

# Kausalanalyse von Vegetationsveränderungen im Gebirge in Abhängigkeit von Landnutzung und Standortfaktoren

Erich Tasser, Ulrike Tappeiner, Joachim Mulser, Gottfried Tappeiner, Verena Mayr und Bertram Ostendorf

## Synopsis

**Causal analysis of vegetation changes in mountain areas as determined by land use and site factors**

The relationship between vegetation pattern, environmental conditions, and land use was analysed in the subalpine and alpine zone of the »Waltner Mähder« (South Tyrol, Italy). As input variables we have used maps of forestry and agricultural management (mowing, grazing), maps of soil conditions as well as variables derived from the digital elevation model: elevation, slope, potential irradiation, drainage area, accessibility with machinery. The results of a discriminant analysis allowed the following conclusions:

1. The vegetation pattern could be predicted with an accuracy of 80% from environmental site conditions and land use. The resulting relationships between the different vegetation units are conclusive.
2. The results allow the derivation of possible vegetation transitions and to model the vegetation change expected under different land use scenarios.
3. Further improvements might be expected by including information about the length of snow cover or grazing activity as well as through using nonlinear methods (e.g. logistic regression, cluster analysis, neuronal networks).
4. By increasing the extent of the analysis area (e.g. including other project areas) the analysis may become representative also for other parts of the Alps.

*Vegetationsverteilung, Landnutzung, Standortfaktoren, Topographie, Modellierung, GIS, Diskriminanzanalyse, ECOMONT*

*Vegetation pattern, land use, environmental conditions, topography, modelling, GIS, discriminant analysis, ECOMONT*

## 1 Einleitung und Problemstellung

Land- und forstwirtschaftliche Landnutzungsänderungen führen zu Verschiebungen in der Vegetationsverteilung (SPATZ & al. 1993, SPATZ 1994, DIETL 1995, TASSER & al. 1998). Intensivierung, Extensivierung und Flächenumwidmung beeinflussen in Abhängigkeit von den natürlichen Standortfaktoren und der Landnutzung die Etablierung charakteristischer Vegetationsgesellschaften. Kommt es zu einer gänzlichen Aufgabe der Bewirtschaftung (Brachlegung), so setzt eine standortstypische Sukzession in Richtung sekundärer Klimaxvegetation ein.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine Methode zu entwickeln, mittels der folgende Fragen beantwortet werden können:

- a) Welche Umweltfaktoren sind für die Ausbildung der unterschiedlichen Vegetationseinheiten im Bereich des subalpinen Geländes verantwortlich? Welche Bedeutung kommt dabei den einzelnen Standorts- und Landnutzungsfaktoren zu und wie wirken sich die unterschiedlichen Kombinationen der Faktoren auf die Vegetationsverteilung aus?
- b) Lassen sich aus den neu gewonnenen Erkenntnissen ableitbare Vegetationsreihen erstellen? In welchem Zusammenhang stehen dabei die einzelnen Vegetationseinheiten?
- c) Ist es möglich, Szenarien von Vegetationsverteilungen in Abhängigkeit von Landnutzungsänderungen zu modellieren?

Für die Beantwortung dieser Fragen wird nachfolgend ein Verfahren vorgestellt, welches auf der Verwendung des GIS (Geographisches Informationssystem) und des statistischen Verfahrens der Diskriminanzanalyse beruht. Als Eingangsvariablen finden sowohl kartierte (Vegetation, Bodenverhältnisse, Landnutzung) als auch modellierte Faktoren (Neigung, Einstrahlung, Einzugsfläche) Verwendung. Ansätze einer flächenhaften Modellierung der Vegetation finden sich für das MAB-Projektgebiet Berchtesgaden (HEHL 1988) und für ein alpines Einzugsgebiet in den spanischen Pyrenäen (BARRIO & al. 1997).

Die hier vorgestellte Methode wurde im Rahmen des Projektes ECOMONT (CERNUSCA & al. 1996), welches im 4. Rahmenprogramm der EU durchgeführt wird, entwickelt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen erfolgten auf den Waltner Mähdern und dem sich darunter anschließenden Waldgürtel (11° 15' – 19' N, 46° 49' – 51' E) im Gemeindegebiet von St. Leonhard im Passeiertal (Südtirol, Italien). Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich auf der orographisch rechten Talflanke (Südhang) in einer Höhenlage von 1400 bis etwa 2400 m ü. NN und umfaßt eine Gesamtgröße von etwa 9 km<sup>2</sup>. Auf dem durchwegs silikatischen Ausgangsgestein haben sich auf den waldfreien Flächen Braunerden und Ranker, im Waldbereich hingegen Podsole entwickelt. Die Vegetation setzt sich aus einem Mosaik von verschiedenen Gras- und Zwergstrauchbeständen zusammen, an die nach unten hin ein Fichtenwald anschließt.

