

Ökosystemforschung Niedersächsisches Wattenmeer

ELAWAT

Elastizität des Ökosystems Wattenmeer

(Förderkennzeichen: 03F0112A)

März 1997

**Abschlußbericht
des Teilprojektes B2**

**Titel: Untersuchungen zu Reaktionen raum-zeitlicher
Muster von Organismengemeinschaften im Watt
auf Umwelteinflüsse: Beiträge der Angewandten
Statistik zur Versuchsplanung, Durchführung und
Auswertung**

**Teilprojektleiter: Prof. Dr. Dietmar Pfeifer
Dr. Hans-Peter Bäumer**

**Institution: Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Fachbereich Mathematik und
Hochschulrechenzentrum
Postfach 2503
26111 Oldenburg**

**Bearbeiter/innen: Prof. Dr. Dietmar Pfeifer
Dr. Hans-Peter Bäumer
Dr. Ulrike Schleier
Dipl. Math. Heidrun Ortleb**

Gliederung

1. Zusammenfassung
2. Einleitung
3. Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten
 - 3.1. Wissenschaftliches Consulting
 - 3.2. Datenerfassung und Datenmanagement
 - 3.3. Bereitstellung von Statistik-Software
 - 3.4. Schulungsangebote und Workshops
 - 3.5. Zusammenarbeit außerhalb von ELAWAT
4. Methoden
5. Ergebnisse
 - 5.1. Stochastische Modelle und Softwareentwicklung
 - 5.2. Präsentationen
 - 5.3. Diplomarbeiten und Dissertationen
6. Diskussion
 - 6.1. Diskussion statistischer Modelle und Methoden
 - 6.2. Entwicklung des Teilprojekts B2
7. Schlußfolgerungen
8. Literatur
 - 8.1. Zitierte externe Literatur
 - 8.2. Veröffentlichungen des Teilprojekts B2

Anhänge:

Beschreibung der entwickelten Software

Externe Ressourcen

1. Zusammenfassung

Das Teilvorhaben "Beiträge der Angewandten Statistik" verstand sich als wissenschaftliches Consulting für die experimentellen Untersuchungen in ELAWAT. Dies umfaßte insbesondere die Vorbereitung der Probenahme, Auswahl statistischer Verfahren, Hilfen zur Anwendung statistischer Software, Interpretation der statistischen Resultate und Pilotauswertungen.

Die Methoden und Modelle der Angewandten Statistik und die entsprechenden Programme und Programmsysteme wurden im Rahmen von Workshops vorgestellt. Den an ELAWAT beteiligten Teilprojekten wurden aktuelle Statistik-Programmsysteme zur Verfügung gestellt.

Sowohl zur Vereinheitlichung und Normung der in den Teilprojekten anfallenden Daten als auch im Hinblick auf den späteren Datentransfer in GIS und WATIS wurde eine systematische Datenhaltung konzipiert.

Ein weiteres Ziel war die (Weiter-)Entwicklung von Modellen und statistischen Verfahren. Zur Modellierung kleinräumiger Verteilungsmuster (z.B. bei der Besiedlung von Lanice-dominierten Flächen durch Copepoden) wurde u.a. ein neues statistisches Verfahren entwickelt, mit dem eine durch Makrofauna stimulierte Ansiedlung von Meiofauna quantitativ bewertbar ist. Es wurde ein neuer mathematischer Ansatz zur Definition und Berechnung von "Minimalarealen" für eine repräsentative Erfassung des Artenspektrums einer Lebensgemeinschaft gefunden. Im Rahmen der Ökosystemtheorie wurde ein Ansatz zur qualitativen und quantitativen Beschreibung von Raum-Zeit-Mustern durch stochastische Netzwerke untersucht, der insbesondere auf die Dynamik von Vogelpopulationen angewendet wird. Ein Modell zur Beschreibung und zum statistischen Nachweis von zeitlicher Stabilität räumlicher Verteilungsmuster wurde entwickelt.

Die zur konkreten Umsetzung neuer Modelle und Methoden und spezielle für das Datenmanagement benötigte Software wurde durch Werkaufträge bzw. in Eigenleistung entwickelt.

2. Einleitung

Allgemeines Ziel des Teilprojekts B2 war die Begleitung der experimentellen Untersuchungen zur Regenerationsfähigkeit und Elastizität ökologischer Subsysteme des Ostfriesischen Wattenmeeres, die durch die verschiedenen in ELAWAT integrierten Teilprojekte durchgeführt wurden. Dies umfaßte wissenschaftliches Consulting, Datenmanagement, Bereitstellung von Statistik-Software, Schulungsangebote und Modell- und Softwareentwicklung. Der vorliegende Abschlußbericht konzentriert sich darauf, die inhaltliche Entwicklung des Projektes aufgrund der Anforderungen und Anregungen aus den Teilprojekten und die daraus resultierenden Ergebnisse darzustellen. Auf die Herleitung und Darstellung mathematischer, statistischer und informatikbezogener Einzelergebnisse kann verzichtet werden, auf die entsprechende Literatur wird verwiesen.

3. Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten

3.1. Wissenschaftliches Consulting

Das wissenschaftliche Consulting für die Teilprojekte umfaßte insbesondere:

- Vorstellung der substanzwissenschaftlichen Fragestellungen durch die Teilprojekt-Mitarbeiter/innen und Diskussion der Möglichkeiten, durch Anwendung geeigneter statistischer Verfahren Antworten zu finden
- Klärung von Maßstabsfragen bei der Probenahme (Experimentelles Design: Größe, Anzahl, zeitliche und räumliche Anordnung der Beprobungsflächen, Anzahl und Anordnung der Unterproben)
- Auswahl geeigneter statistischer Analyseverfahren
- Hilfen zur Bedienung statistischer Software-Produkte und zur entsprechenden Vorbereitung der Daten
- Anleitung zur substanzwissenschaftlichen Interpretation der Daten auf der Basis statistischer Auswertungen
- Pilotauswertungen für einzelne Teilprojekte, d.h. Hilfestellung zur Eigenarbeit anhand exemplarischer Auswertung ausgewählter Datensätze
- Überlegungen zu einer sorgfältigen Vorbereitung der Datenhaltung in Bezug auf Dateiaufbau, Verschlüsselung von Merkmalen und Dokumentation.

Dazu fanden in der Regel Beratungsgespräche mit den Teilprojekten statt, an denen die gesamte Arbeitsgruppe des Teilprojekts B2, einschließlich Frau Ortleb, teilnahm. Teilweise erfolgte die Beratung auch im Einzelgespräch, zum Teil telefonisch. Im ersten Halbjahr wurde mit jedem Teilprojekt mindestens ein sehr ausführliches Gespräch geführt.

Folgende Fragestellungen führten zu einer besonders intensiven Zusammenarbeit:

- B5 - Aminosäuren
Konzentrationsverläufe entlang des Transekts der Muschelbank (Pilotauswertung)
- B7
Verteilung junger *Lanice conchilega* an Alttier-Röhren (Pilotauswertung)
- B9 - Makrofauna
 - Existenz einer *Lanice*-Begleitfauna (Pilotauswertung)
 - Ortstreue von *Lanice*-Aggregaten (Entwicklung eines stochastischen Modells zur Untersuchung der Stabilität räumlicher Verteilungsmuster, Software-Entwicklung)
 - Unterschiede zwischen zufällig verteilten Proben und Multicorerproben (Pilotauswertung)
- B9 - Meiofauna

- Kleinräumige Aggregationsmuster ausgewählter Nematodenarten (Pilotauswertung)
- Aggregationsmuster von *Harpacticus obscurus* (Modifikation von Thomas-Prozeß-Modellen, Software-Entwicklung, gemeinsame Veröffentlichung)
- B9 - Mikrophytobenthos
Vergleich von experimentell gestörten Flächen und Kontrollflächen (Pilotauswertung)
- B10
Wiederbesiedlung azoischer Flächen (Pilotauswertungen, gemeinsamer Vortrag)
- B11
Ausbreitungs- und Wanderungsbewegungen von Vögeln auf Wattflächen (Entwicklung eines raum-zeitlichen Modells auf der Basis stochastischer Netzwerke, Software-Entwicklung).

3.2. Datenerfassung und Datenmanagement

Eine wichtige Teilaufgabe bestand darin, auf der Basis von Vorerfahrungen der Pilotphase ein einheitliches System der Datenhaltung für alle Teilvorhaben des Gesamtprojekts zu entwickeln und bereitzustellen, um den Austausch von Daten zwischen den Teilprojekten und den Import von Daten in statistische Programme und Programmsysteme zu erleichtern. Das System war so zu konzipieren, daß eine dokumentarisch abgesicherte Anbindung an bereits bestehende Umwelt-Datenbanken (GIS, WATIS) ohne Konvertierungsaufwand möglich ist. Für diese Arbeiten wurde wegen des engen inhaltlichen Bezugs Frau Ortleb über Terramare e.V. aus dem Teilprojekt B1 in die Arbeitsgruppe des Teilprojekts B2 integriert. Notwendige Programmierarbeiten, die in der Regel zeitaufwendig waren und gelegentlich strukturelle Eigenentwicklungen erforderten, wurden unter der Anleitung von Frau Ortleb unterstützend auch von studentischen Hilfskräften ausgeführt.

3.2.1. Überblick

Die Aufgabe des Datenmanagements bestand darin, die Teilprojekte bei der Erfassung der Daten und Datenspeicherung für statistische Auswertungen möglichst gut auf vorhandener technischer und programmtechnischer Basis zu unterstützen. Technische Voraussetzung lieferten PCs ab Version 386 und programmtechnische Basis war mit dem Tabellenverwaltungssystem dBASE vorgegeben. Zur Datenanalyse standen mehrere statistische Programmsysteme bereit.

Statistische Programmsysteme benötigen Daten als Tabellen, also zeilen- und spaltenweise organisiert. Eine Strukturierung in Zeilen und Spalten wird auch von relationalen Datenbanken unterstützt. Damit war das relationale Modell als Datenmodellierungswerkzeug naheliegend.

Das Ziel des Datenmanagements bestand in der Schaffung einer Datenbank auf dBASE-Basis, die allen Anforderungen aus allen Teilprojekten sowie übergeordnet "von nun an und für

immer" gerecht werden sollte. Ein derartiges Ziel ist nicht erreichbar, weil jede statistische Analyse ihre eigene angepaßte Darstellung als Zeilen und Spalten benötigt. Es ist also prinzipiell nicht möglich, für alle statistische Auswertungen eine gleichermaßen gut geeignete Tabellenstruktur zu entwickeln. Möglich war die Entwicklung eines einheitlichen Systems zur Datenhaltung für alle Teilvorhaben, wobei für die Teilprojekte kaum zusätzlicher Aufwand entstand.

In den einzelnen Teilprojekten wurde primär EXCEL genutzt. Die im Watt oder im Labor erhobenen Daten wurden i.a. am PC in EXCEL eingegeben und über EXCEL in dBASE importiert. Zu jeder Datendatei existiert eine eigene Beschreibung. Damit ist eine Basis für den Zugriff auf die Daten in der Synthese und für die geplante Speicherung in ein Umweltinformationssystem gegeben.

3.2.2. Lösungsansatz

Zunächst wurde ein allgemeingültiger Datenkatalog zur Speicherung der anfallenden Daten in dBASE entwickelt und allen Teilprojekten zur Verfügung gestellt. Dieser Datenkatalog erwies sich als zu theoretisch. Von den Teilprojekten erfolgten keine Nachfragen, aber die Daten wurden auch nicht einheitlich formatiert zur Verfügung gestellt. Während der Projektlaufzeit und durch Beratungsgespräche mit den einzelnen Teilprojekten konnte das Problem gelöst werden.

