

**"MEDGROW"****EIN SIMULATIONSMODELL  
ZUR ANALYSE VON VEGETATIONSDYNAMIK  
IN MEDITERRANEN ÖKOSYSTEMEN**

CHRISTOPHE NEFF, MANNHEIM

**SUMMARY**

Substantial changes in the landscape structure of the Mediterranean region have led to extensive forest development and bush encroachment. Rural desertification and the abandonment of traditional agriculture are two well-documented causes of these changes in cultural landscape. Although these developments have often provoked discussions about their ecological consequences, most scientific analyses have focussed on the impact on regional biodiversity. In contrast, the growth dynamics of such bush encroachment processes have received little attention - mainly because, until now, there was only very limited knowledge about the growth functions of the involved species of Mediterranean trees.

Aiming to overcome this deficit, MEDGROW was developed as a deterministic grid- and compartment-based simulation program. Specific growth response functions used in MEDGROW simulations derive from an empirical database established in the author's own field studies. MEDGROW can be used to model individual tree growth under given geographical and climatic circumstances, with additional provisions to incorporate perturbation parameters such as fire events or forest cultivation. Initial simulation runs have yielded promising results, successfully modelling vegetation dynamics in the Nîmes (Dept. Gard) region in southern France.

**RÉSUMÉ**

L'accroissement des forêts et des broussailles a considérablement changé les paysages méditerranéens. Les raisons de ce changement sont connues : la déprise rurale et l'abandon de l'agriculture traditionnelle. Ces changements de paysage ont ouvert un large champ d'investigations scientifiques qui se fixe surtout sur le rôle de la biodiversité. Jusqu'à présent, les processus de croissance individuelle de divers arbres et arbustes méditerranéens n'ont pas connu un tel intérêt scientifique, ceci est peut être dû au fait que les données concernant les processus de croissance d'espèces méditerranéen sont plutôt vagues.

MEDGROW a été développé pour combler ce déficit. MEDGROW est un modèle de simulation déterministe à compartiment. Les fonctions de croissance sont tirées d'une base empirique : ce sont les relevés de terrain de l'auteur. MEDGROW peut simuler la croissance de divers arbres méditerranéens en incluant les divers modes de perturbation comme le feu ou la sylviculture. Les premiers

essais de simulation se sont montrés plausibles. Pour la région de Nîmes servant d'exemple(Dépt. Gard/France), les premières simulations ont donné des résultats satisfaisants.

## ZUSAMMENFASSUNG

Substantielle Veränderungen der Landschaftsstruktur im Mediterrangebiet haben zu extensiver Entwicklung von Wäldern sowie zur Verbuschung geführt. Ländliche Desertifikation und die Abkehr von der traditionellen Landwirtschaft sind zwei wohl dokumentierte Gründe dieser Änderungen in der Kulturlandschaft. Wenngleich diese Entwicklungen des öfteren Diskussionen über ihre ökologischen Konsequenzen ausgelöst haben, so lag das Schwergewicht der wissenschaftlichen Analysen gleichwohl stärker auf den Auswirkungen dieser Phänomene auf die regionale Biodiversifizierung. Insbesondere die Wachstumsdynamik beim Geschehen der Verbuschung hat wenig Aufmerksamkeit gefunden, wohl vor allem deshalb, weil die Kenntnis der Wachstumsprozesse der darin involvierten mediterranen Baumspecies bis heute nur sehr begrenzt ist.

Zur Überwindung dieses Defizits wurde MEDGROW als ein deterministisches Raster und Compartmentbezogenes Simulationsprogramm entwickelt. Die spezifischen Wachstums-Respons-Funktionen, die in MEDGROW-Simulationen benutzt werden, sind abgeleitet von empirisch gewonnenen Daten aus den Feldstudien des Autors. MEDGROW kann benutzt werden sowohl zur Modellierung des individuellen Baumwachstums unter gegebenen geographischen und klimatischen Randbedingungen unter Einschluß von Störparametern wie etwa Bränden oder künstlichen Aufforstungen. Die ersten Simulationsversuche haben bei der Modellierung der Vegetationsdynamik im Gebiet um Nîmes (Dept. Gard) in Südfrankreich vielversprechende Resultate geliefert.

## EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

In großen Teilen des westlichen Mittelmeerraums findet seit mindestens 50 Jahren ein grundlegender Landschaftswandel statt. Dieser Wandel betrifft im wesentlichen peripher gelegene Regionen mit Gebirgscharakter. Dieser Landschaftswandel führte zu einem grundlegenden Wandel im Vegetationsbild - die Vegetationsdynamik und Vegetationsentwicklung (BLONDEL & ARONSON 1995) verläuft oftmals völlig konträr zu althergebrachten Konzepten wie z.B. dem klassischen Degradationsansatz des immergrünen Hartlaubwalds in Anlehnung an BRAUN-BLANQUET (1936). Die Diskussion über die Vegetationsdynamik im mediterranen Ökosystem ist immer noch im Fluß; das Klimaxkonzept ist durch Vorstellungen ersetzt worden, in denen sommer- und immergrüne Baum- und Straucharten standort- und perturbationsbedingt dynamische Schlußgesellschaften bilden (vgl. u.a. BACILIERI et al. 1994, BLONDEL & ARONSON (1995)). Die Ursachen dieses umfassenden Landschaftswandels, die Entleerung der ländlichen Räume durch Abwanderung und die sich daraus ergebende Aufgabe der traditionellen Landnutzungsformen sind bekannt und wurden in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen diskutiert und dokumentiert. (LEPART & DEBUSSCHE 1992, BLONDEL & ARONSON 1995, NEFF & FRANKENBERG 1995a + b, NEFF 1998a, PREISS et al. 1997). Die Folge dieses Landnutzungswandels, der ja oftmals mit Landnutzungsaufgabe gleichzusetzen ist, nämlich die flächenhafte Verbuschung und Verwaldung, ist ebenfalls vielfach dokumentiert und wissenschaftlich aufgearbeitet. Großräumig durch multitemporale Analyse von Remote Sensing Szenen (NEFF 1998a), kleinräumig durch Vergleich von Luftbildern (NEFF 1998a, WEIB & FRANKENBERG 1997), landschaftshistorisch durch den Vergleich von historischen Postkarten und Photographien mit aktuellen Landschaftsausschnitten (DERVIEUX et al. 1995, LEPArt et al. 1996) sowie durch umfangreiche Archiv-Quellenstudien von DOUGUE-DROIT (1976), um nur eine kleine Auswahl zu nennen.

