

|                                 |         |             |                      |
|---------------------------------|---------|-------------|----------------------|
| Ber. nat.-med. Verein Innsbruck | Band 79 | S. 85 – 102 | Innsbruck, Okt. 1992 |
|---------------------------------|---------|-------------|----------------------|

# Über den Einsatz multivariater Analyseverfahren der Vegetationsökologie zur Ausscheidung forstlicher Standortseinheiten

## 1. Teil: Klassifikation und Ordination von Wäldern im Leithagebirge (Niederösterreich) \*)

von

Gerhard KARRER \*\*)

### Application of Multivariate Methods of Vegetation Ecology for Forest Site Classification Part 1: Classification and Ordination of Forests in the Leithagebirge (Lower Austria)

**Synopsis:** The common method of forest site classification in Austria considers both actual floristic composition of the plots and many environmental factors like the mineral basis from which soil develops, soil types, relief, slope, aspect, elevation, nutrient and water supply. In searching for good tests and improvements of forest site classification, clustering (classification) by TWINSpan and ordination by DECORANA and CANOCO proved to work well, but with some reservations. TWINSpan will fit not well with heterogenous data sets like ours. It works better, with only one main gradient, otherwise misclassifications are inevitable. As TWINSpan makes use of the algorithm of reciprocal averaging (correspondence analysis), we advise the simultaneous treatment of the data set by DECORANA. Correspondence analysis serves firstly as detector for heterogeneity (heterotony) of data sets and for outliers as well as secondly, by using regressions of environmental variables for an informative representation of structure and correlations in the data sets. Considering our data, canonical correspondence analysis gives more or less similar results as correspondence analysis, but more elaborate possibilities of interpreting joint plots and other diagrams are. Comparing the results of ordination techniques with those of forest site classification as hitherto practiced the importance of environmental factors for floristic diversity proved to be almost identical. Thus correct application of the tested multivariate techniques for forest site classification can be recommended.

### 1. Einleitung:

Im Rahmen eines Projektes der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien werden waldbauliche Grundlagen für das ostösterreichische Tiefland (Eichenwaldgebiet) erstellt. Dazu gehört neben der Erfassung der klimatologischen, geologischen und forstgeschichtlichen Rahmenbedingungen vor allem die Beurteilung der Standortqualität. Diese wird ausgedrückt in den forstlichen Standortseinheiten, die sich ihrerseits vor allem aus bodenkundlichen, vegetationskundlichen und klimatologischen Merkmalen ableiten lassen. Forstliche Standortseinheiten sind sozusagen Flächen mit vergleichbaren ökologischen Bedingungen, die mit dem Ziel ausgewiesen werden, sie einer gleichartigen waldbaulichen Behandlung zu unterziehen. Weitere Zielsetzungen und Anwendungen der forstlichen Standortgliederung und -kartierung können bei JELEM (1960) und KILIAN (1984)

\*) Vortrag, gehalten im Rahmen des 5. Botanikertreffens in Innsbruck, 25. - 28. Mai 1989.

\*\*) Anschrift des Verfassers: Mag. Dr. G. Karrer, Institut für Standortkunde, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Seckendorff-Gudent-Weg 8, A-1131 Wien, Österreich.

nachgelesen werden. Prominentester Ausdruck der Standortsqualität ist natürlich die Pflanzengesellschaft (bzw. der Bestand), die (der) aktuell auf der jeweiligen Fläche entwickelt ist. Daher stehen vegetations- (und boden-) kundliche Erhebungen am Beginn jeder Standortsgliederung. Die daraus resultierende Gliederung der Vegetationseinheiten und der Böden bildet die Basis für die Gliederung der Standorte.

Ziel des Teilprojekts, dem die vorliegende Arbeit entspringt, ist es, herauszufinden, inwieweit die herkömmliche Vorgangsweise bei der vegetations- und standortkundlichen Gliederung möglichst objektiviert und vereinheitlicht werden kann. Insbesondere die modernen, EDV-gestützten Methoden der Vegetationskunde (vgl. MUCINA & van der MAAREL, 1989; KARRER & ENGLISCH, 1992), sollen auf ihre arbeitserleichternden Aspekte hin überprüft werden.

## 2. Ausgangssituation:

### 2.1. Das Untersuchungsgebiet:

Eine ausführliche Beschreibung des Untersuchungsgebietes wird in KARRER & KILIAN (1990) gegeben. Einige besonders wichtige Fakten seien dennoch vorangestellt.

Aus Abb. 1 ist die Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb der Großregionen Österreichs und an der Nordabdachung des Leithagebirges zu erkennen. Es handelt sich um das 630 ha große Revier Sommerein der Bundesversuchswirtschaft Königshof, 33 km SE von Wien gelegen.

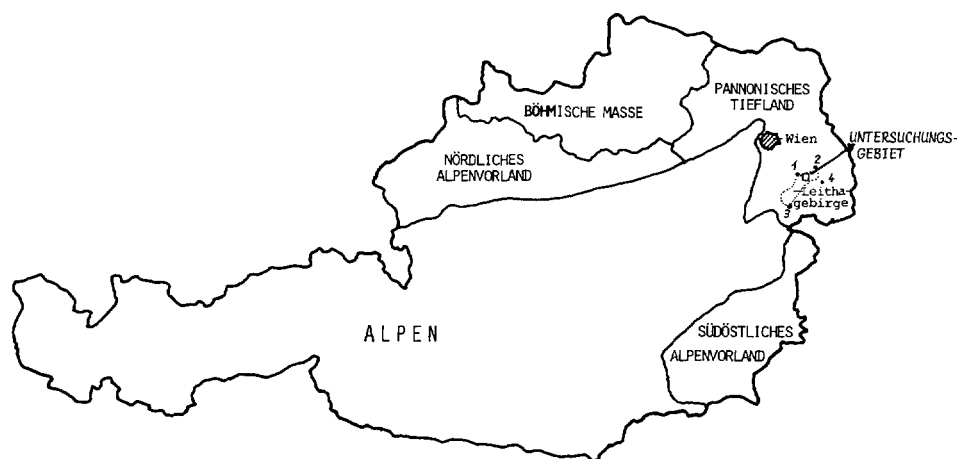


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes. Die Nummern 1 bis 4 bezeichnen die Lage der in Abb. 2 genannten Klimastationen.

Das Revier liegt zwischen 188 und 378 Meter Seehöhe, woraus auf relativ geringe Unterschiede im Jahresmittel der Temperatur innerhalb des Reviers geschlossen werden darf. Der klimatische Gradient ist allerdings wesentlich steiler, weil sich vom Rand zum Inneren des Leithagebirges (also vom Nord- zum Südteil des Untersuchungsgebietes) hin, ein für die Vegetation offensichtlich günstigeres Kleinklima (Gebirgs-Binnenklima) entwickeln kann.

Das Großklima (vgl. die Klimadiagramme in Abb. 2) läßt sich wie folgt charakterisieren:

- von subozeanisch zu subkontinental übergehend;
- niedrige Winterminima der Temperatur;
- hohe Sommermaxima der Temperatur;
- unregelmäßige Niederschlagsverteilung insbesondere in der Vegetationsperiode; daher kommt es in manchen Jahren auch für die Bäume und Sträucher zu Trockenklemmen.

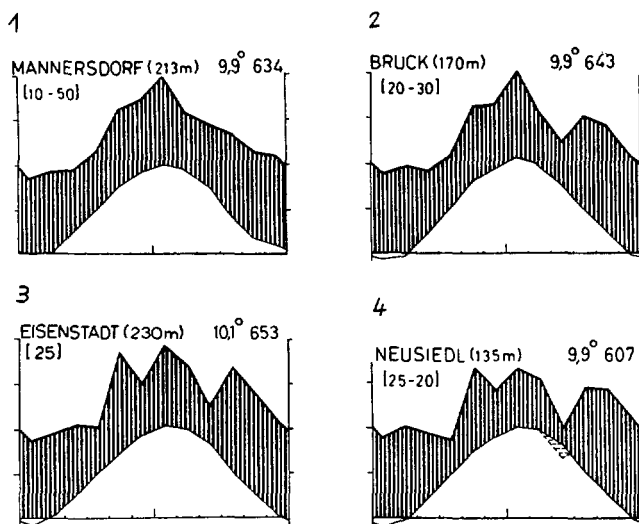


Abb. 2: Klimadiagramme von rund um das Leithagebirge gelegenen Stationen (in der Abb. 1 mit Nr. 1 bis 4 eingezeichnet).

Diese Klimateigenschaften werden durch das Relief und das davon abhängige Kleinklima (vgl. MARGL, 1971) stark modifiziert. Auch wenn das Leithagebirge nur wenig Massenerhebung hat und sehr schmal ist, kann sich dennoch ein Gebirgs-Binnenklima entwickeln, das mit deutlichen Unterschieden in der Vegetationsdecke korreliert ist (KARRER & KILIAN, 1990).

Geologisch repräsentiert das Leithagebirge einen zentralalpinen Teil der alpinen Gebirgskette, welcher aus den Sedimenten des Tertiärmeeres herausragt. Im Revier Sommeren treten Glimmerschiefer mit kaum wechselnder Mineralzusammensetzung auf. Diesem Silikatsockel sind (auch im Untersuchungsgebiet) tertiäre Leithakalkbänke auf- und angelagert, die z. T. bereits wieder erodiert und umgelagert wurden oder – dort wo nur dünne Kalklagen vorhanden waren – vollkommen in die Bodenbildung eingegangen sind. Noch jünger (Pleistozän und Postglazial) sind äolische Sedimente (+/- Löss) darüber, die ebenfalls z. T. wieder erosiv umgelagert wurden (Schichtfluten, Solifluktion).

Aus diesem bunten Substrat-Mosaik hat sich ein ebenso buntes Mosaik von Bodentypen entwickelt (vgl. KARRER & KILIAN, 1990; FRANZ, 1957; HÜBL, 1959). Flächenmäßig dominieren im Revier verschiedene silikatische Felsbraunerden, Rendzinen, Kalkstein-Braunlehme und ihre Übergänge, sowie Lößbraunerden bzw. Parabraunerden mit unterschiedlichem Lessivierungsgrad.

