

Rainer Korpai; Peter Eschholz; Ulrich Vietinghoff

Eine automatische Sonde für kontinuierliche Messungen von Gewässerparametern (Greifswalder Bodden)

Abstract

An automatic probe for continuous water parameter measurements in Greifswalder Bodden.

The University of Rostock has developed an automatic probe for continuously measuring water parameters. It consists of the following modules: sensor control unit, sensor heads with sensors, power pack, wireless system and shore station. The sensor control unit, sensor heads and shore station are controlled by microcomputer. The modules are linked by internationally standardized interfaces. The probes are now in service for the third year. All sensors yielding stable readings of ecologically relevant parameters can be connected. The data measured at variable intervals of one minute to one hour can be stored and collected in various ways (direct connection of a laptop or polling by radio or telemetry).

1 Einleitung

Die Meßwerterfassung in der Gewässerforschung ist mit mehreren Schwierigkeiten verbunden (VIETINGHOFF 1995, dieser Band, VIETINGHOFF, ERDMANN, ARNDT, KELL und HUBERT 1984). Kurzfristige Änderungen in der Biomasse vieler produktionsbiologisch wichtiger Biokomponenten (Generationszeiten von Phytoplanktern, Rotatorien, Protozoen, Bakterien liegen im Bereich von Stunden bzw. Tagen) und die Heterogenität des Vorkommens der Organismen verlangen Messungen in einem engen räumlich-zeitlichen Netz. Die automatische Meßwerterfassung unter Feldbedingungen erscheint in dieser Situation als dringendes Erfordernis, jedoch sind ohne größeren Aufwand nur physikalische, wenige chemische und mit der Fluoreszenz des Chlorophyll a nur ein biologischer Parameter der direkten Messung zugänglich.

Für die automatische Messung dieser genannten Parameter wurde von uns eine Gewässersonde entwickelt, die folgende Erfordernisse berücksichtigt:

- ♦ Die Gewässersonde wurde für den Feldeinsatz im Küstenbereich konzipiert; das stellte besondere Anforderungen an die Materialauswahl (korrosionsfest, mechanisch belastbar), den Schutzgrad (IP 67), den Blitzschutz und die Sicherung vor dem Zugriff Unbefugter.
- ♦ Die Sonde sollte mehrere Wochen autonom arbeiten; es wurden nur stromarme elektronische Bauelemente (CMOS-Technik) verwandt, als Energiequellen wurden Wind- und Solarenergie vorgesehen.
- ♦ Die Bedienung der Gewässersonde und das Abholen der Daten sollte direkt vor Ort mit einem Terminal (Laptop) und vom Labor aus (Funk, Fernwartung) möglich sein.
- ♦ Ausgehend von den Gegebenheiten im Ökosystem, insbesondere seiner Heterogenität und Variabilität, entschieden wir die Frage, ob an einem Ort sehr genau oder an mehreren Orten mit mittlerer Genauigkeit gemessen werden sollte, zugunsten der letzteren Variante.
- ♦ Das System sollte modular aufgebaut und flexibel gestaltet sein. Dabei sollte die Hardware möglichst fest bleiben, unterschiedliche Aufgabenstellungen durch unterschiedliche Software der Mikrocontroller realisiert werden. Durch Nutzung universeller Schnittstellen sollte der Austausch von Sensoren, der Anschluß weiterer Sensoren und Veränderungen vor Ort problemlos möglich sein.
- ♦ Die Geschwindigkeit der Meßwertaufnahme sollte der Fragestellung angepaßt werden können.

Die Entwicklungen führten zu einer Gewässersonde, die nun im dritten Jahr im Feldeinsatz ist und im folgenden beschrieben werden soll.

2 Die Funktionseinheiten der Gewässersonde

Gesamtaufbau

Die Gewässersonde besteht aus der zentralen Sensorsteuereinheit, den Sensorköpfen, den Sensoren und der Stromversorgung. Alle 4 Funktionselemente sind auf Pontons montiert, die zwischen jeweils 2 Festmachertonnen mit ca. 20 m langen Stahlseilen festgeschäkelt sind. Den Gesamtaufbau zeigt Abb. 1.

