1999 - 18

Beurteilung von Vegetationsentwicklungen mit Hilfe multivariater Methoden

Dauerflächen-Design und Auswertung mittels Hauptkomponentenanalyse

Von Jesko Nagel und Carl Beierkuhnlein

Zusammenfassung

Um die Auswirkung naturschutzfachlicher Maßnahmen auf die Vegetation zu untersuchen, werden während eines Zeitraumes von zehn Jahren Vegetationsuntersuchungen auf Dauerflächen durchgeführt. Der vorliegende Beitrag stellt Ergebnisse der ersten drei Jahre dar. Das Design der Dauerflächen ermöglicht eine möglichst genaue und bearbeiterunabhängige Aufnahme der Vegetation [illegible] Gewinnung einer für die nachgeschaltete Datenauswertung ausreichenden Anzahl von Stichproben.

Um auch die Datenauswertung reproduzierbar zu gestalten, werden multivariate Methoden eingesetzt. Mit Hilfe der über Hauptkomponentenanalysen gewonnenen Ordinationsdiagramme lassen sich Vegetationsentwicklungen erkennen und interpretieren. Abschließend werden in schematisierter Weise verschiedene Möglichkeiten der Darstellung von Vegetationsveränderungen in Ordinationsdiagrammen vorgestellt.

Summary

Assessment of Vegetation Development with the Aid of Multivariate Methods – Design and Evaluation of Permanent Plots using Principal Component Analysis

In order to study the effects on vegetation of nature-conservation measures, studies of the vegetation on permanent plots are being made over a period of ten years. This paper presents results from the first three years. In order to achieve exact and reproducible data a special design for the permanent plots has been chosen. The permanent plots are subdivided in 25 subplots. For each subplot examinations are carried out. This means that 25 samples are obtained for each permanent plot. In order to get reproducible results data analysis is carried out by multivariate methods. Interpretation of the diagrams via principal component analysis has proven to be a means to recognise and interpret changes of the vegetation. Finally a schematic figure illustrates different possibilities to present vegetation development in ordination diagrams.

1 Einleitung

Bedingt durch die Veränderungen des Klimas sowie der Stoffdepositionen, Landnutzungsformen und -intensitäten sind in verstärktem Maße graduelle Veränderungen der Vegetation zu erwarten, welche natürliche zeitliche Prozesse in der Vegetationsentwicklung überlagern. Daraus ergibt sich ein erstes Argument, der Dynamik von Lebensgemeinschaften verstärkt Beachtung zu schenken.

Aus der Sicht des Naturschutzes werden Vegetationsveränderungen zwar einerseits kritisch beobachtet, z.B. die durch saure Depositionen verursachte Degradation von Wäldern, andererseits aber auch selbst induziert, z.B. durch Pflegemaßnahmen oder gezielte Umgestaltungen von Flächen. Für derartiges Management werden inzwischen erhebliche finanzielle Mittel aufgewandt. Unabhängig davon, ob dabei, wie im Biotopschutz, bestimmte Zustände als Ziel formuliert sind, oder, wie im Prozessschutz, eine spezifische Dynamik erwünscht ist (JEDICKE 1998), erwächst die Notwendigkeit, die zeitliche Entwicklung der Flächen und ihrer Lebensgemeinschaften zu überwachen, um die Effizienz bzw. den Erfolg der durchgeführten Maßnahmen beurteilen zu können (MARTI & STUTZ 1993, WEBER et al. 1995).

Es ist wichtig zu wissen, ob die Vegetation, z.B. in ihrer Artenzusammensetzung, auf geänderte Umweltbedingungen (z.B. Grundwasseranstieg) bzw. Nutzungs- oder Pflegeeingriffe (z.B. Beweidung) reagiert, und ob die sich ergebenden Entwicklungen beabsichtigt oder zumindest, wenn sie sich anders darstellen als vorgesehen, wünschenswert sind. Um dieses konkret analysieren zu können, ist der Einsatz von Methoden geboten, die neben einer quantitativen, bearbeiterunabhängigen Erfassung nicht zuletzt eine objektive Darstellung von Vegetationsentwicklungen ermöglichen.

Die Kenntnis des Verlaufs von Vegetationsveränderungen (Geschwindigkeit und Richtung) ist im Bereich des Naturschutzes und der Landschaftspflege eine wichtige Grundlage für Entscheidungen zur Beibehaltung bzw. zur Änderung von Pflege- oder Managementmaßnahmen. Es muss bekannt sein, welche Prozesse ablaufen, welche Arten gefördert werden, welche Strukturen sich herausbilden und wie schnell diese Abläufe geschehen. Auch einmalige Gestaltungseingriffe mit bestimmter Zielsetzung (Schaffung von spezifischen Biotopstrukturen) müssen hinterfragt und die sich entwickelnden Vegetationseinheiten beobachtet werden. Derartige Maßnahmen sind zwar kostengünstig, da kein permanenter Pflegeaufwand anfällt, doch machen FELINKS & WIEGLEB (1998) darauf aufmerksam, dass gerade unter dem Gesichtspunkt des Prozessschutzes auf solchen Flächen eine wissenschaftliche Überprüfung der Entwicklungen besonders wichtig ist. Letztlich sei noch angesprochen, dass auch in Schutzgebieten, in welchen keine Pflegemaßnahmen erfolgen, Entwicklungen ablaufen, die nicht unbedingt angestrebt sind. Ein eventuell zu Beginn der Unterschutzstellung definierter Status quo ist in vielen Fällen schon aufgrund veränderter atmosphärischer Stickstoffdepositionen nicht zu halten. Daher muss überprüft werden, ob und wann erhaltende Eingriffe erforderlich sind.

Werden Pflegemaßnahmen (z.B. Aushagerung durch Mahd ohne Düngung, einschürige Mahd) durchgeführt, so wird dieses ebenfalls einen Einfluss auf die Entwicklung der Lebensgemeinschaft haben. Die für ihre Entstehung verantwortliche anthropogene Nutzungsdynamik ist kaum wirklich zu imitieren. Es ist zu erwarten, dass die Veränderungen der Vegetation sich in diesem Fall als nicht auffällige und eher kontinuierliche Entwicklungen darstellen. Sie schlagen sich meist weniger in einem Artenwechsel als vielmehr in einer allmählichen Verschiebung der Deckungsgrade einzelner Arten nieder (DIERSCHKE 1994). Damit ist die Problematik der bearbeiter- und saisonabhängigen Schätzfehler angerissen. Erfassungen, die derart feine Veränderungen abbilden sollen, müssen daher einen hohen Grad an Erhebungsgenauigkeit und Auswertungsschärfe aufweisen.

Anhand der hier vorgestellten Fallbeispiele soll ein methodisches Vorgehen zur Analyse von Vegetationsveränderungen auf Naturschutzflächen vorgestellt werden. Die Flächen wurden im Rahmen von Ersatzmaßnahmen für den Bau einer Strom-Überlandleitung von der öffentlichen Hand angekauft und größtenteils erheblich umgestaltet. Daneben fanden auch allmähliche Nutzungsänderungen statt. Die Wirksamkeit der naturschutzfachlichen Ersatzmaßnahmen soll im Rahmen eines zehnjährigen Untersuchungsprogramms verfolgt werden. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der ersten Untersuchungsperiode von drei Jahren wiedergegeben. Eine abschließende Bewertung der unterschiedlichen Maßnahmen kann daher noch nicht erfolgen. Vielmehr sollen das methodische Vorgehen sowie Auswertungsmöglichkeiten für derartige Datensätze aufgezeigt werden.

Die Aufnahme vegetationskundlicher Daten fand für dieses Projekt vor allem in Offenlandbereichen statt, unter anderem in Grünlandbeständen, Niedermooren und Schlagfluren. Es wurde ein Methodenpaket entwickelt, welches eine möglichst genaue, zeitextensive und bearbeiterunabhängige Datenaufnahme gewährleisten sollte. Im Anschluß an die Geländearbeit wurden die vegetationskundlichen Daten multivariat bearbeitet, um mit Hilfe von Ordinationsdiagrammen stattfindende Entwicklungen darstellen zu können.

Zielsetzung des hier vorliegenden Beitrags ist nicht eine Darstellung der konkret stattgefundenen Veränderungen, sondern vielmehr ein beispielhaftes Aufzeigen von Möglichkeiten zur Identifikation von Entwicklungen. Auch soll hier eine Bewertung anhand normativer Zielvorgaben bzw. erwünschter Zustände nur andeutungsweise erfolgen. Anhand von vier Fallbeispielen werden Darstellungsmöglichkeiten für stattfindende Veränderungen der Artenzusammensetzung vorgestellt.