## 2.2. Standortsgliederung und -kartierung:

Die wesentliche Grundlage für die Ausscheidung von forstlichen Standortseinheiten sind die aktuellen Waldgesellschaften. Ausgehend von einer differenzierten pflanzensoziologischen Gliederung werden unter Hinzuziehung von Relief- und Bodenmerkmalen sowie waldbaulichen Kriterien (z. B. Zustandsformen, Wüchsigkeit einzelner Baumarten) die forstlichen Standortseinheiten festgelegt.

Anhand dieser Standortsgliederung erfolgte sodann die Kartierung des Reviers.

In der Tab. 1 sind die 26 ausgeschiedenen Standortseinheiten (= StE) zusammen mit den jeweils korrespondierenden pflanzensoziologischen Einheiten und wichtigen ökologischen Ergänzungen angeführt.

## 2.3. Waldgesellschaften:

Flächenmäßig überwiegen im nordöstlichen Leithagebirge Wälder des Verbandes *Carpinion* (*Carici pilosae-Carpinetum* und *Primulae veris-Carpinetum* (vgl. KARRER & KILIAN, 1990)). Untergeordnet sind noch anzutreffen *Corno-Quercetum pubescentis*, *Ceraso mahaleb-Quercetum pubescentis*, *Mercuriali-Tiliatum*, *Ficario-Ulmetum minoris*, *Quercetum petraee-cerris*, *Carici remotae-Fraxinetum*, eine *Alnus glutinosa*-Gesellschaft und ein *Carpino-Fagetum*, das zwischen dem *Fagion* (bzw. *Eu-Fagion*) und dem *Carpinion* vermittelt.

Tab. 1: Forstliche Standortstypen, korrespondierende pflanzensoziologische Einheiten und ökologische (Boden-)Merkmale im Revier Sommerein (Leithagebirge, Niederösterreich).

| NR. SIGN.                                                         | FORSTLICHE STANDORTSEINHEIT                                                                                                            | PFLANZENSOZIOLOGISCHE EINHEIT                                                                                        | ÖKOLOG. MERKMALE                                      |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| GRUPPE 1: Standorte auf Kalk (Leithakalk)                         |                                                                                                                                        |                                                                                                                      |                                                       |
| 1                                                                 | ☒ Flaumeichen-Mischwald auf exponierten, trockenen Kalkrücken                                                                          | Corno-Quercetum JAKUCS & ZOLYOMI (57)58 corr. SOO 60                                                                 | Rendsina, kalkhältig, trocken                         |
| 1a                                                                | ☒ Flaumeichen-Mischwald auf Kalkrücken, schattseitige Variante mit Sommerlinde                                                         | Ceraso mahaleb-Quercetum pubescentis JAKUCS & FEKETE 57 corydaletosum pumilae KARRER & KILIAN 90                     | entkalkte Moderrendsina, trocken                      |
| 2                                                                 | ☉ Sommerlindenwald auf schattseitigem Kalkblockschutt                                                                                  | Mercuriali-Tilietum ZOLYOMI & JAKUCS 58                                                                              | skelett- u. kalkreich humusarm, trocken               |
| 3                                                                 | ☐ Sommerlinden-Traubeneichen-Feldahorn-Wald auf flachgründiger Braunlehm-Rendsina                                                      | Primulae veris-Carpinetum R. & Z. NEUH. 64 brometosum benekenii KARRER & KILIAN 90 Var. typicum                      | Mull, mäßig trocken, kalkhältig                       |
| 4                                                                 | ☐ Sommerlinden-Traubeneichen-Buchen-(Hainbuchen-)Wald auf mittelgründiger Braunlehm-Rendsina                                           | Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii Var. von Dentaria enneaphyllos (KARRER & KILIAN 90)                   | Mull, mäßig frisch, kalkhältig                        |
| 5                                                                 | ☐ Gipfleschenwald auf Kalkplateaus                                                                                                     | Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii Var. von Dentaria enneaphyllos                                        | Mull, mäßig frisch, kalkhältig                        |
| 6                                                                 | ◇ Winterlinden-Traubeneichen-(Hainbuchen-)Wald auf flachgründiger karbonatfreier Terra fusca                                           | Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii und caricetosum digitatae KARRER & KILIAN 90                          | mäßig trocken                                         |
| 7                                                                 | ◇ Winterlinden-Traubeneichen-Buchen-Hainbuchen-Wald auf mittelgründiger karbonatfreier Terra fusca                                     | Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii, Übergang zum Carici pilosae-Carpinetum typ. Var. von Viola mirabilis | mäßig frisch                                          |
| 8                                                                 | ◆ Traubeneichen-Buchen-Hainbuchen-Wald auf tiefgründigem Braunlehm über Kalk                                                           | Carici pilosae-Carpinetum R. & Z. NEUH. 64 typicum R. & Z. NEUH.                                                     | (mäßig) frisch, oberer Profilteil entkalkt            |
| 9                                                                 | ■ Buchen-Bergahorn-Linden-(Hainbuchen-)Wald auf Schatthängen mit Kalkbraunlehm und Mischböden                                          | Carpino-Fagetum KARRER & KILIAN 90 Var. von Hedera helix (KARRER & KILIAN 90)                                        | frisch, meist entkalkt                                |
| GRUPPE 2: Standorte auf kalkhältigen Lockersedimenten (Löss etc.) |                                                                                                                                        |                                                                                                                      |                                                       |
| 10                                                                | * Sommerlinden-Feldulmen-Traubeneichen-Hainbuchen-Wald auf tiefgründiger kalkhältiger Lockersediment-Braunerde                         | Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii Var. von Lamiastrium (KARRER & KILIAN 90)                             | Mull, mäßig trocken, kalkreich                        |
| 11                                                                | * Traubeneichen-Feldulmen-Hainbuchen-Winterlinden-Wald auf tiefgründigen entkalkten Löss-Lössböden (Lösslehm, Parabraunerde)           | Carici pilosae-Carpinetum typ. Var. von Viola mirabilis, selten auch Quercetum petraeae-cerris                       | Mull, mäßig frisch, mittlerer Profilteil stark bindig |
| 12                                                                | * Sommerlinden-Traubeneichen-Buchen-Wald an geschützten Grabeneinhängen und Unterhängen mit kalkbeeinflusster Lockersediment-braunerde | Carici pilosae-Carpinetum oxalidetosum KARRER & KILIAN 90 Var. von Aconitum vulparia (KARRER & KILIAN 90)            | Mull, frisch, kalkhältig                              |
| 13                                                                | + Stieleichen-Traubeneichen-(Linden-Hainbuchen-)Wald auf Tschernosem                                                                   | Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii Var. von Quercus robur (KARRER & KILIAN 90)                           | Mull, mäßig frisch teilweise entkalkt                 |

| NR.                                                                          | SIGN. | FORSTLICHE STANDORTSEINHEIT                                                                                                | PFLANZENSOZIOLOGISCHE EINHEIT                                                                        | ÖKOLOG. MERKMALE                            |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| GRUPPE 3: Standorte auf kalkfreiem Silikat (Festgestein und Lockersedimente) |       |                                                                                                                            |                                                                                                      |                                             |
| 14                                                                           | ⊗     | Bodensaurer Traubeneichenwald auf exponierten Rücken und Steilhängen mit Banker und flachgründiger Felsbraunerde           | Quercetum petraeae-cerris (ZOLYO-MI 50) SOO 57 festucetosum guest-falicae KARRER & KILIAN 90         | trocken, humusarm                           |
| 15                                                                           | ⊗     | Bodensaurer Traubeneichen(Hainbuchen-)Wald auf Rücken u. mäßig steilen Hängen mit flach- bis mittelgründiger Felsbraunerde | Quercetum petraeae-cerris tilietosum cordatae KARRER & KILIAN 90                                     | mäßig trocken, humusarm                     |
| 16                                                                           | ⊙     | Traubeneichen-Winterlinden-(Hainbuchen-)Wald auf Flachhängen mit flach- bis mittelgründiger Felsbraunerde                  | Carici pilosae-Carpinetum luzuletosum R. & Z. NEUH. 64 Var. von Melica uniflora (KARRER & KILIAN 90) | Moder, mäßig trocken                        |
| 16a                                                                          | ⊙     | Variante mit flachgründiger Felsbraunerde über stauendem Untergrund (stark gestörte Böden)                                 | stark gestört; aktuell Birken-Vorwaldstadien                                                         | wechseltrocken                              |
| 17                                                                           | ○     | Traubeneichen-Winterlinden-Hainbuchen-Buchen-Wald auf mittelgründiger bindiger Felsbraunerde                               | Carici pilosae-Carpinetum typicum                                                                    | mäßig frisch bis mäßig trocken              |
| 18                                                                           | ⊙     | Winterlinden-Traubeneichen-Hainbuchen-Wald auf mittelgründiger, pseudovergleyter Felsbraunerde                             | Carici pilosae-Carpinetum typicum Var. von Frangula alnus (KARRER & KILIAN 90)                       | Modernmull, wechselfrisch bis wechselfrisch |
| 19                                                                           | △     | Traubeneichen-Hainbuchen-Winterlinden-Wald auf tiefgründiger bindiger Lockersedimentbraunerde und Braunlehm                | Carici pilosae-Carpinetum typicum Var. typicum                                                       | Mullmoder, mäßig frisch bis frisch          |
| 19a                                                                          | △     | Variante auf Löss (Parabraunerde)                                                                                          | Carici pilosae-Carpinetum typicum Var. von Viola mirabilis                                           | Mullmoder, mäßig frisch                     |
| 20                                                                           | ◆     | Hainbuchen-Linden-Bergahorn-Traubeneichen-Wald an sonnseitigen Unterhängen mit tiefgründiger Felsbraunerde                 | Carici pilosae-Carpinetum allietosum KARRER & KILIAN 90                                              | Mull, frisch bis mäßig frisch               |
| 21                                                                           | ⊙     | Buchen-(Hainbuchen-Winterlinden-)Wald an Schatthängen mit skelettreicher silikatischer Felsbraunerde                       | Carpino-Fagetum Var. von Dryopteris filix-mas (KARRER & KILIAN 90)                                   | Mull, frisch                                |
| 22                                                                           | ◇     | Hainbuchen-Traubeneichen-Linden-(Buchen-)Wald an schattseitigen Unterhängen und Hangmulden mit kolluvialer Braunerde       | Carici pilosae-Carpinetum oxalidetosum Var. von Hedera helix (KARRER & KILIAN 90)                    | Mull, frisch bis sehr frisch                |
| 23                                                                           | ▲     | Traubeneichen-Hainbuchen-Winterlinden-Wald an Hangmulden und Unterhängen mit tiefgründigem Pseudogley                      | Carici pilosae-Carpinetum typicum Var. von Frangula alnus                                            | periodisch sehr frisch bis naß              |
| 24                                                                           | ◆     | Grauweidengebüsch und Schwarzerlenwald auf Gleyböden der Quellmulden                                                       | Alnus glutinosa-Gesellschaft KARRER & KILIAN 90 und Salicetum cinerea HÜBL 59                        | feucht bis naß                              |
| 25                                                                           | ◆     | Eschen-Ahorn-Wald der Talalluvien                                                                                          | Ficario-Ulmetum minoris KNAPP 42 ulmetosum glabrae HÜBL 59                                           | sehr frisch bis feucht                      |
| 26                                                                           | ◆     | Schwarzerlen-Eschen-Bachau der regelmäßig überfluteten Grabensohlen                                                        | Carici remotae-Fraxinetum W.KOCH 26                                                                  | feucht bis naß                              |