Die Besonderheit der Waltner Mähder liegt darin, daß die gesamte waldfreie Fläche noch vor etwa 30–40 Jahren gemäht wurden. Sie wurden nach FISCHER (1974) alle ein bis drei Jahre geschnitten. Durch den Strukturwandel in der Berglandwirtschaft der letzten Jahrzehnte wurden auch auf den Waltner Mähdern ein Großteil der ehemals bewirtschafteten Flächen aufgelassen oder einer anderen Bewirtschaftungsform zugeführt. 5% der gesamten waldfreien Fläche werden heute »intensiv« (mit alljährlicher

Düngung und Mahd, mancherorts auch mit Bewässerung) bewirtschaftet und weitere 19% werden extensiv (Mahd alle zwei bis drei Jahre) bewirtschaftet. Auf 18% der Fläche wurden die ehemaligen Bergmähder in Weideflächen für Rinder umgewandelt. Insgesamt 58% sind seit unterschiedlich langer Zeit aufgelassen.

### 2.2 Methode

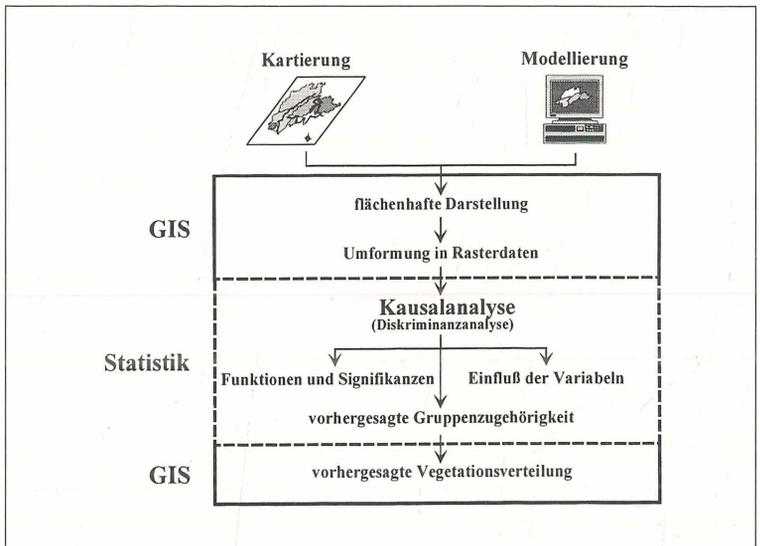
#### Verfahrensablauf

Der methodische Ablauf basiert auf der Verwendung des GIS (ArcInfo, ArcView) und der Diskriminanzanalyse und setzt sich aus vier Hauptschritten zusammen:

- 1) **Erhebung der Daten:** Die verwendeten Variablen (siehe nächstes Kapitel: »Eingangsvariablen«) wurden teils direkt im Gelände aufgenommen, teils auf der Basis eines Höhenmodells für eine Pixelgröße von 5 x 5 m berechnet.
- 2) **Vorbereitung der Daten:** Für die spätere Analyse wurden die kartierten Unterlagen digitalisiert, in Rasterdaten umgewandelt (Auflösung: 5 x 5 m) und in die entsprechende Skalierung übertragen. Die modellierten Werte wurden auch flächenhaft dargestellt und in dieselbe Rasterung übertragen. Die erhaltenen Rasterdaten wurden für den Import ins SPSS als Grid-Files exportiert.
- 3) **Kausalanalyse:** Für die Analyse der Vegetationsverteilung wurde das statistische Verfahren der Diskriminanzanalyse angewandt. Durch diese Prozedur wird die lineare Kombination von Variablen mit Vorhersagefunktionen bestimmt, durch die Fälle am besten in eine von mehreren bekannten Gruppen eingeordnet werden. Diese Lö-

Abb. 1  
Schematische Darstellung der angewandten Methode; GIS = Geographisches Informationssystem.

Fig. 1  
Schematic representation of the applied methods; GIS = Geographic Information System.



sung dient somit zum Klassifizieren von Fällen, deren Gruppe unbekannt ist. In unserem Fall wurde mit Hilfe der unabhängigen Variablen (Landnutzungs- und Standortvariablen) die Gruppenzugehörigkeit der einzelnen Pixel zu einer Vegetationseinheit bestimmt. Aus statistischen Gründen wurde für die Berechnung der Diskriminanzfunktionen eine Zufallsstichprobe von 25% aller 186.000 Pixel verwendet. Das Ergebnis beinhaltet die Vorhersagefunktionen mit den zugehörigen Signifikanzen und den Einfluß der einzelnen unabhängigen Variablen in den jeweiligen Funktionen. In einer zusammenfassenden Tabelle bringt das Verfahren weiters Angaben zur korrekten Klassifizierung aller Pixel zu den einzelnen Vegetationseinheiten.

