

ULLRICH EBBEN, SABINE GLADEN, VJEKOSLAV GLAVAČ, UWE KOLMANN, WERNER LAUTERBACH, CHRISTOF PULLMANN und ILONA QUICK

Gradientenanalyse der Grünlandgesellschaften des Landschafts- und Naturschutzgebietes „Dönche“ bei Kassel (Nordhessen)

Abstract

The grassland plant communities and soils of the landscape and nature protection area „Dönche“ near Kassel (North Hesse) have been studied in summer 1981 by means of environmental gradient analysis. This objective of the field and laboratory observations was to illustrate how numerical and graphic techniques can be used in the vegetation/environment correlation essay. The floristic composition is demonstrated by 23 relevés. One, two, and three dimensional ordination of species and community characteristics along environmental gradients is shown.

Einführung

In dieser Arbeit werden die wichtigsten Ergebnisse des im Sommersemester 1981 im Fachbereich Biologie und Chemie der Universität Kassel durchgeführten Großen Ökologieprojektpraktikums vorgestellt, das dem Landschafts- und Naturschutzgebiet „Dönche“ gewidmet war. Eine kleine Gruppe interessierter Studenten setzte die Arbeit über ein Jahr weiter fort und wertete die wertvollen Befunde unter Anleitung von V. GLAVAČ aus. So entstand eine veröffentlichungswürdige Gemeinschaftsarbeit, die methodisch interessant für vegetations- und landschaftsökologische Untersuchungen ist und in ihren Ergebnissen einen wertvollen Beitrag zur Kenntnis der Vegetationsdecke des in der Nähe der Universität neu gegründeten Naturschutzgebietes darstellt.

Problembeschreibung

Seit HAECKEL (1866) wird die Ökologie als Wissenschaft von den Wechselbeziehungen der Organismen und ihrer Umwelt definiert. Der überzeugende biometrische Nachweis dieser Wechselbeziehungen auf der überorganismischen Organisationsstufe, d. h. zwischen einer Lebensgemeinschaft und ihrer physikalisch-chemischen Umwelt ist aus mehreren Gründen sehr schwer zu erbringen. Selbstverständlich sind die Wechselwirkungen in vielen Fällen sichtbar und deskriptiv darstellbar, wobei Mutmaßungen und Fehlinterpretationen nicht ausgeschlossen werden können. Einen besseren Einblick in die Art dieser Wechselbeziehungen erhofft man von der numerischen Beschreibung der strukturspezifischen Merkmale der belebten und unbelebten Bestandteile und von einer biometrischen Analyse der möglichen Bindungen und Zusammenhänge der ermittelten numerisch darstellbaren Kenn- und Meßgrößen. Auf dem letztgenannten Wege sollen drei methodische Probleme gelöst werden, die den Schwierigkeitsgrad des Vorhabens verdeutlichen. Das sind 1. Zustandscharakterisierung („Merkmalsreduktion“), 2. Experimentdurchführung im Freiland, 3. Kausalitätsnachweis.

Das erste Problem stellt eine Auswahl der Merkmale oder Systemeigenschaften dar, die für die zu untersuchenden Biozönosen und Biotope charakteristisch sein sollten. Der Aufbau einer Lebensgemeinschaft und ihres Biotops läßt sich mit unendlich vielen Kenn- und Meß-

größen beschreiben. Es handelt sich hierbei um ein multivariablen, in Zeit und Raum veränderliches Wirkungsgefüge. Sowohl bei der Lebensgemeinschaft als auch bei ihrem Biotop ist eine „untersuchungsgerechte“ Vereinfachung der komplexen Sachverhalte notwendig. Es kann nur eine begrenzte mit einem vertretbaren Arbeits-, Zeit- und Geldaufwand zu gewinnenden Zahl „systemspezifischer“ Zustandsmerkmale erhoben werden. Ihre Auswahl ist subjektiv und der Fragestellung angepaßt, ihre Anzahl auf arbeitstechnisch Machbare und methodisch Verwertbare reduziert.

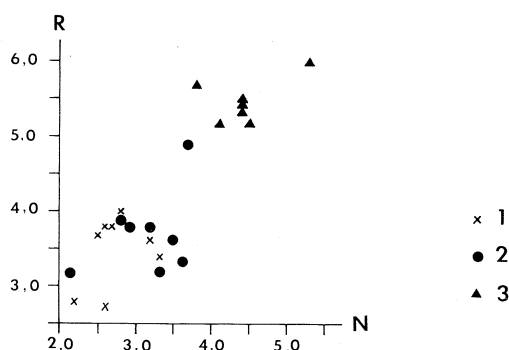


Abb. 1. Ordination der Vegetationsaufnahmen der untersuchten Pflanzengesellschaften (1) *Polygalo-Nardetum*, (2) *Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Gesellschaft und (3) *Arrhenatherum*-Gesellschaft nach den ELLENBERG'schen Zeigerwertgradienten (R = Reaktionszahl, N = Stickstoffzahl)

Das zweite Problem ist der Experimentaufbau und seine Durchführung. Die Grundfrage lautet: Wie kann das Gebilde Biozönose/Biotop, ein „tonnenschwerer Landschaftsausschnitt“, dem Experiment zugänglich gemacht werden? Hierfür bestehen zwei Möglichkeiten: Die erste ist die Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung von ausgewählten biotischen und abiotischen Faktoren, Strukturelementen oder Systemeigenschaften in einem konkreten Ökosystem, z. B. Wald-, oder Wiesenbestand, im Laufe der Zeit. Während einer längeren Zeitperiode versucht man in bestimmten Abständen oder kontinuierlich aufgrund der Veränderungen eines Subsystems auf die Veränderungen eines zweiten zu schließen und auf diese Weise die kausalen Beziehungen des Lebendigen und Nictlebendigen aufzuzeigen. Dabei kann man die Veränderungen gewollt oder ungewollt herbeiführen (Düngungs-, Be- oder Entwässerung, Fremdstoffanreicherung u. a.) oder es werden lediglich natürliche zeitbedingte Systemveränderungen verfolgt. Dieser Weg wird von der Ökosystemforschung beschritten. Um diese Möglichkeit der Experimentdurchführung auf eine kurze Formel zu bringen, kann gesagt werden: Es wird ein Objekt zu verschiedenen Zeiten untersucht.