### 3. Methoden<sup>1)</sup>:

Um die Effektivität EDV-gestützter Auswertungen zu testen, wurde die Standortserkundung, -gliederung und -kartierung im Revier Sommerein (KARRER & KILIAN, 1990) herangezogen, die gemäß den bisher üblichen Kriterien (JELEM, 1960) durchgeführt worden war. 125 Vegetationsaufnahmen, ergänzt durch 50 korrespondierende Bodenprofilansprachen und Bodenanalysen dienten als Grundlage für die Vegetationsgliederung nach BRAUN-BLANQUET (vgl. ELLENBERG, 1956). Die Vegetationsaufnahmen waren nicht zufallsverteilt, sondern bewußt so gesetzt, daß möglichst alle ökologischen Gradienten erfaßt wurden.

Mit der flächendeckenden Kartierung ist natürlich ein erster und ganz wichtiger Test der Güte der Standortsgliederung gegeben. Ein weiterer Gütetest liegt in der Anwendung multivariater Verfahren der Klassifikation und Ordination. Aus der Vielfalt der Methoden wurden solche aus weit verbreiteten Programmpaketen ausgewählt:

- TWINSpan (HILL, 1979; divisives hierarchisches Klassifikationsverfahren),
- DECORANA (HILL, 1979a; ter BRAAK, 1987; indirekte Gradientenanalyse, Korrespondenzanalyse),
- CANOCO (ter BRAAK, 1986, 1987; JONGMAN et al., 1987; indirekte und direkte Gradientenanalyse z.B. kanonische Korrespondenzanalyse).

Andere Methoden bzw. Programmpakete (ORLOCI & WILDI, 1983; PODANI, 1984, 1987) befinden sich erst im Adaptierungs- bzw. Teststadium.

Zum Verrechnen und zur Interpretation standen alle 125 Vegetationsaufnahmen mit ihren floristischen Daten und mit 54 ökologischen Parametern (Tabellenkopf-Daten) zur Verfügung. Die Datenmanipulationen und Rechenoperationen wurden an der Abteilung für EDV der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien durchgeführt.

### 4. Ergebnisse:

#### 4.1. Klassifikation mittels TWINSpan:

In den 125 Vegetationsaufnahmen konnten 467 Arten festgestellt werden. In diesem Rahmen wird auf die Darstellung der gesamten Matrix verzichtet (vgl. dazu KARRER & KILIAN, 1990). Die Klassifikationsergebnisse von TWINSpan sollen lediglich anhand der ausgewiesenen Gruppen dargestellt werden (Abb. 3).

TWINSpan verwendet als 1. Ordnungskriterium eine Ordination nach dem Algorithmus des reciprocal averaging in DECORANA (HILL, 1979a). Die Aufnahmen werden auf der 1. Achse dieser Korrespondenzanalyse (CA) aufgetragen und in zwei Gruppen geteilt. Die Gruppe "0" besteht aus 92 Aufnahmen auf eu- und mesotraphen Standorten, die Gruppe "1" aus 33 Aufnahmen oligotraphen Standorte. Die 1. Achse der CA korrespondiert mit einem komplexen Trophiegradienten (Korrelationskoeffizient der Stickstoffversorgung: 0,76), der von einem Feuchtgradienten (Korr.koeff: 0,90) überlagert wird. Bei diesem Teilungsschritt werden die Aufnahmen aus den bodensauren Traubeneichen-Wäldern (StE 14, 15) und aus armen Eichen-Hainbuchen-Wäldern (StE 16) der Gruppe "1" zugeschlagen. Einige Aufnahmen der StE 17 werden ebenfalls der Gruppe "1" zugeordnet; es sind dies vorwiegend Aufnahmen auf sehr armen, entbasten silikatischen Reliktlehmen.

Eine Aufnahme (83) erscheint kraß mißklassifiziert. Es handelt sich hierbei um einen artenreichen Eichen-Mischwald auf der Oberkante einer mächtigen Lößwächte in Südostexposition. Dort hat sich eine mächtige Lößlehm-Schwarte entwickelt, wodurch der Oberboden nicht nur trocken sondern auch sehr sauer ist. Es treten viele Arten auf, die auch in kargen, trockenen Traubeneichen-Wäldern vorkommen, sodaß die Aufnahme 83 in dieser Gruppe ("11") landet. Daran können auch einige Kalkzeiger nichts ändern, weil sie nur in dieser Aufnahme vorhanden sind und damit keinen Konnex zu den Kalk- und Lößstandorten des Gebietes bilden können.

Die Gruppe "1" wird in nährstoffarme, sehr trockene Standorte auf Rankern und flachgründigen, skelettreichen, silikatischen Felsbraunerden (Gruppe "11") und in mäßig nährstoffarme Standorte (Gruppe "10") geteilt. Im ersten Fall handelt es sich um Schutzwälder mit dominieren-

1) Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen richtet sich nach EHRENDORFER (1973), die der Moose nach FRAHM & FREY (1983) und die der Flechten nach POELT (1966) bzw. POELT & VEŽDA (1977, 1981).

| eu- und mesotroph (92)                                                                 |                                                                                |                                                                                           |                                                                                           |                                                                                          | 1                                                                                  | oligotroph (33)                                                     |                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 00                                                                                     |                                                                                |                                                                                           |                                                                                           |                                                                                          | 01                                                                                 | 10                                                                  | 11                                             |
| Substrat: Glimmerschiefer oder Löss<br>gut basenversorgt (41)                          |                                                                                |                                                                                           |                                                                                           |                                                                                          | Substrat: kalkhaltig (51)                                                          | (meso-) bis<br>oligotroph<br>mäßig frisch (21)                      | oligotroph<br>sehr<br>trocken (12)             |
| 000 eutroph (9)<br>naß bis feucht                                                      |                                                                                | 001 meso- und eutroph (32)<br>frisch bis<br>mäßig frisch                                  |                                                                                           | 010 kalkhaltige (44)<br>Böden<br>frisch bis<br>mäßig frisch<br>eutroph                   | 011 (7)<br>trocken<br>auf<br>Leitha-<br>kalk                                       | 100 (13)<br>(meso-) oligo-<br>troph<br>frisch<br>b. mäßig<br>frisch | 101 (9)<br>oligo-<br>troph<br>mäßig<br>trocken |
| 0000 (3)<br>feucht b.<br>naß peri-<br>odisch<br>stagnie-<br>rendes<br>Grund-<br>wasser | 0001 (6)<br>feucht b.<br>frisch<br>häufig<br>mit<br>Über-<br>schwem-<br>mungen | 0010 (7)<br>eutroph<br>mäßig<br>frisch<br>Robinien<br>forst<br>silikat.<br>Kollu-<br>vion | 0011 (25)<br>meso- und<br>eutroph<br>frisch bis<br>mäßig frisch                           | 0100 (25)<br>frisch<br>b. mäßig<br>frisch<br>Brauner-<br>de meist<br>auf Lei-<br>thakalk | 0101 (19)<br>mäßig<br>frisch<br>flach-<br>gründige<br>Böden<br>auf Lei-<br>thakalk |                                                                     |                                                |
|                                                                                        |                                                                                | 00110 (12)<br>frisch<br>eutroph<br>auf<br>Kollu-<br>vion                                  | 00111 (13)<br>frisch<br>b. mäßig<br>frisch<br>meso- b.<br>eutroph<br>a. Schatt-<br>hängen |                                                                                          |                                                                                    |                                                                     |                                                |

Abb. 3: Ökologische Interpretation der Standortgruppen, die aufgrund einer Klassifikation durch TWINSpan erstellt wurden. Gruppennummern: Linksbündig, im binären Code; Anzahl der Vegetationsaufnahmen pro Gruppe: rechtsbündig, in Klammer.

der, schlechtwüchsiger Traubeneiche, im zweiten Fall ist der Wasserhaushalt günstiger. Innerhalb der Gruppe "10" unterscheidet TWINSpan zwischen (meso- bis) oligotraphenten, relativ frischen (Gruppe "100") und oligotraphenten, mäßig trockenen Standorten (Gruppe "101"), in denen noch einige Trockenheits- und Lichtzeiger vorhanden sind.

Die Unterteilung der Gruppe "0" in "00" und "01" erfolgt in Standorte ohne Karbonat und solche mit Karbonat im Wurzelhorizont. Dabei werden allerdings einige Aufnahmen auf mächtigem, kalkfreien Lößlehm z.T. der Gruppe der karbonatfreien zugeteilt.

Die Gliederung der Gruppe "01" folgt einem Gradient von seicht- zu tiefgründigen Böden ("011" - "0101" - "0100").

Innerhalb von "00" werden +/- eutraphente, sehr frische Standorte als Gruppe "000" von den eutraphenten, frischen Standorten (Gruppe "001") getrennt.