2 Methoden

2.1 Datenaufnahme

Die Vegetationsdaten wurden in insgesamt fünf Untersuchungsgebieten Nordostbayerns (Oberfranken) erhoben (Abb. 1). Die Flächen liegen in den Naturräumen „Frankenwald" und „Obermainisches Hügelland" und somit sowohl im silikatischen submontanen Mittelgebirge als auch in aus Sedimentgesteinen aufgebauten, vorgelagerten kollinen Landschaften. Bei den Untersuchungsflächen handelt es sich um offene Brachflächen, Niedermoore und Grünland. Die Flächen wurden entweder unter Naturschutzgesichtspunkten durch Managementeingriffe oder durch Pflegemaßnahmen umgestaltet.

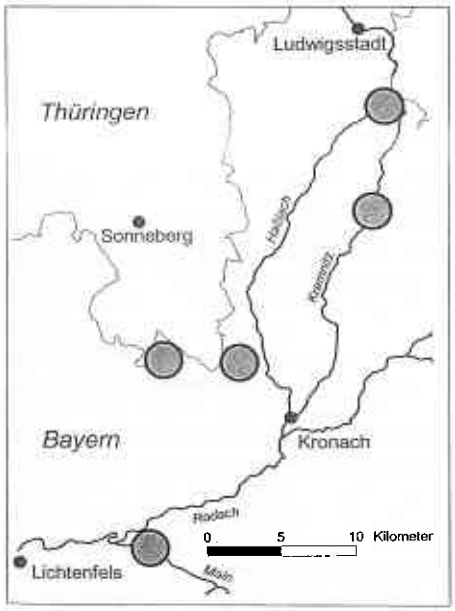

Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete in Nordbayern.

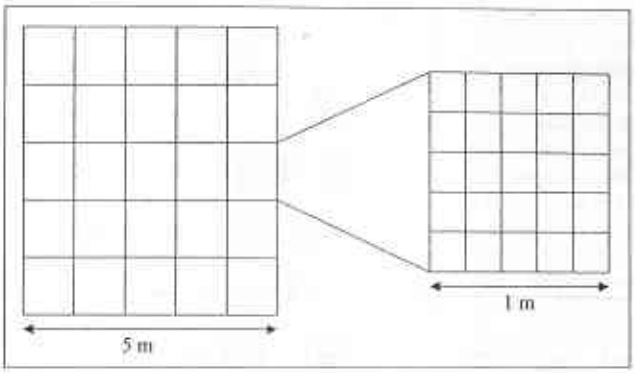

Abb. 2: Anlage und Unterteilung der Dauerflächen (25 m²). Die 25 Teilflächen (1 m²) wurden nochmals in 25 Kleinstquadrate (0,04 m²) unterteilt, um quantitative Erfassungen zu erleichtern.

Die einzelnen Untersuchungsgebiete besitzen jeweils drei bis sechs 5 x 5 m² große Dauerflächen. Für die hier vorliegenden Darstellungen wurden exemplarisch vier Dauerflächen ausgesucht. Die verfolgte Dauerflächenmethode wurde der Grundlagenforschung (Sukzessionsforschung) auf Grünland (SCHMIDT 1998, SCHREIBER 1997) entlehnt und auf die normativ ausgerichtete Naturschutzforschung übertragen, die zur Überprüfung der Wirksamkeit der eingesetzten finanziellen und technischen Mittel nach objektiven Verfahren sucht. Die Problematik der Einrichtung von Dauerflächenuntersuchungen (Markierung, Einmessung, Repräsentativität) (BÖCKER 1998) und der Erfassung quantitativer Daten (Autokorrelation, Erfassungsaufwand) soll hier nicht eingehender behandelt werden (s. WEBER et al. 1995).

Zur quantitativen Charakterisierung der auftretenden Arten wurde die Deckung gewählt. CAUSTON (1988) unterscheidet bei der quantitativen Erfassung absolute und nicht absolute Vegetationsparameter. Absolute Parameter sind unabhängig von der Untersuchungsmethode und weisen für ein konkretes Objekt (z.B. Bestand) immer die selben Werte auf. Beispiele sind Dichte, Deckung oder Biomasse. Die Werte nicht absoluter Parameter hingegen werden durch die Vorgehensweise bei der Datenerhebung beeinflusst. Ein Beispiel dafür ist die (lokale) Frequenz, die aufgrund des Vorgehens mit Gitterrahmen ebenfalls denkbar gewesen wäre. Ihr Wert wird jedoch von der Zahl und der Größe der Teilflächen (z.B. in einem Gitternetz) mitbestimmt. Andererseits wird die Frequenz – bei gleich großem Rahmen – durch die Größe der Pflanzen beeinflusst. Wenige große Individuen ergeben einen höheren Wert, da sie eine größere Fläche einnehmen als zahlreiche kleine.

Um die Schätzgenauigkeit zu erhöhen und eine ausreichende Anzahl von Stichproben zu erhalten, wurde die Deckungsschätzung in 1 x 1 m² großen Kleinquadraten durchgeführt. Eine genaue und relativ bearbeiterunabhängige Schätzung der Deckungen der einzelnen Arten wurde mit Hilfe eines 1 x 1 m² großen Aufnahmerahmens, der in 25 jeweils 20 x 20 cm² große Kleinstquadrate unterteilt werden konnte, ermöglicht (Abb. 2). Auf diese Weise konnten für jede Dauerfläche 25 Stichproben gewonnen werden.

Die Deckungsschätzung erfolgte mit der von LONDO (1975) entwickelten Dezimalskala. Im Vergleich mit der konventionell benutzten siebenteiligen Artmächtigkeits-Schätzskala nach BRAUN-BLANQUET (1964) liegt der Vorteil dieser Skala in der feineren Skalierung, besonders im Bereich 5 – 25 %. Die LONDO-Skala vermeidet die für numerische Auswertungen hinderliche Kombination von Deckungs- und Abundanzwerten. Zudem ist ein Code-Replacement, also ein Ersatz ursprünglicher Schätzsymbole durch diskrete Werte, welches für die Weiterverarbeitung mit numerischen Methoden erforderlich ist, mit dieser Skala weniger problematisch. Den regelhaft unterteilten Deckungsklassen ist jeweils ein klarer Mittelwert zugeordnet.

2.2 Datenaufbereitung und multivariate Auswertung

Die im Gelände aufgenommenen Daten liegen zunächst in Form von Rohtabellen vor. Vor einer multivariaten Auswertung müssen die Daten entsprechend den speziellen Anforderungen des angewandten Ordinationsalgorithmus' aufbereitet werden. Bei der Auswertung wurden sowohl Deckungswerte als auch Presence-Absence-Daten berücksichtigt. Letztere geben lediglich Auskunft über die An- oder Abwesenheit von Arten in Aufnahmen (als 1 bzw. 0 notiert), sind also nicht beeinflusst durch eventuelle Schätzfehler. Auf diese Weise kann zum einen die veränderte Bedeutung einer Art für die Artenzusammensetzung einer Aufnahme, zum anderen eine Veränderung der Deckung einzelner Arten erkannt werden. Zudem bieten die Ordinationen mit den Presence-Absence Daten die Möglichkeit, die Ordinationen der Deckungswerte (Möglichkeit subjektiver Schätzfehler) mit bearbeiterunabhängigeren Daten zu überprüfen.

Nach Code-Replacement und Transformation [hier: log (x + 1)] mit dem Programm SORT 3.8 (DURKA & ACKERMANN 1993) wurde eine Datenreduktion auf der Grundlage der Varianz der einzelnen Arten durchgeführt. Es ist durchaus sinnvoll, bei varianzbasierten Analysen seltene oder allgemein verbreitete Arten zur Verminderung des Rechenaufwandes vor der Analyse auszuschließen, da sie wenig zur Erklärung der sich ergebenden Strukturen beitragen (NICHOLS 1977). Bei der Berücksichtigung der Deckungswerte wurde eine minimale Varianz von 0,03, bei Presence-Absence-Daten von 0,01 definiert. Mit dieser Limitierung ergab sich im Vergleich verschiedener Durchläufe der Hauptkomponentenanalyse jeweils eine maximale erklärte Varianz.