Den Ausgangspunkt bei der Modellierung von Daten stellt die Analyse des Diskursbereiches mit der Identifikation von Objekten als Träger bestimmter Eigenschaften (den Attributen) sowie die Identifikation der Beziehungen zwischen ihnen dar. Die Objekte erhalten einen Identifikationsschlüssel und die Attribute werden durch Werte belegt. Alle erhobenen Daten besitzen mindestens Attribute für die Art der Daten, die Beobachtungswerte, eine Zeitangabe und eine Ortsangabe, wobei Zeit und Ort je nach Fragestellung der Datenerhebung unterschiedlich strukturiert sind. Beziehungen zu anderen Objekten werden über gleiche Werte dargestellt. Relationale Datenmodellierung bedeutet u.a., daß alle Attribute vor der eigentlichen Dateneingabe festgelegt werden. Die Struktur der modellierten Objekte ist damit statisch. Typische relationale Abfragen erlauben es, zu gegebenen Attributen und festgelegten Bedingungen an Werte, Daten einer realen oder virtuellen Tabelle zu selektieren. Mit Mitteln einer Datenbanksprache ist es nicht möglich, Werte von Objekten zu Attributbezeichnungen zu wandeln, also Inhalte von Spalten zu Zeilenüberschriften zu konvertieren. Genau das wird aber bei statistischen Vergleichen verlangt. Statistische Analysen benötigen damit eine dynamische Datenstruktur. Weiter benötigen statistische Analysen vollständige Datensätze in Bezug auf einen vorgegebenen Schlüssel.

Gelöst wurden diese Probleme durch die Entwicklung der Programme ERGÄNZEN und MULTITAB. Damit können Datensätze vervollständigt und nötige Umstrukturierungen vorgenommen werden.

3.2.3. Softwareentwicklung

Eine Datenerhebung erfolgt mit möglichst geringem Aufwand. Fälle, in denen Nullen auftreten, werden bei der Erhebung weggelassen. Wenn z.B. Abundanzen verschiedener Arten erfaßt werden sollen, wird man nur die Arten, die in einer Unterprobe gefunden werden, als Datensatz in die betreffende Datei aufnehmen. Für eine Weiterverarbeitung mit einem Statistik-Programmsystem benötigt man aber alle interessierenden Arten. Das Programm ERGÄNZEN vervollständigt einen Datenbestand, indem die nicht vorhandenen Schlüssel eingefügt und die entsprechenden Werte mit Nullen aufgefüllt werden. Somit wird die mühevoll und fehlerträchtige Ergänzung von Hand durch das Programm ersetzt.

MULTITAB dient zur flexiblen Umformung von Daten. Nach einer im Dialog durchgeführten Strukturanalyse können die erhobenen Daten entsprechend den Anforderungen umstrukturiert und in eine Datei geschrieben oder zur direkten Weiterverwendung in die Zwischenablage von Windows gespeichert werden.

3.2.4. Entwicklungsstand

Im Einzelfall werden Tabellen in 3.Normalform, wie sie aus der Relationentheorie bekannt sind, für die Speicherung in dBASE nicht erzwungen. Wenn bei der Normalisierung Tabellen mit nur zwei oder drei Spalten entstehen würden, ist der Aufwand von Sichtenbildung für die weitere Arbeit höher als der Nutzen durch redundanzarme Speicherung. Möglich ist das Vorgehen, weil update-Anomalien nicht auftreten, wenn qualitätsgeprüfte Daten in das System eingehen.

In Zusammenarbeit mit den Teilprojekten wurden gute Strukturierungen gefunden. Allgemein sind Daten gut strukturiert, wenn die zu selektierenden Daten als Werte von Attributen dargestellt werden, also nicht als Attributnamen.

Tabellenstrukturen und zugehörige Beschreibungen bilden eine gemeinsame Basis für den Austausch von Daten und übergeordnete Auswertungen. Da die Datenhaltung einschließlich Metadaten an Fragestellungen gebunden ist, ist eine Darstellung der Metadaten mittels Normung zu restriktiv. Die Beschreibungsdaten werden in Textform als word-Dateien festgehalten.

Die Entwicklung eines eigenen Artenschlüssels für Makrofaunaarten wurde nach Analyse des von der GKSS Geesthacht erstellten Artenschlüssels notwendig. In intensiver Zusammenarbeit mit der Steuergruppe wurde ein numerischer, taxonomischer 8-stelliger Artenschlüssel erstellt und allen Teilprojekten zur Verfügung gestellt.

Ein Datenaustausch in der Synthese soll über dBASE-Struktur als relationale Tabellen erfolgen. Die relationalen Tabellen bilden auch die Basis für die geplante übergeordnete Speicherung in ein Umweltinformationssystem.

3.3. Bereitstellung von Statistik-Software

Die bereits in der Pilotphase der ÖSF beschaffte Statistik-Software wurde den Teilprojekten weiterhin zur Verfügung gestellt. Allerdings wurde die Lizenznahme für das Programmsystem BLUEPACK des Herstellers Geovariances ab dem 30. April 1995 aus Kostengründen aufgegeben.

In der Hauptphase wurden für die Teilprojekte aktualisierte Versionen folgender Statistik-Programme und Statistik-Softwaresysteme bereitgestellt sowie das verfügbare Software-Spektrum durch die Lizenznahme für weitere Produkte ausgebaut:

SYSTAT for DOS in der aktuellen Version 6.0

SYSTAT for Windows in der aktuellen Version 6.0

CANOCO in der Version 3.12 mit CANODRAW in der aktuellen Version 3.0

SAS for Windows ab April 1994, aktuelle Version 6.11

PRIMER ab Oktober 1995, aktuelle Version 4.0.

Insbesondere für komplexere Programmsysteme, wie SYSTAT und SAS, war es unerlässlich, im Zusammenhang mit der Ausleihe dieser Software an Teilprojekte ausführliche Anleitungen für die Installation zu erarbeiten und zur Verfügung zu stellen.

Zu dem Programm CANOCO liegt inzwischen eine überarbeitete Fassung des kurzgefaßten Anwenderhandbuchs vor, das im Kontext des unter 3.4. erwähnten Workshops zum Thema "Korrespondenzanalyse" bereitgestellt worden ist.

Die vorgenannten Statistik-Programme und -Programmsysteme sind von den Teilprojekten angenommen worden, wobei die Anwendung von Ordinationsverfahren, insbesondere von Verfahren der nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung und Gradientenverfahren, wie (kanonische) Korrespondenzanalyse und Hauptkomponentenanalyse, einen Schwerpunkt bildete.

Im Kontext der Arbeiten an den Aufgaben des Datenmanagements wurde eine Lizenz für das Datenbanksystem dBase genommen und laufend aktualisiert. Auf die Ausführungen zur Programmentwicklung in diesem Aufgabenbereich in Abschnitt 3.2. wird verwiesen. Als Softwareentwicklungsumgebung wurde zunächst Borland Pascal, Version 7.0 gewählt und eine Lizenz für dieses Produkt genommen. Diese Lizenz wurde zwischenzeitlich aktualisiert und Borland Delphi als Entwicklungsumgebung für Windows-Programme installiert.

3.4. Schulungsangebote und Workshops

Im Vorfeld der Hauptphase zu ELAWAT fand auf Anregung von Frau Dr. Gätje, Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Tönning, am 27. und 28. September 1993 ein von Dr. Pfeifer durchgeführtes, zweitägiges Statistik-Seminar in der

Biologischen Anstalt Helgoland, Hamburg, statt, das sich an Wissenschaftler/innen sowohl aus dem SWAP-Projekt als auch aus der ÖSF Niedersächsisches Wattenmeer (A- und B-Teil) wendete. In diesem Seminar wurden ausgewählte Themenkreise der Statistik ausführlich behandelt, wie Versuchsplanung, Box- und Whisker-Plots, Clusteranalyse und Ähnlichkeitsmaße, Vergleich von Proben, Varianzanalyse, Regression und Korrelation, Transektverfahren, Analyse von Mustern, Geostatistik und Zeitreihenanalyse.

Vom 09. bis 11. März 1994 fand in Oldenburg die 18. Internationale Jahrestagung der Gesellschaft für Klassifikation e.V. statt, die von Dr. Pfeifer federführend organisiert wurde. Für die in der ÖSF tätigen Wissenschaftler/innen konnte sowohl eine eigene Sektion zum Thema "Spatial Data Analysis" als auch ein spezieller "Workshop on Spatial Data Analysis in Biology and Ecology" eingerichtet werden, der von ca. 50 Teilnehmern/innen aus der ÖSF besucht wurde. Als Hauptreferent konnte auf Vorschlag von Frau Dr. Kröncke (Teilprojekt B6) Herr Prof. Dr. Warwick vom Plymouth Marine Laboratory in Plymouth, UK, gewonnen werden, der in seinem Vortrag "Analysing man's impact on marine communities" ausführlich über die Anwendung von Ordinationsverfahren, speziell der nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung (MDS), in Biologie und Ökologie berichtete. Aus der ÖSF wurden Vorträge beigetragen von Frau Dr. Günter (Teilprojekt B7), Dr. Liebezeit und Kraul (Teilprojekt B1), Langner van Voorst (Teilprojekt B4), Dr. Wilhelm und Frau Tecklenborg (Teilprojekt B10) sowie von Dr. Pfeifer, Frau Ortleb, Frau Dr. Schleier und Dr. Bäumer.

Aufgrund des Vortrags von Herrn Prof. Dr. Warwick wurde von einigen Mitarbeitern/innen aus Teilprojekten der Wunsch nach einer gezielten Einführung in PC-gestützte MDS-Verfahren geäußert, wie sie z.B. das Softwaresystem SYSTAT zur Verfügung stellt. Ein entsprechender ganztägiger Workshop wurde am 20.10.1994 von Frau Dr. Schleier und Dr. Bäumer in den Räumen des Hochschulrechenzentrums der Carl von Ossietzky Universität durchgeführt.

Im Rahmen des ELAWAT-Seminars wurden folgende Beiträge für die beteiligten Teilprojekte angeboten, und zwar am 22.04.1994 eine Literaturübersicht zur Angewandten Statistik und eine Einführung in ausgewählte Statistik-Programmsysteme und -Programme sowie am 03.06.1994 zur Statistische Versuchsplanung, zu Ordinationsverfahren, insbesondere zu MDS und zur Hauptkomponentenanalyse, sowie zum Datenmanagement.

Angeregt durch die im Rahmen von ELAWAT aufgeworfenen Fragestellungen konzipierte Dr. Pfeifer für das SS 1994 eine Vorlesung "Mathematische Ökologie", die von Studierenden der Fachrichtungen Biologie, Physik und Mathematik besucht wurde und einen von Frau Dr. Schleier geleiteten Übungsteil sowie einen von Dr. Bäumer geleiteten Praktikumsteil umfaßte. Diese Veranstaltung wurde im SS 1995 unter dem Titel "Statistische Ökologie" an der Universität Oldenburg und im WS 1995/96 an der Universität Hamburg in modifizierter Form erneut angeboten.

Vom 10. bis 11. Juni 1995 führte Dr. Pfeifer für die Mitarbeiter/innen des Teilprojekts B2 ein internes Schulungsseminar mit dem Thema "Statistische Modellierung mariner Ökosysteme" in der Historisch-Ökologischen Bildungsstätte Papenburg durch. Dabei wurden insbesondere Einsatzmöglichkeiten des Programmsystems MAPLE in der ÖSF vorgestellt und diskutiert.

Ferner wurden in 1995 für alle Teilprojekte am 12. Oktober von Frau Ortleb ein ganztägiger Workshop zu dem Thema "Datenmanagement" und am 14. Dezember von Frau Dr. Schleier und Dr. Bäumer ein ganztägiger Workshop zum Thema "Korrespondenzanalyse" durchgeführt. In beiden Veranstaltungen wurden auch Probleme und Lösungsmöglichkeiten im Umgang mit entsprechender Software, im Fall der Korrespondenzanalyse etwa mit dem Programm CANOCO, anhand ausgewählter Datensätze mit den Teilnehmern/innen an den PC's des Hochschulrechenzentrums der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg behandelt. Den Teilnehmern/innen des jeweiligen Workshops wurde zum Thema umfangreiches Arbeitsmaterial zur Verfügung gestellt.

In 1996 wurden für alle Teilprojekte ganztägige Workshops zu dem Thema "Stabilität und Elastizität: Statistische Tests und Visualisierung" am 15. Mai von Dr. Pfeifer sowie zu dem Thema "PCA, MDS und Diversität" am 22. November von Dr. Bäumer, Dr. Pfeifer und Frau Dr. Schleier jeweils in den Räumen des Forschungszentrums Terramare e.V. Wilhelmshaven veranstaltet. In beiden Workshops wurde auf ausgewählte Datensätze aus Teilprojekten zurückgegriffen, um die statistischen Verfahren, die statistische Datenanalyse und nicht zuletzt die Interpretation der Ergebnisse möglichst anwendungsnah zu präsentieren. Die Teilnehmer/innen der jeweiligen Veranstaltung erhielten als Arbeitsmaterial jeweils ein Manuskript zum Thema.

