

Explorative Datenanalyse und räumliche Skalierung - eine kritische Evaluation

Gerhard Wiegleb

Synopsis

The process of gaining scientific knowledge in ecology comprises several steps (choice of study objects, operationalization, data gathering, data processing, validation, formulation of laws, comprehensive understanding), which are closely related to each other. The present review emphasises the crucial role of explorative data analysis in the framework of this process. Various phases in the historical development of exploratory data analysis ("numerical methods", "multivariate statistics") in plant ecology can be distinguished. In the beginning, ordination methods invented by plant ecologist dominated. Thereafter, more elaborated techniques such as PCA and CA were introduced from other sciences. Much attention was then paid to the comparison of various methods. A phase of frustration during the eighties caused many plant ecologists to turn to population ecology, in order to gain more biological knowledge about their objects. Recently developed methods (like CANOCO) have overcome many technical difficulties of earlier years and are now broadly available. German vegetation science remained uninfluenced by most of these developments and suffered a major set back on the international scientific level. The reasons therefor are mainly historical.

Most recently further progress in exploratory data analysis could be achieved because of the introduction of ideas of sampling theory and the broader availability of powerful programmes of spatial analysis. The influence of spatial scaling on ecological results of any kind is more and more acknowledged. Adapted sampling strategies are necessary for the full use of the analytical power of exploratory analysis. Basic concepts are "size" and "distance" of sampling sites, the choice of which determines the relation of the ecological sample to the physical "space". Finally, an example is presented in which the influence of sampling grain and spatial autocorrelation on the results of exploratory analyses of vegetation data is demonstrated. The combination of autocorrelation analysis, direct gradient analysis, and residual analysis yielded unexpected results, making detailed habitat ecological, ecophysiological and population biological studies necessary. In this special case, small-scale distribution of character species of northwest German salt marshes is neither correlated with differential salt nor flooding tolerance.

exploratory data analysis, grain, history, numerical methods, salt marshes, sampling theory, scientific method, spatial autocorrelation, spatial scale

1. Einleitung

Das umfassendste Ziel vegetationskundlicher Forschung ist das Verständnis der Vegetationsprozesse (PICKETT & KOLASA 1989, WIEGLEB 1989). Das wissenschaftliche Vorgehen in der Vegetationskunde sollte mit dem anderer moderner Naturwissenschaften, z. B. der Physik, in Übereinstimmung stehen. In Tab. 1 sind die Elemente einer wissenschaftlichen Arbeitsweise in der Vegetationskunde aufgelistet (in Anlehnung an ORLOCI 1978 und ZAUKE & al. 1992).

Am Anfang steht ein subjektiv begründetes Interesse an bestimmten Erscheinungen und Fragestellungen. Die meisten Vegetationskundler sind sich darin einig, daß die Ebene der Lebensgemeinschaft (Phytozönose) die Hauptebene von Interesse ist. Diese wird meist aus Arten (bzw. Populationen oder Individuen als deren Vertreter) zusammengesetzt gedacht. Andere Ansätze, z. B. die strukturelle Betrachtungsweise, sind dem floristischen Vorgehen gleichwertig und je nach Fragestellung ggf. sogar vorzuziehen. Auf der Ebene der Setzungen ist ein Rückgriff auf die Hierarchische Systemtheorie unverzichtbar. Sie ermöglicht es, Betrachtungsebenen nicht nur zu isolieren, sondern auch logisch zu verbinden (ALLEN & al. 1984, KOLASA & PICKETT 1989).

Tab. 1: Elemente einer wissenschaftlich fundierten Arbeitsweise in der Ökologie

1. Ebene der Setzungen
 - Definition der ökologischen Einheit von Interesse
2. Ebene der Operationalisierungen
 - Definition der Prozesse bzw. Zustände
 - Definition der räumlichen und zeitlichen Skalen
3. Ebene der Datenerhebung
4. Ebene der Auswertung
 - Teststatistik
 - explorative Datenanalyse zum Zwecke der Datenreduktion und Hypothesenbildung
5. Ebene der Gesetzesbildung und Validierung
 - Definition eines kausalen Repertoires
 - Experiment oder Simulation
 - Erklärung in Form von ökologischen Gesetzmäßigkeiten oder "narrative explanations"
6. Ebene des umfassenden Verständnisses

Vegetationskundler besitzen eine intuitive Vorstellung von relevanten Zuständen (z. B. im Rahmen einer Untersuchung, die die Frage nach den Ursachen der Zusammensetzung einer Pflanzengesellschaft zum Thema hat: Art vorhanden oder nicht vorhanden). Die Beziehungen zwischen Zuständen und Prozessen werden allerdings im Regelfall nicht exakt reflektiert (vgl. WIEGLEB 1989). Das gleiche gilt für die räumlichen und zeitlichen Skalen der Untersuchung. Vegetationskunde besitzt keine Verbindung zur klassischen Probenahmethorie (ORLOCI 1988). Diese ist auf andere Zwecke (z. B. Hypothesen testen) ausgerichtet als z. B. auf Klassifikation oder Ordination. Hier besteht ein großer Forschungsbedarf.

Die Diskussionen um die numerischen Methoden, sofern sie nicht rein technischer Art sind (Datenhaltung, Manipulation großer Datenmengen etc.), laufen im wesentlichen auf der Ebene der Auswertung ab, wobei der Unterbau (Interesse, Operationalisierung, Datenerhebung) sowohl von Befürwortern wie Skeptikern oft vergessen wurde. Eine bestimmte numerische Methode (oder Methodenfamilie) ist jedoch kein direkter logischer Ausfluß einer bestimmten "community-Theorie", wie ORLOCI (1988) vermutete, wobei er grob Ordination mit Gleason, Klassifikation mit Braun-Blanquet und Simulation mit Clements in Verbindung brachte.

Zur explorativen Datenanalyse reche ich (vgl. auch WILDI 1977, JONGMAN & al. 1987, TER BRAAK & PRENTICE 1988) die klassifikationsunabhängigen Methoden, wie Direkte Gradientenanalyse (= Korrelations- und Regressionsrechnung), Indirekte Gradientenanalyse (= Ordination, z. B. mit Hilfe von PCA oder DECORANA) und Constrained Ordination (z. B. CANOCO) sowie die klassifikationsabhängigen Methoden wie Klassifikation i. e. S. (Clustering) und Diskriminanzanalyse. Die Kalibrierung im Sinne von TER BRAAK & PRENTICE (1988) steht in logischer Beziehung zur Regressionstechnik, sie kann aber auch klassifikationsabhängig betrieben werden.