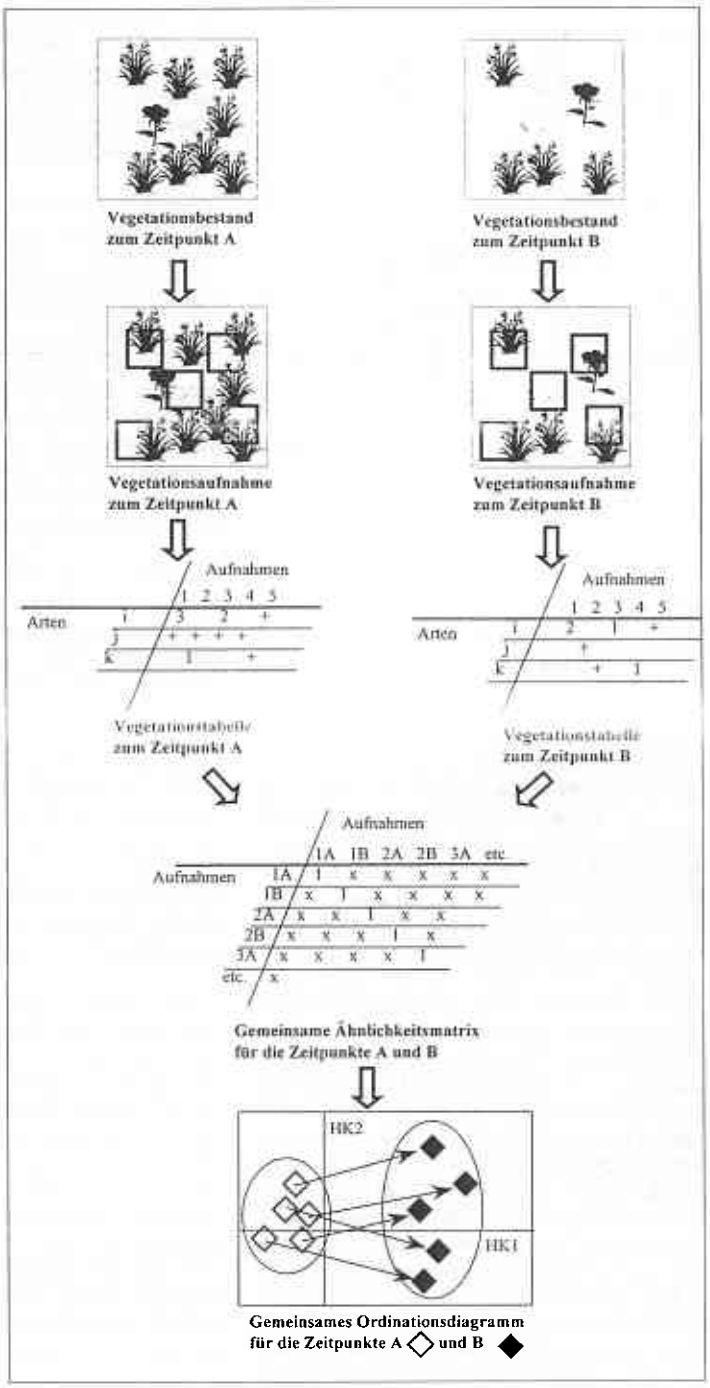

Abb. 3: Schematischer Ablauf der einzelnen Schritte einer Vegetationsanalyse von Dauerflächen mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse.
Ausgehend von einem realen Bestand, welcher zu zwei verschiedenen Zeitpunkten untersucht wird, werden Vegetationsaufnahmen erstellt und in Form von Rohtabellen festgehalten. Die Rohtabellen werden nach Code-Replacement und Transformation in eine Ähnlichkeits- oder Korrelationsmatrix überführt. Über Eigenwert- und Eigenvektorberechnung werden die Richtungen der maximal erklärten Varianz und die Hauptkomponentenladungen bestimmt. Daraufhin werden die neuen Koordinaten oder Faktorenwerte berechnet und das Ergebnis in Form eines Ordinationsdiagramms dargestellt (hier Hauptkomponenten 1 und 2).

Mit den aufbereiteten Daten wurde schließlich die multivariate Analyse durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Programme SPSS 6.1.3 (SPSS inc.) und CANOCO 3.11 (TER BRAAK) verwendet. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit SIGMAPLOT 2.01a (JANDEL CORP.) und CANODRAW (SMILAUER). Einen Überblick über den Ablauf einer multivariaten Datenanalyse liefert Abb. 3. Bei der vorliegenden Arbeit wurde die Hauptkomponentenanalyse (HKA) als Ordinationsalgorithmus gewählt. Bei dieser Art der Datenanalyse wird „die Zahl der die Objekte (Aufnahmen) beschreibenden Merkmale (Pflanzenarten) durch Zusammenfassung stark varianzverursachender und gleichzeitig hochkorrelierender Merkmale, d.h. einer Integration in eine ‚zusammengesetzte Variable' (Hauptachsen, ‚composite variables')" reduziert (HAKES 1996). Ziel der Ordination ist es folglich, die Beziehungen verschiedener Objekte (Arten, Aufnahmen) bzw. Objektgruppen (Pflanzengesellschaften) zu erkennen und graphisch-räumlich darzustellen. Dabei müssen Strukturen eines vieldimensionalen Raumes möglichst „naturgetreu" auf wenige Dimensionen projiziert werden. Dieses ist zwangsläufig mit Informationsverlusten verbunden.

Multivariate Ordinationsmethoden sind, ähnlich wie die pflanzensoziologische Tabellenredigierung, generell nichts anderes als Hilfsmittel zum Verständnis von Zusammenhängen. Sie bieten prinzipiell keine Möglichkeit einer naturwissenschaftlich exakten Analyse wirklicher kausaler Beziehungen, die unter vergleichbaren Rahmenbedingungen immer wieder reproduzierbar wären. Dennoch stellen sie bei komplexen Datenstrukturen und vor allem beim Vorherrschen gradueller Übergänge, wie sie bei zeitlichen Vegetationsveränderungen nahezu immer gegeben sind, ein wertvolles Hilfsmittel zur Datenanalyse dar.

Ordination ist im engeren Sinn, d.h. in seiner numerischen Anwendung, ein Begriff der anglo-amerikanischen Vegetationskunde (WHITTAKER 1978). Dort lag relativ frühzeitig ein Schwerpunkt vegetationskundlicher Arbeiten bei der Bearbeitung gradueller Vegetationsübergänge, welche mit quantitativen Erfassungsmethoden bearbeitet wurden (BRAY & CURTIS 1957, CURTIS & MCINTOSH 1951, GOODALL 1954, WHITTAKER 1956).

In seiner heutigen Bedeutung für die Vegetationskunde geht der Begriff Ordination bzw. Ordinierung eigentlich auf die Art der Verwendung des deutschen Begriffes „Ordnung" durch RAMENSKY (1924, 1930) zurück, denn schließlich kann auch die zuordnende Klassifizierung als „Ordnung" verstanden werden. Hier ist aber nicht **Zu**ordnung, sondern **An**ordnung gemeint. GOODALL (1954) definierte Ordination als die „Anordnung von Einheiten in einer einbis mehrdimensionalen Ordnung". Eine aktuelle Definition kann nach ORLOCI (1978) „jede Methode" dienen, „deskriptiv oder prädiktiv, taxonomisch oder ökologisch, welche geeignet ist, kontinuierliche Änderungen durch axiale Anordnungen zu erfassen". Allerdings ist die Verwendung des Wortes kontinuierlich problematisch, da es maßstabsabhängig ist, und weil mit Ordinationsmethoden auch graduelle diskontinuierliche Veränderungen dargestellt werden können.

Bei der angewandten Hauptkomponentenanalyse wird davon ausgegangen, dass die Lage der einzelnen Aufnahmen im Raum entlang mehrerer Achsen (bei vegetationskundlichen Daten entsprechen die ursprünglichen Achsen den Pflanzenarten) definiert ist. Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse werden neue Achsen oder Faktoren berechnet, welche die ursprünglichen Arten ersetzen bzw. zusammenfassen. Grundlage dafür ist eine Ähnlichkeits- oder Korrelationsmatrix, die im vorliegenden Fall über Pearson-Korrelationskoeffizienten bestimmt wurde. Über die Berechnung der Eigenwerte und Eigenvektoren dieser Matrix werden die maximal erklärbare Varianz und die Faktorenladungen berechnet. Die Faktorenladungen entsprechen den Korrelationen der ursprünglichen Arten mit den neuen Faktoren. Sie werden bei der Auswertung der Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse dazu herangezogen, den Beitrag einzelner Arten zu den neu berechneten Achsen abzuschätzen. Zusätzlich wird das ursprüngliche Koordinatensystem um den Nullpunkt rotiert. Die Ausrichtung der senkrecht aufeinander stehenden neuen Ordinationsachsen (Hauptkomponenten, HK bzw. Faktoren) erfolgt entlang der Richtung (Eigenvektor) des größten Anteils erklärbarer Varianz (Eigenwert) der Korrelations- oder Kovarianzmatrix. Auf diese Weise werden die Aufnahmen möglichst hoch aufgelöst dargestellt. Abschließend werden die Koordinaten der Aufnahmen für das gedrehte

Koordinatensystem, die „Faktorwerte", berechnet. Je höher die Varianz, um so weiter sind die Objekte bei einer zentrierten Matrix vom Schnittpunkt der Hauptkomponenten entfernt. Indifferente Objekte (Arten oder Aufnahmen) werden im Bereich des Schnittpunktes dargestellt.