Die eigenen Arbeiten anhand von multitemporalen Analysen (1984, 1993) von Remote-Sensing-Szenen des Verfassers im Raum Leucate (Südfrankreich Dept. Aude) (NEFF 1998a) ergaben eine Zunahme der Garrigues- und Maquisflächen um 30%, sowie eine Zunahme der Waldflächen um 17%, und dies meist zu Lasten von landwirtschaftlicher Nutzfläche sowie von Trockenrasengesellschaften. Eine Analyse der Flächenveränderung auf dem Cap Leucate anhand von Luftbildern, die durch detaillierte floristische Feldkartierungen ergänzt wurden, führte zu ähnlichen Ergebnissen. Die aus biogeographisch-floristischer Sicht interessanten Trockenrasen fallen einem Verbuschungsprozeß anheim, der von *Pistacia lentiscus*, *Pinus halepensis* und *Olea europaea var. oleaster* dominiert wird. Diese vom Verfasser im Raum Leucate gewonnenen Erkenntnisse lassen sich, was den Prozeß der Verbuschung und Wiederbewaldung betrifft, durchaus auf den Rest des mediterranen Südfrankreichs, sowie auf große Teile Italiens, Spaniens und Portugals übertragen. So nahm allein die Waldfläche im mediterranen Südfrankreich von 1984 bis 1994 um 11% zu, wohingegen der nationale Durchschnitt nur bei 3% Waldflächenzunahme lag (HAMZA & PIGNARD 1997). Die prozeßökologischen Folgen sind in zwei Bereichen relativ gut aufgearbeitet. BLONDEL & ARONSON (1995) haben in einem Übersichtsartikel die Problematik der Verbuschung und Verwaldung für den hohen Florenreichtum und die noch große Biodiversität des Mittelmeerraumes herausgearbeitet. Die weitflächige Verbuschung und Verwaldung gefährden die hohe Biodiversität des Kulturlandschaftssystems „Mittelmeerraum“, (BLONDEL & ARONSON 1995, NEFF 1998a). Ähnliche Erkenntnisse lassen sich nach PREISS et al. (1997) für die Vogelwelt gewinnen. Nach PRODON<sup>12</sup> führt das „Cloisonement“, der Landschaft im Mittelmeerraum mittel- und langfristig zur Marginalisierung der mediterranen Vogelwelt und zum vermehrten Einwandern von mitteleuropäischen Waldvogelarten. Die Folgen der Verbuschung für den Wasserhaushalt versucht man auch zu quantifizieren; hier stellt sich jedoch das Problem, daß über das Wachstum und die Biomassenproduktion von mediterranen Bäumen und Sträuchern bisher nur sehr vage Kenntnisse vorliegen. Dennoch gibt es hier interessante Ansätze, die mittels teilweise mit GIS gekoppelten Schätzungen zu vorläufigen Ergebnissen kommen - so die Arbeiten von DEBUSSCHE et al. (1987), FILHO (1995) und FILHO et al. (1996). Die Biomassenproduktion und das Wachstumsverhalten von mediterranen Baum- und Straucharten sind bis dato kaum bekannt. Dies liegt einerseits an dem langen Lebenszyklus von Bäumen, der wie z.B. bei *Quercus ilex* bei weitem 1000 Jahre übersteigen kann, und andererseits daran, daß die traditionelle Waldnutzung im Mittelmeerraum die Niederwaldnutzung das Erreichen des normalen Lebenszyklus im Normalfall ausschließt. Der Taillis de Chêne vert<sup>3</sup> oder der Taillis de Chataignier<sup>4</sup> mit sehr kurzen Umlaufszeiten (10-20 Jahren) (vgl. u.a. DUCREY 1988, ROMANE et al. 1988), führen dazu daß es bis zur Jahrhundertwende (1900) in vielen Teilen des Mittelmeerraumes kaum Gebiete gab, in denen der normale Lebenszyklus eines Baumes auch nur annähernd erreicht werden konnte. Deshalb stammen die meisten Berechnungen zur Biomassenproduktion von mediterranen Wäldern auch aus solchen Niederwäldern. Die Berechnungen von CARTAN-SON et al. (1992), von FLORET et al. (1989, 1992) zur Biomassenproduktion von *Quercus ilex*-Waldökosystemen stammten alle aus Niederwäldern, gleiches gilt für die Angaben von RAPP (1995) für *Castanea sativa*. Für Waldökosysteme, die aus generativer Vermehrung hervorgegangen sind, gibt es dagegen nur spärliche Hinweise. Bei LEONARDI & RAPP (1989) finden sich Zahlen über die Biomassenproduktion von *Pinus halepensis*-Wäldern auf Sizilien; die Angaben von LEONARDI et al. (1992) über die Bio-

<sup>1</sup> Mündliche Mitteilung Roger Prodon (Laboratoire Arago CNRS Banyuls sur Mer) an den Verfasser Mai 95.

<sup>2</sup> Um diesem Prozeß zu begegnen, schlägt Prodon den Einsatz eines geregelten Feuermanagement mit „prescribed Fire“, vor. Das größte Problem bei der Anwendung sieht Prodon in der öffentlichen Meinung in Frankreich, die immer noch den geschlossenen Wald als Naturbild idealisiert und jeglichen Feuereinsatz dämonisiert (mündliche Mitteilung an den Verfasser Mai 96).

<sup>3</sup> Taillis de Chêne vert = Steineichenniederwald

<sup>4</sup> Taillis de Chataignier = Edelkastanienniederwald.

massenproduktion von sizilianischen *Quercus suber* lassen sich wegen der schmalen Datenbasis schwerlich auf andere Gebiete übertragen.

Selbst wenn sich das Problem der „Niederwaldbewirtschaftung“ irgendwann von selbst löst, bleibt das Problem des langen Lebenszyklus von Bäumen. Wie in allen anderen Biomen bleibt hierbei nur der Rückgriff auf die Modellierung und Simulation des Baumwachstums, weil ein Lebenszyklus von über tausend Jahren mindestens genauso viel Beobachtungsjahre voraussetzen würde. Der lange Lebenszyklus von Bäumen, der ja bei weitem die Lebensphase der exakten Naturwissenschaften (ca. 200 Jahre) übersteigt, führte in den 60er Jahren in den USA zur Erprobung von ersten normalisierten Rechenmodellen von Baum- und Waldwachstum. „Thus, the intrinsic nature of the trees that comprise a forest make it all but impossible to collect complete data sets on the dynamics of natural forests. What one typically has is a collection of bits of observations from different points in time on segments of forest dynamics. Attempts are then made to connect these bits of information with an inference to form the complete picture. It is, in part, due to the fact that so much of forest ecology is inferred from partial data sets that so many interminable debates rage the field. ... Our knowledge of the long-term dynamics of forests is based largely on scientific inference.“

Because of this reliance on inferences, mathematical models of forest dynamics offer a valuable and manipulatable formalization of what we believe to be the important mechanisms involved in forest succession. Toward this end, in the early 1960s, several forest biologists began to design mathematical models of changes in forest composition.,, (SHUGART, 1984: 2).

Diese Entwicklung wurde u.a. durch zwei andere Faktoren beschleunigt und verstärkt - die Anforderung an die wissenschaftliche Ökologie, unabhängig von Raum und Zeit gültige „Naturgesetze“, wie in exakten Naturwissenschaften, wie z.B. der Physik zu formulieren (vgl. u.a. TREPL 1994, RYKIEL 1996), sowie andererseits die rasante Entwicklung der Computerindustrie, die immer leistungsfähigere und preiswertere Computer zur Verfügung stellte (URBAN & SHUGART 1992). So wurde das von Botkin entwickelte JABOWA Modell u.a. von IBM finanziert.

Hinzu kommt, daß die amerikanischen Forscher mit dem Brookhaven Forest (WHITTAKER & WOODWELL 1968) und Hubbard Forest (BOTKIN et al. 1972) auf einen damals einzigartigen Datenbestand zur Erarbeitung formalisierter Rechenmodelle und deren Überprüfung in situ zurückgreifen konnten. Inwiefern der Anspruch an das Erarbeiten von in der Ökologie gültigen Naturgesetzen, wie sie in der Physik gelten, erreicht wurde, sei dahingestellt. Sie leisteten aber einen großen Erkenntnisgewinn. Botkin und sein Team (BOTKIN et al. 1972) konnten in den frühen siebziger Jahren anhand von Simulationsrechnungen nachweisen, daß die schon in den 50er Jahren von WHITTAKER (1953) vorsichtig geäußerte Meinung, daß Klimaxzustände in Vegetationsbeständen unmöglich sind bzw. nur temporär bestehen können, sowohl systemtheoretisch als auch empirisch richtig ist. „The model predicts that the final state could not be said to occur prior to year 400 ... and the final order of importance of the major species is not reached until year 600.... In the light of the high probability of a major natural catastrophe during such a long period, and the variability of site conditions over even small areas in New England, the model suggests that the concept of a climax forest as defined earlier in the twentieth century (a uniform pattern of species composition with wide areal and temporal extent) is untenable.,, (BOTKIN et al. 1972). Das von Botkin in den 70er Jahren entwickelte Jabowa Gap - Modell (BOTKIN et al. 1972), welches auf den theoretischen Grundlagen der von WATT (1947) formulierten Gap-(Lücken-) Theorie von Waldökosystemen beruhte, ist der „Stammvater“, der meisten Gap-gestützten Simulationsmodelle (URBAN & SHUGART 1992). Diese Gap-Modelle haben sich weitestgehend bei der Analyse von borealen und nemoralen Waldökosystemen durchgesetzt. Inzwischen sind formalisierte Simulati-

onsmodelle von Vegetationsdynamik ein unverzichtbares Werkzeug in der Global Change-Forschung geworden (NEMANI & RUNNING 1996) - selbst wenn es bei der raum-zeitlichen Auflösung und der detaillierten Objektivierbarkeit der Prognosen der verschiedenen Modelle noch sehr große Probleme gibt (CRAMER 1997).

