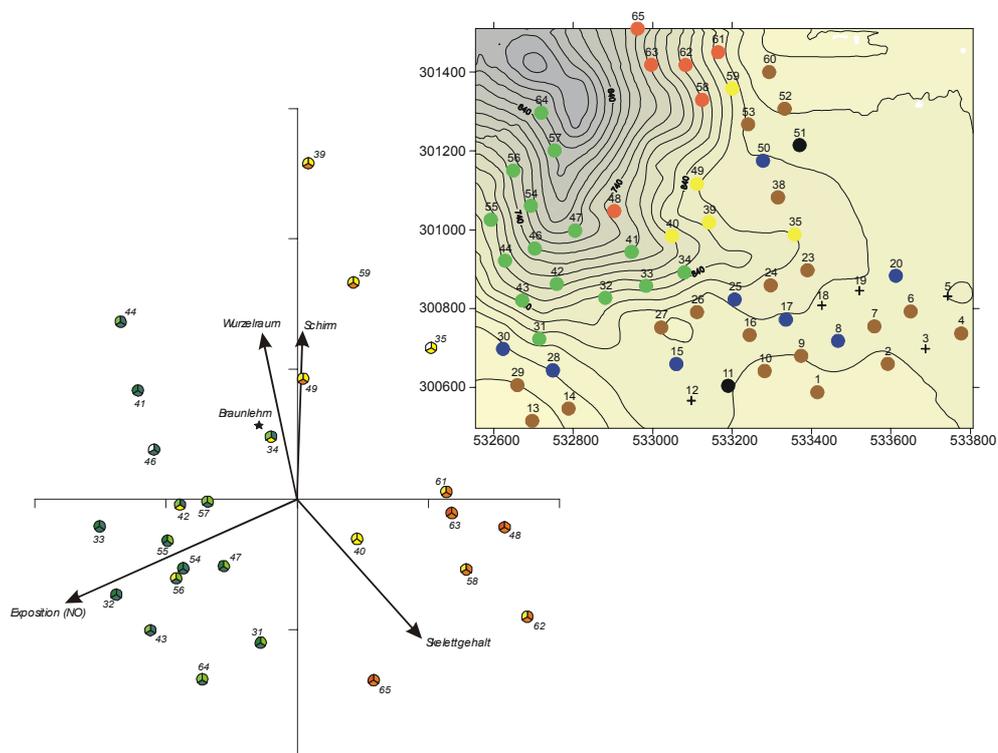


Kombinierte Auswertung von standorts- und vegetationskundlichen Daten an den Grundrasterpunkten des Integrated Monitoring Standortes Zöbelboden



Kombinierte Auswertung von standorts-
und vegetationskundlichen Daten an den
Grundrasterpunkten des Integrated
Monitoring Standortes Zöbelboden

von

Helmut Schume

Projektleitung: Michael Mirtl

Editorische Bearbeitung: Thomas Dirnböck

Redaktion: Michael Mirtl, Thomas Dirnböck

Autor: Helmut Schume

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer
Lände 5

Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt, Wien, 1998

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-666-8



Wesen und Ziele des Integrated Monitoring

Unter der Schirmherrschaft der Europäischen Wirtschaftskommission (UN-ECE) arbeiten 31 Staaten in der Genfer Luftreinhaltekonvention an der Verminderung der grenzüberschreitenden Luftverschmutzung in Europa. Eines der internationalen Programme im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention ist das Programm zur „Umfassenden Beobachtung der Wirkung von Luftverschmutzung auf Ökosysteme“, kurz „Integrated Monitoring“.

Das Integrated Monitoring dient der Untersuchung der langfristigen ökosystemaren Wirkung jener Luftverschmutzung, die nicht aus lokalen Quellen, sondern aus dem großräumigen Hintergrund an Schadstoffen herrührt.

Die Langzeit-Umweltbeobachtungsgebiete des Integrated Monitoring repräsentieren wichtige Naturräume des jeweiligen Staates. Die Projektgebiete von ca. 1 km² Größe sind gut abgrenzbare Kleinökosysteme und bilden ein europaweites Netzwerk. Mit standardisierten Methoden werden

- die Stoffeinträge (Schad- und Nährstoffe) durch Luft und Niederschläge gemessen,
- die Wirkungen auf das Ökosystem und das Verhalten dieser Stoffe im Ökosystem umfassend festgestellt
- die langfristige Entwicklung der Ökosystem-Segmente untersucht und
- die Austräge durch Oberflächenwässer und ins Grundwasser erhoben.

Wegen der Komplexität und kleinräumigen Variabilität der meisten Ökosysteme sind zu diesem Zweck eine Vielzahl von Untersuchungen mit sehr spezifischem räumlichen und zeitlichen Design durchzuführen.

Vom Integrated Monitoring und seinen langfristigen Ergebnissen ist zu erwarten:

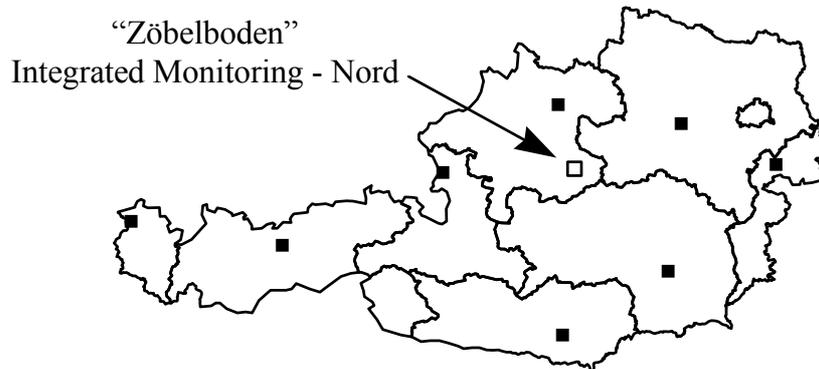
- das Erkennen von Ursachen-Wirkungs-Beziehungen in Ökosystemen in Hintergrundgebieten
- Beiträge zur Ableitung von tolerierbaren Konzentrationen und Frachten von Luftschadstoffen (wirkungsbezogenen Grenzwerten) unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit in Hintergrundgebieten
- zusätzliche Daten zur Überprüfung der ausreichenden Wirksamkeit von Abkommen zur Reduktion von Schadstoffbelastungen durch weiträumige Verfrachtung
- und Beiträge zur Überprüfung der Ergebnisse europaweiter Modelle der Luftqualität und der Belastbarkeit von Gebieten mit Luftverschmutzung

Integrated Monitoring in Österreich

Das Umweltbundesamt ist mit der Verwirklichung des Integrated Monitoring in Österreich betraut. Österreich hat besonderes Interesse an der Teilnahme an dem UN-ECE-Programm, weil es u.a. durch den Stau effekt der Alpen sehr hohen Schadstoffeinträgen aus dem Ausland ausgesetzt ist. Zwischen 1992 und 1995 erfolgten im Reichraminger Hintergebirge am „Zöbelboden“ die

Einrichtungsarbeiten und Grundinventuren für den ersten österreichischen Wald-Standort zur umfassenden Langzeit-Kontrolle.

In der folgenden Abbildung ist die Lage des Integrated Monitoring Standortes Zöbelboden in Österreich ersichtlich.



Die wichtigsten Kriterien zur Auswahl des Zöbelboden waren:

- Ausreichende Entfernung zu lokalen Quellen von Luftverschmutzung („Hintergrund-Waldstandort“)
- Lage in den Nördlichen Kalkalpen (Ursprungsgebiet eines wesentlichen Teiles der Trinkwasserreserven Österreichs, im österreichweiten Vergleich schlechter Waldzustand)
- Vorhandensein typischer Wälder für diesen Naturraum (steile Schutzwälder mit naturnahem Buchenmischwald und Wirtschaftswaldbereich mit dominierender Fichte auf einem Hochplateau)

Die Kombination von Standorts- und Vegetationskunde im Kontext des Integrated Monitoring

Die Vegetation dient als rasch reagierender und augenfälliger Indikator mittel- und längerfristiger ökosystemarer Veränderungen. Um einerseits die komplexen Zusammenhänge zwischen physikalischen und chemischen Standortfaktoren mit der Vegetation kausal begründen zu können und andererseits auch ein Bild der natürlichen räumlichen Variabilität all dieser Faktoren zu erhalten, sind multifaktorielle statistische Erklärungsmodelle nötig. Ein weiteres Ziel einer solchen Arbeit ist die Herausarbeitung funktioneller ökologischer Gruppen von Pflanzenarten, die ein „up-scaling“, also ein Umlegen der an einer geringen Anzahl von Punkten erhobenen Standortseigenschaften auf die Fläche erlauben. Dieses Wissen erlaubt in weiterer Folge die Ableitung flächiger Aussagen der Schadstoffbelastung und ihrer Wirkung im Ökosystem. Vorprojekte zu dieser Auswertung waren die „Wissenschaftliche Bearbeitung der Bodenuntersuchungen“ (Gratzer, 1996) und die „Vegetationskundliche Charakterisierung des Integrated Monitoring Standortes Zöbelboden“ (Pichler, 1996).



Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung

1 Einleitung.....	1
2 Kurzbeschreibung Der Angewandten Statistischen Methoden.....	5
2.1 Die Clusteranalyse.....	5
2.2 Die Diskriminanzanalyse.....	5
2.3 Die Korrespondenzanalyse und ihre kanonische Form.....	7
3 Ergebnisse – Plateaustandorte.....	11
3.1 Clusteranalyse.....	11
3.2 Diskriminanzanalysen.....	13
3.3 Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA).....	19
3.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	23
4 Ergebnisse – Hangstandorte.....	25
4.1 Clusteranalyse.....	25
4.2 Diskriminanzanalysen.....	26
4.3 Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA).....	32
4.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	36
5 Literatur.....	38

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden vorwiegend mittels multivariater statistischer Verfahren diagnostische Standorts- und Bodenmerkmale sowie für das Pflanzenwachstum bedeutsame Bodenparameter mit vegetationskundlichen Daten von den 64 Rasterpunkten des Integrated Monitoring Standortes Zöbelboden verknüpft. Ein Ziel der Arbeit ist die Herausarbeitung funktioneller ökologischer Artengruppen, die eine Umlegung der an einer geringen Anzahl von Probepunkten gemessenen Bodenparameter auf ein dichteres Rasternetz bzw. auf die Fläche erlauben. Ein weiteres Ziel ist die Erklärung komplexer Zusammenhänge zwischen physikalischen und chemischen Standortfaktoren mit der Vegetation, da diese als sehr sensibler Indikator mittel- und längerfristige ökosystemare Veränderungen rasch und augenfällig anzeigt. Ein Teil der Arbeit umfasst Cluster- und Diskriminanzanalysen der standorts- und bodenkundlichen Parameter. Dabei wurde eine gegenüber den bodenkundlichen Auswertungen veränderte Gliederung verwendet. In den bodenkundlichen Auswertungen war das physikochemische Filtervermögen der Böden ein wesentliches Gruppierungsmerkmal. Für die Vegetation stellen darüber hinaus Licht- und Wärmehaushalt der Standorte, welche durch stabile Standortfaktoren umschrieben werden, wichtige Einflussgrößen dar. Hierin kommt zum Ausdruck, dass eine Vegetationsaufnahme bodenkundliche Charakteristika in sich inhomogener 100 m²-Flächen integriert, während dieser Mosaikcharakter von Standorten in den Bodenbohrkernen (7 cm Durchmesser) nicht zum Ausdruck kommt. Die 33 Flächen des Plateaus, welche für die Auswertung herangezogen werden konnten, gliedern sich nach den Standorts- und Bodenmerkmalen grob in 3 Cluster, die sich hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung differenzieren lassen. Dabei zeigen der Boden-pH-Wert und die Feuchtezahlen der Vegetation die stärksten Gradienten. Die Vegetation spiegelt natürlich auch den Einfluss der sekundären Fichtenwaldgesellschaften (Moose und Farne als stetige Nadelwaldbegleiter) wider, die im Zuge der forstlichen Nutzung der Standorte begründet wurden. Am Hang kommt neben der Bodengründigkeit vor allem dem durch den Expositionswechsel bedingten Gradienten der thermischen Situation diskriminatorische Bedeutung zu. Die 26 Hangpunkte wurden in 4 Gruppen gegliedert, von denen die beiden schattseitigen Gruppen in weiterer Folge fusioniert wurden. In einer kanonischen Korrespondenzanalyse zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen standorts- und bodenkundlichen Parametern mit der Vegetation. Aus den vegetationskundlichen Daten wurde eine Liste von Arten erstellt, die eine gute Differenzierung zwischen den Standorten erlauben.

Die Bodenvegetation dient als Indikator von ökosystemaren Änderungen. Daher stellt die vertiefte Kenntnis der Zusammenhänge zwischen physikalischen und chemischen Standortfaktoren sowie der Waldnutzung und der Artenzusammensetzung der Bodenvegetation eine Basisinformation für die Beurteilung der Wirkung laufend beobachteter Umweltfaktoren (Schadstoffeinträge und Klima) auf das Ökosystem dar. Ohne diese Information ist eine Trennung der Wirkung der Einzelfaktoren nicht möglich. Darüber hinaus wurden Möglichkeiten



geschaffen, flächige Aussagen zu Ökosystemprozessen für das gesamte Projektgebiet und die weitere Umgebung zu gewährleisten.

Kombinierte Auswertung von standorts- und vegetationskundlichen Daten an den 64 Rasterpunkten des IM-Netzes am Zöbelboden

1 Einleitung

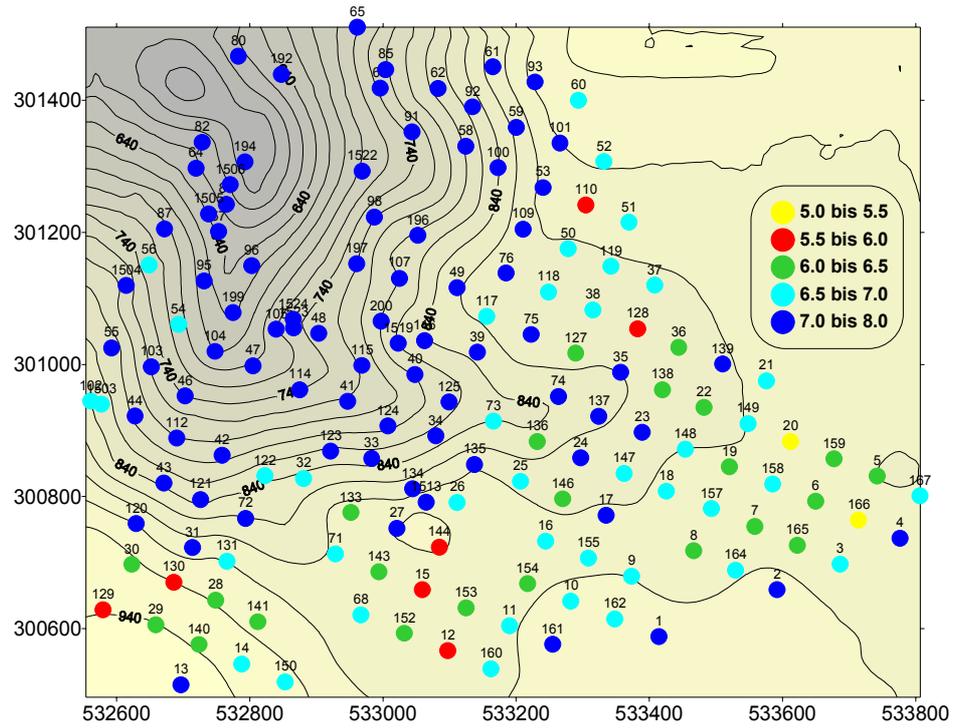
In der vorliegenden Arbeit sollen vorwiegend mittels multivariater statistischer Verfahren diagnostische Standorts- und Bodenmerkmale sowie einige für das Pflanzenwachstum bedeutsame chemische Bodenparameter mit den vegetationskundlichen Daten von den 64 Rasterpunkten des Integrated Monitoring Netzes am Zöbelboden verknüpft werden. Ein Ziel der Arbeit ist die Herausarbeitung funktioneller ökologischer Artengruppen, die eine Umlegung der an einer geringen Anzahl von Probepunkten gemessenen Bodenparameter auf ein dichteres Rasternetz bzw. auf die Fläche erlauben. Ein weiteres Ziel ist die Erklärung komplexer Zusammenhänge zwischen physikalischen und chemischen Standortfaktoren mit der Vegetation, da diese als sehr sensibler Indikator mittel- und längerfristige ökosystemare Veränderungen rasch und augenfällig anzeigt.

Unmittelbare Vorprojekte zu dieser Auswertung waren die „Wissenschaftliche Bearbeitung der Bodenuntersuchungen“ (Gratzer, 1997) und die „Vegetationskundliche Charakterisierung des Integrated Monitoring Standortes Zöbelboden“ (Pichler, 1996). Aus diesen beiden Projekten stammt auch der Großteil der Eingangsdaten für dieses Projekt. Randlich, gleichsam als Kontrollgrößen, flossen auch ertragskundliche Daten, wie Oberhöhenbonität und Überschirmungsgrad (Eckmüllner, unveröff.), in diese Auswertung ein.

Auch für die zusammenschauende Auswertung von standorts- und vegetationskundlichen Daten war es notwendig Plateau- und Hangstandorte getrennt zu behandeln, weil, wie in der Einleitung zur bodenkundlichen Auswertung bereits erwähnt, beide Teileinheiten von unterschiedlichen ökologische Gradienten geprägt werden und auch unterschiedlich große Gradientenausschnitte vorliegen, die sich in einer mehr oder weniger großen Ähnlichkeit zwischen den einzelnen Erhebungspunkten widerspiegeln. Die Einteilung in Hang- und Plateaustandorte war nicht immer eindeutig zu treffen, weil an einigen Punkte an der Kante vom standörtlichen Gesichtspunkt her (Neigung, Bodentyp, etc.) der eine, von der Vegetation her (Baumbestand, charakteristische Zeigerpflanzen) aber der andere Aspekt stärker ausgeprägt war. So wurde der Punkt 35, der in der vegetationskundlichen Auswertung zu den Plateaustandorten gezählt wurde, in der bodenkundlichen Bearbeitung und auch hier den Hangstandorten zugeschlagen. Mit dem Punkt 53 verhielt es sich genau umgekehrt.

