©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 13, 129-137. Hannover 2001

Räumlich explizite Vegetationsmodelle: Möglichkeiten und Limitierungen

- Thomas Dirnböck, Stefan Dullinger, Michael Gottfried, Richard Hobbs und Georg Grabherr -

Abstract

Distribution models of vegetation: between practicability and limitation

Two surveys which use distribution models of vegetation are compared in order to assess the practicability of such methods to improve automated vegetation mapping. The case studies were located in the eastern part of the Alps (subalpine and alpine vegetation) and the Wheatbelt of Western Australia (mediterranean type vegetation). Static topographical and process based and topographically controlled variables were used as surrogates for micro-, meso- and macroclimate in the first case and available moisture in the latter. Topographic control on vegetation distribution increases in areas where plant communities are in equilibrium with present environmental conditions. Successional states after pasture abandonment in the Alps but also the patchy vegetation of Western Australia which was severely prone to historic disturbance and redispersal are not appropriately represented in static modelling attempts based on steady state assumptions. Although these limitations have a severe drawback on the reliability of static distribution models to assess environmental change impacts, they are a qualified tool to improve vegetation map accuracy.

Keywords: alpine vegetation, Alps, spatial model, mediterranean vegetation, topography, vegetation modelling, vegetation mapping, Wheatbelt

1. Einleitung

Die Entwicklungen effektiver Hard- und Sofware zur Verarbeitung räumlicher Datensätze hat auch im Bereich der Vegetationskunde neue Möglichkeiten geschaffen. Wurden früher Vegetationskarten rein manuell erzeugt, so spielen heute automatisierte Analysen von Fernerkundungsdaten eine zentrale Rolle. Die Einführung Geographischer Informationssysteme ermöglichte auch weiterführende Analysen des Zusammenhanges von Standort und Vegetation und führte so zu einem neuen Forschungsfeld, jenem räumlich expliziter Verteilungsmodelle der Vegetation (vgl. FRANKLIN 1995). Neben ihrer zur Zeit sehr häufigen Anwendung zur Bewertung von Umweltänderungen auf die Verteilung von Pflanzenarten oder -gesellschaften (siehe Übersicht in GUISAN & ZIMMERMANN 2000) können sie auch zur effizienten Erarbeitung von Karten der aktuellen Vegetation beitragen (DIRNBÖCK et al., im Druck b). Die vorliegende Arbeit vergleicht zwei Studien, die Methoden räumlich expliziter Vegetationsmodelle zum Zweck der Vegetationskartierung verwenden. In beiden wird die postulierte topographische Bindung von Pflanzengesellschaften räumlich umgesetzt. Einerseits werden statische Reliefvariablen, die den Einfluss des Mikro-, Meso- und Makrorelief eines alpinen Untersuchungsgebietes widerspiegeln, verwendet und im zweiten Fall werden prozessorientierte,

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

hydrologische und reliefgesteuerte Abflussmodelle herangezogen um die Wasserverfügbarkeit für die Vegetation des Westaustralischen Weizengürtels zu simulieren. Die Gegenüberstellung dieser naturräumlich gegensätzlichen Untersuchungsgebiete soll die Möglichkeiten räumlich expliziter Verteilungsmodelle im allgemeinen zeigen und die Verwendbarkeit topographischer Korrelationen im speziellen.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiete

Das erste Untersuchungsgebiet (NK) liegt am östlichen Rand der Nördlichen Kalkalpen (Steiermark, Österreich) und umfasst den 60 km² großen subalpinen und alpinen Bereich des Hochschwab (47° 34‘ - 47° 38‘ N, 15° 00‘ - 15° 18‘ E). Das Gebiet besteht zum größten Teil aus Wettersteinkalk und -dolomit. Reliktäre, saure Lehme sind eine häufige Erscheinung. Die randalpine Lage führt zu sehr hohen Niederschlägen (bis geschätzte 2500 mm Jahresniederschlag in den höchsten Lagen) und beträchtlichen winterlichen Schneemengen. Die jährliche Durchschnittstemperatur der Hochlagen liegt zwischen 0-2 °C. Die Gipfelhöhe erreicht 2277 m, die Waldgrenze liegt zwischen 1500 und 1850 m mit starken reliefbedingten Schwankungen. Das Kartierungsgebiet umfasst subalpines *Pinus mugo*-Krummholz, Almweiden (v.a. *Homogyno alpinae-Nardetum, Crepido-Festucetum commutatae* und *Mulgedio-Aconitetea* Gesellschaften), alpine Rasen (v.a. *Caricetum firmae, Seslerio-Caricetum sempervirentis, Caricetum ferrugineae, Sieversio-Nardetum strictae* und einige *Juncion trifidi* Gesellschaften), Kalkschuttvegetation (*Thlaspietea rotundifolii* Gesellschaften), Gesellschaften der Kalkfelsspalten (*Asplenietea trichomanis*) und Kalkschneeböden (*Arabidion caeruleae* Gesellschaften). Eine detaillierte Vegetationsbeschreibung ist in Dirnböck et al. (1999) zu finden.

