

Aktuelle Aspekte der Vegetationskartierung, der Fernerkundung und geographischer Informationssysteme

- Georg Grabherr und Karl Reiter, Wien -

Abstract

Two case studies are presented here to demonstrate that data acquisition and analysis in vegetation science can be improved substantially when applying the modern tools of spatial analysis such as Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing. They provide new perspectives for the extensive exploration of large areas, and may help to satisfy the requirements for objective sampling and analysis. They allow statements upon the validity of local surveys and studies in a broader context.

Both case studies are applications of a sampling strategy known as stratified random sampling. According to this strategy the area of interest is stratified into homogeneous units. These strata can be defined after segmentation and classification of satellite or other images or/and by combined analysis of thematic maps already available. Within the strata sampling can be carried out by selecting sampling points either randomized, systematic or, under particular circumstances, subjectively. The latter procedure which can be considered as semiobjective might be a satisfying compromise between the traditional subjective sampling in what is called phytosociology and the requirements for objectivity. The second of the presented case studies represents this kind of approach. The first example applies objectively sampled data of forest communities in Austria for evaluation of the already existing classification of the Central European forests.

Case study 1: The data for this study were derived from the project „Hemeroby of Austrian forest ecosystems“ (see GRABHERR et al. 1998). The data set contains 895 vegetation relevés, collected in an objective way and furnish a representative collection of the Austrian forest communities. Classification of this objective sample by application of numerical analysis revealed some surprising results which may have consequences for the recent syntaxonomical treatments of the central European forests. For example: Based on the purely floristic approach of our classification the deciduous green alder communities should be combined with a part of the meso-forbic mountain fir forests (*Athyrio-Piceetalia* p.p.) to an own class. The *Athyrio-Piceetalia* should be split into two units, one on non-carbonatic substrates, the other on carbonatic ones. The latter could easily be combined for their high floristic similarity with the alpine Scotts Pine forests (*Erico-Pinetea*). An other result is that the Beech forests on acid soils (*Luzulo-Fagion*) should not be combined with Oak-forests on acid soils (*Quercetalia robori-petraeae*).

The second example had the purpose to describe the types of mountain meadows in an 120 km² large area in the Prealps of Lower Austria. Here it is shown, that the use of GIS and remote sensing methods allow to carry out a sampling design which guarantees a high degree of objectivity and representativeness. With the revealed data set containing 108 relevés together with habitat data derived from the GIS a predictive model of the meadow vegetation of this area could be developed. Predictions for the distribution of particular plant community types were carried out.

As a conclusion there is no doubt that the new methods of spatial data analysis may help to save time for reconnaissance of the area of interest, and furnish possibilities for designing objective sampling strategies. Classification of plant communities, syntaxonomy in particular, will benefit essentially, which will enhance acceptance of this approach. Vegetation scientists are advised to use this new chance.

1. Einleitung

Die zunehmende Verfügbarkeit leistungsfähiger Computer seit den 70er Jahren führte in der Vegetationskunde als quasi erste Phase zum Durchbruch numerischer Klassifikations- und Ordinationsverfahren (z.B. ORLOCI 1978, GREIG-SMITH 1983, GAUCH 1982, WILDI 1986) und zur Entwicklung heute weit verbreiteter Standard-Software (z.B. TWINSPLAN, HILL 1979; CANOCO, TER BRAAK 1988; MULVA, WILDI 1994 a). Mit der Weiterentwicklung der Fernerkundung und der Einführung computergestützter Geographischer Informationssysteme folgt nun eine nächste Phase, welche vor allem der Vegetationskartierung neue Dimensionen erschließt. Allgemein formuliert, wurden die Möglichkeiten raumbezogenen Arbeitens in der Vegetationskunde enorm erweitert.

Grundsätzlich ist Fernerkundung ein indirekt messendes Verfahren, wobei sich das Meßgerät in einiger Entfernung vom Ort der Messung befindet. Die zu messende Größe wird vom Meßobjekt reflektiert oder wird aus der emittierten elektromagnetischen Strahlung abgeleitet. Der für die Vegetationskunde relevante Fortschritt liegt nun vor allem in der zunehmenden Verfügbarkeit hochauflösender Satellitenbilder (z.B. LandsatTM, Spot), welche auch das Erkennen kleinräumiger Vegetations- und Landschaftstrukturen erlauben. Umfangreich ist inzwischen auch das Angebot digitaler, aus Satelliten- und Luftbildern abgeleiteter Themenkarten (z.B. CORINE - land cover map der Europäischen Gemeinschaft, Moss 1991) und die Verfügbarkeit digitaler Höhenmodelle (DEM - digital elevation model) bzw. digitaler Ausgaben verschiedenster thematischer Kartenwerke (z.B. Klimakarten, geologische Karten, Bodenkarten etc.) und topographische Karten.

Durch den Fortschritt bei der Entwicklung und der hohen Verfügbarkeit Geographischer Informationssysteme, zu definieren als computergestützte Systeme, die in der Lage sind, flächenbezogene, geographische Daten zu erheben, zu verwalten, abzuändern und auszuwerten (SCHALLER & DANGERMÖD 1991), sind die genannten Datensätze heute allgemein verwendbar. Ihr Einsatz im Bereich vegetationskundlicher Fragestellungen wird sich zunehmend zu einem aktiven Explorationsfeld (GOEDICKEMEIER et al. 1997, REITER & GRABHERR 1997) entwickeln, wobei praxisorientierte Fragestellungen z.B. aus den Bereichen Naturschutzpraxis (vgl. KRATZ & SUHLING 1997) oder Landschaftsplanung im Vordergrund stehen mögen (WRBKA et al. 1999). Zu den attraktivsten Anwendungsmöglichkeiten dieser raumanalytischen Methoden zählt das Zusammenwirken mit multivariaten Analysen, aber auf jeden Fall auch die Erstellung objektiver Stichprobenpläne bzw. prädiktives Vegetationsmodellierung.

Zwei Beispiele aus der eigenen Forschung mögen dies verdeutlichen. Die beiden Beispiele wurden gewählt, um zu zeigen, welche neuen Aspekte sich sogar für die Syntaxonomie auf-tun bzw. wie die Verbreitung von Vegetationstypen explorativ erfaßt werden kann.