Betrachtet man vorweg nur die mit der Deckung gewichteten mittleren Zeigerwerte der Vegetation (Ellenberg, 1991), die quasi als Integral der wirkenden Umweltbedingungen gesehen werden kann, so ist am Hochplateau des Zöbelboden in erster Linie mit einem pH-Gradienten zu rechnen, während die steilen Einhänge zum Weißenbach hin offenbar von einem komplexeren, zusammengesetzten Gradienten geprägt werden, der sich in unterschiedlichen Feuchte-, Stickstoff- und Lichtzahlen äußert, während die Reaktionszahlen durchwegs sehr hoch sind (Abbildungen 1 und 2).

Mittlere Reaktionszahlen der Vegetation



Mittlere Feuchtezahlen der Vegetation

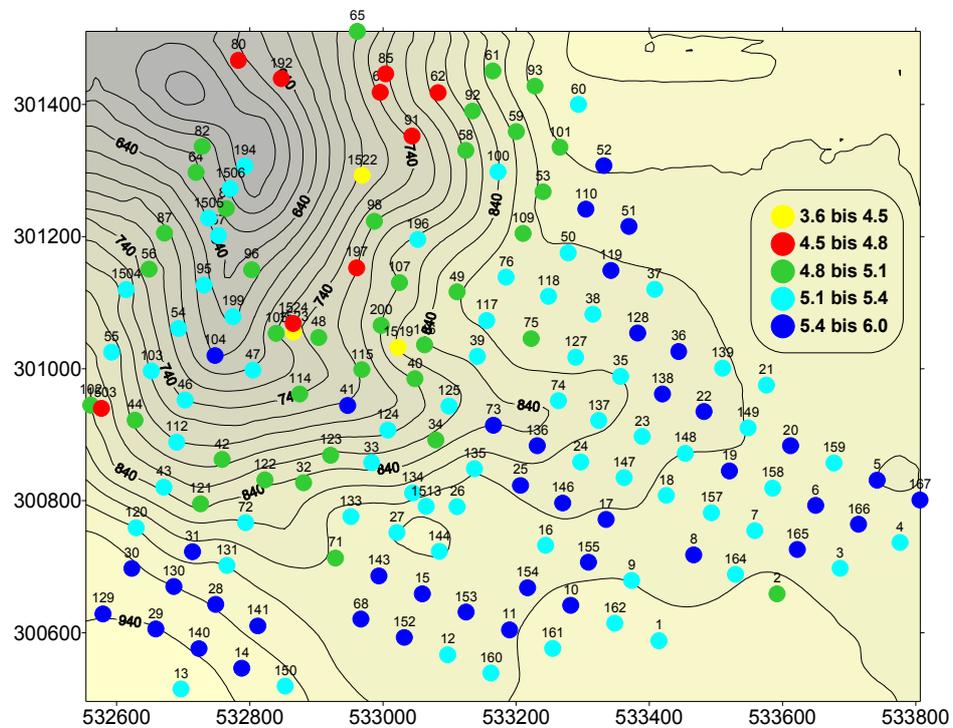
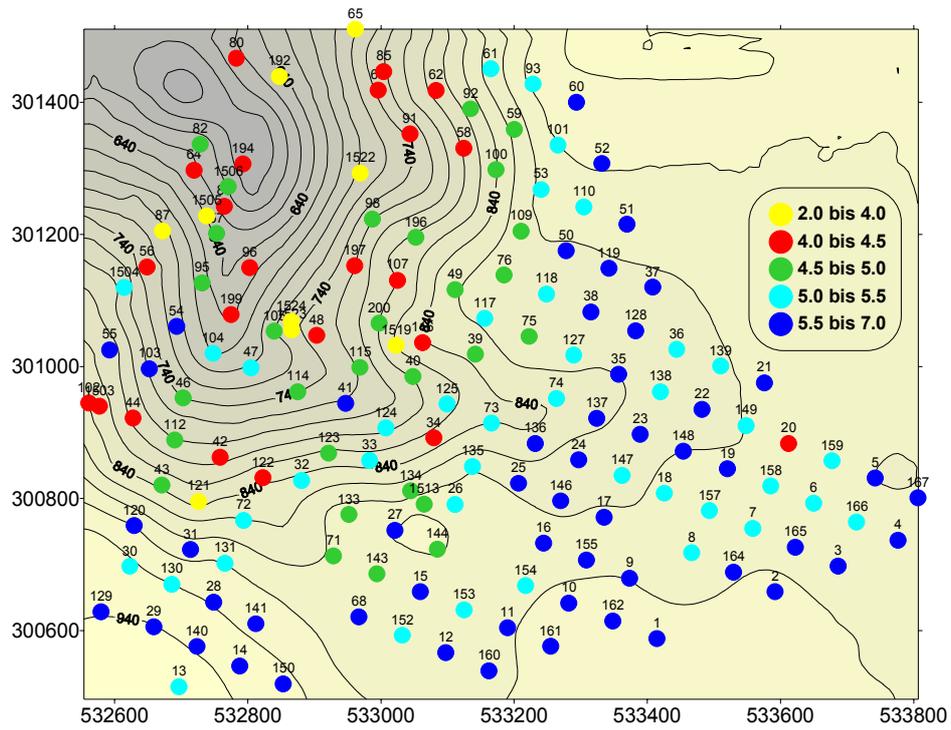


Abbildung 1: mittlere Reaktions- und Feuchtezahlen der Vegetation am verdichteten Vegetationsaufnahmeraster des IM.

Mittlere Stickstoffzahlen der Vegetation



Mittlere Lichtzahlen der Vegetation

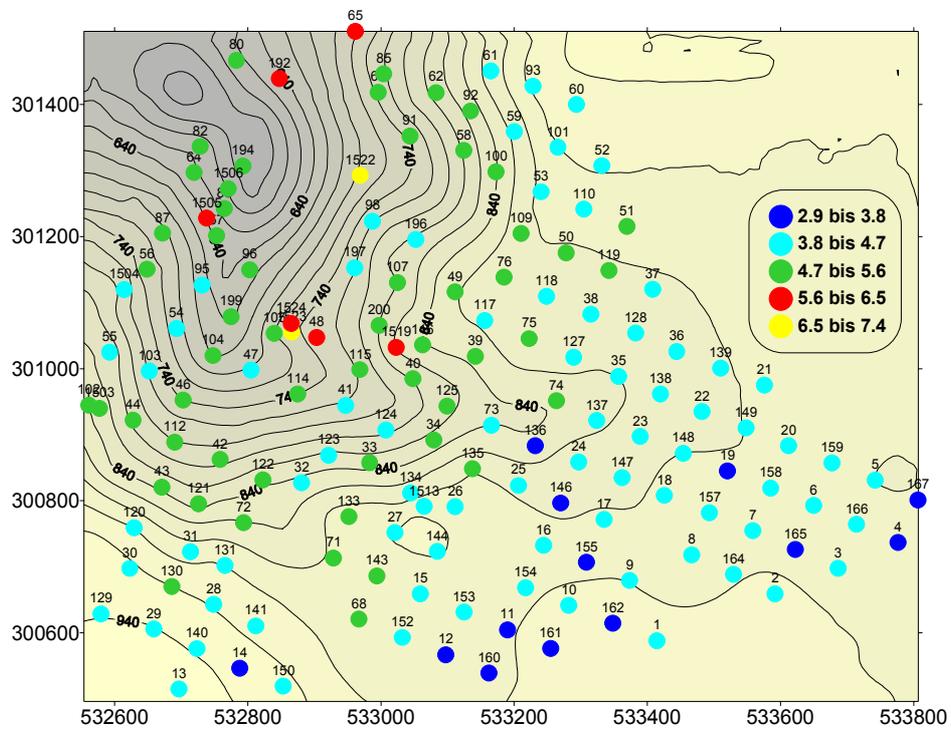


Abbildung 2: mittlere Stickstoff- und Lichtzahlen der Vegetation am verdichteten Vegetationsaufnahmeraster des IM.

Für die gemeinsame Auswertung von Vegetations- und Standortdaten wurden zwei verschiedene Wege beschritten. Im ersten Ansatz wurden im Sinne einer forstlichen Standortskartierung die Erhebungspunkte nach langfristig stabilen Standortfaktoren zu Gruppen ähnlicher Standorte zusammengefasst. Danach wurden in **Diskriminanzanalysen** einerseits die aktiven Variablen (Variable, die in die Clusteranalyse eingingen) hinsichtlich ihre Bedeutung für die Klassifikation untersucht, andererseits die Vegetationsdaten („passive Variable“) zur Erklärung des Clusterergebnisses herangezogen, mit dem Ziel, funktionelle Artengruppen und im Gelände leicht erhebbare Parameter herauszuarbeiten, die eine flächige Kartierung im Versuchsgebiet erleichtern sollten. Aufgrund dieser Zielsetzung und der betont standortkundlichen Ausrichtung, die eine entsprechende Variablenauswahl (stabile Standortfaktoren) für die statistischen Analysen verlangt, wurden nicht die Gruppeneinteilung aus der bodenkundlichen Auswertung übernommen, die nach anderen Gesichtspunkten getroffen wurden (vgl. Gratzler, 1997).

Im Gegensatz zu obigem Klassifikationsansatz, der das Hauptgewicht auf die Standortfaktoren legt, steht die **kanonische Korrespondenzanalyse**, die ein Ordinationsverfahren ist, und die Vegetationsdaten als Grundlage für eine räumliche Anordnung der Erhebungspunkte heranzieht. Erst im zweiten Teilschritt erfolgt ein mathematischer Ausgleich nach ausgewählten Umweltvariablen. Vereinfacht ausgedrückt werden die Punkte solange im Raum verschoben, bis sie für beide Datensätze eine möglichst gute („richtige“) Lage einnehmen. Die Korrelationskoeffizienten der Koordinatenreihen vor dem Ausgleich nach Umweltgrößen mit den Koordinatenreihen danach sind ein Maß für den Zusammenhang zwischen den Datensätzen. Hohe Korrelationskoeffizienten für diese sogenannten kanonischen Achsenpaare bedeuten, dass wenig Verschiebungsarbeit notwendig war, um das oben genannte Ziel zu erreichen. Die Datensätze zeigen also ein hohes Maß an Übereinstimmung. Bei niedrigen Koeffizienten gilt das Gegenteil. Bei dieser Methode fanden auch Variablen Berücksichtigung, die mittel- bis kurzfristige Zustandsformen eines Standortes charakterisieren (z.B. Auflagemächtigkeit, chemische Kennwerte des Oberbodens oder Überschirmungsgrad), weil diese sehr wohl verantwortlich für das Vorkommen oder Fehlen einer Art sein können.

2 Kurzbeschreibung der angewandten statistischen Methoden

2.1 Die Clusteranalyse: wurde detailliert im vegetationskundlichen Teil beschrieben.

2.2 Die Diskriminanzanalyse

Die Diskriminanzanalyse ist ein strukturprüfendes Klassifikationsverfahren zur Analyse von Gruppenunterschieden, mit dem sich folgende Fragen beantworten lassen:

- *Unterscheiden sich Gruppen signifikant voneinander bezüglich der Ausgangsvariablen?*
- *Welche Variablen sind zur Unterscheidung der Gruppen geeignet bzw. ungeeignet?*

Eine weiterer Zweck der Diskriminanzanalyse ist die Zuordnung neuer Elemente zu den bestehenden Gruppen mittels der anhand vieler Fälle errechneten Diskriminanzfunktionen:

- *In welche Gruppe ist ein neues Element aufgrund seiner Merkmalsausprägungen einzuordnen?*

Im Gegensatz zu multiplen Regressionsmodellen, bei denen die Abhängigkeit einer metrisch skalierten Variablen von anderen, ebenso metrisch skalierten Größen überprüft wird, hat hier die abhängige Variablen nominalen Charakter (Zugehörigkeit zur Gruppe x).

Die Gruppeneinteilung, die einer Diskriminanzanalyse immer zugrundeliegt, kann sich entweder direkt aus dem Anwendungsproblem ergeben oder das Ergebnis einer vorgeschalteten Clusteranalyse sein. Wurde zur Gruppenbildung eine Clusteranalyse durchgeführt, können in der folgenden Diskriminanzanalyse entweder dieselben oder andere Variable verwendet werden. Im ersten Fall überprüft man die Eignung der Variablen für die Clusteranalyse, im zweiten Fall versucht man die durch die Clusteranalyse erzeugte Gruppierung durch andere Variable zu erklären. Man spricht von „aktiven“ bzw. „passiven“ Variablen.

Als Maß für die Unterschiedlichkeit von Gruppen kann man die Distanz zwischen den Gruppenzentroide heranziehen, das jedoch dann ungenau wird, wenn die Streuungen in den Gruppen groß sind und sich diese stark überschneiden. Deshalb wurde für die Diskriminanzanalyse folgendes *Diskriminanzkriterium* formuliert:

Wähle die Koeffizienten der Diskriminanzfunktionen so, dass das Verhältnis aus der Streuung zwischen den Gruppen (erklärte Streuung) und der Streuung innerhalb der Gruppen (unerklärte Streuung) maximal wird!

Die *Diskriminanzfunktionen* stellen daher das Kernstück der Ergebnisse einer Diskriminanzanalyse dar. Sie haben allgemein die Form:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_i \cdot X_i$$

X_iMerkmalsvariable i

b_iDiskriminanzkoeffizient der Variablen i

Es kann höchstens eine Diskriminanzfunktion weniger berechnet werden als zu prüfende Gruppen vorliegen. Für jede dieser Funktionen gibt es eine ausgiebige statistische Beschreibung, an der man ihre diskriminatorische Bedeutung ablesen kann:

Zu jeder Funktion gehört ein *Eigenwert* (γ), der das zahlenmäßige Ergebnis des Diskriminanzkriteriums darstellt. Die Eigenwerte müssen beginnend mit der ersten Funktion immer kleiner werden, da die erste Diskriminanzfunktion ja so ermittelt wurde, dass ihr Eigenwert und somit ihr Erklärungsanteil maximal wird. Die zweite Funktion erklärt den größtmöglichen Anteil der Streuung, der nach Errechnung der ersten Funktion als Rest verbleibt und so weiter. Die relative Wichtigkeit einer Diskriminanzfunktion drückt sich in ihrem *Eigenwertanteil* aus. Dieser nimmt in der Regel sehr rasch ab, sodass selbst bei einer großen Anzahl von Gruppen und Merkmalsvariablen meistens zwei Funktionen für eine gute Unterscheidung der Gruppen ausreichen. Dadurch lassen sich die Ergebnisse leichter interpretieren und besser graphisch darstellen.

Normiert man den Eigenwert auf Werte zwischen null und eins, so erhält man den *kanonischen Korrelationskoeffizienten* (c) der Diskriminanzfunktion

$$c = \sqrt{\frac{\gamma}{(1+\gamma)}} = \sqrt{\frac{\text{erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}}}$$

oder durch den umgekehrten Ansatz

$$\Lambda = \frac{1}{(1+\gamma)} = \frac{\text{unerklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}}$$

Wilk's Lambda, das ein inverses Gütemaß ist, d.h. kleinere Werte bedeuten größere Trennkraft. Seine Bedeutung liegt darin, dass es sich in eine probabilistische Variable transformieren lässt und damit Wahrscheinlichkeitsaussagen über die Unterschiede von Gruppen zulässt. Dadurch wird eine statistische Signifikanzprüfung der Diskriminanzfunktion über einen χ^2 -Test möglich, dessen Resultat sich in der *Irrtumswahrscheinlichkeit* der Funktion ausdrückt.

Die diskriminatorische Bedeutung der einzelnen Merkmalsvariablen kann man ebenfalls mit Hilfe von *Wilk's Lambda* schon vor Durchführung der Diskriminanzanalyse für jede Variable isoliert beurteilen. Die Berechnung erfolgt durch Streuungszerlegung nach obiger Formel. Zur Signifikanzprüfung wird jedoch anstelle des χ^2 -Tests der allgemein übliche F-Test herangezogen. Wegen möglicher Abhängigkeiten zwischen den Variablen ist eine univariate Prüfung der Diskriminanz nicht ausreichend. Die Basis für eine multivariate Beurteilung der diskriminatorischen Bedeutung einer Variablen, also ihre Bedeutung innerhalb der Diskriminanzfunktion, bilden die *standardisierten Diskriminanzkoeffizienten*. Je höher ein Koeffizient ist, desto bedeutender ist die jeweilige Variable für die Unterscheidung der Gruppen, wobei das Vorzeichen des Koeffizienten keine Rolle spielt. Standardisiert werden die Koeffizienten der ursprünglichen Funktion, um Skalierungseffekte auszuschließen. Zur Berechnung von *Diskriminanzwerten* zwecks Klassifizierung müssen immer die Funktionen mit den unstandardisierten Koeffizienten verwendet werden.

Aus den Diskriminanzwerten lassen sich für jedes Element Zugehörigkeitswahrscheinlichkeiten zu jeder Gruppe berechnen, die für einen Fall in Summe 1 ergeben müssen. Die größten Zugehörigkeitswahrscheinlichkeiten werden für die Neugruppierung der Elemente nach den ausgewählten Merkmalsvariablen herangezogen. Dabei können ungleiche Apriori-

Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden. Dies ist dann sinnvoll, wenn die Gruppen mit unterschiedlicher Häufigkeit in der Realität vorkommen.

Diese Klassifikation wird in der sogenannten *Klassifikationsmatrix* der tatsächlichen Gruppeneinteilung gegenübergestellt. Entlang der Hauptdiagonalen stehen die Anzahlen der Fälle, die in beiden Klassifikationen derselben Gruppe angehören, die also „richtig“ zugeordnet wurden. Die Häufigkeit und das Ausmaß der Abweichungen von der Diagonalen spiegeln Unschärfen in der Gruppeneinteilung wider. Die Klassifikationsmatrix erlaubt daher eine Beurteilung der Güte der Klassifikation und ist somit ein weiteres wichtiges Ergebnis einer Diskriminanzanalyse.