Dagegen kann die zweite Möglichkeit der Experimentdurchführung so formuliert werden: Es werden mehrere Forschungsobjekte zur gleichen Zeit untersucht. Im Freiland kann eine Versuchsreihe der Lebensgemeinschaft-Biotopsysteme ausgesucht werden, die untereinander vergleichbar sind bzw. weitgehend als homogen betrachtet werden können, aber eine Variabilität bestimmter Systemeigenschaften aufweisen. Dabei wird überprüft, ob die Veränderung

einer oder mehrerer abiotischer Faktoren eine darauf zurückzuführende Wandlung der Systemmerkmale der Lebensgemeinschaft bewirkt und umgekehrt. Es wird also nach Korrelationen der Systemvariablen beider Kompartimente gesucht. Im Prinzip liegt jedem Labor- oder Gewächshausversuch der gleiche Gedanke zugrunde. Im Gegensatz dazu handelt es sich aber bei den zuvor beschriebenen Vorgehensweisen nicht um vereinfachte, kontrollierte Experimentbedingungen, sondern um komplexe Ausschnitte der Wirklichkeit. Die Schwäche dieses methodischen Zuganges, seine Komplexität, ist zugleich auch seine Stärke: die Wirklichkeitsnähe.

Hinzugefügt werden muß, daß der Stichprobenumfang bei Anwendung dieses Verfahrens relativ groß und der Nachweis der Abhängigkeit sehr sorgfältig sein soll. Wenn der Einfluß sich allmählich verändernder Umweltfaktoren auf den Aufbau und die Lebensvorgänge in Pflanzenbeständen studiert wird, z. B. die Auswirkung der zunehmenden Bodenfeuchte im Grünland oder der kürzeren Vegetationsperiode und damit verbundener Wärme- und Wasserhaushaltsveränderungen mit zunehmender Meereshöhe in einem Waldgebiet, wird dieses Verfahren Gradientenanalyse genannt.

Das dritte Problem ist die Anwendung eines biometrischen Verfahrens für den Nachweis der Wechselbeziehungen, wobei betont werden muß, daß die Auswahl einer geeigneten Versuchsreihe im Freiland, die problemspezifische Art der Datenerhebung und die Wahl des statistisch-analytischen Verfahrens die Bestandteile einer Gesamtstrategie sind, die in ihren Grundzügen von Anfang an verfolgt werden muß. Die Nachweise der Abhängigkeiten zwischen abiotischen und biotischen Faktoren können mit drei Verfahren befriedigend erbracht werden: 1. Faktorenanalyse, 2. multiple und partielle Korrelationsanalyse, 3. Ordination (geo-

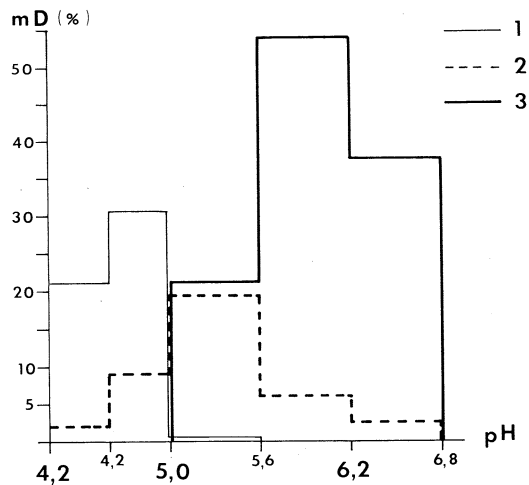


Abb. 2. Ordination der mittleren Deckungsgrade der drei bestandesbildenden und pflanzengesellschaftsprägenden Pflanzenarten (1) *Nardus stricta*, (2) *Agrostis tenuis* und (3) *Arrhenatherum elatius* entlang des pH-Gradienten unterteilt nach Pufferbereichen (PB) von ULRICH (Austauscher-PB: pH 4,2—5,0; Silikat-PB: pH 5,0—6,2; Calcium-PB: > 6,2 pH)

metrische Deutung der Daten und der Faktorenmatrix). Mit Faktorenanalyse werden alle erhobenen Stichprobenverteilungen aus beiden Subsystemen auf ihre möglichen Bindungen geprüft. Wegen des großen Rechenaufwandes ist sie nur mit EDV-Hilfe durchführbar. Neben bekannten zusammenfassenden Darstellungen dieser Methode von HARMAN (1967), RUMMEL (1970), ÜBERLA (1971) und WEBER (1980) soll in diesem Zusammenhang das auf die vegetationskundliche Forschung ausgerichtete Werk von ORLOCI (1978) „Multivariate analysis in vegetation research“ erwähnt werden.

Die in Lehrbüchern der Statistik beschriebene multiple Korrelationsanalyse eignet sich für den Nachweis der gemeinsamen Wirkung mehrerer unabhängiger Variablen des Standorts auf eine abhängige Variable der Lebensgemeinschaft, z. B. Flächengröße und Nährstoffgehalt der Basaltfelshänge in der nordhessischen Landschaft auf die Zahl der Sedo-Scleranthetea-Arten. Mit fast gleichem Arbeitsaufwand läßt sich eine partielle Korrelation der Meßgrößen der abiotischen und biotischen Faktoren durchführen, die paarweise auf ihre Abhän-

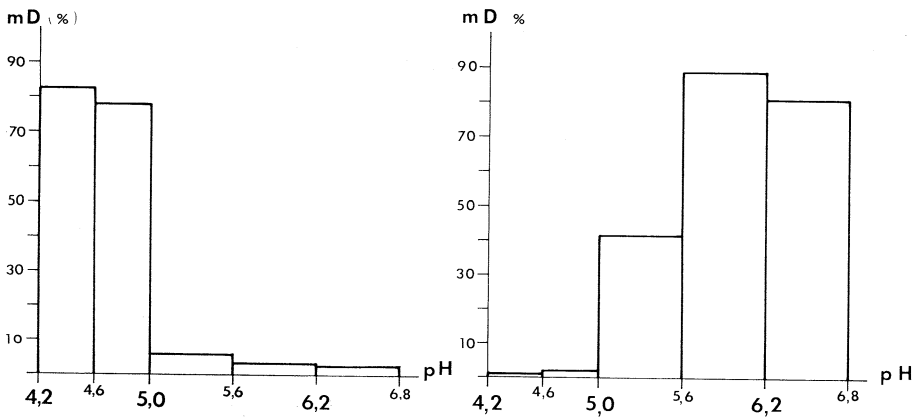


Abb. 3 (links). Ordination der mittleren Deckungsgrade der Nardetalia-Kennarten entlang des pH-Gradienten unterteilt nach Pufferbereichen (PB) von ULRICH (Austauscher-PB: pH 4,2—5,0; Silikat-PB: pH 5,0—6,2; Calcium-PB: > 6,2 pH)

Abb. 4 (rechts). Ordination der mittleren Deckungsgrade der Arrhenatheretalia-Kennarten entlang des pH-Gradienten unterteilt nach Pufferbereichen (PB) von ULRICH (Austauscher-PB: pH 4,2—5,0; Silikat-PB: pH 5,0—6,2; Calcium-PB: > 6,2 pH)

keit geprüft werden, wobei der Einfluß restlicher Variablen ausgeschaltet wird (z. B. Einfluß der Flächengröße auf die Artenzahl der Sedo-Scleranthetea-Arten der Basaltfelshänge, Einfluß des Ca-Gehaltes usw.).