Die Hauptkomponentenanalyse setzt lineare Beziehungen wie auch normalverteilte Daten voraus. Das Verhalten von Pflanzenarten in Bezug auf bestimmte Umweltparameter ist aber in der Regel nicht linear und auch nicht monoton und weist über weite Bereiche einer standörtlichen Skala Nullwerte auf. Statistische Methoden mit unterstellten linearen Beziehungen können dieses Verhalten folglich nur unzureichend beschreiben. Ferner sollten die verschiedenen Achsen unkorreliert sein. Nicht selten korrelieren jedoch verschiedene Pflanzenarten in ihrem Auftreten miteinander.

Neben der Berücksichtigung vieler Dimensionen hat die Hauptkomponentenanalyse andererseits den Vorteil, dass bestehende lineare Beziehungen auch aufgespürt werden können. Bei Verwendung quantitativer Art-Daten mit wenigen Nullwerten, d.h. dem Nichtvorkommen einer Art, können mit der Hauptkomponentenanalyse vor allem dann aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden, wenn der untersuchte Umweltbereich eng begrenzt ist. Diese Situation war im vorliegenden Fall gegeben. Bei geringen standörtlichen Unterschieden innerhalb des Datensatzes bewirkt die Annahme linearer Reaktion der Arten auf Umweltverhältnisse nur einen geringen Fehler.

Vegetationsentwicklungen wurden bereits mehrfach mit Hilfe multivariater Methoden dargestellt (z.B. FELINKS & WIEGLEB 1998). Hier soll aber versucht werden, nicht die Entwicklung mehrerer Vegetationseinheiten im Vergleich zueinander zu untersuchen, sondern Ordinationsverfahren hinsichtlich der Entwicklung einzelner Standorte einzusetzen. Die vorgestellten Ordinationsdiagramme geben jeweils die zeitliche Veränderung der Vegetation einzelner Dauerflächen wieder. Zusätzlich sollen für diese einzelnen Flächen Arten identifiziert werden, welche die Entwicklung charakterisieren und als Zeigerarten für ablaufende Sukzessionsprozesse (hier: allogene Sukzession) angesehen werden können. Sie sollen von Arten unterschieden werden, die – im konventionellen Verständnis der Zeigerarten – die ökologische Variabilität innerhalb der Flächen kennzeichnen. Diese angesprochenen Arten sind an den Ordinationsdiagrammen seitlich vermerkt.

Als Beispiel für ein Ordinationsdiagramm und seine Interpretation soll Abb. 4 dienen. Hier wird das Ergebnis einer Hauptkomponentenanalyse von Deckungswerten einer Dauerfläche dargestellt. In den Ordinationsdiagrammen sind die Aufnahmen des ersten Untersuchungszeitraumes (1994) durch Dreiecke, die des zweiten (1997) durch Kreise symbolisiert. Dadurch ist die zeitliche Differenzierung der Aufnahmen direkt aus dem Diagramm ersichtlich. Pfeile im Diagramm kennzeichnen zusätzlich die Hauptrichtung der Entwicklung. Diese muss

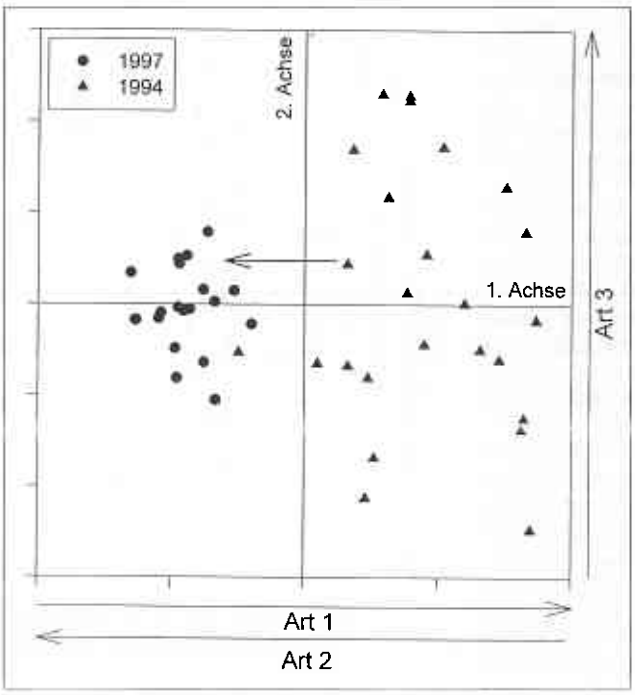

Abb. 4: Schematisiertes Beispiel eines Ordinationsdiagramms, in welches Daten zweier Untersuchungsperioden (1994 und 1997) einfließen.

Die verschiedenen Zeitpunkte der einzelnen Aufnahmen sind durch unterschiedliche Symbole verdeutlicht. Randlich sind jene Arten und ihre zunehmende bzw. abnehmende Bedeutung angegeben, welche auf die entsprechenden Achsen hoch laden, d.h. eng mit ihnen und der durch sie wiedergegebenen Entwicklung korreliert sind.

nicht immer von links nach rechts verlaufen, sondern kann auch entgegengesetzt abgebildet werden, da die einzelnen Punkte an den Achsen gespiegelt werden können.

In den meisten Fällen ist die zeitliche Entwicklung durch die erste Achse aufgezeigt, welche den höchsten Anteil an der Gesamtvarianz des Datensatzes erklärt. Ist die räumliche Variabilität größer als die zeitliche, geschieht die zeitliche Differenzierung zusammen mit oder allein durch die zweite Achse. Die am höchsten mit der jeweiligen Achse korrelierten Arten, d.h. die Arten mit den höchsten Faktorladungen (s.o.), werden zusammen mit der Richtung ihrer Korrelation unter oder rechts neben dem Ordinationsdiagramm dargestellt. Positive Korrelationen mit der ersten Achse werden durch einen Pfeil unterhalb des Diagramms nach rechts, negative Korrelationen durch einen Pfeil nach links dargestellt. Positive bzw. negative Korrelationen mit der zweiten Achse werden entsprechend durch einen Pfeil nach oben bzw. nach unten rechts neben dem Diagramm verdeutlicht. Die Bedeutung der Arten (in diesem Fall ihre Deckung) nimmt in Richtung des Pfeils zu, in umgekehrter Richtung ab. Für die in Abb. 4 dargestellte Ordination heißt dieses, dass Art 1 positiv mit der ersten Achse korreliert und somit in ihrer Bedeutung nach rechts zu- und nach links abnimmt. Die Deckung von Art 1 nimmt im betrachteten Zeitraum also ab. Art 2 korreliert negativ mit der ersten Achse, d.h. ihre Bedeutung nimmt nach links zu, nach rechts ab, die Deckung dieser Art dementsprechend zu. Ähnlich kann die Korrelation von Art 3 mit der zweiten Achse interpretiert werden. Diese Art korreliert positiv mit der zweiten Achse, nimmt in ihrer Bedeutung also nach oben hin zu. Das heißt, dass diese Art für Aufnahmen, welche im Ordinationsdiagramm oben abgebildet werden, eine größere Bedeutung hat als für Aufnahmen, die im Diagramm unten abgebildet werden. Daraus kann wiederum geschlossen werden, dass die einen Untersuchungszeitraum repräsentierende Punktwolke auch noch in sich differenziert sein kann. Diese Differenzierung resultiert aus der Ungleichverteilung der mit dieser Achse am höchsten korrelierten Arten innerhalb der Dauerfläche. Auf der hier analysierten Maßstabsebene der Teilflächen innerhalb einer Pflanzengemeinschaft, die sich sogar pflanzensoziologisch fassen lässt, wirken neben extrazönotischen Einflüssen (kleinräumige Standortunterschiede) auch intrazönotische Größen differenzierend. Dazu gehören populationsbiologische Prozesse, die zu einer bestimmten Unregelmäßigkeit der Verteilung von Individuen führen, sowie die unterschiedliche Größe, Wuchsform und Ausbreitungsstrategie von Einzelindividuen. Sie sind ebenfalls für die Herausbildung einer kleinräumigen Heterogenität und Musterbildung verantwortlich. Einen Hinweis auf die Bedeutung dieser Einflüsse gibt die hohe Ladung der sich klonal ausbreitenden Arten, wie z.B. des Rohr-Glanzgrases (*Phalaris arundinacea*). Hinsichtlich der Verteilung der mit der zweiten Achse hoch korrelierten Arten ist die Dauerfläche als räumlich heterogen zu betrachten. In der Beispielgrafik ist darüber hinaus eine Abnahme der Ungleichverteilung von Art 3 zu erkennen.