Explorative Datenanalyse hat wesentliche Elemente mit Spielen gemeinsam. Das Spiel kann jedoch nur erfolgreich sein (im Sinne von Datenreduktion und Hypothesenbildung), wenn bestimmte übergreifende Regeln eingehalten werden. Im folgenden soll die These vertreten werden, daß das Potential der klassischen explorativen Methoden am besten in Kombination mit Methoden der Räumlichen Analyse und der Zeitreihenanalyse genutzt werden kann. Diese Kombination ist deshalb nutzbringend, weil sie eine entsprechende Aufmerksamkeit auf räumliche und zeitliche Skalierungsprobleme lenkt.

Die Ebenen 4 und 5 sind nicht scharf voneinander zu trennen, sondern werden im konkreten Wissenschaftsprozess mehrfach durchlaufen, um zu einem umfassenden Verständnis zu kommen. Dies wird von Kritikern der numerischen Methoden oft vergessen. Die Falsifikationisten, die nur Experiment und Teststatistik gelten lassen wollen (vgl. JAMES & MCCULLOCH 1990), überspringen die Phase der explorativen Analyse und testen vielleicht irrelevante Hypothesen. Die mystischen Holisten, für die numerische Anwendungen grundsätzlich Teufelswerk sind, gelangen nie in den Bereich der Testbarkeit.

Im folgenden werde ich das Thema unter drei Gesichtspunkten behandeln:

- a. Werde ich einen historischen Rückblick auf die Entwicklung der explorativen Datenanalyse in der Vegetationskunde geben.
- b. Werde ich versuchen zu erklären, warum die numerischen Methoden in Deutschland bisher kaum angewendet wurden.
- c. Werde ich die Möglichkeiten explorativer Datenanalyse kurz skizzieren und mit einem Beispiel illustrieren.

2. Geschichtlicher Rückblick und wissenschaftstheoretische Einordnung

Der numerische Ansatz in der Vegetationskunde geht auf die "botanische Arithmetik" A. von Humboldts zurück. Für einen vollständigen Überblick über die Entwicklung der statistischen Methoden verweise ich auf GREIG-SMITH (1980), WIEGLEB (1986), ORLOCI (1988) und MCINTOSH (1991). Bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden wesentliche Fortschritte erzielt (vgl. WIEGLEB 1986). Die neuere Entwicklung läßt sich in fünf Phasen einteilen.

Phase 1: Seit Mitte der 50er Jahre entstanden in den USA Methoden, die noch von Hand rechenbar waren (z. B. Bray-Curtis-Ordination). Anstoß aller Ordinationsmethoden (indirekte Gradientenanalyse) war das Kontinuum-Konzept, verstanden als Teil des individualistischen Konzeptes der Lebensgemeinschaft von GLEASON (1926). Dies erklärt die anhaltende Dominanz der indirekten Gradientenanalyse, die bis heute im angelsächsischen Raum erhalten geblieben ist. Auch am Anfang der Klassifikation standen hausgemachte Methoden. Bei der numerischen Klassifikation gab es jedoch keine definierte ideologische Grundlage, im Gegenteil, es gab einen festgefügten Block von nicht-numerischen Ansätzen, gegen den erst einmal zu bestehen war.

Phase 2: Seit Ende der 60er Jahre fand ein Transfer von komplexen Methoden aus anderen Wissenschaftsbereichen statt, vor allem faktorenanalytischen Methoden i. w. S., wie z. B. PCA aus der Psychologie bzw. den Sozialwissenschaften. Diese waren mathematisch elegant, jedoch in einem anderen Kontext für andere Datenstrukturen entwickelt. Ihre Algorithmen waren schwer durchschaubar, ihre Ergebnisse schwer interpretierbar und ihre Durchführung war damals nur auf Großrechnern möglich. Dies erklärt die Verzögerung zwischen erster Anwendung und weiterer Verbreitung, denn PCA war schon vor der Bray-Curtis-Ordination das erste Mal verwendet worden (vgl. GREIG-SMITH 1980). Was die Klassifikation betrifft, so dominierten einfache Algorithmen, im wesentlichen linkage-Clustering verschiedenster Art, beeinflusst durch die numerische Taxonomie (SOKAL & SNEATH 1963). Diese haben sich inzwischen für die ökologische Anwendung als ungeeignet erwiesen, da es hier nicht um die Rekonstruktion von Stammbäumen geht. Eine weitere Tendenz dieser Zeit war die Simulation der Tabellenmethode mit Hilfe von Tabellenordnungsprogrammen. Den Stand der methodischen Entwicklung am Ende der Phase 2 dokumentiert ORLOCI (1978).

Phase 3: Bereits frühzeitig war die Korrespondenzanalyse (unter verschiedenen Namen) eingeführt worden. Sie wurde von HILL & GAUCH (1980) methodisch verfeinert. In dieser Phase wurde dem "Methodenvergleich" viel Aufmerksamkeit geschenkt. Der Vergleich bezog sich auf die Datenmanipulation (Transformation, Standardisierung), die Auswahl von Ähnlichkeitskoeffizienten oder die Eigenschaften verschiedener Ordinationsmethoden. Benutzt wurden oft simulierte Datensätze. Der Nachteil dieser Unternehmungen war, daß es einen exakten Test auf Güte per se nicht geben kann, denn die Güte ist abhängig vom Ziel der Analyse. Selbst der formal-mathematische Vergleich von Lösungen multivariater Methoden ist ein kaum gelöstes Problem (PODANI 1989).

Betrachtet man ökologische Arbeiten der Phasen 2 und 3, so fällt auf, daß es nur wenige "intelligente Anwendungen" gab. Darunter verstehe ich Arbeiten, die weder mathematische noch programmiertechnische Ambitionen haben, denen es nicht um Methodenvergleich geht, und die nicht mit simulierten Datensätzen arbeiten. Der intelligente Anwender analysiert mit Hilfe einer eingeführten Methode einen komplexen Datensatz von echten Felddaten unter ständiger Berücksichtigung der Angemessenheit von Methode und Fragestellung. Viel häufiger waren "black-box"-Anwendungen oder andere offensichtliche Mißbräuche. Beispiele dafür geben JAMES & MCCULLOCH (1990). Auch der Vergleich von numerischen Klassifikationen mit Ergebnissen der konventionellen Vegetationskunde war sehr beliebt. Daß dies kein "Vergleich" i. e. S. war, braucht nicht ausgeführt zu werden. Solange beide Ansätze die gleiche Datengrundlage als Input verwendeten, konnten die Ergebnisse nicht stark differieren. Trotzdem galt noch um 1980 (vgl. VAN DER MAAREL 1981) "numerische Syn-taxonomie" als ein ernstzunehmendes Forschungsziel.