Das Untersuchungsgebiet in Westaustralien (WA) liegt im zentralen Weizengürtel (Tin Dog Creek Catchment, South Tamin Catchment, Wallatin Creek Catchment; 116° 97‘E - 118° E, 31° 12‘S - 31° 90‘S, insgesamt 2000 km²). Klimatisch durch mediterranes Klima (ausgeprägte Sommerdürre und Winterniederschläge) ausgezeichnet reichen die Jahresniederschläge bis 300-380 mm, die Durchschnittstemperatur liegt bei 17 °C. Der Weizengürtel ist geologisch durch alte Granite und Gneise aufgebaut. Das hohe Alter führte zu starker Nährstoffverarmung der Böden (Lateritisierung) und Verflachung des Reliefs (siehe McArthur 1993). Durch intensive Rodungen im 20. Jhd. verblieben nur wenige Bereiche mit ursprünglicher Vegetation. Diese ist von Kwongan, *Eucalyptus*- und Akazienwälder geprägt mit Vegetationsabfolgen entlang topographischer Gradienten. Kwongan nimmt die höchsten Reliefbereiche ein, an den Hängen folgen zuerst Wälder mit mehrstämmig Eucalypten (sog. Mallee mit z.B. *E. subangusta, E. erythronema*) dann verschiedene andere Eucalyptuswälder (dominiert durch *E. loxophleba, E. wandoo, E. capillosa, E. longicornis, E. salmonophloia, E. salubris*). Halophyten-Gesellschaften nehmen die stark versalzten Talbereiche ein. Sogenannte „rock-outcrops“ stellen felsige Sonderstandorte dar (zur Vegetation im Detail siehe Beard 1980, 1990, Dirnböck et al. im Druck c).

2.2 Methodik in den Nördliche Kalkalpen

Das Vegetationsmodell basiert auf 455 verorteteten, syntaxonomisch klassifizierten, Vegetationsaufnahmen (Standardaufnahmen nach Braun-Blanquet (1964)) und 188 Reliefvariablen, die aus einem digitalen Höhenmodell (DEM, 50 m Auflösung) abgeleitet wurden. Als Reliefvariablen wurden neben Höhe, Neigung und Exposition auch eine Reihe von Deskriptoren der Oberflächenform verwendet. Zusätzlich erfolgte die Ableitung topographischer Variablen in unterschiedlichen Maßstabsumgebungen um den Einfluss von Mikro-, Meso und Makrorelief zu simulieren (Details zur Ableitung siehe Gottfried et al. 1998). Neben den

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

topographischen Variablen wurden auch Farbwerte aus Infrarot-Falschfarben-Orthophotos und deren Textur herangezogen (Tab.1). Als statistisches Verfahren zur Analyse der Abhängigkeit der Pflanzengesellschaften von topographischen Gegebenheiten wurde eine Canonical Correspondence Analysis (CCA) eingesetzt (siehe GOTTFRIED et al. 1998, 1999). Weiters erfolgte eine automatisierte Bildsegmentierung um die Rasterergebnisse des Modells in eine Polygonkarte zu transferieren. Eine Evaluierung der Ergebnisse wurde über 666 im Gelände erhobener Referenzpunkte durchgeführt. (weitere Details zur Methodik siehe DIRNBÖCK et al. 1999, DIRNBÖCK et al. im Druck b, DULLINGER et al. im Druck).

Tab. 1: Gegenüberstellung der beiden Studien bezüglich angestrebtem Kartenmaßstab, Gebietsgröße, verwendeter Parameter, Stichprobe zur Modellanpassung, Statistischem Verfahren und verwendeter Software.