3.5. Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen außerhalb von ELAWAT

Eine "natürliche" Beziehung des Teilprojekts B2 zum A-Teil der ÖSF bestand durch die zeitweise Teilzeitbeschäftigung von Frau Dr. Schleier im Teilprojekt A4.1 (Umweltbeobachtungsstrategie Benthos) mit den Schwerpunkten "Minimalarealberechnung" und "multivariater Vergleich von Gemeinschaften". Hierzu wurden neue Grundlagen erarbeitet, die auch für Teilprojekte des B-Teils von Bedeutung waren, im Rahmen von ELAWAT erweitert wurden und zu Software-Entwicklungen führten.

Eine weitere Zusammenarbeit entstand 1994 mit dem Teilprojekt A3.2, in dem u.a. die in den letzten Jahren beobachtete Zunahme von Algenblüten - insbesondere der Art *Phaeocystis globosa* - untersucht wurde (vgl. ELBRÄCHTER, RAHMEL & HANSLIK, 1994). Hierzu ist von Dr. Pfeifer ein extremwertstatistisches Verfahren erarbeitet worden, mit dem Trendanalysen auf der Basis der maximalen jährlichen Zellkolonienzahlen sinnvoll durchgeführt werden können.

Durch die im Rahmen von ELAWAT neu entwickelten bzw. angewendeten stochastischen Modelle bzw. statistischen Methoden entstanden viele wissenschaftliche Kontakte über ELAWAT hinaus, die sich als informativ und befruchtend für die Arbeit des Teilprojekts B2 erwiesen. Dies führte zu einer Zusammenarbeit insbesondere mit der ÖSF, Teilvorhaben Schleswig-Holstein, Teil B (SWAP), der Biologischen Anstalt Helgoland, dem Common Secretariat for the Cooperation on the Protection of the Wadden Sea - Trilateral Monitoring and Assessment Group, dem Projekt Risk Analysis of Coastal Nourishment Techniques, dem Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, dem Forschungsinstitut Senckenberg, dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, dem Institut für Vogelforschung, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, der Universität Dortmund - Fachbereich Statistik und der Universität Oldenburg - Fachbereich Biologie und Institut für Chemie und Biologie des Meeres.

Bezüglich Datenmanagement erfolgte eine Zusammenarbeit mit der GKSS, Forschungszentrum Geesthacht GmbH und dem Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung in Rostock.

4. Methoden

Für das wissenschaftliche Consulting wurde vom Teilprojekt B2 orientiert an den inhaltlichen Anforderungen aus den Teilprojekten das Spektrum statistischer Verfahren eingebracht. Die aus der Pilotphase gewonnenen Erkenntnisse über die relevanten Skalen ermöglichten eine Unterstützung der Stichprobenplanung. Zur Datenauswertung wurde schwerpunktmäßig neben den Standardverfahren der deskriptiven und konfirmatorischen univariaten Statistik Unterstützung beim Einsatz explorativer multivariater Verfahren angefordert. Die explorative Statistik stellt Werkzeuge zum "Aufspüren" unbekannter Zusammenhänge, Strukturen und Besonderheiten in den Daten bereit mit dem Ziel, zu Modellen zu kommen und Hypothesen zu generieren (vgl. BOCK, 1980). Dies waren in ELAWAT insbesondere die nichtmetrische multidimensionale Skalierung (COX & COX, 1994), die Hauptkomponentenanalyse (JOHNSON & WICHERN, 1992) und die (kanonische) Korrespondenzanalyse (JONGMAN et al., 1987; GREENACRE, 1984).

Das Datenmanagement erfolgte auf Basis der Theorie relationaler Datenbanken. Dabei wurde eine projektorientierte Struktur der Daten bevorzugt. Somit repräsentiert die physische Datenstruktur die inhaltliche Zusammengehörigkeit der Basisdaten und unterstützt die Datenvalidierung.

Das wissenschaftliche Consulting wurde ergänzt durch die Bereitstellung und Pflege problemspezifischer Statistik-Software in Kombination mit entsprechenden Schulungsmaßnahmen.

Einige Fragestellungen von ELAWAT, die aufgrund eines zu hohen Probenaufwands oder technischer Probleme nicht ausschließlich durch experimentelle Untersuchungen geklärt

werden konnten, wurden mit Methoden der statistischen Modellierung und Simulation bearbeitet, z.B. Thomas-Prozesse, Entmischung von Normalverteilungen.

Die Weiterentwicklung mathematischer Erkenntnisse führte zur Entwicklung neuer stochastischer Modelle auf dem Gebiet der raum-zeitlichen Muster, z.B. zur Modellierung von Rekolonisierung und von Aggregationen in Organismengemeinschaften.

Um die neu erarbeiteten Modelle und Methoden für die Teilprojekte konkret verfügbar zu machen war es erforderlich, sie in Form von Software umzusetzen. Dies hatte die Entwicklung neuer Programme zum Ergebnis.

5. Ergebnisse

5.1. Stochastische Modelle und Softwareentwicklung

Das Teilprojekt B2 hat sich intensiv mit der Entwicklung spezifischer Modelle zur Analyse von Datensätzen aus ELAWAT und zur Simulation ökologischer Szenarien befaßt, die bisher in der Literatur nicht oder nicht für das aktuelle Problem passend behandelt wurden. Anstöße zur Entwicklung dieser Modelle kamen aus den Teilprojekten. Um die aus den neuen Modellen und Methoden resultierenden Verfahren konkret anwendbar zu machen, wurden nach Bedarf zusätzlich zu den im Antrag formulierten Zielstellungen auch Programme zur Simulation stochastischer Prozesse und zur Bearbeitung spezifischer statistischer Aufgaben entwickelt. Diese Arbeiten wurden durch studentische Hilfskräfte unterstützt.

Die folgende Themenkreise, zu denen z.T. eigene Publikationen vorliegen, wurden bisher besonders intensiv untersucht. Angaben zu den einzelnen Programmen sind im Anhang zusammengestellt.

5.1.1. Ein raum-zeitliches stochastisches Modell zur Simulation von Wiederbesiedlung

Die meisten ökologischen Prozesse haben eine zeitliche und eine räumliche Komponente. Die dynamische Veränderung der Standorte von Individuen auf der Wattfläche kann experimentell nur schwer untersucht werden. Unterstellt man aber ein bestimmtes stochastisches Modell für die Wanderung einer Art, z.B. von *Hydrobia ulvae*, dann ist es auch möglich, die Wiederbesiedlung einer verödeten Wattfläche durch Einwanderung aus der besiedelten Umgebung zu simulieren, auf dem Bildschirm zu verfolgen und den Zustand nach einer bestimmten Zeitspanne festzuhalten. Das bereits in der Pilotphase bearbeitete Modell und das zugehörige Simulationsprogramm wurden weiterentwickelt. Geburt, Initialansiedlung, Wanderung und Absterben von Individuen auf dem Wattboden werden als stochastischer Prozeß aufgefaßt, dessen Eigenschaften in der Pilotphase untersucht worden waren (PFEIFER et al., 1993). Das Programm ermöglicht die Simulation des Prozesses, wie in BÄUMER (1994) beschrieben, wobei die Defaunisierung einer ausgewählten rechteckigen Teilfläche zulässig ist (Programm ECOSYS unter DOS in der aktuellen Version 3.0, siehe Anhang - 2).

5.1.2. Entmischung von Normalverteilungen

Mischungen von Verteilungen werden betrachtet, wenn eine Grundgesamtheit sich aus endlich vielen Einzelkomponenten mit unterschiedlichen Verteilungen zusammensetzt. Beispiele dafür sind die Carapaxbreite von *Carcinus maenas* nach Geschlecht und Alter und Schalenlängen von *Mytilus edulis* nach Generation. Auf der Grundlage einer Zusammenstellung der theoretischen Ergebnisse bezüglich Entmischung von Normalverteilungen und der dazugehörigen Algorithmen (BOROVKOV, 1994b) wurde ein adaptives Programm zur Entmischung von Normalverteilungen entwickelt. Es ermöglicht eine flexible Bestimmung der Anzahl der Verteilungskomponenten und die Schätzung ihrer Anteile und Parameter (Programm NORMISCH unter DOS in der aktuellen Version 1.0, siehe Anhang - 3).

5.1.3. Modellierung von Aggregationseffekten benthischer Fauna durch stochastische Netzwerke

Häufig werden im Kontext ökologischer Feldarbeiten die Abundanzen verschiedener Arten in disjunkten Beobachtungsgebieten zu festen Zeitpunkten bestimmt. Als ein Forschungsziel wird verfolgt, den Prozeß der Immigration von Individuen der beobachteten Arten in diese Gebiete, die Wanderung der Individuen zwischen den Beobachtungsgebieten und die Emigration aus dem gesamten Beobachtungsgebiet quantitativ zu beschreiben. Dabei wird angenommen, daß die Verweildauer in einem Beobachtungsgebiet von der individuell verfügbaren Ressource und von der Gesamtanzahl der Individuen beeinflußt wird, die sich bereits im Beobachtungsgebiet aufhalten. Eine typische Fallstudie ist die Prädation ausgewählter Arten von Watvögeln und Möwen im Watt. Die vorgenannten Ausgangsbedingungen sind ähnlich zu der Konfiguration offener stochastischer Netzwerke. Daher wurde im Teilprojekt die Modellierung raumzeitlicher Muster von Organismengemeinschaften als offenes stochastisches Netzwerk bearbeitet. Einzelheiten zu den mathematischen Grundlagen des Modellansatzes sowie zu Anwendungsbereichen sind in BOROVKOV (1994a), BÄUMER et al. (1994) und BOROVKOV et al. (1996) dargestellt (Programm RESONET unter Windows NT in der aktuellen Version 1.0, siehe Anhang - 4).

5.1.4. Dispersionsindex-Test

Zur Beurteilung, ob Individuen auf einer Fläche aggregiert, rein zufällig oder regelmäßig auftreten, ist der Dispersionsindex-Test geeignet, der bereits in der Pilotphase eingeführt worden war (RIPLEY, 1981). Mit dem neu entwickelten Programm können einseitige und zweiseitige Alternativen getestet werden (Programm DISPEX unter WfW in der aktuellen Version 2.0, siehe Anhang - 5).

5.1.5. Ein statistischer Test zum Vergleich von Artengemeinschaften

Um z.B. beim Studium der Wiederbesiedlung von Wattflächen oder beim Vergleich von Begleitfauna mehrere Arten nicht nur summarisch, sondern simultan in ein statistisches

Testverfahren einbeziehen zu können, wurde ein solches Testverfahren, das auf den paarweisen (Un-)Ähnlichkeiten von Unterproben basiert, bezüglich seiner Eigenschaften untersucht (SCHLEIER & BERNEM, 1996; KEITSCH, 1996) und unter Bereitstellung mehrerer (Un-)Ähnlichkeitsmaße programmiert (Programm SPANTREE unter DOS in der aktuellen Version 1.0, siehe Anhang - 6).

5.1.6. Stochastische Modelle zur Stabilität räumlicher Verteilungsmuster benthischer Arten

Ein stochastisches Modell zur "Messung" der Stabilität/Variabilität raum-zeitlicher Muster auf der Basis der Korrelation von Punktprozessen - insbesondere für dicht besiedelte *Lanice conchilega*-Felder - wurde in Absprache mit dem Teilprojekt B9 erarbeitet. Kombiniert mit MDS ist das Modell geeignet, zeitliche Veränderungen räumlicher Muster von Besiedlungsstrukturen statistisch festzustellen und zu visualisieren. In dem Modell wird von einem Poisson-Prozeß ausgegangen, der durch Ein- und Auswanderung von Individuen gestört wird. Die theoretische Korrelation von Ausgangsmuster und gestörtem Muster kann zwar bestimmt werden, aber ihre Verteilung im allgemeinen nicht. Das Programm zur Simulation des Störungsprozesses erzeugt eine empirische Verteilung des Korrelationskoeffizienten. Ein Vergleich der empirischen Korrelation mit dieser simulierten Verteilung ermöglicht einen statistischen Test auf Stabilität (Programm KORRELAT unter Windows in der aktuellen Version 1.0, siehe Anhang - 7).