- 4) **Flächenhafte Darstellung:** Die vorhergesagten Gruppenzugehörigkeiten wurden wiederum in Rasterdaten umgewandelt, ins GIS importiert und dort in Form einer Karte dargestellt.

#### Eingangsvariablen

Die Vegetationsverteilung des Untersuchungsgebietes wurde mit der Methode von Braun-Blanquet (BRAUN-BLANQUET 1964) im Maßstab von 1:5.000 kartiert. Die syntaxonomische Zuordnung erfolgte durch das Klassifikations- und Ordinationsprogramm SORT (ACKERMAN & DURKA 1995). Die phytosoziologische Nomenklatur richtete sich nach MUCINA & al. (1993a,b), DIETL (1995) und OBERDORFER (1978, 1983, 1992). Insgesamt wurden 34 Vegetationseinheiten (Gesellschaften und Varianten) ausgewiesen, die für die beschriebene Methode in 21 Gruppen zusammengefaßt wurden (siehe Tab. 2). Für die Kausalanalyse der festgestellten Vegetationsverteilung

wurden eine Reihe von nicht miteinander korrelierten Landnutzungs- und Standortvariablen verwendet (Tab. 1).

Die Felderhebung der kartierten Standorts- und Landnutzungsvariablen wurden im Maßstab von 1:5.000 durchgeführt. Die aufgenommenen Nutzungsklassen wurden mittels einfacher Quotienten in metrische Skalen übertragen.

- **Forstliche Nutzung:** Quotienten aus der Anzahl der Jahre seit dem letzten menschlichen Eingriff und der Gesamtdeckung der Baumschicht
- **Mahdnutzung:** Quotienten aus der Anzahl der menschlichen Tätigkeiten (Mahd, Düngung, Bewässerung) und der Anzahl der dafür benötigten Jahre

Die Variablen der Weidenutzung, der Bodenfeuchte und des Bodenzustandes wurden als ordinale Skalengrößen in die Diskriminanzanalyse einbezogen:

- **Weidenutzung:** Einteilung in nicht beweidet (0), kaum beweidet (1), mäßig stark beweidet (2) und stark beweidet (3). Die Einteilung erfolgte unter Berücksichtigung der Hangneigung und der Bodenverhältnisse und basiert dabei auf der Einteilung von Weideflächen nach DIETL (1990) und den langjährigen Erfahrungen des Hauptautors mit der Beweidungsaktivität von Rindern. Als nicht beweidete Flächen (1) werden dabei solche Flächen definiert, die durch Weidezäune von einer Beweidung ausgeschlossen sind. Unter kaum beweidete Flächen (1) werden neben steilen Hängen (Hangneigung > 40%), auch Sümpfe, steinige und flachgründige Böden zusammengefaßt. In die Gruppe der mäßig stark beweideten Flächen (2) fallen alle mäßig steilen Hänge (Hangneigung < 40%). Als stark beweidet (3)

Tab. 1

Für die Kausalanalyse verwendete Variablen mit Angaben zum Ursprung, zur Skala und zur Auflösung; L = Landnutzungsvariable, S = Standortvariable.

Table 1

Variables used for the analysis and their origin, scale, and resolution; L= land use variable, S= site condition.

Variable	Typ	Ursprung	Skala	Auflösung
Forstliche Nutzung	L	Kartierung	metrisch	1:5.000
Mahdnutzung	L	Kartierung	metrisch	1:5.000
Weidenutzung	L	Kartierung-Modellierung	ordinal	1:5.000
Bodenfeuchte	S	Kartierung	ordinal	1:5.000
Bodenzustand	S	Kartierung	ordinal	1:5.000
Zufahrt	L	Modellierung (OSTENDORF & al. 1998)	metrisch	5x5 m
Meereshöhe	S	Modellierung (OSTENDORF & al. 1998)	metrisch	5x5 m
Hangneigung	S	Modellierung (OSTENDORF & al. 1998)	metrisch	5x5 m
Einstrahlungssumme	S	Modellierung (OSTENDORF & al. 1998)	metrisch	5x5 m
Einzugsfläche	S	Modellierung (OSTENDORF & al. 1998)	metrisch	5x5 m

werden jene Flächen ausgewiesen, die flach bis leicht geneigt sind (Hangneigung < 20%).

