

# 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 Standortskunde, 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 Standortgliederung. 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 arbeitserspeichernden 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.

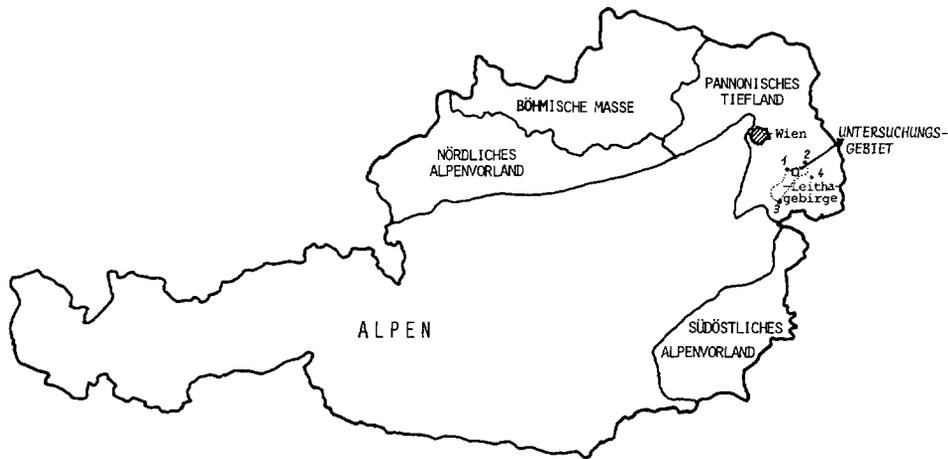


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes. Die Nummern 1 bis 4 bezeichnen die Lage der in Abb. 2 genannten Klimastationen.

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.

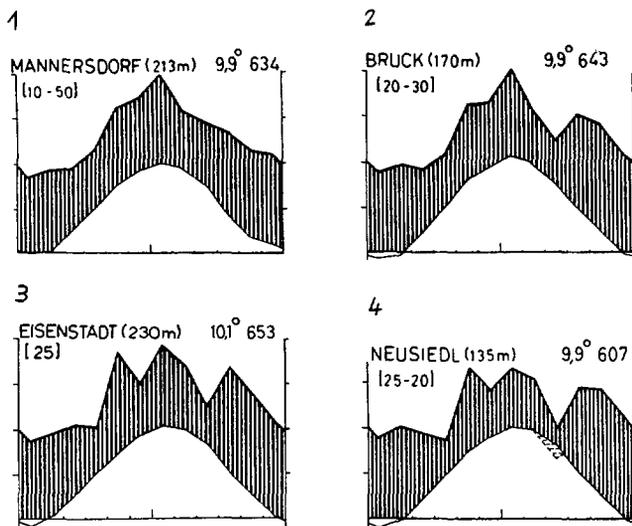


Abb. 2: Klimadiagramme von rund um das Leithagebirge gelegenen Stationen (in der Abb. 1 mit Nr. 1 bis 4 eingezeichnet).

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 & KILLAN, 1990).

Geologisch repräsentiert das Leithagebirge einen zentralalpinen Teil der alpinen Gebirgskette, welcher aus den Sedimenten des Tertiärmeeres herausragt. Im Revier Sommerein 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, Rendsinen, 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-Tilietum*, *Ficario-Ulmetum minoris*, *Quercetum petraeae-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.	FÖRSTLICHE STANDORTSEINHEIT	PFLANZENSOZIOLOGISCHE EINHEIT	ÖKOLOG. MERKMALE
<b>GRUPPE 1: Standorte auf Kalk (Leithakalk)</b>			
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 & KILLIAN 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 & KILLIAN 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 & KILLIAN 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 & KILLIAN 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 & KILLIAN 90 Var. von Hedera helix (KARRER & KILLIAN 90)	frisch, meist entkalkt
<b>GRUPPE 2: Standorte auf kalkhältigen Lockersedimenten (Löß etc.)</b>			
10	* Sommerlinden-Feldulmen-Traubeneichen-Hainbuchen-Wald auf tiefgründiger kalkhältiger Lockersediment-Braunerde	Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii Var. von Lamiastrium (KARRER & KILLIAN 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 & KILLIAN 90 Var. von Aconitum vulparia (KARRER & KILLIAN 90)	Mull, frisch, kalkhältig
13	+ Stieleichen-Traubeneichen-(Linden-Hainbuchen-)Wald auf Tschernosem	Primulae veris-Carpinetum brometosum benekenii Var. von Quercus robur (KARRER & KILLIAN 90)	Mull, mäßig frisch teilweise entkalkt