2. Objektive Stichprobenwahl mit Hilfe raumanalytischer Verfahren - das Beispiel der Vegetationsaufnahmen für das Projekt „Hemerobie österreichischer Waldökosysteme“

2.1 Allgemeines

Die Beschreibung und Erfassung von Vegetationstypen, im Speziellen von floristisch definierten Pflanzengesellschaften, basieren auf einem Set von Vegetationsaufnahmen, die als Stichprobe aus einer Grundgesamtheit aufgefaßt werden können. Die Grundgesamtheit ist das Vegetationsmuster eines mehr oder weniger großen, abgegrenzten Raumes.

Die klassische Vorgehensweise der Pflanzensoziologie erfolgt in Form subjektiver Positionierung der Vegetationsaufnahmen, im wesentlichen nach der Regel, daß Aufnahmen am besten dorthin verlegt werden, wo deutlich erkennbare Standortunterschiede mit bestimmten Pflanzengruppierungen zusammenfallen (BRAUN-BLANQUET 1964). Daß dieses Stichprobendesign zu durchaus plausiblen und akzeptablen Lösungen führt, hat die vegetationskundliche Praxis seit langem bewiesen und ist durch die Natur der Pflanzengesellschaften als redundante Informationssysteme auch theoretisch begründbar (AVENA et al. 1981, GREIG-SMITH 1983, GRABHERR 1985). Die subjektive Stichprobenwahl stößt aber dann auf ihre Grenzen, wenn thematische Ableitungen von der Vegetationsaufnahme das Ziel sind, Vegetationsmonitoring etabliert werden soll bzw. allgemein eine hohe Sicherheit bezogen auf Repräsentativität und Reproduktivität der Aussagen gefordert wird (vgl. WILDI 1994b).

Heute erlauben die Methoden der Fernerkundung und der geographischen Informationsbearbeitung, Stichprobenpläne im Vorlauf zur Feldaufnahme sozusagen „am Schreibtisch“ zu entwerfen, die ohne großen Mehraufwand eine objektive Verteilung der Vegetationsaufnahmen erlauben oder zumindest Mischformen aus objektiver Übersichtswahl und subjektiver Detailwahl ermöglichen, welche mehr Sicherheit liefern.

Die Methode der stratifizierten, randomisierten Stichprobenauswahl (MÜHLENBERG 1989, GREEN 1979) ist wohl die zweckmäßigste Methode. Dabei wird das Gebiet, welches durch eine Stichprobe zu erfassen ist, in relativ homogene Untereinheiten unterteilt, indem zeitlich

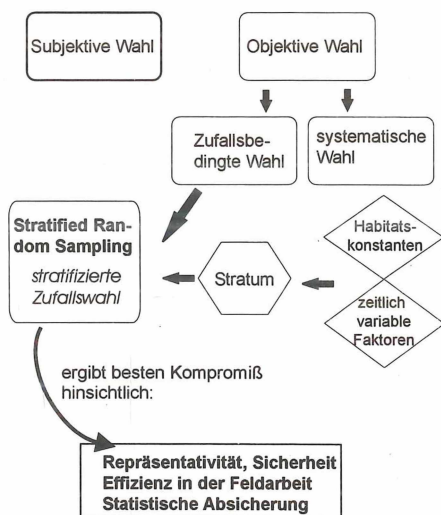


Abb. 1: Mögliche Konzepte der Stichprobenwahl für vegetationsökologische Felderhebungen (aber auch generell anwendbar) mit spezieller Berücksichtigung der stratifizierten Zufallswahl, welche den besten Kompromiß zwischen objektiver Vorgangsweise und Arbeitsaufwand erlaubt.

variable Faktoren (z.B. Klima, Bewirtschaftungsform) und sogenannte Habitatkonstanten (z.B. Höhenlage, Neigung, Exposition) verwendet werden (vgl. Abb. 1). Durch die Stratifizierung des Untersuchungsgebietes kann die Grundgesamtheit in Teilmengen aufgelöst werden. In diesen wird durch zufällige Aufnahmenwahl die Stichprobe auf ein bewältigbares Maß reduziert. Frühe Ausführungen dazu finden sich aus dem Bereich der Vegetationskunde etwa bei OROLCI & STANEK (1980), GRABHERR (1985) oder WILDI (1986).

2.2 Ziel des Projektes, Stichprobendesign und Auswertung

Für das Projekt „Hemerobie österreichischer Waldökosysteme“ (GRABHERR et al. 1998), das zum Ziel hatte, anhand einer repräsentativen Stichprobe über ganz Österreich den Hemerobiegrad von Waldbeständen zu bewerten und schließlich zu einer Gesamtaussage über Österreich zusammenzuführen, wurde folgende Vorgangsweise gewählt (REITER & KIRCHMEIR 1997):

- Vorgegeben war der Raster der österreichischen Waldinventur mit insgesamt 11000 Inventurpunkten, aus denen die Stichprobe zu wählen war;
- Stratifizieren durch Verschneiden verschiedener thematischer Karten (Klimatypen-, Expositions-, Höhenstufen-, Waldwuchsbezirkskarte; siehe Abb.2);
- Randomisierte Auswahl von Waldinventurpunkten für die Aufnahme hemerobierelevanter Parameter (u.a. vollständige Vegetationsaufnahme) pro Stratum.

2.3 Objektive Klassifikation österreichischer Waldgesellschaften

Die beschriebene Vorgehensweise bei der Erstellung des Stichprobenplans führte zur Definition von 1204 Straten, die mindestens einen Probepunkt der österreichischen Waldinventur aufweisen. Die durchschnittliche Waldfläche der Straten betrug 14,6 km², wobei es eine Bandbreite von 0,06 km² bis 1242 km² gibt. Aus diesen 1204 Straten wurden durch Zufallswahl und varianzanalytische Bestimmung des Probenumfangs pro Stratum insgesamt 4892 Probepunkte für die Feldarbeit ausgewählt. Der endgültige Stichprobenplan über ganz Österreich ist in Abb. 2 wiedergegeben. Durch die stratifizierte Vorgangsweise sind heterogene Landschaftsräume wie die nordöstlichsten Kalkalpen wesentlich dichter besetzt als homogene Landschaftsräume wie das Waldviertel.

Neben der Auswertung für die Hemerobie der österreichischen Waldökosysteme (KOCH & GRABHERR 1998) lieferten die im Rahmen des Projektes erhobenen Vegetationsaufnahmen die Möglichkeit, die derzeit herrschenden syntaxonomischen Lösungen für die mitteleuropäischen Wälder zu testen.