	Kalkalpen (NK)	Westaustralien (WA)
Angestrebter Maßstab	1: 10.000	1: 10.000
Gebietsgröße	60 km^2	2000 km^2
Vegetationseinheiten	18	7
Deskriptoren der Topographie	Makro-, Meso- und Mikrorelief	Einfluss des Reliefs auf den Abfluss des Niederschlages
Zusätzliche Eingangsdaten	Farbkanäle aus Infrarot-Orthophotos und deren Textur	Jährlicher Niederschlag, sommerlicher Dürreindex
Anzahl der unabhängigen Variablen	188	13
Stichprobe	450 Vegetationsaufnahmen	6150 Punktdaten aus Vegetationskarten
Statistisches Modell	Canonical Correspondence Analysis (CCA)	Generalised Additive Models (GAM)
Verwendete Software	GIS ARC-Info, CANOCO, Woodcock & Harward Segmentation Algorithm	GIS ARC-Info, ESOCLIM, Splus 2000

2.3 Methodik in Westaustralien

Die Modellanpassung erfolgte anhand von presence/absence Daten zu 13 Vegetationstypen an 6150 Punkten unter Verwendung genauer (1:5000) Vegetationskarten. Die Klassifizierung der Einheiten beruht auf jener von BEARD (1980). Die topographische Bindung der Vegetation wurde anhand von hydrologischen Abflussmodellen untersucht, die topographisch zu erwartende Bodenfeuchte oder Erosionsprozesse beschreiben. Dazu wurden mit einem DEM (10m Auflösung) für das gesamte Untersuchungsgebiet der Wetness-Index, Erosion-Index, Stream Power-Index (MOORE et al. 1991, 1993a, 1993b) und weitere einzugsgebietsspezifische Variablen (CACCETTA 1999) berechnet. Zusätzlich zu den topographischen Prozessvariablen wurden der jährliche Niederschlag und ein sommerlicher Dürreindex verwendet (Tab. 1).

Für jeden Vegetationstyp wurde ein Generalised Additive Model (GAM) angepasst, das in der Lage ist, schiefe, bimodale u.a. komplexe Kurven zu handhaben (YEE & MITCHELL 1991). Neben direkter Verwendung der unabhängigen Variablen wurden auch Interaktionen zwischen den Klima- und den topographischen Variablen herangezogen. Die Evaluierung der Ergebnisse erfolgte unter Verwendung von 1250 Referenzpunkte nach den Vorgaben von FRANKLIN (1998) und GUISAN et al. (1998). Weitere Details zur Methodik siehe DIRNBÖCK et al. im Druck c).

2.4 Vergleich der Ergebnisse

Zum Vergleich der Modellergebnisse wurde die Producer's accuracy (korrekte Vorhersage des Vegetationstyps) und User's accuracy (korrekte Nicht-Vorhersage des Vegetationstyps) sowie Cohen's Kappa (COHEN 1960) herangezogen. Die Gütewerte wurden aus der Fehlermatrix von 666 Refernzpunkten (NK: nominale Fehlermatrix mit allen Einheiten) und 1250 Referenzpunkten (WA: binäre Fehlermatrix der einzelnen Modelle) ermittelt.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

3. Ergebnisse

3.1 Nördliche Kalkalpen

Die Teilung des Untersuchungsgebietes in drei spektral einheitliche Bereiche (Krummholz-beschatteter Fels, Geschlossene Rasen-Hochstauden, Fels-Schutt-Pionierrasen) ergab drei unabhängige CCA-Modelle mit unterschiedlicher Anzahl signifikanter Achsen (Signifikanzprüfung mittels einer Monte-Carlo Permutation, TER BRAAK & SMILAUER 1998) (Tab. 2 zeigt die Ergebnisse der Modelle waldfreier Vegetation). Die erklärte Varianz („cummulative percentage variance") der Artenverteilung und der „species-environment-correlation" liegt bei 9,2-9,3% bzw. 38-47%.

Die Variablenselektion über eine schrittweise multiple Regression ergab, dass topographische Variablen häufiger und mit höherer Aussagekraft als spektrale Eigenschaften in die Modelle Eingang fanden. Eine Ausnahme bilden keinstrukturierte alpine Pionierrasen, die vor allem durch ihre spektrale Textur charakterisiert sind.