Phase 4: Zu Beginn der 80er Jahren gab es eine Frustrationsphase, ausgedrückt durch die Auflösung der AG für numerische Methoden der IAVS. Es kam zu einer deutlichen Senkung des Anteils der numerischen Publikationen in Vegetatio, wenn auch die Zahl der Anwendungen insgesamt in den 80er Jahren noch recht hoch war (JAMES & MCCULLOCH 1990). Diese Tendenz hatte den Vorteil, daß viele Pflanzenökologen sich mit Populationsökologie, life history theory, Lebensformenbiologie usw. beschäftigten, um biologische Informationen über die Arten zu sammeln, die bisher nur als Elemente einer Matrix fungierten.

Phase 5: Ausgehend von Phase 3 hat die Ordination in letzter Zeit einen starken Aufwind bekommen. Verschiedene Schwierigkeiten wurden durch die Entwicklung von Programmen wie CANOCO (TER BRAAK 1987) durchbrochen. Die Grundprobleme vegetationskundlicher Datensätze (Inkommensurabilität von Datentypen; zuviele Nullen in der Matrix; lineare vs. unimodale Modelle, "Austin's Modell"), sind programmiertechnisch oder durch die Wahl von Optionen entschärft. In CANOCO verschwindet sogar der Unterschied zwischen direkter und indirekter Gradientenanalyse (TER BRAAK & PRENTICE 1988). Bootstrapping (KNOX & PEET 1989) und fuzzy systems ordination (ROBERTS 1989) ergänzen den Kanon. Der technische Fortschritt (es gibt jetzt diese leistungsfähigen Programme auf PC) macht die neue Generation von Programmen allgemein verfügbar. Die numerische Klassifikation hat nicht den gleichen Aufschwung genommen. Das effektive Minimum Variance Clustering ist nach wie vor in der Pflanzenökologie wenig verbreitet.

3. Die Vegetationskunde im deutschsprachigen Raum

Die deutsche Vegetationskunde blieb weitgehend unberührt von dieser Entwicklung. Wohl diskutiert FRANKENBERG (1982) die numerischen Methoden ausführlich, allerdings unter einem eher instrumentalistischen Blickwinkel. Bei DIERSSSEN (1990) werden sie in sträflicher Kürze und unter Verkennung ihrer Vor- und Nachteile abgehandelt. Vegetationskunde, die außerhalb der starren Regeln der Pflanzensoziologie operiert, ist als wissenschaftliche Disziplin in Deutschland kaum existent. Gelehrt werden diese Ansätze an deutschen Universitäten nur vereinzelt, vielerorts ist die notwendige Basisliteratur nicht verfügbar. So gibt es keinen wissenschaftlichen Diskurs über die Probleme des Faches. Dies schlägt sich im geringen Anteil deutscher Beiträge im Journal of Vegetation Science nieder (VAN DER MAAREL 1990). Die Gründe für diesen Zustand sind vielschichtig und bedürften einer umfassenden wissenschaftssoziologischen Untersuchung. Es können nur einige Kennzeichen der Pflanzensoziologie aufgezählt werden, die einer fundierten wissenschaftlichen Arbeitsweise im Sinne von Tab. 1. im Wege stehen.

Operationalisierung: Eine fragestellungsorientierte Definition von Prozessen und Zuständen findet nicht statt. Die Bedeutung räumlicher Skalen wird sogar bewußt negiert, z. B. im Konzept der skalunenabhängigen Homogenität. Dieses findet jedoch seine einfache Widerlegung im Haupttheorem der Inselbiogeographie von MCARTHUR & WILSON (vgl. CONNOR & MCCOY 1979).

Datenerhebung: Das probenahmetechnische Vorgehen der Pflanzensoziologie (DIERSSSEN 1990), ist für explorative Datenanalyse, Teststatistik und Modellierung gleichermaßen ungeeignet (vgl. GREEN 1979, ORLOCI 1988, KENKEL & al. 1989, MCINTOSH 1991). Das Vorgehen des "erfahrenen Vegetationskundlers" ist geeignet für eine schnelle Orientierung in unbekanntem Gelände, aber nicht als Basis zur Lösung wissenschaftlicher Fragestellungen.

Auswertung/Explorative Datenanalyse: Abgesehen von der Vernachlässigung der Ordinationsmethoden wird auch der explorative Charakter von Klassifikation nicht genutzt. Klassifikation wird nicht als Handwerkszeug im Rahmen einer übergeordneten wissenschaftlichen Theorie verstanden, sondern ist im Regelfall ein Ziel an sich. Dies rührt wahrscheinlich her von dem Einfluß, den R. TÜXEN auf die deutsche Vegetationskunde ausübte. Die Situation in der Vegetationskunde heute ist vergleichbar der Phase der "phenetischen" Klassifikation in der Systematik, die von HENNIG (1982) mit Recht kritisiert wurde.

Da die inhaltlichen Möglichkeiten der numerischen Methoden nicht gesehen werden, hält sich das Mißverständnis, daß diese vor allem eine technische Erleichterung zur Ordnung von umfangreichem Datenmaterial sind (DIERSSSEN 1990). Schon GRABHERR (1982) widersprach dem und betonte nachdrücklich den methodischen Pluralismus der numerischen Ansätze (vgl. auch WIEGLEB 1986, MCINTOSH 1987, 1991). Da man hierzulande die Methodendiskussion in der Vegetationskunde für abgeschlossen hält, werden Arbeiten wie WILDI (1977), WIEGLEB (1984), BEMMERLEIN (1986), WIEGLEB & al. (1989) oder PREISINGER (1991) nur in Bezug auf die konkreten Ergebnisse zu Kenntnis genommen, das Bemühen um die Theoriebildung in der Vegetationskunde wird dagegen mißachtet.

Gesetzesbildung und Validierung: Exploratives Vorgehen in der Datenanalyse setzt zudem voraus, daß man nicht schon Gewißheit über die kausalen Zusammenhänge zu haben glaubt. Das kausale Repertoire der deutschsprachigen Geobotanik ist jedoch festgefügt und beschränkt sich auf Standortfaktoren und "Wettbewerb" sowie deren mögliche Wechselbeziehungen. Faktoren wie Prädation, Mutualismus, Störungen und demographische Stochastizität finden nur gelegentliche Erwähnung. Zudem werden Standortfaktoren selten im Kontext gesehen, meist wird unterstellt, daß eine weitreichende Generalisierung über einen bestimmten Vegetationstyp möglich ist (vgl. DIERSSEN 1990). Ohne ein adäquates kausales Repertoire kann es jedoch auch keine Anwendbarkeit von vegetationskundlichen Ergebnissen, z. B. für landschaftsökologische Fragestellungen, geben.