Dazu wurde aus dem Set von 4892 Vegetationsaufnahmen ein Subset von 895 Aufnahmen für die numerische Klassifikation (Programm: TWINSPAN; HILL 1979) der österreichischen Waldgesellschaften herausgefiltert. Vorgabe für die Auswahl der Aufnahmen war vor allem das Kriterium, daß die Aufnahmen auf oligohemeroben bis ahemeroben Probepunkten liegen. In Tab. 1 sind die Ergebnisse dieser Auswertung dargestellt.

Wie Tab. 1 zeigt, finden sich praktisch 3 gleichrangige Gruppen:

- Hochmontan/subalpine Nadelwälder borealen Charakters (*Vaccinio-Piceetea*; Gruppe 1-7 in Tab.1); diese unterteilt in bodensaure, moos- und zwergstrauchreiche Nadelwälder (*Vaccinio-Piceetalia* s.l.; Gruppe 1-3 in Tab.1) bzw. hochstaudenreiche Nadelwälder (inkl. Grünlerengebüsche und Grauerlen-Gebirgswälder; *Athyrio-Piceetalia* p.p. inkl. *Alnetum viridis* !; Gruppe 4-7 in Tab. 1);
- „Alpische“ Karbonat-Nadelwälder (Gruppen 8-13 in Tab.1) und diese unterteilt in Kiefernwälder (Schwarz- und Rotkiefernwälder; *Erico-Pineteta*; Gruppe 8-10 in Tab.1) bzw.

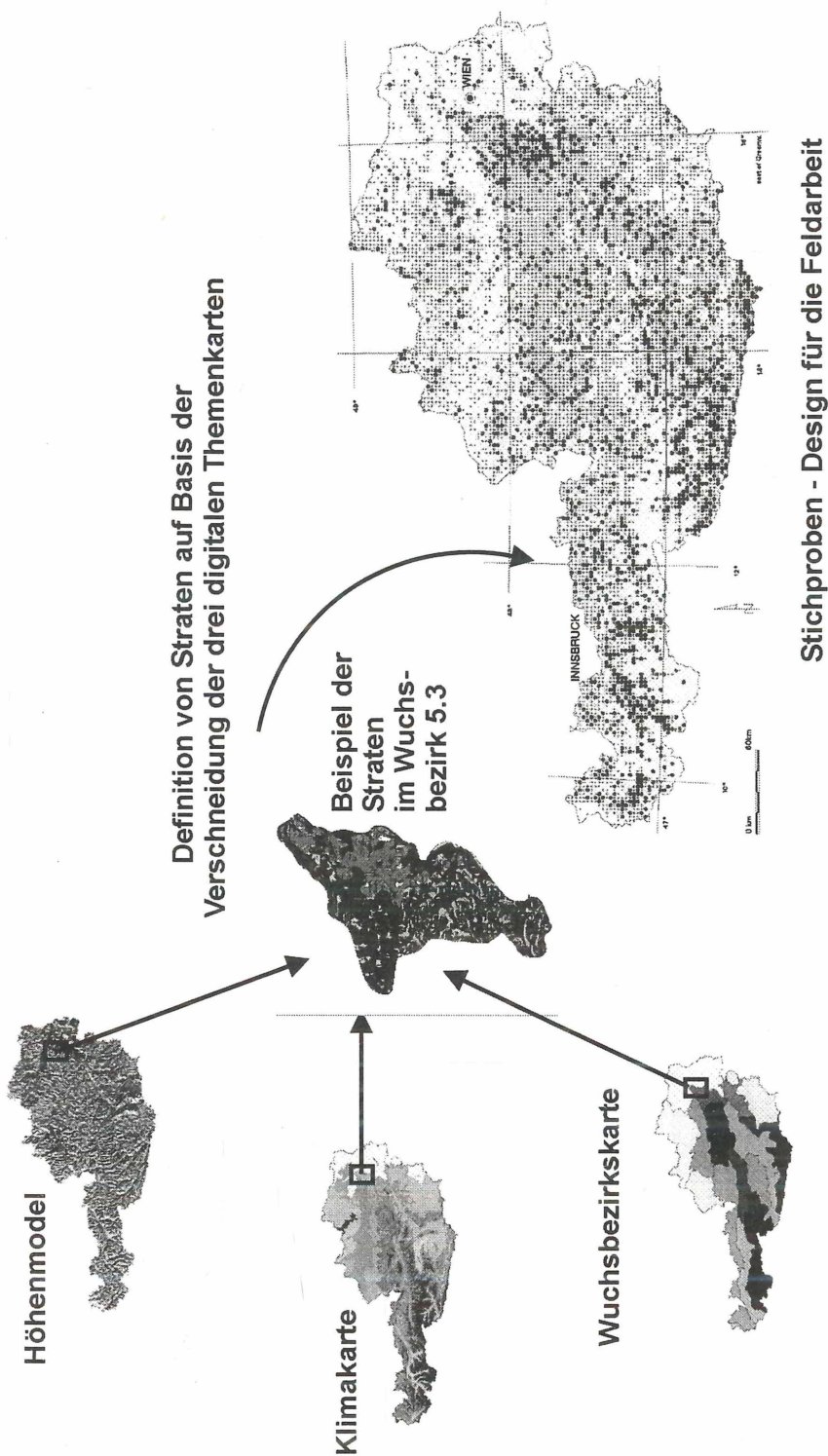


Abb. 2: Entwicklung des Stichprobenplans auf Basis der stratifizierten Zufallszahl für das Projekt „Hemerobie österreichischer Waldökosysteme“. Die Stratifikation erfolgte durch Verschneidung von drei Themenkarten. Aus den Straten wurden zufällig repräsentative Waldinventurpunkte ausgewählt. Der resultierende Stichprobenplan ist auf der rechten Seite wiedergegeben (für Details siehe GRABHERR et al. 1998).