Die Sensorsteuereinheit (Zentralplatine)

Die wichtigsten Funktionselemente der Sensorsteuereinheit werden in Abb. 2 dargestellt. Herzstück der Sensorsteuereinheit ist ein **Einplatinenrechner Z80-mini-EMUF** mit Programmspeicher (Programmierung in Forth) und Datenspeicher zur Aufnahme der Meßwerte.



Abb. 1 Ponton als Träger der Gewässersonde, zwischen 2 Festmachertonnen liegend. Man erkennt in der Mitte den Mast mit Solarzelle, Sensorsteuereinheit (blaue Kiste), Sensoren und Funkantenne

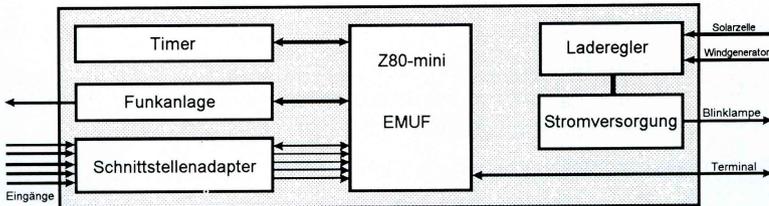


Abb. 2 Blockschaltbild der Sensorsteuereinheit

Das Forth-Programm für den Z80 umfaßt ca. 90 Forth-Blöcke; das Turbo-Pascal-Programm der Landstation besteht aus ca. 1.000 Programmzeilen.

Die Kommunikation zwischen dem Bediener und der Sensorsteuereinheit erfolgt über ein dafür geschriebenes Terminalprogramm, das auf einem IBM-kompatiblen Personalcomputer lauffähig ist. Die Verbindung zwischen dem Terminal und der Sonde gestattet dem Benutzer Einstellungen an der Sonde bzw. dessen Diagnose vorzunehmen.

Über ein menügeführtes Programm hat der Benutzer die Möglichkeit, die aktuelle Konfiguration auszulesen, Sensoren zu installieren und Meßwerte abzufragen. Weiterhin ist es möglich, das Meßregime (Anzahl der Messungen pro Stunde) einzustellen sowie den Datenspeicher auszulesen.

Der **Datenspeicher** enthält vier Typen von Daten:

- Ökologische Daten (Meßwerte),
- Betriebswerte über die Sonde,
- Daten über die aktuelle Konfiguration,
- die bisherige Standzeit der Sensoren.

Sämtliche auf dem PC gespeicherten Daten liegen im ASCII-Format vor, um deren Auswertung bzw. Verarbeitung zu erleichtern.

Die zeitliche Steuerung der Meßwertaufnahme wird durch einen separaten **Uhrenschaltkreis** unterstützt. Bei Meßwertaufnahme mit längeren Intervallen wird zum Zweck der Stromersparnis die Sonde abgeschaltet. Während dieser Zeit arbeitet nur die Uhr, bis der nächste Meßzeitpunkt erreicht wird.

Je nach Einsatz können in der Sensorsteuereinheit verschiedene **Schnittstellenkarten (RS-232C, RS-422 oder RS-485)** zum Anschluß von Sensoren installiert werden. Die Erkennung des Schnittstellentyps erfolgt automatisch. Diese Sensorsteuereinheit ermöglicht es, bis zu **acht Sensorköpfe mit jeweils maximal 8 Sensoren** aufzunehmen.

Die **Datenübernahme** kann auf 2 verschiedenen Wegen erfolgen,

- ▶ durch das Handterminal,
- ▶ durch Fernwartung (Funkverbindung zur Landstation, PC 1 mit Telefonmodem und Fernwartungsprogramm in der Landstation, Telefonleitung, PC 2 mit Telefonmodem und Fernwartungsprogramm im Labor in Rostock).

Diese verschiedenen Wege erhöhen die Sicherheit bei der Datenübernahme.

Funkverbindung und Telefonmodem gestatten zusätzlich auch eine Kommandoübertragung zur Sensorsteuereinheit (Remote-Betrieb).