Um die Klassifikationsfähigkeit der Diskriminanzfunktionen beurteilen zu können, muss man den Prozentsatz der richtig klassifizierten Fälle der Trefferquote gegenüberstellen, die man bei rein zufälliger Zuordnung der Elemente erreichen würde. Im Fall von zwei Gruppen gleicher Größe würde man etwa durch das Werfen einer Münze bereits eine Trefferquote von 50 % erzielen. Bei ungleicher Mitgliederzahl sind die Trefferquoten bei zufälliger Zuordnung für jede Gruppe entsprechend der Gruppengröße zu modifizieren. Eine Diskriminanzfunktion ist nur dann von Nutzen, wenn sie eine höhere Trefferquote erzielt, als nach dem Zufallsprinzip zu erwarten ist.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Trefferquote immer überhöht ist, wenn sie auf Basis derselben Stichprobe berechnet wird, die auch für die Schätzung der Diskriminanzfunktionen verwendet wurde. Da die Diskriminanzfunktionen immer so ermittelt werden, dass die Trefferquote in der verwendeten Stichprobe maximal wird, ist bei Anwendung auf eine andere Stichprobe mit einer niedrigeren Trefferquote zu rechnen. Dieser Stichprobeneffekt vermindert sich allerdings mit zunehmendem Stichprobenumfang (Backhaus et. al., 1994).

Zur Einordnung von neuen Fällen in eine der bestehenden Gruppen dienen auch *Fisher's Klassifizierungsfunktionen*. Sie sind aber nur anwendbar, wenn gleiche Streuung innerhalb der Gruppen unterstellt werden kann. Für jede Gruppe wird eine Funktion errechnet. Durch Einsetzen der Merkmalswerte eines neuen Klassifikationsfalles in jede der Funktionen erhält man für jede Gruppe einen Wert. Die Zuordnung erfolgt zu der Gruppe, für deren Funktion das Ergebnis am größten ist.

2.3 Die Korrespondenzanalyse und ihre kanonische Form

Die Korrespondenzanalyse (CA) und deren kanonische Form (CCA) sind Methoden, die häufig in der Vegetationsanalyse zur Anwendung kommen, so auch hier. Die Korrespondenzanalyse ist der Rechenalgorithmus, der dem Programm TWINSpan (Hill, 1979) zugrunde liegt; die kanonische Korrespondenzanalyse ist das Rechenverfahren, auf dem das Programm CANOCO (ter Braak, 1990) basiert, das zum Verschneiden von Vegetations- mit Standortdaten diente. Die folgenden Ausführungen sind daher spezifisch auf die Analyse von Vegetationsdaten ausgerichtet.

Zur Korrespondenzanalyse gibt es zwei verschiedene Zugangsmöglichkeiten, die beide zum selben Ergebnis führen. Ein Lösungsweg besteht darin, dass man eine doppelt standardisierte $n \times s$ Matrix mit ihrer gestürzten Form postmultipliziert und die daraus resultierende quadratisch-symmetrische Matrix einer Eigenanalyse unterwirft, wobei die χ^2 -Distanz als Maß für die Unterschiedlichkeit zweier Objekte (Aufnahmen) dient (Gauch, 1982).

Der zweite und gängigere Erklärungsweg führt über die *gewichtete Mittelwertbildung* (*weighted averaging*), die gleichzeitig die einfachste Ordinationstechnik darstellt. So kann man etwa die mittleren Zeigerwerte nach Ellenberg dazu verwenden, die Aufnahmen nach Feuchte-, Stickstoff-, Reaktionszahl etc. zu reihen. Man erhält diese sogenannten Aufnahmerangwerte, indem man die Zeigerwerte der Arten mit deren Deckungswerten gewichtet und für jede Aufnahme über die Arten mittelt.

Umgekehrt ist es möglich, wenn man die Ansprüche der Arten nicht kennt, über einen gemessenen Umweltfaktor gewichtete Mittelwerte für die Arten zu berechnen. Diese „Artrangwerte“ sind eine Abschätzung der Optima der Arten hinsichtlich der betreffenden Umweltvariablen. Ordnet man sie der Größe nach, erhält man eine Achse, die das Artverhalten bezüglich dieser erklärenden Variablen beschreibt.

Die Korrespondenzanalyse sucht nach der Achse, die die Optima der Arten am weitesten aufspreitet, das heißt, die die größte Varianz erfasst. Diese Achse wird erste CA-Achse genannt. Der Eigenwert ist ein Maß für die Aufspreitung und damit für die Bedeutung der Achse.

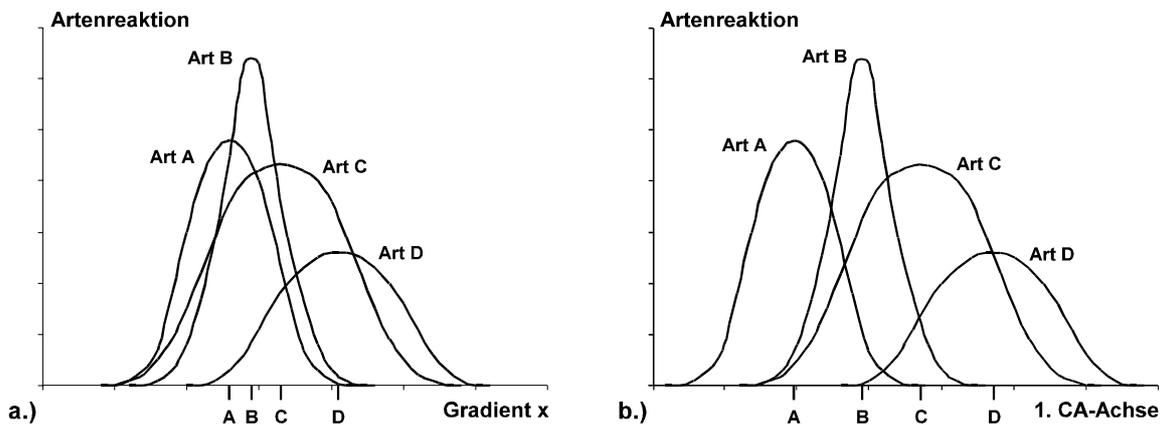


Abbildung 3: (a) Reaktionskurven von vier Arten entlang eines einzelnen Gradienten X. (b) Dieselben Kurven durch eine CA aufgespreizt. Die Optima der Arten sind durch Großbuchstaben gekennzeichnet.

Hinter dieser Achse steckt kein einzelner Umweltfaktor, sondern eine theoretische, zusammengesetzte Variable, die sich aus den Aufnahmerangwerten ergibt, die die größte Aufspreitung bewerkstelligen. Die Interpretation der Achse ist dadurch dementsprechend schwierig. Die weiteren CA-Achsen maximieren die Aufspreitung der Artrangwerte mit der Einschränkung, dass sie mit den vorigen Achsen unkorreliert sein müssen. Dadurch soll gewährleistet werden, dass neue Information auf ihnen abgebildet wird. Das Ziel ist, wie bei der Faktoren- oder Hauptkoordinatenanalyse, möglichst viel Information durch möglichst wenige Achsen zu vermitteln.

Hill (1973) hat die Korrespondenzanalyse als Methode durch einen Algorithmus, der „*reciprocal averaging*“ heißt, in die Ökologie eingeführt. Reciprocal averaging stellt eine Erweiterung der gewichteten Mittelwertbildung dar. Die oben beschriebene gewichtete Mittelwertbildung kann iterativ wiederholt werden, indem man aus den erhaltenen Aufnahmerang-

werten Artrangwerte und daraus wiederum neue Aufnahmeangwerte berechnet usw. Es kann auch umgekehrt mit der Berechnung von Artrangwerten begonnen werden.

Hill hat mathematisch gezeigt, dass dieses Verfahren der wiederholten oder wechselseitigen Mittelwertbildung auf eine Lösung hinausläuft, die unabhängig vom gewählten Startvektor ist. Dieser kann beliebige Zahlen, die Aufnahmenummern oder eben die Zeigerwerte beinhalten. Im Zuge des Rechenganges wird von Iteration zu Iteration sowohl die Aufspaltung der Artenoptima als auch der Aufnahmen größer, bis nach ungefähr zehn Zyklen das Maximum erreicht ist. Gleichzeitig stabilisieren sich die Aufnahme- und Artrangwerte und begründen so die erste CA-Achse (Jongman und ter Braak, 1987).

Daraus wird deutlich, dass die CA keine Umweltdaten oder Zeigerwerte als Eingangsgrößen braucht, sondern nur mit Vegetationsdaten allein arbeitet. Sie zählt somit zu den Methoden der indirekten Gradientenanalyse, bei denen die Achsen nur über die Ansprüche der Arten interpretiert werden.

Aus dem Gesagten geht weiter hervor, dass Arten und Aufnahmen gleichzeitig geordnet werden. Übertragen auf die Tabellenebene bedeutet das, dass die anfangs ungeordnete Tabelle am Ende eine Diagonalstruktur aufweist. Diese fällt umso deutlicher aus, je glockenförmiger die Reaktionskurven der Arten in Bezug auf einen Umweltgradienten sind und je weiter die Optima der Kurven auseinander liegen (Fischer und Bemmerlein, 1990).

Graphisch kann auch diese Ordinationstechnik als Biplot der Arten und Aufnahmen umgesetzt werden. Im Gegensatz zur Faktorenanalyse sind hier die beiden überlagerten Ordinationen sogar gleich skaliert, was auf eine laufende Neuskalierung der Art- und Aufnahmeangwerte zwischen den Iterationsschritten zurückzuführen ist. Dadurch soll verhindert werden, dass die Intervalle zwischen den größten und kleinsten Rangwerten immer kleiner werden.

Im CA-Biplot sollte jede Aufnahme ungefähr im Schwerpunkt der Arten zu liegen kommen, die in ihr vorkommen. Die Arten kann man nicht mehr als Vektoren deuten wie im Biplot der Faktorenanalyse, weil die CA kein lineares Artenverhalten unterstellt, sondern eine Gauß-Verteilung voraussetzt. Die Arten nehmen also nicht mehr linear über das Diagramm zu oder ab, sondern sie liegen nahe am Optimum der glockenförmigen Ausgleichsflächen, die im Zuge einer Korrespondenzanalyse für alle Arten angepasst werden. Man könnte um die Artpunkte Kreise ziehen, die eine bestimmte Prozentgrenze der Abundanz im Optimum markieren.

Arten am Rand des Diagramms sind Arten, die selten in den Aufnahmen vorgekommen sind, weil sie entweder extreme Bedingungen bevorzugen, oder weil sie zufällig an einem Standort gewachsen sind. Solche Arten haben geringen Einfluss auf die Analyse und sollten weggelassen werden, um den restliche Ausschnitt der Graphik vergrößern zu können.

Die Arten im Zentrum hingegen können eine eingipfelige Verteilung mit dem Optimum in der Mitte aufweisen, bimodales Verhalten zeigen oder keinen Bezug zu den Achsen haben.

Welcher Fall im einzelnen zutrifft, kann man aus der geordneten Tabelle ablesen.

Die Arten, die schließlich zwischen dem Zentrum und dem Rand liegen, sind die entscheidenden für die Ordination (Jongman und ter Braak, 1987).

Der Effekt, dass Gradientenstrukturen verkrümmt abgebildet werden, tritt auch bei der Korrespondenzanalyse auf, wenngleich in einer gemäßigeren Form. Das doppelte Standardisieren bewirkt, dass die Enden des Bogens nicht einwärts gekrümmt sind. Man spricht demgemäß nicht mehr vom „horseshoe-effect“, sondern von einem „arch-effect“ (Digby und

Kempton, 1987). Es kann daher nicht passieren, dass die beiden Endpunkte eines Gradienten nebeneinander abgebildet werden (Gauch, 1982).

Die Korrespondenzanalyse kommt durch die Annahme, dass die Arten entlang von Umweltgradienten eine Gauß-Verteilung zeigen, den tatsächlichen Verhältnissen wesentlich näher, als die Faktorenanalyse, die Linearität voraussetzt. Die Korrespondenzanalyse ist daher in der Vegetationsanalyse für breitere Gradientenausschnitte die bessere Methode (Jongman und ter Braak, 1987; Gauch, 1982; Whittaker und Gauch, 1973).

Um die Interpretation der Achsen zu erleichtern, nimmt die kanonische Korrespondenzanalyse einen Satz von Umweltvariablen in die Berechnungen auf. Sie ist somit eine direkte Gradientenanalyse, die die gesamte Artenzusammensetzung der Aufnahmen berücksichtigt und gleichzeitig erklärende Variable miteinbezieht, mit dem Ziel, die Wirkungsrichtungen einzelner Umweltfaktoren im Diagramm zu finden.

Die kanonische Korrespondenzanalyse sucht nach einer Linearkombination aus den Umweltvariablen, die die Artenoptima bestmöglich aufspreizt. Sie ergibt die erste CCA-Achse. Diese Linearkombination hat die Form:

$$X_i = C_0 + C_1 Z_{1j} + C_2 Z_{2j} + \dots + C_q Z_{qj}$$

z_{ij} der Wert der erklärenden Variablen j in Aufnahme i

c_j der Gewichtungsfaktor der Variablen j

x_i der Wert der zusammengesetzten erklärenden Variablen der Aufnahme i

Mit anderen Worten, es wird für jede Variable das beste Gewicht c_j ermittelt, um der obigen Bedingung zu entsprechen.

Erfüllt die Korrespondenzanalyse diese Forderung auch für die Aufnahmen, so ist die kanonische Korrespondenzanalyse darin eingeschränkt, weil diese Ordinationstechnik auch den Umweltdaten Rechnung tragen muss. Die erreichte Aufspreitung der Aufnahmen kann also nicht mehr das absolute Maximum darstellen wie bei der CA. Die CCA wird deshalb auch „eingeschränkte Korrespondenzanalyse“ genannt. Ihre Eigenwerte sind aus dem Grund auch etwas niedriger als die der CA. Weitere Achsen müssen mit den vorigen wieder unkorreliert sein. Es können so viele Achsen berechnet werden, wie Umweltvariable in die Analyse eingehen.

Mathematisch funktioniert die CCA so, dass nach jedem Iterationsschritt des „reciprocal averaging“ mit den Aufnahmerangwerten eine multiple Regression nach den Umweltvariablen durchgeführt wird, um die Ausgangswerte für den nächsten Rechenzyklus zu erhalten. Die Ausgleichsebene der letzten multiplen Regression entspricht obiger Linearkombination. Die kanonischen Regressionskoeffizienten gleichen den Gewichtungsfaktoren c_j .

Sind die Aufnahmerangwerte gewichtete Mittelwerte der Artrangwerte, so liegen die Aufnahmen im Artenraum, und man bezeichnet die zugehörigen Achsen als Artenachsen. Ergeben sich die Aufnahmerangwerte jedoch aus den Linearkombinationen der Umweltvariablen, sind die Aufnahmen im Umweltraum platziert, der durch die Umweltachsen aufgespannt wird.

Das Maß für die Übereinstimmung dieser beiden Ordinationen ist der multiple Korrelationskoeffizient der letzten Regression. Er kann für jedes Arten-/Umweltachsenpaar berechnet werden. Man spricht auch von Arten/Umwelt Korrelationen oder *Inter-set Korrelationen*. Je höher diese sind, umso weniger wird die Aufspaltung der Aufnahmen durch die Umweltdaten eingeschränkt, oder anders ausgedrückt, umso besser erklären die Umweltvariablen gemeinsam die durch die Artenachsen beschriebene Variation der Gesellschaftszusammensetzung. Die Werte sind aber mit Vorsicht zu deuten, weil auch Achsen mit niedrigen Eigenwerten hohe Inter-set Korrelationen aufweisen können. Das Hauptaugenmerk muss daher auf den Eigenwerten liegen, denn diese messen, wie viel Variation in den Artendaten durch die Achsen und damit durch die Umweltvariablen erklärt wird. Inter-set Korrelationen werden auch für jeden einzelnen Umweltfaktor mit den Artenachsen bestimmt (ter Braak, 1990; Fischer und Bemberlein, 1990).

Die *Intra-set Korrelationen* hingegen spiegeln die Beziehungen innerhalb der Linearkombination wider. Sie werden für jede Umweltvariable mit den Umweltachsen errechnet und dienen zur Bestimmung der Koordinaten der Endpunkte der Umweltvektoren im Diagramm.

Das CCA-Diagramm kann grundsätzlich gleich wie das CA-Diagramm gelesen werden. Der entscheidende Unterschied besteht darin, dass im CCA-Biplot auch die gesuchten Wirkungsrichtungen einzelner Umweltfaktoren eingezeichnet werden können. Ein Umweltvektor kann analog zu einem Vektor aus einem Biplot einer Faktorenanalyse interpretiert werden. Die Richtung des Vektors gibt die Richtung der stärksten Zunahme des betreffenden Faktors an, seine relative Länge steht für die Bedeutung des Faktors im Vergleich zu den anderen. Der Winkel zwischen dem Pfeil und einer Achse drückt die Korrelation der Umweltgröße mit der Achse aus.

3 Ergebnisse - Plateaustandorte

3.1 Clusteranalyse

Für die Clusteranalysen und die angeschlossenen Diskriminanzanalysen wurden nur stabile Standortparameter gewählt, d.h. solche, die von der Bestockung unabhängig sind und die die Wachstumsbedingungen am Standort bestimmen. Für das Plateau waren dies:

Variable	Skalenniveau
Gründigkeit [cm]	metrisch
Skelettgehalt [%] (Feldansprache)	metrisch
Makroexposition	metrisch
Neigung [%]	metrisch
Seehöhe [m]	metrisch
3 Mesoreliefformen	nominal
4 Bodentypen	nominal

Die Makroexposition wurde in eine Sinusfunktion übersetzt. Dabei wurde der Exposition NO, die hinsichtlich des Wasserhaushaltes im Untersuchungsgebiet am günstigsten einzuschätzen ist, der höchste Wert 2 zugewiesen, der ungünstigsten Exposition SW der Wert 0. Ebene Lage wurde neutral mit 1 bewertet. Die Verschlüsselung im Überblick:

SW	0	NW	1,00	NO	2,00	SO	1,00
W	0,29	N	1,71	O	1,71	S	0,29

Diese Auswahl an Variablen wurde einem hierarchischen Clusterverfahren unterworfen, wobei dem Problem des unterschiedlichen Skalenniveaus derart begegnet wurde, dass für metrische und nominale Daten getrennt jeweils mit einem geeigneten Distanzmaß (euklidische Distanz bzw. euklidische Distanz für binäre Daten) Ähnlichkeitsmatrizen berechnet wurden. Die Summe aus beiden Matrizen floss in die Clusteranalyse ein, wobei das average-linkage Verfahren zum Einsatz kam.