## STAND DER FORSCHUNG - SIMULATIONSMODELLE FÜR DEN EUROPÄISCHEN MITTELMEERRAUM

Im Gegensatz zu borealen und nemoralen wurden, soweit dem Verfasser bekannt, bis auf das MARIOLA-Modell von USO et al. (1995) keine Simulationsmodelle für die Vegetationsdynamik im europäischen Mittelmeerraum entwickelt. Einer der Gründe hierfür war die Dominanz der pflanzensoziologisch ausgerichteten Zürich-Montpellier-Schule, welche bis weit in die 70 er Jahre große Teile der vegetationskundlichen Forschung im Mittelmeerraum beherrschte. Große Teile des westlichen Mittelmeerraumes wurden in den letzten hundert Jahren teilweise minutiös pflanzensoziologisch aufgenommen und interpretiert. Doch in den vorliegenden vielfältigen Tabellenwerken finden sich in den allerwenigsten Fällen Angaben über Baumhöhen, Stammdurchmesser, Zuwachs etc., von Altersangaben der Bestände ganz zu schweigen. Die ab 1970 einsetzende Hinwendung zum Einsatz quantitativer Methoden führte vor allem zur numerischen Analyse von Florentabellen. Gleichzeitig führte die Forderung nach überprüfbaren Gesetzmäßigkeiten in der ökologischen Forschung (siehe oben) zur Anwendung von Freilandexperimenten. Hier wandte man sich vor allem Organismen mit kurzem Lebenszyklus zu, - soweit es Pflanzen betrifft, wurde vor allem mit ein und mehrjährigen Pflanzen experimentiert. Hier sei, um nur ein Beispiel zu nennen, auf die Arbeit von ESCARRÉ et al. (1996) über verschiedene simulierte Beweidungsregime auf die Biomassenproduktion und Blütenbildung von *Picris heracioides*, *Crepis pulchra* und *Crepis foetida*, allesamt Compositae mit ein- oder zweijährigem Lebenszyklus, hingewiesen. Des Weiteren liegen die Schwierigkeiten des Modellbaues in der Mittelmeerregion darin, daß man es in der Regel nicht bei einer Handvoll Baumarten wie in den ersten Gap-Modellen der borealen oder nemoralen nordamerikanischen Zone zu tun hat, sondern mit einem bunten Mosaik von konkurrierenden Baum- und Straucharten, über deren Wuchsleistung man kaum Genaues weiß. Im Gegensatz zu den Verhältnissen in der borealen und nemoralen Zone (sowohl in Nordamerika als auch in Europa) ist die Implementation von Simulationsmodellen für den europäischen Mittelmeerraum mit einem sehr großen Aufwand an Feldarbeit verbunden. Modelle wie sie etwa von BUGMANN (1994), KRÄUCHI (1994) u.a. für den Schweizer Alpenraum entwickelt wurden, sind bei der aktuellen Datenlage für den Mittelmeerraum nicht machbar.

## EIN BIBLIOMETRISCHER EXKURS ZUM STAND DER INTERNATIONALEN FORSCHUNG

Der Verfasser hat versucht, durch eine systematische Literaturanalyse alle Arbeiten über Baumwachstum, Vegetationsdynamik und - modellierung im Mittelmeerraum zu erfassen und auszuwerten. Neben der bereits erwähnten Problematik ergaben sich aus bibliometrischer Sicht weitere wichtige Erkenntnisse. Es wurden 476 Titel (Stand Mai 1998) aufgenommen und unter Stichworten nach Zeitschriften und Monographien geordnet in eine Datenbank eingegeben, wobei jeder Einzelarbeit bzw. jedem Artikel zwei thematische Schlüsselwörter zugeordnet wurden. Die Analyse dieses Datenbankbestandes, die es ebenfalls erlaubt, bis zu drei Hauptautoren auszugeben, ergibt auch aus aktueller forschungspolitischer Sicht - wo steht die deutsche vegetationskundliche Forschung? - recht interessante Ergebnisse. Abgesehen von Monographien und Dissertationen, die hier nicht weiter aufgeschlüsselt sind, findet sich unter den ersten 10 Nennungen nur eine einzige deutsche Zeitschrift, - die Erdkunde aus Bonn. Dies ist natürlich auch themenbedingt (Mittelmeer-

raum), dennoch wirft es ein bezeichnendes Licht auf die internationale Resonanz deutscher Forschung, was durch die anschließenden Detailuntersuchungen noch verdeutlicht wird.

Tab. 1 Bibliometrische Gesamtauswertung aller Titel - die zehn häufigsten Nennungen.

Titel	Zahl	%	kum %
Monographie	53	11,1	11,1
Journal of Vegetation Science	28	5,9	17,0
Forêt méditerranéenne	18	3,9	20,8
Revue forestière française	14	2,9	23,7
Ecological Modelling	13	2,7	26,4
Annales des Sciences Forestières	12	2,5	28,9
Erdkunde	11	2,3	31,2
Bulletin de la Société d'Études des Sciences Naturelles de Nîmes et du Gard	10	2,1	33,3
Lehrbuch	9	1,9	35,2
Bulletin de la Société botanique de France	8	1,7	36,9
Berichte der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde	8	1,7	38,6
Dissertationen	8	1,7	40,3

(Stand Mai 1998 Quelle : Literaturdatenbank MEDGROW des Verfassers)

Auf die Schlüsselwörter Baumwachstum, Baumalter und Baumsterben, Biomassenproduktion und Waldwachstum heruntergebrochen, zeigt sich die Marginalisierung deutscher Publikationen im internationalen Forschungswettbewerb innerhalb der Landschaftsökologie. Diese mag sich bestimmt einerseits durch den gewählten Raum erklären, andererseits aber auch damit, daß die vormals sehr stark im Mittelmeerraum vertretene deutsche Vegetationsforschung immer noch sehr stark pflanzensoziologisch bzw. sygmasyntatisch arbeitet. Davon weichen auch neuere Arbeiten wie die von RICHTER (1989) über mediterrane Rebbrachen oder die rezente Arbeit von DEIL (1997) über die geobotanische Differenzierung nordafrikanischer und südspanischer Vegetationsbestände nicht ab. Dies führt dazu, daß solche Arbeiten ungeachtet ihrer Qualitäten international kaum noch Gehör finden. Traditionelle Pflanzensoziologie und der dazugehörige theoretische Unterbau wie die Klimaxtheorie gelten inzwischen in internationalen Fachkreisen als überholt (vgl. MUCINA 1997). Abgesehen davon fällt auf, daß angesichts der alten Tradition vegetationskundlicher Forschung im Mittelmeerraum die Zahl der Arbeiten, die sich mit Baumwachstum und verwandten Bereichen auseinandersetzen, doch relativ gering ist. Die Anzahl der Arbeiten entspricht in etwa dem, was man z.B. in einer Handvoll Jahrgänge des Canadian Journal of Forest Research zum gleichen Themenkreis in der borealen und nemoralen Zone Nordamerikas und teilweise auch Eurasiens findet.

Eine ähnliche Tendenz zeigt sich bei den Schlüsselwörtern Modellierung, Simulation und Forest Gap-Modelle. Hier nimmt die Zeitschrift Ecological Modelling dominierende Stellung ein. Diese überaus wichtige Zeitschrift ist aber in keiner einzigen süddeutschen Bibliothek<sup>5</sup> als kompletter Jahrgang vorhanden. International sehr renommierte deutsche Ökosystemmodellierer um Bossel (Kassel) und Cramer (PIK<sup>6</sup> Potsdam) publizieren sehr wohl in internationalen Zeitschriften wie Ecological Modelling, Journal of Vegetation Science und Plant Ecology, nur besteht die Gefahr, daß angesichts der aktuellen Beschaffungspolitik der Bibliotheken (Budgetkürzungen) diese in Deutschland immer weniger wahrgenommen werden. Da es, wie schon erwähnt, bis dato nur ein funktionsfähiges Simulationsmodell zur mediterranen Vegetationsdynamik gibt, werden in der Re-

<sup>5</sup> Inzwischen gibt es an der UB Konstanz Ecological Modelling als kompletten Jahresband.

