnisse des Monitorings Greifswalder Bodden September 1993 bis März 1995. Dieser Band.
- STEELE, J. H. (1978): Spatial pattern in plankton communities. Plenum Press, New York und London.
- VENRICK, E. L. (1978): Sampling strategies. Statistical considerations. In: A. SOURNIA (Ed.), Phytoplankton manual. UNESCO, Paris.
- VIETINGHOFF, U.; N. ERDMANN; H. ARNDT; V. KELL u. M.-L. HUBERT (1984): Integrated samples provide accurate means of parameters characterising aquatic ecosystems. Int. Revue ges. Hydrobiol. 69, H. 1, 121 - 131.
- VIETINGHOFF, U.; M.-L. HUBERT, A. ZÖLDER & T. HEENE (1991): Anwendung von Methoden der Informatik in der Ökosystemforschung Greifswalder Bodden. Informatik-Fachberichte Nr. 296, 221 - 229. Springer.
- VIETINGHOFF, U.; M.-L. HUBERT; A. KÖB; S. RAMBOW; P. ESCHHOLZ; R. KOPPAL; U. KLÜBER u. TH. HEENE (1994): Ökosystemare Grundlagenforschung im Bereich Greifswalder Bodden. Abschlußbericht des Projektes BMFT/BEO 03 F00 24A.
- VIETINGHOFF, U.; M.-L. HUBERT u. H. WESTPHAL, Hrg.: (1995): Zustandsanalyse und Langzeitveränderungen des Ökosystems Greifswalder Bodden. Abschlußbericht zum Fördervorhaben des Umweltbundesamtes Z 1.5-25105/235 - RII-102 04 252.
- VIETINGHOFF, U.; H.-J. HÜBEL; H. WESTPHAL; B. LENK; S. RAMBOW-BARTELS; B. KORTH (1995): Die Forschung begleitendes Monitoring Greifswalder Bodden. Abschlußbericht zum Fördervorhaben des Ministeriums für Bau, Landesentwicklung und Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern. 141 Seiten.
- WUHRMANN, K. (1973): Meßtechnische Aufgaben der Gewässerüberwachung. Neue Technik 12, 461 - 470.
- ZÖLDER, A. (1991): Ein Beitrag zur automatischen Zooplankton-Analyse mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung. Dissertation, Univ. Rostock.
- ZÖLDER, A.; H. Palzer u. U. Vietinghoff (1995): Entwicklung von Algorithmen zur automatischen Auswertung von Bildern des Zooplanktons der Südlichen Ostsee und des Greifswalder Boddens mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems. Abschlußbericht des EUREKA-Projektes EUROMAR EU 413 (MAROPT III).

Verfasser

Prof. Dr. habil. Ulrich Vietinghoff
Universität Rostock
FB Biologie
Abt. Biophysik
18051 Rostock