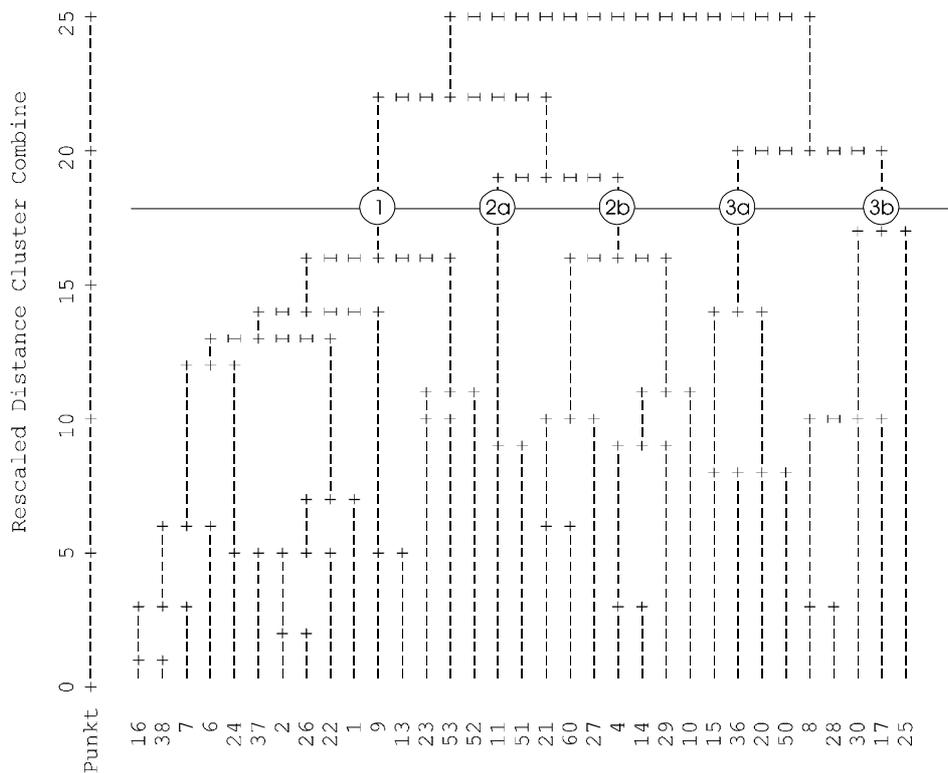


Abbildung 4: Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse mit stabilen Standortfaktoren für das Plateau.

Nach dem Varianzkriterium bietet sich hier entweder eine 3- oder eine 5-Clusterlösung an. Im Sinne einer höheren Auflösung wurde vorerst eine 5-Clusterlösung gewählt, um in weiteren Auswerteschritten zu untersuchen, ob eine derart feine Aufspaltung am Plateau standörtlich gerechtfertigt ist.

3.2 Diskriminanzanalysen

In der angeschlossenen Diskriminanzanalyse mit aktiven Variablen als Eingangsgrößen konnten wegen der unterschiedlichen Skalenniveaus nur die intervallskalierten Daten berücksichtigt werden. Es zeigt sich, dass mit den metrischen Variablen alleine 72,7 % der Fälle gleich klassifiziert werden würden wie bei Mitberücksichtigung der Nominalvariablen, was zwar einerseits ein befriedigendes Ergebnis darstellt, weil in jeder Gruppe die Trefferquote bedeutend höher liegt als man sie bei rein zufälliger Zuordnung aufgrund der Grup-

pengröße erwarten könnte (vergleiche apriori-Wahrscheinlichkeiten), was aber andererseits auf das Gewicht der Nominalvariablen (Bodentypen und Mesorelief) in der Clusteranalyse hinweist.

Von den 5 untersuchten Variablen war die Gründigkeit in ihrer Bedeutung für die getroffene Gruppeneinteilung herausragend. Sie zeigt sowohl im univariaten F-Test die größte Trennkraft, als auch im multivariaten Zusammenhang (standardisierte Diskriminanzfunktionskoeffizienten). Die übrigen Variablen sind vergleichsweise bedeutungslos und im F-Test auch schon mit einer erheblichen Irrtumswahrscheinlichkeit (14 - 33 %) behaftet. Dementsprechend wird die erste Diskriminanzfunktion, die 83,3 % der Varianz zu erklären vermag, von der Gründigkeit dominiert. Die zweite Funktion (Erklärungsgehalt 10,5 %) wird von der Neigung und der Seehöhe geprägt, weist jedoch eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 24,5 % auf.

Dieses Ergebnis ist insofern plausibel, als die Neigung am flachen Plateau vom standörtlichen Gesichtspunkt her gleichsam eine Konstante darstellt. Ähnliches gilt für die Exposition des Makroreliefs: die ungünstigen Richtungen West, Südwest und Süd treten nur selten auf; zwischen den übrigen Expositionen besteht - besonders bei der geringen Neigung - kein wesentlicher Unterschiede in der Bedeutung für die Standortsqualität. Der geringe Seehöhenunterschied von weniger als 100 m kann innerhalb des Plateaus als differenzierender Faktor für den Standort und dessen Bewuchs ebenso ausgeschlossen werden. Das *Helleboro nigri-Fagetum*, das die zentrale Pflanzengesellschaft am Plateau darstellt, kann sich in der montanen Stufe über einige hundert Höhenmeter hinweg erstrecken. In den Aufnahmen von Zukrigl (1971) aus den nördlichen Randalpen tritt die hier maßgebliche Gesellschaft, das *Helleboro nigri-Fagetum cardaminetosum trifoliae*, von 730 bis 1180 m Seehöhe auf.

Ein Blick auf Tabelle 2 zeigt, dass für die erste Aufteilung des Dendrogrammes in die Zweige [1,2] und [3] (vgl. Abbildung 4) im wesentlichen die Gründigkeit und der Bodentyp ausschlaggebend waren. Einen gewissen Einfluss dürfte trotz der schlechten Ergebnisse in der Diskriminanzanalyse auch der Skelettanteil gehabt haben. Zumindest scheint eine hohe Gründigkeit, sprich eine größere Mächtigkeit der Braunlehmdecke, nicht nur Pseudovergleyung mit sich zu bringen, sondern auch einen hohen Skelettanteil auszuschließen. Für die Untergliederungen auf den nächsten beiden hierarchischen Ebenen ist hauptsächlich die Geländeform verantwortlich. Die Abspaltung der beiden Rendzina-Standorte 11 und 51 war von vornherein absehbar, sind sie abgesehen vom Bodentyp einander auch in einigen anderen Eigenschaften sehr ähnlich und unterscheiden sich von den übrigen Standorten durch ihre Seichtgründigkeit und ihre SW- bzw. W-Exposition.

Auffallend sind außerdem die bedeutend niedrigeren $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ -Werte des ersten Mineralbodenhorizontes in den Gruppen 3a und 3b, also den Standorten, die durch tiefgründigere Braunlehm-Pseudogleye gekennzeichnet sind.

Tabelle 1: statistische Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit den metrischen aktiven Variablen der Clusteranalyse.

Diskriminanzfunktionen:

Fkt.	Eigenwert	% der Varianz	Kanon. Korr.	Wilks' Lambda	Chi ²	df	Sig
1*	3,181	83,3	0,87	0,1376	53,55	20	0,000
2*	0,399	10,5	0,53	0,5753	14,93	12	0,245
3*	0,215	5,6	0,42	0,8048	5,87	6	0,439
4*	0,023	0,6	0,15	0,9775	0,62	2	0,735

$$y_1 = 0,1387 * \text{Gründ. [cm]} + 0,0185 * \text{Neig. [%]} + 0,0073 * \text{Skelett [%]} + 0,0034 * \text{Höhe [m]} - 0,0337 * \text{MakExp} - 7,7809$$

$$y_2 = -0,0017 * \text{Gründ. [cm]} + 0,0841 * \text{Neig. [%]} - 0,0271 * \text{Skelett [%]} + 0,0279 * \text{Höhe [m]} - 0,1516 * \text{MakExp} - 25,7240$$

Diskriminatorische Bedeutung der Merkmalsvariablen:

Gruppenmittelwerte:

Gruppe	Gründ. [cm]	Skelett [%]	Höhe [m]	Neigung [%]	MakExp.
1	27	24	888	19	1,28
2b	21	20	906	19	1,00
3b	47	9	900	23	1,43
2a	9	23	885	12	0,15
3a	52	10	876	9	1,18

Wilk' s Lambda und univariater F-Test:

Variable	Λ	F	Sign.	Bedeut.
Gründ.	0,2468	21,360	0,000	1
MakExp	0,7889	1,873	0,143	2
Neigung	0,7940	1,816	0,154	3
Skelett%	0,8074	1,670	0,185	4
Höhe	0,8540	1,197	0,334	5

Standardisierte Diskriminanzfunktionskoeffizienten:

Variable	Fkt. 1	Bedeut.	Fkt. 2	Bedeut.
Gründ.	1,0576	1	-0,0133	5
Neigung	0,1691	2	0,7669	1
Skelett%	0,0975	3	-0,3609	3
Höhe	0,0878	4	0,7076	2
MakExp	-0,0206	5	-0,0926	4

Güte der Klassifikation:

	n	vorhergesagte Gruppe				
		1	2b	3b	2a	3a
Gruppe 1	15	12 80,0%	2 13,3%	1 6,7%	0 0,0%	0 0,0%
Gruppe 2b	7	3 42,9%	4 57,1%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%
Gruppe 3b	5	1 20,0%	0 0,0%	3 60,0%	0 0,0%	1 20,0%
Gruppe 2a	2	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2 100,0%	0 0,0%
Gruppe 3a	4	0 0,0%	0 0,0%	1 25,0%	0 0,0%	3 75,0%

richtig klassifizierte Fälle: 72,7%

Apriori Wahrscheinlichkeiten:	Gruppe 1	45,5%	Gruppe 2a	6,1%
	Gruppe 2b	21,2%	Gruppe 3a	12,1%
	Gruppe 3b	15,2%		

Tabelle 2: einige wichtige Punkteigenschaften im Überblick; fehlende C/N-Verhältnisse für den obersten Mineralbodenhorizont wurden durch den Mittelwert ersetzt. Sie sind durch eine Schattierung hervorgehoben.

Punkt. Nr.	16	38	7	6	24	37	2	26	22	1	9	13	23	53	52	11	51	21	60	27	4	14	29	10	15	36	20	50	8	28	30	17	25
Cluster	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2a	2a	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	3a	3a	3a	3a	3b	3b	3b	3b	3b
Humusform	Mull	Mull	Mull	Mull	Moder	Moder	muMo	muMo	muMo	muMo	Moder	Moder	moMu	moMu	moMu	muMo	Mull	Moder	Moder	Mull	Mull	Mull	moMu	muMo	Mull	Mull	Rh	Mull	Mull	Mull	Moder	moMu	
Aufl.[cm]	4,0	2,0	3,0	3,0	6,5	4,5	5,5	6,0	3,5	6,5	4,0	6,5	4,0	3,5	2,0	5,5	3,0	2,5	5,5	4,0	1,5	4,0	2,5	5,5	1,5	3,0	4,0	1,5	3,0	2,0	3,0	5,5	4,5
C/N-Aufl.	28	40	32	33	32	32	30	31	37	28	30	32	37	35	36	32	37	36	38	27	29	31	45	31	43	27	23	33	35	39	44	48	38
Bodentyp	BL	BL	BL	psvgl BL	BL	psvgl BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL	Rendz	Rendz	BL	psvgl BL	BL	BL	BL	BL	BL	Psgl-BL	BL	Stagno.	Psgl-BL	Psgl-BL	Psgl-BL	Psgl-BL	Psgl-BL	psvgl BL
Gründigkeit	32	35	28	13	30	38	32	40	16	35	21	22	31	20	14	10	7	16	31	18	25	17	18	20	50	59	51	46	43	35	53	55	50
Skelett-%	15	15	30	15	5	5	15	15	15	30	60	30	30	15	60	15	30	15	15	5	30	30	15	30	15	5	5	15	15	5	5	5	15
M1[cm]	5	2	4	3	3	4	4	3	3	3	3	2	4	3	2	10	7	2	2	3	7	2	2	3	5	3	1	3	4	2	3	2	3
C/N[M1]	13,5	17,9	36,8	19,7	12,6	17,9	16,8	16,1	17,8	17,1	15,0	20,1	15,9	14,0	15,3	20,7	13,4	18,6	17,4	21,4	17,9	15,4	18,5	16,9	16,9	16,4	22,1	13,7	18,5	19,5	16,1	21,0	20,9
pH[M1]	6,4	6,7	6,7	5,7	6,6	6,8	6,4	6,4	6,1	6,7	6,6	4,8	6,3	6,3	5,3	5,6	6,3	6,4	6,5	6,0	6,9	5,6	4,4	6,5	5,7	4,0	3,1	5,3	5,6	4,3	3,7	4,0	5,8
Geländeform	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	konv.	intern.	intern.	intern.	intern.	intern.	intern.	intern.	intern.	intern.	konkav	konkav	konkav	konkav	intern.	intern.	intern.	intern.	intern.
Höhe [m]	890	870	865	880	885	865	880	885	865	925	920	955	880	870	890	910	860	880	895	910	865	935	945	915	900	860	880	865	900	910	925	890	875
Neigung [%]	12	12	15	12	19	12	25	40	24	5	25	19	15	34	17	8	15	17	11	15	18	34	23	18	14	0	12	9	16	26	21	10	44
Exposition	NW	eb.	N	NW	NW	SE	N	N	NW	NE	NE	E	N	W	S	SW	W	W	SW	W	N	NE	N	NW	W	eb.	E	E	NW	N	N	NW	N
Bonität Fi	12,3	10,2	5,2	8,0	5,2	4,8	6,6	5,7	5,2	8,5	8,0	6,6	9,6	4,7	8,0	9,6	10,8	6,6	9,6	4,8	9,6	8,5	8,5	6,1	10,2	13,1	7,1	8,0	9,6	10,2	9,1	10,2	9,6
Bonität ges.	11,8	9,9	5,0	7,9	5,5	7,6	5,2	5,7	6,3	7,7	8,0	5,0	7,6	4,0	7,7	8,1	8,8	6,5	7,5	4,8	6,8	8,4	8,5	6,5	10,2	13,1	7,1	8,0	7,9	9,8	9,0	8,2	9,1

Um die flächenhafte Kartierung des Gebiets zu erleichtern, wurde versucht, neben den wichtigsten stabilen Geländemerkmale auch funktionelle Artengruppen der Vegetation herauszuarbeiten, die standörtliche Unterschiede anzeigen. Dazu wurde obige Gruppierung der Standorte nach stabilen Standortfaktoren in einer Diskriminanzanalyse mit jenen 70 Pflanzenarten, die am Plateau mindesten 4 Mal in der Vegetationsliste vorkamen, als Eingangsvariable hinsichtlich ihrer Güte geprüft. Die überbestimmte Matrix - 33 Objekte, die durch 70 Variable beschrieben werden - erforderte die Anwendung der schrittweisen Diskriminanzanalyse. Bei diesem Verfahren wird jeweils die Variable in die Diskriminanzfunktion einbezogen, die ein bestimmtes Gütemaß maximiert, bis ein gesetzter Grenzwert erreicht ist. Aus der Rangfolge, mit der die Variablen in die Diskriminanzfunktion aufgenommen werden, lässt sich deren relative Wichtigkeit erkennen.

Nach jedem Teilschritt wird die Restvarianz neu verteilt, und die F-Werte werden neu berechnet, sodass Variable, die mit einer bereits ausgewählten Variable hoch korreliert sind, verworfen werden. Dadurch kann es passieren, dass nicht unbedingt die botanisch bedeutendste Art als Stellvertreter für einige andere steht. Diese Arten gilt es dann auf anderem Weg, etwa über die F-Werte der Arten vor dem ersten Iterationsschritt, zu finden und pflanzensoziologisch zu bewerten.

Im vorliegenden Fall wurden der Reihe nach vier Arten, nämlich *Polytrichum formosum*, *Fagus sylvatica* (Strauchschicht), *Athyrium filix-femina* und *Galium odoratum*, in die Analyse aufgenommen. Drei der Diskriminanzfunktionen, die gemeinsam 99,96 % (68,8 + 20,4 + 10,8) der Varianz erklären, sind höchst signifikant. Die Trefferquote des Modells liegt mit immerhin 75,8 % über der der metrisch skalierten Standortvariablen. Der Unschärfbereich liegt dabei wiederum zwischen den Gruppen 1 und 2b.

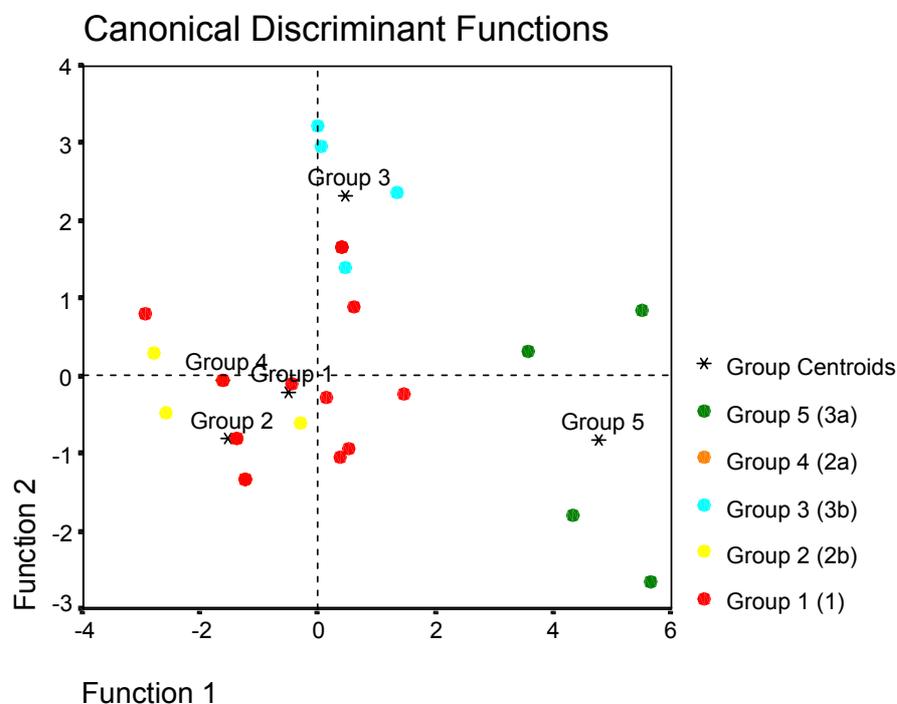


Abbildung 5: das Ergebnis der Diskriminanzanalyse von Standortgruppen mit Vegetationsdaten als passive Variable im Ordinationsdiagramm; fehlende Punkte sind durch anderen verdeckt.