<sup>6</sup> PIK = Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung.

gel Arbeiten gelesen, die lediglich Analogieschlüsse zum Erstellen eines Modells für die ausgewählte Region erlauben.

Tab. 2 Bibliometrische Auswertung der Schlüsselworte: Baumwachstum, Baumalter, Baumsterben und Biomassenproduktion.

<b>Titel</b>	<b>Zahl</b>	<b>%</b>	<b>kum %</b>
Revue forestière française	6	9,8	9,8
Annales Sciences Forestières	4	6,6	16,4
Forêt méditerranéenne	4	6,6	23,0
Journal of Vegetation Science	4	6,6	27,9
Ecological Modelling	3	4,9	32,8
Canadian Journal of Forest Research	3	4,9	37,7
European Forest Institute Research Report	3	4,9	42,6
Mongraphie	3	4,9	47,5
Vegetatio/Plant Ecology	2	3,3	50,8
Journal of Ecology	2	3,3	54,1

(Stand Mai 1998 N= 61 Quelle : Literaturdatenbank MEDGROW des Verfassers)

Tab. 3. Bibliometrische Auswertung der Schlüsselworte: Modellierung, Simulation und Forest Gap-Modelle.

<b>Titel</b>	<b>Zahl</b>	<b>%</b>	<b>kum. %</b>
Ecological Modelling	11	25,0	25,0
Monographien	6	13,6	38,6
Journal of Vegetation Science	3	6,8	45,5
Lehrbücher	3	6,8	52,3
Landscape Ecology	2	4,5	56,8
Ecology	1	2,3	59,1
Journal of Ecology	1	2,3	61,4
Petermanns Geographische Mitteilungen	1	2,3	63,6
Canadian Journal of Forest Research	1	2,3	65,9
International Geosphere-Biosphere Programme Book Series	1	2,3	68,2

(Stand Mai 1998 N = 44 Quelle : Literaturdatenbank MEDGROW des Verfassers)

Daß Petermanns Geographische Mitteilungen mit einer Nennung aufgeführt werden, mag zunächst als Zufall erscheinen. Dem ist jedoch nicht so, denn die Geographie galt in der alten DDR immer als Naturwissenschaft und wurde in mathematischen Fakultäten geführt. Zu DDR-Zeiten war deshalb ein Studium der Geographie ohne Nebenfachstudium der Mathematik, Physik oder Informatik nicht möglich<sup>7</sup>. Dies führte zwangsläufig auch zu einer stärker naturwissenschaftlich-systemanalytisch geprägten Forschungsrichtung als in der alten Bundesrepublik .

In dem Bereich der Simulation und Modellierung zeigt sich auch überdeutlich, daß das Englische immer mehr zur internationalen wissenschaftlichen Lingua franca avanciert. 70 % der Beiträge sind in Englisch verfaßt, der Rest verteilt sich fast gleichmäßig auf französisch- und deutschsprachige Publikationen.

Die große Bedeutung des Englischen wird auch bei der Analyse des Gesamtdatensatzes deutlich, obwohl diese mit 37,1% längst nicht so bedeutend ist, wie der Anteil im Bereich Modellierung und

<sup>7</sup> mündliche Mitteilung von Prof. Aurada an den Verfasser, Hamburg, Februar 1998.

Simulation. Die 30,2% der französischen Sprache lassen sich damit erklären, daß im Mittelmeerraum das Französische als Wissenschaftssprache immer noch eine große Bedeutung hat, weil der Zugang zum Französischen den romanischen Anrainern des Mittelmeerraumes bzw. den ehemaligen französischen Kolonien (Maghreb, Libanon, Syrien) trotz aller Bemühungen immer noch leichter fällt als das Englische<sup>8</sup>. 2% verteilen sich auf Portugiesisch, Italienisch und Spanisch. Die 30,6% deutschsprachigen Publikationen überbewerten bei weitem den wissenschaftlichen Einfluß, den diese haben. Diese 30% deutschsprachigen Arbeiten entsprechen aber bei weitem nicht der Bedeutung der 30% französischen Arbeiten. Das liegt zum einen an der Sprache selbst, denn die Bedeutung des Deutschen geht in diesen Ländern immer mehr zurück. Beispielsweise war der Erwerb eines naturwissenschaftlichen Abiturs in Frankreich bis in die 50er Jahre mit Physik und Mathematik als Hauptfach auch mit dem Erlernen der Pflichtfremdsprache Deutsch verbunden<sup>9</sup>. Dies galt nicht nur für den frankophonen Raum, sondern war bis vor dem zweiten Weltkrieg für große Teile der Welt gültig, da das Deutsche bis dahin allgemein die Sprache der Natur- und Ingenieurwissenschaften war. Der einzige Bereich der Naturwissenschaften, der in der ersten Jahrhunderthälfte von der französischen Sprache beherrscht wurde, war die Botanik, einschließlich der Vegetationsgeographie und Pflanzensoziologie. Inzwischen hat sich das Englische so als Sprache der Natur- und Ingenieurwissenschaften durchgesetzt, daß man allenthalben daneben manchmal französische Sprachkenntnisse vorfindet, deutsche Sprachkenntnisse jedoch kaum mehr vorhanden sind. Sprachkompetenz wird aber im internationalen Wissenswettbewerb sowohl zur Aufnahme als auch zur Weitergabe von Information immer wichtiger. Dies könnte erklären weshalb - abgesehen von offensichtlichen Defiziten wie z.B. dem Festhalten an aus internationaler Sicht überholten Theoriekonzepten, wie der Klimaxlehre der klassischen Pflanzensoziologie - die deutsche Vegetationsgeographie und Geobotanik international immer mehr ins Abseits rutscht. Die oben angeführten Gründe erklären bei weitem besser, weshalb manche Sparten der deutschen Geographie international immer weniger wahrgenommen werden, als es EHLERS & HEINRITZ (1995) mit ihrem streckenweise polemischen „Stop the flood.“ Artikel tun.

Ein weiteres Problemgebiet, das die bibliometrische Studie aufdeckt, ist die Monopolisierung der Wissensweitergabe durch große internationale Verlagshäuser wie Reed Elsevier, Kluwer, und Springer, um nur die drei wichtigsten zu nennen. Dies betrifft nicht nur die Geographie, sondern den ganzen Bereich der Naturwissenschaften. Die wichtigsten Schlüsselaufsätze und Beiträge kommen größtenteils aus Zeitschriften oder Monographien dieser Verlagshäuser (incl. deren elektronischen online-Versionen). Ein kompletter Jahresband einer dieser Zeitschriften kostet oftmals einige tausend Dollar - ein Jahresabonnement der schon erwähnten Ecological Modelling beispielsweise 2287 \$ (1998). Dies führt dazu, daß genau diese Zeitschriftenreihen bei Budgetreduktionen meist als erste aus Bibliotheksbeständen verschwinden, soweit sie überhaupt jemals vorhanden waren.

<sup>8</sup> Zum Gebrauch des Französischen und Deutschen in der landschaftsökologischen Mittelmeerforschung, schreibt Orlando Ribeiro, der „Doyen“ der Portugisischen Geographie, anlässlich eines internationalen Kongresses über den Johannisbrobaum *Ceratonia siliqua* folgendes: „Qu'il me soit permis, dans un Symposium sur un arbre méditerranéen et qui a lieu dans la contrée la plus méditerranéenne du Portugal, d'utiliser la langue méditerranéenne que la génération qui faisait son initiation scientifique il y a 50 ans et dont je suis l'un des derniers survivants, employait les plus fréquemment dans les réunions scientifiques internationales, avant la montée de l'anglo-américain et la disparition de l'allemand. Sans compter l'italien, ou existe sans doute une vaste bibliographie sur le sujet qu nous concerne, et l'espagnole, ou il en est de même et qui est parlé dans le plus grand nombre de pays du monde.“

Je défends encore l'usage du français comme langue scientifique, en raison de ses admirables qualités de rigueur, de souplesse et de style., (Ribeiro 1980: 3)

<sup>9</sup> mündliche Mitteilung François Romane (CNRS-CEFE Montpellier) an den Verfasser.