group number of relevés	1 45	2 107	3 158	4 45	5 16	6 13	7 23	8 41	9 26	10 14	11 39	12 76	13 21	14 43	15 8	16 75	17 41	18 17	19 23	20 30	21 11	22 21
<i>Pinus mugo</i> S	●	●			+	+		+			●											
<i>Rhododendron hirsutum</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Pinus cembra</i> T	●	●			+	+		+			●											
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Geranium sylvaticum</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Adenostyles alliariae</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Alnus alnobetula</i> S	●	●			+	+		+			●											
<i>Peucedanum ostruthium</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Crepis paludosa</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Ranunculus repens</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Alnus incana</i> T	●	●			+	+		+			●											
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Deschampsia cespitosa</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Festuca albus</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Viola biflora</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Homogyne alpina</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Calamagrostis villosa</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Dryopteris carthusiana</i> agg	●	●			+	+		+			●											
<i>Avenella flexuosa</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Luzula luteoides</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Pinus sylvestris</i> T	●	●			+	+		+			●											
<i>Euphorbia cyparissias</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Teucrium chamaedrys</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Anemone nemorosa</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Berberis vulgaris</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Leonodon nebulosus</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Pinus nigra</i> T	●	●			+	+		+			●											
<i>Thalictrum minus</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Aposotis foetida</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Asplenium viride</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Adenostyles glabra</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Helianthus niger</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Lonicera alpigena</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Hepatica nobilis</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Buphthalmum salicifolium</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Sorbus aria</i> agg	●	●			+	+		+			●											
<i>Sesleria alba</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Polygala chamaebuxus</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Erica carnea</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Carduus defloratus</i> agg	●	●			+	+		+			●											
<i>Calamagrostis varia</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Valeriana tripteris</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Carex ferruginea</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Valeriana montana</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Rubus saxatilis</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Larix decidua</i> T	●	●			+	+		+			●											
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	●	●			+	+		+			●											
<i>Vaccinium myrtillus</i>	●	●			+	+		+			●											

Tab. 1: Synoptische Tabelle der Waldgesellschaften Österreichs auf Basis der OBJEKTIV erhobenen Stichprobe von Vegetationsaufnahmen (n = 895) über ganz Österreich. Verwendeter Datensatz aus dem Projekt „Hemerobie österreichischer Waldökosysteme“ (für Details siehe GRABHERR et al. 1998). Spalten: Aufnahmegruppen, in etwa Verbänden entsprechend; Spalten 1-7 entsprechen hochmontan/subalpinen Nadelwäldern borealen Charakters (*Vaccinio-Piceetea* p.p. u.a.), Spalten 8-13 entsprechen „alpischen“ Karbonat-Nadelwäldern (*Erico-Pinetea*, *Vaccinio-Piceetea* p.p.), Spalten 14-22 Laubwälder und Mischwälder tieferer Lagen (*Querceto-Fagetea*). Zeilen: die häufigsten bzw. wichtigsten differenzierenden Arten (T = Bäume, S = Sträucher). An der Basis der Tabelle sind die Teilungsschritte durch TWINSpan angegeben. Die Kreissymbole entsprechen Stetigkeitsklassen (siehe unter Legende).

[illegible]

Legende: + = I, ♦ = II, ● = III, ● = IV-V

Karbonat-Fichten- und Fichten-Tannenwälder (teils mit hohem Buchenanteil; *Athyrio Piceetalia* p.p. u. *Fagion* p.p.; Gruppen 11-13 in Tab.1);

- Kolline und submontane Laubwälder bzw. montane Buchen-Tannenwälder (*Quercus-Fagetea*; Gruppe 14-22 in Tab.1). Die Gruppe der Laubholz-dominierten Wälder ist in sich wesentlich heterogener als die Nadelholz- dominierten Waldtypen.

Die wichtigsten Schlußfolgerungen aus diesem Ergebnis sind zweifellos, daß die Ordnung der *Athyrio-Piceetalia* eine hohe Eigenständigkeit besitzt, neben der Klasse der *Erico-Pinetea* an eine eigene Klasse kalkalpiner Bergnadelwälder und Berg-Mischwälder zu denken wäre und aus österreichischer Sicht die Verknüpfung des *Luzulo-Fagion* (Gruppe 14 in Tab.1) mit den bodensauren Eichenwäldern (Gruppe 22 in Tab.1) nicht gerechtfertigt erscheint. Das Ergebnis dieser Analyse wird in den derzeit in Ausarbeitung befindlichen Tabellenband der Pflanzengesellschaften Österreichs einfließen.

Weiters führt die Analyse deutlich vor Augen, daß die Klassifikation auf Basis rein floristischer Ähnlichkeit zu Lösungen führen kann, die gewissermaßen dem „gesunden Hausverstand“ widersprechen. So legt das hier vorgestellte Ergebnis nahe, die Grünerlenwälder zu den Hochstauden-Fichtenwäldern, d.h. zu den *Athyrio-Piceetalia*, zu stellen. Es zeigt sich deutlich, daß eine akzeptable Klassifizierung der Wälder ohne physiognomische oder standörtliche Zusatzkriterien und Gewichtung nicht auskommt. Letzteres gilt besonders auf Verbands- und Assoziationsniveau. Ebenso wird man das Trennartenprinzip auch auf höherem Niveau akzeptieren müssen. Hochstete Charakterarten sind auch auf höheren Niveaus eher die Ausnahme, Charakterarten, die selten auftreten (z.B. *Goodyera repens* für die *Erico-Pinetea*) für die Identifikation der Gesellschaft nur eingeschränkt brauchbar.

Die hier vorgestellte Analyse läßt den Schluß zu, daß mit objektiv erhobenen Datensätzen und numerischen Auswertetechniken die syntaxonomische Systematisierung neue Impulse erfährt, die Systeme selbst zunehmend stabiler werden und allgemein die Akzeptanz floristisch orientierter Vegetationstypisierung gefördert werden kann.

3. Prädiktive Vegetationskartierung am Beispiel der Wiesenvegetation der nordöstlichsten Kalkalpen

3.1 Allgemeines und Ziel der Untersuchung

Seit Beginn vegetationsökologischer Forschung stand das Aufdecken von Relationen zwischen Standort und Vegetation im Zentrum des Interesses. Die Aufnahme von Höhenlage, Exposition, Neigung, Bodentyp etc. zählte und zählt zum Standard jeder Vegetationsaufnahme. Im Umkehrschluß sollte es möglich sein, die Vegetation vorauszubestimmen, wenn nur die Standortparameter bekannt sind. Auf diesem einfachen Prinzip basieren heute die sogenannten „upscaling“-Verfahren, wo z.B. aufgrund der Verwendung von Luft- oder Satellitenbildern und der Kenntnis von Vegetations- / Standort-Relationen großräumige Prognosen auch bei hoher Auflösung möglich sind. Für alpine Lebensräume haben etwa GOTTFRIED et al. (1998), GUIAN et al. (1998) derartige - und gleichzeitig auch hochauflösende - Vegetationsmodelle vorgestellt. Hier wird ein Verfahren beschrieben, mit dem die Verbreitung verschiedener Wiesentypen als Grundlage für die Entwicklung eines Monitoringkonzepts in den nordöstlichen Kalkalpen Niederösterreichs (untersuchter Raum: 120 km²) vorausgesagt werden konnte.