Tabelle 3: statistische Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit den Vegetationsdaten. Die Gruppenmittelwerte der Arten sind aus transformierten Deckungswerten (van der Maarel, 1979) berechnet.

Diskriminanzfunktionen:

Fkt.	Eigenwert	% der Varianz	Kanon. Korr.	Wilks' Lambda	Chi ²	df	Sig
1*	4,199	68,8	0,90	0,0515	81,57	16	0,000
2*	1,243	20,4	0,74	0,2678	36,24	9	0,000
3*	0,661	10,8	0,63	0,6006	14,02	4	0,007
4*	0,002	0,0	0,05	0,9978	0,06	1	0,806

$$y_1 = 0,9870 \cdot \text{Polyfor6} + 0,9272 \cdot \text{Fagusyl4} - 0,6730 \cdot \text{Athyfil5} - 0,0729 \cdot \text{Galiido5} - 1,2324$$

$$y_2 = -0,1891 \cdot \text{Polyfor6} + 1,1065 \cdot \text{Fagusyl4} + 0,4278 \cdot \text{Athyfil5} + 0,2555 \cdot \text{Galiido5} - 1,3092$$

Diskriminatorische Bedeutung der Merkmalsvariablen:

Gruppenmittelwerte:

Gruppe	Polyfor6	Fagusyl4	Athyfil5	Galiido5
1	1,07	0,40	0,80	2,07
2b	0,43	0,00	1,00	0,71
3b	1,80	2,00	2,60	2,60
2a	0,00	0,00	0,00	5,00
3a	6,00	1,00	1,25	0,00

Wilks' s Lambda und univariater F-Test:

Variable	Λ	Sign.	Bedeut.
Polyfor6	0,4182	0,000	1
Fagusyl4	0,1823	0,000	2
Athyfil5	0,0871	0,000	3
Galiido5	0,0515	0,000	4

Schicht-Codes der Vegetation:

- 1 herrschende Baumschicht
- 2 zweite Baumschicht
- 3 dritte Baumschicht
- 4 Strauchschicht
- 5 Krautschicht
- 6 Moosschicht

Standardisierte Diskriminanzfunktionskoeffizienten:

Variable	Fkt. 1	Bedeut.	Fkt. 2	Bedeut.
Polyfor6	1,5545	1	-0,2978	4
Athyfil5	-1,0043	2	0,6384	2
Fagusyl4	0,6462	3	0,7712	1
Galiido5	-0,1008	4	0,3534	3

Güte der Klassifikation:

	n	vorhergesagte Gruppe				
		1	2b	3b	2a	3a
Gruppe 1	15	8 53,3%	3 20,0%	2 13,3%	2 13,3%	0 0,0%
Gruppe 2b	7	1 14,3%	6 85,7%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%
Gruppe 3b	5	0 0,0%	0 0,0%	5 100,0%	0 0,0%	0 0,0%
Gruppe 2a	2	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2 100,0%	0 0,0%
Gruppe 3a	4	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	4 100,0%

richtig klassifizierte Fälle: 75,8%

Apriori Wahrscheinlichkeiten:	Gruppe 1	45,5%	Gruppe 2a	6,1%
	Gruppe 2b	21,2%	Gruppe 3a	12,1%
	Gruppe 3b	15,2%		

Tabelle 4 zeigt, dass sich unter Berücksichtigung aller Arten, die laut F-Test mit weniger als 30 % Irrtumswahrscheinlichkeit zur Unterscheidung der Gruppen beitragen, eigentlich nur 2 Großgruppen voneinander unterscheiden lassen: auf der einen Seite die seicht- bis mittelgründigen Braunlehm- und Rendzinastandorte (Gruppen 1, 2a und 2b), auf der anderen Seite die Standorte auf mächtigeren Braunlehm-Pseudogleyen (3a und 3b). Die beiden Rendzinastandorte werden zwar laut Klassifikationsmatrix (Tabelle 3) zu 100 % richtig wiedererkannt, was jedoch einfach an der hohen Deckung von *Galium odoratum* und dem Fehlen der drei anderen Arten, die in die Diskriminanzanalyse Eingang fanden, liegt. Dieser minimale Unterschied geht im größeren Zusammenhang verloren.

Bei den diskriminierenden Arten, die die feuchteren Standorte (Gruppen 3a und 3b) charakterisieren, handelt es sich fast ausschließlich um Farne und Moose, die allesamt als Frischezeiger, *Blechnum spicant* auch als Säurezeiger einzustufen sind. Allerdings können die meisten von ihnen auch als Nadelholzfolger gesehen werden. Daher könnte das verstärkte Auftreten in den oben genannten Gruppen in Zusammenhang mit der dort herrschenden Fichtendominanz stehen. Eine Gruppe von anspruchsvollen Laubwaldarten aus Tabelle 4 (*Cyclamen* bis *Hepatica*), die die frischen Standorte mit höherem Mischbaumartenanteil prägen, fehlen auf den feuchten und sauren Standorten fast zur Gänze.

Tabelle 4: ausgewählte diskriminierende Arten, die nach dem F-Test mit weniger als 30 % Irrtumswahrscheinlichkeit behaftet sind, inkl. der Hauptbaumarten.

	1													2a		2b					3a				3b								
	16	38	7	6	24	37	27	2	26	22	1	9	13	23	53	52	11	51	21	60	27	4	14	29	10	15	36	20	50	8	28	30	17	25
<i>Picea abies</i> B1	5	5	4	3	3	5	2	1	5	4	4	4	4	1	5	4	3	4	5	5	3	5	5	3	5	5	5	5	5	4	5	4	3
<i>Larix decidua</i> B1	+	+	.	.	4	.	.	2	1	1	1	1	.	.	+	.	2	1	.	.	+	+	2	+	.	.	1	.	3	1	+	1	
<i>Fagus sylvatica</i> B1	1	.	2	3	1	.	5	4	1	4	2	2	3	5	1	3	4	1	2	.	5	2	.	1	.	.	.	1	+	.	+	3	4
<i>Polytrichum formosum</i> M	.	.	2	1	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	3	3	3	1	.	1	1	1	
<i>Dicranum scoparium</i> M	.	1	1	+	.	.	.	.	1	.	+	.	.	.	1	1	+	+	.	1	.	.	1	1	1	2	2	1	.	1	1	.	+
<i>Leucobryum glaucum</i> M	.	+	+	+	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	+	3	.	.	+	+	+	.
<i>Blechnum spicant</i>	.	.	+	1	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	+	.	+	+	.	.	.
<i>Athyrium filix-femina</i>	.	.	1	+	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	1	+	.	1	+	.	.	2	1	2	.
<i>Dryopteris filix-mas</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	+	2	1	2	.	.
<i>Dryopteris dilatata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	1	1	.	+	.	2	.	1	1
<i>Fagus sylvatica</i> S	+	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Galium odoratum</i>	1	.	1	.	1	1	.	2	1	.	2	+	.	+	+	2	2	.	+	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	+	1	1	1
<i>Helleborus niger</i>	+	+	.	.	+	1	.	2	+	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	1	.
<i>Sanicula europaea</i>	1	1	1	1	2	+	1	1	2	1	3	.	2	1	.	.	2	1	.	+	1	.	+	2	.	.	+	2	1	2	2	3	3
<i>Acer pseudoplatanus</i>	+	1	+	+	1	1	1	2	.	2	1	+	+	1	+	+	1	1	2	1	1	+	+	1	+	1	.	.	+	1	+	.	.
<i>Cyclamen purpurascens</i>	+	1	+	.	1	+	+	1	+	1	1	+	1	+	+	.	1	+	1	1	+	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dentaria enneaphyllos</i>	+	+	1	.	.	+	2	+	.	2	.	.	.	.	+	1	.	+	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	
<i>Anemone nemorosa</i>	+	.	1	+	.	+	.	.	.	.	+	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Daphne laureola</i>	.	+	.	.	+	+	.	.	.	+	+	.	+	1	1	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.
<i>Paris quadrifolia</i>	+	+	.	.	+	.	.	r	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dentaria bulbifera</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hepatica nobilis</i>	+	.	+	+	1	+	+	.	+	.	1	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
<i>Luzula pilosa</i>	.	.	+	+	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

3.3 Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA):

Die kanonische Korrespondenzanalyse stellt ein Verfahren dar, in dem Vegetations- und Standortdaten direkt miteinander verschnitten werden können, wobei erstere im Vordergrund stehen. Die Artenliste wurde vor der Analyse nach Stetigkeit 2 gekürzt, d.h. es wurden alle Arten, die seltener als zwei Mal im Teildatensatz „Plateau“ vorkamen, aus der Analyse ausgeschlossen. Was die sogenannten Umweltvariablen anbetrifft, so wurde darauf geachtet, dass von der breiten Palette an Parametern, die zur Verfügung standen, nur einige, sorgfältig ausgewählte verwendet wurden, weil dieses Rechenverfahren bei einer überschaubaren Menge an Umweltdaten besser interpretierbare Ergebnisse liefert. Je weniger Randbedingungen entsprochen werden muss, umso weniger wird die optimale Aufspaltung der Objekte (Aufnahmepunkte) im „Vegetationsraum“ durch die Standortdaten eingeschränkt (siehe Methodenbeschreibung - CCA).

Es wurden also einerseits jene stabilen Standortfaktoren ausgewählt, die sich in der Diskriminanzanalyse bereits als bedeutsam erwiesen hatten, und andererseits auch Größen berücksichtigt, die zwar mittel- bis kurzfristige Zustandsformen beschreiben, für das Vorkommen oder Fehlen von Pflanzenarten jedoch von großer Wichtigkeit sind.

Um die Variablenzahl möglichst klein zu halten, wurden die Bodentypen auf das letztlich entscheidende Merkmal „Pseudovergleyung“ reduziert, also eine Nominalvariable kreiert.

Außerdem wurde vor der CCA versucht, Variablen, die den Lebensraum Boden quantitativ beschreiben (Gründigkeit, Skelettgehalt, Mächtigkeit des ersten Mineralbodenhorizontes, Mächtigkeit der Auflage und deren Trockenmasse), in einer Faktorenanalyse zu griffigen Hauptfaktoren zu bündeln und mit diesen weiterzurechnen. Dabei ergaben sich zwei Faktoren mit einem Eigenwert größer 1, die weiterverwendet wurden: Faktor 1, der einen Erklärungsgehalt von 36,5 % hatte, ist belegt mit der Gründigkeit ($r=0,82$) und dem Skelettgehalt ($r=-0,87$); auf den Faktor 2 (25,7 %) laden die Trockenmasse der Auflage ($r=0,82$) und die Auflagenmächtigkeit ($r=0,89$) hoch. In die CCA gingen schließlich ein:

veränderliche (bestockungsabhängige)

Überschirmungsgrad
pH-erster Mineralbodenhorizont
C/N erster Mineralbodenhorizont
Humusakkumulation (Faktor 2)

stabile Standortparameter

3 Mesoreliefformen
Pseudovergleyung (ja/nein)
Gründigkeit versus Skelettgehalt (Faktor 1)

Die ersten drei kanonischen Achsen bilden gemeinsam 59 % (28 + 17 + 14 %) der Gesamtvarianz des Modells ab, ein Prozentsatz, der für derartige Analysen durchschnittlich ist. Die sehr hohen Inter-set Korrelationen zwischen den Arten-Umweltachsenpaaren (vgl. Tabelle 5) zeigen zudem einen engen Zusammenhang zwischen den Umwelt- und den Vegetationsdaten an. Die auffälligste Variable, die den Biplot (Abbildungen 6, 7) beherrscht, ist der $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ -Wert des Oberbodens, ein Ergebnis, das eigentlich aufgrund der mittleren Zeigerwerte der Vegetation (vgl. Abbildungen 1 und 2) für das Plateau zu erwarten war. Die Bodenreaktion erklärt also am besten die Variation der Gesellschaftszusammensetzung. Die niedrigeren pH-Werte an den tiefgründigeren Braunlehmstandorten sind zwar durch das entkalkte Ausgangsmaterial selbst zu begründen, könnten zum Teil aber auch Folge der von Nadelhölzern dominierten Bestockung an diesen Punkten sein, speziell im Oberboden. Besonders die Fichte wurde ja aus ertragskundlichen Gründen dort gefördert, obwohl die flachwurzelnde Baumart gerade auf tiefgründigen, pseudovergleyten Standorten fäule- und windwurfgefährdet ist. Auch der betont feuchte Aspekt der Vegetation an diesen Standorten

kann nicht zuletzt von der Bestockung selbst herrühren, weil die Fichte nicht in der Lage ist, das Bodenprofil zu erschließen und zu entwässern.

Interessant ist die Tatsache, dass trotz Humusakkumulation an den buchenreichen Punkten (linker unterer Quadrant) die pH-Werte des Endohumus höher und die C/N-Verhältnisse enger sind und somit eigentlich bessere Umsatzbedingungen signalisieren. Dass es trotzdem zum Anwachsen der Auflageschichten kommt, liegt an der dichtgeschlossenen Baumschicht (Buche in Haupt- und Nebenbestand), die zum einen das Bestandesklima und somit den Streuumsatz beeinflusst, und zum anderen viel Bestandesabfall produziert. Dadurch wäre zumindest zum Teil auch der sonderbare Effekt zu erklären, dass in konvexen Geländeteilen, also in Verlustlagen, größere Auflagemengen vorgefunden wurden.

Über die fünf Standortsgruppen, die im vorigen Abschnitt gebildet wurden, ist zu sagen, dass sich die Gruppen 1, 2a und 2b wiederum weitgehend überlappen. Sie sind größtenteils in der linken Graphikhälfte zu finden, wo auf Seiten der Vegetation anspruchsvolle Laubwaldarten (*Dentaria enneaphyllos*, *Hepatica nobilis*, *Paris quadrifolia*) und schattenertragende Arten (*Cyclamen purpurascens*, *Asarum europaeum*) vorherrschen, während die rechte Hälfte durch eine auffallende Konzentration an Farnen, Moosen und sonstigen Feuchte- (*Deschampsia cespitosa*, *Carex pendula*, *Carex remota*, *Juncus effusus*) und Säurezeigern geprägt ist. In diesem Bereich liegen die Gruppen 3a und 3b, die deutlich entlang der zweiten Achse auseinanderfallen. Eine Interpretation dieser Achse ist jedoch schwierig. Sie scheint hauptsächlich Punkte in konkaver Lage von Punkten in ausgeglichenen Geländeteilen zu trennen.

Tabelle 5: Inter- (graue Schattierung) und Intra-set Korrelationen der CCA.

	Spec. Ax 1	Spec. Ax 2	Spec. Ax 3	Envi. Ax 1	Envi. Ax 2	Envi. Ax 3
Spec. Ax 1	1					
Spec. Ax 2	0,07	1				
Spec. Ax 3	0,03	0,06	1			
Envi. Ax 1	0,91	0,00	0,00	1		
Envi. Ax 2	0,00	0,90	0,00	0,00	1	
Envi. Ax 3	0,00	0,00	0,87	0,00	0,00	1
Faktor 1	0,28	0,21	0,56	0,30	0,23	0,65
Faktor 2	-0,49	-0,19	0,54	-0,53	-0,21	0,63
C/N-M1	0,29	0,03	0,30	0,32	0,03	0,35
pH-M1	-0,63	-0,49	-0,25	-0,69	-0,55	-0,29
Psvgl.	0,49	0,16	0,02	0,54	0,17	0,02
konvex	-0,34	-0,35	0,05	-0,37	-0,39	0,06
konkav	0,61	-0,33	0,19	0,67	-0,37	0,22
interm.	-0,05	0,57	-0,18	-0,06	0,63	-0,21
Schirm	-0,27	-0,04	-0,13	-0,29	-0,04	-0,15

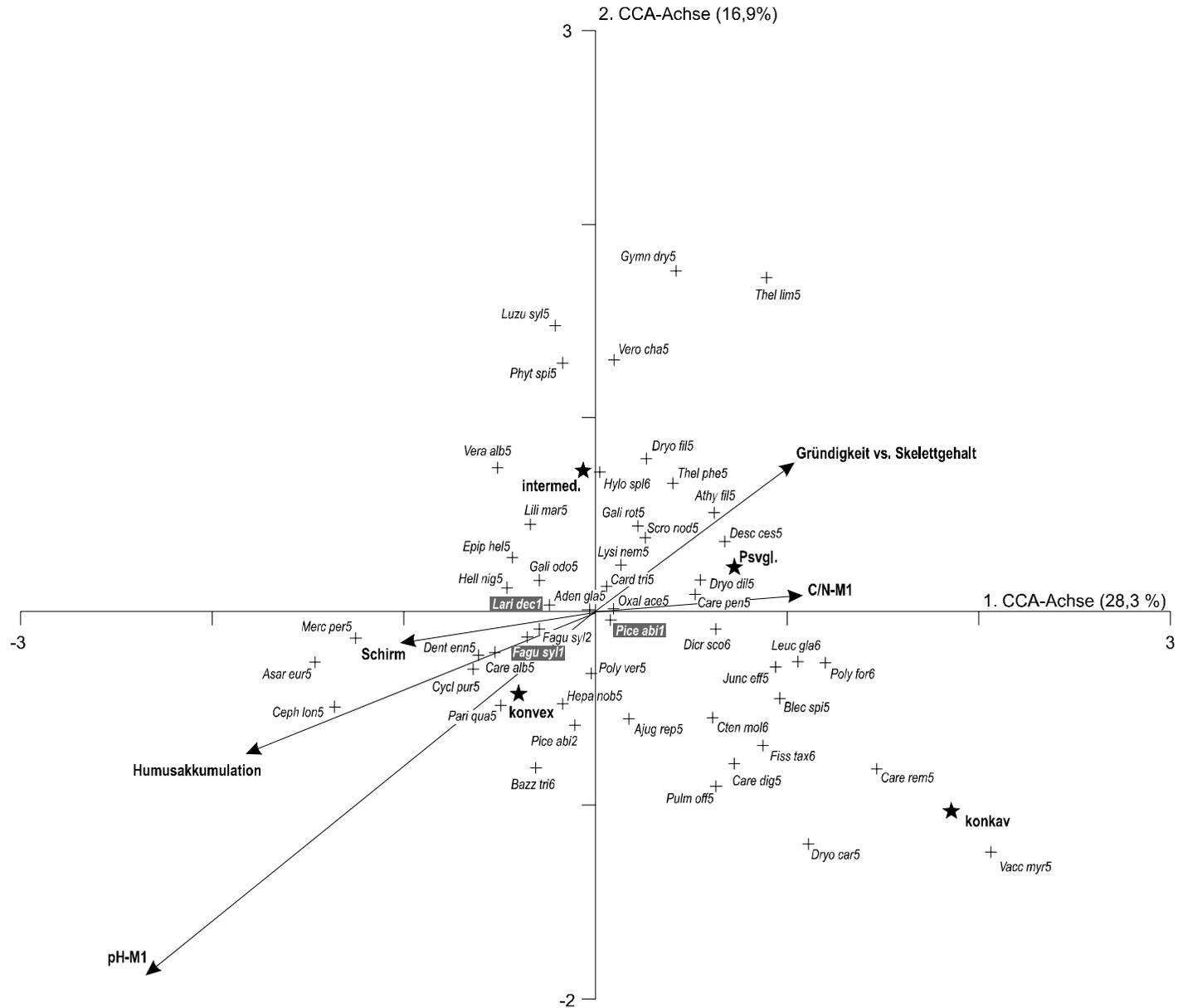


Abbildung 6: Lage der Arten und Standortparameter im CCA-Biplot. Die Hauptbaumarten wurden durch Schattierungen hervorgehoben.