Sollte sich diese Tendenz fortsetzen, was angesichts der großen Haushaltsprobleme der öffentlichen Hand zu erwarten sein wird, könnte dies durchaus dramatische Auswirkungen für die Qualität der deutschen Forschung haben.

Zum Ende dieses Exkurses soll noch auf eine Problematik hingewiesen werden, die zumindest in Teilen mit der Dominanz der großen Verlagshäuser zusammenhängt. Dies sind die sogenannten „Pagecharges“, die 20-30 \$ pro Seite betragen können. Zumeist sind Autoren aus Entwicklungsländern davon ausgenommen. Wenn die Reihe gleichzeitig offizielles Publikationsorgan einer wissenschaftlichen Fachorganisation ist, sind die Autoren, soweit sie Mitglied dieser „Organisation“, sind, ebenfalls von den Pagecharges ausgenommen. So entfällt beispielsweise die Page charge für Mitglieder der Society of Restoration Ecology, wenn sie in der Restoration Ecology (Blackwell) publizieren, gleiches gilt für Mitglieder der IAVS im Journal of Vegetation Science. Bei dem Journal of Vegetation Science ist immerhin positiv zu vermerken, daß, soweit die Heimatinstution des Autors diese Reihe abonniert hat, der Autor von den Page charges freigestellt ist. Ganz nebenbei geht oft genug das gesamte Copyright auf die großen Verlagshäuser über. Diese gesamte Problematik ist wohl in weiten Kreisen der deutschsprachigen Geographie noch unbekannt oder wird vielleicht auch tabuisiert. Aber es gibt auch positive Ausnahmen, so haben die Geographischen Institute Greifswald<sup>10</sup> und Zürich<sup>11</sup> (Universität) einen Fond zur Unterstützung von Publikationen in internationalen Zeitschriften eingerichtet, welcher auch die Page charges übernimmt.

## **BEISPIELE VON MODELLEN ZUR VEGETATIONSDYNAMIK IM MITTELMEERRAUM**

Die systematische Analyse der Literatur erbrachte, daß bis dato nur ein einziges Simulationsmodell zur Vegetationsdynamik im europäischen Raum besteht, nämlich das schon erwähnte MARIOLA Modell von USÓ-DOMENECH (1995).

Geht man jedoch von der ursprünglichen etymologischen Bedeutung der Begriffe Modell und Simulation aus, so gab es schon vielerlei Modelle und Simulationsmodelle. Das Modell als graphischer Entwurf zur Erklärung, wie Vegetationsdynamik in einem raum-zeitlichen Zusammenhang funktioniert, oder die Simulation als das Nach- bzw. Vorzeichnen von funktionalen Systemen mit mehreren Nebenbedingungen.

Modell = it. modello, modulus(lat.) = Vorbild, Imitationsobjekt, Vorbild etc.

Simulation von simulare (lat.) = Nachzeichnen, Vormachen

Simulation von simulacre (lat.) = eine Realität nachzeichnen

Am bekanntesten und immer noch weit verbreitet ist das Degradationsmodell des immergrünen Steineichenwaldes nach BRAUN-BLANQUET (1936). Ähnliches gilt für das Kulturlandschaftsmodell von KUHNHOLTZ-LORDAT (1945). Ein neueres solches Modell ist das von TRABAUD (1980) entwickelte zur Erklärung der Rolle des Feuers in den Garrigues des Bas-Languedoc. Auch das von NEFF & FRANKENBERG (1995b) entwickelte Modell zur Landschafts- und Vegetationsdynamik um Nîmes fällt in diese Kategorie. Diese Modelle wurden als „Erklärungsmodelle“, konzipiert, eine rechnerische Umsetzung war nie das Ziel dieser Modelle.

<sup>10</sup> mündliche Mitteilung Prof. Aurada (Greifswald), Hamburg, Februar 1998.

<sup>11</sup> mündliche Mitteilung Prof. Elässer (Universität Zürich), Hamburg, Februar 1998.

In den 70er Jahren versuchte man allerdings am CNRS-CEFE das Braun-Blanquet'sche Konzept anhand von Markov'schen Ketten rechnerisch umzusetzen, dieser Versuch mißlang jedoch<sup>12</sup>.

Das von HÖLLERMANN (1995) entworfene Landschaftsökologische Modell der Feuerentwicklung in kanarischen Kiefernwälder ist ein Erklärungsmodell in Anlehnung an das von MOSIMANN (1984) konzipierte Regelkreis-Modell eines Geosystems. HÖLLERMANN gibt über die Verwendung von „+“ und „-“, auch schon relationelle Veränderungen an. Theoretisch, vorausgesetzt es lägen genügend Feld- und Labordaten vor, wäre es durchaus möglich, auf dieser Grundlage ein rechnergestütztes Simulationsmodell für den Mittelmeerraum bzw. den Kanarenraum zu entwickeln. Daß dies praktisch möglich ist, soweit die entsprechende Daten vorhanden sind bzw. problemlos erhoben werden können, haben DUTTMANN und MOSIMANN (1994, 1996) anhand eines Anwendungsbeispiele der norddeutschen Geest verdeutlicht. Diese Datengrundlage mit ausreichender zeitlich-räumlicher Auflösung und einer gewissen zeitlichen Kontinuität ist nach den Recherchen des Verfassers für den gesamten Mittelmeerraum bisher nicht vorhanden. Man kann auch davon ausgehen daß, gesetzt den Fall eines Tages würde ein Großforschungsprojekt wie das Söllingprojekt für den mediterranen Raum angesetzt werden, diese Daten beim aktuellen Stand der Forschung kaum oder nur sehr schwerlich bereitzustellen wären. Nicht-destructive Methoden zum Erheben der wichtigsten Vegetationsparameter, Bodenparameter etc., wie sie dieses Modell voraussetzen, sind in den geschlossenen mediterraner Garrigues- und Maquis-dense-Beständen und auch in Wäldern nicht durchführbar. Ähnliches gilt für das Aufstellen von Meßgeräten. Soweit dies mit einer sinnvollen Kosten-Nutzen-Relation möglich wäre, wäre dies bestimmt bis dato von den mediterranen landschaftsökologischen Großforschungseinrichtungen wie beispielsweise das CNRS-CEFE in Montpellier im Puech Chabon-Wald oder dem Forschungsgelände der katalanischen Universitäten im Montseny Massif (vgl. u.a. CANADELL et al. 1988) auch durchgeführt worden.

Wie schon erwähnt, ist das bisher einzige funktionsfähige rechnergestützte Simulationsmodell das von USÓ-DOMENECH et al. (1995) entwickelte MARIOLA-Modell. Es ist ein deterministisches holistisches Modell mit verschiedenen kompartimentartig gegliederten Subroutinen bzw. Submodellen. Die wichtigsten Subroutinen umfassen das Wachstum der Biomasse, sowie die Zersetzung der Biomasse. Gekoppelt sind diese beiden Subroutines an eine weitere Subroutine, welche analog dem klassischen Jäger-Beute-Schema Kaninchen als Vegetationsverwerter in das Modell einbringt. Weiterhin alimentieren diese genannten Subroutinen ein organisches Bodenmodell um nur die wichtigsten zu nennen. Das Modell simuliert bisher das Wachstum einer einzigen Art nämlich *Cistus albidus*, auf einer Fläche von 100 m<sup>2</sup>. USÓ-DOMENECH et al. (1995) konnte auf relativ reichhaltigen Datenbestand zu *Cistus albidus* aus der Sierra de MARIOLA bei Alicante zurückgreifen. USÓ-DOMENECH et al. (1995) berechnen die Biomasse nicht in kg/ha sondern in Bio-volumen. Das Maß Biovolumen entspricht dem geschätzten oberirdischen Volumen einer Pflanze bzw. es ist eine im Mittelmeerraum gebräuchliche Methode, um zu standardisierten Werten zur Pflanzenproduktion zu kommen. Sie ist wohl die einzige nicht-destructive Methode die es erlaubt, in dichten Vegetationsbeständen die Biomasse abzuschätzen. Sie geht auf die Arbeiten von TRABAUD et al. (1973) zur Erstellung von Feuerrisikokarten zurück. Detaillierte Angaben zur Anwendung der Methode finden sich bei NEFF (1995). Inzwischen haben USÓ et al. (1997) allometrische Funktionen publiziert, die es erlauben, über das Biovolumen von *Cistus albidus* das Gewicht der Biomasse anzugeben. Das MARIOLA-Modell konnte mangels zur Verfügung stehender Daten bisher nicht oder nur unzureichend validiert werden (USÓ-DOMENECH et al. 1995: 125). Prinzipiell könnte das MARIOLA-Modell auch das Wachstum anderer mediterraner Pflanzen si-