3.2 Methode der Erstellung des Stichprobenplans (Abb. 3)

Basis für diese Analyse waren Satellitenbilddaten (Landsat TM - Kanäle 7, 5, 4; Auflösung: 30 x 30m). Durch sogenannte Segmentierung (Regiongrowing - Verfahren; vgl. STEIN-

WENTNER et al. 1998) wurde das Bildmuster ermittelt, das heißt erkennbare Grenzen auf Grund spektraler Kriterien im Bild gesucht und nachgezeichnet. Produkt des Segmentierens ist somit ein in größere und kleinere Flächen aufgegliedertes Bild, wobei jede dieser Flächen in der realen Welt eine Bedeutung aufweist (z.B. Waldflächen, Wasserflächen, Grünland, Siedlungsraum, etc.). Die Segmente werden in einem nächsten Schritt durch eine „nicht - überwachte“ Klassifikation zu Klassen, die im Wesentlichen die aktuelle Nutzung repräsentieren, zusammengefaßt. Dabei wird jedes Pixel als eigenständige Einheit betrachtet, die sich aus der Kombination unterschiedlicher Werte der spektralen Kanäle (= Bänder) ergeben, deren sieben es bei Landsat-TM gibt. Basierend auf dem unterschiedlichen Informationsgehalt dieser Kanäle ist es möglich Pixels zu Klassen zusammenzufassen. Diese Klassen begründen sich auf den unterschiedlichen Wellenlängen des sichtbaren Lichtes und des Infrarot - Anteils der Strahlung. Für jedes Segment wird dann jene Bildklasse erhoben, die die Majorität darstellt und dem Segment als Objekteigenschaft zugewiesen.

Neben den Ergebnissen der Bildklassifikation fließen auch noch Informationen aus digitalen Höhenmodellen (DEM) in die Analyse mit ein. DEMs helfen beim Modellieren, Analysieren und beim Aufzeigen von Phänomenen, die mit der Topographie verbunden sind. Die Sinnhaftigkeit der Anwendung solcher Modelle liegt in der Bedeutung des Reliefs als Erklärungsmöglichkeit vieler geowissenschaftlicher Erscheinungen. Seit den 80er Jahren werden DEMs in den Geowissenschaften verwendet. Die Art der Darstellung transformiert jedes z-Attribut einer x,y-Position auf eine z-Achse und erzeugt dabei eine Oberfläche ohne Verdichtung im 3-dimensionalen Raum. (RAPER & KELEK L991).

Die aus dem Höhenmodell abgeleiteten Informationen (Höhe, Exposition und Inklinaton) wurden mit den Ergebnissen der Bildklassifikation verschnitten, das heißt, neben einer geometrischen Überlagerung erfolgte auch eine thematische Überlagerung der Eingangsdaten. So entstand eine Vielzahl von Teilflächen, die bezogen auf die Eingangsinformationen als homogen aufzufassen sind. Jede dieser Teilflächen repräsentiert ein Objekt mit vier verschiedenen Attributen (Bildklasse, Höhe, Inklinaton, Exposition). Aus der Klassifikation dieser Matrix mittels TWINSpan (HILL 1979) ergaben sich jene Klassen (Zusammenfassung von Flächen), welche als Straten dienen. Die resultierenden Straten bestanden somit aus größeren Mengen von ähnlichen, jedoch nicht völlig gleichen Teilflächen. Teilflächen, die sich durch eine einmalige Attributkombination auszeichneten, blieben als eigene Klassen erhalten. Die Teilflächen werden im folgenden als „Regionen“ bezeichnet. Insgesamt wurden 20 deutlich voneinander unterschiedene - durch die Klassifikation erzeugte - Straten gefunden, wobei jedes Stratum im Untersuchungsgebiet durch zahlreiche „Regionen“ repräsentiert wurde.

Durch Zufallsverfahren erfolgte schließlich die Auswahl von je 5 Regionen pro Stratum, wobei durch die Auslegung eines gestuften Diagonaltransekts durch das Untersuchungsgebiet die Zahl der auszuwählenden Regionen eingeengt wurde. Jedes Stratum war jedoch in diesem Transekt mit mindestens fünf Regionen vertreten. Die gesamte Prozedur lieferte somit ein Set von 100 objektiv ausgewählten Regionen, die nun als Ort der Feldaufnahme verwendet wurde. Die 100 Regionen von einer Größe zwischen 1 ha bis 10 ha wurden für die Feldaufnahme aufgesucht und dann in der jeweiligen Region Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Die Zahl der Aufnahmen richtete sich nach der Zahl vorhandener Wiesen- und Weidegesellschaften in der Region, wobei auf jedem physiognomisch unterschiedlichen Standort in einer solchen ausgewählten Fläche eine Aufnahme gemacht wurde. Die Auswahl der Aufnahmeflächen erfolgte in diesem Falle bewußt subjektiv, um den Arbeitsaufwand in der Region noch geringer zu halten.