Tab. 2: Statistische Charakteristika der Canonical Correspondence Analysis zusammengefasst für die Gesellschaften der alpinen Rasen und Hochstauden sowie Fels, Schutthalden und Pionierrasen des Untersuchungsgebiet NK.

	alpine Rasen und Hochstauden	Fels, Schutthalden, Pionierrasen
Anzahl der signifikantan Achsen	5	3
„Cumultative percentage variance"		
der Pflanzenarten	9,3	9,2,
der Arten-Umwelt Korrelation	47,9	38,4
Summe der „unconstrained eigenvalues"	15,492	10,27
Summe aller kanonischer Eigenwerte	2,985	2,456

Die räumliche Anwendung der CCA-Modelle auf das Gesamtgebiet ergab eine Vorhersagegenauigkeit von 70% und einen Kappa Wert von 0,63. Zonale Pflanzengesellschaften, wie z.B. das *Caricetum firmae*, erreichten bessere Werte als azonale Gesellschaften, wie Schneebodenvegetation oder Kalkschutthalden.

3.2 Westaustralien

Die einzelnen Vegetationsmodelle weisen ein mehr oder weniger unterschiedliches Set signifikanter unabhängiger Variablen auf. In allen Modellen zeigt der Vegetationstyp eine klare Bindung zum Niederschlagsregime, dem gegenüber sind nie alle reliefgesteuerten Prozessvariablen signifikant. Interaktionen zwischen der topographischen Einnischung und dem im Weizengürtel stark veränderlichen Klima (Niederschlagsabnahme von West nach Ost) mussten in allen GAMs aufgenommen werden. Prozessgesteuerte, einzugsgebietsspezifische Variablen des Feuchteregimes (z.B. Wetness-Index), und darunter jene, die multiple Abflüsse integrieren (z.B. Gewichtete Durchschnittliche Neigung des Einzugsgebietes), sind höher signifikant als Reliefvariablen, die statische Zustände in starren Nachbarschaftsbeziehungen abbilden (z.B. Curvatur, Neigung).

Die erklärte Varianz („explained deviance") der Modelle liegt zwischen 9 und 58% bei einer Absenkung der Freiheitsgrade von 13 bis 27. Die Vorhersagegüte der Modelle erreicht Kappa-Werte von nur 0,13 bis 0,52, die „besten" Wahrscheinlichkeiten des Vorkommens („cut" in Tab. 3) liegen bei niedrigen 0,1 bis 0,4 (Tab. 3).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Tab. 3: Statistische Charakteristika und Vorhersagegüte (Kappa-Werte) der Generalised Additive Models des Untersuchungsgebietes WA. Signifikanz der Variblen bei $p < 0{,}001$, Chi-Quadrat-Test; Change df = genutzte Freiheitsgrade; cut = Wahrscheinlichkeitswert mit der höchsten Producer´s und User´s accuracy.

	Null Deviance	% explained deviance	Signifikante Variablen	Change df	cut	Cohen's *k*
Felsfluren	1420	40	8	20	0.1	0.49
Typischer Kwongan	4241	29	8	23	0.3	0.35
Allocasuarina campestris / Eucalyptus macrocarpa Gebüsch	1050	58	6	13	0.4	0.48
Mallee	4341	9	6	18	0.1	0.13
E. loxophleba Wälder	8309	27	8	27	0.2	0.22
E. wandoo Wälder	5615	13	8	26	0.4	0.49
E.salomonophloia / E. salubris Wälder	3674	36	7	20	0.3	0.52

3.3 Vergleich NK und WA

Die über das CCA-Modell erstellte Vegetationskarte der NK erzielte einen Kappa-Wert von 0,63. Dem gegenüber ist die Vorhersagegüte der WA-Modelle gering und liegt zwischen 0,13 und 0,52 für die einzelnen Vegetationseinheiten. Zieht man die „User's -" und die „Producer's accuracy" als Vergleichsmaße zur Bewertung der Ergebnisse beider Untersuchungsgebiete heran, so zeigt sich, dass die Vegetationsmodelle der Kalkalpen bessere Vorhersagen der Pflanzengesellschaften liefern, jedoch unscharf gegenüber anderen Einheiten differenzieren (hohe User's accuracy).