Unter Ordination wird die Anordnung der Vegetationsaufnahmen (oder ihrer Elemente) entlang der Umweltgradienten oder anderer Kriterien verstanden. Die Anordnung kann ein-, zwei- oder mehrdimensional erfolgen. Im letzten Fall werden mit Hilfe einer Matrix alle Daten untereinander verglichen, die Ähnlichkeits- oder Unterschiedsgrade berechnet und graphisch dargestellt. Ferner läßt sich mit sehr geringem Arbeitsaufwand die Prüfung der Abhängig-

keit von je zwei beliebigen Variablen der beiden Subsysteme mit dem SPEARMAN-Test durchführen. Die Methode, die sich nur mit der ein-, zwei- oder mehrdimensionalen graphischen Darstellung der standortsbedingten Strukturveränderung der Pflanzendecke befaßt, wird direkte Gradientenanalyse genannt.

Direkte Gradientenanalyse

Mit dem Begriff direkte Gradientenanalyse wird in der Vegetationskunde das geschilderte Problem der Sichtbarmachung und der Beweisführung der Wechselbeziehungen im Gefüge Standort/Pflanzengemeinschaft bezeichnet. Es handelt sich um eine Analyse der Ökosystemeigenschaften durch ihre geometrische Konfiguration in einem oder mehreren Koordinatensystemen. Im Vordergrund der Betrachtung steht die Auswirkung der allmählichen Veränderung (Gradation) der Standortsfaktoren auf die Strukturellen und funktionellen Eigenschaften der Vegetationsdecke. Nach WHITTAKER (1978), der diesen Begriff 1951 einführte, wird unter Gradientenanalyse das Studium der Pflanzengemeinschaften aufgrund der graduellen Veränderung ihrer Systemeigenschaften verstanden:

„Samples from plant communities may be arranged in sequence by their positions along a gradient of environment (or of community characteristics). In this sequence of samples (a transect) changes in species populations and community characteristics are related to changes in environment . . . If the samples are arranged in terms of one or more environmental gradients accepted as given as a basis of the study, the study is direct gradient analysis. Alternatively, measurements of sample similarity or species correlation may be used to derive abstract axes or directions of community variation. If the samples are arranged in terms of such abstract axes (which may or may not correspond to environmental gradients), the study is one of indirect gradient analysis“ (WHITTAKER 1978).

Grünlandgesellschaften der Dönche

Das 270 ha große, am südlichen Rand der Stadt Kassel liegende Landschafts- und Naturschutzgebiet „Dönche“ ist eine mit Einzelbäumen, Gebüsch und kleineren Waldgruppen durchsetzte Grünlandfläche, die seit 1936 als Truppenübungsplatz genutzt wurde und von Einflüssen der modernen Landwirtschaft verschont blieb. Ihre Vegetationsdecke wird hauptsächlich von folgenden drei Grünlandgesellschaften gebildet: 1. *Polygalo-Nardetum* PREIS. 1950 em. OBERD. 1957, typische Variante, 2. *Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Gesellschaft, *Nardus*-Variante (= *Polygalo-Nardetum*, *Agrostis*-Variante), 3. *Alchemillo-Arrhenatheretum* SOUGNEZ 1963, nährstoff- und artenarme Ausbildung. Die erste Pflanzengesellschaft, der Kreuzblumen-Borstgrasrasen (*Polygalo-Nardetum*) ist in Tabelle 1 mit den Aufnahmen 1–8 dargestellt. Sie gehört zum Verband *Violion caninae* und besiedelt die nährstoffarmen und sauren Hangpseudogleye bis Eisenhumuspodsole. Mit Sicherheit stellt sie die Reste der ehemaligen Gemeinschaftsweide dar, die auf den tiefgründigen Lehmböden der kollinen Stufe Mitteleuropas äußerst selten zu finden sind.

Die zweite Pflanzengesellschaft, die Rotschwengel-Rotstraußgras-Magerwiese, zeichnet sich durch Dominanz zweier namengebender Pflanzenarten, *Festuca rubra* und *Agrostis tenuis*, aus. Sie nimmt auf der Dönche eine sehr große Fläche ein und kann ebenso als eine Grünlandgesellschaft des vorindustriellen Zeitalters betrachtet werden, die auf ungedüngten tiefgründigen Lehmböden der Dönche dank besonderer Umstände erhalten blieb (STOWASSER 1982). Ihre synsystematische Stellung wird seit Jahrzehnten diskutiert und blieb wegen des

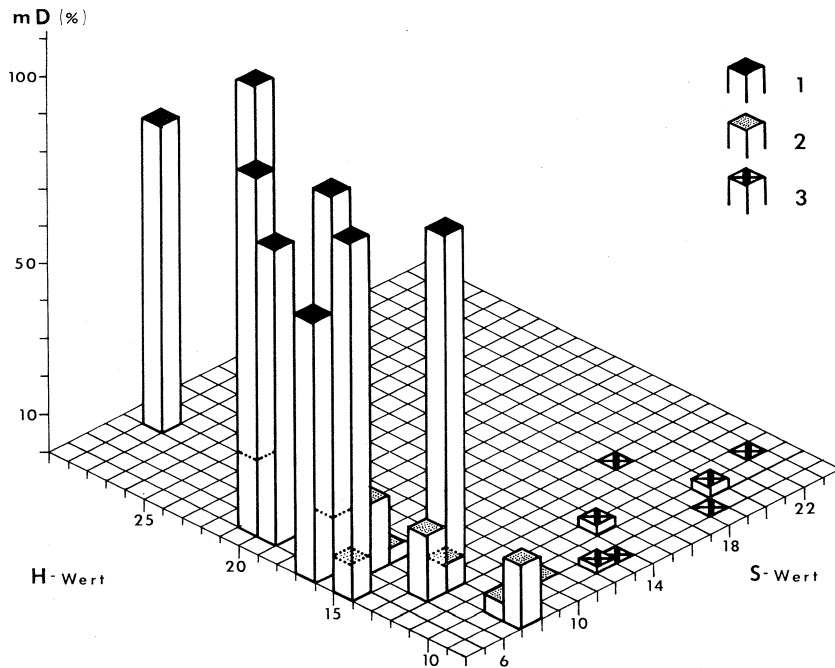


Abb. 5. Ordination der mittleren Deckungsgrade (%) der Nardetalia-Kennarten der Pflanzenbestände von (1) *Polygalo-Nardetum*, (2) *Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Gesellschaft und (3) *Arrhenatherum*-Gesellschaft entlang der H- und S-Wert-Gradienten (mval/100 g)

des Fehlens von Kenn- und Trennarten bis heute ungeklärt (GLAVAČ 1982). In den Aufnahmen 9–16 ist ihre floristische Artenzusammensetzung auf Tabelle 1 dargestellt. Die Kennarten der Borstgrasrasen treten deutlich zurück, die Kennarten des Wirtschaftsgrünlandes sind schwach vertreten. Die Pflanzengesellschaft kann nur „negativ“ charakterisiert werden.