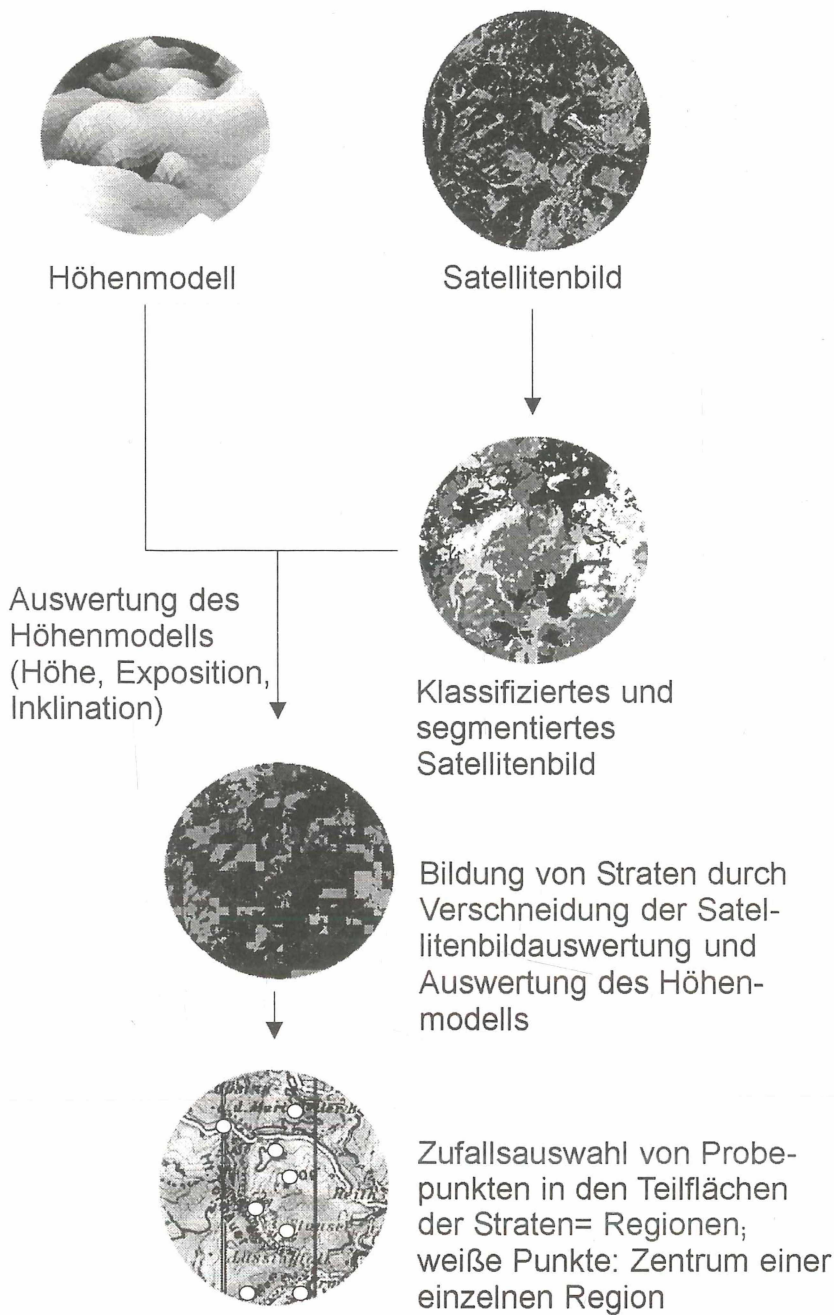


Abb. 3: Darstellung des Ablaufs der Probestellenwahl durch Kombination der Informationen aus einem digitalen Höhenmodell und der Ergebnisse einer Satellitenbildinterpretation, wie sie für die Erkundung der voralpinen Wiesenvegetation Niederösterreichs verwendet wurde. Die daraus resultierenden Straten bildeten die Grundlage für ein Zufallsverfahren von Regionen, das sind Teilflächen, welche zu einem bestimmten Stratum gehören (weiße Punkte in unterster Darstellung markieren Zentren solcher Regionen; teils zu verschiedenen Straten gehörig). In den ausgewählten Regionen erfolgt die Wahl der Flächen für die Vegetationsaufnahmen nach subjektiven Kriterien.

Vegetationskartierung Kalkvorpalen Niederöste

Beispiel: *Crepido-Cynosuretum*

□ Waldflächen

■ Wies- Weide- u. Ackerland

■ Extrapolierte Standorte
des *Crepido-Cynosuretum*

⊕ Standorte einer Aufnahme
des *Crepido-Cynosuretum*

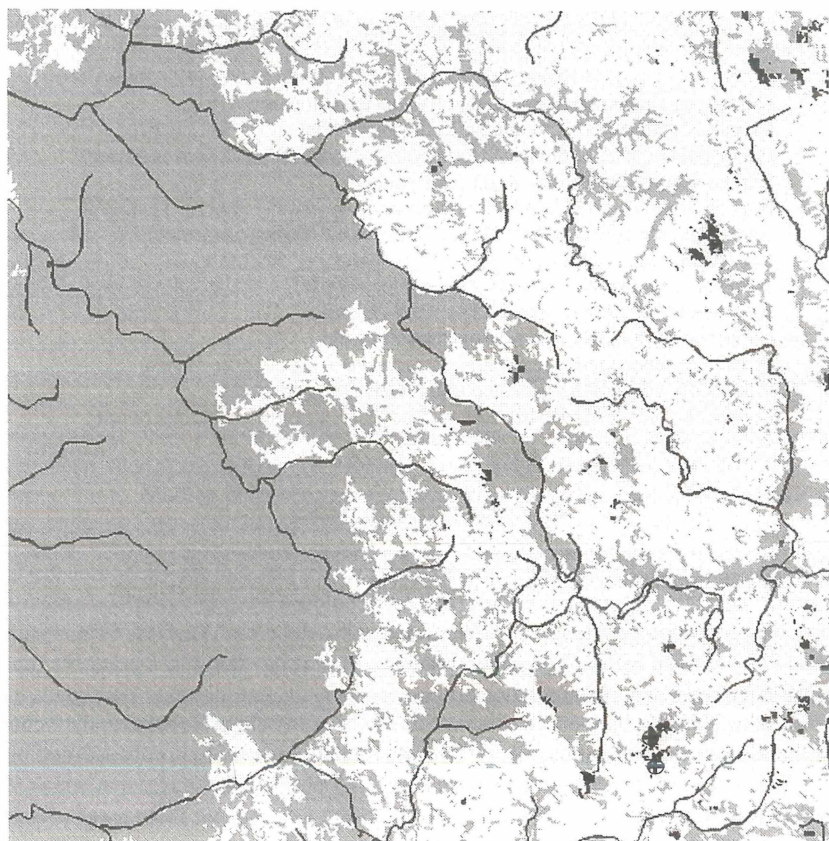
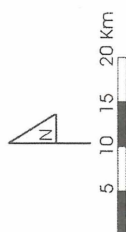


Abb. 4: Modellierung der wahrscheinlichen Verteilung der hochmontan-subalpinen Kammgrasweide (*Crepido-Cynosuretum*) im Gesamtgebiet auf Basis der Kriterien, welche zur Stratifizierung verwendet wurden. Die Kreuzsymbole geben jene Regionen an, in denen die Kammgrasweide aufgenommen wurde.