5.1.7. Modellierung und Auswertung kleinräumiger Verteilungsmuster durch Thomas- und verwandte Prozesse

Aufgrund einer Fragestellung im Teilprojekt B9 wurde eine besonders effiziente Methode zur Analyse von Abundanzdaten benthischer Makro- und Meiofauna in Multicorern durch eine Modifikation von räumlichen Thomasprozeßmodellen gefunden (PFEIFER et al., 1996). Für die Schätzung der Intensitäten des Elternprozesses (=Ansiedlungsorte der Makrofauna) und der Tochterprozesse (=Ansiedlungsorte der Meio- und/oder Mikrofauna) auf der Basis von Quadrat-zählungen wurde ein völlig neuer Ansatz verfolgt, der mit einem Schwellenwertmodell mit überlagerter Rauschkomponente arbeitet, ergänzt durch ein adaptives Schätzverfahren zur Bias-Reduktion. Mit dem im Teilprojekt B2 entwickelten Programm kann eine Realisation eines Thomas-Prozesses auf dem Bildschirm erzeugt werden, wobei die Größe des Multicorers und die Prozeßparameter eingestellt werden können (Programm THOMAS unter DOS in der aktuellen Version 2.1, siehe Anhang - 8).

5.1.8. Stochastische Modelle zur "Minimalareal"-Berechnung

Zum Themenkreis "Minimalareal" wurde ein neuer Zugang unter Verwendung von Methoden der Stochastischen Geometrie und Punktprozeßtheorie geschaffen. Zentrale Idee ist dabei die stochastische Modellierung der räumlichen Verteilungsmuster von (hier: benthischen) Arten und die sukzessive Vergrößerung der Probenfläche, bis erstmalig alle oder ein vorgegebener

Prozentsatz der vorhandenen Arten erfaßt sind. Das resultierende "Minimalareal" ist im mathematischen Sinn eine zufällige kompakte Menge, deren Flächengrößenverteilung explizit bestimmt werden kann, ebenso wie die statistisch wichtigen Größen Erwartungswert und Varianz der Minimalarealfläche (PFEIFER et al., 1996b). Das Modell kann insbesondere zur Überprüfung der Repräsentativität von Probenahmeflächen in einem größeren Zeitrahmen (Langzeitstudien, Monitoring) verwendet werden. Das im Teilprojekt B2 entwickelte Programm benötigt als Eingabe die erwarteten Abundanzen der Arten auf einer normierten Fläche. Ausgabe ist u.a. eine Art-Areal-Kurve, aus der das "Minimalareal" abgelesen werden kann (Programm MINAREA unter DOS in der aktuellen Version 1.2 sowie als MAPLE Worksheet, siehe Anhang - 9). Das auf Ähnlichkeitsindices basierende Verfahren von WEINBERG (1978) wurde erweitert (SCHLEIER & BERNEM, 1997) und das Programm MINA weiterentwickelt (aktuelle Version 1.2).

5.1.9. Diversitätsindices

Diversitätsindices, die auf den Abundanzanteilen beobachteter Arten basieren, wurden unter mathematischen Gesichtspunkten untersucht und ein neuer, flexiblerer Index wurde vorgeschlagen. Da es in der Ökologie meist nicht möglich ist, die exakte Diversität einer Gemeinschaft festzustellen, muß diese aus Stichproben geschätzt werden. Die statistischen Eigenschaften der daraus resultierenden Diversitätsindices wurden untersucht und eine Bias-Reduktion entwickelt.

5.2. Präsentationen

Der interdisziplinäre Ansatz im Teilprojekt B2 erforderte das Einbringen der Modelle und Methoden sowohl in biologische als auch in mathematische Fachkreise. Damit sollte in beiden Disziplinen das Verständnis für die Fragestellungen bzw. Lösungsansätze der jeweils anderen Disziplin gefördert werden.

Außerhalb des Rahmens des ELAWAT-Seminars und der ELAWAT-Workshops wurden die erzielten praktischen und theoretischen Ergebnisse auf folgenden Fachtagungen vorgestellt:

- 18. Internationale Jahrestagung der Gesellschaft für Klassifikation e.V., Oldenburg, 09.-11.3.1994
- Tagung der Internationalen Biometrischen Gesellschaft - Deutsche Region - Arbeitsgruppe Ökologie, Münster, März 1994
- 6. Ebernburger Gespräch zur Umweltsystemanalyse - Umweltinformatik, Bad Münster am Stein, 28.4. - 30.4.1994
- COMPSTAT, 11th Symposium on Computational Statistics, Wien, 22.8. - 26.8.1994
- Internationaler Workshop "The Concept of Ecosystems", Wilhelmshaven, März 1995

- Computer Graphics Technology for the Exploration of the Sea CES '95, Rostock, Mai 1995
- Nordrhein-Westfälisches Kolloquium über Mathematische Statistik, Eröffnungsvortrag, Dortmund, Oktober 1995
- Pfingsttagung der Deutschen Statistischen Gesellschaft, Tübingen, Mai 1996
- Herstkolloquium der Arbeitsgruppen Ökologie und Räumliche Statistik der Internationalen Biometrischen Gesellschaft - Deutsche Region, Oberschleißheim, Oktober 1996
- The 9th International Scientific Wadden Sea Symposium, Norderney, 05.-08.11.1996
- Workshop "Marine Datenhaltung in Deutschland", Hamburg, 10.-11.12.1996
- Tagung "Point Processes and their Applications", Mathematisches Forschungszentrum Oberwolfach, Februar 1997
- Workshop "Disturbances in coastal marine ecosystems", Wilhelmshaven, 03.-06.2.1997.

Weitere Präsentationen erfolgten anlässlich verschiedener Kolloquien auf Einladungen an die Universitäten Bochum, Dortmund, Gießen, Hamburg, Köln, Ulm und Prag, an das ICBM und an die GKSS, sowie anlässlich verschiedener Workshops der Trilateral Monitoring and Assessment Group und eines Workshops des Projektes "Risk Analysis of Coastal Nourishment Techniques".

Dr. Pfeifer konzipierte für das SS 1994 eine Vorlesung "Mathematische Ökologie", die im SS 1995 unter dem Titel "Statistische Ökologie" an der Universität Oldenburg und im WS 1995/96 an der Universität Hamburg in modifizierter Form erneut angeboten wurde und hielt im SS 1996 an der Universität Hamburg eine Vorlesung "Stochastische Geometrie", in der die statistische Analyse raum-zeitlicher Verteilungsmuster einen besonderen Schwerpunkt bildete. Auf Einladung der Biologischen Anstalt Helgoland führte Dr. Pfeifer dort im November 1996 ein Statistikseminar durch.

5.3. Diplomarbeiten und Dissertationen

Es wurden mehrere Diplom- bzw. Staatsexamensarbeiten an Studierende der Mathematik vergeben, deren Inhalte in direktem Bezug zu im Teilprojekt B2 behandelten Modellen standen und deren Ergebnisse sich positiv auf die Weiterentwicklung der schon oben dargestellten theoretischen Konzeptionen auswirkten.

Betreuer: Dr. Pfeifer, Oldenburg/Hamburg

Michael Posch: Untersuchungen zu strukturellen Eigenschaften stochastischer Siedlungsprozesse (1994). Diplomarbeit.

Carsten Poppinga: Räumliche Geburts- und Todesprozesse (1994). Diplomarbeit.

Stefan Laudien: Eine modifizierte PCQ-Methode mit minimaler Schätzvarianz (1995).
Staatsexamensarbeit.

Thomas Grundmann: Parameterschätzungen für Thomas- und verwandte Prozesse auf der
Basis von Quadratanzahlungen (1996). Diplomarbeit.

Jens Noltmann: Zum Minimalareal-Problem in der Statistischen Ökologie (1997).
Staatsexamensarbeit.

In Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Statistik - Fachgebiet Ökologie an der Universität
Dortmund, Betreuer: Prof. Dr. Urfer

Arndt Keitsch: Ein multivariater nichtparametrischer Test für den Vergleich von
Besiedlungsstrukturen im Watt (1996). Diplomarbeit.

Frau Ortleb begann im Rahmen ihrer Tätigkeit im Teilprojekt B2 ihre Promotion am
Fachbereich Mathematik der Universität Oldenburg bei Dr. Pfeifer mit dem Arbeitstitel
"Modellierung problembezogener statistischer Daten am Beispiel raum-zeitlicher Muster von
Organismengemeinschaften".

Bei der Dissertation eines Mitarbeiters aus dem Teilprojekt B4 ist Dr. Pfeifer Korreferent.

6. Diskussion

6.1. Diskussion statistischer Modelle und Methoden

Eine herausragende Rolle spielten im Rahmen des wissenschaftlichen Consulting die
explorative Statistik. WARWICK & CLARKE (1991) legten eine umfassende Strategie zur
Analyse biologischer Gemeinschaftsdaten vor, die in ihrem multivariaten Teil aus MDS,
Hauptkomponentenanalyse und hierarchischer Clusteranalyse besteht. Das Programmsystem
PRIMER, das vor diesem Hintergrund entwickelt wurde, gehört inzwischen zu den Standard-
Auswertesystemen vieler Teilprojekte. Mit der Verwendung dieses Programmsystems
einhergegangen ist auch die häufige Wahl des Bray-Curtis-Index für Verfahren, die auf
(Un-)Ähnlichkeiten basieren. Das Teilprojekt B2 hat weitere (Un-)Ähnlichkeitsmaße mit ihren
spezifischen Eigenschaften für die Charakterisierung von Gemeinschaftsdaten vorgestellt
(PFEIFER et al., 1996a). Die Entwicklung des Programms SPANTREE ist auch vor diesem
Hintergrund zu sehen. In Workshops wurde auf die Nachteile der hierarchischen
Clusteranalyse hingewiesen, insbesondere auf die starke Einschränkung auf Daten mit
hierarchischer Struktur (KAUFMAN & ROUSSEEUW, 1990). Dieser Aspekt wird bei der
Anwendung von Verfahren der hierarchischen Clusteranalyse häufig nicht berücksichtigt. Eine
zweite Gruppe explorativer multivariater Verfahren, zu der u.a. die (kanonische)
Korrespondenzanalyse gehört, hat sich ebenfalls beim Einsatz in der Ökologie vielfach bewährt
(GAMITO & RAFFAELLI, 1992; JONGMAN et al., 1987; PALMER, 1993). Ihr
Hauptnachteil besteht darin, daß sie implizit auf euklidischen Distanzen basieren, so daß die

Darstellung des Ergebnisses im Ordinationsdiagramm und die Quantifizierung des Einflusses externer Variabler oft im wesentlichen das Verhalten der häufigsten Arten widerspiegelt. Jede der multivariaten Techniken hat ihre Vor- und Nachteile und muß im Kontext der ökologischen Fragestellung ausgewählt werden. Häufig ist es ratsam, mehrere Verfahren anzuwenden, um die Daten unter verschiedenen Aspekten zu analysieren.

Die Anzahl der erforderlichen Unterproben bzw. das erforderliche Ausmaß der Beprobungsfläche ist ebenfalls eine immer wiederkehrende Frage in der experimentellen Ökologie. Von z.B. KERSHAW (1973) und PIELOU (1977) wurden Art-Areal-Kurven zur Ermittlung des erforderlichen Probenumfangs verwendet. Ihre mathematische Basis wurde von PFEIFER et al. (1996d) untersucht, das Verfahren wurde von SCHLEIER & BERNEM (1997) durch statistische Überlegungen ergänzt. Von WEINBERG (1978), weitergeführt durch KRONBERG (1987), kam ein Verfahren hinzu, das auf Ähnlichkeitsindices basiert. Dieses Verfahren wurde im Teilprojekt B2 erweitert, z.T. korrigiert (SCHLEIER & BERNEM, 1997) und durch das Programm MINA (Version 1.2) realisiert. Das in 5.1.8. beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Probefläche ermöglicht erstmals eine Wahrscheinlichkeitsaussage über das Ergebnis, da es auf einem stochastischen Modell beruht. Ein entsprechendes Modell für die repräsentative Erfassung der Abundanzen einer Artengemeinschaft steht noch aus.