4. Gegenwärtige Situation

International gesehen konnte die explorative Datenanalyse in Ökologie und Vegetationskunde durch konzeptionelle Neuerungen weiterentwickelt werden, vor allem durch grundsätzliche Überlegungen zur Probenahmetheorie und zum Problem der Skalierung.

In der populationsökologisch orientierten Literatur finden sich seit längerem Diskussionen über Musterbildung, vor allem Varianz/Mittelwert-Ansätze (vgl. PIELOU 1977, HURLBERT 1990, MCINTOSH 1991). Davon beeinflusst waren die Arbeiten von GREIG-SMITH (1979), sonst fand dieser Ansatz wenig Eingang in die vegetationskundliche Diskussion. Auch informationstheoretische Überlegungen der Schule um Juhasz-Nagy (z. B. JUHASZ-NAGY & PODANI 1983, JUHASZ-NAGY 1984, BARTHA & HORVATH 1988, KENKEL & al. 1990, CAMIZ & GERGELY 1990) fanden kaum Beachtung. Immer hat es vereinzelt Arbeiten über räumliche Probleme in Pflanzengesellschaften gegeben (Literaturübersicht in BOUXIN 1990), die jedoch alle ohne nachhaltige Wirkung geblieben sind. Die Tatsache, daß manche vegetationskundliche Reviewartikel der 80er Jahre noch keinen expliziten Hinweis auf Probenahmetheorie oder Skalierung enthalten (z. B. VAN DER MAAREL 1984, BARKMAN 1990; dagegen ORLOCI 1988), zeigt die Vehemenz der Entwicklung.

Schlagartig erschienen nun in den letzten Jahren Arbeiten, die die Musteranalyse in der Vegetation unter Stichworten wie "Skala", "räumliche Autokorrelation" und "Fraktalität" (SOKAL & THOMPSON 1987, PALMER 1988, FORTIN & al. 1990, BOUXIN 1990) behandeln. Gekoppelt damit ist die zunehmende Anzahl von theoretischen Publikationen über räumliche Skalierung ("pattern" and "patchiness") und Hierarchietheorie (WIENS 1989, KOTLIAR & WIENS 1990, KOLASA & ROLLO 1991; ALLEN & al. 1984, KOLASA & PICKETT 1989, WIEGLEB 1989, ALLEN & HOEKSTRA 1990, 1991). Der Einfluß der räumlichen Skalierung auf Ergebnisse der Auswertung (Clusterbildung, Ordinationsachsen, Art-Assoziation, Korrelation zwischen Vegetation und Standort, β -Diversität etc.) wird zunehmend erkannt und in der praktischen Forschungsarbeit mit verschiedenen Methoden analysiert (Beispiele: CASADO & al. 1989, MOORE & KEDDY 1989, FORTIN & al. 1990, OEKLAND & al. 1990, PALMER & DIXON 1990, VER HOEF & al. 1990).

Die ideale Probestfläche ist punktförmig (wie in der Geostatistik) und alle Punkte sind bekannt. Leider geht dies in der Ökologie nicht. Zentral sind deshalb die praktischen Kategorien "Größe" und "Abstand" der Probestflächen. Durch die Auswahl dieser Größen wird ein bestimmtes räumliches Muster erzeugt. Raumbezug bekommt man nicht dadurch, daß man eine Vegetationsaufnahme macht und diese dann in eine Karte einträgt. Raumbezug erhält man durch die bewußte Wahl von Größe und Abstand nach nicht-vegetationseigenen Kriterien. Nur eine solche Probenahme ist eine wissenschaftliche Probenahme. Alles andere ist bestenfalls Heuristik.

Dem stehen die theoretischen Kategorien "grain" und "extent" gegenüber (WIENS 1989, ALLEN & HOEKSTRA 1991). Grain ist im wesentlichen identisch mit der Probestflächengröße, während Extent sowohl vom Abstand wie auch der Gesamtausdehnung und dem Gesamtprobenahmeumfang bestimmt wird. Es gibt eine Mindestgröße (Grain) und Maximalgröße (Extent) für jede sinnvolle Probenahme. Dieses sollte durch Größe, Beweglichkeit, Reproduktion und Interaktionen der Organismen von Interesse (organism centred approach) bestimmt sein; oft spielen aber probenahmetechnische Gründe eine Rolle.

Zu Beginn jeder Untersuchung ist die Frage zu stellen: Was will ich? Will ich Gesellschaften vergleichen (größere Skala) oder die Autökologie einzelner Arten studieren (kleinere Skala)? Worauf kommt es mir beim Vergleich der Gesellschaften an? Selbst bei rein floristischer Analyse gibt es verschiedene Optionen (JUHASZ-NAGY & PODANI 1983): Maximale Trennschärfe der Arten, maximale Artgruppierung oder maximale Florula-

Diversität. Grundsätzlich wäre also ein Scanning verschiedener Skalen nötig (multiscale pattern analysis, BOUXIN 1990). PFADENHAUER & al. (1986) stellen vergleichbare Forderungen für das Probenahmedesign von Dauerbeobachtungsflächen auf.

Es gibt auch einen Mindest- und einen Maximalabstand der Probeflächen. Ökologische und räumliche Gradienten überlagern sich in vielfältiger Weise. Die Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften kann z. T. durch die Lage im Raum erklärt werden (räumliche Autokorrelation). Der angemessene Abstand von Probeflächen wird durch die räumliche Autokorrelation und die Art der Patchiness beeinflusst. Zu dichte Probenahme produziert Pseudoreplikationen, die dann z. B. bei Klassifikationen als Varianten, Cluster o. ä. wiedergefunden werden bzw. als Haupteinflußgrößen auf Ordinationsachsen erscheinen; Teststatistik wird unter solchen Umständen obsolet. Eine zu weite Probenahme verfehlt wichtige Details. Es gibt hier keine nicht-trivialen Lösungen, Scanning ist in jedem Fall nötig.

An die jeweilige Fragestellung angepaßte Probenahmestrategien (kontinuierliche oder diskontinuierliche Gitternetze und Transekte, Zufallsproben, stratifizierte Proben) sind nötig, um die analytische Kraft der explorativen Datenanalyse zu nutzen. Solange mit der gleichen Art Proben operiert wird (Vegetationsaufnahmen nach der "Methode des erfahrenen Vegetationskundlers"), kann diese keine "anderen" oder gar "besseren" Ergebnisse liefern. Viele Methoden sind nur dann sinnvoll, wenn man Art-Assoziation = Koordinierte Varianz = Pattern = non-random-distribution voraussetzt. Diese muß zunächst einmal nachgewiesen werden. Dazu können varianz-, ähnlichkeits- oder informationsorientierte Statistiken verwendet werden. Die theoretischen Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede dieser drei Ansätze sind noch unzureichend untersucht.