Während sich hinter der weiteren Teilung der Gruppe "000" der Sauerstoffgehalt und die Mobilität des Boden- und Grundwassers verbirgt, werden von der Gruppe "001" zuerst die Robinienforste als eigene Gruppe ("0010") abgegliedert, wodurch sich der besonders starke, eutrophierende Einfluß der standortsfremden Robinie deutlich manifestiert.

Alle weiteren Gruppenteilungen sind kaum mehr sinnvoll interpretierbar.

#### 4.2. Darstellung und Gliederung mittels Ordinationen:

Die Methode des reciprocal averaging (= correspondence analysis) wurde von HILL (1973) in die Vegetationskunde eingeführt und hat sich bisher als sehr hilfreich erwiesen. Für die komplexe Gliederung von forstlichen Standorteinheiten bieten sich diese Methoden geradezu an. Trotzdem ist aus Mitteleuropa kaum ein Beispiel (eventuell van GROENEWOUD, 1965) für die Anwendung im Bereich der forstlichen Standortsgliederung bekannt. Verbreitet kommt diese und verwandte Methoden schon seit längerem im angloamerikanischen Raum zum Einsatz (z.B. SWAINE & HALL, 1976; STANEK, BOWLS & ORLOCI, 1986; HIX, 1988). Correspondence analysis

(CA) und detrended correspondence analysis (DCA) werden u. a. im Programmpaket DECORANA (HILL, 1979a) sowie im Programmpaket CANOCO (ter BRAAK, 1987) angeboten.

In Abb. 4 sind alle Aufnahmen in jener Ebene dargestellt, die von den ersten beiden Achsen einer Standard-CA gebildet werden. Die Vegetationsaufnahmen werden deutlich in drei divergierende Richtungen gespreitet. In Richtung der Aufnahme 102 weist ein Gradient von zunehmendem Nährstoffreichtum und besserer Wasserversorgung des Bodens, in Richtung der Aufnahme 56 ein kombinierter Gradient von Trockenheit und Entkalkung, sowie in Richtung der Aufnahme 79 ein Gradient zunehmender Trockenheit und steigenden Kalkgehalts im Boden.

Während sich die Aufnahme 102 als auffälliger Ausreißer erweist – es handelt sich um einen Hangfußbereich mit Quellaustritt und Bacheinfluß, sind die Aufnahmen 23, 91 und 101 weniger vom Gesamtdatensatz abgesetzt und werden in den folgenden Analysen mit einbezogen. Durch den extremen Ausreißer werden alle anderen Aufnahmen zu dicht gepackt, was eine sinnvolle Interpretation erschwert (GREENACRE, 1984 und OKSANEN, 1988). Daher wird die Aufnahme 102 für die weiteren Analysengänge nicht berücksichtigt. Bei der Synthese muß sie allerdings mit ihrem wahren Gewicht und richtiger Position Berücksichtigung finden. Die Endpole der anderen zwei Gradienten (56, 79) sind durch vermittelnde Aufnahmen mit der Hauptmenge  $\pm$  kontinuierlich verbunden.

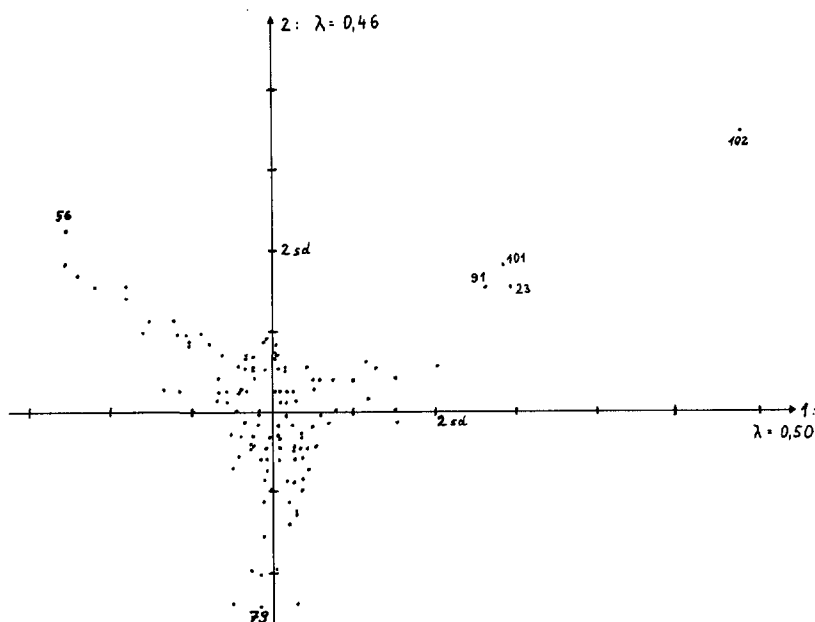


Abb. 4: Korrespondenzanalyse (CA) von 125 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge, dargestellt als Punkte in der Ebene der Achsen 1 und 2. Einige wichtige Aufnahmen sind durch ihre Nummern gekennzeichnet.

Beim 2. CA-Durchgang – ohne Aufnahme 102 – (Abb. 5) zeigen sich sowohl in der Darstellung mit den Achsen 1 und 2 (Abb. 5a) als auch mit den Achsen 1 und 3 (Abb. 5b) keine auffälligen Ausreißer mehr. Die Elimination der Aufnahme 102 brachte eine Inversion der Achsen mit sich, was aber an einer ökologischen Interpretation von Anordnung und Distanzen der Aufnahmen nichts Grundsätzliches ändert. Beachtenswert ist der Hufeisen-Effekt in der Abb. 5b, der auf einen deutlichen Zusammenhang zwischen 1. und 3. Achse schließen läßt (ter BRAAK in JONGMAN et al., 1987).



Abb. 5a

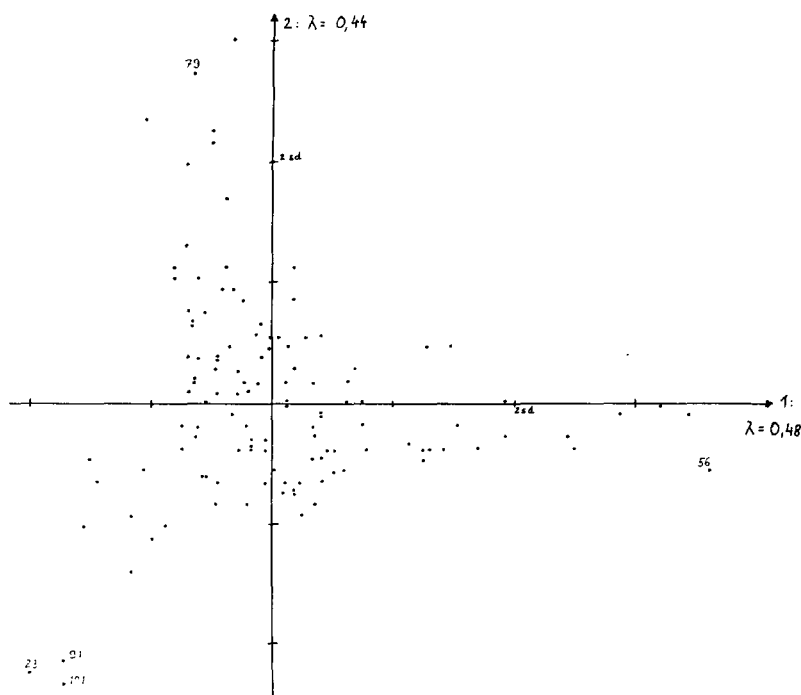


Abb. 5b

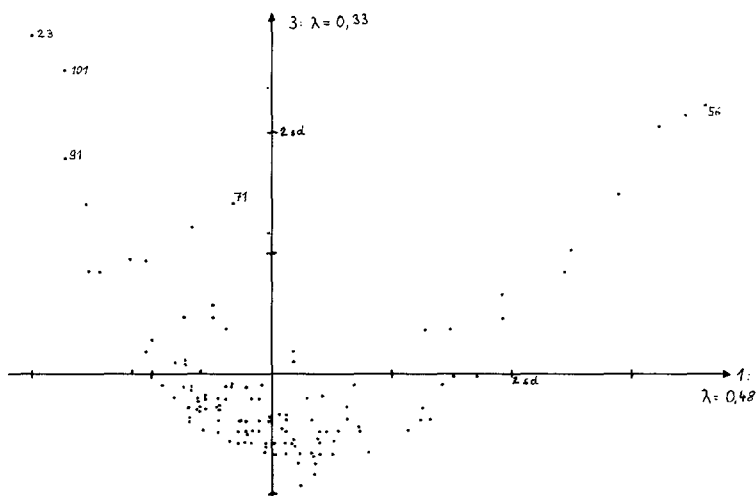


Abb. 5: Korrespondenzanalyse (CA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge (Aufnahme 102 ist hier eliminiert), dargestellt als Punkte in der Ebene der Achsen 1 und 2 (a) sowie der Achsen 1 und 3 (b).

Im Ordinationsdiagramm einer "entzerrten" Korrespondenzanalyse (DCA, Abb. 6) wurden sowohl die 124 Vegetationsaufnahmen mit ihrer Nummer und ihrer zugehörigen Standortseinheit versehen, als auch einige dominante oder soziologisch bedeutsame Pflanzenarten eingetragen.