- **Bodenfeuchte:** Einteilung in nasse (2), feuchte (1) und frische Böden (0). Die Einteilung der Bodenfeuchte erfolgte nach der Methode von SCHLICHTING et al. (1995).
- **Bodenzustand:** Einteilung in erodierte (2), gestörte (1) und ungestörte Böden (0). Die Einteilung der Böden erfolgt dabei nach dem Zustand des Bodenprofils. Unter erodierten Böden werden jene Böden verstanden, bei denen aufgrund unterschiedlicher Erosionsereignisse ein Teil oder der gesamte Oberboden abgetragen wurde und die keine bzw. kaum eine Vegetationsbedeckung besitzen. In die Gruppe der gestörten Böden wurden all jene vegetationsbedeckten Böden zusammengefaßt, bei denen der Aufbau des Bodenprofils durch anthropogene (z.B.: Straßenbau, Planierungen, Viehtritt), aber auch durch natürliche Einwirkungen (z.B.: Steinschlag, Ablagerungen) gestört wurde. Ungestörte Böden hingegen weisen keinerlei Störungen im Bodenprofil auf.

Als Grundlage für die Berechnung des Geländemodells und der daraus resultierenden Standortfaktoren (Hangneigung, Einzugsfläche, Einstrahlungssumme) diente die topographische Karte im Maßstab von 1:5.000 mit 5m Höhenlinien. Die Variable »Zufahrt« quantifiziert die Erreichbarkeit im Gelände. Ausgehend von Straßen oder Feldwegen wird mit einem rekursiven »Walk-Algorithmus« das Höhenmodell abgetastet und auf diese Weise geprüft, ob Bereiche schwer oder leicht zugänglich sind. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Modelle und Verfahrensweisen finden sich in OSTENDORF & al. (1998 a, b).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Vegetationsverteilung

Die durchgeführte Vegetationskartierung ergab, daß von den ehemals großflächig vorhandenen Borstgras-Matten (Verband Nardion) über dem Waldgürtel (*Larici-Piceetum*) heute nur mehr kleinflächige Relikte vorhanden sind. Sie sind anderen Vegetationseinheiten gewichen (Tab. 2). So befinden sich in unmittelbarer Nähe der Forststraße und der Almhütten aufgrund der Nutzungsintensivierung in Form von Düngung und einer alljährlichen Mahd Rotschwingel-Straußgraswiesen (*Festuco-Agrostietum*). Auf Flächen mit traditioneller Mähnutzung konnten sich hingegen weiterhin Ferkelkraut-Borstgraswiesen (*Hypochaero-Nardetum*) behaupten. Große Bereiche werden von Silikat-Horstseggenhalden (*Caricetum sempervirentis*) bedeckt, die nach oben hin von Krummseg-

gen-Bürstlingsrasen (*Carici curvulae-Nardetum*) abgelöst werden. Zwischen diesen Rasengesellschaften finden sich immer wieder eingestreut Zwergstrauchgesellschaften, wie Bodensaure Alpenrosenheiden (*Rhododendretum ferrugineum*), Krähenbeeren-Rauschbeerenheiden (*Empetro-Vaccinietum gaultherioides*) und Zwergwacholder-Bärentraubenheiden (*Junipero-Arctostaphyletum*). Zum Teil hat sich bereits in den steileren und ungünstigeren Bereichen durch natürliches Aufkommen von Jungbäumen eine Lärchenvariante des subalpinen Fichtenwaldes (*Larici-Piceetum*) ausgebreitet.

Die schon erwähnte Bewirtschaftungsänderung von Mähwiesen in Viehweiden führte dazu, daß sich einige weitere Vegetationstypen etablieren konnten. Großflächig setzten sich aufgrund der Beweidung Bürstlingsweiden (*Sieversio-Nardetum strictae*) mit Weidezeigern, wie z.B. *Leontodon helveticus*, *Plantago alpina*, *Trifolium alpinum* und eine Reihe von Zwergsträuchern durch. Auch dieser Rasentyp wird wiederum kleinflächig von Zwergstrauchheiden, aber auch von Milchkrautweiden (*Crepido-Festucetum commutatae*), Trittrasengesellschaften (*Alchemillo-Poetum supinae*) und verschiedenen Lägerfluren durchbrochen.

#### 3.2 Ergebnis der Diskriminanzanalyse

Wie Tabelle 2 zeigt, ergab sich insgesamt eine korrekte Zuordnung von 77,8 % der Pixel zu den tatsächlich kartierten Vegetationseinheiten. Dieser sehr hohe Erklärungswert unterstreicht zum einen die richtige Wahl der Eingangsvariablen und zum anderen die Güte des Modells. Bereits mit vier Diskriminanzfunktionen werden 99,7% der erklärten Vegetationsverteilung nachgebildet.