NR.	SIGN.	FÖRSTLICHE STANDORTSEINHEIT	PFLANZENSOZIOLOGISCHE EINHEIT	ÖKOLOG. MERKMALE
<b>GRUPPE 3: Standorte auf kalkfreiem Silikat (Festgestein und Lockersedimente)</b>				
14	⊗	Bodensaurer Traubeneichenwald auf exponierten Rücken und Steilhängen mit Ranker und flachgründiger Felsbraunerde	Quercetum petraeae-cerris (ZOLYOMI 50) SOO 57 festucetosum guss-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	wechselfrisch
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)	Modernull, 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 Schwarz-erlenwald 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 Matrize 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 mesotraphenten Standorten, die Gruppe "1" aus 33 Aufnahmen oligotraphenter Standorte. Die 1. Achse der CA korrespondiert mit einem komplexen Trophiegradienten (Korrelationskoeffizient der Stickstoffversorgung: 0,76), der von einem Feuchtegradienten (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).

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

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 standortfremden 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 Standortseinheiten bieten sich diese Methoden geradezu an. Trotzdem ist aus Mitteleuropa kaum ein Beispiel (eventuell van GROENEWOUD, 1965) für die Anwendung im Bereich der forstlichen Standortgliederung 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 sich 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.

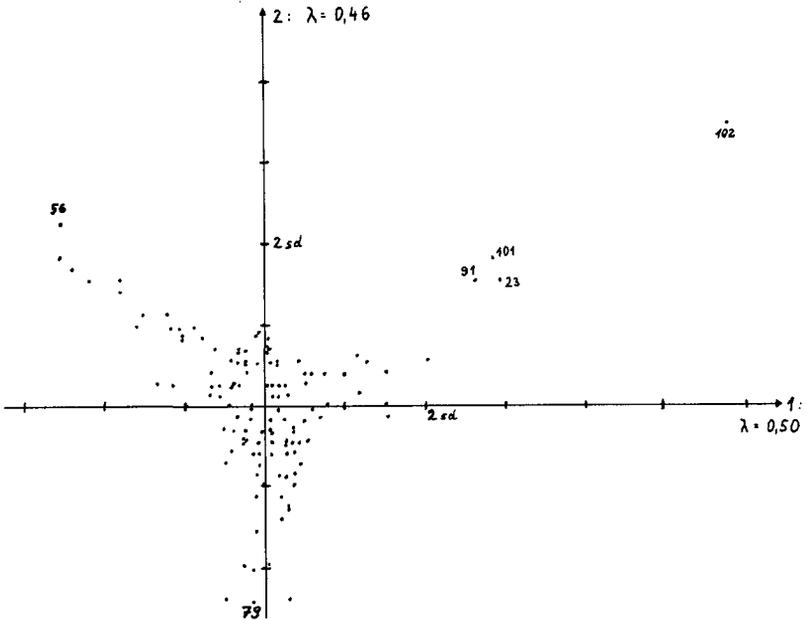


Abb. 4: Korrespondenzanalyse (CA) von 125 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge, dargestellt als Punkte in der Ebene der Achsen 1 und 2. Einige wichtige Aufnahmen sind durch ihre Nummern gekennzeichnet.