4. Diskussion

Die topographische Bindung von Vegetation ist ein augenscheinliches Faktum in hochalpinen Lebensräumen (z.B. ELLENBERG 1996) und wird auch für die Westaustralischen Vegetationsmuster als Beschreibungskriterium (BEARD 1990) herangezogen. Ihre Verwendung in „environmental response models" ist jedoch umstritten, da Umweltfaktoren erstens nur implizit („indirect variable" sensu AUSTIN & SMITH (1989)) und zweitens nicht notwendigerweise vollständig beschrieben werden. So lässt sich beispielsweise die Relief-Konkavität als ein Maß für die Schneedeckendauer oder die Bodenfeuchteverfügbarkeit, oder gar den pH-Wert (aufgrund sauerer Lehmakkumulationen) erklären. Viele Standortzustände, wie z.B. Grundwasserstand in der Verwitterungsschicht oder nicht-orographisch bedingte Einzugsgebietsverschiebungen im Relief des Weizengürtels (CLARKE et al. 1998), können durch das Relief selbst nicht erklärt werden. Die Ergebnisse von WA zeigen darüberhinaus wie sich die topographischen Positionen von Vegetationstypen je nach geographischer Lage im Untersuchungsgebiet aufgrund des Niederschlagsregimes verändern (Gesetz der relativen Standortkonstanz, WALTER & WALTER 1953). Eine Extrapolation der Modelle auf ein erweitertes Untersuchungsgebiet ist daher nicht möglich. Auch die Verwendung von, auf topographischen Variablen beruhenden Vegetationsmodellen zur Bewertung der Folgen von Umweltveränderungen ist daher problematisch (AUSTIN & GAYWOOD, 1994, GUISAN & ZIMMERMANN 2000). Soll das Modell allerdings nur die genaue räumliche Verteilung von Pflanzengesellschaften in einem begrenzten Gebiet simulieren, können topographische Variablen effektive Deskriptoren ihrer standörtlichen Einnischung bieten (FRANKLIN 1995).

Das fein auflösende und viele Vegetationstypen unterscheidende Modell der NK weist bessere Gesamtergebnisse auf als das sowohl räumlich gröbere und wenige Vegetationstypen verwendende Modell von WA. Nur die User's accuracy (Abb. 1) liegt für WA höher. Dies lässt

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

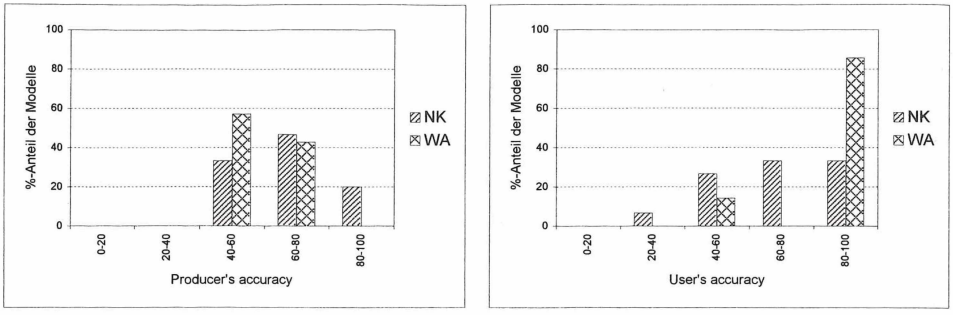

Abb. 1: Vergleich von Producer's accuracy (korrekte Vorhersage des Vegetationstyps) und User's accuracy (korrekte Nicht-Vorhersage des Vegetationstyps) der beiden Vegetationsmodelle mittels einer Fehlermatrix, dargestellt als Histogram des relativen Anteiles der untersuchten Pflanzengesellschaften bzw. Vegetationstypen: Kalkalpen (NK), 666 Referenzpunkten und 18 Pflanzengesellschaften; Westaustralien (WA), 1250 Referenzpunkten und 7 Vegetationstypen.