Es ergeben sich jedoch deutliche Unterschiede in der Höhe der korrekten Zuordnung zwischen den einzelnen Vegetationseinheiten (Tab. 2). Die Schwankungsbreite liegt zwischen 0% und 100%. Insgesamt werden zwei Bestände überhaupt nicht richtig zugeordnet, bei vier Beständen findet sich eine korrekte Zuordnung von 20–40%, weitere drei Bestände werden zu 40–60% richtig erklärt, vier Bestände zu 60–80% und schließlich acht Bestände zu 80–100%. Schlecht zugeordnet werden allgemein Zwergstrauchbestände, Felsgesellschaften, stark verstrauchte Borstgras-Matten und kleinflächige Milchkrautweiden. Sehr gute Ergebnisse ergeben sich bei den Waldbeständen, bei den unterschiedlichen Wiesentypen und nitrophilen Vegetationseinheiten.

Die Vorhersage basiert dabei auf der Berechnung der Gruppenzugehörigkeit über die ausgewiesenen Diskriminanzfunktionen und den Eigenschaften der Eingangsvariablen. Je größer die Unterschiede zwischen den einzelnen Vegetationseinheiten in Bezug

Tab. 2

Angaben zur relativen Flächengröße und zur korrekten Zuordnung der einzelnen Vegetationseinheiten durch die Diskriminanzanalyse.

Table 2

Relative area and their predictability of single vegetation units using discriminant analysis.

Vegetationseinheit	Fläche (%)	Zuordnung (%)
Silikatschuttgesellschaften ( <i>Androsacetalia alpinae</i> )	0.4	0.0
Zwergwacholder-Bärentraubenheide ( <i>Junpero-Arcostaphyletum</i> )	2.4	0.0
Silikatfels-Gesellschaft ( <i>Androsacion multiflorae</i> )	0.2	23.4
Bodensaure Alpenrosenheide ( <i>Rhododendretum ferruginei</i> )	4.2	25.6
Milchkrautweide ( <i>Crepido-Festucetum commutatae</i> )	0.1	35.3
Ferkelkraut-Borstgraswiese, verstraucht ( <i>Hypochoero-Nardetum</i> )	6.1	41.5
Krähenbeeren-Rauschbeerenheiden ( <i>Empetro-Vaccinietum gaultherioides</i> )	1.1	47.0
Borstgrasweide ( <i>Sieversio - Nardetum strictae</i> )	5.2	48.4
Krummseggen-Bürstlingsrasen ( <i>Carici curvulae-Nardetum</i> )	0.1	57.6
Silikat-Horstseggenhalde ( <i>Caricetum sempervirentis</i> )	12.6	61.4
Einsaat-Vegetation	0.1	67.4
Kleinseggensümpfe und -moore ( <i>Scheuchzerio-Caricetea fuscae</i> )	0.7	77.8
Lägerfluren ( <i>Rumicion alpini</i> )	0.1	79.9
Silikat-Horstseggenhalde, verstraucht ( <i>Caricetum sempervirentis</i> )	17.4	81.1
Ferkelkraut-Borstgraswiese ( <i>Hypochoero-Nardetum</i> )	4.5	81.8
Alpen-Fettweide ( <i>Poion alpinae</i> )	0.1	84.5
Rotschwingel-Straußgraswiese ( <i>Festuco-Agrostietum</i> )	2.8	98.9
Holzschlagflur ( <i>Avenella flexuosa-Gesellschaft</i> )	0.9	99.1
Gesellschaft der Dreispaltigen Binse ( <i>Juncetum trifidi</i> )	0.1	100.00
Subalpiner Fichtenwald ( <i>Larici-Piceetum</i> )	39.5	100.00
Subalpiner Fichtenwand, Lärchenvariante ( <i>Larici-Piceetum</i> )	1.5	100.00
<b>Gesamt (flächengewichtet):</b>	<b>77.8%</b>	

auf die Eingangsvariablen sind, desto besser fällt die Trennung der Gruppen aus. Ein Vergleich der Variablenmittelwerte für die einzelnen Vegetationseinheiten zeigt in einer vereinfachten Weise den Einfluß der einzelnen Variablen auf die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit. In Abbildung 2 wird dies am Beispiel unterschiedlicher Grasbestände demonstriert: Rotschwingel-Straußgraswiesen unterscheiden sich von anderen Grasbeständen zum einen durch deutlich höhere Werte bei der Mahdnutzung und der Zufahrt. Daneben grenzt sich diese Vegetationsgesellschaft auch durch eine Reihe von Standortfaktoren von den Borstgras-Matten und Horstseggenhalden ab: durch die geringste Höhenlage, der niedrigsten Hangneigung und der höchsten Einzugsfläche. Durch diese spezifische Ausbildung der Eingangsvariablen läßt sich die Rotschwingel-Straußgraswiese auch von allen anderen Vegetationseinheiten im Untersuchungsgebiet gut abgrenzen. In der Folge kommt es zu einer korrekten Klassifikation von 98.9% der Pixel. Bestän-