5. Beispiel

Ein Beispiel für ein exploratives Vorgehen soll kurz erläutert werden. Es wurde gewählt, weil die Salzwiesen ein Paradeobjekt der Pflanzensoziologie sind, und man meinen sollte, dort gäbe es nichts Überraschendes mehr zu entdecken. Allerdings liegt außer der Arbeit von VINCE & SNOW (1984; Alaska) keine explorative Arbeit über Salzwiesen vor, und die Gefahr, daß z. B. Ökophysiologen abwegige Theorien verfolgen, weil ihnen durch die Vegetationskunde abwegige Phänomene präsentiert werden, ist offenkundig.

Die Probenahme erfolgte in 11 Bereichen, sieben Pütten (Entnahmestellen für Deichbaumaterial) und vier benachbarten Vergleichsflächen. Pro Bereich wurde ein Gitternetz (mit 50-100 Punkten, Abstand 10-25 m) angelegt. Auf jedem Gitterpunkt wurde eine Probefläche von 2x2 m aufgenommen. Zusätzlich wurden Längs- und Quertransekte mit 150-200 kontinuierlichen 2x2 m Probeflächen sowie Großquadrate (20x20 m, unterteilt in 100 2x2 m Flächen) angelegt. Die Aufnahme der Vegetation erfolgte in einer %-Skala, als ökologische Parameter wurden Höhe über NN, Salinität und Bodenart bestimmt.

Konkreter Ansatz der Auswertung war eine Residuenanalyse, die in die Familie der Regression (direkte Gradientenanalyse) einzuordnen ist. Das Beispiel ist scheinbar univariat, aber trotzdem komplex. Der Dateninput besteht aus einem kontinuierlichen Transekt von ca. 130 Punkten; in die Analyse gehen Vegetationsdaten und Höhe über NN ein. Die Auswertung erfolgte in drei Schritten:

1. Autokorrelationsanalyse. Berechnet wurde von allen Variablen Moran's I (entspricht dem mittlerem Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten pro Abstandsklasse) mit Hilfe von SAAP (WARTENBERG 1989). Ein Ergebnis der Autokorrelationsanalyse ist in Abb. 1 dargestellt. Das Korrelogramm von *Aster tripolium* zeigt eine signifikante Autokorrelation bis zur Abstandsklasse 3 (= 6 m). Das heißt: Da wo viele Astern sind, sind auch bis zu 6 m Abstand, viele Astern, unabhängig von den Standortbedingungen. Die entsprechenden Werte für *Suaeda* und *Puccinellia* für diese Probefläche sind 2 bzw. 6 Abstandsklassen.

Warum diese vorgeschaltete Analyse notwendig ist, zeigt eine Übersicht über die Assoziationskoeffizienten (als Assoziationsmaß wurde der Pearson'sche Korrelationskoeffizient verwendet). Tab. 2 zeigt die Assoziation von *Aster tripolium* mit ihren Begleitarten auf zwei Flächengrößen (ganze Pütte und 2m-Quadrat), wobei die 2m-Quadrate aller drei Probenahmeverfahren ausgewertet wurden (Gitternetz: Abstand mindestens 15 m; kontinuierliches Transekt; und Großquadrat). Die Gitternetzdaten sind mit Sicherheit nicht autokorreliert, die Transekte und Großquadrate z. T. Wie man sieht, sind die Assoziationen bei gleicher Flächengröße sehr unterschiedlich. So ist z. B. *Aster* in den Gitternetzen positiv mit *Spartina* assoziiert, in den Großquadrate dagegen negativ.

In Tab. 3 ist die Verteilung der Absolutwerte der Assoziationskoeffizienten aller Arten dargestellt. Beim Gitternetz gibt es überwiegend Koeffizienten um 0, hochsignifikante Koeffizienten sind sehr selten (2). Dieses Bild ist bereits beim Transekt anders, beim Großquadrat wird der Unterschied mit nur einem Koeffizienten um 0 und fünf hochsignifikanten Koeffizienten besonders deutlich. Der Mittelwert steigt von 0.159 (Gitternetz) über 0.245 (Transekt) auch 0.274 (Großquadrat). Ein Blick in eine Tabelle von Signifikanzwerten verrät, daß aufgrund der Autokorrelation beim Transekt nur ca. 45% und beim Großquadrat 35% der theoretischen Freiheitsgrade angenommen werden dürfen. Jede Teststatistik, die diese Einschränkung nicht macht, verbietet sich in diesem Datensatz.

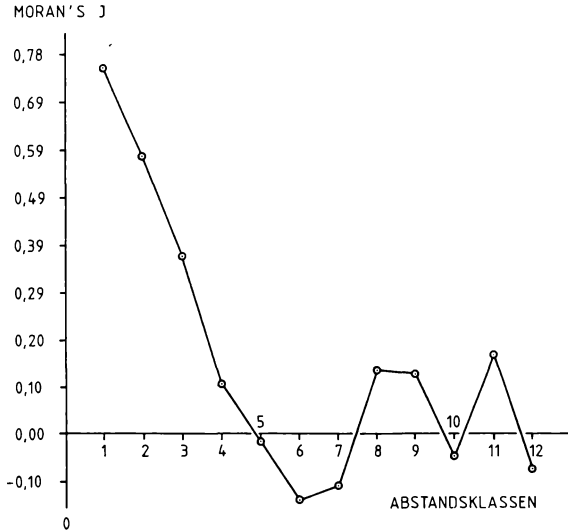


Abb. 1: Korrelogramm von *Aster tripolium* in der Probefläche U5.

Tab. 2: Auswirkung von Flächengröße und Abstand auf die Assoziation von *Aster tripolium* in der Probefläche U5 (Zahlen = Korrelationskoeffizient x 1000).

| | Atrip prost | Pucci marit | Spart angli | Suaed marit | Salic stric |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Aster (Pütte) | 256 | 297 | -175 | 169 | -255 |
| - Gitternetz | -32 | -448 | 240 | -69 | 247 |
| - Transekt | -166 | -296 | 46 | 160 | 167 |
| - Großquadrat | 81 | 342 | -290 | 122 | -407 |

Tab. 3: Verteilung der Absolutwerte der Assoziationskoeffizienten der sechs häufigsten Arten in der Probefläche U5.

| Absolutwerte | 0.00- 0.10 | 0.10- 0.23 | 0.23- 0.33 | >0.33 | Mittel |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|--------|
| - Gitternetz | 8 | 5 | 0 | 2 | 0.159 |
| - Transekt | 1 | 10 | 2 | 2 | 0.245 |
| - Großquadrat | 1 | 7 | 2 | 5 | 0.274 |

2. Direkte Gradientenanalyse. Es wurde eine Regression der Bedeckung der dominanten Arten gegen die Höhe über NN vorgenommen. In die Analyse gingen nur nicht autokorrelierte Punkte (Abstandsklasse 5 = 10 m) ein. Das Modell der "species response curve" war eine quadratische Funktion. Diese ist unimodal und

schneidet zweimal die x-Achse, was ein realistischer Verlauf ist. In Abb. 2 ist die species response curve in Bezug auf die Höhenlinien von *Puccinellia maritima* dargestellt. Es wird deutlich, daß keine so einfache ökologische Beziehung besteht, wie man anhand von ökophysiologischen und standortkundlichen Überlegungen vermuten möchte. Immerhin entsprechen 30 cm Höhenunterschied einer Differenz der Überflutungshäufigkeit von 150 Tagen.