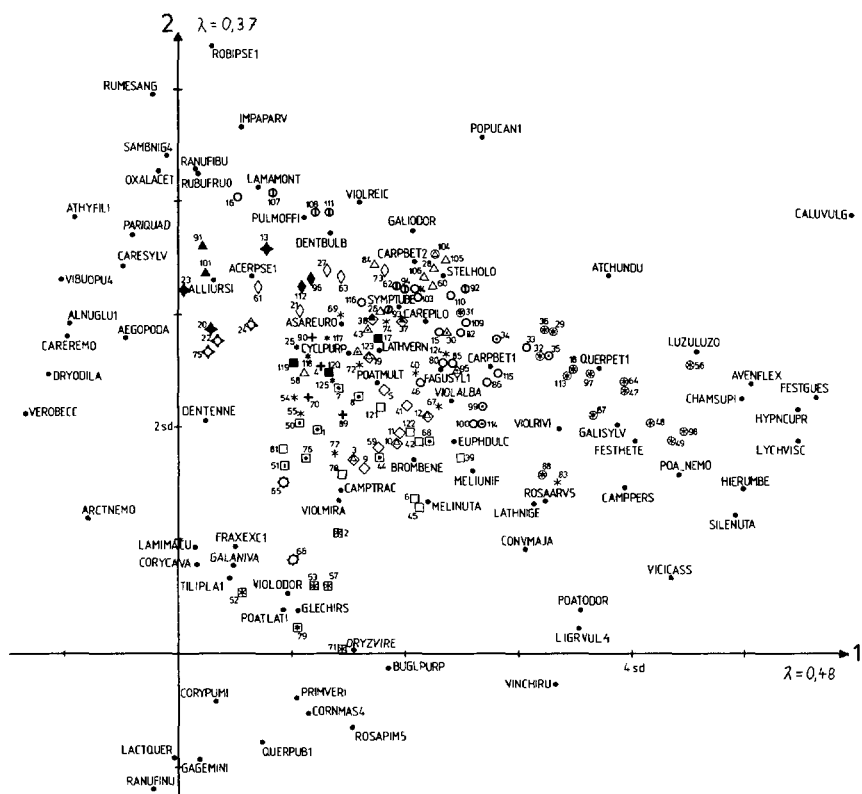


Abb. 6: "Entzerrte" Korrespondenzanalyse (DCA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge (ohne Aufnahme 102), dargestellt in der Ebene der Achsen 1 und 2. Einige der insgesamt 465 Pflanzenarten sind ebenfalls im Ordinationsdiagramm eingezeichnet (schwarze Punkte, 8-stelliger Code). Die Vegetationsaufnahmen sind mit ihren Nummern sowie mit den Signaturen der jeweils zugeordneten Standorteinheit versehen, wie sie in Tab. 1 verwendet werden.

Da die Original-Skalierung nach HILL (1979a) verwendet wurde ( $\alpha = 1$ ), liegen die Aufnahmen jeweils im Schwerpunkt der in ihnen vorkommenden Pflanzenarten. Die Achsen sind relativ lang. So liegen die Aufnahmen 23 und 98 oder 52 und 56 jeweils über 4 Achseneinheiten (sd) auseinander, woraus man schließen darf (JONGMAN et al., 1987), daß sie keine Arten mehr gemeinsam haben. Die Heterogenität des Datensatzes ist also beachtlich, sodaß auch die Eigenwerte hoch sind (Abb. 6). Die Abnahme der Eigenwerte gegenüber der CA ist nur schwach, d. h. die Dispersion der Arten ist groß und die Varianz durch die ersten beiden Achsen sicher nur zum Teil erklärt. (25 % der Varianz werden durch die ersten vier Achsen erklärt.)

Am positiven Ende der Achse 1 scharen sich die Vegetationsaufnahmen thermophiler, lichter Traubeneichen-Wälder auf mageren, flachgründigen Felsbraunerden und Rankern, die in der StE 14 zusammengefaßt werden. Die Aufnahmen der StE 15 sind dem *Quercetum petraeae-cerris* (ZOLYOMI 50) SOÓ 57 in der Subass. *tilietosum cordatae* KARRER & KILIAN 90 anzuschließen. Sie bilden eine gut faßbare Gruppe, abgesehen von der Aufnahme 88, die aufgrund des Auftretens anspruchsvollerer Arten den besser nährstoffversorgten Aufnahmen näher steht. Das linke

Ende der Achse 1 bilden durchwegs gut nährstoffversorgte Aufnahmen, die sich im Wasserhaushalt deutlich unterscheiden. Die Aufnahmen auf Silikat (StE 25, 26) sind als feucht bis naß einzustufen, jene auf Kalk (StE 1, 1a, 2) als trocken. Das weist auf den bedeutenden Zusammenhang der 2. Achse mit dem Wasserhaushalt auf den Aufnahmeflächen hin.

Die relative Lage der Aufnahmen einer Standortseinheit stimmt meist gut mit der soziologisch-ökologischen Interpretation in KARRER & KILLIAN (1990) überein. Beispielsweise ist die StE 22 (schattseitige Unterhänge auf silikatischen Kolluvien) durch die Aufnahmen 29, 63, 21, 73 und 61 repräsentiert. Während die drei erstgenannten Aufnahmen im Zentrum der Einheit stehen, stellen 73 bzw. 61 jeweils die beiden Bindeglieder zu im ökologischen Gradienten anschließenden Standortseinheiten dar. Aufnahme 73 vermittelt zu StE 19 (auf bindigen, tiefgründigen, +/- kolluvialen Felsbraunerden) und wurde ursprünglich (KARRER & KILLIAN, 1990) auch als intermediäre Aufnahme geführt, Aufnahme 61 repräsentiert das Endglied von StE 22 gegenüber StE 25. Solche sehr frischen Unterhänge auf grobskelettreichen, gut durchlüfteten silikatischen Kolluvien wurden in der Rohfassung der Standortskartierung als "22a" von den bindigeren Varianten der Einheit (22b) getrennt. Im Ordinationsdiagramm (Abb. 6) kommt diese Standortsnuance durchaus zum Ausdruck. Es zeigt sich z.B. auch, daß die der StE 22 nahestehende StE 20 (Unterhänge der Sonnseite) im Ordinationsdiagramm der Achsen 1 und 2 nicht getrennt wird.

Zum Erkennen des Faktors oder der Faktorenkombination, welche hinter den einzelnen Achsen der Ordination stehen, dient bei der CA und DCA aber nicht nur die Verifizierung durch Einzeichnen von Merkmalen einzelner Aufnahmen. Man kann auch eine Regression der erhobenen Parameter über die einzelnen Achsen durchführen. Die dabei erhaltenen Korrelationskoeffizienten (Tab. 2) werden als Maß für die Richtung und die Länge einer vektoriellen Darstellung der jeweiligen (quantitativen) Variablen verwendet (Abb. 7). Die Pfeile setzen jeweils am Zentroid der Variablen an. Qualitative Variable können ebenfalls in der Lage ihrer Zentroide eingetragen werden (ter BRAAK, 1986). Man erhält damit wertvolle Hinweise auf mögliche Interpretationen von CA- und DCA-Analysen.

Tab. 2: Korrelationskoeffizienten von einigen Umweltvariablen mit den ersten beiden Achsen einer "entzerrten" Korrespondenzanalyse (DCA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge. Nr. 1 - 6: quantitative Variable; Nr. 7 - 14: qualitative Variable.

|    | Variable                  | Achsen |       |
|----|---------------------------|--------|-------|
|    |                           | 1      | 2     |
| 1  | Höhe Baumschicht 1        | -0,28  | 0,49  |
| 2  | max. Deckung Krautschicht | -0,31  | 0,38  |
| 3  | Deckung Moosschicht       | 0,61   | 0,02  |
| 4  | Kalk-Gehalt (HCl-Probe)   | -0,29  | -0,58 |
| 5  | Neigung                   | 0,14   | -0,33 |
| 6  | Alter                     | 0,05   | 0,05  |
| 7  | verhagert (humusarm)      | 0,59   | -0,04 |
| 8  | Exposition Süd            | 0,30   | -0,01 |
| 9  | Exposition West           | 0,26   | -0,26 |
| 10 | Leithakalk                | -0,26  | -0,60 |
| 11 | Ranker                    | 0,21   | -0,05 |
| 12 | Auboden                   | -0,32  | 0,11  |
| 13 | sehr flachgründig         | -0,14  | -0,58 |
| 14 | tiefgründig               | -0,21  | 0,36  |

Als ein bedeutender Fortschritt in der Analyse vegetationsökologischer Daten kann wohl die von ter BRAAK (1985) entwickelte Methode der kanonischen Korrespondenzanalyse gelten. Auf

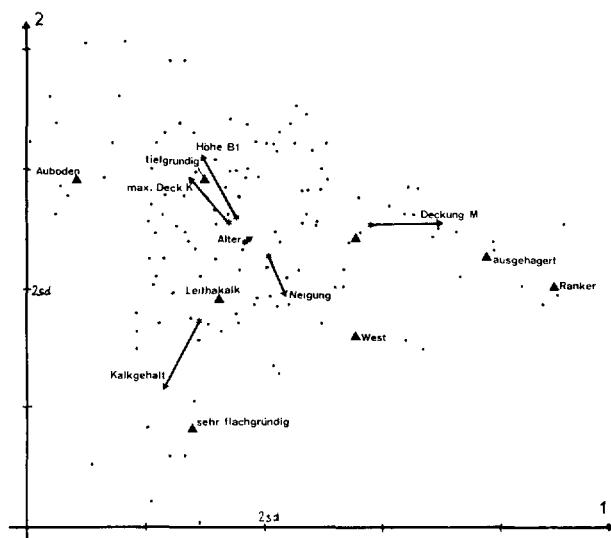


Abb. 7: "Entzerrte" Korrespondenzanalyse (DCA) wie in Abb. 6 (Achsen 1 und 2). Die Vegetationsaufnahmen sind als Punkte eingetragen, einige Umweltvariablen sind ebenfalls berücksichtigt (schwarzes, volles Dreieck: qualitative Variable; Stern mit Pfeil: quantitative Variable).

unsere Daten angewandt (Abb. 8) ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der CA (vgl. Abb. 5a). Die Achsen besitzen gegenüber der CA zwar einen niedrigeren Eigenwert (1. Achse: 0,43 gegenüber 0,48, 2. Achse 0,39 : 0,44, 3. Achse: 0,28 : 0,33), die Anordnung der Aufnahmen ist aber sehr ähnlich. Dies überrascht nicht, weil ja eine multiple Regression der berücksichtigten Umweltvariablen auf die 4 Ordinationsachsen der CA bereits sehr hohe Korrelationswerte ergeben hat (0,92; 0,92; 0,87; 0,89). Bei der CCA, in der wiederholt solche multiple Regressionen gerechnet werden, erhöhen sich diese Werte (vgl. Tab. 3: z.B. spec ax 1 : envi ax 1 = 0,96). Darauf weist auch ter BRAAK (in JONGMAN et al., 1987) hin. Damit erweisen sich die erfaßten Umweltvariablen für die Dispersion der Arten (Aufnahmen) im floristischen Raum als sehr aussagekräftig.