3.3 Ergebnis und Diskussion

Aufgrund dieses semiobjektiven Stichprobenplanes konnten durch eine Person und in nur 20 Tagen ein repräsentatives Set von Vegetationsaufnahmen für dieses 120 km² (!) große Gebiet erhoben werden. Mit Hilfe dieses Datensatzes (insgesamt 108 Aufnahmen) konnten 13 Assoziationen für das Gebiet belegt werden (Tab. 2). Die spezifische Bindung einzelner Syntaxone an verschiedene Straten erlaubte schließlich, auszuweisen, wo im Gebiet diese noch zu erwarten sind. In Abb. 4 ist dies für die hochmontane - subalpine Kammgrasweide (*Crepido- Cynosuretum*) dargestellt. Die Überprüfung der Güte der Voraussage ist durch einen Vergleich mit Arbeiten im gleichen Gebiet mit gleicher Fragestellung jedoch unterschiedlichem Samplingdesign im Gange.

Semiobjektive Vorgangsweisen, die mit den Schlagwörtern „objektiv in der Festlegung von Untersuchungsregionen - subjektiv bei Erhebungen in der Untersuchungsregion“ charakterisiert werden können, sind aufgrund unserer Studie als zweckmäßiger Kompromiß zwischen Objektivität und Arbeitseffizienz für großräumige Vegetationserhebungen und Landschaftserkundungen zu empfehlen.

Tab. 2: Übersicht der im Untersuchungsgebiet in den Niederösterreichischen Kalkvoralpen auf den waldfreien Standorten identifizierten 13 Pflanzengesellschaften auf Basis einer objektiv erhobenen Stichprobe (n = 108). Erläuterungen siehe Text. Nomenklatur nach GRABHERR et al. (1993).

Homogyno alpinae-Nardetum (Alpenlattich-Borstgrasmatte)
 Crepido-Cynosuretum (Subalpine Kammgrasweide)
 Campanulo rapunculoidis-Brachypodietum sylvatici (Wald-Zwenken-Rasen)
 Carlino acaulis-Brometum (Kalkmagerweiden)
 Euphorbio verrucosae-Caricetum montanae (Wienerwald-Halbtrockenrasen)
 Onobrychido viciifoliae-Brometum (Magere Kalk-Halbtrockenrasen)
 Poo-Trisetetum (Rispen-Gras-Goldhafer-Wiese)
 Astrantio-Trisetetum (Nordalpine Goldhafer-Wiese)
 Angelico-Cirsietum oleracei (Kohl-Distel-Wiese)
 Caricetum davallianae (Davallseggengesellschaft)
 Festuco commutatae-Cynosuretum (Rotschwingel-Straußgras-Weide)
 Filipendulo vulgaris-Arrhenatheretum (Wienerwald-Wiesen)
 Ranunculo bulbosi-Arrhenatheretum (Knollen-Hahnenfuß-Glatthaferwiese)

4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der beiden hier vorgestellten Arbeiten zeigen, daß die Techniken der Datenerhebung und -bearbeitung, verbunden mit der Anwendung Geographischer Informationssysteme und Fernerkundungssysteme, der Vegetationserkundung und Vegetationsanalyse zweifellos neue Perspektiven bieten. Vor allem erlauben sie eine bis dato nicht gekannte raumorientierte Vorgangsweise und ermöglichen Aussagen über die großräumige Gültigkeit lokaler Aufnahmen bzw. Untersuchungen. In diesem Sinne war es in beiden Beispielen die Schaffung von räumlichen Straten, welche die Grundlage der Erstellung von Stichprobenplänen bildete. Im ersten Beispiel wird darauf aufbauend gezeigt, welche Möglichkeiten sich sogar für die Syntaxonomie auf tun, im zweiten, wie die Verbreitung bestimmter Pflanzengesellschaften vorausgesagt werden kann.

Der aus dem Projekt „Hemerobie österreichischer Waldökosysteme“ verwendete Datensatz, bestehend aus 895 objektiv erhobenen Vegetationsaufnahmen, liefert einen ersten und repräsentativen Überblick der in Österreich anzutreffenden Waldgesellschaften. Einige der bis dato gültigen syntaxonomischen Einteilungen werden durch die hier vorgestellte Vorgehens-

weise in Frage gestellt. So zeigt sich, daß aus rein floristischer Sicht die Grünerlenwälder zu den Hochstauden-Fichtenwäldern (*Athyrio-Piceetalia* p.p.) zu stellen wären. Die Ordnung der *Athyrio-Piceetalia* besitzt eine hohe Eigenständigkeit und wäre in hochstaudenreiche und kalkalpine Wälder zu trennen. Letztere könnte man mit den Kiefernwäldern (*Erico-Pinetea*) zu einer eigenen Klasse kalkalpiner Bergwälder und Berg-Mischwälder vereinen. Auch kann mit dem hier erhobenen und analysierten Material eine Verknüpfung des *Luzulo-Fagion* mit den bodensauren Eichenwäldern nicht bestätigt werden.

Das zweite Beispiel, das zum Ziel hatte, die tiefmontanen bis subalpinen Wiesentypen der niederösterreichischen Kalkvorpalen in einem 120 km² großen Gebiet zu beschreiben, zeigt, daß mit Methoden der Geographischen Informationssysteme und der Fernerkundung eine Stichprobe erstellt werden kann, die einen hohen Grad an Repräsentativität und Sicherheit liefert. Dies erlaubte eine darauf aufbauende Modellierung der Vegetationsverhältnisse im Untersuchungsgebiet.

Mit den beiden Beispielen konnte somit gezeigt werden, daß die auf der pflanzensoziologischen Tradition basierende Vegetationstypisierung zahlreiche Anregungen durch raumanalytische Methoden erhalten kann, welche diese besser verwendbar und plausibler machen. Satellitenbilder und grob auflösende Höhenmodelle können wohl keine punktgenaue Identifikation von Flächen für Vegetationsaufnahmen liefern, sie führen jedoch zu einer Methode, die eine erste und zeitsparende Orientierung in Räumen mit größerer Ausdehnung zuläßt. Vegetationskundler sind gut beraten, diese Chancen zu nutzen.