Die dritte Pflanzengesellschaft bilden die brachliegenden artenarmen Glatthaferbestände, die mit Vorbehalt den submontanen Frauenmantel-Glatthaferwiesen (*Alchemillo-Arrhenatheretum*) angeschlossen werden können. An ihrem Aufbau beteiligen sich schon zahlreiche Pflanzenarten des Wirtschaftsgrünlandes, die auf einen relativ günstigeren Nährstoffhaushalt hinweisen (Aufnahmen 17–23). Die Kennarten der Borstgrasrasen sind kaum vertreten. Ähnlich wie in der ersten und der zweiten Vegetationseinheit spielen die Magerkeitszeiger eine große Rolle im Bestandesaufbau. Seit 45 Jahren werden diese Pflanzengesellschaften kaum bewirtschaftet, und deswegen sind die Unterschiede in ihrem Aufbau auf die unterschiedlichen Bodeneigenschaften, und zwar auf die unterschiedlichen Nährstoffgehalte zurückzuführen. In Tabelle 2 sind für jede Vegetationsaufnahme der Vegetationstabelle zahlreiche Kenn- und Meßgrößen des Bodennährstoffhaushalts aufgeführt. Außerdem enthält sie noch die mittleren Deckungsgrade der Nardetalia- und Arrhenatheretalia-Arten. Diese Daten stellen die Grundlage für unsere weiteren Ausführungen dar.

Tabelle 1

| | | |
|--------------------|---|---------|
| Laufende Nr. | 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 | S R S |
| Monat der Aufnahme | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 | t e a l |
| Artenzahl | 2 1 2 1 2 1 3 1 1 1 2 3 1 3 2 2 3 2 | t k c |
| Deckungsgrad | 6 6 0 5 2 7 2 6 0 9 3 8 9 8 6 0 8 9 2 7 6 1 7 | i t k |
| | 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 | g l a |
| | 0 0 0 0 9 0 0 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | k o |
| | 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | e n s |
| Exposition | S S S S S S W W W S S S S S S S S S S S | i s s |
| | N W W W W W W W W W W W W W W W W W | l z f |
| Hangneigung | 1 2 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 | a z |
| Höhe über NN | 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 3 1 | h a |
| | 3 0 0 1 0 7 9 8 0 0 1 0 0 0 0 9 1 1 0 2 1 1 9 | l |
| | 0 0 5 0 6 8 0 5 0 7 0 0 0 0 5 0 0 0 0 5 0 5 5 | |
| Aufnahme-Nr. | 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 | |
| | 1 8 4 7 5 2 6 3 6 0 3 9 1 4 2 5 0 9 4 1 3 8 7 | |

| | | |
|---|---|--------|
| Kennarten der Bokstgrasrasen (Ward-Callunetalia): | | R N |
| <i>Luzula campestris</i> | ++ 2 + 1 ++ . 1 1 . 1 1 1 . 1 . + | 15 3 2 |
| <i>Mardus stricta</i> | 4 1 3 4 3 2 3 1 + + + . + . + 1 | 14 2 2 |
| <i>Calluna vulgaris</i> | 1 4 2 + 3 4 4 2 + + | 12 1 1 |
| <i>Hieracium pilosella</i> | . + 1 . + 1 . 1 + + + 1 | 12 x 2 |
| <i>Danthonia decumbens</i> | 1 1 2 + 2 2 . 2 + + + . . 2 | 11 3 2 |
| <i>Potentilla erecta</i> | + + + 1 | 10 x 2 |
| <i>Holcus mollis</i> | 2 + + . 1 2 1 . 1 . | 7 3 |
| <i>Viola canina</i> | 1 + | 4 3 2 |
| <i>Polygala vulgaris</i> | | 3 3 |
| <i>Galium pumilium</i> | | 3 4 2 |
| <i>Galium hircynicum</i> | | 2 2 3 |
| <i>Carex pilulifera</i> | | 2 3 |
| <i>Ononis spinosa</i> | | 1 7 3 |
| <i>Carex leporina</i> | | 1 3 4 |
| <i>Avenochloa pratense</i> | | 1 x 2 |

| | | |
|---|---|--------|
| Kennarten der Grünlandgesellschaften (Arrhenatheretalia): | | |
| <i>Achillea millefolium</i> | + . . + + + + 2 . . + 1 2 1 3 + + + + + 2 | 19 x 5 |
| <i>Lotus corniculatus</i> | + . . + . + + + + . . + + + + + + + + + 1 + | 18 7 3 |
| <i>Rumex acetosa</i> | 1 . . + 1 + . + + + + 1 + 1 1 1 1 | 16 x 5 |
| <i>Holcus lanatus</i> | + + + + + + + + + + + 2 2 | 15 x x |
| <i>Plantago lanceolata</i> | 1 . 1 | 11 x x |
| <i>Dactylis glomerata</i> | + 2 3 2 2 1 1 | 9 x 6 |
| <i>Arrhenatherum elatius</i> | + 5 4 3 4 3 4 | 8 7 |
| <i>Trifolium repens</i> | + + + + + + + + + + + + + + + + + | 8 x 7 |
| <i>Poa pratensis</i> | + + 1 + 1 1 1 | 7 x 6 |
| <i>Centaurea jacea</i> | + 1 | 7 x x |
| <i>Trisetum flavescens</i> | + + + + + + + + + + + + + + + + + | 6 x 5 |
| <i>Cerastium holosteoides</i> | + + + + + + + | 5 x 5 |
| <i>Galium mollugo</i> | + 1 | 2 x x |
| <i>Trifolium pratense</i> | + | 2 x x |
| <i>Taraxacum officinale</i> | + | 2 x 7 |
| <i>Leucanthemum vulgare</i> | + | 2 x x |
| <i>Vicia cracca</i> | + | 1 x x |
| <i>Ranunculus acris</i> | + 2 | 1 x x |
| <i>Prunella vulgaris</i> | + | 1 x 4 |
| <i>Alopecurus pratensis</i> | + | 1 6 7 |
| <i>Campanula patula</i> | + | 1 7 4 |