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

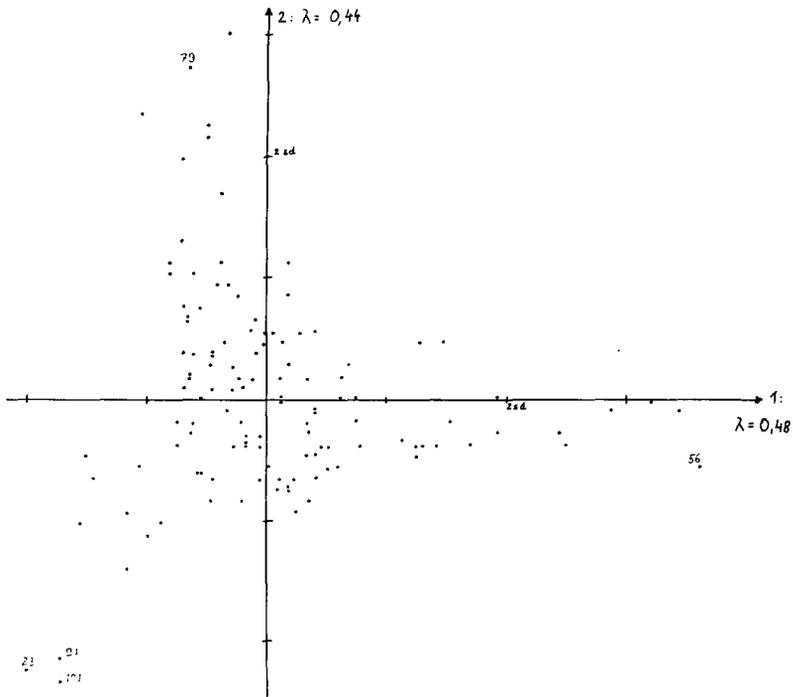


Abb. 5b

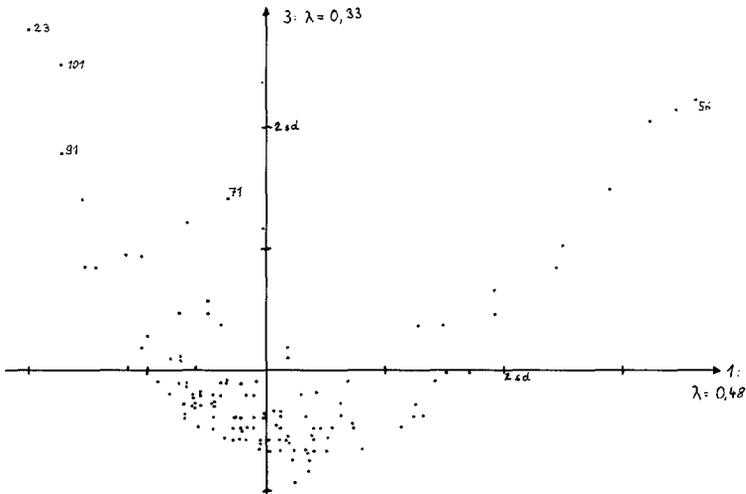


Abb. 5: Korrespondenzanalyse (CA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge (Aufnahme 102 ist hier eliminiert), dargestellt als Punkte in der Ebene der Achsen 1 und 2 (a) sowie der Achsen 1 und 3 (b).

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.



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 & KILIAN (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 & KILIAN, 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 vektoriiellen 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 Mooschicht	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