3 Ergebnisse

3.1 Fallbeispiele

Im Folgenden sollen vier Einzelbeispiele von Dauerflächen mit der beschriebenen Methode analysiert werden. Im Fall einer Grünlanddauerfläche staudenreicher Nasswiesen (Sanguisorbo-Silaetum) (Abb. 5) ist eine klare zeitliche Trennung der beiden Aufnahmezeiträume (1994 und 1997) erkennbar. Die durch unterschiedliche Symbole hervorgehobenen beiden Untersuchungsjahre sind entlang der ersten Haupt-

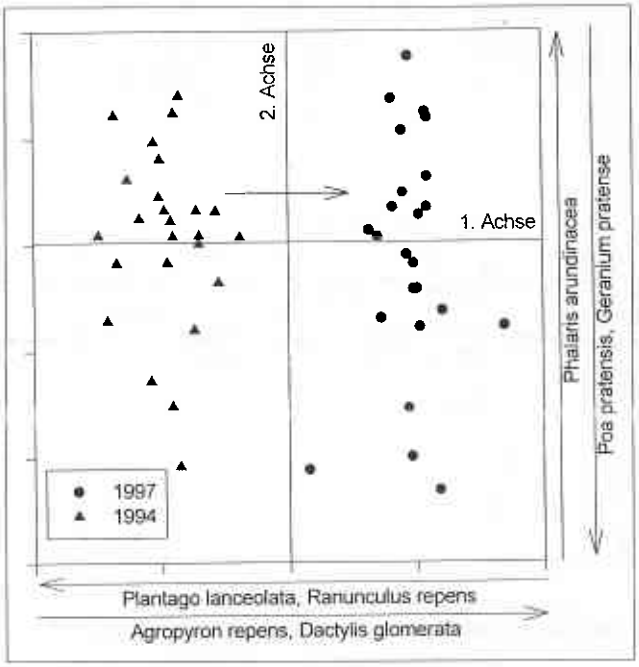

Abb. 5: Vegetationsentwicklung der Dauerfläche eines Grünlandbestands (Sanguisorbo-Silaetum) im Zeitraum 1994 bis 1997, verdeutlicht durch eine Hauptkomponentenanalyse (erste und zweite Achse) unter Berücksichtigung der Deckungswerte.

Komponentenachse klar differenziert. Das deutet auf die starke und auch einheitliche Entwicklung der Dauerfläche hin. Keine der 25 Teilflächen lässt nach drei Jahren noch Ähnlichkeiten mit dem Ausgangszustand erkennen. Einzelne Pflanzen, die diese Entwicklung indizieren, sind am unteren Rand der Grafik angegeben. In diesem Fall gibt die abnehmende Bedeutung krautiger Arten und die zunehmende Bedeutung der Hochgräser einen Hinweis auf eine ablaufende Vergrasung der Dauerfläche. Während der Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*) und der Kriechende Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) positiv mit dem Ausgangszustand korreliert sind und daher zurückgehen, nehmen die Deckungen der Kriechenden Quecke (*Agropyron repens*) und des Wiesen-Knäuelgrases (*Dactylis glomerata*) zu. Für den durch diese Dauerfläche repräsentierten Bestand wurde als Ziel die Entwicklung eines arten- und strukturreichen Wiesenbrüterbiotops formuliert. Vor diesem Hintergrund legen die Ergebnisse eine negative Bewertung der stattfindenden Entwicklung nahe.

Betrachtet man die Verteilung der Teilflächen in Abb. 5 entlang der zweiten Achse, die als Hinweis auf die standörtliche Varianz innerhalb der Fläche verstanden werden kann, so fällt auf, dass die Heterogenität innerhalb der 25 m² großen Dauerfläche ähnlich geblieben ist oder sogar leicht zugenommen hat. Arten, die diese Streuung am stärksten wiedergeben, sind Rohr-Glanzgras (*Phalaris arundinacea*), Wiesen-Rispengras (*Poa pratensis*) und Wiesen-Storchschnabel (*Geranium pratense*). Einen Hinweis auf die Bedeutung dieser Einflüsse gibt die hohe Ladung der sich klonal ausbreitenden Grasart *Phalaris arundinacea* auf der zweiten Achse (s.o.). Zusammenfassend ist also für diese Dauerfläche eine deutliche zeitliche Entwicklung unter Beibehaltung einer großen inneren Heterogenität festzustellen.

In Abb. 6 ist ebenfalls die zeitliche Trennung der beiden verglichenen Jahre offensichtlich. Für diese Dauerfläche in einer Schlagflur (Rubetum idaei) erfolgt die Aufspannung der beiden Vergleichsjahre ebenfalls entlang der ersten Achse. Sie zeigt damit die Bedeutung der stattgefunden zeitlichen Entwicklung an, welche die Fläche im Untersuchungszeitraum genommen hat. Die Richtung im Ordinationsdiagramm von rechts nach links sollte jedoch nicht als „rückläufige" Entwicklung fehlinterpretiert werden. Vielmehr kann die Grafik auch als an der zweiten Achse gespiegelt gedacht werden. Die zeitliche Trennung wird hauptsächlich durch die positive Korrelation des Roten Straußgrases (*Agrostis tenuis*) (Zunahme) und die negative Korrelation des Weißen Straußgrases (*Agrostis stolonifera*) (Abnahme) mit der ersten Achse angezeigt – ein Hinweis auf den Rückgang des ruderalen Charakters.

Einen offensichtlichen Unterschied zu Abb. 5 stellt die unterschiedliche Streuung der Punktwolken entlang der zweiten Achse dar, welche die beiden Untersuchungszeiträume repräsentieren. Eine geringere Streuung entlang der zweiten Achse kann auf die von 1994 nach 1997 abnehmende Heterogenität der Dauerfläche, vor allem hinsichtlich der Verteilung de gewöhnlichen Hohlzahns (*Galeopsis tetrahit*), zurückgeführt werden. Für die abnehmende Streuung entlang der ersten Achse ist die veränderte Verteilung der *Agrostis*-Arten verantwortlich. Insgesamt stellt sich die Fläche also ebenfalls als in einer starken Entwicklung begriffen dar, in welcher der ruderale Charakter mehr und mehr verloren geht und der Wiesencharakter hervortritt. Darin ist eine Übereinstimmung mit der angestrebten Mähwiese zu erkennen.

Abb. 7 repräsentiert eine Fläche, die sich nach der Rodung eines Fichtenbestandes zu einer feuchten Talwiese entwickeln soll. In diesem Fall sind die durch die zweite und dritte Achse erklärten Varianzen nahezu gleich groß, daher kann im Ordinationsdiagramm ohne weiteres auch die Achsen zugunsten einer übersichtlicheren Graphik dargestellt werden. Auch hier ist die zeitliche Trennung der Teilflächen entlang der ersten Achse offensichtlich. Im Gegensatz zu Abb. 6 stellen sich jedoch die Teilflächen zu Beginn der Untersuchung sehr einheitlich dar. Die anfänglich recht homogene, fast nur mit Gemeinem Hohlzahn (*Galeopsis tetrahit*) bestandene Schlagflur (*Deschampsia cespitosa-Phalaris arundinacea*-Gesellschaft) erfährt dann innerhalb von drei Jahren eine starke Diversifizierung. Zum einen nimmt die Artenzahl zu, zum anderen ist eine zunehmend heterogene Verteilung einiger Arten auf der Fläche zu erkennen. Die starke Vergrasung mit Rasen-Schmiele (*Deschampsia cespitosa*), Wald-Simse (*Scirpus sylvaticus*) und Rohr-Glanzgras

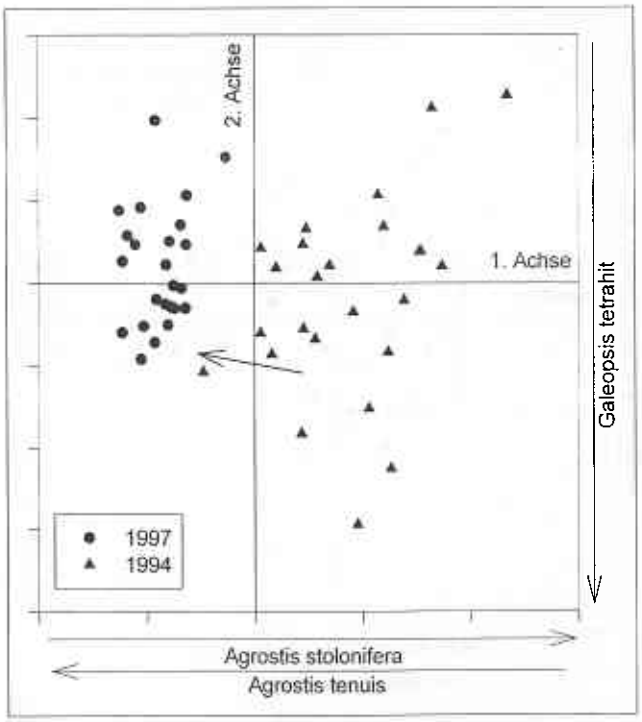

Abb. 6: Vegetationsentwicklung der Dauerfläche eines Schlagflurbestandes (Rubetum idaei) im Zeitraum 1994 bis 1997, verdeutlicht durch eine Hauptkomponentenanalyse (erste und zweite Achse) unter Berücksichtigung der Deckungswerte.