| | | |
|-------------------------------|---|--------|
| Begleiter: | | |
| a) Magerkeitszeiger: | | |
| <i>Agrostis tenuis</i> | + 1 1 1 1 1 . 1 2 2 4 3 3 2 2 2 2 + 1 1 2 1 + | 22 3 x |
| <i>Festuca rubra</i> | + + 1 1 + . . 2 4 3 3 4 3 4 1 3 3 2 2 2 2 | 20 x x |
| <i>Festuca ovina</i> | 2 2 2 2 2 2 3 2 2 2 2 3 2 1 . . 2 . + . | 18 3 x |
| <i>Pimpinella saxifraga</i> | + 1 + | 17 x |
| <i>Galium verum</i> | + + + + + + + + + + + + + + + + + | 15 7 3 |
| <i>Rumex acetosella</i> | 1 1 + 1 + + + 1 . 1 2 1 1 | 15 2 2 |
| <i>Hieracium umbellatum</i> | 1 1 2 2 2 1 2 + + + 1 | 15 4 |
| <i>Thymus pulegioides</i> | + 1 + 1 1 2 | 10 x 1 |
| <i>Agrimonia eupatoria</i> | + + + + + + + + + + + + + | 9 8 4 |
| <i>Stellaria graminea</i> | + | 9 4 x |
| <i>Hypericum perforatum</i> | + 1 + + + + + 1 1 1 . | 8 x x |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i> | + + + + | 7 5 x |
| <i>Cerastium arvense</i> | + 1 | 4 6 4 |
| <i>Campanula rotundifolia</i> | + 1 | 3 x 2 |
| <i>Dianthus deltoides</i> | + | 3 3 2 |
| <i>Cirsium acule</i> | + | 3 8 2 |
| <i>Succisa pratensis</i> | + 1 | 3 x 2 |
| <i>Molinia caerulea</i> | + | 3 x 2 |
| <i>Hypochaeris radicata</i> | + | 3 4 3 |
| <i>Plantago media</i> | + | 2 8 3 |
| <i>Ranunculus bulbosus</i> | + | 1 7 3 |
| <i>Leontodon saxatilis</i> | + | 1 x 7 |
| <i>Genista tinctoria</i> | + | 1 4 2 |
| <i>Briza media</i> | + | 1 x 2 |
| b) Spitzige Begleiter: | | |
| <i>Cirsium arvense</i> | + + + 1 1 1 2 . | 11 x 7 |
| <i>Veronica chamaedrys</i> | + + + + + + + 1 | 8 x x |
| <i>Carex hirta</i> | + + 1 . . 2 + | 8 x x |
| <i>Equisetum arvense</i> | + + + | 5 x 3 |
| <i>Rosa canina</i> | + + + | 5 x x |
| <i>Beschampia cespitosa</i> | + + + | 4 x 3 |
| <i>Ranunculus repens</i> | + + + | 3 x x |
| <i>Prunus spinosa</i> | + + + | 3 x x |
| <i>Hypericum humifusum</i> | + + + | 3 3 3 |
| <i>Vicia tetrasperma</i> | + + + | 2 3 4 |
| <i>Juncus acutiflorus</i> | + + + | 2 5 3 |
| <i>Cirsium palustre</i> | + + + | 2 4 3 |
| <i>Glechoma hederacea</i> | + + + | 2 x 7 |
| <i>Quercus robur (K)</i> | + + + | 2 x x |

| | |
|----------------|---|
| Reaktionszahl | 3 2 3 2 3 3 4 3 3 3 3 3 3 3 4 6 5 5 5 5 5 5 |
| Stickstoffzahl | 4 8 8 7 7 8 0 6 8 2 2 9 8 6 3 9 0 3 4 2 5 7 2 |
| | 3 2 2 2 2 2 3 2 3 2 2 3 3 3 0 4 4 4 4 4 3 4 |
| | 3 2 7 6 5 6 8 2 9 3 1 8 2 5 6 7 3 4 4 1 4 8 5 |

Außerdem kommen vor in Aufnahme 1: *Veronica officinalis* r; Aufn. 3: *Calamagrostis epigloea* r; Aufn. 6: *Juncus conglomeratus* + und *Crataegus laevigata* r; Aufnahme 10: *Epilobium anustifolium* r; Aufn. 11: *Juncus effusus* r; Aufn. 17: *Cirsium vulgare* +; Aufn. 18: *Vicia sepium* r und *Tanacetum vulgare* r; Aufn. 20: *Rubus idaeus* r; Aufn. 21: *Ajuga reptans* r; Aufn. 23: *Stachys palustris* +; Aufn. 24: *Lycopus europaeus* +, *Carex echinata* +, *Nentha arvensis* + und *Lysimachia nummularia* r.

Lfd.-Nr.: 1-8: *Polygalo-Nardetum*, typische Variante
 9-16: *Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Ges., Nardus-Variante (= *Polygalo-Nardetum*, *Agrostis*-Variante)
 17-23: *Alchemillo-Arrhenatheretum*, Nährstoff- und artenarme Ausbildung (= *Arrhenatheretum*-Bestände)

Ergebnisse der direkten Gradientenanalyse des Dönchegrünlandes

Versuch einer Gradientenanalyse mit Hilfe der Zeigerwerte nach ELLENBERG

Für alle untersuchten Pflanzenbestände des Dönchegrünlandes, die in Tabelle 1 aufgeführt sind, wurden die mittleren Stickstoffzahlen (N) und die mittleren Reaktionszahlen (R) nach ELLENBERG (1979) errechnet. Die ökologischen Präferenzen der Pflanzenarten im Freiland werden in den Ökotafeln „Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas“ mit Zahlen einer neunstufigen Skala ausgewiesen. Die gemittelte Summe dieser Zeigerwerte aller in einer Vegetationsaufnahme aufgelisteten Pflanzenarten gibt Aufschluß über den relativen Säuregrad und die relative Stickstoffversorgung des Bodens eines Pflanzenbestandes (Tab. 1). Mit anderen Worten, die Veränderungen der Grünlandbestände im Dönchegebiet, die durch unterschiedliche pH-Werte und Nmin-Gehalte der Böden beeinflusst werden, können auf diese Weise numerisch zum Ausdruck gebracht werden, und zwar indirekt über die Bioindikation der am Bestandaufbau beteiligten Pflanzenarten.