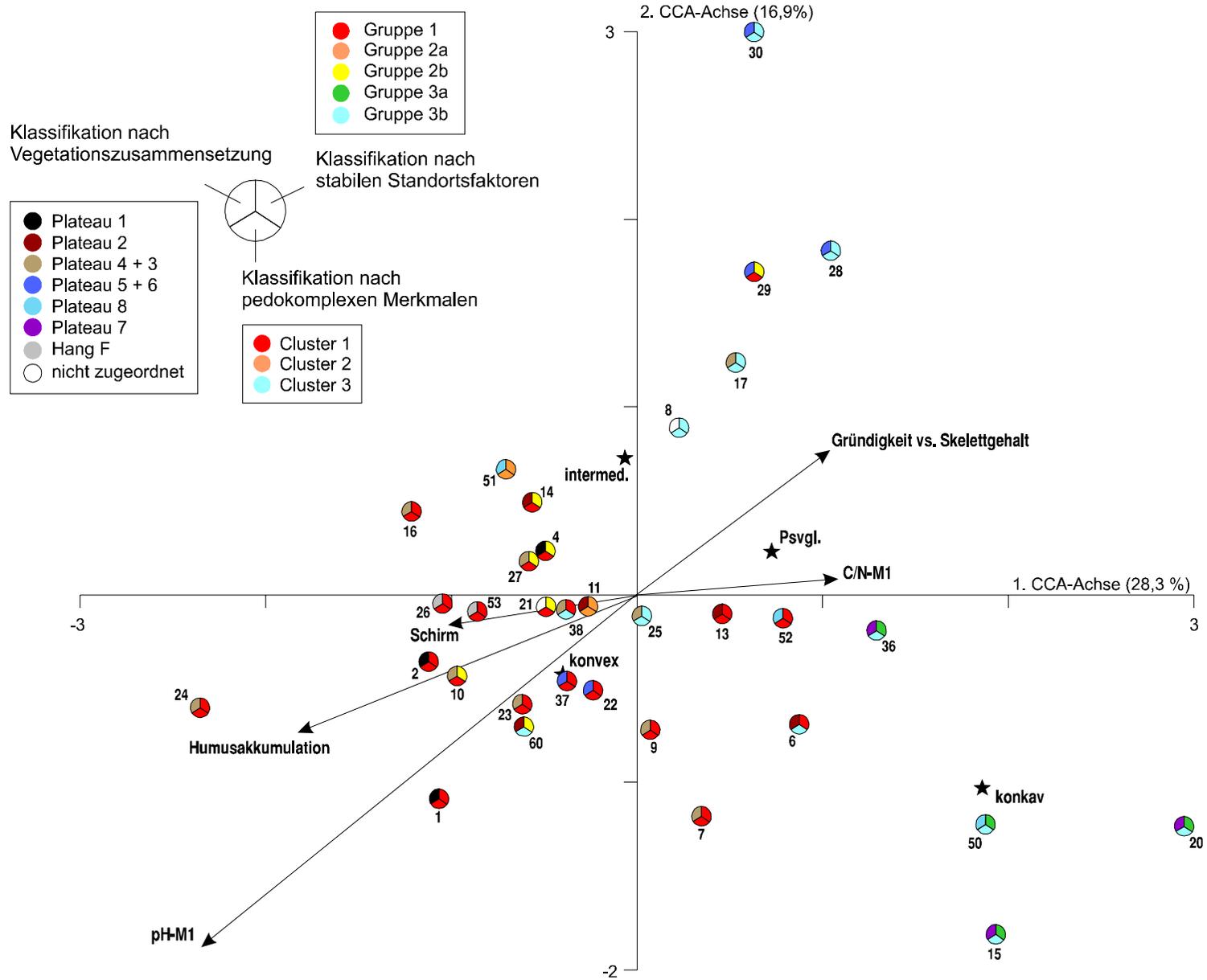


Abbildung 7: CCA-Biplot der Umweltgrößen und der Standorte, die nach ihrer Zugehörigkeit nach drei Klassifikationen gekennzeichnet sind.

3.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen:

In der Clusteranalyse wurden vorerst fünf Gruppen unterschieden, mit der Absicht zu prüfen, ob eine derart feine Gliederung am Plateau standörtlich sinnvoll ist. Die statistischen Analysen von Standorts- und Vegetationsdaten und die Betrachtung der Wuchsleistung gleichsam als integrierende Prüfgröße der Standortbedingungen ergaben, dass diese Einteilung nicht haltbar ist.

Betrachtet man die Bonität der Baumart Fichte - die Gesamtbonität eines Standortes ist am Plateau bei unterschiedlichen Fichtenanteilen stark positiv mit dem Fichtenanteil korreliert - so macht streng genommen nur die Unterteilung in zwei Standortstypen Sinn. Diese wird getragen von den Variablen „Gründigkeit“ und „Bodentyp“, der letztlich auf das Merkmal der Pseudovergleyung reduziert werden kann. Die Schritte hin zur 3- und zur 5-Clusterlösung bedeuten im wesentlichen nur mehr eine Unterscheidung der Aufnahmepunkte nach dem Mesorelief, das sich nur insofern in standörtlichen Unterschieden niederschlägt, als man Pseudovergleyung und besondere Tiefgründigkeit in konvexem Gelände weitgehend ausschließen kann.

Übersetzt in die Wuchsleistung der Fichte bedeutet der Unterschied zwischen den *frischen Braunlehmstandorten* (Gruppen 1 und 2b) und den *feuchten, tiefgründigen Pseudogleystandorten* (Gruppen 3a und 3b) einen Sprung um 2 bis 2,5 Bonitätsstufen (vgl. Tabelle 2). Diese Unterschiede sind zwar statistisch knapp nicht signifikant (multipler Mittelwertsvergleich, Scheffé-Test), zeigen aber eine deutliche Tendenz an. Bei einer engen, wirtschafts-betonten Auslegung des Standortbegriffes, die die Zusammenfassung von Flächen mit gleicher potentieller Baumartenzusammensetzung, ähnlichen Gefährdungen, ähnlicher Wuchsleistung und Bewirtschaftbarkeit vorsieht, ist eine Ausscheidung der seichtgründigen Rendzinastandorte (Gruppe 2a) auf den hervortretenden Kalk- und Dolomitrippen nicht sinnvoll. Zum Einen, weil sie sehr begrenzt vorkommen, und zum anderen, weil die Baumwurzeln von diesen kleinflächigen Einheiten aus immer wieder mit Braunlehm verfüllte Geländeteile erreichen können. Dadurch tritt der Fall ein, dass an diesen als mäßig frisch bis trocken einzustufenden Punkten sehr hohe Bonitäten erzielt werden (vgl. Tabelle 2). Geht man von der Intention des Monitorings aus, so kann man durchaus diesen dritten Standortstyp der *mäßig frischen bis trockenen Rendzinastandorte* ausscheiden, weil die seichtgründigen und locker gelagerten Rendzinen gegenüber Säure- und Schwermetalleinträgen eine wesentlich geringere Filterkapazität aufweisen als die Braunlehme, und man schneller etwaige Schwermetallgehaltsänderungen feststellen kann.

Auch die Vegetation, die jedoch durch menschliche Eingriffe stark verändert ist, lässt innerhalb dieses Datensatzes nur eine Differenzierung in zwei Gruppen zu: einerseits buchen-dominierte Standorte, die durch schattenertragende und anspruchsvolle Laubwaldarten gekennzeichnet und dem *Helleboro nigri-Fagetum* zuzurechnen sind, andererseits Fichtenbestände mit geringer Laubholzbeimischung (*Adenostylo glabrae-Abietetum*), die von Frische- und Säurezeiger geprägt werden. Letztere sind häufig an den pseudovergleyten Standorten zu finden.

Der multiple Mittelwertsvergleich der mittleren Zeigerwerte zwischen den Standortgruppen 1, 2b, 3a und 3b ergab signifikant niedrigere Temperatur-, Stickstoff- und Reaktionszahlen für die Gruppe 3a gegenüber den Gruppen 1 und 2b. Bezüglich der Reaktionszahlen lag auch die Gruppe 3b unter denen der Gruppen 1 und 2b.

Der positive Aspekt an dieser relativen standörtlichen Gleichförmigkeit des Plateaus für das Integrated Monitoring liegt darin, dass Änderungen über die Zeit nicht zwangsläufig in einer großen kleinräumigen Varianz untergehen. Ein homogenes Arbeitsgebiet zu finden, war ja eine der wichtigsten Vorgaben bei der Auswahl des Untersuchungsgebietes.

4 Ergebnisse - Hangstandorte

Die steilen Einhänge zum Weißenbach hin bilden eine Art Arena, die im Nordwesten offen ist, d.h. bis auf die Exposition SO und S ist jede Exposition in diesem Hangsystem vertreten. Die Ergebnisse aus der vegetationskundlichen Auswertung zeigen, dass die Vegetation eindeutig auf den extremen Expositionswechsel von NO nach SW reagiert. So fallen die SW bis W exponierten Hangteile besonders durch ihre niedrigeren Feuchtezahlen auf, was sich pflanzensoziologisch sogar in einem Wechsel der Pflanzengesellschaft auf dem Unterverbandsniveau vom *Daphno-Fagenion (Helleboro-Fagetum)* hin zum *Cephalanthero-Fagenion (Carici-Fagetum)* niederschlägt (vgl. Mucina et al., 1993). Die Stickstoffzahlen nehmen tendenziell hangabwärts ab, was mit der größeren Steilheit im Mittel- bis Unterhangbereich zu tun haben dürfte, die Lichtzahl zeigt die bekannte negative Korrelation mit der Stickstoffzahl. Alles in allem ist aber die Exposition am Hang die dominierende Größe, mit deren Änderung ein großer, die Standortbedingungen bestimmender Gradient durchlaufen wird. Auch der Wechsel der Geländeform wird von den Expositionsunterschieden weitgehend überprägt.

Konnte der Bodentyp am Plateau auf das Merkmal der Pseudovergleyung reduziert werden, so kann am Hang analog dazu der Braunlehmeinfluss herangezogen werden, um die wichtigsten Unterschiede in den Bodentypen zu beschreiben. Kolluvial braunlehmbeeinflusste Rendzinen findet man hauptsächlich in den flacheren Oberhangpartien, wo Braunlehmmaterial durch Abrutschen und Umlagerung aus dem Plateaubereich eingebracht wurde.

4.1 Clusteranalyse

Dieser Ausgangssituation wurde bei der Variablenauswahl für die Clusteranalyse derart Rechnung getragen, dass nur die für den Wasserhaushalt relevanten Größen Makroexposition, Gründigkeit und Skelettgehalt Eingang in die Berechnungen fanden. Die Seehöhe und die Neigung blieben unberücksichtigt, weil sie indirekt in der Gründigkeit oder/und im Skelettgehalt enthalten sind und sie daher ein zu großes Gewicht in der Analyse bekommen hätten, mit dem Effekt, dass die relevanteren Expositionsunterschiede zugunsten der Seehöhe oder der Neigung untergegangen wären. Ähnliches gilt für den Braunlehmeinfluss, der mit der Gründigkeit hoch positiv korreliert ist ($r=0,62^{**}$). Grundsätzlich gilt die grobe Regel: je höher ein Punkt liegt, desto flacher ist die Neigung, desto eher ist Braunlehmeinfluss gegeben, desto niedriger ist der Skelettgehalt des Bodens und desto tiefgründiger ist er.

Mit der Verwendung der euklidischen Distanz im average-linkage Verfahren wurde methodisch dieselbe Vorgangsweise wie bei der Clusterung der Plateaustandorte eingehalten.

Rein formal ergab sich eine 5-Clusterlösung, die für die weiteren Auswertungen und Betrachtungen eigentlich nur vier Gruppen lieferte, weil mit dem Punkt 39 ein Einzelobjekt wegen seiner herausragenden Tiefgründigkeit mathematisch abgesondert wurde. Dieser Punkt gehört aufgrund seiner Merkmale (tiefgründig, geringer Skelettgehalt und Südwest-Exposition) eigentlich zur Gruppe 6, der er auch zugeteilt wurde.

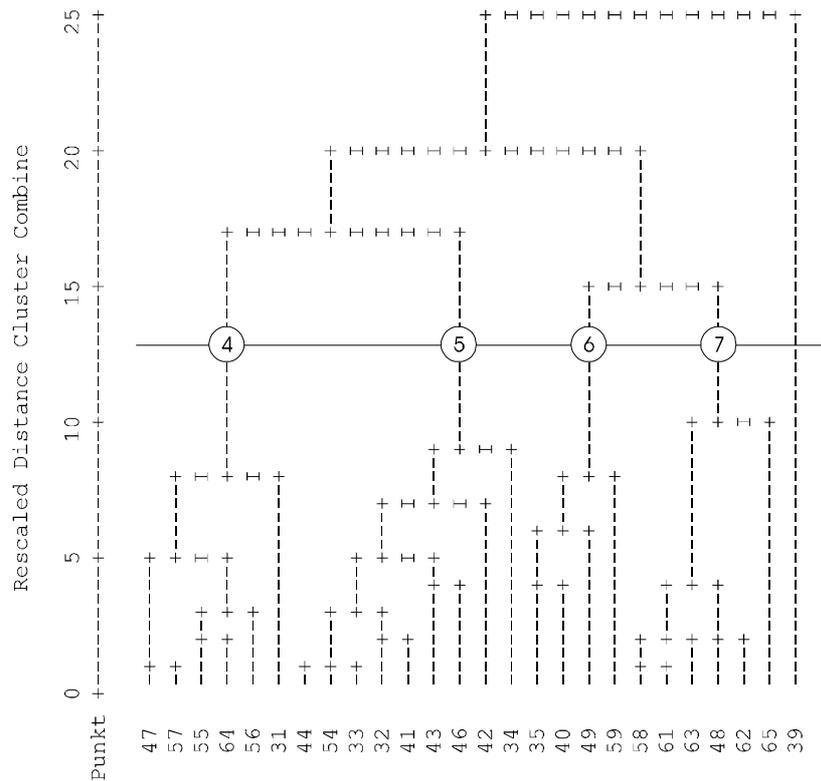


Abbildung 8: Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse mit stabilen Standortfaktoren für den Hang.

4.2 Diskriminanzanalysen:

Die Diskriminanzanalyse mit den aktiven Variablen als Eingangsgrößen bestätigt diese gutachtliche Entscheidung. Es werden alle Punkte gleich klassifiziert, wie in der Clusteranalyse, was bei der Umkehrung des Rechenverfahrens mit denselben Variablen nicht weiter überrascht. Der einzige Ausreißer sozusagen hätte der Punkt 39 sein können. Der Wert dieser Berechnung besteht darin, das Gewicht der Variablen für die getroffene Gruppierung zu erhalten. Obwohl sich alle drei Variablen im F-Test als signifikant für die Gruppenbildung erwiesen, übertreffen der Skelettgehalt und die Exposition die Gründigkeit bei weitem. Von den drei Diskriminanzfunktionen, die alle frei von nennenswerter Irrtumswahrscheinlichkeit sind, erklären die ersten beiden 99,2 % (64,3 + 34,9) der Varianz. In die erste Funktion geht der Skelettgehalt mit dem größten Gewicht ein, die zweite wird von der Exposition bestimmt.

Tabelle 6: Überblick über die statistischen Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit den aktiven Variablen der Clusteranalyse.

Diskriminanzfunktionen:

Fkt.	Eigenwert	% der Varianz	Kanon. Korrr.	Wilks' Lambda	Chi ²	df	Sig
1*	18,277	64,3	0,97	0,0038	119,65	9	0,000
2*	9,925	34,9	0,95	0,0738	56,03	4	0,000
3*	0,240	0,8	0,44	0,8066	4,62	1	0,032

$$y_1 = -0,0524 \cdot \text{Gründ. [cm]} + 0,1737 \cdot \text{Skelett [%]} + 0,3671 \cdot \text{MakExp} - 6,4904$$

$$y_2 = 0,0159 \cdot \text{Gründ. [cm]} + 0,0005 \cdot \text{Skelett [%]} + 3,9532 \cdot \text{MakExp} - 4,6072$$

Diskriminatorische Bedeutung der Merkmalsvariablen:

Gruppenmittelwerte:

Gruppe	Gründ. [cm]	Skelett [%]	MakExp.
4	9	63	1,86
5	13	17	1,66
6	25	24	0,17
7	6	60	0,31

Wilks' s Lambda und univariater F-Test:

Variable	Λ	F	Sign.	Bedeut.
Skelett%	0,0637	107,828	0,000	1
MakExp	0,0930	71,525	0,000	2
Gründ.	0,6064	4,760	0,011	3

Standardisierte Diskriminanzfunktionskoeffizienten:

Variable	Fkt. 1	Bedeut.	Fkt. 2	Bedeut.
Skelett%	1,0497	1	0,0032	3
Gründ.	-0,4521	2	0,1370	2
MakExp	0,0947	3	1,0202	1

Güte der Klassifikation:

n	vorhergesagte Gruppe			
	4	5	6	7
Gruppe 4	6	0	0	0
	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gruppe 5	0	9	0	0
	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Gruppe 6	0	0	5	0
	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
Gruppe 7	0	0	0	6
	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

richtig klassifizierte Fälle: 100,0%

Apriori Wahrscheinlichkeiten: Gruppe 4 23,1% Gruppe 6 19,2%
Gruppe 5 34,6% Gruppe 7 23,1%

Standortkundlich bedeutet der erste Schnitt im Dendrogramm (Abbildung 8), der die Gruppen [4, 5] von den Gruppen [6, 7] trennt, eine Unterteilung in Schatt- und Sonn- hänge, die sich dann jeweils in eine mittelgründige, skelettärmere und eine seicht- gründige, skelettreiche Variante aufspalten. Die wichtigsten Vegetations- und Stand- ortsmerkmale der einzelnen Aufnahmepunkte sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Zu beachten sind vor allem die Bonitäten des Gesamtbestandes und die mittleren Feuchte- zahlen der Vegetation, die höchst signifikant positiv miteinander korreliert sind ($r=0,75^{***}$) und sehr gut den unterschiedlichen Wasserhaushalt der Standortgruppen widerspiegeln.