Für Anwendungen in der Ökologie steht mittlerweile eine große Anzahl numerischer Verfahren zur Verfügung (z.B. PIELOU, 1984; LUDWIG & REYNOLDS, 1988; LEGENDRE & LEGENDRE, 1983, 1987). Es besteht die Gefahr, daß ein Verfahren durch den erfolgreichen Einsatz bei der Behandlung einer bestimmten Fragestellung zu dem stets anzuwendenden Verfahren erklärt wird, um im Fall einer weniger erfolgreichen Anwendung als insgesamt untaugliches Verfahren verworfen zu werden. Es bedarf allgemeiner Entscheidungskriterien, die das Einordnen von Verfahren über die beiden Kategorien tauglich-untauglich hinaus ermöglichen. Entscheidungskriterien sind aus Sicht der Angewandten Statistik die statistischen Eigenschaften der Verfahren. Sie erlauben es, von der Anwendung des Verfahrens auf einen bestimmten Datensatz zu abstrahieren und damit Regeln für die Eignung eines Verfahrens im ökologischen Kontext zu erarbeiten.

6.2. Entwicklung des Teilprojekts B2

Während der gesamten Laufzeit des Forschungsvorhabens wurde das wissenschaftliche Consulting, das von dem Teilprojekt B2 für die anderen Teilprojekte in ELAWAT angeboten wurde, von den Mitarbeitern/innen dieser Teilprojekte stark nachgefragt. In Abhängigkeit von dem Entwicklungsstand der Forschungsarbeiten in den Teilprojekten verlagerten sich dabei die Anforderungen aus den Teilprojekten und damit die methodischen Schwerpunkte für das Consulting. Diesen Veränderungen in den Anforderungen hat das Teilprojekt B2 konzeptionell auch in Bezug auf das Angebot des wissenschaftlichen Consulting Rechnung getragen.

Anfangs stand die Diskussion der Fragestellungen, der Forschungshypothesen sowie der Probleme des experimentellen Designs und der Versuchsplanung im Zentrum. Dabei gelang es den Beteiligten auch, im gemeinsamen Gespräch einzelne Fragestellungen und Forschungshypothesen weitergehend zu präzisieren. Mit zunehmenden Fortschritt in der Ausführung der Freilandarbeiten traten die Probleme der Datenaufbereitung und der statistischen Auswertung der Daten in den Vordergrund. In diesem Kontext konnte auf einige vorbereitete Prototypen der statistischen Auswertung von Daten, die von dem Teilprojekt B2 in Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten durchgeführt worden waren, zurückgegriffen werden, um die Mitarbeiter/innen weiterer Teilprojekte bei der statistischen Datenanalyse zu unterstützen. In der Abschlußphase konzentrierte sich das wissenschaftliche Consulting zunehmend auf Fragen nach der substanzwissenschaftlichen Interpretation der Ergebnisse statistischer Datenanalysen und dabei insbesondere auf die Zulässigkeit substanzwissenschaftlicher Aussagen auf der Basis statistischer Resultate. Damit wurde auch der bevorstehenden Synthesephase zugearbeitet.

Aus den Gesprächen, die insbesondere im Rahmen des wissenschaftlichen Consulting geführt worden sind, resultierten für das Teilprojekt B2 wesentliche Impulse, neue statistische Verfahren zu entwickeln und als Software zu implementieren, um verschiedene Fragestellungen aus den Teilprojekten überhaupt einer statistischen Analyse zugänglich zu machen. Unter 5.1. ist zusammenfassend über die statistischen Verfahren berichtet worden, die im Teilprojekt B2 weiterentwickelt oder neu geschaffen worden sind. Ferner sind dort die Programme zusammengestellt worden, die als Softwarewerkzeuge für die anderen Teilprojekte entwickelt und zur Verfügung gestellt worden sind. Wie unter 5.2. detailliert ausgeführt worden ist, sind diese Neuerungen auf dem Gebiet der Angewandten Statistik in unterschiedlichem fachwissenschaftlichem Rahmen vorgestellt worden, um Anregungen in die Fachdisziplin hineinzutragen und um damit die Basis für Neu- und Weiterentwicklungen von statistischen Verfahren und Softwarewerkzeugen zu verbreitern, die im Kontext ökologischer Probleme anwendungsrelevant sind. Andererseits hat sich die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Teilprojekten und dem Teilprojekt B2 auch in sofern als fruchtbar erwiesen, daß substanzwissenschaftliche Anwendungen statistischer Verfahren weiterentwickelt worden sind. Als ein Beispiel dazu sei das "Eichen" der Endkonfiguration als Ergebnis einer MDS im Teilprojekt B4 angeführt.

Insgesamt hat sich im Teilprojekt B2 der Eindruck verdichtet, daß neben dem wissenschaftlichen Consulting und den verschiedenen Schulungsmaßnahmen zu der Anwendung statistischer Verfahren sowie zu dem effizienten Umgang mit statistischer Software ein verstärkter Transfer mathematisch-statistischer Modelle in die substanzwissenschaftliche Arbeit in ELAWAT nicht nur sinnvoll, sondern auch notwendig war. Solche Modelle können nämlich nicht nur - wie beispielsweise im Fall der Analyse kleinräumiger Verteilungsmuster auf der Basis von Multicorer-Proben - "maßgeschneiderte"

Verfahren für spezifische Fragestellungen bereitstellen, sondern auch grundsätzliche Beiträge zum Systemverständnis durch statistische Simulation ökologischer Szenarien dort liefern, wo Feldarbeiten nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich sind.

Die positive interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Teilprojekten und dem Teilprojekt B2 hat dazu geführt, daß zwischen dem Institut für mathematische Stochastik der Universität Hamburg und dem Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) der Universität Oldenburg sowie zwischen dem Institut für mathematische Stochastik der Universität Hamburg und dem Hochschulrechenzentrum der Universität Oldenburg Kooperationsverträge mit dem Ziel geschlossen worden sind, auch künftig die Zusammenarbeit in Forschung und Lehre zu fördern, insbesondere in Bezug auf statistische Modellierung und Analyse von Mustern und Prozessen im Küstenbereich sowie der Entwicklung der dazu erforderlichen Methoden. In diesem Kontext wird von Dr. Pfeifer bereits im SS 1997 die Vorlesung "Statistische Verfahren der marinen Ökologie" im Rahmen des Studiengangs Marine Umweltwissenschaften angeboten werden.

7. Schlußfolgerungen

Das Teilprojekt B2 hat sich als substantiell wichtiger Bestandteil für alle an ELAWAT beteiligten Teilprojekte erwiesen. Die im Antrag zur Hauptphase B des Teilprojekts B2 formulierten Gesamtziele sind in vollem Umfang eingelöst worden:

Wie bereits zu Ziffer 3.1. "Wissenschaftliches Consulting" dargelegt worden ist, hat sich das Angebot eines statistischen Consulting auch in der Hauptphase B gut etabliert. Das wissenschaftliche Consulting ist von den Teilprojekten stark nachgefragt worden. Als ergänzende Leistung zu diesem Consultingangebot war zugesichert worden, Schulungsmaßnahmen und Workshops auf dem Gebiet der Angewandten Statistik für alle Teilprojekte durchzuführen. Die Transferleistungen, die das Teilprojekt B2 in diesem Zusammenhang erbracht hat, sind unter Ziffer 3.4. "Schulungsangebote und Workshops" behandelt worden. Wie bereits in diesem Kontext erläutert worden ist, haben die Mitarbeiter/innen aus den Teilprojekten dieses Angebot aufgegriffen und sich rege an diesen Veranstaltungen beteiligt. Insgesamt haben sich sowohl wissenschaftliches Consulting als auch Workshops als gut brauchbar und effizient für die Forschung in den Teilprojekten erwiesen. Von dem Teilprojekt B2 wird dieser Teil der interdisziplinären Zusammenarbeit als außerordentlich fruchtbar und wissenschaftlich anregend für alle beteiligten Teilprojekte beurteilt.

Ein einheitliches System der Datenhaltung für alle Teilprojekte ist von dem Teilprojekt B2 entwickelt und bereitgestellt worden. Einzelheiten dazu sind unter Ziffer 3.2. "Datenerfassung und Datenmanagement" ausführlich berichtet worden. Damit sind von dem Teilprojekt B2 die

Voraussetzungen dafür geschaffen worden, um teilprojektübergreifend statistische Datenanalysen konsistent durchzuführen.

Während der Laufzeit sind im Teilprojekt B2 stochastische Modelle und statistische Verfahren zur Beschreibung und Analyse von raum-zeitlichen Mustern und Prozessen, wie sie von den beteiligten Teilprojekten untersucht worden sind, (weiter-)entwickelt und erprobt worden. Unter Ziffer 5.1. "Stochastische Modelle und Softwareentwicklung" sind diese Leistungen des Teilprojekts B2 zusammengestellt und die dazu korrespondieren, im Teilprojekt B2 entwickelten Software-Werkzeuge kurzgefaßt vorgestellt worden. Nach der Beurteilung des Teilprojekts B2 hat sich die (Weiter-)Entwicklung und Erprobung stochastischer Modelle und statistischer Verfahren im Kontext von ELAWAT als sinnvoll und notwendig herausgestellt.

In Bezug auf die Schwerpunkte für eine vertiefte substanzwissenschaftliche Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten, die nach dem Antrag zur Hauptphase B vorgesehen waren, hat sich im Verlauf des Forschungsprojekts eine geringfügig modifizierte Gewichtung ergeben. Verstärkt hat sich eine vertiefte substanzwissenschaftliche Zusammenarbeit mit den Teilprojekten B3, B4 und B5.

Für die Synthesephase wird ein erhöhter Bedarf an wissenschaftlichem Consulting im Hinblick auf die teilprojektübergreifende statistische Analyse experimenteller Ergebnisse aus den Teilprojekten erwartet. Die vom Teilprojekt B2 erarbeiteten Vorschläge zur Anwendung etablierter statistischer Verfahren in den Teilprojekten sowie die im Teilprojekt B2 (weiter-)entwickelten stochastischen Modelle und statistischen Verfahren werden sich in der Synthesephase auch teilprojektübergreifend einsetzen lassen und damit einen Beitrag zu einem verbesserten Gesamtverständnis des Ökosystems Wattenmeer leisten.

8. Literatur

8.1. Zitierte externe Literatur

BOCK, H.H. (1980): Explorative Datenanalyse. In: VICTOR,N.; LEHMACHER,W. & EIMEREN, W. VAN (Hrsg.): Explorative Datenanalyse. Springer, Berlin, 6-37.

COX, T.F. & COX, M.A.A. (1994): Multidimensional scaling. Chapman&Hall, London.

ELBRÄCHTER, M.; RAHMEL, J. & HANSLIK, M. (1994): Phaeocystis im Wattenmeer. In: LOZÀN, J.L.; RACHOR, E.; REISE, K. & WESTERNHAGEN,V. (Hrsg.): Warnsignale aus dem Wattenmeer, Blackwell, Berlin, 87 - 90.

FRIEDMAN, J.H. & RAFSKY, L.C. (1979): Multivariate generalizations of the Wald-Wolfowitz and Smirnov two-sample tests. The Annals of Statistics 7, 697-717.

GAMITO, S. & RAFFAELLI, D. (1992): The sensitivity of several ordination methods to sample replication in benthic surveys. Journal of Experimental Biology and Ecology 164, 221-232.

- GREENACRE, M.J. (1984): Theory and applications of correspondence analysis. Academic Press, London.
- HILGERLOH, G. (1993): Auswirkungen des Fraßdruckes auf die Miesmuschelbestände. 2. Zwischenbericht des Teilprojekts A3.4 der Ökosystemforschung Niedersächsisches Wattenmeer. UFOPLAN-Nr. 10802085/21, 283-307.
- JAMES, F.C. & MCCULLOCH, C.E. (1990): Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's box? *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 21, 129-166.
- JOHNSON, R.A. & WICHERN, D.W. (1992): Applied multivariate statistical analysis. Prentice Hall, London.
- JONGMAN, R.H.G., TER BRAAK, C.J.F. & TONGEREN, O.F.R. VAN (1987): Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc, Wageningen.
- KAUFMAN, L. & ROUSSEEUW, P.J. (1990): Finding groups in data. Wiley, New York.
- KEITSCH, A.F. (1996): Ein multivariater nichtparametrischer Test für den Vergleich von Besiedlungsstrukturen im Watt. Diplomarbeit, Universität Dortmund.
- KERSHAW, K.A. (1973): Quantitative and dynamic plant ecology. Edward Arnold, London.
- KRONBERG, I. (1987): Accuracy of species and abundance minimal areas determined by similarity area curves. *Marine Biology* 96, 555-561.
- LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. (1983): Numerical ecology. Elsevier, Amsterdam.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. (1987): New developments in numerical ecology. Springer, Berlin.
- LUDWIG, J.A. & REYNOLDS, J.F. (1988): Statistical ecology. Wiley, New York.
- PALMER, M.W. (1993): Putting things in even better order: Advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology* 74, 2215-2230.
- PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P. & ALBRECHT, M. (1993): Moving point patterns - the Poisson Case. In: OPITZ, O.; LAUSEN, B. & KLAR, R. (Eds.): Information and classification. Concepts, methods, and applications. Springer, Berlin, 248-257.
- PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P. & ALBRECHT, M. (1994): Beiträge der Angewandten Statistik zur Bearbeitung von Maßstabsfragen und zur Versuchsplanung für die Untersuchung räumlicher Strukturen und dynamischer Vorgänge im Watt. In: Geschäftsstelle Ökosystemforschung Wattenmeer, Umweltbundesamt (Hrsg.): 3. Wissenschaftliches Symposium Ökosystemforschung Wattenmeer, Norderney, 15.-18.11.1992, Nr. 4, Band 2, 117-120.
- PIELOU, E.C. (1977): Mathematical Ecology. Wiley, New York.