Formallogisch betrachtet wäre eine Gradientenanalyse dieser Art unzulässig, da die konkreten Vegetationsstrukturänderungen lediglich auf vermeintlich existente Umweltunterschiede

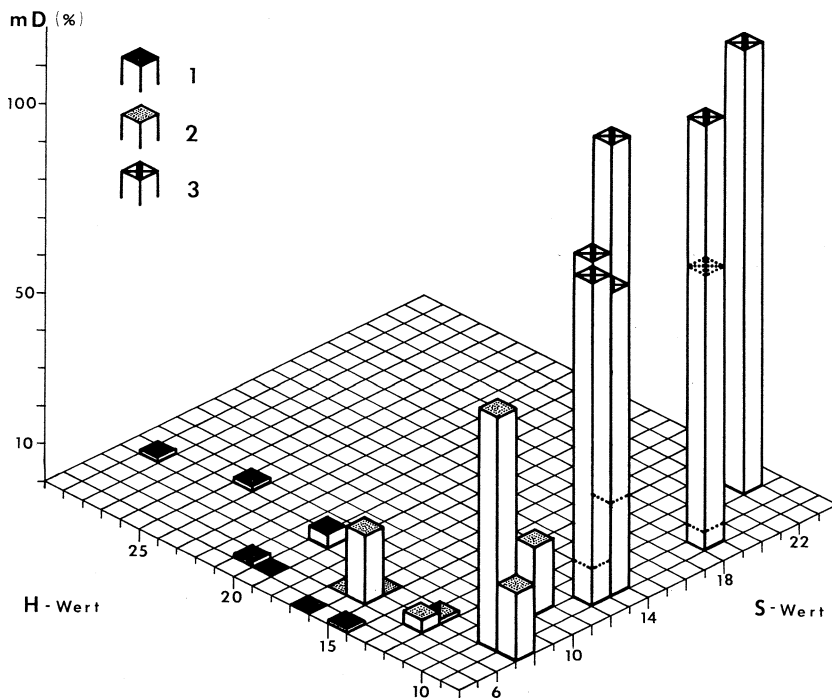


Abb. 6. Ordination der mittleren Deckungsgrade (%) der Arrhenatheretalia-Kennarten der Pflanzenbestände von (1) *Polygalo-Nardetum*, (2) *Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Gesellschaft (3) *Arrhenatherum*-Gesellschaft entlang der H- und S-Wert-Gradienten (mval/100 g)

hinweisen und keine Rückschlüsse erlauben. Der Gedanke aber, die Abhängigkeiten im Wirkungsgefüge Pflanzengesellschaft/Standort auch ohne aufwendige Messungen nur mit Bioindikatoren nachweisen zu können, bleibt bestechend attraktiv. Deswegen sollte diese Methode nach Möglichkeit nicht nur als ein erster Hinweis für die Beschaffenheit des Standortes benutzt, sondern ebenso ihre Verwendbarkeit für die gradientenanalytischen Betrachtungen erprobt werden. Die Zeigerwerte sollten stets mit der Realität verglichen und an sie angepaßt werden.

Der Aussagewert der in Tabelle 1 aufgeführten Stickstoffzahlen kann mit Hilfe des Rangkorrelationstestes von SPEARMAN mit den in Tabelle 2 verzeichneten NO₃-N-Meßwerten geprüft werden. Auf diese Weise konnte eine Korrelation zwischen Rangzahlen beider Datenreihen auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ bestätigt werden. Die Korrelation zwischen den gemessenen pH-Werten und den mittleren Reaktionszahlen wurde mit 99,9% Wahrscheinlichkeit ($\alpha = 0,001$) nachgewiesen. Dies spricht für die gradientenanalytische Verwendungsmöglichkeit der Zeigerwerte.

In Abbildung 1 ist die Lage der Vegetationsaufnahmen des *Polygalo-Nardetum*, der *Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Gesellschaft, *Nardus*-Variante, und der nährstoffarmen Ausbildung der *Arrhenatherum*-Gesellschaft in einem Koordinatensystem der N- und R-Zahlen dargestellt. Die Unterschiede in den Standortsansprüchen der Kreuzblumen-Borstgrasrasen und Glatthafer-Bestände sind offensichtlich. Ebenso wird mit dieser Darstellung die synökologische Verwandtschaft der Rotschwengel-Rotstraußgras-Gesellschaft mit den Borstgrasrasen verdeutlicht.

Tabelle 2

| Pflanzen- gesellschaft | Polygalo-Nardetum | | | | | | | | Festuca rubra-Agrostis tenuis-Gesellschaft | | | | | | | | Arrhenatherum-Gesellschaft | | | | | | |
|---|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| mittl. Deckung Nardetalia (%) | 85,7 | 68,3 | 95,2 | 78,2 | 95,2 | 95,4 | 102,8 | 82,5 | 18,9 | 3,4 | 0,8 | 7,6 | 17,9 | 17,9 | 0,4 | 5,2 | 0 | 0,2 | 2,5 | 0,4 | 2,5 | 2,7 | 0,4 |
| mittl. Deckung Arrhenath. (%) | 3,6 | 0 | 0,9 | 0,4 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,9 | 18,3 | 0,2 | 0 | 0,5 | 3,3 | 18,7 | 18,0 | 63,3 | 118,5 | 95,6 | 81,2 | 81,1 | 86,0 | 68,3 | 113,4 |
| pH (H ₂ O, Boden) | 4,9 | 4,5 | 4,7 | 4,6 | 4,9 | 4,9 | 4,6 | 4,5 | 5,1 | 5,2 | 6,7 | 5,2 | 3,0 | 5,3 | 5,2 | 5,4 | 5,5 | 5,5 | 6,5 | 5,1 | 5,7 | 5,7 | 5,7 |
| pH (H ₂ O, Lysim.) | 5,6 | 5,3 | 4,9 | 5,9 | 6,1 | 5,9 | 5,3 | 5,2 | 5,9 | 5,9 | 6,3 | 6,0 | 6,1 | 6,3 | 6,2 | 6,2 | 6,6 | 6,8 | 6,5 | 6,4 | 6,7 | 6,8 | 7,1 |
| Ca ²⁺ (mg/l, Lysim.) | 11,14 | 12,27 | 9,81 | 8,51 | 10,05 | 11,34 | 7,39 | 4,23 | 8,74 | 9,77 | 11,21 | 6,93 | 10,05 | 13,27 | 19,42 | 12,67 | 10,15 | 17,20 | 20,82 | 13,38 | 26,90 | 16,87 | 22,29 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/l, Lysim.) | 0,21 | 0,13 | 0,20 | 0,16 | 0,16 | 0,25 | 0,26 | 0,23 | 0,96 | 0,40 | 0,34 | 0,60 | 0,66 | 0,36 | 0,34 | 0,46 | 0,70 | 1,93 | 0,84 | 1,00 | 0,80 | 0,83 | 0,55 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l, Lysim.) | 0,17 | 0,20 | 0,19 | 0,50 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,13 | 0,85 | 0,70 | 1,55 | 0,81 | 0,40 | 0,33 | 0,35 | 0,59 | 0,73 | 0,51 | 0,62 | 0,58 | 0,49 | 0,64 | 0,51 |
| Gesamt-N (t) | 0,188 | 0,172 | 0,201 | 0,189 | 0,116 | 0,121 | 0,299 | 0,153 | 0,180 | 0,153 | 0,209 | 0,189 | 0,134 | 0,177 | 0,278 | 0,19 | 0,241 | 0,247 | 0,141 | 0,196 | 0,209 | 0,257 | 0,258 |
| H-Wert (mval/100g) | 19,3 | 16,9 | 20,7 | 19,3 | 14,9 | 12,3 | 24,6 | 28,8 | 15,4 | 15,4 | 16,6 | 12,6 | 12,6 | 18,7 | 10,9 | 9,9 | 11,3 | 40,9 | 11,9 | 9,1 | 9,9 | 10,7 | 9,9 |
| S-Wert (mval/100g) | 8,0 | 4,6 | 5,3 | 5,5 | 4,8 | 7,5 | 9,3 | 8,3 | 6,8 | 7,9 | 6,2 | 7,4 | 6,7 | 7,8 | 10,5 | 7,0 | 22,8 | 18,4 | 14,1 | 13,5 | 12,2 | 19,0 | 18,1 |