de hingegen, deren Eingangsvariablen ähnlich ausgebildet sind, lassen sich kaum korrekt klassifizieren. Die relative Anzahl der richtig zugeordneten Pixel nimmt ab und kann in Extremfällen sogar 0% betragen.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen lassen sich in der Folge Zusammenhänge zwischen den einzelnen Vegetationseinheiten definieren und in Form von Vegetationsreihen darstellen (Abb. 3). Die durchgeführte Kausalanalyse zeigte, daß die wichtigsten Faktoren für eine Vegetationsveränderung die Landnutzungsform und -intensität, die Höhenlage und die Hangneigung sind. Durch diese Größen werden viele der Vegetationseinheiten gut erklärt. Einige wenige werden darüber hinaus durch besondere Standortbedingungen charakterisiert, wie etwa Kleinseggensümpfe und -moore durch nasse Bodenverhältnisse und Einsaat-Vegetationen durch gestörte Bodenverhältnisse.



durch eine geringere Hangneigung und dadurch verbesserte Aufenthaltsbedingungen für das Weidevieh zu, entwickeln sich dort Alpen-Fettweiden. Auch MUCINA & al. (1993a) beschreiben als ausschlaggebenden Faktor für die Entwicklung dieser Vegetationseinheit den regelmäßigen Betritt durch Rinder. Die im Untersuchungsgebiet auftretenden Lägerfluren leiten sich nach den Ergebnissen von den Fettweiden durch eine noch intensivere Beweidung (und auch Düngung), durch die größere Steilheit des Geländes und der höheren Lage ab. Auch dieser Zusammenhang läßt sich durchaus nachvollziehen, da die genannten Lägerfluren ein Resultat der Schaf-, Ziegen- und Wildbeweidung (vgl. GRABHERR & MUCINA 1993) sind. Gerade diese Tiere halten sich den Sommer über in den höheren Lagen auf, wo sie kleinflächige, im Verhältnis zur Umgebung (Horsteggenhalden) weniger geneigte Lagerplätze häufig frequentieren. Die Etablierung von Einsaat-Vegetationen und Kleinseggenstümpfen und -mooren hängt nur bedingt mit der Beweidung zusammen, obwohl gerade nach GRABHERR & MUCINA (1993) einige Vertreter der Klasse der Kleinseggenstümpfe und -moore häufig auf beweideten Moorstandorten zu finden sind (z.B. das im Untersuchungsgebiet vorhandene *Caricetum fuscae*). Die Ausbildung ist nicht unmittelbar nutzungsbedingt, sondern vielmehr standortsbedingt (Bodenstörung, nasse Bodenverhältnisse, geringe Neigung). Die charakteristischen Standorte liegen im Projektgebiet eher zufällig im Bereich der ausgewiesenen Weideflächen.

Bereiche mit einer guten Zufahrtsmöglichkeit und geringeren Hangneigung werden meist gemäht. Dort kommt es in Abhängigkeit von der Zufahrtsmöglichkeit und der Hangneigung zu unterschiedlichen Nutzungsintensitäten, und es etablieren sich dort typische Vegetationseinheiten. Nach DIETL (1995) handelt es sich bei Ferkelkraut-Borstgraswiesen um halbschürige Magerwiesen der hochgelegenen Bergwiesen. Rotschwingel-Straußgraswiesen treten hingegen nach DIETL (1995) eher auf tiefgründigen, frischen Böden magerer Mähwiesen auf, die nur leicht mit Stallmist gedüngt werden (vgl. SCHMID & JEANGROS 1990). Auch die Gesellschaft der Dreispaltigen Binse verträgt durchaus eine sehr extensive Mahdnutzung. Sie tritt häufig in Kontakt mit typischen Arten von Bergmähdern auf (vgl. GRABHERR & MUCINA 1993), wobei aber Standortfaktoren, wie offene Böden in Gratlagen (geringe Neigung) auf stabilisiertem Silikatschutt, ausschlaggebend sind. Auch die Verbreitung der Gesellschaft des *Carici curvulae*-Nardetum hängt weitgehendst von recht spezifischen Standortfaktoren ab, wobei das Fehlen einer Mahdnutzung und die Höhe über 2200 m ü. NN ausschlaggebend (vgl. OBERDORFER 1959) sind.

Neben diesen korrekten und schlüssigen Ergebnissen treten auch Mängel in der Vorhersage auf. Be-

sonders viele Zwergstrauchgesellschaften, einige Magerassen und verschiedene kleinflächige Vegetationsformen werden unzureichend klassifiziert. Die Ursachen können dabei folgende sein:

**Fehlende Eingangsvariablen:** Gerade für die Verteilung verschiedener Zwergstrauchgesellschaften sind nach AULITZKY (1963), OBERDORFER (1992), GRABHERR & MUCINA (1993) und REISIGL & KELLER (1994) Schneebedeckungsdauer, Wind- und Temperaturverhältnisse von ausschlaggebender Bedeutung. Das Fehlen dieser Variablen erklärt möglicherweise die schlechte Klassifizierung der Zwergstrauchbestände. In einem nächsten Schritt sollen daher die Ausaperungsmuster des Untersuchungsgebietes erhoben und als Variable in die Analyse aufgenommen werden.