<sup>12</sup> mündliche Mitteilung Edouard Le Floch (CNRS-CEFE Montpellier) an den Verfasser Mai 1997.

mulieren, soweit die entsprechenden Wachstumsfunktionen bekannt sind. „In the actual state, the MARIOLA model has been validated with one shrub species, the *Cistus albidus*. Nothing impedes its validation in any other species, arbutus or herbaceous, provided that the equations of growth are known.“ (Uso-DOMENECH et al. 1995: 116). Diese Wachstumsfunktionen waren bis zur Implementierung von MEDGROW durch den Verfasser unbekannt.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß am CNRS-CEFE in Montpellier in Zusammenarbeit mit dem Fangio Naturreservat in Korsika von MOUILLOT, RAMBAL, RATTE, LAVOREL (vgl. „weitere Quellen“) ein Simulationsmodell zur Landschaftsgestaltung durch Feuer entwickelt wird. Dieses GIS-gestützte Simulationsmodell dient der Analyse des feuerbedingten Wachstumsverhaltens von *Arbutus unedo*-dominierten Macchien auf Korsika. Über dieses Modell ist, soweit dem Verfasser bekannt, bis dato nichts publiziert worden.

## IMPLEMENTIERUNG DES MODELLS MEDGROW

Weil, wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, weder in modelltechnischer Sicht auf bestehende Arbeiten noch auf Datengrundlagen zurückgegriffen werden konnte, beschloß der Autor, selbst ein Simulationsmodell zur mediterranen Vegetationsdynamik zu erstellen.

Dazu kam auch ein grundsätzlicher methodischer Gesichtspunkt: Die weithin in den Forest-Gap-Modellen üblichen „bell-shaped“, Kurven auf Grundlage der „Growing Degree-Days“, zur Berechnung des klimaabhängigen Baumwachstums sind allenthalben in der borealen Zone entlang der Baumgrenze ein zuverlässiges Werkzeug. BIO et al. (1998) weisen u.a. darauf hin, daß die Verwendung dieser „bell-shaped (Gaussian) response“, Funktionen auf keinerlei bisher bekannten ökologischen Gesetzmäßigkeit beruht. Die Beliebtheit dieser „bell-shaped response functions“, in der Ökologie fußt weitgehend auf der relativ einfachen statistischen Handhabung (BIO et al. 1998). SCHENK (1996) hat die Problematik der Verwendung von Degree-days als thermische Grundlage von Wachstumsfunktionen in einem Überblicksaufsatz einschließlich einer mathematischen Beweisführung umfassend dargestellt.

Im Mittelmeerraum kann die Photosyntheseleistung (Kohlenstoffbindung), soweit man sie als Funktion der thermischen Bedingungen ausdrückt, als gekappte Quadratfunktion der Temperatur dargestellt werden. Ab einem gewissen artspezifischen Temperaturmaximum kommt es zu einem thermischen Schock - bei *Pinus halepensis* bei 45° C, bei *Quercus ilex* bei 50° C. (MÉTHY et al. 1997). Die Photosynthese flacht dabei erst leicht ab und fällt nach einer gewissen Zeitverzögerung ganz aus, weil durch den thermischen Schock der Benson-Calvin Zyklus behindert bzw. zeitweise unterbunden wird (MÉTHY et al. 1997). Daraus läßt sich folgern, daß man innerhalb der üblichen Bandbreite des mediterranen Klimas das daraus abzuleitende Pflanzenwachstum - soweit man die thermischen Bedingungen betrachtet - als einfache lineare Funktionen darstellen kann. Der Verlust an Genauigkeit (bzw. an erklärter Varianz) ist für die erste Implementierung eines Simulationsmodells unerheblich. Ähnlich verhält es sich mit dem hygrischen Faktor, auch diesen kann man oberhalb eines artspezifischen Schwellenwerts bei Bäumen und Sträuchern als einfache lineare „Responsefunktion“, darstellen. Soweit es Bäume und Sträucher betrifft, scheint nach neueren Forschungen die Niederschlagsverteilung eine weit unerheblichere Rolle zu spielen als bisher angenommen. So konnten ZHANG (1987), sowie ZHANG & ROMANE (1991) nachweisen, daß das Dickenwachstum von *Quercus ilex* in den trockenen Sommermonaten die höchsten Werte erreicht. Einerseits scheinen die wenigen Sommerniederschläge zusammen mit der höheren Temperatur positiv mit dem Dickenwachstum zu korrelieren, andererseits gehen ZHANG & ROMANE (1991) davon aus, daß eine jahreszeitlich bedingte Veränderung der Wurzelraumkapazität dazu führt, daß

das vorhandene Bodenwasser und das Niederschlagswasser im Sommer besser ausgenutzt werden können.

Für die erste Implementierung des Modells MEDGROW stand also fest:

- Das Baumwachstum wird in Dicken- und Höhenwachstum unterschieden. Innerhalb der normalen Bandbreiten des mediterranen Klimas können beide Wachstumsfunktionen als einfache lineare Funktionen der Klimaparameter Temperatur und Niederschlag oder abgeleiteter Größen dargestellt werden.
- Da die klimatischen Faktoren jedoch immer nur einen gewissen Teil des Wachstumsprozesses ausreichend erklären, ging der Verfasser davon aus, daß andere Größen in einem solchen Modell ebenfalls zu berücksichtigen wären.
- Alter, Baumhöhe, Kronenfläche, Wurzelraumkapazität, Substrattiefe sind weitere wichtige Faktoren. Über den Einfluß dieser Faktoren war bis dahin auf dem Artenniveau, abgesehen von Allgemeinplätzen, kaum etwas bekannt. Da der Verfasser vor dem gleichen Problem stand wie Usó , d.h. der geringen Datenverfügbarkeit, hat er sich selbst eine Datenbasis geschaffen.

## DIE MEDGROW - DATENBASIS

### A. Bäume/Vegetationserhebungen

Der Verfasser hat über drei Jahre lang in Teilen des westlichen Mittelmeerraums Bäume kartiert und vermessen. Dabei wurden über 2000 Bäume vermessen. Räumlicher Schwerpunkt der Vegetationsaufnahmen war das mediterrane Südfrankreich, ergänzt durch Aufnahmen aus dem submediterranen Oberrheingraben und thermomediterrane Bestände in Südportugal und den Liparischen Inseln. Bei jedem Baum wurden Höhe und Stammdurchmesser gemessen und das Alter ermittelt. Soweit standorttechnisch machbar wurde auch noch der Kronenumfang gemessen, ansonsten wurde dieser durch allometrische Funktionen geschätzt. In Kreis- und Flächenmessungen wurde weiterhin für jeden aufgenommen Standort die Substrattiefe ermittelt, außerdem wurde jeder Standort mit einem GPS eingemessen, d.h. alle Standorte sind problemlos auffindbar und die Angaben des Verfassers überprüfbar. Deshalb ist es möglich, an gleichen Orten nach einer gewissen Zeitspanne den Meßvorgang zu wiederholen. Mittelpunkt der Messung war immer der auffälligste, d.h. in der Regel der größte und höchste Baum. Dessen Koordinaten wurden dann mittels GPS eingemessen - davon ausgehend, daß der mächtigste Baum in undurchdringlichem Gelände auch wieder auffindbar sein wird. Die Baummessungen hat der Verfasser in eine SPSS-gestützte Datenbank eingegeben; bisher wurden von den über 2000 vermessenen Bäumen 1663 (Stand Mai 98) in diese Datenbank eingegeben. Bei der Eingabe werden über weitere allometrische Funktionen für jeden eingegebenen Baum Holzfestmeter (Stammholz), Kronenfläche (Kronenprojektionsfläche), Biovolumen, Biomasse (oberirdisch) und Wurzelraumkapazität errechnet. Außerdem kann für jeden Standort die Gesamtbaumzahl pro ha, sowie die jeweiligen Artenanteile pro ha errechnet werden.