PIELOU, E.C. (1984): The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination. Wiley, New York.

RIPLEY, B.D. (1981): Spatial statistics. Wiley, New York.

WARWICK, R.M. & CLARKE, K.R. (1991): A comparison of some methods for analysing changes in benthic community structure. *Journal of the Marine Biological Association of the U.K.* 71, 225-244.

WEINBERG, S. (1978): The minimal area problem in invertebrate communities of mediterranean rocky substrata. *Marine Biology* 48, 33-40.

8.2. Veröffentlichungen des Teilprojekts B2

BÄUMER, H.-P. (1994): Stochastic simulation of dynamic point patterns. In: FAULBAUM, F. (Ed.): *SoftStat '93: Advances in Statistical Software 4*. G. Fischer, Stuttgart, 145 - 152.

BÄUMER, H.-P.; ORTLEB, H.; PFEIFER, D. & SCHLEIER, U. (1994): Stochastic modelling of spatial dynamic patterns. Applications in ecology. In: DUTTER, R. & GROSSMANN, W. (Eds.): *COMPSTAT. Proceedings in Computational Statistics. 11th Symposium, Vienna 1994*. Physica, Heidelberg, 120 - 125.

BOROVKOV, K. (1994a): Modeling dynamics of biological populations by stochastic networks. Technical Report, Universität Oldenburg.

BOROVKOV, K. (1994b): Decomposing mixtures of distributions: Techniques for the statistical analysis of mussel populations. Technical Report, Universität Oldenburg.

BOROVKOV, K. & PFEIFER, D. (1995): On record indices and record times. *Journal of Statistical Planning and Inference* 45, 65-79.

BOROVKOV, K.; PFEIFER, D. & BÄUMER, H.-P. (1996): Modeling dynamics and spatial aggregation of biological populations by stochastic networks. *Senckenbergiana maritima* 27, 129-136.

ORTLEB, H. (1997): Bericht zum Workshop Marine Datenhaltung in Deutschland. DGM-Mitteilungen 1/1997 (im Druck).

PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P.; ORTLEB, H. & SCHLEIER, U. (1995a): The index-of-dispersion test revisited. In: GAUL, W. & PFEIFER, D. (Eds.): *From data to knowledge*, Springer, New York, 270-277.

PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P.; SCHLEIER, U. & DE VALK, V. (1995b): Recommendations on the use of statistics in benthos monitoring. *Texte zur Statistischen Ökologie, Institut für Mathematische Stochastik der Universität Hamburg, Bericht No. 4/95* (8 pp + Anhang [15 pp.]

PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P.; DEKKER, R. & SCHLEIER, U. (1996a): Statistical tools for monitoring benthic communities. Texte zur Statistischen Ökologie, Institut für Mathematische Stochastik der Universität Hamburg, Bericht Nr. 2/96 (17 pp).

PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P.; ORTLEB, H.; SACH, G. & SCHLEIER, U. (1996b): Modeling spatial distributional patterns of benthic meiofauna species by Thomas and related processes. *Ecological Modelling* 87, 285-294.

PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P. & SCHLEIER, U. (1996c): The "minimal-area" problem in ecology: a spatial Poisson process approach. *Computational Statistics* 11, 415-428.

PFEIFER, D.; BÄUMER, H.-P.; SCHLEIER, U. & DE VALK, V. (1996d): Grundzüge der Statistischen Ökologie. Texte zur Statistischen Ökologie, Institut für Mathematische Stochastik der Universität Hamburg, Bericht Nr. 1/96 (86 pp).

SCHLEIER, U.; BÄUMER, H.-P.; ORTLEB, H. & PFEIFER, D. (1995): Ein multivariater nichtparametrischer Test für den Vergleich von Besiedlungsstrukturen im Watt. In: Tagungsberichte der Arbeitsgruppe Ökologie, Deutsche Region der Internationalen Biometrischen Gesellschaft, Heft 6, 71-74.

SCHLEIER, U. & BERNEM, K.-H. VAN (1996): A method to compare samples of soft bottom communities. *Senckenbergiana maritima* 26, 135-144.

SCHLEIER, U. & BERNEM, K.-H. VAN (1997): Statistical methods to determine sample size for the estimation of species richness and species' abundances in benthic communities. Erscheint in: *Archive of Fishery and Marine Research*.

Anhang

Beschreibung der entwickelten Software

Programm ECOSYS

Programm NORMISCH

Programm RESONET

Programm DISPEX

Programm SPANTREE

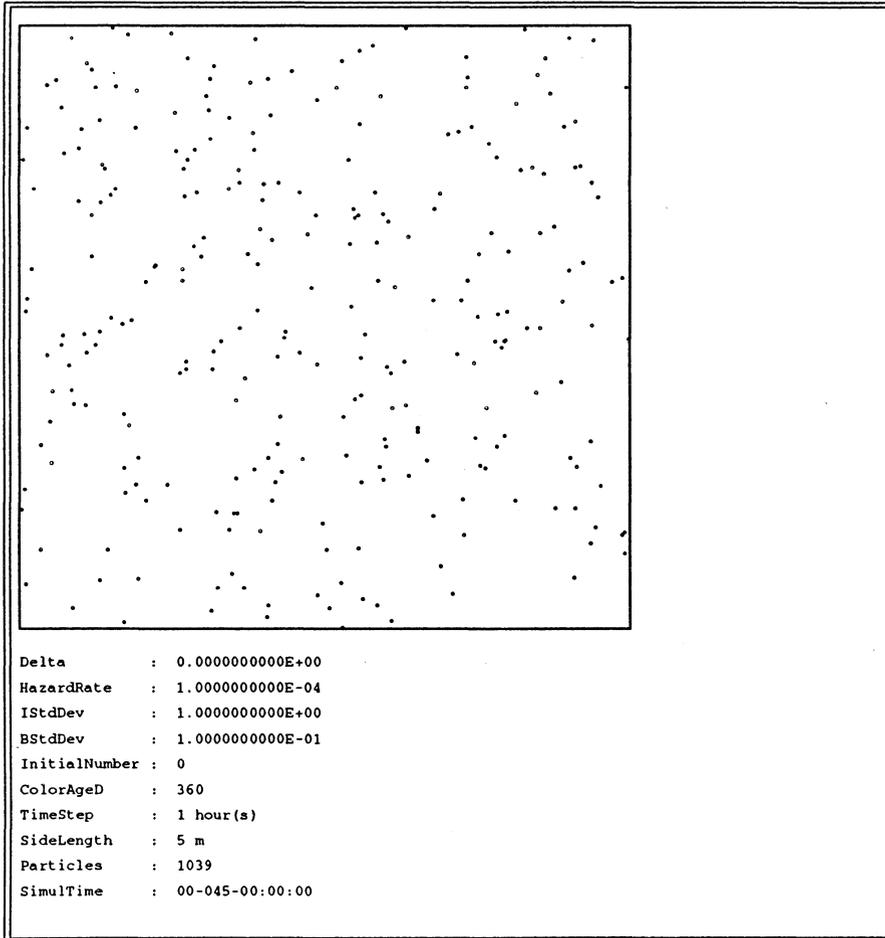
Programm KORRELAT

Programm THOMAS

Programm MINAREA

Programm ECOSYS (DOS-Version 3.1)
Simulation eines dynamischen Poisson-Prozesses

Geburt, Initialansiedlung, Wanderung und Absterben von Individuen einer Art; Verödung eines rechteckigen Teilgebiets zulässig



Mathematische Grundlagen

Pfeifer, D., Bäumer, H.-P., and Albrecht, M. (1993): Moving Point Patterns: the Poisson Case. (pp. 248-257) In Opitz, O., Lausen, B., and Klar, R. (eds.): Information and Classification. Concepts, Methods, and Applications. Proceedings of the 16th Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation e.V.. Dortmund, April 1-3, 1992. Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization. Berlin etc.: Springer

Anwendungen

Wiederbesiedlung experimentell verödeter Versuchsfächen durch *Hydrobia ulvae*

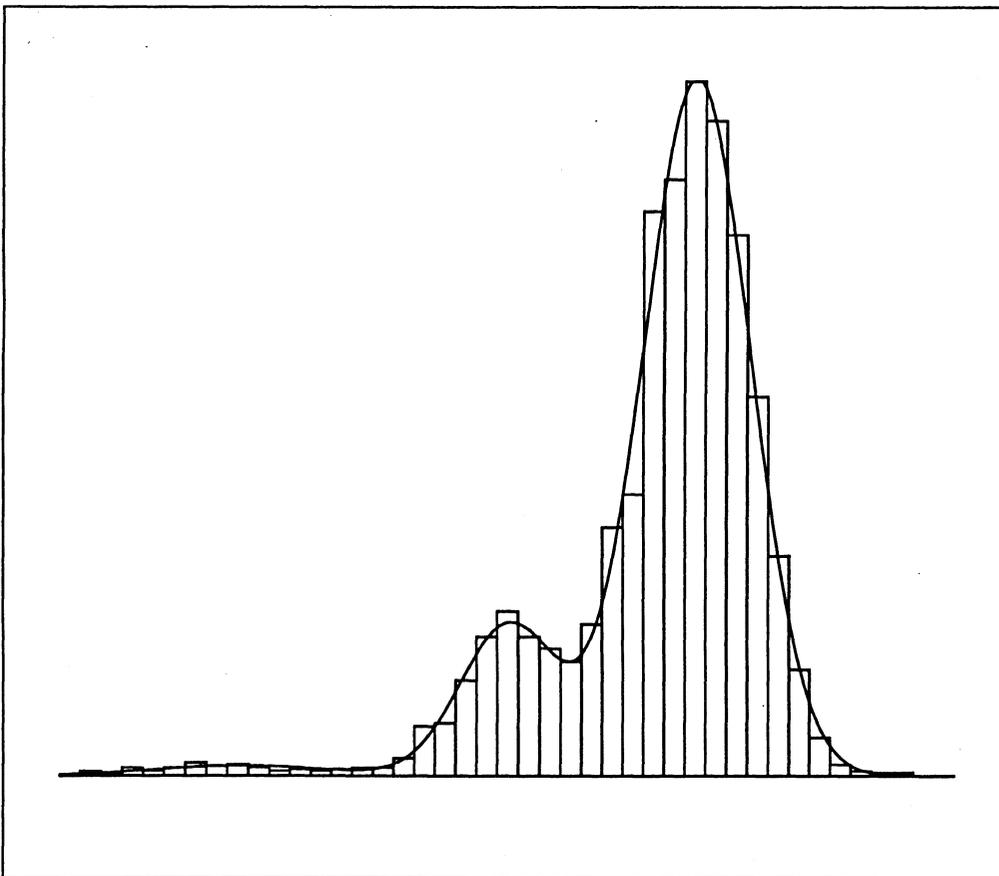
s.a. Bäumer, H.-P. (1994): Stochastic Simulation of Dynamic Point Patterns. (pp. 145-152) In Faulbaum, F. (ed.): SoftStat '93. Advances in Statistical Software 4. The 7th Conference on the Scientific Use of Statistical Software. Heidelberg, March 14-18, 1993. Stuttgart etc.: Fischer

Wesentliche Software-Merkmale

Mit Borland Pascal 7.0 entwickeltes Programm; lauffähig unter MS-DOS

Programm NorMisch (DOS-Version 1.0)
Anpassung einer Mischung von Normalverteilungen an Daten

Das Programm schätzt die Anzahl der Verteilungskomponenten, deren Erwartungswerte, Varianzen und Anteile an der Gesamtverteilung nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip



Theoretische Grundlagen

Ausgehend von Anfangswerten, die das Programm aus dem Histogramm erzeugt oder aus der Eingabe einliest, werden durch einen iterativen Algorithmus die Parameter geschätzt. Über die Breite der Histogrammintervalle, den Rauschanteil und die maximale Anzahl der Verteilungskomponenten läßt sich das Programm flexibel steuern.