sich teilweise dadurch erklären, dass die Modelle jeder Einheit in WA einzeln getestet wurden und keine Gesamtkarte wie für NK vorlag. Statische Vegetationsmodelle beruhen auf der Annahme, dass die Verteilung von Pflanzenarten oder Pflanzengesellschaften mit den rezenten Standortbedingungen im Gleichgewicht steht (daher auch der Begriff „equilibrium models", z.B. BEERLING et al. 1995, BOLLINGER et al. 2000, GUISAN & ZIMMERMANN 2000). Bereiche mit Störungsregimen, die Sukzessionsabfolgen zur Folge haben, oder rasch auf Umweltänderungen reagierende Arten sind daher mit den herkömmlichen statischen Vegetationsmodellen nur schwer zu erfassen. Vegetationsmuster alpiner Gebiete sind stark von rezenten Umweltbedingungen geprägt und aus langsam reagierenden Arten zusammengesetzt, somit zeigen sich auch die besten Vorhersageergebnisse für die alpinen Pflanzengesellschaften in NK. Sobald jedoch Rodung und Beweidung - in den subalpinen Almwirtschaftsbereichen - transiente Zustände schaffen, werden die Modelle weniger verlässlich. Die Verwendung adäquater Variablen der Landnutzung ist zwar möglich, war aber bislang nur bedingt erfolgreich (FISCHER 1990, TAPPEINER et al. 1998). Diese Schwäche von Equilibriummodellen wird noch prägnanter, wo räumliche Vegetationsmuster durch historische Arealbildungsprozesse wesentlich mitgeprägt wurden und nicht allein durch limitierende Umweltfaktoren (DIRNBÖCK et al. im Druck a, FRANKLIN 1998, LEATHWICK 1998). Ein solches Beispiel ist die Südwestaustralische Flora, die von herausragender räumlicher Diversität und durch hohen Disjunktionsgrad ausgezeichnet ist (COWLING et al. 1998, HOPPER 1979, HOPPER et al. 1996). Gekoppelt mit den Langzeitfolgen von in den WA-Modellen nicht erfassten, lokalen Feuerereignissen (z.B. HOBBS & ATKINS 1990) verbleibt daher ein sehr hoher Anteil von Verteilungsmuster, die sich mit der Korrelation rezenter Standortbedingungen nicht erklären lassen. In diesen Gebieten ist die Verwendung von Equilibriummodellen problematisch.

Statische Modelle wie die auf der „equilibrium assumption" fußenden räumlich expliziten Vegetationsmodelle sind im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit als Prognose- oder Szenarieninstrument (z.B. Klimafolgenforschung) nicht ohne Adaptationen umsetzbar. Biotische Interaktionen, wie sie beispielsweise in dynamischen „gap"- bzw. „patch"-Modellen implizit sind (NORBY et al. im Druck), wurden bisher nur ansatzweise mitberücksichtigt (AUGUSTIN et al. 1996). Weiters bilden die mittels empirischer Stichproben parameterisierten Modelle stets nur das ökologische Verhalten (ELLENBERG 1953) von Pflanzenarten ab, das nur eine eingeschränkte Aussagekraft in z.B. klimatisch induzierten, neuen Konkurrenzsituationen aufweist (AUSTIN 1992, BOX 2000, FRANKLIN 1995, GUISAN & ZIMMERMANN 2000, MALANSON 1997, WOODWARD 1987).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

5. Schlussfolgerung

Räumlich expizite Vegetationsmodelle haben sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. Vor allem die rasche und relativ einfache räumliche Umsetzung für ganze Landschaften, Kontinente und auf globalem Maßstab hat ihr Anwendungsfeld erweitert. Jedoch bleibt eine Reihe von Problembereichen offen. Für die Vorhersage von Effekten bei Umweltveränderungen erscheint ein kausalanalytischer und prozessorientierter Ansatz notwendig. Die Kopplung statischer und dynamischer Vegetationsmodelle würde eine Möglichkeit bieten, klima- oder landnutzungsbedingte Vegetationsveränderungen ganzer Landschaften zu simulieren.

Danksagung

Die beiden Forschungsarbeiten wurden vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, den Wiener Wasserwerken und einem Forschungsstipendium der Universität Wien finanziert. Besonderer Dank gilt allen Mitarbeitern der Division of Wildlife and Ecology in Perth/WA und jenen der Abteilung für Naturschutzforschung, Landschafts- und Vegetationsökologie in Wien.

Literatur

AUGUSTIN, N.H., M.A. MUGGLESTONE & S.T. BUCKLAND (1996): An autologistic model for the spatial distribution of wildlife. - J. Appl. Ecol. **33**: 339-347.