U 5

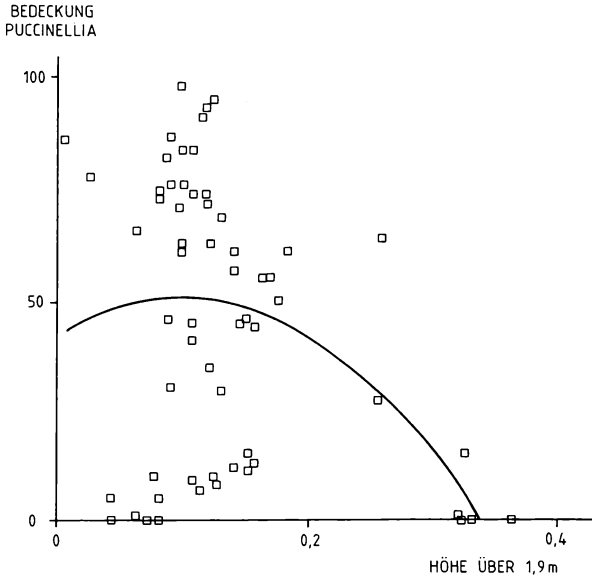


Abb. 2: Species response curve von *Puccinellia maritima* in der Probefläche U5.
Y-Achse: Bedeckung in %; X-Achse: Höhe über NN.

3. Residuenanalyse. Es wurden nun die Residuen (= Abweichungen des gemessenen Wertes vom gefitteten Wert) gebildet und in Abhängigkeit von der tatsächlichen Lage im Raum dargestellt. Abb. 3 zeigt die Verteilung der Residuen von *Puccinellia*, *Aster* und *Suaeda* (als Mittelwerte und Standardabweichungen) entlang des Transektes. Zum Land hin erreichen die Arten eine geringere Bedeckung, als es nach ihrer Höhenlinie zu erwarten wäre, während sie zum Meer hin eine höhere Bedeckung aufweisen. Dies widerspricht den Erwartungen, da Bereiche gleicher Höhenlage, die näher am Meer liegen, länger überflutet sind und die Arten eher ein schlechteres Wachstum zeigen sollten. Es muß deshalb neben den Faktoren, die normalerweise für die Erklärung der räumlichen Verteilung von Pflanzen in Salzwiesen herangezogen werden (Salinitätstoleranz, Überflutungstoleranz; vgl. ROZEMA & al. 1985, CRAWFORD 1989), noch eine dritte Komponente geben.

Dies ist die Überschlickungstoleranz. Vorliegende Sedimentanalysen zeigen, daß die landseitigen Bereiche im Frühjahr tatsächlich stärker überschlickt wurden. Die Grenze dieser starken Überschlickung konnte mit der Residuenanalyse klar herausgearbeitet werden (Abb. 3). Vergleichbare Überschlickungsereignisse in Folge könnten die Zonation innerhalb weniger Jahre umkehren. Die Überschlickungstoleranz ist je nach Wuchsform unterschiedlich ausgeprägt. Während *Aster*, *Suaeda* und *Puccinellia* ein vergleichbare Reduktion des Wachstums zeigen, tritt dies bei *Triglochin maritimum* nicht auf. *Triglochin maritimum* ist offenbar in der Lage, auf Sedimentation mit kompensatorischem Längenwachstum zu reagieren (EBER & STRUTZ-FISCHER 1991).

Das dargestellte Beispiel führt zu einem "up-scaling" in Sinne von ALLEN & HOEKSTRA (1991): Durch die Veränderung des Extent wird ein Muster auf einer größere räumlichen Skala sichtbar. Besonders wichtig ist, daß ein solches Ergebnis weder mit der Probenahme des "erfahrenen Vegetationskundlers" noch mit einer random-Probenahme hätte erzielt werden können.

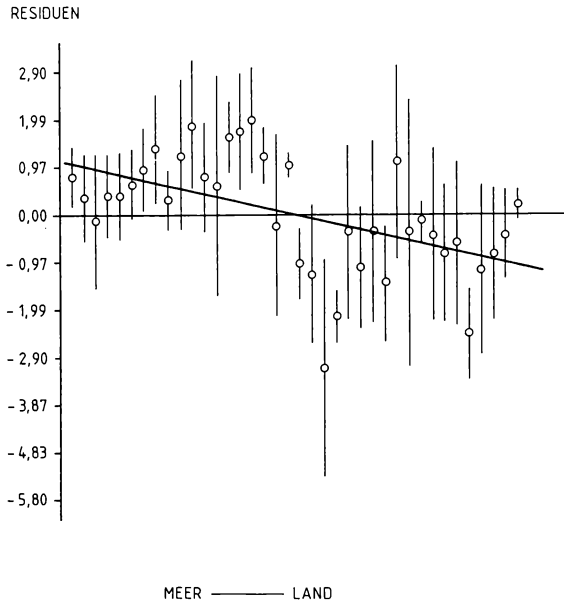


Abb. 3: Residuen (= Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Bedeckungen) im Verlauf des Transektes U5. Mittelwerte und Standardabweichungen für die Arten *Aster tripolium*, *Puccinellia maritima* und *Suaeda maritima* sind dargestellt. Die Y-Achse ist transformiert in $\ln(\text{Bedeckung})$.

6. Schlußfolgerungen

Der explorativen Datenanalyse in der Pflanzenökologie steht eine große Zukunft bevor. Eine blinde Anwendung numerischer Methoden ist allerdings sinnlos. Auch die mathematisch eleganten Methoden wie CANOCO lösen nicht bestimmte Grundprobleme der Ökologie, wie die Unangemessenheit des taxonomischen Artkonzeptes für bestimmte ökologische Fragestellungen oder das "noise"-Problem (GAUCH 1982, WIEGLEB 1986). Selbst bei Zutreffen aller Einschränkungen ist "erklärte" Varianz niemals zu Verwechseln mit kausaler "Erklärung". Es ist deshalb nötig, daß die Verwendung der numerischen Methoden breiten Eingang in die Ausbildung von Pflanzenökologen finden und daß die Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Methoden in Lehrveranstaltungen umfassend diskutiert werden. Dies setzt allerdings qualifiziertes Lehrpersonal voraus.