Literatur: Borovkov, K. (1994): Decomposing mixtures of distributions: Techniques for the statistical analysis of mussel populations. Technical Report, Universität Oldenburg.

Anwendungen

Die Grafik zeigt das Histogramm von 3471 Muschelschalenlängen, erhoben von Frau Dr. Hilgerloh im Rahmen der ÖSF, veröffentlicht in: ÖSF Niedersächsisches Wattenmeer, Hauptphase A, Zwischenbericht 1/93-6/93 des Teilprojekts A3.4.

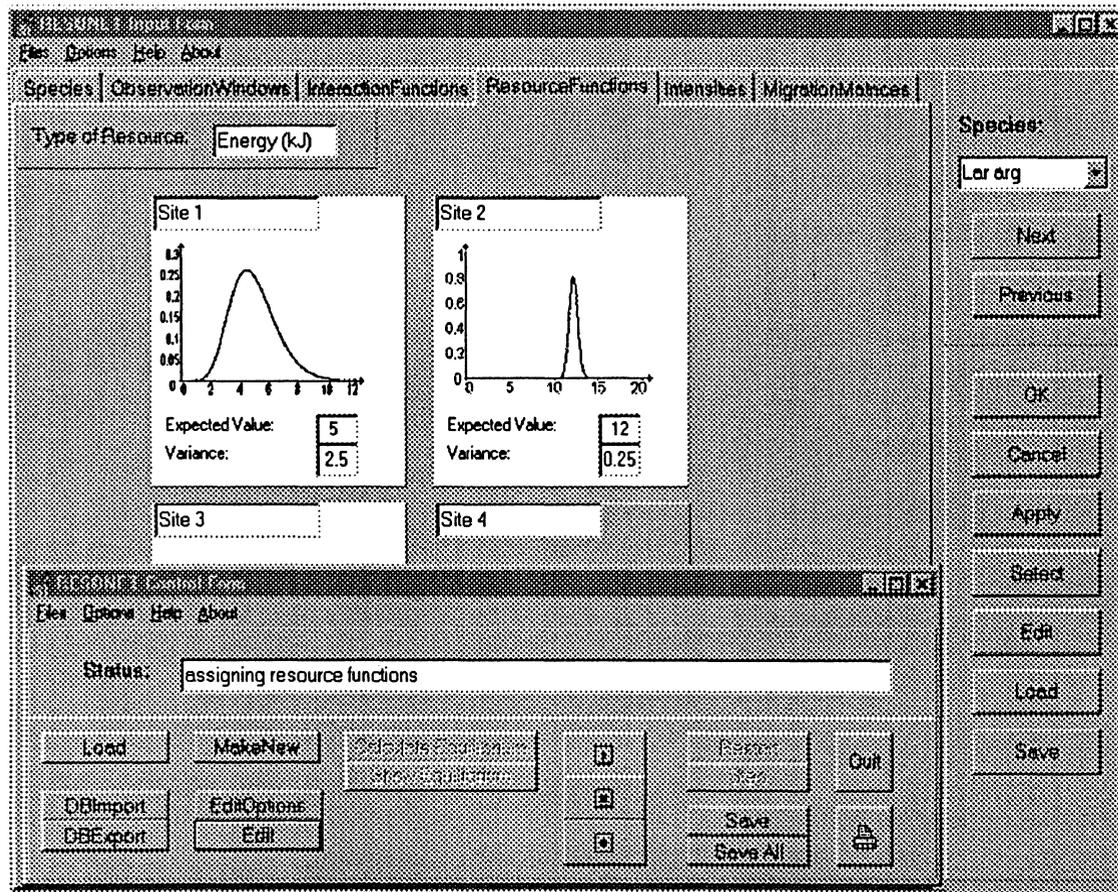
Wesentliche Software-Merkmale

Mit Turbo Pascal 7.0 entwickeltes Programm;
lauffähig unter MS DOS und WINDOWS 3.1

Programm *RESONET* (Windows NT-Version 1.0)

Modellierung raum-zeitlicher Muster von Organismengemeinschaften als stochastisches Netzwerk

Immigration von Individuen ausgewählter Arten in Beobachtungsgebiete, **Wanderung** zwischen diesen Arealen und **Emigration** aus dem Gesamtbeobachtungsgebiet, wobei die Verweildauer in einem Beobachtungsgebiet von der individuell verfügbaren Ressource und von der Gesamtzahl der Individuen beeinflusst wird, die sich bereits im Beobachtungsgebiet aufhalten



Mathematische Grundlagen

Borovkov, K., Pfeifer, D., and Bäumler, H.-P. (1996): Modeling Dynamics and Spatial Aggregation of Biological Populations by Stochastic Networks. *Senckenbergiana maritima*, 27, 129-136

Anwendungen

Nahrungssuche und -erwerb von Wat- und Wasservögeln im Rückseitenwatt der Insel Spiekeroog

s.a. Bäumler, H.-P. (1994): Räumliche Aggregation und stochastische Netzwerke. (S. 63) In *ÖSF Hauptphase B (ELAWAT)*. 1. Statusseminar, Kurzfassungen der Beiträge. Wilhelmshaven, 1.-2. Dezember 1994

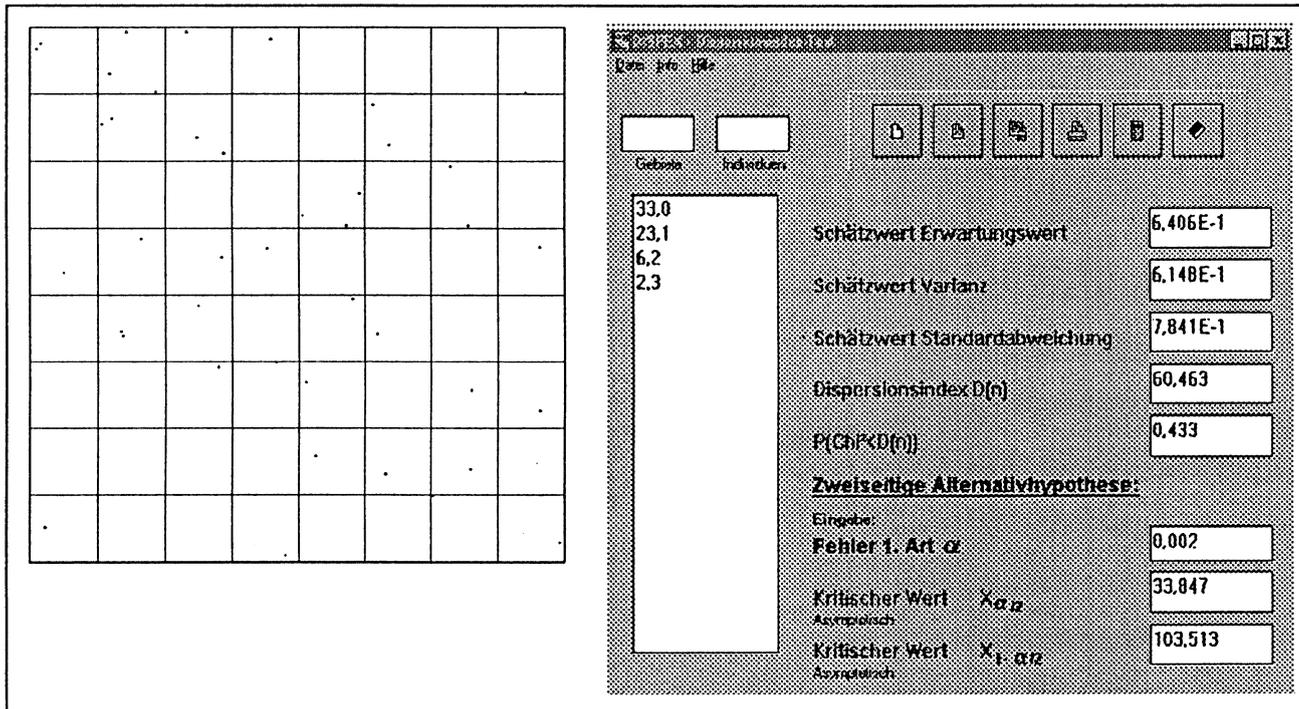
Wesentliche Software-Merkmale

Mit Borland Delphi 2.0 entwickeltes Programm; lauffähig unter Windows NT, Version 4.0

Programm DISPEX (Windows-Version 2.0)

Durchführung des Dispersionsindex-Tests bei zweiseitiger Alternativhypothese

Nullhypothese: Die beobachtete Anzahl von Objekten in jeder Teilfläche eines Gebiets ist von einem homogenen Poisson-Prozeß erzeugt worden



B2 - Anhang - 5

Mathematische Grundlagen

Ripley, B.D. (1981): Spatial Statistics. New York etc.: Wiley, S. 102 ff.

Anwendungen

Anzahl Wohnröhren von *Arenicola marina* in quadratischen Teilgebieten eines Siedlungsareals

s.a. Pfeifer, D. Bäumer, H.-P. und Albrecht, M. (1994): Beiträge der Angewandten Statistik zur Bearbeitung von Maßstabsfragen und zur Versuchsplanung für die Untersuchung räumlicher Strukturen und dynamischer Vorgänge im Watt. (S. 156) In Umweltbundesamt, Geschäftsstelle Ökosystemforschung Wattenmeer (Hrsg.): Berichte aus der Ökosystemforschung. 3. Wissenschaftliches Symposium Ökosystemforschung Wattenmeer. Norderney, 15.- 18. November 1992. Band 2 - Poster

Wesentliche Software-Merkmale

Mit Borland Delphi 1.0 entwickeltes Programm; lauffähig unter Windows für Workgroups, Version 3.11

Programm SpanTree (DOS-Version 1.0)

Durchführung eines multivariaten nichtparametrischen Tests, z.B. zum Vergleich von Artengemeinschaften

Das Programm berechnet eine (Un-)Ähnlichkeitsmatrix zwischen den Unterproben, bestimmt den minimalen Spannbaum und daraus die Teststatistik.

Eingabedaten:

Tabellenform, zeilen- oder spaltenorientiert
(Un-)Ähnlichkeitsmatrix in Diagonalform

Transformationen:

$\log(x+1)$
 $\sqrt{\quad}$
 $\sqrt{\quad}$

Standardisierungen:

Z
robust

(Un-)Ähnlichkeitsmaße:

JACCARD
SIMPLE MATCHING
SNEATH & SOKAL
SÖRENSEN

EUKLID
ABSOLUT
QUEUKLID
BRAY-CURTIS
CHORD
CANBERRA

Ausgabe:

Testergebnis
Minimaler Spannbaum
(Un-)Ähnlichkeitsmatrix

Theoretische Grundlagen

Der Test ist eine Verallgemeinerung des Wald-Wolfowitz-Tests auf den multivariaten Fall. Er kann wahlweise exakt oder asymptotisch durchgeführt werden.

Literatur: Friedman, J.H. und Rafsky, L.C. (1979): Multivariate generalizations of the Wald-Wolfowitz and Smirnov two-sample tests. The Annals of Statistics 7, 697-717.

Anwendungen

Statistischer Vergleich zweier Stichproben, wobei in jeder Unterprobe mehrere Merkmale gemessen wurden, z.B. Makro- oder Meiofaunaarten, chemische Elemente, Sedimentparameter.

Literatur: Schleier, U. und van Bernem, K.-H. (1996): A method to compare samples of soft bottom communities. Senckenbergiana maritima 26, 135-144.