Tabelle 7: die wichtigsten Kenngrößen der Hangstandorte im Überblick. Der Bodentyp wurde hier durch das einzige differenzierende Merkmal „Braunlehmeinfluss“ ersetzt, da ohnehin nur Rendzinen vorlagen.

Punkt Nr. Cluster	47 4	57 4	55 4	64 4	56 4	31 4	44 5	54 5	33 5	32 5	41 5	43 5	46 5	42 5	34 5	35 6	40 6	49 6	59 6	39 6	58 7	61 7	63 7	48 7	62 7	65 7
Humusform	Mull	molMu	Mull	Mull	Mull	Moder	mulMo	Mull	Moder	Mull	Mull	Mull	Moder	Mull	Mull	Moder	Mull	Moder	molMu	mulMo	Mull	Moder	mulMo	Mull	mulMo	Moder
Aufl.[cm]	3	2,5	3	3	4	6,5	6,5	4	2,5	3	3	2,5	5	2	2	5	2,5	6,5	4,5	2,5	2,5	5	3,5	2	4,5	3,5
TM-Aufl. [g/m²]	314	658	748	709	257	987	1201	661	2360	644	455	60	778	159	777	2702	322	1513	318	754	217	1190	856	300	732	533
Braunlehmeinfl.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Gründigkeit	5	5	9	12	16	5	12	12	14	20	17	5	5	20	13	20	22	21	6	54	5	6	8	10	6	2
Skelett-%	60	60	60	60	60	80	15	15	15	15	15	15	15	30	15	30	30	15	15	30	60	60	60	60	60	60
M1[cm]	5	5	9	12	10	3	12	12	2	11	17	5	5	20	13	20	13	8	6	3	4	6	8	10	6	1
C/N-M1	12,0	13,0	14,3	11,4	14,3	14,0	16,1	14,2	16,4	13,2	14,6	12,9	22,9	14,2	10,7	9,8	11,5	13,6	13,3	14,3	14,0	14,0	14,9	16,0	14,0	14,0
pH-M1	6,8	6,7	6,6	6,9	6,8	6,6	6,2	6,6	6,7	6,8	6,6	6,6	5,9	6,6	7,0	6,9	6,6	6,6	6,5	6,5	6,6	6,6	6,5	6,7	6,6	6,6
Geländform	interm.	interm.	interm.	konv.	konv.	konv.	konv.	konkav	konv.	konkav	interm.	interm.	konv.	konkav	konkav	interm.	interm.	konv.	interm.	konkav	interm.	konv.	interm.	interm.	konv.	konkav
Höhe [m]	703	635	814	623	719	888	795	709	829	846	763	836	739	793	828	860	801	858	865	846	803	868	745	749	808	713
Neigung [%]	63	104	75	80	110	72	81	72	74	76	64	80	68	90	78	60	76	57	70	76	68	65	75	96	74	106
Exposition	N	E	NE	NE	NE	N	E	E	N	N	N	NE	N	N	NW	SW	W	W	W	SW	W	W	W	SW	SW	NW
Bonität Fi		1,9		1,9	1,9		1,9		7,7			4,7	2,8	2,1	3,9	6,6	3,9	1,9	3,5	2,5	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Bonität ges.	10,1	2,7	8,6	2,3	2,6	7,6	5,7	9,3	6,3	7,9	8,9	3,6	4,3	3,7	3,7	6,6	3,4	2,9	4,1	3,5	2,7	2,9	2,8	2,6	2,4	2,4
Feuchtezahl	5,3	5,1	5,3	4,9	4,9	5,5	5	5,3	5,3	5	5,4	5,3	5,1	5	5	5,3	4,9	4,9	4,9	5,1	5	5	4,6	4,9	4,7	4,8

Es wurde nun wieder überprüft, wie gut die getroffene Einteilung mit Hilfe der Vegetationsdaten nachvollzogen werden kann. Dabei wurden alle Arten, die mindestens 4 Mal am Hang vorkamen, in die Diskriminanzanalyse aufgenommen. Aufgrund der Matrixgröße (26 Objekte * 68 Arten) kam wieder das schrittweise Verfahren zum Einsatz.

Diesmal wurden neun Arten in nachstehender Reihenfolge, die ihrer Bedeutung für die Gruppenunterscheidung bei univariater Betrachtung entspricht, in die Diskriminanzfunktionen einbezogen:

Salvia glutinosa
Acer pseudoplatanus B1
Fraxinus excelsior B1
Picea abies B2
Helleborus niger
Pimpinella major
Sorbus aucuparia
Cyclamen purpurascens
Galium sylvaticum

Alle drei Diskriminanzfunktionen sind dazu geeignet, mit mehr als 99 prozentiger Sicherheit die Gruppen zu unterscheiden. Durch die Vegetation können die vier Standortgruppen des Hanges zu 100 % richtig nachgebildet werden. Auch im Ordinationsdiagramm (Abbildung 9) sind sie daher räumlich besser voneinander getrennt, wobei allerdings schon sichtbar wird, dass die seicht- und mittelgründigen Standorte auf der Schattseite (Gruppen 4 und 5) einander pflanzensoziologisch wesentlich näher stehen als dies auf der Sonnseite (Gruppen 6 und 7) der Fall ist.

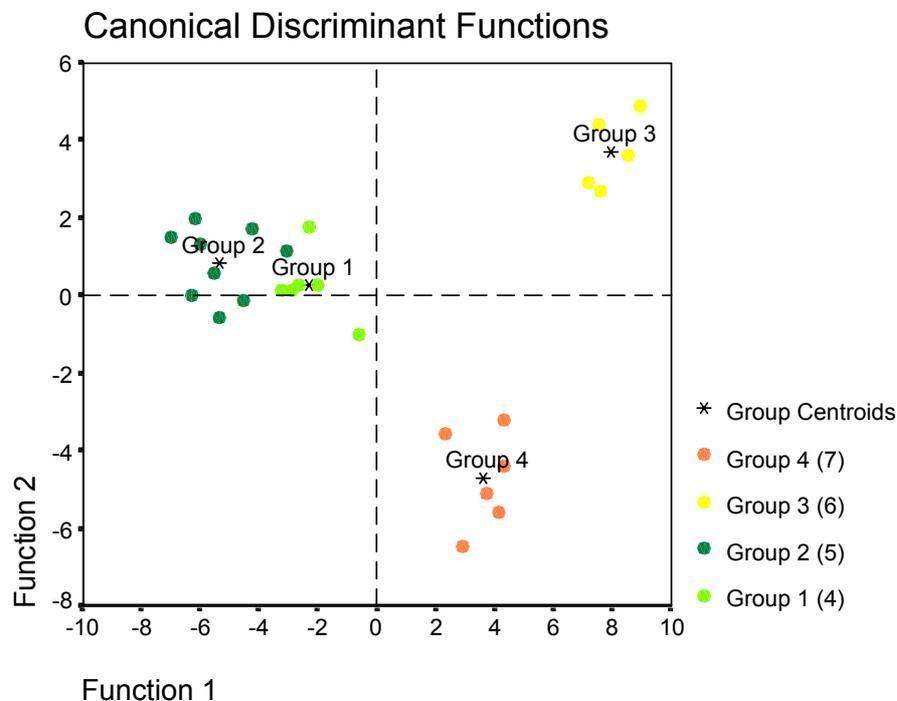


Abbildung 9: Lage der vier Standortgruppen entlang der kanonischen Diskriminanzfunktionen aus Vegetationsdaten.

Tabelle 8: statistische Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit den Vegetationsdaten. Die Gruppenmittelwerte der Arten sind aus transformierten Deckungswerten (van der Maarel, 1979) berechnet.

Diskriminanzfunktionen:

Fkt.	Eigenwert	% der Varianz	Kanon. Korr.	Wilks' Lambda	Chi ²	df	Sig
1*	31,196	73,5	0,98	0,0011	126,37	27	0,000
2*	9,486	22,4	0,95	0,0348	62,14	16	0,000
3*	1,742	4,1	0,80	0,3647	18,66	7	0,009

Diskriminanzfunktionskoeffizienten:

	unstandardisiert (Funkt.)		standardisiert (Bedeut.)	
	Fkt.1	Fkt.2	Fkt.1	Fkt.2
Salvglu5	2,3787	0,5040	2,3344	0,4946
Acerpse1	0,4918	0,9525	0,7165	1,3878
Fraxexc1	-0,2328	-0,7536	-0,4528	-1,4656
Piceabi2	-1,0784	-0,3929	-1,6131	-0,5877
Hellnig5	1,1421	-0,5713	1,9090	-0,9550
Pimpmaj5	1,0482	-0,5716	1,1702	-0,6381
Sorbari5	0,8206	-0,8506	0,6554	-0,6794
Cyclpur5	0,4953	1,3636	0,5143	1,4160
Galisyl5	0,9276	1,5213	0,6914	1,1339
Const.	-7,9766	-1,1822		

Gruppenmittelwerte:

Gruppe	Salvglu5	Acerpse1	Fraxexc1	Piceabi2	Hellnig5
4	1,33	0,50	5,00	0,50	1,33
5	0,22	1,33	2,00	1,80	1,67
6	3,20	3,60	1,60	0,00	3,80
7	3,50	0,00	4,00	2,83	3,33

Gruppe	Pimpmaj5	Sorbari5	Cyclpur5	Galisyl5
4	0,00	0,33	3,17	0,67
5	0,44	0,00	2,78	0,22
6	0,60	0,60	3,00	0,00
7	2,00	0,50	1,33	0,33

Schicht-Codes der Vegetation:	
1	herrschende Baumschicht
2	zweite Baumschicht
3	dritte Baumschicht
4	Strauchschicht
5	Krautschicht
6	Mooschicht

Güte der Klassifikation:

	n	vorhergesagte Gruppe			
		4	5	6	7
Gruppe 4	6	6	0	0	0
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gruppe 5	9	0	9	0	0
		0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Gruppe 6	5	0	0	5	0
		0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
Gruppe 7	6	0	0	0	6
		0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

richtig klassifizierte Fälle: 100,0%

Apriori Wahrscheinlichkeiten:	Gruppe 4	23,1%	Gruppe 6	19,2%
	Gruppe 5	34,6%	Gruppe 7	23,1%

Um auch jene Arten herauszufiltern, die mit den in die Diskriminanzfunktionen aufgenommenen Variablen hoch korreliert sind, wurden die F-Werte der Arten vor dem ersten Iterationsschritt herangezogen. In Tabelle 9 sind neben den Hauptbaumarten alle Arten aufgelistet, die mit weniger als 20 % Irrtumswahrscheinlichkeit zur Unterscheidung der Gruppen verwendbar sind.

Gefunden wurden dabei hauptsächlich solche Arten, die die Gruppe 4 und vor allem die Gruppen 6 und 7 gegenüber der Gruppe 5, die bezüglich des Wasserhaushaltes am günstigsten einzuschätzen ist (schattseitige Lage, mittelgründig, skelettarm), positiv definieren. Der Artenblock von *Carduus* bis *Epipactis* zeichnet die extremste Standortsgruppe (sonnseitig, seichtgründig, skelettreich) aus. Dementsprechend hoch sind die Lichtzahlen dieser Pflanzen bei fast durchwegs niedrigen Feuchte- und Stickstoffzahlen. Die mit abnehmender Trockenheit hinzukommenden Arten ab *Salvia* sind, was Wasser- und Nährstoffhaushalt anbetrifft, bereits als wesentlich anspruchsvoller einzustufen. Ihr Lichtbedarf ist jedoch geringer. Die Reaktionszahlen aller Arten sind naturgemäß hoch.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen 4 und 5 bestehen in erster Linie in der Zusammensetzung der Baumschicht.

Erwähnenswert ist, dass der Bergahorn nur auf den mittelgründigen Standorten als Mischbaumart vorkommt, die sonst hochstete Esche dort aber etwas zurücktritt. Die Tanne trifft man nur auf mittelgründigen, schattseitigen Standorten an.

Tabelle 9: Arten, die mit mehr als 80-prozentiger Sicherheit Unterschiede zwischen den Standortsgruppen anzeigen, inkl. Zeigerwerten und Hauptbaumarten.

	4					5					6					7					L	T	K	F	R	N						
	47	57	55	64	56	31	44	54	33	32	41	43	46	42	34	35	40	49	59	39							58	61	63	48	62	65
<i>Fagus sylvatica</i> B1	5	4	5	4	5	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	.	4	5	2	4	3	4	.	5	3	.						
<i>Picea abies</i> B1	.	1	.	.	.	+	2	.	1	.	1	2	.	1	3	5	1	.	3	1	2	1	4	1	3	5						
<i>Picea abies</i> B2	.	.	.	1	.	.	2	.	.	.	1	1	.	1	1	.	.	.	.	.	2	1	.	1	1	1						
<i>Fraxinus excelsior</i> B1	2	3	2	2	2	1	2	.	.	.	1	.	2	2	.	.	.	.	2	1	2	1	1	1	2	2						
<i>Acer pseudoplatanus</i> B1	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	1	1	1	1	1	.	1	2	2	2	.	.	.	.	.	.
<i>Acer pseudoplatanus</i> B2	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	1	1	.	1	1	.	1	.						
<i>Abies alba</i> B1	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Carduus defloratus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	1	.	7	x	4	4~	8	4
<i>Bupthalmum salicifolium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1	+	1	8	x	4	4	8	3
<i>Campanula glomerata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	+	+	7	x	7	4	7	x
<i>Galium lucidum</i>	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	r	.	+	+	.	+	7	6	4	3	8	2
<i>Molinia coerulea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	2	.	+	7	x	3	7	x	1
<i>Knautia dipsacifolia</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	r	.	+	+	.	1	5	4	4	6	6	6
<i>Cirsium erisithales</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	r	+	.	1	+	+	+	8	x	3	4	9	5
<i>Origanum vulgare</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1	+	+	7	x	3	3	8	3
<i>Vincetoxicum hirundinaria</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1	r	1	.	1	1	2	1	6	5	5	3	7	3
<i>Epipactis atrorubens</i>	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	r	.	.	r	6	x	3	3	8	2
<i>Pimpinella major</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	1	.	.	.	+	.	r	+	+	2	7	5	2	5	7	7
<i>Eupatorium cannabinum</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	1	+	.	7	5	3	7	7	8
<i>Salvia glutinosa</i>	+	+	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	1	+	1	2	+	1	2	1	1	4	5	4	6	7	7
<i>Viola reichenbachiana</i>	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	1	1	+	1	1	1	.	.	.	4	x	4	5	7	6
<i>Galium odoratum</i>	.	.	.	.	1	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	+	r	.	.	.	2	5	2	5	6	5
<i>Sanicula europaea</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	1	.	1	+	.	.	.	4	5	3	5	8	6
<i>Mercurialis perennis</i>	+	1	+	1	.	.	1	+	.	.	.	1	.	.	.	.	1	1	1	3	+	1	+	+	+	.	2	x	3	x	8	7
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	+	.	+	.	+	.	.	.	+	1	.	.	.	.	1	+	1	2	1	1	1	1	.	+	.	1	4	5	3	5	8	5
<i>Hepatica nobilis</i>	.	+	.	+	+	.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.	1	+	+	1	+	+	1	.	+	1	4	6	4	4	7	5
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	1	1	+	.	.	.	+	1	.	+	.	.	.	+	2	.	1	2	2	+	2	2	1	1	2	2	3	5	3	5	6	6
<i>Daphne mezereum</i>	.	+	.	+	1	.	+	+	.	+	.	+	+	+	+	+	+	.	1	1	+	1	+	1	1	1	4	x	4	5	7	5
<i>Daphne mezereum</i> S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	.	.	.	.	.	.	+	4	x	4	5	7	5
<i>Helleborus niger</i>	+	.	1	.	.	1	+	.	+	1	1	+	.	.	1	+	+	1	3	2	1	3	1	+	1	+	3	5	4	5	8	4
<i>Carex flacca</i>	1	2	.	.	2	.	3	1	.	.	r	3	.	+	+	.	1	.	2	.	4	2	3	1	1	3	7	x	3	6~	8	x
<i>Hedera helix</i>	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(4)	5	2	5	x	x
<i>Polystichum aculeatum</i>	r	.	+	+	+	+	+	+	+	.	+	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	3	6	2	6	6	7	
<i>Cyclamen purpurascens</i>	1	+	2	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	+	1	+	1	1	2	+	1	1	.	.	+	.	4	6	4	5	9	5
<i>Senecio fuchsii</i>	1	+	+	1	1	+	.	1	+	+	.	+	.	1	.	1	+	+	2	1	.	1	+	+	.	.	7	x	4	5	x	8
<i>Leucobryum glaucum</i> M	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	+	.	+	+	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	5	3	4	7	1	.
<i>Carex digidata</i>	+	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	3	x	4	5	x	4

4.3 Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA):

Bei diesem Verfahren sollten neben den gewichtigsten stabilen Standortmerkmalen (*Skelettgehalt*, *Exposition* und *Gründigkeit*) wiederum auch jene Variable Berücksichtigung finden, die Zustandsformen beschreiben. Ein Blick auf Tabelle 7 zeigt, dass die Aufnahme der beiden Variablen $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ -Wert und C/N-Verhältnis des Oberbodens, die beide Kenngrößen für den Stoffumsatz sind, in die kanonische Korrespondenzanalyse wenig sinnvoll ist, weil zwischen den Gruppen kaum Schwankungen erkennbar sind. Denselben Schluss kann man zumindest für den pH-Wert auch aus den Zeigerzahlen der Pflanzen ziehen.