AUSTIN, M.P. & M.J. GAYWOOD (1994): Current problems of environmental gradients and species response curves in relation to continuum theory. - J. Veg. Sci. **5**: 473-482.

AUSTIN, M.P. & T.M. SMITH (1989): A new model for the continuum concept. - Vegetatio **83**: 35-47.

AUSTIN, M.P. (1992): Modelling the environmental niche of plants: implications for plant community response to elevated CO_2 levels. - Austral. J. Bot. **40**: 615-630.

BEARD, J.S. (1980): Vegetation of the Kellerberrin area, Western Australia: map and explanatory memoir, 1:250.000 Series. - Vegetation survey of Western Australia **22**, Vegmap Publ., Perth.

BEARD, J.S. (1990): Plant life of Western Australia. - Kangaroo press, Kenthurst, New South Wales.

BEERLING, D.J., B. HUNTLEY & J.P. BAILEY (1995): Climate and the distribution of *Fallopia japonica*: use of an introduced species to test the predictive capacity fo response surfaces. - J. Veg. Sci. **6**: 269-282.

BOLLINGER, J., F. KIENAST & N.E. ZIMMERMANN (2000): Risks of global warming on montane and subalpine forests in Switzerland - a modeling study. - Reg. Environ. Change **1**: 99-111.

BOX, E. (2000): Estimating species-based community integrity under global warming, with special reference to the western Mediterranean region. - Phytocoen. **30**: 335-352.

CACCETTA, P. (1999): Some methods for deriving variables from digital elevation models for the purpose of analysis, partioning of terrain and providing decision support for what-if scenarios. - Report CSIRO Mathematical and Information Science, Perth, WA.

CLARKE, C.J., G.W. MAUGER, R.W. BELL & R.J. HOBBS (1998): Computer modelling of the effects of revegetation strategies on salinity in the western wheatbelt of Western Australia 1. The inpact of revetation strategies. - Austral. J. Soil Res. **36**: 109-129.

COHEN, J. (1960): A coefficient of agreement for nominal scales. - Education of Psychological Measurement **20**: 37-46.

COWLING, R.M. & B.B. LAMON (1998): On the nature of Gondwanan species flocks: diversity of Proteaceae in mediterranean South-western Australia and South Africa. - Austral. J. Bot. **46**: 335-355.

DIRNBÖCK, T., S. DULLINGER, M. GOTTFRIED & G. GRABHERR (1999): Die Vegetation des Hochschwab (Steiermark) - Alpine und Subalpine Stufe. - Mitt. Naturwiss. Vereins Steiermark **129**: 111-251.

DIRNBÖCK, T., S. DULLINGER, & G. GRABHERR (im Druck a): A new grassland community in the Eastern Alps (Austria): Evidence of environmental distribution limits of endemic plant communities - Phytocoenologia.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

DIRNBÖCK, T., S. DULLINGER, M. GOTTFRIED, C. GINZLER & G. GRABHERR (im Druck b): Mapping alpine vegetation in the Hochschwab mountain range, Austria. - In: GRABHERR, G., C. KÖRNER, L. NAGY & D.B.A. THOMPSON (eds.) Alpine biodiversity in Europe. Ecological Studies, Springer.

DIRNBÖCK, T., R.J. HOBBS, R.J. LAMBECK & P.A. CACCETTA (im Druck c): Vegetation distribution in relation to topographically driven processes in the Western Australian Wheatbelt. - J. Applied Veg. Sci.

DULLINGER, M., T. DIRNBÖCK, S. GOTTFRIED, C. GINZLER & G. GRABHERR (im Druck): Kombination von statistischer Habitatanalyse und Luftbildauswertung zur Kartierung alpiner Rasengesellschaften. - Proceedings 13. Symposium Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, AGIT2001, Universität Salzburg.

ELLENBERG, H. (1953): Physiologisches und ökologisches Verhalten derselben Pflanzenart. - Ber. Dtsch. Bot. Ges. **65**: 351-362.

ELLENBERG, H. (1996): Die Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. - 5. Aufl., Verlag E. Ulmer

FISCHER, H.S. (1990): Simulating the distribution of plant communities in an alpine landscape. - Coenoses **5**: 37-43.

FRANKLIN, J. (1995): Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. - Progr. Phys. Geogr. **19**: 447-499.