Wesentliche Software-Merkmale

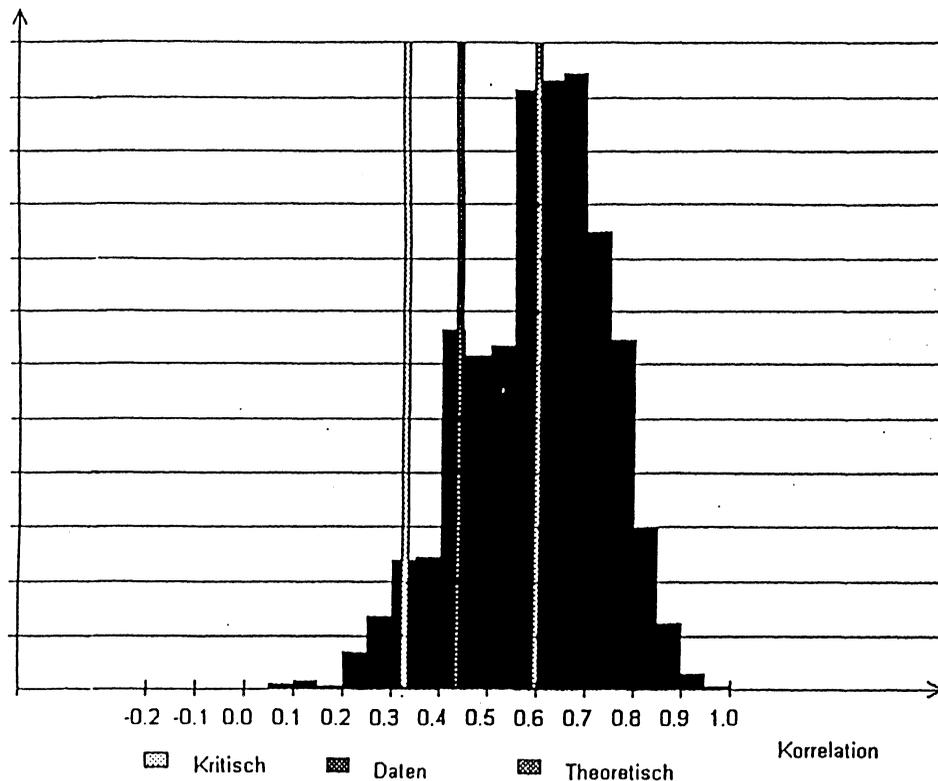
Mit C++ entwickeltes Programm;

lauffähig unter MS DOS und WINDOWS 3.1

Programm **KORRELAT** (WINDOWS-Version 1.0)

Modellierung und Analyse der Korrelation räumlicher Poisson-Muster

Simulation der räumlichen Verteilung von Individuen bei gegebener Ein- und Auswanderungswahrscheinlichkeit auf der Basis von Poisson-Modellen; Test auf Stabilität raum-zeitlicher Muster



Kritischer Korr.koeffizient < Korr.koeffizient aus den Daten
⇒ Gemessen an dem Modell ist das Muster wenig gestört.

Theoretische Grundlagen

Original-Muster: räumlicher Poisson-Prozeß

Störung: Zufälliges Auswandern/Absterben mit
Wahrscheinlichkeit p
Zufällige Einwanderung poissonverteilt

Stabilität wird gemessen durch die Pearson-Korrelation zwischen Original- und Folge-Muster. Der Test beruht auf dem Vergleich der beobachteten Korrelation mit der Verteilung von Korrelationskoeffizienten bei Anwendung der beschriebenen Störung.

Anwendungen

Muster von *Lanice*-Röhren

Räumliche Verteilung von Nestern eines Brutvogelbestandes

Wesentliche Software-Merkmale

Mit DELPHI 1.0 entwickeltes Programm;

lauffähig unter WINDOWS 3.1

Programm THOMAS (Windows-Version 2.1)

Mathematische Grundlagen

Intensity of parent process?

Intensity of daughter process?

Proportion p of noise intensity?

Standard deviation?

Number of rows?

Number of columns?

Graphics Simulation Table

Sim + Tab + Graph New

mean value = 203,41 index-of-dispersion = 14083

estimate for intensity of parent process = 107,88
realized: 98
true: 100

estimate for intensity of daughter process = 179,13
realized: 196,76
true: 200

estimate for intensity of noise process = 1017,1
per cell: 10,17
true: 1052,63

219	219	183	378	373	9	23	561	216	218
526	231	213	233	220	348	291	235	418	64
46	212	15	454	501	633	214	110	503	10
409	226	7	4	8	11	109	18	626	212
401	17	406	16	391	254	122	10	198	117
511	12	194	417	22	252	246	247	127	282
341	10	15	501	199	242	123	284	291	69
494	402	351	292	190	215	202	62	6	11
21	60	445	19	194	13	20	6	18	10
212	177	9	16	194	233	7	12	402	226

Das räumliche Verteilungsmuster wird als Thomas-Prozeß angenommen, d.h. die "Elternpunkte" (z.B. Standorte von Röhrenbauten) bilden einen homogenen Poisson-Prozeß, die "Tochterpunkte" (Standorte der betrachteten Art) bilden einen (bedingten) inhomogenen Poisson-Cluster-Prozeß, dessen Cluster-Zentren durch die Elternpunkte gegeben sind. Die Position der Punkte in den Clustern wird gemäß einer zweidimensionalen radialsymmetrischen Normalverteilung mit Poisson-verteilter Anzahl von Punkten modelliert. Zusätzlich kann ein überlagerter Poisson-Rauschprozeß berücksichtigt werden (z.B. aufgrund von Wanderungsbewegungen zwischen den Clustern).

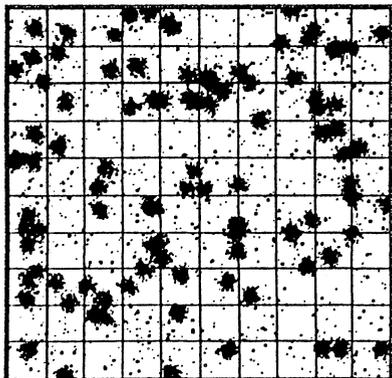
Die statistische Auswertung geschieht durch "Quadrat-Auszählungen". Dabei wird zunächst mit Hilfe einer Modifikation der sog. "Leerzellen-Statistik" die Anzahl der ursprünglich von Tochterpunkten freien Quadrate ermittelt. Die Varianz der Normalverteilung wird durch Vergleich mit dem Dispersionsindex angepaßt.

Anwendung

Modellierung kleinräumiger Verteilungsmuster benthischer Makro-/Meiofauna, Überprüfung von Symbiose-Hypothesen.

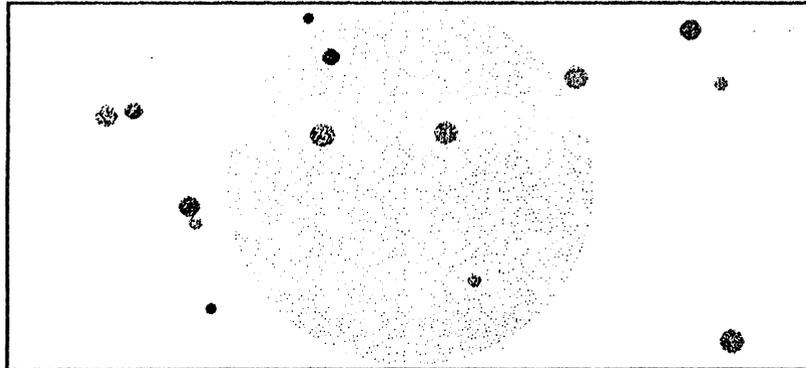
Literatur

D. Pfeifer, H.-P. Bäumer, H. Ortleb, U. Schleier, G. Sach: *Modeling spatial distributional patterns of benthic meiofauna species by Thomas and related processes*. Ecological Modelling **87** (1996), Modelling of Geo-Biosphere Processes Section, 285 - 294.



Simulation eines größeren räumlichen Verteilungsmusters der Art *Harpacticus obscurus* in einem mit *Lanice conchilega* dicht besiedelten Feld. Die Parameter wurden zuvor aus Datensätzen geschätzt (Daten-Quelle: G. Sach, Probenahme vom Mai 1992 im Rückseitenwatt der Insel Spiekeroog).

Programm *MinArea* (DOS-Version 1.2)



number of species abundant: 6 [of 6 possible]
 number of species detected: 3 [press 'space' for more]

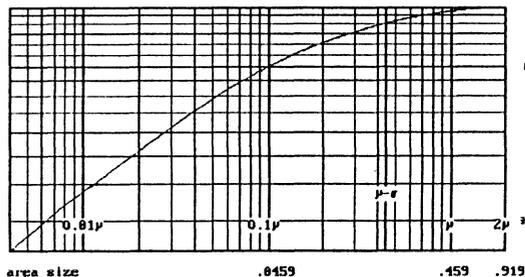
MINAREA V1.2

a program to calculate minimal areas in statistical ecology
 created by Prof. Dr. Dietmar Pfeifer, Hamburg (1996)

F1: Help 'space': more of this page any other key: continue

Eröffnungsbildschirm

```
data input file? Bf.dat
number n of species observed: 16
expected minimal area size  $\mu$ : .4594
[in multiples of reference area]
standard deviation  $\sigma$ : .2541
[in multiples of reference area]
expected number of species detected: 15.52 for sampling area  $\mu$ 
14.14 for sampling area  $\mu - \sigma = .2053$ 
corresponding species-area-curve [log-log-scale] number of species
```



Beispiel zur Berechnung eines Minimal-Areals aus Teilprojekt B8, gewählte Probenfläche: 0,28 m².

Beurteilung:
 Probenfläche liegt im Toleranzbereich oberhalb $\mu - \sigma$, eine größere Probenfläche ist hier aber empfehlenswert.

Mathematische Grundlagen

Modellierung von "Minimal-Arealen" als "kleinste" zufällige Flächen bestimmter Form, die alle Arten einer Gemeinschaft enthalten. Unter der Annahme von räumlichen Poisson-Prozessen für die Ausbreitung der einzelnen Arten lassen sich die statistische Verteilung sowie die Kenngrößen *Erwartungswert* und *Varianz* des "Minimal-Areals" konkret berechnen. Die erforderlichen Parameter (Siedlungsdichten der einzelnen Arten) können durch Stichproben aus Pilotstudien ermittelt werden.

Anwendung

Überprüfung der Repräsentativität von Probenflächen; Berechnung repräsentativer Probeflächengrößen auf der Basis von Pilotstudien.

Literatur

D. Pfeifer, H.-P. Bäumler, U. Schleier: *The "Minimal Area" Problem in Ecology: A Spatial Poisson Process Approach*. Computational Statistics 11 (1996), 415 - 428.

Eine Windows-Version des Programms ist als Worksheet unter dem symbolischen Computer-Algebra-System MAPLE verfügbar.

Externe Ressourcen

Neben den durch den BMBF bereitgestellten Fördermitteln konnte das Teilprojekt B2 weitere externe Geld-, Sach- und Personalmittel zur Unterstützung seiner Forschungsarbeit in der ÖSF einwerben. Das Hochschulrechenzentrum beteiligte sich partiell an den Lizenzkosten für Software. Ein PC für Dr. Pfeifer konnte durch Einwerbung eines EU-Projektes angeschafft werden. Der Fachbereich Informatik überließ dem Teilprojekt B2 eine Workstation zur Mitbenutzung. Dr. Krug, Fachbereich Mathematik, entwickelte in Zusammenarbeit mit Dr. Pfeifer die Windows-Version zum Thomas-Prozeß-Modell im Rahmen seiner hauptamtlichen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Oldenburg.

Einwerbung von EU-Projekten

Für die Zeit von September 1994 bis Ende September 1995 war Herr Dr. de Valk, Rijksuniversiteit Groningen (Niederlande), bei Dr. Pfeifer als Stipendiat der EU im Programm "Human Capital and Mobility" tätig. Die Schwerpunkte seiner Forschungstätigkeit lagen im Bereich der marinen Ökologie; das Thema des Projekts lautete "Statistical concepts of similarity measures and the mosaic-cycle theory for the development of a coastal monitoring programme in marine ecology". Herr de Valk hat zusätzlich zu den dort beschriebenen Aufgaben auch eine größere Studie zur Bias-korrigierten Schätzung von Diversitätsindices für Lebensgemeinschaften auf der Basis von Stichproben erstellt.

Fördermaßnahme des Arbeitsamtes

Für die Zeit von August 1994 bis Juli 1995 konnte durch eine Fördermaßnahme des Arbeitsamts Oldenburg Frau Dr. Soltan über TERRAMARE e.V. als zusätzliche Mitarbeiterin in das Teilprojekt B2 eingestellt werden. Frau Dr. Soltans Aufgabe bestand in der Entwicklung einer Pascal-Version des von Dr. Pfeifer entwickelten Programms zur Simulation von Thomas-Prozessen.