Literatur

- AVENA, G., C. BLASI, E. FEOLI & A. SCOPOLA (1981): Measurement of the predictive value of species lists for species cover in phytosociological samples. - *Vegetatio* **45/81**: 77-84. Den Haag.
- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3.Aufl., Springer, Wien, New York. 865 S.
- GAUCH, H. G. (1982): Multivariate analysis in community ecology. - *Cambridge studies in ecology* 1. Cambridge Univ. Press. 298 S.
- GOEDICKEMEIER, I., O. WILDI & F. KIENAST (1997): Sampling for vegetation survey: Some properties of a GIS-based stratification compared to other statical sampling methods. - *Coenoses* **12(1)**: 43-50.
- GOTTFRIED, M., H. PAULI & G. GRABHERR (1998): Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: A new view of the alpine-nival ecotone. - *Arctic and Alpine Research* **30**: 207-221.
- GRABHERR, G., L. MUCINA & T. ELLMAUER (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil I: Anthropogene Vegetation. - Fischer, Jena. 578 S.
- GRABHERR, G. (1985): Numerische Klassifikation und Ordination in der alpinen Vegetationsökologie als Beitrag zur Verknüpfung moderner „Computermethoden“ mit der pflanzensoziologischen Tradition. - *Tüxenia* **5**: 181-190.
- GRABHERR, G., G. KOCH, H. KIRCHMEIR & K. REITER (1998): Hemerobie österreichischer Waldökosysteme. - MAB-Berichte **18**. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck. 493 S.
- GREIG-SMITH, P. (1983): Quantitative plant ecology. - 3rd Edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh. 359 S.
- GRENN, R. H. (1979): Sampling design and statistical methods for environmental biologists. - John Wiley and Sons., New York, Chichester, Brisbane, Toronto. 257 S.
- GUISAN, A., THEURILLAT, J.P. & F. KIENAST (1998): Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. - *J. of Vegetation Science* **9**: 65-74.
- 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. - Cornell University, Ithaca, New York.
- KOCH, G. & G. GRABHERR (1998): Wie natürlich ist der österreichische Wald ? Klassifikation nach Hemerobiestufen. - *Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges.* **10**: 43-59.

- KOCH, G., H. KIRCHMEIR, K. REITER & G. GRABHERR (1997): Wie natürlich ist der österreichische Wald ?— Ergebnisse und Trends. - Österreichische Forstz. 1/97: 5-8.
- KRATZ, R. & F. SUHLING (1997): Geographische Informationssysteme in Naturschutz, Forschung, Planung, Praxis. - Magdeburg. Westarp-Wiss: 1-3.
- MOSS, D., B. WYATT, M.-H. CORNAERT, M. CEC. ROEKAERTS (1991): CORINE Biotopes Project. Manual: CORINE Biotopes EUR13231 EN, Methodology EUR12587/1, Data specification part 1 EUR 12587/2 EN, Data specifications part 2. Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection (DG XI). - Commission of European Communities, Luxembourg.
- MUCINA, L., G. GRABHERR & S. WALLNÖFER (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teil III, Wälder und Gebüsch. - Fischer, Jena. 353 S.
- MÜHLENBERG, M. (1989): Freilandökologie. - 2. Aufl., UTB 595, Quelle und Meyer. 210-216.
- ORLOCI, L. (1978): Multivariate analysis in vegetation research. - 2nd ed., Junk, The Hague. 451 S.
- ORLOCI, L. & W. STANEK (1980): Vegetation survey of the Alaska Highway, Yukon Territory: types and gradients. - Vegetatio 41: 1-56.
- RAPER, J.F. & B. KELK (1991): Three-dimensional GIS. In: MAGURIE D., Goodchild M. & Rhind, W (Eds.): Geographical Information Systems. New York, Longmann Scientific & Technical: 299 - 317.
- REITER, K. & H. KIRCHMEIR (1997): Geographische Informationssysteme im Lichte der Hemerobiebewertung. - Österr. Forstz. 1/97: 27-29.
- REITER, K. & G. GRABHERR (1997): Digitale Höhenmodelle als Grundlage der Stichprobenwahl bei Vegetationsanalysen. - Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 134: 389-412.
- SCHALLER, J. & J. DANGERMOND (1991): Geographische Informationssysteme als Hilfsmittel der ökologischen Forschung und Planung. - GFÖ Verhandlungen 20: 651-662.
- STEINWENDNER, J., SCHNEIDER W. & SUPPAN, F. (1998): Vector segmentation using multiband spatial sub-pixel analysis for object extraction. In: Proc. Symposium on object recognition and scene classification from multispectral and multisensor Pixels. Columbus, Ohio, USA.
- TER BRAAK, C.J.F. (1988): CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis, Version 2.1. Technical Report LWA-88-02, GLW, Wageningen: 95 S.
- WILDI, O. (1986): Analyse vegetationskundlicher Daten, Theorie und Einsatz statistischer Methoden. - Veröff.Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 90 S.
- WILDI, O. (1994a): Datenanalyse mit MULVA-5. Arbeitskopie, Wald Schnee und Landschaft. 74 S.
- WILDI, O. (1994b): Versuchsplanung und Stichprobenverfahren. Planung und Durchführung pflanzenökologischer Untersuchungen. - SS 1994, unveröff. Skriptum.
- WRBKA, T., K. REITER, E. SZERENCITS, H. BEISSMANN, P. MANDL, A. BARTEL, W. SCHNEIDER & F. SUPPAN (1999): Landscape structure derived from satellite images as indicator for sustainable landuse. In: NIEUWENHUIS, G.J.A., R.A. VAUGHAN & M. MOLENAAR (Eds.): Operational remote sensing for sustainable development. - Proceedings of the 18th EARSeL Symposium on „Operational Remote Sensing for Sustainable Development“, 11-14 May 1998, Enschede. A.A. Balkema, Rotterdam-Brookfield. 119- 127.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Georg Grabherr und Dr. Karl Reiter, Abteilung für Vegetationsökologie und Naturschutzforschung, Inst. für Pflanzenphysiologie, Universität Wien, Althanstr. 14, A1090 WIEN

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [11](#)

Autor(en)/Author(s): Grabherr Georg, Reiter Karl

Artikel/Article: [Aktuelle Aspekte der Vegetationskartierung, der Fernerkundung und geographischer Informationssysteme 353-366](#)