Es ist mit der Verbreitung von Programmen und Programmpaketen allein nicht getan. Man kann diese nur gewinnbringend anwenden, wenn man sich insgesamt der wissenschaftlichen Methode und dem pluralistischen Prozeß der Erkenntnisgewinnung verpflichtet fühlt. Eine unangemessene Probenahme z. B. kann alles verderben und macht explorative Datenanalyse ineffektiv. Probenahme und Datenanalyse müssen in ständiger Rückkopplung stehen (WILDI & ORLOCI 1987). Man kann nicht Daten unklarer Provenienz (was genauen Ort, Flächengröße, räumliche Verteilung o. ä. betrifft) in ein Programm einspeisen und Ergebnisse erwarten. PIGNATTI (1980) stellte sehr richtig fest: Falsche Daten führen zu einer falschen Theorie, aber es gilt auch: Eine falsche Theorie (oder keine) führt zu falschen Daten. Ein solcher Zustand ist angesichts der zunehmenden Anforderungen aus dem angewandten Bereich an die Pflanzenökologie unerträglich (vgl. auch BEMMERLEIN-LUX & al. 1991).

Danksagung

Die Geländearbeiten wurden in Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle Küste (Wilhelmshaven) durchgeführt. S. Arens und S. Ortmanns hatten den Hauptanteil an der praktischen Durchführung. K. Jax und G. P. Zauke lasen kritisch das Manuskript.

Literatur

- ALLEN, T. F. H. & T. W. HOEKSTRA, 1991: Role of heterogeneity in scaling of ecological systems analysis. In: J. KOLASA & S. T. A. PICKETT (eds.): Ecological heterogeneity, Springer, New York: 47-68.
- ALLEN, T. F. H. & HOEKSTRA, T. W., 1990: The confusion between scale-defined levels and conventional levels of organisation. *J. Veg. Sci.* 1: 5-13.
- ALLEN, T. F. H., O'NEILL, R. V. & T. W. HOEKSTRA, 1984: Interlevel relations in ecological research and management: some working principles from hierarchy theory. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-110. 11 pp.
- BARKMAN, J. J., 1990: Controversies and perspectives in plant ecology and vegetation science. *Phytocoenologia* 18: 565-589.
- BARTHA, S. & F. HORVATH, 1988: Application of long transects and information theoretical functions to pattern detection. I. Transects versus isodiametric sampling units. *Abstracta Botanica* 11: 9-26.
- BEMMERLEIN, F.A., 1986: Bearbeitung von Lebensformengruppen mit numerischen Methoden. Untersuchung der Vegetation von Mauern in NW-Spanien. *Tuexenia* 6: 391-403.
- BEMMERLEIN-LUX, F. A., BUSHART, M. & H. GÄßLEIN, 1991: Probleme und Anforderungen von Ökologen außerhalb der Forschung an die Forschung und Lehre im Bereich multivariater Methoden. *Nachr. Ges. Ökol.* 20(2): 25-30.
- BOUXIN, G., 1990: The measurement of horizontal patterns in vegetation: a review and proposals for models. *Coenoses* 5: 97-112.
- CAMIZ, S. & A. GERGELY, 1990: An exploratory method for determining optimal plot size in plant community studies. *Abstracta Botanica* 14: 83-108.
- CASADO, M. A., ABBATE, G., BLASI, C. & F. D. PINEDA, 1989: Pattern diversity analysis of a clearing in a *Quercus cerris* wood. *Vegetatio* 79: 143-149.
- CONNOR, E. F. & E. D. MCCOY, 1979: The statistics and biology of the species-area relationship. *Am. Nat.* 113: 791-833.
- CRAWFORD, R. M. M., 1989. Survival in coastal habitats. In: Studies in plant survival. Ecological case histories of plant adaptations to adversity. *Studies in ecology*, vol. 11, p. 131-157. Blackwell, Oxford.
- EBER, W. & H. STRUTZ-FISCHER, 1991. Populations- und produktionsbiologische Untersuchungen in Salzwiesen der niedersächsischen Nordseeküste. *Verh. Ges. Ökol.* 20: 945-950.
- DIERSSEN, K., 1990: Einführung in die Pflanzensoziologie (Vegetationskunde). Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- FORTIN, M. J., DRAPEAU, P. & P. LEGENDRE, 1990: Spatial autocorrelation and sampling design in plant ecology. *Vegetatio* 83: 209-222.
- FRANKENBERG, P., 1982: Vegetation und Raum. UTB 1177. Schöningh, Paderborn.
- GAUCH, H. G., 1982: Noise reduction by eigenvector ordination. *Ecology* 63: 1643-1649.
- GLEASON, H., 1926: The individualistic concept of the plant association. *Bull. Torr. Bot. Club* 53: 7-26.
- GRABHERR, G., 1982: Die Analyse alpiner Pflanzengesellschaften mit Hilfe numerischer Ordinations- und Klassifikationsverfahren. *Stapfia* 10: 149-160.
- GREEN, R. H., 1979: Sampling design and statistical methods for environmental biologists. New York.
- GREIG-SMITH, P., 1979: Pattern in vegetation. *J. Ecol.* 67: 755-779.
- GREIG-SMITH, P., 1980: The development of numerical classification and ordination. *Vegetatio* 42: 1-10.
- HENNIG, W. 1982. Phylogentische Systematik. Parey, Hamburg. 246 pp.
- HILL, M. O. & H. G. GAUCH, 1980: Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47-58.
- HURLBERT, S. H., 1990: Spatial distribution of the montane unicorn. *Oikos* 58: 257-271.
- JAMES, F. C. & C. E. MCCULLOCH, 1990: Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or Pandora's box *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21: 129-166.
- JONGMAN, R. H. G., TER BRAAK, C. J. F. & O. F. R. VAN TONGEREN, 1987: Data analysis in community and landscape ecology. PUDOC, Wageningen.
- JUHASZ-NAGY, P., 1984: Spatial dependence of plant populations. Part 2: A family of new models. *Acta Bot. Hung.* 30: 363-402.
- JUHACZ-NAGY, P. & J. PODANI, 1983: Information theory methods for the study of spatial processes and succession. *Vegetatio* 51:129-140.
- KENKEL, N. C., JUHASZ-NAGY, P. & J. PODANI, 1990: On sampling procedures in population and community ecology. *Vegetatio* 83: 195-208.
- KNOX, R. G. & PEET, R. K., 1989: Bootstrapped ordination: a method for estimating sampling effects in indirect gradient analysis. *Vegetatio* 80: 153-165.