Gradientenanalyse mit Meßwerten des Nährstoffhaushaltes

Die Auffindung und Veranschaulichung der Abhängigkeit des Vorkommens einer Pflanzengemeinschaft oder bestimmter Pflanzenbestandsstrukturmerkmale von den Standortsfaktoren kann – wie schon mehrfach betont – mit der Datenaufbereitungs- und Darstellungsart der Gradientenanalyse vorgenommen werden. In der Vegetationskunde wird mit dieser Methode meist der Zusammenhang zwischen den abhängigen Variablen der Vegetationsdecke und

den unabhängigen Variablen des Standortes durch die geometrische Konfiguration ihrer Bestandteile oder Systemeigenschaften aufgezeigt. Das Auftreten eines Pflanzenbestandes oder eines Merkmales wird in einem Koordinatensystem dargestellt, auf dessen Achsen die Maßzahlen der untersuchten Standortsfaktoren eingetragen werden. Da der Standort mit

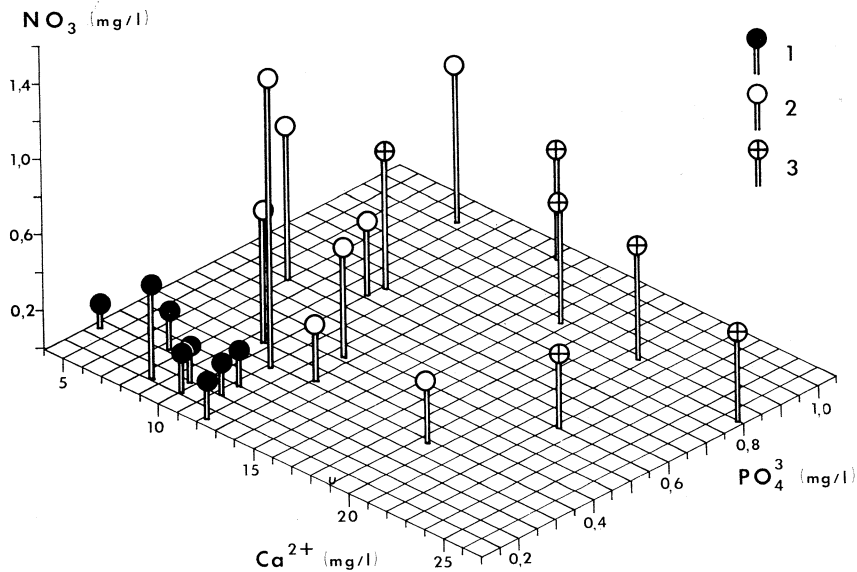


Abb. 7. Ordination der Vegetationsaufnahmen der untersuchten Pflanzengesellschaften (1) *Polygalo-Nardetum*, (2) *Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Gesellschaft und (3) *Arrhenatherum*-Gesellschaft nach NO_3^- , Ca^{2+} und PO_4^{3-} -Ionenmengengradienten im Bodenwasser der Unterdrucklysimeter in mg/l. (Der Bestand Nr. 18 konnte wegen des großen Phosphatgehaltes nicht dargestellt werden.)

einer, zwei, drei oder mehreren Variablen charakterisiert werden kann, können dementsprechend mehrere verschiedene Koordinatensysteme konstruiert werden, in welchen die Lage bzw. die Konfiguration der untersuchten Pflanzenbestände sehr unterschiedlich sein kann. (Das Multivariable heißt in dem Falle das Multidimensionale.)

Es wurde mehrfach betont, daß die Untersuchungsobjekte der Ökologie mit unendlich vielen Variablen beschrieben werden können. Wir stellen anhand der im Großpraktikum 1981 ermittelten Daten, die in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt sind, die Ergebnisse der direkten Gradientenanalyse der Grünlandpflanzengesellschaften vor. Dabei sollen die Veränderungen der Strukturmerkmale des Dönchegrünlandes entlang eines, zweier und dreier Standortsgradienten aufgezeigt werden. Die mittleren Deckungsgrade der drei bestandsbildenden und pflanzengesellschaftsprägenden Pflanzenarten sind in Abbildung 2 entlang des pH-Gradienten dargestellt. Die Skalierung des Bodensäuregrades wurde nach den Pufferbereichen von ULLRICH (1981) vorgenommen, wobei die einzelnen Amplituden noch unterteilt wurden. Die mittleren Deckungsgrade der Pflanzenarten wurden aufgrund der einer pH-Stufe zugehörigen

Vegetationsaufnahmen errechnet. Die mittleren Deckungsgrade der Nardetalia-Kennarten sowie der Arrhenatheretalia-Kennarten (s. Vegetationstabelle) sind in Abbildung 3 und 4 entlang der erwähnten Abstufung des pH-Gradienten dargestellt. Hier werden die ökologischen Präferenzen der ganzen Artengruppen von Bodeneigenschaften, die mit der Wasserstoffionenkonzentration gekennzeichnet sind, sichtbar.