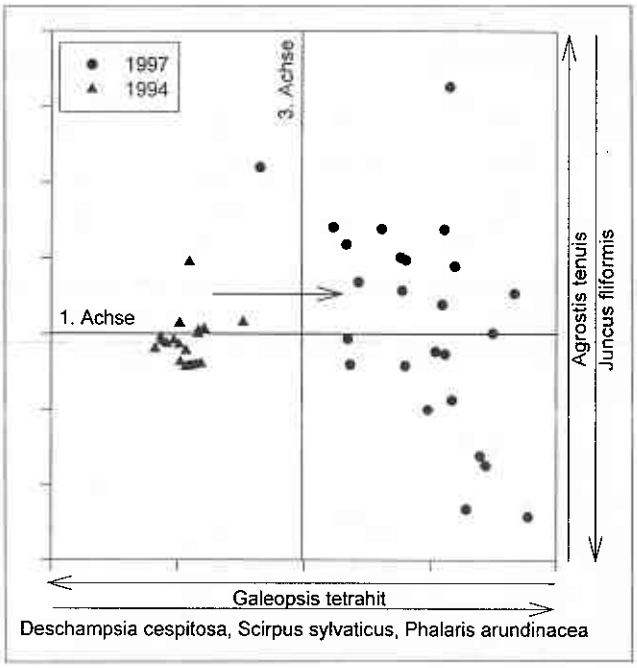

Abb. 7: Vegetationsentwicklung der Dauerfläche in einer Schlagflurgesellschaft (*Deschampsia cespitosa-Phalaris arundinacea*-Gesellschaft) im Zeitraum 1994 bis 1997, verdeutlicht durch eine Hauptkomponentenanalyse (erste und dritte Achse) unter Berücksichtigung der Deckungswerte. Die zweite Achse erwies sich in diesem Beispiel als wenig differenzierend.

(*Phalaris arundinacea*) ist im Ordinationsdiagramm sehr gut zu erkennen. Eine Ursache der sich hier abzeichnenden Musterbildung kann in dem durch das Mikrorelief des ehemaligen Waldes (Baumstubben etc.) induzierten, kleinräumig unterschiedlichen Feuchteregime (Grundwassernähe) gesehen werden. Dieses wird vor allem durch die bezüglich der zweiten Achse hoch ladenden Arten Rotes Straußgras (*Agrostis tenuis*; eher frische Böden bevorzugend) und Faden-Binse (*Juncus filiformis*; feuchte bis nasse Böden bevorzugend) angezeigt. Insgesamt ist diese Fläche ebenfalls vorwiegend durch die zeitliche Entwicklung geprägt, wenngleich sie im zweiten Untersuchungsdurchgang eine hohe räumliche Heterogenität aufweist.

Im Vergleich dazu tritt bei der Ordination einer Niedermoorgesellschaft (Caricetum fuscae) (Abb. 8), welche sich zu einer Übergangsmoorgesellschaft hin entwickeln soll, auf der Grundlage von Deckungswerten die zeitliche Varianz hinter der räumlichen Varianz innerhalb der Fläche zurück. Die Tatsache, dass die zeitliche Entwicklung entlang der zweiten Achse und räumliche Unterschiede entlang der ersten abgebildet werden, deutet darauf hin, dass letztere in ihrem Einfluss auf die Artenzusammensetzung überwiegen. Zwar sind auch hier die Aufnahmen des zweiten Untersuchungsdurchgangs von jenen des Ersten getrennt und zeigen somit eine stattfindende Veränderung an, sie sind jedoch nur entlang der zweiten Achse aufgespannt, und es bestehen einzelne Ausnahmen. Auch fällt die nur geringfügig verminderte räumliche Heterogenität auf. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Entwicklung offensichtlich relativ langsam stattfindet und kleinräumige Unterschiede überwiegen. Die hohe Bedeutung des Faulbaums (*Frangula alnus*) und der Kiefer (*Pinus sylvestris*) entlang der ersten Achse gibt einen Hinweis auf den Einfluss verholzender Strukturelemente (als Relikte eines ehemaligen Vorwaldstadiums) auf die räumliche Heterogenität der Artenzusammensetzung. Die abnehmende Bedeutung von Sumpf-Torfmoos (*Sphagnum palustre*) und Rundblättrigem Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) entlang der zweiten Achse, also mit zunehmender Zeitdauer, kann als gegen die Zielsetzung gerichtet interpretiert werden.

Da *Drosera* aber nicht nur in oligotrophen Mooren, sondern gleichfalls an nährstoffarmen nassen Rohbodenstandorten wächst, wie sie nach der Biotopgestaltung durch Grabenanstau auftraten, kann das auch als Hinweis für einen abnehmenden Einfluss von Störstellen angesehen werden. Für diese Fläche lässt sich somit zusammenfassend sagen, dass die zeitliche Entwicklung weniger bedeutsam ist als die räumliche Differenzierung, welche mehr oder weniger unverändert über die Zeit erhalten blieb. Ein Sukzessionsablauf ist dennoch festzustellen, er erfolgt, den Erwartungen entsprechend, aber relativ langsam.

3.2 Allgemeine Anmerkungen zur Interpretation von Ordinationsdiagrammen bei Effizienzkontrollen mit Dauerflächen

Die Beispiele haben gezeigt, dass es mit Hilfe von Ordinationsdiagrammen möglich ist, unterschiedliche Ausprägungen der Vegetationsdynamik zu entdecken. In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten der Ordinationsdiagramme, welche durch den Vergleich mit den dazugehörigen Vegetationstabellen deutlich wurden, noch einmal einzeln hervorgehoben und explizit formuliert. Folgende Fragestellungen können mit Hilfe der Diagramme geklärt werden:

▸ *Wie scharf ist die zeitliche Trennung?*
Die Trennung der Aufnahmen der verschiedenen Untersuchungszeiträume kann verschieden scharf sein (Abb. 9a und 9b). Je weiter die Punktwolken voneinander entfernt sind, desto schärfer ist die Trennung. Für die Bewertung der Vegetationsentwicklung bedeutet das: Je schärfer die Trennung, desto deutlicher hat die Entwicklung der Untersuchungsflächen zu einer Veränderung der Vegetation geführt.

▸ *Wie verändert sich ein Bestand?*
Eine Verschiebung der Bedeutung einzelner Arten kann für alle Aufnahmen von Teilflächen gleichermaßen stattfinden (Abb. 9c). Dieses muss aber nicht der Fall sein, denn es können durchaus einzelne Teilflächen in der Entwicklung verharren oder zurückbleiben. Arten, die für eine derartige Trennung verantwortlich sind, können

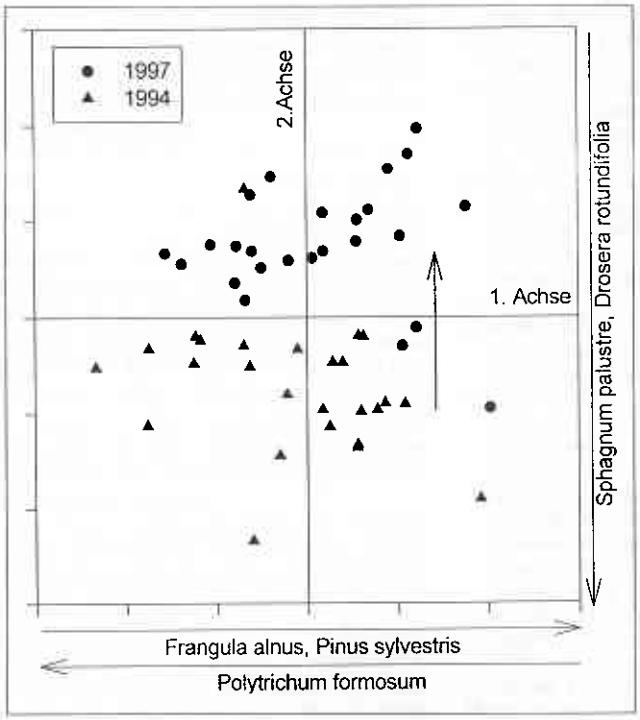

Abb. 8: Vegetationsentwicklung der Dauerfläche einer Übergangsmoorgesellschaft (Caricetum fuscae) im Zeitraum 1994 bis 1997, verdeutlicht durch eine Hauptkomponentenanalyse (erste und zweite Achse) unter Berücksichtigung der Deckungswerte.