- KOLASA, J. & S. T. A. PICKETT, 1989: Ecological systems and the concept of biological organization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 86: 8837-8841.
- KOLASA, J. & C. D. ROLLO, 1991: Introduction: The heterogeneity of heterogeneity: a glossary. In: J. KOLASA & S.T.A. PICKETT (eds.): *Ecological heterogeneity*, Springer, New York: 1-23.
- KOTLIAR, N. B. & J. A. WIENS, 1990: Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity. *Oikos* 59: 253-260.
- LEGENDRE, P. & J. M. FORTIN, 1989: Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80: 107-138.
- MCINTOSH, R. P., 1987: Pluralism in ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18: 321-341.
- MCINTOSH, R. P., 1991: Concept and terminology of homogeneity and heterogeneity in ecology. In: J. KOLASA & S. T. A. PICKETT (eds.): *Ecological heterogeneity*, Springer, New York: 24-45.
- MOORE, D. R. J. & P. A. KEDDY, 1989: The relationship between species richness and standing crop in wetlands: the importance of scale. *Vegetatio* 79: 99-106.
- OEKLAND, R. H., EILERTSEN, O. & T. OEKLAND, 1990: On the relationship between sample plot size and beta diversity in boreal coniferous forests. *Vegetatio* 87: 187-192.
- ORLOCI, L. 1978. *Multivariate analysis in vegetation research*. Junk, The Hague. 451 pp.
- ORLOCI, L., 1988: Community organization: recent advances in numerical methods. *Can. J. Bot.* 66: 2626-2633.
- PALMER, M. W., 1988: Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities. *Vegetatio* 75: 91-102.
- PALMER, M. P. & P. M. DIXON, 1990: Small-scale environmental heterogeneity and the analysis of species distributions along gradients. *J. Veg. Sci.* 1: 57-66.
- PFADENHAUER, J., POSCHLOD, P. & R. BUCHWALD, 1986. Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. Teil 1. *Ber. ANL:* 10: 41-60.
- PICKETT, S. T. A. & J. KOLASA, 1990: Structure of theory in vegetation science. *Vegetatio* 83: 7-16.
- PIELOU, E. C., 1977: *Mathematical ecology*. Wiley, New York.
- PIGNATTI, S., 1980: Reflections on the phytosociological approach and the epistemological basis of vegetation science. *Vegetatio* 42: 181-185.
- PODANI, J., 1989: Comparison of ordinations and classifications of vegetation data. *Vegetatio* 83: 111-128.
- PREISINGER, H., 1991: *Strukturanalyse und Zeigerwert der Auen- und Ufervegetation im Hamburger Hafen- und Hafenanlagegebiet*. Diss. Bot. 174: 1-296.
- ROBERTS, D. W., 1990: Fuzzy systems vegetation theory. *Vegetatio* 83: 71-80.
- ROZEMA, J., BIJWAARD, P., PRAST, G. & R. BROEKMAN, 1985: Ecophysiological adaptations of coastal halophytes from foredunes and salt marshes. *Vegetatio* 62: 499-521.
- SOKAL, R. R. & P. H. A. SNEATH, 1963: *Principles of numerical taxonomy*. Freeman, San Francisco.
- SOKAL, R. R. & J. D. THOMPSON, 1987: Applications of spatial autocorrelation in ecology. In: P. LEGENDRE & L. LEGENDRE (eds.): *Developments in numerical ecology*, NATO ASI Series. Series G: *Ecological Sciences* 14: 431-466.
- TER BRAAK, C. J. F. & I. C. PRENTICE, 1988: A theory of gradient analysis. *Adv. Ecol. Res.* 18: 271-317.
- TER BRAAK, C. J. F., 1987: The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69: 69-77.
- VAN DER MAAREL, E., 1981: Some perspectives of numerical methods in syntaxonomy. In: H. DIERSCHKE (red.): *Syntaxonomy*, Cramer, Vaduz: 77-93.
- VAN DER MAAREL, E., 1984: Vegetation science in the 1980s. In: J.H. COOLEY & F.B. GOLLEY (eds.): *Trends in ecological research for the 1980s*, Plenum Press, New York: 89-110.
- VAN DER MAAREL, E., 1990: The Journal of Vegetation Science: the first year. *J. Veg. Sci.* 1: 577.
- VER HOEF, J. M., GLENN-LEWIN, D. C. & M. J. A. WERGER, 1990: Relationship between horizontal pattern and vertical structure in a chalk grassland. *Vegetatio* 83: 147-155.
- VINCE, S. W. & A. A. SNOW, 1984: Plant zonation in an Alaskan salt marsh. I. Distribution, abundance and environmental factors. *J. Ecol.* 72: 651-667.
- WARTENBERG, D., 1989: SAAP. Version 4.3 - Manual. Piscataway, NJ.
- WIEGLEB, G., 1984: A study of the habitat conditions of the macrophytic vegetation in selected river systems in western Lower Saxony (FRG). *Aquat. Bot.* 18: 313-352.
- WIEGLEB, G., 1986: Grenzen und Möglichkeiten der Datenanalyse in der Pflanzenökologie. *Tuexenia* 6: 365-377.
- WIEGLEB, G., 1990: Explanation and prediction in vegetation science. *Vegetatio* 83: 17-34.
- WIEGLEB, G., HERR, W. & D. TODESKINO, 1989: Ten years of vegetation dynamics in selected rivers in north west Germany. *Vegetatio* 82: 163-178.
- WIENS, J. A., 1989: Spatial scaling in ecology. *Funct. Ecol.* 3: 385-397.
- WILDI, O. & L. ORLOCI, 1987: Flexible gradient analysis: a note on ideas and applications. *Coenoses* 2: 61-65.

WILDI, O., 1977: Beschreibung exzentrischer Hochmoore mit Hilfe quantitativer Methoden. Veröff. Geobot. Institut ETH, Stiftung Rübel, Zürich 60: 1-128.

ZAUKE, G. P., JAX, K. & E. VARESCHI, 1991: Disturbance, patch dynamics and the relevance of life-history factors: A Gleasonian approach to ecosystems research in the wadden sea. Workshop Ecosystem Theory, Projektzentrum Ökosystemforschung, Kiel, Oktober 1991, im Druck.

Adresse

Dr. Gerhard Wiegleb
IBL - Beratende Ingenieure und Biologen
Unterm Berg 39

W-2900 Oldenburg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [21_1992](#)

Autor(en)/Author(s): Wiegleb Gerhard

Artikel/Article: [Explorative Datenanalyse und räumliche Skalierung - eine kritische Evaluation 327-338](#)