### B. Klimadaten

Die Klimadaten hat der Verfasser für jeden Standort bis dato aus der wissenschaftlichen Literatur zusammengetragen. Aufgrund der genauen Verortung durch GPS wird es jedoch nach der Erstim-

plementation möglich sein, mit Hilfe der von LEEMANS & CRAMER (1991) entwickelten IIASA Klimadatenbasis, jedem Einzelbaum präzisere Klimawerte zuzuordnen.

### C. Beispieldaufnahmen

In Tab. 1 wird beispielhaft eine komplette Vegetationsaufnahme gezeigt. Ergänzt wird diese Tabelle noch durch Abb. 1 der Projektion der Kronenflächen dieser Aufnahme. Es handelt sich hierbei um einen ca. 100 - 130 Jahre alten *Pinus pinea* - Forst in Cogolin (Maures Massif/Frankreich), der kurz vor der Aufnahme im Sommer 1996 durchforstet wurde. (vgl. Photo 1.)

Die in der Tabelle gezeigten Daten stellen nur eine Auswahl der wichtigsten erhobenen bzw. abgeleiteten Parameter dar. Der Baum 38,01 (= *Pinus pinea*) ist übrigens (bis dato) die höchste Schirmpinie, sie besitzt mit 71 m (= 401,35 m<sup>2</sup> Kronenprojektionsfläche) den größten Kronenumfang aller Schirmpinien. In Abb. 2 sind die Kronenprojektionsflächen einer weiteren Vegetationsaufnahme, diesmal aus Feuilla (Corbières, Frankreich) gezeigt. Es handelt sich hierbei um einen relativ dichten Maquis, der von *Quercus pubescens*, sowie *Cistus monspeliensis* dominiert und von *Pinus pinea* überschirmt wird. Deshalb ist es auch aus Platzgründen nicht möglich, diese Aufnahme hier darzustellen (vgl. Photo 2.). Aus den beiden Abbildungen der Kronenprojektionsflächen wird der Unterschied beider Aufnahmen deutlich. Der Pinienwald in Cogolin wird deutlich von wenigen großen Pinien überschirmt (Bestandsdurchschnittshöhe = 12,64 m ), während in Feuilla mit 3,54 m Durchschnittshöhe die einzelnen Bäume sich kaum überschirmen, sie sich aber ganz eindeutig gegenseitig im Höhenwachstum behindern. Eines der wesentlichen Ergebnisse der gesamten Feldarbeiten ist, daß viele Autoren die Bestandsdichten im Mittelmeerraum deutlich übergeschätzt haben (vgl. z.B. CARTAN-SON & ROMANE 1992). So liegt der Median der bisher ausgewerteten Flächenaufnahmen des Verfassers bei 290 Bäumen bzw. Sträuchern pro Hektar (Stand Mai 1998). Die Baumzahl pro ha des Pinienwald von Cogolin (100/ha) stimmt auch recht gut mit den von JOFFRE & LACAZE (1993) aus Fernerkundungsdaten gewonnenen Bestandsdichten (80-100 Bäume/ha) in Südspanischen Dehesasökosystemen überein.

### MEDGROW Wachstumsfunktionen und Flußdiagramm

Die Datenbasis wird zur Ermittlung der für die Bestimmung der Wachstumsfunktion nötigen Prädiktoren verwendet. Diese Prädiktoren wurden nach für das Wachstumsgebiet Mittelmeerraum sinnvollen ökologischen Kriterien gewählt (s.o.). Dies ist auch deshalb nötig, weil es sich a priori zunächst um die Feststellung von statistischen Beziehungen handelt. Für die wichtigsten Baum- und Straucharten wurden bzw. werden die entsprechenden Wachstumsfunktionen für Dicken- und Höhenwachstum errechnet. Da der Prozeß der Dateneingabe und Bearbeitung noch nicht abgeschlossen ist, werden die schon bestimmten Wachstumsfunktionen laufend verbessert. Die Wachstumsfunktionen sind so gestaltet, daß sie theoretisch problemlos auch in anderen deterministischen Modellen wie dem schon genannten MARIOLA-Modell genutzt werden können. In Tab. 6 sind mit Stand Anfang Juni 1998 die Bäume aufgeführt, für die der Verfasser schon Wachstumsfunktionen bestimmt hat, bzw. die noch in Bearbeitung sind. Zur Zeit liegen also für 41,1% des Datenbestandes Wachstumsfunktionen vor - mit Abschluß der Erstinitialisierung wird dies wohl bei 60% liegen. Damit dürfte ein Wert gefunden sein, der es erlauben wird, schon relativ genaue Simulationen mediterraner Vegetationsbestände durchzuführen. Bei der Bestimmung der Wachstumsfunktionen ging es dem Verfasser darum, möglichst einfache statistische Beziehungen abzuleiten, die es fürs erste einmal erlauben, ein funktionsfähiges Simulationsmodell erfolgreich zum Laufen zu bringen. Es ging also nicht darum, für die verschiedenen Bäume und Sträucher die statistisch optimale Be-

ziehung herzuleiten, z.B. durch das Verwenden von höherwertigen Polynomfunktionen eine gerüngfüige Änderung des  $R^2$  zu erreichen.