Die Humusform bzw. die Mächtigkeit der Auflage oder deren Trockengewicht sollten hier nicht wegen ihrer Rolle als Keimbett bzw. als Weiser für bodenbiologische Aktivität herangezogen werden, sondern vielmehr wegen ihrer Funktion als zusätzlicher Wurzelraum für die Bestockung. Besonders auf extrem seichtgründigen Rendzinen kommt der Auflage eine wesentliche Bedeutung als Wasser- und Nährstoffspeicher zu. Daher wurde die Variable „*Wurzelraum*“ geschaffen, die die Summe aus *Gründigkeit* und *Auflagemächtigkeit* darstellt. Einen weiteren Wasserhaushaltsparameter, der in die CCA einfließt, repräsentiert die Nominalvariable „*Braunlehmeinfluss*“.

Als zusätzliche Größe, die neben der *Exposition* die Lichtverhältnisse charakterisieren sollte, wurde wiederum der *Überschirmungsgrad* verwendet.

Von Seiten der Vegetation wurden wieder alle Arten verwendet, die im Teildatensatz „Hang“ mindestens zwei Mal vorkamen.

Der Erklärungsgehalt des dreidimensionalen Modells liegt hier mit 74 % (34 + 23 + 17) deutlich über dem, der mit den Daten vom Plateau erreicht wurde. Gemeinsam mit den hohen Korrelationen zwischen den Arten-Umweltachsenpaaren läßt dies darauf schließen, dass mit den ausgewählten Variablen tatsächlich die gefunden wurden, die für die Variation der Vegetationszusammensetzung maßgeblich verantwortlich sind.

Tabelle 10: Inter- (graue Schattierung) und Intra-set Korrelationen der CCA.

	Spec. Ax 1	Spec. Ax 2	Spec. Ax 3	Envi. Ax 1	Envi. Ax 2	Envi. Ax 3
Spec. Ax 1	1					
Spec. Ax 2	-0,10	1				
Spec. Ax 3	-0,07	-0,01	1			
Envi. Ax 1	0,93	0,00	0,00	1		
Envi. Ax 2	0,00	0,89	0,00	0,00	1	
Envi. Ax 3	0,00	0,00	0,84	0,00	0,00	1
Exposition	-0,82	-0,35	-0,13	-0,88	-0,39	-0,16
Skelett-%	0,44	-0,47	0,04	0,47	-0,53	0,05
Braunlehm	-0,14	0,26	0,62	-0,15	0,29	0,74
Schirm	0,02	0,58	0,29	0,02	0,65	0,35
Wurzelraum	-0,12	0,57	0,15	-0,13	0,64	0,17

Die herausragenden Variablen (Abbildungen 10 und 11) sind wiederum die *Exposition* und der *Skelettgehalt*, die nahezu normal aufeinander stehen, sprich voneinander unabhängig sind; d.h. skelettarme bzw. skelettreiche Böden sind in allen Expositionen gleichermaßen zu finden. Ähnliches gilt für die Variable „*Wurzelraum*“. Allerdings ist Mittelgründigkeit mit Skelettarmut verbunden. Dass der Schwerpunkt der Variablen „*Braunlehmeinfluss*“ auf der

Seite der tiefgründigeren Standorte liegt, wo auch eine höhere Überschilderung gegeben ist, rundet das stimmige standortkundliche Bild ab.

Die vorhin als lichtbedürftig, trockenheitsertagend und anspruchslos an die Stickstoffversorgung beschriebenen Arten (Block *Carduus* bis *Epipactis* aus Tabelle 9) liegen im Biplot allesamt im rechten unteren Quadranten, die anspruchsvolleren Arten *Salvia glutinosa*, *Sanicula europaea*, *Paris quadrifolia*, *Viola reichenbachiana* oder *Asarum europaeum* im rechten oberen.

Die vier Standortgruppen sind im Biplot (Abbildung 11) ähnlich angeordnet wie im Ordinationsdiagramm der Diskriminanzanalyse (Abbildung 9): die schattseitigen Standorte liegen deutlich enger beisammen, als die beiden sonnseitigen. Der Unterschied zwischen seicht- und mittelgründigen Böden mit hohem bzw. niedrigerem Skelettanteil schlägt sich also an sonnenseitigen Standorten viel drastischer im Wasserhaushalt nieder als an Schatthängen. Deutliche Indizien dafür sind die mittleren Bonitäten der Standortgruppen und die Feuchtezahlen der Vegetation:

	Bonität.ges	FZ
Gruppe 4	5,7	5,2
Gruppe 5	5,9	5,2
Gruppe 6	4,1	5,0
Gruppe 7	2,6	4,8

Sind die Unterschiede in der mittleren Feuchtezahl zwischen den Gruppen 4 und 7 bzw. 5 und 7 mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit gesichert (multipler Mittelwertsvergleich, Scheffé-Test), so sind die Bonitätsunterschiede zwischen den Gruppen wegen der großen Schwankungen innerhalb der Gruppen nicht signifikant. Zwischen den Gruppen 5 und 7 liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit aber nur bei 8 %.

Zur Beurteilung der Wüchsigkeit wurde hier die Bonität über alle Baumarten verwendet, weil es am Hang Punkte ohne Fichten gibt und im Gegensatz zum Plateau die Bonität nicht mehr eine Funktion des Fichtenanteils ist. Nahm am Plateau die Bonität über alle Baumarten deutlich mit dem Mischbaumanteil ab, so liegt an den Hangstandorten die Bonität der Fichte an einem Punkt meistens unter der Gesamtbonität des Standortes.

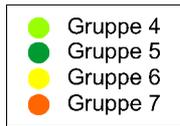


Abbildung 10: Lage der Arten und Umweltparameter entlang der ersten beiden CCA-Achsen. Die Hauptbaumarten sind durch Schattierungen hervorgehoben.

Klassifikation nach
Vegetationszusammensetzung



Klassifikation nach
stabilen Standortsfaktoren



Klassifikation nach
pedokomplexen Merkmalen

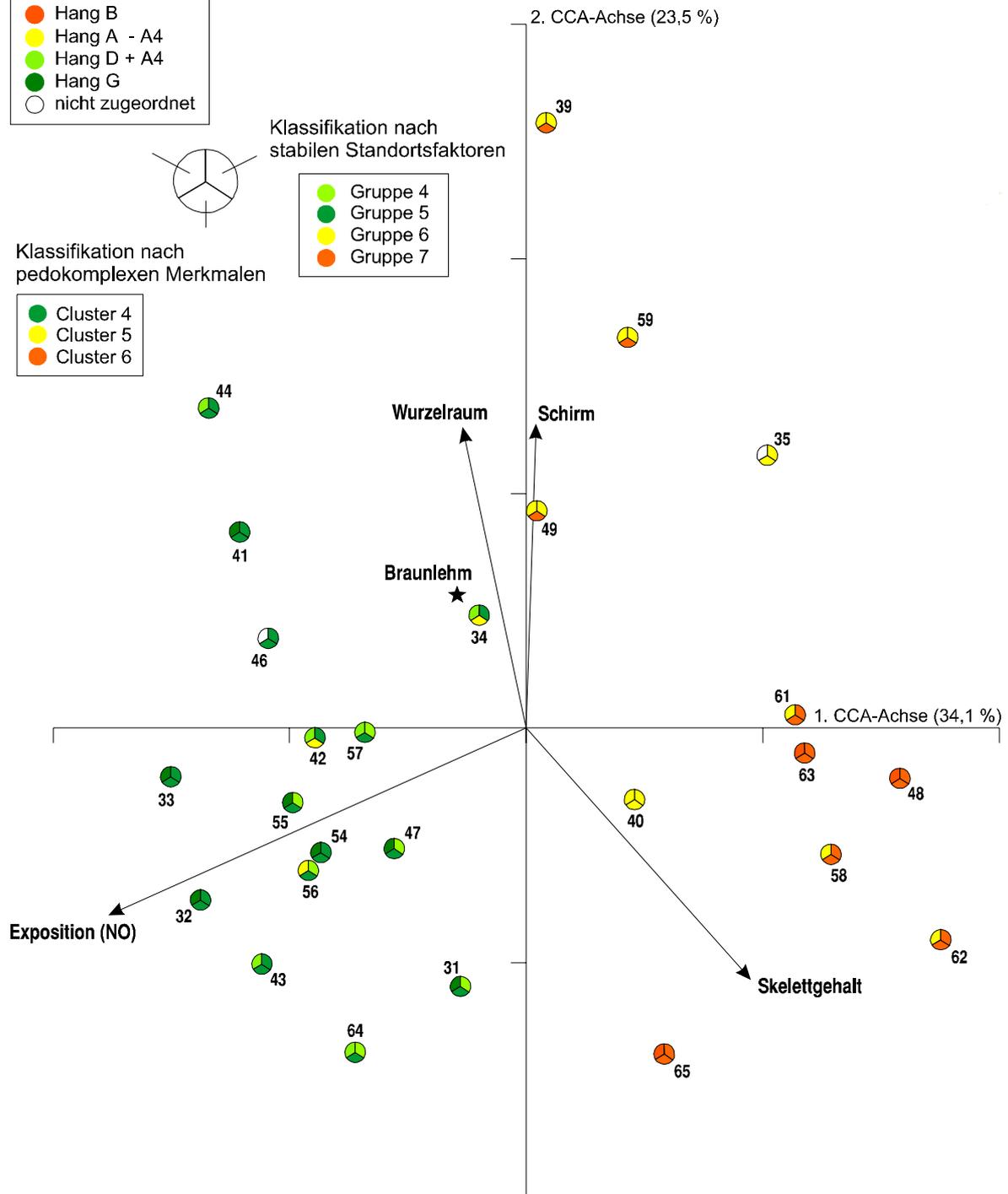


Abbildung 11: CCA-Biplot der Umweltvariablen und der Standorte, die nach ihrer Zugehörigkeit nach drei Klassifikationen gekennzeichnet sind.

4.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen:

In dieser Arbeit werden vorwiegend mittels multivariater statistischer Verfahren diagnostische Standorts- und Bodenmerkmale sowie für das Pflanzenwachstum bedeutsame Bodenparameter mit vegetationskundlichen Daten verknüpft. Ein Ziel der Arbeit ist die Herausarbeitung funktioneller ökologischer Artengruppen, die eine Umlegung der an einer geringen Anzahl von Probepunkten gemessenen Bodenparameter auf ein dichteres Rasternetz bzw. auf die Fläche erlauben. Ein weiteres Ziel ist die Erklärung komplexer Zusammenhänge zwischen physikalischen und chemischen Standortfaktoren mit der Vegetation, da diese als sehr sensibler Indikator mittel- und längerfristige ökosystemare Veränderungen rasch und augenfällig anzeigt. Zentrales Ergebnis der Arbeit sind forstliche Standortstypen, die als funktionale Einheiten in sich analoge Veränderungen bei Schadstoffbelastung oder anderen Umweltänderungen zeigen sollten.

Der Integrated Monitoring Standort Zöbelboden gliedert sich in einen relativ flachen Plateaubereich und steile, gegen Norden abfallende Hänge. Diese Situation spiegelt sich auch in der Standortsausprägung und der Vegetationsverteilung wider. Am Plateau wurden Attribute wie „frisch“, „feucht“ und „mäßig frisch“ gebraucht, um die ausgeschiedenen Standortstypen zu benennen, weil dort das Baumwachstum in erster Linie von Unterschieden im Wasserhaushalt beeinflusst wird. Die Zusammensetzung der Bodenvegetation zeigt aber auch eine deutliche Reaktion auf den vorliegenden pH-Gradienten. Die Tatsache, dass die feuchten Standorte mit den etwas versauerten weitgehend ident sind, erleichtert die Ausscheidung von Standortstypen. Alles in allem sind die Standortsunterschiede am Plateau jedoch gering.

Wenn für die Hangstandorte ebenfalls Attribute verwendet werden, die auf Unterschiede im Wasserhaushalt verweisen, so ist deren alleinige Anwendung korrekter als für das Plateau, weil der Expositionswechsel von Nordost nach Südwest in Verbindung mit Unterschieden in der Gründigkeit und im Skelettgehalt einen viel größeren und dominanteren Feuchtegradienten bewirken. Dieser manifestiert sich nicht nur in Bonitätsunterschieden, sondern beeinflusst ganz wesentlich auch die Vegetationszusammensetzung. So stellt die Gruppe 7, die man vom Standortstyp her als *trockene, seichtgründige Rendzinastandorte an Sonnhängen* beschreiben kann, aus pflanzensoziologischer Sicht bereits den Übergang vom *Helleboro nigri-* zum *Carici albae-Fagetum* dar. Die Gruppe 6 ist als Vorstufe dazu zu sehen. Botanisch gehören Aufnahmepunkte der Gruppe 6 noch zum *Helleboro nigri-Fagetum*, so wie alle übrigen Standorte des Hanges auch. Vom standortkundlichen Gesichtspunkt her muss man sie als *mäßig trockene, mittelgründige Rendzinastandorte an Sonnhängen* gesondert ausscheiden. Das kühlere und feuchtere Mikroklima an den schattigen Nordost- bis Nordhängen gleicht die Unterschiede in der Gründigkeit und im Skelettgehalt zwischen den Gruppen 4 und 5 soweit aus, dass man sie beide unter dem Begriff *mäßig frische Rendzinastandorte an Schatthängen* zusammenfassen kann. Vegetationskundliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ergaben sich hauptsächlich durch eine unterschiedliche Zusammensetzung der Baumschicht.

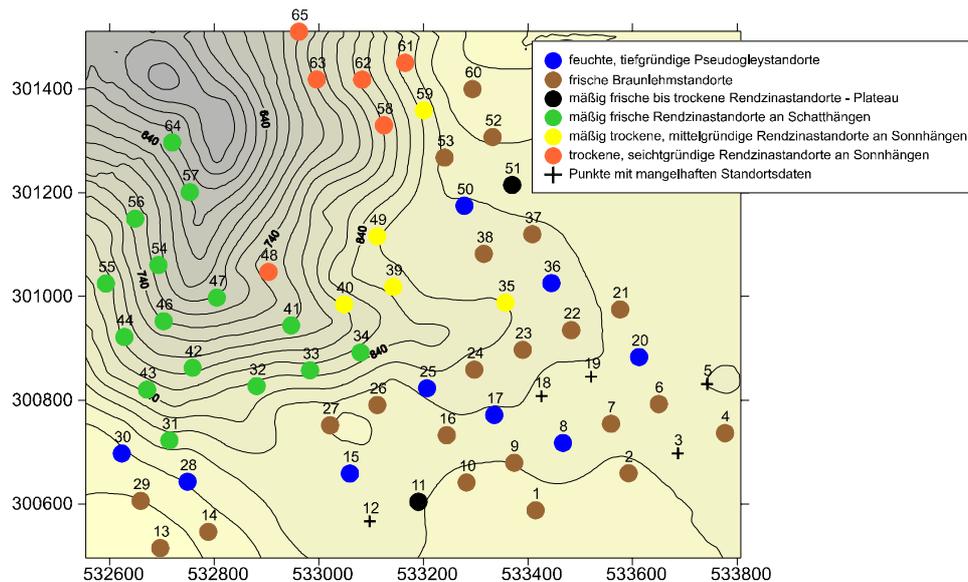


Abbildung 12: Lage der vorgeschlagenen Standortstypen am Zöbelboden.

Das Integrated Monitoring Gebiet Zöbelboden umfasst somit sechs klar voneinander getrennte, den kleinklimatischen und bodenkundlichen Gegebenheiten folgende forstliche Standortstypen (Abb. 12). Diese Standortstypen lassen sich durch wenige differenzierende Pflanzenarten charakterisieren.

Die Bodenvegetation dient als Indikator von ökosystemaren Änderungen. Daher stellt die vertiefte Kenntnis der Zusammenhänge zwischen physikalischen und chemischen Standortfaktoren sowie der Waldnutzung und der Artenzusammensetzung der Bodenvegetation eine Basisinformation für die Beurteilung der Wirkung laufend beobachteter Umweltfaktoren (Schadstoffeinträge und Klima) auf das Ökosystem dar. Ohne diese Information ist eine Trennung der Wirkung der Einzelfaktoren nicht möglich.

Darüber hinaus wurden Möglichkeiten geschaffen, flächige Aussagen zu Ökosystemprozessen für das gesamte Projektgebiet und die weitere Umgebung (z.B. Nationalpark Kalkalpen) zu gewährleisten.

5 Literatur:

- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. und Weiber, R. (1994): *Multivariate Analyse Methoden*. Springer-Verlag, Berlin, 594 S.
- Digby, P.G.N. und Kempton, R.A. (1987): *Multivariate analysis of ecological communities*. Chapman & Hall, London - New York, 206 S.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Duell, E., Wirth, V., Werner, W. und Paulissen, D. (1991): *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Scripta Geobotanica XVIII, Erich Goltze KG, Göttingen, 248 S.
- Fischer, H.S. und Bemmerlein-Lux, F.A. (1990): *Multivariate Methoden in der Ökologie*. Kursskript, Berlin, 133 S.
- Gauch, H.G. jr. (1982): *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 298 S.
- Gratzer, G. (1997): *Wissenschaftliche Bearbeitung der Bodeninventur am Zöbelboden 1992-1996*. Umweltbundesamt, Wien, Integrated Monitoring Serie, IM-Rep-008.
- Hill, M.O. (1973): Reciprocal averaging: An eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology*, 61, 237-249.
- Hill, M.O. (1979): *TWINSPAN - A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes*. Ithaca, N.Y.: Cornell University.
- Jongman, R.H.G., ter Braak, C.J.F. und van Tongeren, O.F.R. (1987): *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen, 299 S.
- Maarel van der, E. (1979): Transformation of cover/abundance values in phytosociology and its effect on community similarity. *Vegetatio* 39, 97-114.
- Mucina, L., Wallnöfer, S. und Grass, V. (1993): *Die Pflanzengesellschaften Österreichs - Teil III: Wälder und Gebüsche*. Gustav Fischer, Wien, 353 S.
- Pichler, F. (1996): *Vegetationskundliche Charakterisierung des Integrated Monitoring Standortes Zöbelboden*. Projektendbericht für das Umweltbundesamt, Wien, 83 S.
- Ter Braak, C.J.F. (1990): *CANOCO - A FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 3.12)*. Agriculture Mathematics Group, Wageningen.
- Whittaker, R.H. (Editor) (1973): *Ordination and classification of plant communities*. Junk Publishers, The Hague, 287-399.
- Zukrigl, K. (1971): *Montane und subalpine Waldgesellschaften am Alpenostrand*. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien 101, Wien, 387 S.