Ähnliches zeigen die kanonischen Korrelationskoeffizienten der Tab. 3. Mit der Art-Achse 1 ("spec ax 1") am höchsten korreliert ist die Deckung der Moosschicht, was auf den in Frage kommenden Standorten (StE 14, 15) mit ungünstiger Humusform korreliert ist.

Die 1. Achse der CCA repräsentiert einen Trophiegradienten, die 2. Achse einen Gradienten mit abnehmender Feuchtigkeit. Dies kann durch Eintragung der Zeigerwerte nach ELLENBERG (1979) oder von festgestellten Umweltvariablen in das Ordinationsdiagramm an Stelle der Aufnahmen (oder Arten) verdeutlicht werden (vgl. KARRER, in Vorb.).

Eine andere Möglichkeit der Darstellung der Bedeutung von erhobenen Umweltvariablen in Ordinationsdiagrammen zeigt Abb. 8. Nach dem Vorschlag von ter BRAAK (1986) werden dabei quantitative Variable als Vektoren (Pfeile), qualitative Variable (als dummy- Werte verrechnet) als Punkte eingetragen. Die Pfeile gehen vom Nullpunkt des Achsenkreuzes aus; die Lage der Pfeilspitzen wird aus den "intra-set"-Korrelationen der Umweltvariablen und Eigenwerten der jeweiligen Achsen berechnet (vgl. ter BRAAK in JONGMAN et al., 1987; OKSANEN, 1988). Die Punkte der qualitativen Variablen entsprechen der Lage ihrer Zentroide, d.h. die Variable steht im Schwerpunkt derjenigen Aufnahmen, welche das betreffende Merkmal aufweisen.

Die Richtung und die Länge der Pfeile sind auch ein Maß für die Korrelation der betreffenden Variablen mit den Achsen. In der Abb. 8 ist beispielsweise der Kalkgehalt im Boden (= quantifi-

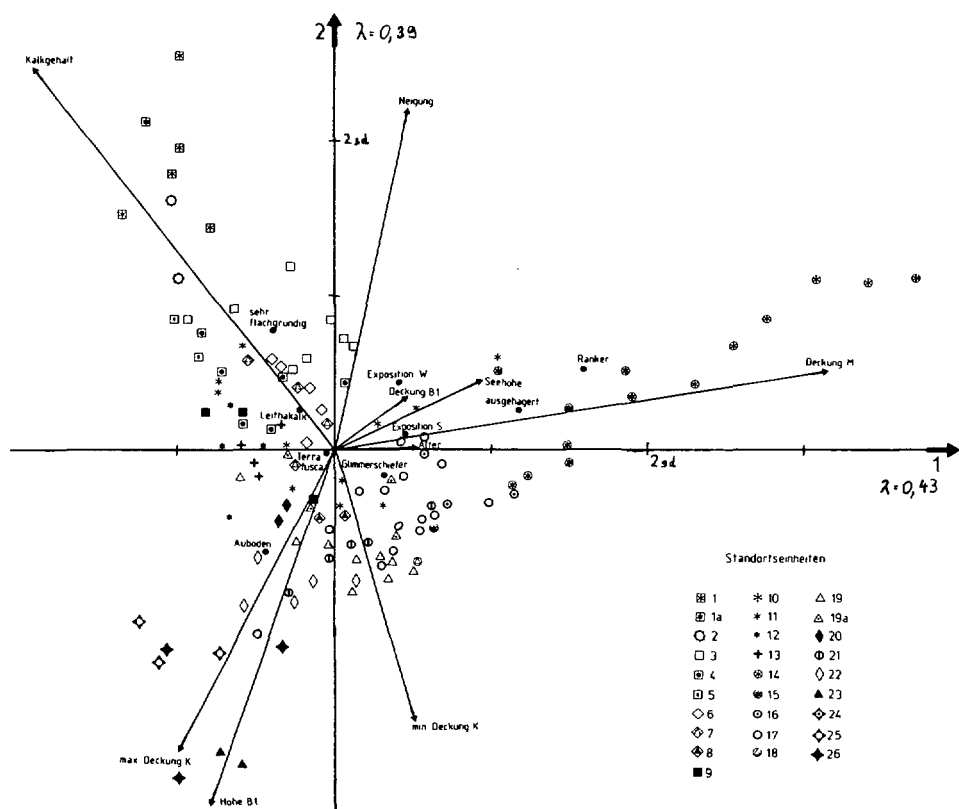


Abb. 8: Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge (ohne Aufn. 102), dargestellt in der Ebene der Achsen 1 und 2. Die Vegetationsaufnahmen sind mit den Symbolen der zugeordneten Standortseinheiten gekennzeichnet, wie sie in Tab. 1 verwendet werden. Weiters sind eingetragen quantitative (Pfeile) und qualitative (schwarze, volle Punkte) Variable.

zierte HCI-Probe) mit der 1. Achse deutlich negativ korreliert, zur 2. Achse besteht ein noch stärkerer, allerdings positiver Zusammenhang (vgl. die Korrelationskoeffizienten in Tab. 3). Das Merkmal "Alter des Bestandes" ist schwach positiv mit der 1. Achse korreliert und verhält sich zur 2. Achse +/- indifferent (Tab. 3). Die Pfeile zeigen, daß der Kalkgehalt die Standorte stärker differenziert als das Bestandesalter.

Sowohl bei der CA (Abb. 6) als auch bei der DCA (Abb. 8) kommen einige Aufnahmen der StE 19 außerhalb des Bereichs dieser Einheit zu liegen. Diese Ausreißer (Aufn. 30, 43, 95, 123) sind die als StE 19a ausgewiesene Variante (vgl. KARRER & KILIAN, 1990) auf sehr tiefgründigen Lößlehm bzw. Parabraunerden (nahe der Löß-Einheit Nr. 11), wo der Löß-Untergrund mit dem Bodenbohrer (ca. 1 Meter tief) nicht erreicht wurde. Bodenkundlich läßt sich der Anschluß solcher Bohrer-Stichproben an die StE 11 dort vollziehen, wo eine räumliche Nachbarschaft im Gelände vorliegt. Vegetationskundlich kann der Lößeinfluß meist durch Indikatorarten wie *Viola mirabilis* (vgl. KARRER & KILIAN, 1990) aufgezeigt werden. Im Sinne einer praxisnahen Kartierungsarbeit wurde dem Argument Rechnung getragen, daß die mächtige Lehmdecke für die Baumarten und deren Wasserversorgung die bedeutendste Rolle spielt; Flächen mit den Merkmalen von 19a wurden daher der StE 19 (i. w. S. "auf sehr tiefgründigem Braunlehm") zugeschlagen. Die

Tab. 3: Kanonische Korrelationskoeffizienten von Umweltvariablen mit den Achsen einer kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge (incl. Angabe der Korrelation der Achsen untereinander).

| Variable (bzw. Achse Nr.) | Achsen (SPEC AX Nr.) |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
|                           | 1                    | 2     | 3     | 4     |
| SPEC AX 1                 | 1.00                 |       |       |       |
| SPEC AX 2                 | 0.02                 | 1.00  |       |       |
| SPEC AX 3                 | 0.03                 | 0.02  | 1.00  |       |
| SPEC AX 4                 | -0.01                | -0.03 | -0.02 | 1.00  |
| ENVI AX 1                 | 0.96                 | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| ENVI AX 2                 | 0.00                 | 0.95  | 0.00  | 0.00  |
| ENVI AX 3                 | 0.00                 | 0.00  | 0.94  | 0.00  |
| ENVI AX 4                 | 0.00                 | 0.00  | 0.00  | 0.95  |
| Höhe Baumschicht 1        | -0.19                | -0.55 | 0.16  | 0.43  |
| Deckung B 1               | 0.11                 | 0.07  | -0.25 | -0.27 |
| Deckung B 2               | -0.09                | -0.06 | 0.23  | 0.24  |
| Deckung B 3               | 0.03                 | 0.05  | 0.31  | 0.52  |
| Deckung S                 | -0.30                | 0.31  | -0.38 | -0.16 |
| maximale Deckung K        | -0.23                | -0.46 | 0.02  | -0.17 |
| minimale Deckung K        | 0.12                 | -0.41 | -0.04 | -0.33 |
| Deckung M                 | 0.74                 | 0.11  | -0.33 | 0.24  |
| Mullmoder                 | 0.29                 | -0.13 | 0.18  | -0.29 |
| verhagert (humusarm)      | 0.71                 | 0.19  | -0.31 | 0.22  |
| Kalkgehalt (HCl-Probe)    | -0.44                | 0.57  | -0.03 | 0.12  |
| Seehöhe                   | 0.22                 | 0.08  | -0.04 | -0.20 |
| Exposition N              | -0.21                | -0.12 | -0.11 | 0.13  |
| Exposition NE             | -0.07                | -0.21 | 0.12  | -0.08 |
| Exposition E              | -0.08                | -0.18 | 0.08  | -0.03 |
| Exposition SE             | -0.11                | 0.20  | 0.02  | -0.16 |
| Exposition S              | 0.34                 | 0.07  | -0.08 | 0.07  |
| Exposition SW             | -0.10                | 0.17  | 0.00  | 0.04  |
| Exposition W              | 0.23                 | 0.30  | -0.21 | -0.08 |
| Neigung                   | 0.11                 | 0.50  | -0.13 | 0.22  |
| Alter                     | 0.12                 | -0.01 | -0.18 | 0.11  |
| Leithakalk                | -0.45                | 0.59  | 0.20  | 0.16  |
| Silikat, kolluvial        | -0.24                | -0.37 | -0.55 | 0.31  |
| Glimmerschiefer           | 0.59                 | -0.41 | 0.02  | -0.30 |
| Löss                      | -0.12                | 0.10  | 0.09  | 0.08  |
| Lösslehm                  | -0.05                | 0.00  | 0.16  | 0.01  |
| Braunlehm                 | -0.03                | -0.01 | 0.17  | -0.12 |
| Plateaulage               | -0.14                | 0.12  | 0.02  | 0.14  |
| Terra fusca               | -0.05                | 0.02  | 0.14  | -0.06 |
| Lössbraunerde             | -0.13                | 0.04  | 0.04  | 0.15  |
| Lössbraunerde, entkalkt   | 0.01                 | 0.02  | 0.17  | -0.03 |
| Braunerde                 | -0.10                | -0.01 | 0.10  | -0.06 |
| Ranker                    | 0.28                 | 0.10  | -0.19 | 0.08  |
| Auboden                   | -0.21                | -0.34 | -0.49 | 0.26  |
| Tschernosem               | -0.07                | 0.01  | 0.03  | -0.04 |
| sehr flachgründig         | -0.27                | 0.55  | -0.23 | -0.22 |
| flachgründig              | 0.04                 | 0.33  | 0.07  | 0.17  |
| mittelgründig             | 0.31                 | -0.07 | 0.17  | -0.14 |
| tiefgründig               | -0.13                | -0.33 | 0.11  | 0.10  |

Vegetationsaufnahmen des Typs 19a repräsentieren im pflanzensoziologischen System eine eigene "Variante von *Viola mirabilis*" des *Carici pilosae-Carpinetum typicum*.