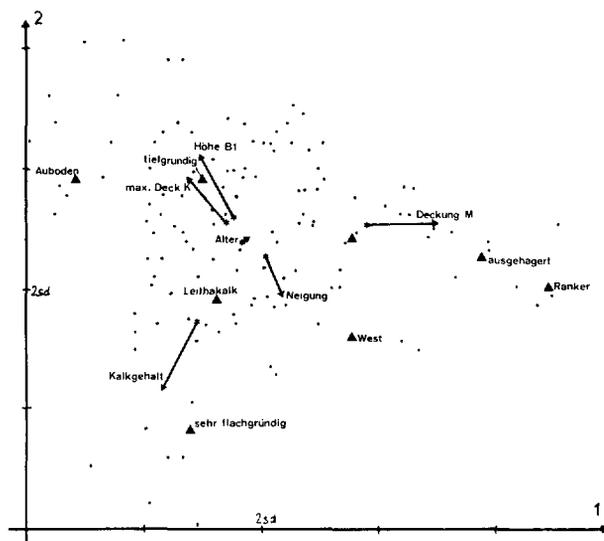


Abb. 7: "Entzerrte" Korrespondenzanalyse (DCA) wie in Abb. 6 (Achsen 1 und 2). Die Vegetationsaufnahmen sind als Punkte eingetragen, einige Umweltvariablen sind ebenfalls berücksichtigt (schwarzes, volles Dreieck: qualitative Variable; Stern mit Pfeil: quantitative Variable).

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 (= quanti-

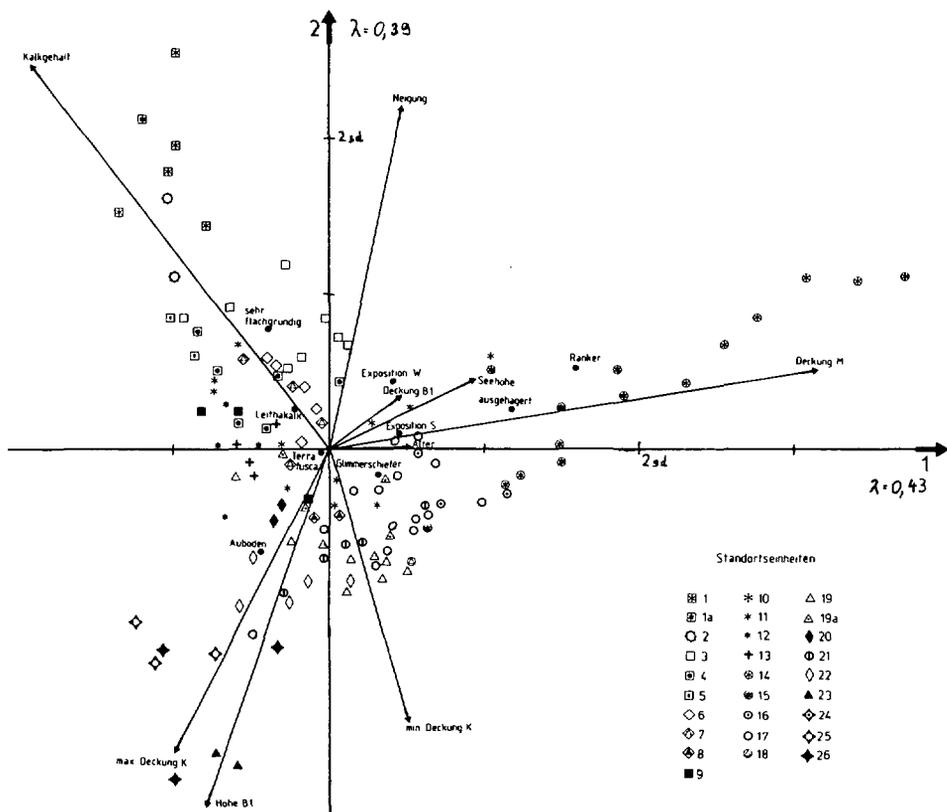


Abb. 8: Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) von 124 Vegetationsaufnahmen aus dem Leithagebirge (ohne Aufn. 102), dargestellt in der Ebene der Achsen 1 und 2. Die Vegetationsaufnahmen sind mit den Symbolen der zugeordneten Standorteinheiten gekennzeichnet, wie sie in Tab. 1 verwendet werden. Weiters sind eingetragene 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 Lößlehmen 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 Indikatorenarten 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



der Pfeilspitze), während Arten wie *Lamium maculatum* oder *Fagus sylvatica* (als Baum) vom Kalkgehalt +/– unabhängig sind (ihre Projektionspunkte scharen sich um den Ursprungspunkt). *Festuca guesphalica* 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 Standortgliederung 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 wichtigsten 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 Bestandalters 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): TWINSPAN, 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. Manuskrr.: 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, Stifgt. 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](#)