Die Darstellungsart der zweidimensionalen Gradientenanalyse wird in Abbildung 5 und 6 vorgestellt, aus welchen die Größe der mittleren Deckungsgrade der Nardetalia- und Arrhenatheretalia-Kennarten sowie ihre Position entlang des Gradienten von H- und S-Werten ersichtlich ist. Mit dem H-Wert ist die Menge der adsorbierten Wasserstoffionen an elektrisch geladenen Oberflächen der als Ionenaustauscher wirkenden Bodensubstanzen angesprochen und in mval pro 100 g Boden ausgewiesen. Mit dem S-Wert wird die Menge des Kationenbelages, der sich mit 0,1 N HCl austauschen läßt, ausgedrückt. Das unterschiedliche ökologische Verhalten beider Pflanzengruppen, die den Strukturaufbau der Grünlandgesellschaften des Dönchegebietes weitgehend bestimmen, ist eindeutig. Die geometrische Konfiguration der in Tabelle 1 aufgeführten Pflanzenbestände entlang dreier Bodengradienten (NO_3^- -, Ca^{2+} - und PO_4^{3-} -Ionen) ist in Abbildung 7 verdeutlicht. Hier aufgezeigte Unterschiede beweisen die Abhängigkeit der Pflanzenbestände von den unterschiedlichen Wirkungsgraden der untersuchten Umweltfaktoren und lassen auf ihre unterschiedlichen synsystematischen, syngenetischen, syndynamischen und synökologischen Eigenschaften schließen.

Zusammenfassung

Der Nachweis der Wechselwirkungen im Wirkungsgefüge Lebensgemeinschaft/Biotop ist sehr schwer zu erbringen, da man den Komplexitätsgrad der überorganismischen Einheiten der Natur mit einer Untersuchung nicht erfassen kann. In der ökologischen Vegetationskunde wird versucht, die Abhängigkeit einer Pflanzengemeinschaft, ihre Strukturmerkmale und funktionellen Vorgänge von der physikalischen Umwelt bzw. von den Standortfaktoren mit der direkten Gradientenanalyse nachzuweisen. Ähnlich wie bei jedem Versuch wird eine Reihe von Untersuchungsobjekten ausgewählt und der Einfluß einer oder mehrerer Umweltbedingungen durch die Gradation ihrer Wirkungsintensität studiert. In einem Koordinatensystem der Umweltfaktoren wird durch die geometrische Konfiguration der Untersuchungsbestände, ihrer Strukturelemente oder Merkmalsprägungen die gegenseitige Abhängigkeit im Wirkungsgefüge Pflanzengesellschaft/Standort sichtbar gemacht.

Für eine Gradientenanalyse sind pflanzensoziologische und standortkundliche Daten notwendig. Im Landschafts- und Naturschutzgebiet Dönche sind während des Großen Ökologieprojektpraktikums die wichtigsten Grünlandgesellschaften und ihre Böden untersucht worden. Es wurden 23 Pflanzenbestände mit Vegetationsaufnahmen belegt und ihre Bodeneigenschaften mit mehreren Meßgrößen charakterisiert. Durch die Anordnung der Strukturelemente und -merkmale (Deckungsgrade der Pflanzenarten und Pflanzenartengruppen) entlang eines Standortfaktors oder in ein Koordinatensystem zweier Meßgrößen der physikalischen Umwelt wurden ihre Bindungen veranschaulicht. Ebenso wurden mit einer dreidimensionalen Darstellungsart die unterschiedlichen Standortsansprüche der untersuchten Pflanzengesellschaften und der Einfluß unterschiedlicher Wirkungsgrade der Bodenfaktoren verdeutlicht. Die Arbeit stellt einen Beitrag zur Kenntnis der Grünlandvegetation der Dönche dar. Außerdem werden die methodischen Probleme der ökologischen Forschung diskutiert und die Möglichkeiten der Datenauswertung mit der Gradientenanalyse an mehreren Beispielen dargelegt.

Literaturverzeichnis

- ELLENBERG, H., 1956: Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. Stuttgart.
— 1979: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas, Scripta geobot. **9**: 1—122.
— 1982: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Stuttgart.
FASSBENDER, H. W. und AHRENS, E., 1977: Laborvorschriften und Praktikumsanleitung. Göttinger bodenkundl. Briefe **47**: 1—88.
GLAVAČ, V., 1981: Ökologische Grundlagenuntersuchungen im Natur- und Landschaftsschutzgebiet „Dönche“. Großes Ökologieprojektpraktikum. Kassel.
— 1983: Über die Rotschwengel-Rotstraußgras-Pflanzengesellschaft (*Festuca rubra-Agrostis tenuis*-Gesellschaft) im Landschafts- und Naturschutzgebiet „Dönche“ in Kassel. Festschrift ELLENBERG. Tuexenia **3**: im Druck.
— und RAUS, T., 1982: Über die Pflanzengesellschaften des Landschafts- und Naturschutzgebietes „Dönche“ in Kassel. Tuexenia **2**: 73—114.
HAECKEL, E., 1866: Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen. Berlin.
HARMAN, H. H., 1967: Modern factor analysis. Chicago.
MUELLER-DOMBOIS, D. and ELLENBERG, H., 1974: Aims and methods of vegetation ecology. New York.
ORLOCI, L., 1978: Multivariate analysis in vegetation research. The Hague.
RUMMEL, R.-J., 1970: Applied factor analysis. Evanston.
SCHLICHTING, E. und BLUME, H. P., 1966: Bodenkundliches Praktikum. Berlin.
STOWASSER, B., 1982: Über die Geschichte der Landnutzung und ihre Auswirkung auf die Vegetationsdecke der „Dönche“. Staatsexamensarbeit Kassel.
ÜBERLA, K., 1971: Faktorenanalyse. Berlin.
ULRICH, B., 1981: Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **144**: 289—305.
WEBER, E., 1980: Grundriß der biologischen Statistik. Stuttgart.
WHITTAKER, H. R. (Ed.), 1978: Ordination of plant communities. The Hague.

Manuskript bei der Schriftleitung eingegangen am 9. August 1982.

Anschrift der Verfasser:
Arbeitsgruppe für Pflanzen-,
Vegetations- und Landschaftsökologie
Fachbereich Biologie und Chemie
Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40
3500 Kassel
BRD

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Philippia. Abhandlungen und Berichte aus dem Naturkundemuseum im Ottoneum zu Kassel](#)

Jahr/Year: 1982-1987

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Ebben Ulrich, Gladen Sabine, Glavac Vjekoslav, Kolmann Uwe, Lauterbach Werner, Pullmann Christof, Quick Ilona

Artikel/Article: [Gradientenanalyse der Grünlandgesellschaften des Landschafts und Naturschutzgebietes "Dönche" bei Kassel \(Nordhessen\) 151-162](#)