Alle hier vorgestellten Ordinationsdiagramme basieren auf der Skalierung von HILL (1973), wonach die Aufnahmewerte die gewichteten Mittel der Artwerte ( $\alpha = 1$ ) darstellen. Eine Umkehr auf  $\alpha = 1$  (Artwerte = gewichtete Mittelwerte der Aufnahmen) oder auch  $\alpha = 0,5$  (symmetrische Skalierung) ergibt – wohl aufgrund der hohen Eigenwerte der Achsen – keine wesentliche Veränderung des Bildes. Wären die Eigenwerte niedriger, müßte man mit gravierend unterschiedlichen Ergebnissen rechnen (OKSANEN, 1987).

Die Lage der Arten im Ordinationsdiagramm kann auf demselben Weg wie bei den Aufnahmen in Bezug zu den Umweltvariablen interpretiert werden. In der Abb. 9 wurden einige wichtige und/oder häufige Arten neben den Umweltvariablen (aus der Abb. 8) eingetragen. Zeichnet man nun die Normalen auf die verlängerten Pfeile der quantitativen Variablen (ter BRAAK, 1986, 1987), dann entspricht die Lage dieser Projektionspunkte der Auftretswahrscheinlichkeit der betreffenden Art entlang des jeweiligen Gradienten. So treten beispielsweise *Iris variegata* oder *Quercus pubescens* (als Baum) immer an den Standorten mit hohen Karbonatwerten auf (also nahe

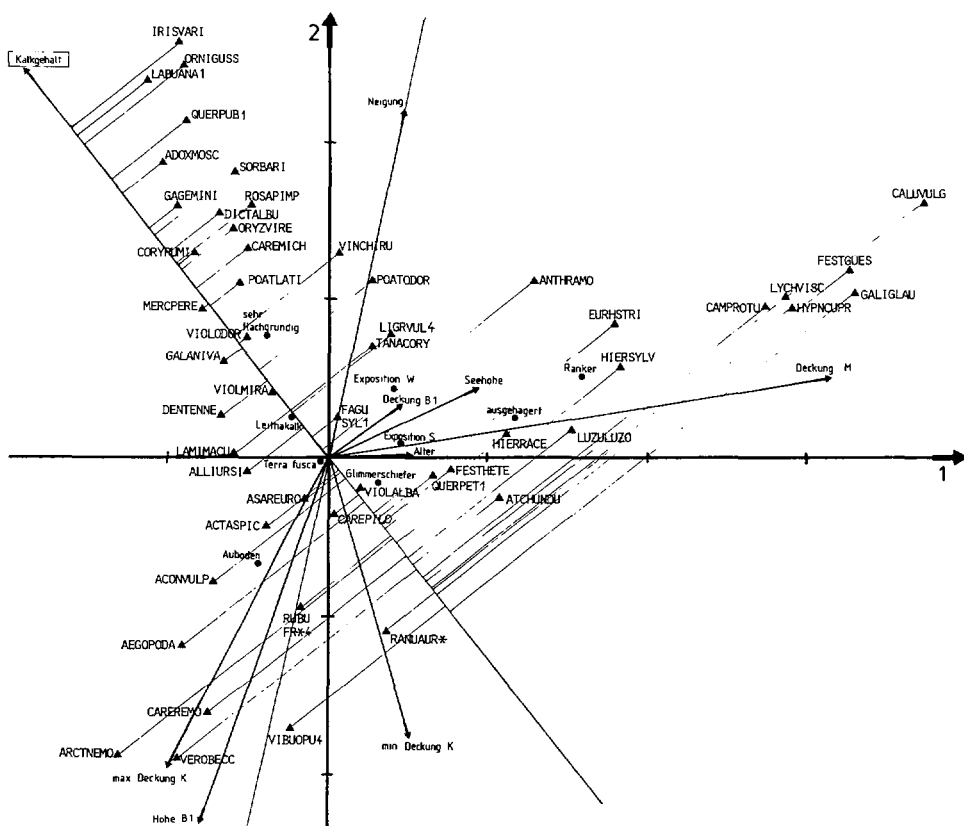


Abb. 9: Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge (ohne Aufn. 102). Eine Auswahl von quantitativen (Pfeile) und qualitativen (schwarze, volle Punkte) Umweltvariablen sind ebenfalls eingezeichnet. Weiters sind einige wichtige Arten eingetragen (Dreiecke); ihre Verteilung in der Ebene der Achsen 1 und 2 der CCA wird in Beziehung zur quantitativen Umweltvariablen "Kalkgehalt" im Boden (= quantifizierte HCl-Probe) gesetzt.

der Pfeilspitze), während Arten wie *Lamium maculatum* oder *Fagus sylvatica* (als Baum) vom Kalkgehalt +/– unabhängig sind (ihre Projektionspunkte scharen sich um den Ursprungspunkt). *Festuca guestphalica* oder *Calluna vulgaris* verhalten sich deutlich "kalkmeidend", d.h. ihre Projektionspunkte liegen im negativen Bereich der "Kalk-Achse". Die Grund- und Oberflächenwasser-nahen Arten wie *Veronica beccabunga*, *Carex remota*, *Viburnum opulus* etc. liegen zwar ebenfalls auf der kalkabgewandten Seite, sind aber nicht kalkmeidend! Hier versteckt sich eine 3. Dimension, die im 2-dimensionalen Ordinationsdiagramm zu Verzerrungen führt. Daher ist bei der Interpretation von CCA-Diagrammen nach dem Vorschlag von ter BRAAK (1985, 1986) durchaus Vorsicht geboten.

## 5. Zusammenfassung:

Bei der herkömmlichen Standortsgliederung erwiesen sich – abgesehen von der basalen floristischen Differenzierung – mehrere Standortparameter als annähernd gleichbedeutend: Ausgangsmaterial der Bodenentwicklung (Substrattypen), Bodentypen, Relief, Hangneigung, Exposition, Wasserhaushalt, Trophie (incl. Humuszustand). Für die EDV-mäßige Bearbeitung wurden die Standortparameter (quantitative wie auch qualitative Variable) zwar z. T. anders erfaßt, das Ergebnis der EDV-Auswertung läßt allerdings eine Interpretation zu, die durchaus das herkömmliche Gliederungsprinzip bestätigt.

TWINSPAN gliedert nach dem gewichtigsten Gradienten mit der maximalen Dispersion der Aufnahmen. Da diese Auftrennung nur in einer Dimension erfolgt, ergaben sich einige mißklassifizierte Gruppen. Daher ist es zweckmäßig, sowohl für eine standortkundliche als auch für eine pflanzensoziologische Auswertung (vgl. z.B. ZUKRIGL, 1989) eine TWINSPAN-Klassifikation durchzuführen, um auf schnellerem Wege als bisher die wesentlichen Gruppen zu erkennen. Man sollte es allerdings nicht bei diesem "objektiven" Ergebnis belassen und eine Art "Feinputz" der ausgegebenen Tabelle vornehmen, um Mißklassifikationen zu bereinigen bzw. korrekt zu interpretieren. Die Ergebnisse lassen sich durch das Ausscheiden von offensichtlichen Ausreißern verbessern.

Jede TWINSPAN-Tabelle sollte zusammen mit einer Korrespondenzanalyse (CA, DCA nach HILL, 1979a) interpretiert werden. Diese Ordinationen erlauben die zweidimensionale Darstellung von Arten und Aufnahmen auf 4 Achsen (Dimensionen) und vermögen Gruppen zu trennen, die unter TWINSPAN einheitlich erscheinen. TWINSPAN eignet sich gut für Datensätze mit nur einem, womöglich linearen Gradienten.

Der Nutzen der CA liegt vor allem in der Möglichkeit der Durchleuchtung des Datensatzes zum Erkennen von Ausreißern, Zentren, Gradientenlängen, Homogenität des Datensatzes, etc. Derartige Homotonie-Tests (vgl. auch TÜXEN, 1970; MUCINA & van der MAAREL, 1989; WESTHOFF & van der MAAREL, 1973; NEUHÄUSL, 1977) sind sehr instruktiv und in anderen Programmpaketen wie TABORD (agglomerative clustering, van der MAAREL et al., 1978) oder beim MULVA-Paket (ORLOCI & WILDI, 1983) berücksichtigt. OKSANEN (1983, 1987) nennt diese Anwendung "explanatory correspondence analysis".

Die Nachteile der CA (Hufeisen-Effekt, Stauchung der Achsenenden) werden bei Anwendung der DCA deutlich vermindert; allerdings gilt die Einschränkung, daß die Interpretation unter Berücksichtigung der Einwände von PIELOU (1984) und MINCHIN (1987) mit Vorsicht erfolgen soll.

Mit Hilfe der CCA konnten die Interpretationsansätze zu den Ordinationen von CA und DCA bestätigt bzw. stärker konturiert werden. Die Verwandtschaft von Aufnahmen bzw. Standortseinheiten kann graphisch gut und klar dargestellt werden. Man kann bei einer großen Übereinstimmung der Ergebnisse von CA und CCA annehmen, daß die für die Diversität des Untersuchungsgebietes relevanten Faktoren erkannt und erfaßt wurden.