FRANKLIN, J. (1998): Predicting the distribution of shrub species in southern California from climate and terrain-derived variables. - J. Veg. Sci. **9**: 733-748.

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. - Arct. Alp. Res. **30**: 207-221.

GOTTFRIED, M., H. PAULI, K. REITER & G. GRABHERR (1999): A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming. - Diversity and Distribution **5**: 241-251.

GUISAN, A. & N.E. ZIMMERMANN (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. - Ecol. Mod. **135**: 147-186.

GUISAN, A., J.-P. THEURILLAT & F. KIENAST (1998): Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. - J. Veg. Sci. **9**: 65-74.

HOBBS, R.J. & L. ATKINS (1990): Fire-related dynamics of a *Banksia* Woodland in South-western Australia. - Austral. J. Bot. **38**: 97-110.

HOPPER, S.D. (1979): Biogeographical aspects of speciation in the southwest Australian flora. - Ann. Rev. Ecol. Syst. **10**: 399-422.

HOPPER, S.D., J.A., CHAPPILL, M.S. HARVEY & A.S. GEORGE (1996): Gondwanand Heritage: Past Present and Future of the Western Australian Biota. - Surrey Beatty & Sons, Chipping Norton, NSW.

LEATHWICK, J.R. (1998): Are New Zealand's *Notofagus* species in equilibrium with their environment. - J. Veg. Sci. **9**: 719-732.

MALANSON, G.P. (1997): Simulated response to hypothetical fundamental niches. - J. Veg. Sci. **8**: 307-316.

MCARTHUR, W.M. (1993): History of landscape development. - In: HOBBS, R.J. & D.A. SAUNDERS (eds.): Reintegrating fragmented landscapes - towards sustainable production and nature conservation, pp 10-22. Springer Verlag.

MOORE, I.D., P.E. GESSLER, G.A. NIELSEN & G.A. PETERSON (1993a): Soil attribute prediction using terrain analysis. - Soil Sci. Soc. Am. J. **57**: 443-452.

MOORE, I.D., R.B. GRAYSON & A.R. LADSON (1991) Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. - Hydrol. Processes **5**: 3-30.

MOORE, I.D., T.W. NORTON & J.E. WILLIAMS (1993b): Modelling environmental heterogeneity in forested landscapes. - J. Hydrol. **150**: 717-747.

NORBY, R.J., K. OGLE, P.S. CURTIS, F.-W. BADECK, A.HUTH, G.C. HURTT, T. KOHYAMA & J. PENUELAS (im Druck): Aboveground growth and competition in forest gap models: an analysis for studies of climatic change. - Climatic Change.

TAPPEINER, U., E. TASSER & G. TAPPEINER (1998): Modelling vegetation patterns using natural and anthropogenic influence factors: preliminary experience with a GIS based model applied to an alpine area. - Ecol. Mod. **113**: 225-237.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

TER BRAAK, C.F.J. & P. SMILAUER (1998): CANOCO reference manual and user's guide to Conoco for Windows. - Centre for Biometry Wageningen.

WALTER, H. & E. WALTER (1953): Das Gesetz der relativen Standortskonstanz: Das Wesen der Pflanzengesellschaften. - Ber. Dtsch. Bot. Ges. **66**: 228-236.

WOODWARD, F.I. (1987): Climate and plant distribution. - Cambridge Univ. Press, Cambridge.

YEE, T.W. & N.D. MITCHELL (1991): Generalized additive models in plant ecology. - J. Veg. Sci. **2**: 587-602.

Anschriften der Verfasser:
Dr. Thomas Dirnböck*, Dr. Michael Gottfried, Stefan Dullinger, Prof. Dr. Georg Grabherr, Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien, Althanstr. 14, A-1091 Wien, Austria
Richard Hobbs, School of Environmental Science, Murdoch University, Murdoch, WA-6150, Australia
* Verantwortlicher Autor
Tel.: +43/1/4277-54379
Fax: +43/1/4277-9542
E-mail: dirn@pflaphy.pph.univie.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: 13

Autor(en)/Author(s): Dirnböck Thomas, Dullinger Stefan, Gottfried Michael, Hobbs Richard, Grabherr Georg

Artikel/Article: Räumlich explizite Vegetationsmodelle: Möglichkeiten und Limitierungen 129-137