Sensorköpfe

Um auch die anzuschließenden Sensorköpfe (Abb. 3) intelligent und flexibel zu gestalten, wurden sie mit einem **8-Bit Mikrocontroller** von Siemens ausgestattet. Dieser Controller besitzt mehrere Ein-/Ausgabe-Ports sowie einen integrierten A/D-Wandler. Des weiteren verfügt er über drei 16-Bit-Timer, eine serielle Schnittstelle und eine komfortable Interruptstruktur.

Über ein Verbindungskabel zwischen der Sensorsteuereinheit und den angeschlossenen Sensorköpfen erfolgt die Stromversorgung der Sensoren sowie der serielle Datenaustausch nach RS422-Standard. Die Zuordnung bzw. Unterscheidung der einzelnen Sensoreinheiten erfolgt durch ein entsprechendes Kennbyte.

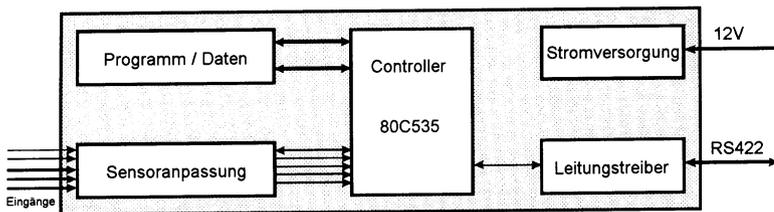


Abb. 3 Blockschaltbild eines Sensorkopfes

Je nach Umfang der Berechnungen übernimmt der Controller die Vorverarbeitung der Meßwerte, um einen uncodierten Meßwert weiterzugeben.

Sensoren

Mit der Gewässersonde wird die Luft- und Wassertemperatur gemessen. Gegenwärtig erfolgt dies über ein Bauelement, das proportional zur Temperatur den Strom ändert, welcher gemessen wird. Bei der Lufttemperaturmessung befindet sich der Sensor in einem speziellen Gehäuse, um ihn vor der Sonneneinstrahlung zu schützen.

Ein Lichtsensor dient dazu, das photosynthetisch aktive Licht zu messen. Eine speziell für diese Anwendung entwickelte Fotodiode wurde durch verschiedene Maßnahmen im Bereich der beiden Absorptionsmaxima des Chlorophyll a (400 - 450 nm, 650 - 700 nm) besonders empfindlich gemacht. Mit einem zusätzlichen Infrarot-Filter wird die Strahlung oberhalb von 700 nm ausgelöscht. Da die Fotodiode im Kurzschluß betrieben wird, ist eine Linearität zwischen einfallendem Licht und dem Ausgangsstrom gegeben.

Im Rahmen der Messungen mit der Sonde sind Windrichtung und Windgeschwindigkeit wichtige Parameter; es wird der Windsensor WIZARD III von ECOS GmbH eingesetzt. Der Geschwindigkeitssensor liefert Impulse bei jeder Umdrehung, der Richtungssensor besteht aus einem Umlaufpotentiometer.

Die Ermittlung von Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit erfolgt nach demselben Prinzip, wie bei der Messung der Windparameter (Hydrometrischer Kleinflügel mit Impulsgeber; Umlaufpotentiometer). Diese Sensoren befinden sich in Gehäusen, die für den Unterwassereinsatz gefertigt wurden (Fa. Werner, Berlin).

Beim Messen der Leitfähigkeit kommt die Leitfähigkeitsmeßzelle LTG 1/22 mit dazugehörigem Meßverstärker (Sensortechnik Meinsberg GmbH) zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um einen OEM-Baustein (nur Platine und Sensor), der an die bestehende Sensoreinheit angepaßt wurde.

Zur Chlorophyll-a-Messung steht ein leistungsfähiges Fluorometer der Fa. Ecomonitor Moskau zur Verfügung.

Energieversorgung und Funkanlage

Als Energiequelle dienen ein Solarpaneel 12 V, 51 W Akku Gesellschaft, Windgenerator Aerogen 25 der engl. Fa. LV Motors, Baldock, und ein 24-Ah-Pufferakku. Als Funkgerät dient ein Philips Mobilfunkgerät FM 1000 (Sendefrequenz etwa 457 MHz, Sendeleistung 3 oder 9 Watt) mit Hermes Datenübertragungssystem von MicroCom Mobilfunk GmbH München.