Die gemeinsame Darstellung von Vegetationsaufnahmen und Umweltvariablen, von Arten und Umweltvariablen, oder von allen zusammen, ermöglicht eine schnelle graphische Aufbereitung der Standortgliederung und der dahinter stehenden ökologischen Parameter. Die wahre Bedeutung eines Parameters kommt klar hervor und bringt manchmal auch Überraschungen, wie z.B. die geringe Bedeutung des Bestandesalters für die (floristische) Diversität des Datensatzes.

Für den praktischen Ablauf einer floristischen Standortserkundung und -gliederung erweist sich der Einsatz der besprochenen EDV-Software als sinnvoll, vielleicht nicht an so sehr im Sinne einer Zeitersparnis, als vielmehr zum effizienten Aufdecken und verdeutlichen von Zusammenhängen in der Natur.

D a n k : Für die wesentliche Mitarbeit bei der Vernetzung der Programme und wertvolle Diskussionsbeiträge möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Michael Englisch herzlich danken. Für die Durchsicht des Manuskripts bin ich Univ.-Prof. Dr. Kurt Zukrigl und Dr. Robert Jandl zu Dank verpflichtet.

## 6. Literatur:

- BRAUN-BLANQUET, J. (1932): Zur Kenntnis nordschweizerischer Waldgesellschaften. — *Beih. Bot. Cbl.*, **49**: 7 - 42.
- CARLETON, T.J. (1984): Residual ordination analysis: a method for exploring vegetation-environment relationship. — *Ecology*, **65**: 469 - 477.
- CARLETON, T.J., R.K. JONES & G. PIERPOINT (1985): The prediction of understory vegetation by environmental factors for the purpose of site classification in forestry: an example from northern Ontario using residual ordination analysis. — *Can. J. For. Res.*, **15**: 1099 - 1108.
- EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas (2. Aufl.). — Springer Stuttgart: 318 pp.
- ELLENBERG, H. (1956): Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. — In: H. WALTER (Hrsg.) Einführung in die Phytologie IV., **1**: 136 pp.
- (1979): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. — *Scripta Geobot.*, **9**: 121 pp.
- FRAHM, J.-P. & W. FREY (1983): Moosflora. — Ulmer, Stuttgart: 522 pp.
- FRANZ, H. (1957): Zur Kenntnis der jungtertiären Ablagerungen und Böden im Leithagebirge und im Raume von Retz. — *Verh. Geol. Bundesanst.*, **2**: 146 - 196.
- GREENACRE, H.J. (1984): Theory and Application of Correspondence Analysis. — Academic Press, London: 364 pp.
- HILL, M.O. (1973): Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. — *J. Ecol.*, **61**: 237 - 249.
- (1979a): DECORANA, a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. — Section of Ecology and Systematics, Cornell Univ., Ithaca, N.Y.: 54 pp.
- (1979): TWINSPLAN, a FORTRAN program for two-way indicator species analysis. — Section of Ecology and Systematics, Cornell Univ., Ithaca, N.Y.: 90 pp.
- HILL, M.O. & H.G. GAUCH (1980): Detrended Correspondence Analysis: an improved ordination technique. — *Vegetatio*, **42**: 47 - 58.
- HIX, D.M. (1988): Multifactor classification and analysis of upland hardwood forest ecosystems of the Kickapoo River watershed, southwestern Wisconsin. — *Can. J. For. Res.*, **18**: 1405 - 1415.
- HÜBL, E. (1959): Die Wälder des Leithagebirges. Eine vegetationskundliche Studie. — *Verh. Zool. Bot. Ges. Wien*, **98/99**: 96 - 167.
- JAKUCS, P. (1961): Die phytozöologischen Verhältnisse der Flaumeichen-Buschwälder Südostmitteleuropas. — *Akademiai Kiado, Budapest*: 314 pp.
- JELEM, H. (1960): Grundsätze und Anweisungen für die forstliche Standortserkundung und -Kartierung. — *Mitt. Inst. Standort Forstl. Bundesversuchsanst. Wien*, **1**: 21 pp.
- JONGMAN, R.G.J., C.J.F. ter BRAAK & O.F.R. van TONGEREN (1987): Data analysis in community and landscape ecology. — Pudoc, Wageningen: 299 pp.
- KARRER, G. & M. ENGLISCH (1992, in Vorb.): FOREC — ein forstökologisches Auswertungssystem für vegetationskundliche und bodenkundliche Daten.
- KARRER, G. & W. KILIAN (1990): Standorte und Waldgesellschaften im Leithagebirge, Revier Sommerein. — *Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien*, **165**: 1 - 244.
- KILIAN, W. (1984): Site classification and mapping. Principles and trends. — In: GREY, D.C. et al. (eds.): Proceedings of the IUFRO-Symposium on Site and Productivity of fast Growing Plantations, Pretoria: 19 pp.

- KNAPP, R. (1942): Zur Systematik der Wälder und Zwergstrauchheiden und Trockenrasen des eurosibirischen Vegetationskreises I - II. — Arb.Zentralst. f. Veg.Kart. d. Reiches, Beil. z. 12. Rundbr., vervielf. Manuskri.: 81 pp.
- KOCH, W. (1926): Die Vegetationseinheiten der Linthebene unter Berücksichtigung der Verhältnisse der Nordwestschweiz. — Jahrb. St. Gall. Naturwiss. Ges., **61**: 1 - 144.
- MARGL, H. (1971): Die direkte Sonnenstrahlung als standortsdifferenzierender Faktor im Bergland. — Forstl. Bundesversuchsanst. Wien, Informationsdienst, **132**: 5 pp.
- MAYER, H. (1974): Wälder des Ostalpenraumes. — Fischer, Stuttgart: 344 pp.
- MINCHIN, P. (1987): An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. — Vegetatio, **69**: 89 - 107.
- MUCINA, L. & E. van der MAAREL (1989): Twenty years of numerical syntaxonomy. — Vegetatio, **81**: 1 - 15.
- NEUHÄUSL, R. (1977): Delimitation and ranking of floristic-sociological units on the basis of releve similarity. — Vegetatio, **35**: 115 - 122.
- NEUHÄUSL, R. & Z. NEUHÄUSLOVA-NOVOTNA (1964): Vegetationsverhältnisse am Südrande des Schemnitzer Gebirges. — Biol. Pr. SAV, Bratislava, **10/4**: 1 - 77.
- (1968): Mesophile Waldgesellschaften in Südmähren. — Rozpr. Cesk. Akad. Ved Rad. Mat. Prir. Ved, **78**(11): 83 pp.
- NEUHÄUSLOVA-NOVOTNA, Z. (1964): Zur Charakteristik der *Carpinion*-Gesellschaften in der Tschechoslowakei. — Preslia, **36**: 38 - 54.
- OKSANEN, J. (1983): Ordination of boreal heath-like vegetation with principal component analysis, correspondence analysis and multidimensional scaling. — Vegetatio, **52**: 181 - 189.
- (1987): Problems of joint display of species and site scores in correspondence analysis. — Vegetatio, **72**: 51 - 57.
- (1988): Impact of habitat, substrate and microsite classes on the epiphyte vegetation: Interpretation using explanatory and canonical correspondence analysis. — Ann. Bot. Fennici, **25**: 59 - 71.
- ORLOCI, L. & O. WILDI (1983): Management and Multivariate Analysis of Vegetation Data. — Ber. Eidgen. Anst. Forstl. Versuchswesen, **215**: 139 pp.
- PIELOU, E.C. (1984): The interpretation of ecological data. — Wiley, N.Y.: 263 pp.
- PODANI, J. (1984): SYN-TAX II. Computer programs for data analysis in ecology and systematics. — Abstracta Botanica, **8**: 73 - 94.
- (1987): Computerized sampling in vegetation studies. — Coenoses, **2**: 9 - 18.
- POELT, J. (1966): Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. — Cramer, Lehre: 757 pp.
- POELT, J. & A. VEŽDA (1977 + 1981): Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. — Ergänzungsheft I (+II). — Cramer, Lehre: 258 + 390 pp.
- STANEK, W., J.M. BOWLES & L. ORLOCI (1986): Classification of forest ecosystems along the Alaska highway, Yukon territory. — In: Forest Classification Methods (Proceedings IUFRO Workshop Party, Oct. 1985, Fredericton, New Brunswick, Canada): 143 - 154.
- SWAINE, M.D. & B. HALL (1976): An application of ordination to the identification of forest types. — Vegetatio, **32**: 83 - 86.
- ter BRAAK, C.J.F. (1985): Correspondence analysis of incidence and abundance data: Properties in terms of an unimodal response model. — Biometrics, **41**: 859 - 873.
- (1986): Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. — Ecology, **67**: 1167 - 1179.
- (1987): CANOCO — a FORTRAN program for canonical community ordination by partial, detrended, canonical correspondence analysis, principal component analysis and redundancy analysis. — TNO, Wageningen: 95 pp.
- TÜXEN, R. (1970): Einige Bestandes- und Typenmerkmale in der Struktur der Pflanzengesellschaften. — In: TÜXEN, R. (ed.): Gesellschaftsmorphologie (Strukturforschung): 76 - 107. — Junk, Den Haag.
- Van der MAAREL, E., J.G.M. JANSSEN & J.M.W. LOUPPEN (1978): TABORD, a program for structuring phytosociological tables. — Vegetatio, **38**: 143 - 156.
- Van GROENEWOUD, H. (1965): Ordination and classification of Swiss and Canadian coniferous forests by various biometric and other methods. — Ber. Geobot. Inst. ETH, Stifg. Rübel, Zürich, **36**: 25 - 103.
- WENDELBERGER, G. (1955): Die Restwälder der Parndorfer Platte im Nordburgenland. — Burgenländ. Forsch., **29**: 175 pp.
- WESTHOFF, V. & E. van der MAAREL (1973): The Braun-Blanquet approach. — In: WHITTAKER, R.H. (ed.): Ordination and Classification of Communities: 617 - 726. — Junk, Den Haag.
- ZUKRIGL, K. (1989): Die montanen Buchenwälder der Nordabdachung der Karawanken und Karnischen Alpen. — Naturschutz i. Kärnten, **9**: 116 pp.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [79](#)

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

Artikel/Article: [Über den Einsatz multivarianter Analyseverfahren der Vegetationsökologie zur Ausscheidung forstlicher Standortseinheiten. 1. Teil: Klassifikation und Ordination von Wäldern im Leithagebirge 85-102](#)