**Ungenügende Auflösung der Variablen:** Einige der Variablen gehen möglicherweise in einer ungenügenden zeitlichen bzw. räumlichen Auflösung in die Berechnung ein. So gibt es gerade im Bereich der Brachflächen verschiedene Vegetationseinheiten aus dem Verband des *Festucion variae* und des *Nardion*, deren Verteilung sich möglicherweise aus dem Alter der Brache erklären läßt. In diesem Falle liegt also eine zu niedrige zeitliche Auflösung im Bereich der Landnutzungsvariablen vor. Im Falle der Weideflächen handelt es sich hingegen um eine ungenügende räumliche Auflösung der Information. Weiden sind in Folge unterschiedlicher Beweidungsintensitäten sehr kleinflächig strukturiert und bestehen aus einem Mosaik von unterschiedlichsten Vegetationseinheiten (vgl. DIETL 1990, DIETL 1995). Für eine bessere Vorhersage der Vegetationsverteilung auf Weideflächen ist daher eine detaillierte Untersuchung des räumlichen Weideverhaltens der Tiere notwendig.

**Modellwahl:** Bei der Diskriminanzanalyse kommt es zu einer linearen Kombination der Variablen. Es ist aber durchaus denkbar, daß ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen den Variablen existiert und dieser bisher nicht berücksichtigt wurde. Daher werden in einer nächsten Phase nicht lineare Modelle, wie etwa die logistische Regression oder eine hierarchische Cluster-Analyse zur Berechnung der Vegetationsverteilung herangezogen. Denkbar wäre auch die Modellierung über künstliche neuronale Netze.

## 5 Zusammenfassende Schlußfolgerung

Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß sich das entwickelte Verfahren am Beispiel der Waltner Mäher sehr gut bewährt. Es lassen sich Zusammenhänge zwischen der Vegetation und den Landnutzungs- und Standortfaktoren definieren und quantifizieren. In der Folge lassen sich Auswirkungen möglicher Landnutzungsänderungen für das konkrete Projektgebiet Pixel für Pixel berechnen und mit Hilfe des GIS auch graphisch darstellen.

Aufgrund des empirischen Ansatzes gelten die aus der Diskriminanzanalyse resultierenden Funktionen und Zusammenhänge nur für das Projektgebiet der Waltner Mäher. Daher muß das Modell für eine globalere Anwendung mit weiteren Projektgebieten mit unterschiedlichen Ausgangssituationen ausgeweitet werden. Vordringlich erscheinen unterschiedliche Bewirtschaftungstypen, geologische Situationen, Bodentypen, Expositionen und geographische (und damit klimatische) Verhältnisse. In einer nächsten Phase werden infolgedessen die ECOMONT-Projektgebiete Stubaital (Nordtirol, Österreich) und Monte Bondone (Trient, Italien) in die Modellierung eingehen.

### Danksagung

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen des EU-Projektes ECOMONT (ENV4-CT95-0179) durchgeführt. Ein Teil der Geländeaufnahmen erfolgten im INTERREG-II-Projekt INTEGRALP.