Funktionsgewährleistung

Durch das Seewasserstraßenamt ist für die Sonden eine Beleuchtung bei Dunkelheit und schlechter Sicht vorgeschrieben. Diese Beleuchtung erfolgt mit einer Lampe von mindestens 10 Watt und mit der sogenannten ODAS-Kennung.

Da die Beleuchtung im Frühjahr und Herbst verstärkt zum Einsatz kommt, erwies sich die anfangs konzipierte Energieversorgung mit einem 24 Ah Akku und einer Solarzelle als nicht immer ausreichend. Aus diesem Grund wurden die Sonden mit einem Windgenerator Aerogen 25 der Fa. LV Motors, Baldock, England, und dem dazugehörigen Lastregler nachgerüstet.

Die Landstation

Die Landstation der ökologischen Sonden (Abb. 4) befindet in Vierow-Hafen, in der Nähe von Lubmin. Der datenerfassende Personalcomputer befindet sich zusammen mit der Stromversorgung für die Funkanlage in einem festen Gebäude. Die Antennenanlage mit der Funkanlage wurde in ca. 30 m Entfernung an einem freistehenden Antennenmast direkt an der Steilküste installiert.

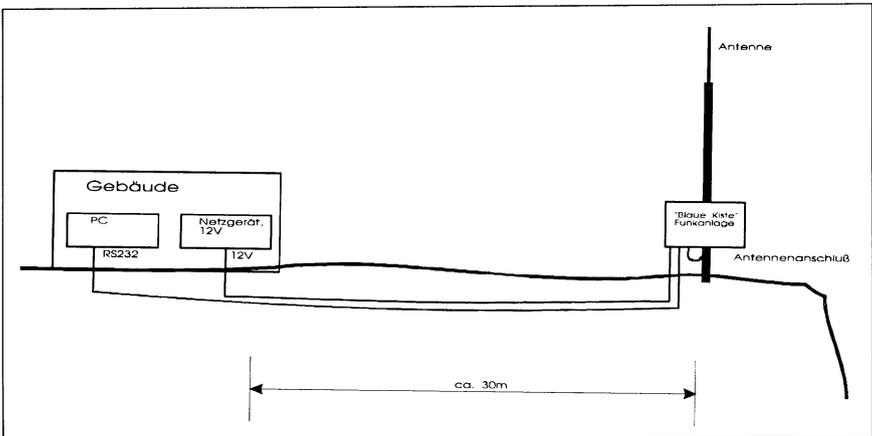


Abb. 4 Schema der Landstation in Vierow Hafen

Das Programm der Landstation realisiert den Empfang der Meßdaten von den Sonden sowie die Konvertierung der Daten und deren Speicherung. Weiterhin ermöglicht es eine Synchronisation der Sonden von See aus, ohne die Landstation zu bedienen. Diese Software arbeitet selbständig und bedarf im Normalfall keiner Wartung.

Um eine Fernwartung über das öffentliche Telefonnetz durchzuführen, wurde in der Landstation ein MODEM angeschlossen. Mit dem dazu installierten Fernwartungsprogramm RSVCOM plus der Fa. RSV Datentechnik München ist es möglich, eine Verbindung zwischen dem Labor in Rostock und der Landstation in Vierow-Hafen zu realisieren.

Bei korrekter Verbindung besteht die Möglichkeit, die Landstation vom Labor aus fernzubedienen. Des weiteren ist ein Datenaustausch zwischen beiden Stationen in beiden Richtungen möglich.

Pontons

Die Pontons und ihre Größe sind aus Abb. 1 ersichtlich. Bei ruhigem Wetter können 2 Personen auf ihr arbeiten. Sie werden durch 2 Festmachertonnen in Position gehalten; zwischen den Festmachertonnen verlaufen ca. 45 m Stahlseil, die Pontons werden über 1,5-t-Federn angeschäkelt (Näheres in VIETINGHOFF et al. 1994).