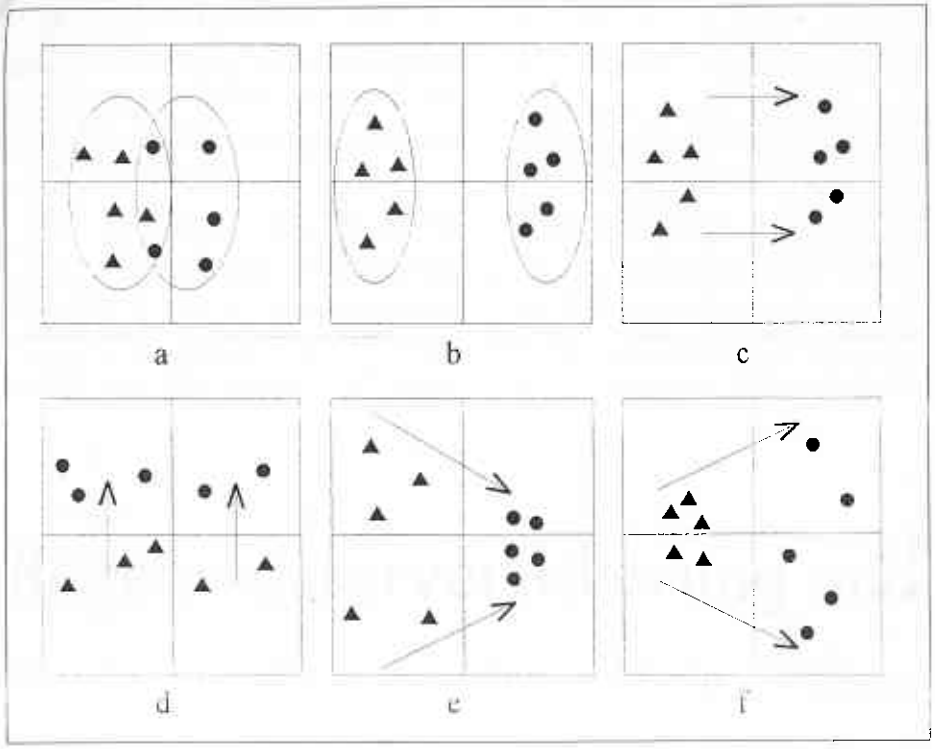

Abb. 9: Schematisierte Darstellung verschiedener Möglichkeiten der Wiedergabe von Vegetationsentwicklungen in Ordinationsdiagrammen: unklare Differenzierung (a), klare Differenzierung (b), entlang der ersten Achse bzw. am stärksten varianzbestimmend (c), entlang der zweiten Achse und damit anderen differenzierenden Einflüssen untergeordnet (d), mit zunehmender Homogenität (e), mit zunehmender Heterogenität (f).

als „Zeigerarten" für eine stattfindende Entwicklung interpretiert werden. Beispielsweise kann eine Aushagerung von Untersuchungsflächen als angestrebtes Ziel anhand der Zunahme von Magerkeitszeigern erkannt werden.

▸ *Wie stark ist die zeitliche Entwicklung?*
Eine rasche und deutliche Entwicklung ist durch ein deutliches Aufspannen der Aufnahmen entlang der ersten Achse angedeutet (Abb. 9c). Wenn die zeitliche Entwicklung lediglich entlang der zweiten Achse aufgespannt ist (Abb. 9d), so ist die räumliche Variation eines Bestandes (in diesem Fall entlang der ersten Achse abgebildet) größer als die zeitliche. Ein solches Bild kann sich bei sehr heterogenen Beständen, welche noch keinen stabilen Zustand erreicht haben (z.B. junge Schlagfluren), oder bei einer langsamen Entwicklung (Beispiel Niedermoor) ergeben.

▸ *Wird ein Bestand heterogener oder homogener?*
Zeigen sich in einem Diagramm beim Vergleich zweier Zeiträume eine Gruppe von Aufnahmen näher beieinander gelegen, so ist das ein Indiz für größere Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung (Abb. 9e und 9f) bzw. für eine relativ gleichmäßige Verteilung der Arten. Abb. 9e verdeutlicht eine Entwicklung in Richtung größerer Homogenität. Die entgegengesetzte Entwicklung, also in Richtung größerer Heterogenität hinsichtlich der Verteilung der Arten, wird durch Abb. 9f wiedergegeben.

4 Diskussion

Grundsätzlich müssen Methoden zur Untersuchung zeitlicher Vegetationsveränderungen dazu geeignet sein, die Ursachen dieser Veränderungen aufzeigen zu können. Diese Ursachen liegen im Verhalten der Arten begründet, die ihre Bedeutungswerte verändern, ausfallen oder neu hinzukommen.

Multivariate Methoden sind dann sinnvoll, wenn die Datensätze besonders groß sind oder keinerlei Informationen zur Ökologie oder Soziologie der Arten vorliegen, vor allem aber, wenn zeitliche Übergänge untersucht werden sollen.

Voraussetzung für multivariate Auswertungen von Daten ist eine adäquate Aufnahmemethode. Wichtig ist vor allem die Gewinnung einer ausreichenden Anzahl von Stichproben. Das gewählte Dauerflächendesign folgt dieser Forderung. Durch die Unterteilung der Dauerflächen in 25 Kleinquadrate und deren getrennte Aufnahme konnten pro Dauerfläche 25 Stichproben gewonnen werden. Diese Anzahl reichte für die gewählte Auswertungsmethode aus. Auch mit verringerten Datensätzen (neun Aufnahmen) war noch eine aussagekräftige Ordination zu erhalten.

Bei Vegetationsaufnahmen in Dauerflächen ist es häufig nicht möglich, unabhängige Stichproben zu gewinnen. Auch bei dem hier verwendeten Dauerflächendesign sind die Stichproben autokorreliert. Um eine Autokorrelation der Daten zu vermeiden, müssten die einzelnen Kleinquadrate weiter voneinander entfernt liegen oder zufällig verteilt werden. Dieses würde allerdings den Aufwand bezüglich der Markierung und Wiederfindung der Dauerfläche bzw. der Kleinquadrate erheblich erhöhen. Ähnliche Verfahrensweisen werden jedoch auch in anderen Dauerflächenuntersuchungen verfolgt (z.B. PFADENHAUER et al. 1986, SEIDLING 1998).

Eine Datenreduktion fand bei dieser Arbeit hinsichtlich der Varianz der einzelnen Arten statt. Das Kriterium war eine möglichst hohe, durch die ersten zwei Achsen der Hauptkomponentenanalyse erklärte Varianz. Ein weitere Möglichkeit zur Datenreduktion würde ein Ranking nach dem Anteil der erklärten Varianz an der Gesamtvarianz des Datensatzes darstellen (WILDI 1986).

Ein wesentlicher Vorteil der multivariaten Auswertung vegetationskundlicher Daten liegt in der guten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Diese wird vor allem durch eine einheitliche Ordinationstechnik gewährleistet. Zeitliche Veränderungen können übersichtlich dargestellt werden, und somit ist die veränderte Verteilung von Arten innerhalb der Dauerfläche schnell zu erkennen. Für die Entwicklung des Bestandes besonders verantwortliche Arten (Zeiger-/Indikatorarten) können mit Hilfe der Methode einfach herausgestellt werden.

Literatur

BÖCKER, R. (1998): Sukzessionsforschung auf Dauerflächen. Ber. Inst. Landschafts- u. Pflanzenökol. Univ. Hohenheim, Beih. 5, 5-12.

BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Berlin.

BRAY, J.R., CURTIS, J.T. (1957): An ordination of the upland forest communities of northern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27, 325-349.

CAUSTON, D.R. (1988): An Introduction to Vegetation Analysis. Unwin Hyman, London.

CURTIS, J.T., MCINTOSH, R.P. (1951): An upland continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32, 476-496.

DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie. Ulmer, Stuttgart.

DURKA, W., ACKERMANN, W. (1993): SORT – ein Computerprogramm zur Bearbeitung von floristischen Artentabellen. – Natur und Landschaft 68, (1), 16-21.

FELINKS, B., WIEGLER, G. (1998): Welche Dynamik schützt der Prozeßschutz? Aspekte unterschiedlicher Maßstabsebenen – dargestellt am Beispiel der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft. Naturschutz und Landschaftsplanung 30, (8/9), 298-303.

GOODALL, D.W. (1954): Vegetational classification and vegetational continua. Angew. Pflanzensoziologie, Festschrift Aichinger, 1, 168-182.

HAKES, W. (1996): Multivariate Ordinationsmethoden zur Analyse von Veränderungen in der Vegetationsstruktur. Naturschutz und Landschaftsplanung 28, (1), 12-19.

JEDICKE, E. (1998): Raum-Zeit-Dynamik in Ökosystemen und Landschaften – Kenntnisstand der Landschaftsökologie und Formulierung einer Prozeßschutz-Definition. Naturschutz und Landschaftsplanung 30, (8/9), 229-236.

LONDO, G. (1975): Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten. In: TÜXEN, R., Hrsg., Sukzessionsforschung. Ber. Internat. Symposium IVV, Rinteln, 1973, 89-105.

MARTI, F., STUTZ, H.P. (1993): Zur Erfolgskontrolle

im Naturschutz. Ber. Eidgen. Forsch.-anst. f. Wald, Schnee u. Landsch. 336, Birmensdorf, 171 S.
NICHOLS, S. (1977): On the interpretation of principal component analysis in ecological contexts. Vegetatio 34, 191-198.
ORLOCI, L. (1978): Multivariate analysis in vegetation research. Den Haag, 2. Aufl.
PFADENHAUER, J., POSCHLOD, P., BUCHWALD, R. (1986): Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen für Bayern, Teil I, Methodik der Anlage und Aufnahme. Ber. ANL 10, 89-105.
RAMENSKY, L.G. (1924): Die Grundsatzmäßigkeiten im Aufbau der Vegetationsdecke. (russ.) Vêstn. opytn. dêla Svedne-Chernoz. Obl. Voronezh 1924, 37-73. (auch: Bot. Centralbl., N.F.7 (1926), 453-455, Kassel).
SCHMIDT, W. (1998): Langfristige Sukzession auf brachliegenden landwirtschaftlichen Nutzflächen. Naturschutz und Landschaftsplanung 30, (8/9), 254-258.
SCHREIBER, K.-F. (1997): Grundzüge der Sukzession in 10-jährigen Grünland-Bracheversuchen in Baden-Württemberg. Forstwiss. Cbl. 116, 243-258.
SEIDLING, W. (1998): Genestete Dauerbeobachtungsflächen im Wald: Ansatz zur Untersuchung von Vegetationsmustern und deren Entwicklung in der Zeit. Ber. Inst. Landschafts- u. Pflanzenökol. Univ. Hohenheim, Beih. 5, 31-45.
WEBER, D., HINTERMANN, U., FIECHTER, S., BÜHLER, C. (1995): Optimieren der Vegetationsbeobachtung für die Erfolgskontrolle in Naturschutzgebieten – Folgerungen aus 13jähriger Beobachtung in einem Halbtrockenrasen. Naturschutz und Landschaftsplanung 27, (2), 45-51.
WHITTAKER, R.H. (1956): The vegetation of the Great Smoky Mountains. Ecol. Monogr. 26, 1-80.
– (1978): Direct gradient analysis. In: WHITTAKER, R.H., Hrsg., Ordination of plant communities, 7-50, Den Haag.
WILDI, O. (1986): Analyse vegetationskundlicher Daten. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 226 S.

Anschrift der Verfasser: Jesko Nagel und Dr. Carl Beierkuhnlein, Lehrstuhl für Biogeographie, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth, E-Mail carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de, Internet www.uni-bayreuth.de/departments/biogeo/carl.htm.

Regenwasserversickerung und Bauleitplanung

Anrechnung auf den naturschutzrechtlichen Flächenausgleich – Pilotprojekt Osburg

Von Robert H. Beckmann

Zusammenfassung

In der Gemeinde Osburg, Kreis Trier-Saarburg (Rheinland-Pfalz), wurden als Teil der besonderen Leistungen zum landespflegerischen Planungsbeitrag für den Bebauungsplan „Kirschbäumchen" Untersuchungen zu Art und Umfang der anrechenbaren funktionalen Kompensation infolge dezentraler Niederschlagsrückhaltung, -verwertung und -versickerung auf den naturschutzrechtlichen Flächenausgleich durchgeführt. Dabei wurden u.a. Entwurfsalternativen mittels Flächen-, Struktur- und Funktionsbilanzen unter besonderer Berücksichtigung des Funktionsausgleichs gegenübergestellt.

Im untersuchten Fallbeispiel führen die Maßnahmen zur Regenwasserrückführung durch Vermeidung bzw. Minimierung der Beeinträchtigungen im Bereich der Schutzgüter Klima, Luft und der wasserbezogenen Funktionen des Bodens letztendlich zu einem geringeren Kompensationsbedarf, als das bei konventionell angelegten Baugebieten der Fall wäre. Für das Schutzgut Arten und Lebensgemeinschaften kann kleinflächig sogar von einer Verbesserung durch Standortanreicherung ausgegangen werden. Etwaige Verbesserungen im Bereich des Wasserhaushaltes konnten aufgrund des ordinalen Aussageniveaus und des insgesamt geringen Bedeutungsanteils jedoch nicht direkt (z.B. über einen Korrekturfaktor) zu einer Minderung des flächenbezogenen Ausgleichsbedarfs beitragen.

Summary

Rainwater Infiltration and Site Implementation Planning: Counting towards Legal Land Compensation Requirements for Nature Conservation – Pilot Study in Osburg (Rhineland-Palatinate)

In the municipality of Osburg, district of Trier-Saarburg, examinations about functional compensation were carried out. The investigations, being based on the impact regulation according to German Nature Conservation Legislation, are part of the environmental planning contribution to the legally binding Land-Use Plan.

The project investigated the decentralised retention, use and infiltration of rain water and its effects on the environmental compensation needs. Design alternatives were compared using area, structural and functional balances, with particular attention given to functional compensation. In the case study examined, measures for a return of rainwater to the ground lead to a lesser compensation requirement than would be the case for conventional construction sites through the avoidance or minimisation of impacts on climate, air and water-related soil functions. The conditions for species and habitats even improved in small areas because of structural enrichment on the site. Possible improvements in the water balance sector could not directly contribute to a minimisation of compensation needs because of the ordinal level of the statements.

1 Einleitung

Neuregelungen der Länder zur Regenwasserbewirtschaftung in Baugebieten haben insbesondere in Rheinland-Pfalz bei der Abarbeitung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung in der Bauleitplanung einen zusätzlichen inhaltlichen, methodischen und instrumentellen Klärungs- und Untersuchungsbedarf erzeugt. Vielfach bestehen noch sachliche und methodische Unklarheiten bezüglich der fachlichen Begründung einer kompensatorischen Berücksichtigung des Funktionsausgleichs durch Regenwasserrückhaltungs-, Versickerungs- und Nutzungsmaßnahmen in den Baugebieten. Insbesondere betrifft dieses eine eventuelle Reduzierung des bisher üblichen Flächenbedarfs. Im Auftrag der Gemeinde Osburg, wurden Art und Umfang der anrechenbaren Kompensation als Teil der besonderen Leistungen zum landespflegerischen Planungsbeitrag für den Bebauungsplan „Kirschbäumchen" untersucht. Dabei sollten mindestens drei Entwurfsalternativen über Flächen-, Struktur- und Funktionsbilanzen unter besonderer Berücksichtigung des Wasserhaushalts-Funktionsausgleichs, der ökologischen Standortanreicherung im Baugebiet sowie gegebenenfalls sektoraler Potentialaufwertungen geprüft und dokumentiert werden. Zusätzlich waren typologische Lösungsalternativen und Varianten in den Bereichen Versickerung, Brauchwassernutzung und Reduktion des Trinkwasserverbrauchs auszuarbeiten, bezogen auf einzelne Grundstücke, Teilbereiche oder Hausgruppen des Baugebietes. Die Untersuchung wurde als Teil des Pilotprojekts Osburg vom Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz gefördert.

2 Vorbemerkungen

2.1 Eingriff oder Ausgleich?

Als Maßnahmen einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung werden grundsätzlich die Verringerung der versiegelten Fläche, die dezentrale Rückhaltung und