### Literatur

- ACKERMANN, W. & W. DURKA, 1995: SORT 3.0, Programm zur Bearbeitung von Vegetationsaufnahmen und Artenlisten, Handbuch (Mskr.).
- AULITZKY, H., 1963: Grundlagen und Anwendung des vorläufigen Wind-Schneeökogramms. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst., Wien 60: 765–834.
- BARRIO, G. DEL, ALVERA, B., PUIGDEFABREGAS, J. & C. DIEZ (1997): Response of high mountain landscape to topographic variables: Central Pyrenees. *Landscape Ecol.* 12 (2): 95–115.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. Springer, Wien: 865.
- CERNUSCA, A., TAPPEINER, U., BAHN, M., BAYFIELD, N., CHEMINI, C., FILLAT, F., GRABER, W., OSSET, M., SIEGWOLF, R. & J. TENHUNEN, 1996: ECOMONT – Ecological Effects of Land Use Changes on European Terrestrial Mountain Ecosystems. *Pirineos* 147–148: 145–172.
- DIETL, W., 1990: Alpweiden naturgemäß nutzen. *Landfreund* 11: 20–26.
- DIETL, W., 1994: Weidewirtschaft. In: W. DIETL (ed.) *Alpwirtschaft*. 3. Aufl. Landwirt. Lehrmittelzentrale, Zollikofen: 7–41.
- DIETL, W., 1995: Wiesen und Weiden im Berggebiet. *Montagna* 6: 1–8.
- FISCHER, K., 1974: Das Passeiertal. *Der Schlern*, 48. Jahrgang, Heft 7–8–9, Athesia Verlag, Bozen: 344–380.
- GRABHERR, G. & L. MUCINA, 1993: Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teil II. Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/New York: 523.
- HEHL, S. (1988): Erstellen und überprüfen EDV-erzeugter Vegetationskarten: am Beispiel der alpinen Stufe im Nationalpark Berchtesgaden. *Landchaftsentwicklung und Umweltforschung: Sonderheft*, 2. Berlin: 81.
- MUCINA, L., GRABHERR, G. & TH. ELLMAUER, 1993a: Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teil I. Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/New York: 578.
- MUCINA, L., GRABHERR, G. & S. WALLNÖFER, 1993b: Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teil III. Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/New York: 353.
- OBERDORFER, E., 1959: Borstgras- und Krummseggenrasen in den Alpen. *Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland* 18: 117–143.
- OBERDORFER, E., 1978: Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil II, 2. Aufl., Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/New York: 355.
- OBERDORFER, E., 1983: Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil III, 2. Aufl., Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/New York: 455.
- OBERDORFER, E., 1992: Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil IV. 2. Aufl., Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/New York: 282.
- OSTENDORF, B., MAYR V. & U. TAPPEINER, 1998 a: The ECOMONT GIS – contents and goals. In: CERNUSCA A. & U. TAPPEINER (ed.) *ECOMONT: Ecological Effects of Land-use Changes in Mountain Areas of Europe*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin (in Druck).
- OSTENDORF, B., TASSER, E., MULSER, J. & U. TAPPEINER, 1998 b: Spatial pattern and processes in an alpine landscape. In: CERNUSCA A. & U. TAPPEINER (ed.) *ECOMONT: Ecological Effects of Land-use Changes in Mountain Areas of Europe*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin (in Druck).
- REISIGL, H. & R. KELLER, 1994: *Alpenpflanzen im Lebensraum*. 2. bearb. Aufl. Gustav Fischer, Stuttgart/New York: 148.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H. & K. STAHR, 1995: *Bodenkundliches Praktikum*. 2., neubearbeitete Aufl. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien: 295.
- SCHMID, W. & B. JEANGROS, 1990: Artenreiche Wiesen der Schweiz und ihr Ertrag. *Landwirtschaft Schweiz* 3: 610–619.
- SPATZ, G., 1994: Ein vegetationskundlicher Ansatz zur Situationsanalyse von Almen im Bereich der Großglockner-Hochalpen-Straße. *Ver. Ges. Ökol.* 23: 199–22.
- SPATZ, G., 1996: *Freiflächenpflege*. Ulmer, Stuttgart: 296.
- SPATZ, G., FRICKE, TH. & S. PROCK, 1993: *Wirt-*

- schaftsbedingte Vegetationsmuster auf Almweiden der Hohen Tauern. *Rev. de Géographie Alpine* 3, 83–93.
- SPATZ, G., WEIS, B. & D.M. DOLAR, 1978: Der Einfluß von Bewirtschaftsänderungen auf die Vegetation von Almen im Gasteinertal. In: A. CERNUSCA (ed.) *Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteinertal*. Veröff. d. Österr. MaB-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern, Bd. 2, Univ. Verlag Wagner, Innsbruck: 163–180.
- TASSER, E., PROCK, S. & J. MULSER 1998: The Impact of Land-use on the Vegetation in the Mountain Region. In: CERNUSCA A. & U. TAPPEINER (ed.) *ECOMONT: Ecological Effects of Land-use Changes in Mountain Areas of Europe*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin (in Druck).

### Adressen

Mag. Erich Tasser  
Ao. Univ.-Prof. Dr. Ulrike Tappeiner  
Joachim Mulser, Mag. Verena Mayr  
Dr. Bertram Ostendorf  
Europäische Akademie Bozen  
Domplatz 3  
I-39100 Bozen

Ao. Univ.-Prof. Dr. Ulrike Tappeiner, Joachim Mulser  
Institut für Botanik der Universität Innsbruck  
Sternwartestr. 15  
A-6020 Innsbruck

Ao. Univ.-Prof. Dr. Gottfried Tappeiner  
Institut für Wirtschaftstheorie und Wirtschaftspolitik  
der Universität Innsbruck  
Innrain 52  
A-6020 Innsbruck

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28\\_1997](#)

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: [Kausalanalyse von Vegetationsveränderungen im Gebirge in Abhängigkeit von Landnutzung und Standortfaktoren 107-115](#)