3 Messungen mit der Gewässersonde

Eine ausführlichere Darstellung der Meßergebnisse unserer Sonden erfolgt an anderer Stelle (VIETINGHOFF, HUBERT und ESCHHOLZ 1995, dieser Band); hier soll nur ein Musterbeispiel einer Messung gegeben werden. In Abb. 5 ist ein Auszug aus einer mehrmonatigen Meßserie von Luft- und Wassertemperatur von ODAS 2 (Zickersches Höft, Greifswalder Bodden) für den Zeitraum 31.7.94 bis 19.8.94 dargestellt. Alle 10 Minuten wurde ein Meßwert genommen. Am 4.8.94 war der Höhepunkt einer mehrwöchigen Hochdrucklage mit Luft- und Wassertemperaturen um 25 °C. In den darauffolgenden Tagen wurde das Hoch durch ein Tiefdruck mit geringeren Lufttemperaturen abgelöst. Neben der höheren Variabilität der Lufttemperatur sieht man ein schnelleres Abnehmen der Lufttemperatur gegenüber der Wassertemperatur.

Insgesamt zeigte die Meßserie der ODAS-Stationen 1994 einen stabilen Betrieb, und die Sensoren zeigten über mehrere Monate keinerlei Drift. Ein Vergleich der Werte der Gewässersonden mit den Ergebnissen des Monitorings zeigte gute Übereinstimmung (VIETINGHOFF, HUBERT und ESCHHOLZ 1995, dieser Band).

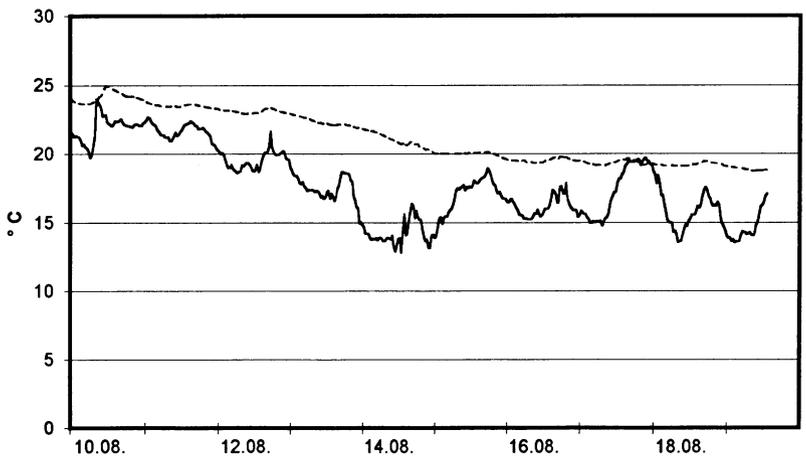
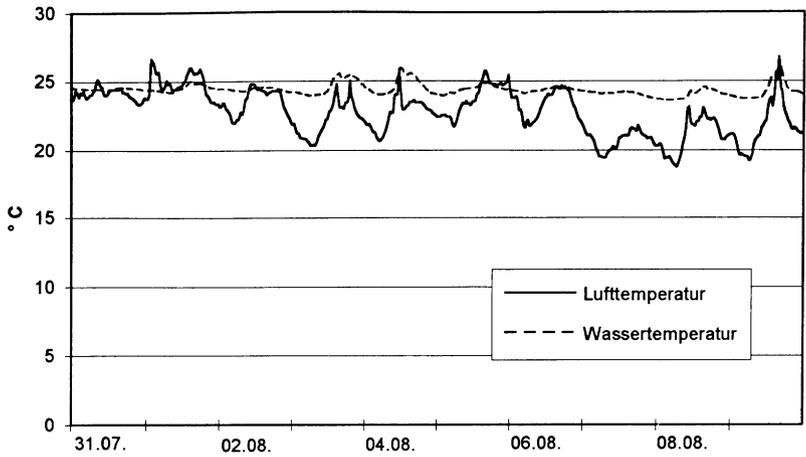


Abb. 5 Messungen mit der Sonde ODAS 2: Luft- und Wassertemperaturen

4 Diskussion

Das Herzstück der Gewässersonde ist die Sensorsteuereinheit mit dem Mikrorechner (Z80-mini-EMUF), der für meßtechnische Anwendungen in der Ökologie folgende prinzipiell wichtige Aufgaben ausführt:

- ♦ Einschalten der Sensorsteuereinheit entsprechend Zeitvorgabe (Uhrenschaltkreis);
- ♦ Einschalten des Sensorkopfes, Einhalten einer Wartezeit, Ablesen des Meßwertes (der Meßwerte) am Sensorkopf (genormte Schnittstelle), Ablegen des Wertes (der Werte) im Speicher, Ausschalten des Sensorkopfes;
- ♦ je nach Zeitplan, z.B. ein Mal pro Tag, Einschalten des Funkgerätes, Senden der Daten an eine Empfangsstelle incl. Übertragungskontrolle, nach erfolgreicher Übertragung Abschalten des Funkgerätes;
- ♦ Abschalten der Sensorsteuereinheit bzw. power-down-Regime.

Wie man leicht erkennt, ist dies ein universelles Werkzeug für viele Meßaufgaben.

Einem Problem haben wir große Aufmerksamkeit geschenkt, nämlich der notwendigen Aufgabe der Reinigung der Sensoren; so haben wir wöchentlich die Sensoren gereinigt und bei dieser Gelegenheit auch die Daten übernommen. Gegenwärtig könnten wir durch eine neue Speichervariante auch die Daten in längeren Zeiträumen abholen, aber wir nutzen diese Möglichkeit kaum wegen der notwendigen Sensorenwartung.

Entsprechend unserer o.g. Strategie messen wir an mehreren Orten und dies mit mittlerer Genauigkeit (1 bis 5 % Fehler). Wir halten diese Variante für sachlich begründet und unseren personellen und finanziellen Möglichkeiten angepaßt. Ein Vergleich mit den Monitoring-Daten zeigt (VIETINGHOFF, HUBERT und ESCHHOLZ 1995, dieser Band), daß die automatischen Meßreihen bei Messungen über die gesamte Vegetationsperiode vielseitige Informationen über das Ökosystem liefern, auch wenn wir gegenwärtig bei der Auswahl der Parameter (stabile Sensoren nicht nur für physikalische Parameter) noch sehr eingeschränkt sind.

5 Zusammenfassung

Für den Feldeinsatz im Küstenbereich wurde an der Universität Rostock eine automatisch messende Gewässersonde entwickelt. Sie besteht aus den Modulen Sensorsteuereinheit, Sensorköpfe mit Sensoren, Energieversorgung, Funk, Landstation. Sensorsteuereinheit, Sensorköpfe und Landstation sind Mikrocontrollergesteuert. Die Verbindung zwischen den Modulen erfolgt über international genormte Schnittstellen. Die Sonden sind im 3. Jahr im Einsatz. Es können alle Sensoren angeschlossen werden, die einen ökologisch relevanten Parameter

stabil messen. Die Sonde gestattet es, in variablen Meßintervallen von 1 Minute bis 1 Stunde zu messen, die Daten zu speichern und sie auf verschiedene Weise (Abholung per Laptop, Abholen per Funk und / oder Fernwartung) bereitzustellen.

Danksagung

Unser Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Abt. Meeresforschung, für die Förderung im Rahmen der Projekte Ökosystemare Grundlagenforschung und Greifswalder Bodden und Oderästuar - Austauschprozesse (GOAP). Unser Dank gilt gleichzeitig dem Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt des Landes Mecklenburg - Vorpommern, Abteilung Wasserwirtschaft, für die Förderung des Projektes "Die Forschung begleitendes Monitoring Greifswalder Bodden".

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 und 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. KOB, S. RAMBOW, P. ESCHHOLZ, R. KORPAL, U. KLÜBER und TH. HEENE (1994): Ökosystemare Grundlagenforschung im Bereich Greifswalder Bodden. Abschlußbericht des Projektes BMFT/BEO 03 F00 24A.
- VIETINGHOFF, U., M.-L. HUBERT und 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. RAMOW-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.

Verfasser Dipl.-Ing. Rainer Korpall
Richard-Wagner-Straße 12
18055 Rostock

Dipl.-Ing. Peter Eschholz
Prof.Dr. habil. Ulrich Vietinghoff
Universität Rostock
FB Biologie
Abt. Biophysik
18051 Rostock