100 GBZHA

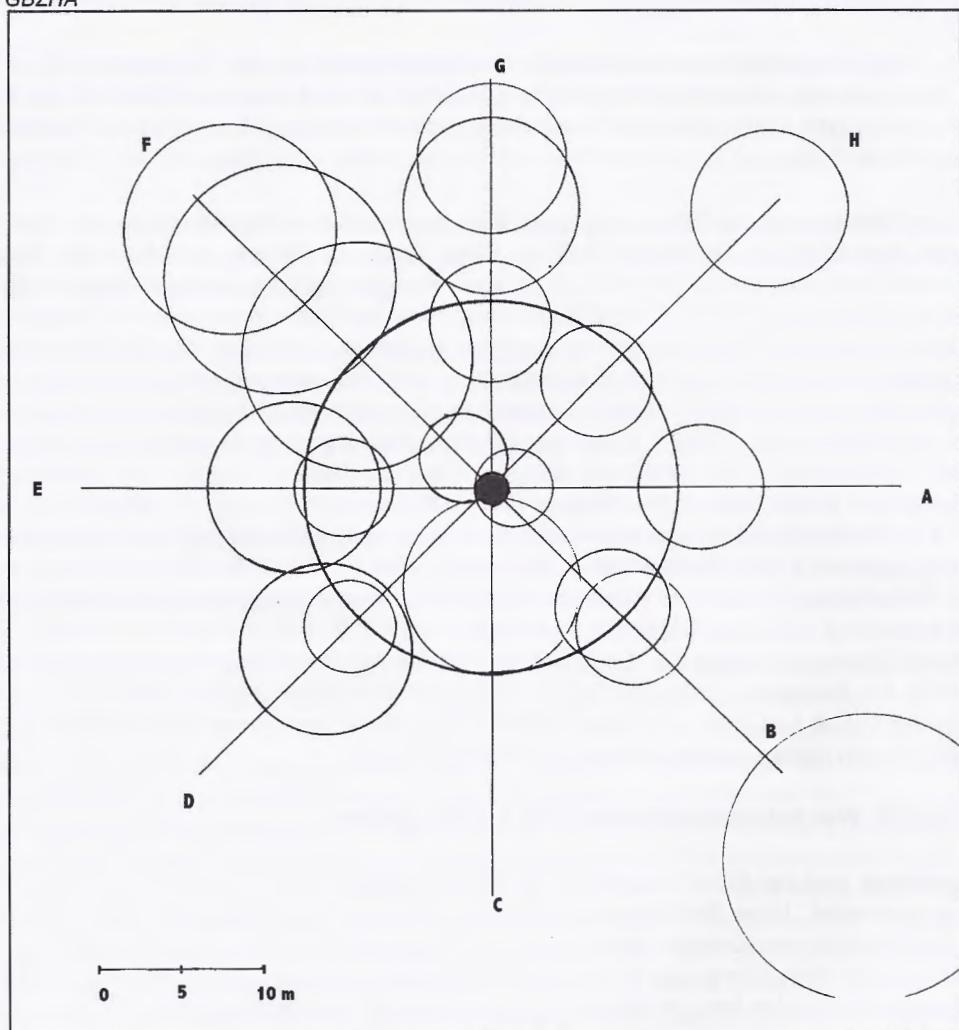


Abb. 1 Baummessung Cogolin Quelle (Südfrankreich): eigene Feldarbeiten des Verfassers, Entwurf & Kartographie C. Weiß. 43° n.Br., 6,3° Länge, 80 m Höhe; 900 mm Niederschlag, 15° C Mitteltemperatur, 50 cm gesch. Substrattiefe

Diese artspezifischen Wachstumsfunktionen treiben das Modell MEDGROW an. MEDGROW ist wie MARIOLA ein deterministisches gridbasiertes kompartimentiertes Simulationsmodell. Es simuliert Wachstumsprozesse auf einer Größe von 1 ha. Die Flächengröße 1 ha ist in 10.000 Einzelzellen mit jeweils einer Flächengröße von 1 m<sup>2</sup> aufgeteilt. Auf jeder Zelle kann theoretisch ein Baum wachsen. Das Simulationsmodell ist ein objektorientiertes, interaktives, in C++ programmiertes Computerprogramm. Damit ist es möglich, in verschiedenen zeitlichen Phasen verschiedene Perturbationen wie Feuer, Forstwirtschaft etc. einzuspielen. Ein Simulationsrun wird durch die Eingabe eines Szenarios initialisiert. Ein Szenario beinhaltet verschiedene Standortdaten wie die

Klimadaten (Atemp, Aprecmm, Lat.), die geschätzte Substrattiefe, die Höhe über dem Meeresspiegel. Der Anfangsbestand an Bäumen bzw. Samen auf jeder einzelnen Zelle wird in der Szenariodatei initialisiert - dies bedeutet, daß für jede Zelle, auf der beim ersten Run (= Jahr) einer Simulation ein Baum steht, für diesen die Einzeldaten, wie Baumart, Alter, Stammdurchmesser und Höhe eingegeben werden müssen.

285 GBZHA

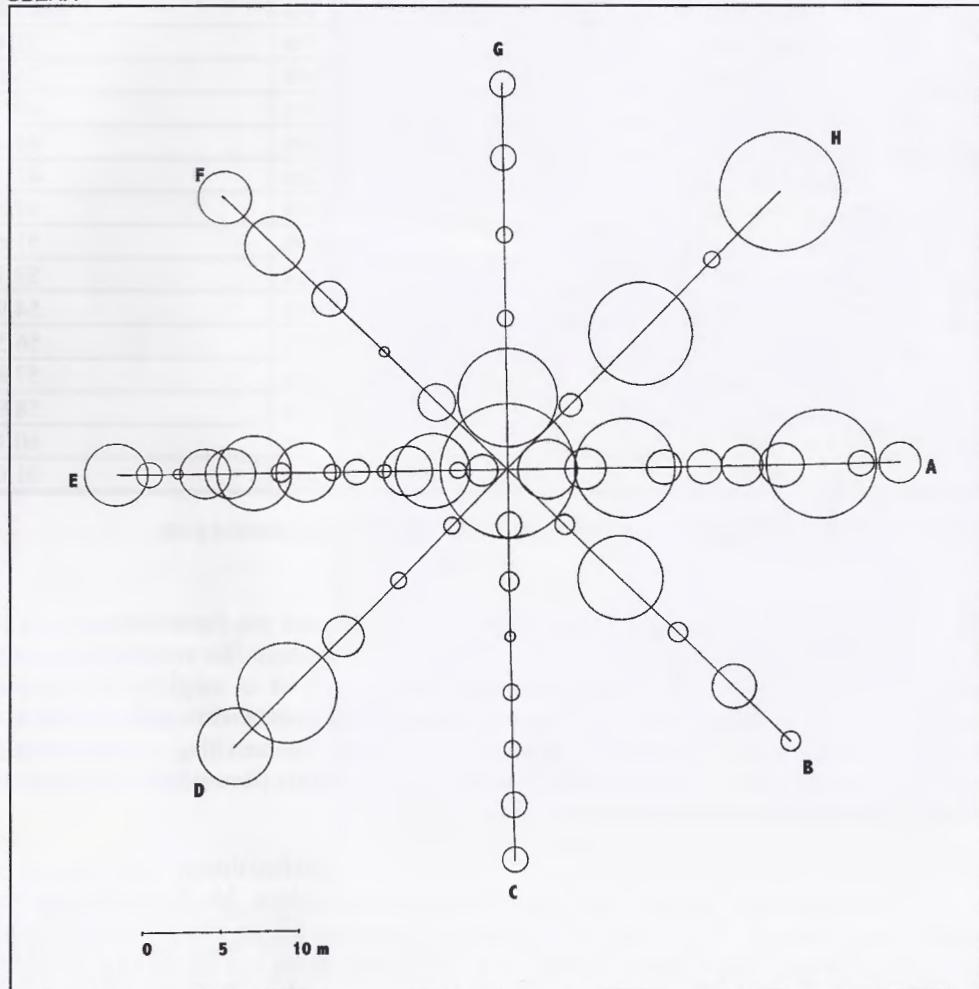


Abb. 2. Baummessung Feuilla Quelle(Südfrankreich): eigene Feldarbeiten des Verf.; Entw. & Kartogr. C.Weiß  
42,5° n. Breite; 2,5° Länge, 190 m ü NN; 450 mm Niederschl.; 15,5°C Mitteltemp., 15 cm gesch. Substrat

### Ablauf von MEDGROW

Der Ablauf von MEDGROW wird anhand des in Abb. 3 vorgestellten vereinfachten Flußdiagramms dargestellt.

Jeder Run wird in zwei Phasen unterteilt, die Stress- und Killphase, sowie die Growth- und Competitionphase.

Tabelle 3. Baumbestand und Growth Response functions der MEDGROW Datenbank.

	Frequency	Percent	GWF	Cumulative Percent
<i>Pinus halepensis</i>	134	8,1	Yes	8,1
<i>Quercus pubescens</i>	117	7,0	Yes	15,1
<i>Quercus ilex</i>	111	6,7	Yes	21,8
<i>Pinus pinea</i>	89	5,4	Yes	27,1
<i>Buxus sempervirens</i>	87	5,2	Yes	32,4
<i>Quercus suber</i>	70	4,2	in Work	36,6
<i>Cedrus atlantica</i>	69	4,1	Yes	40,7
<i>Cistus monspeliensis</i>	61	3,7	in Work	44,4
<i>Pistacia lentiscus</i>	55	3,3	Yes	47,7
<i>Quercus coccifera</i>	36	2,2	in Work	49,8
<i>Calycotome Spinosa</i>	29	1,7	in Work	51,6
<i>Arbutus unedo</i>	28	1,7	in Work	53,3
<i>Spartium junceum</i>	27	1,6	in Work	54,9
<i>Erica arborea</i>	26	1,6	in Work	56,5
<i>Abies cephalonica</i>	22	1,3	Yes	57,8
<i>Prunus spinosa</i>	19	1,1	No	58,9
<i>Viburnum lantana</i>	19	1,1	No	60,1
<i>Castanea sativa</i>	16	1,0	in Work	61,0

(Quelle eigene Erhebungen des Verfassers, Datenbank MEDGROW N = 1663 Stand 4.6.98)

In der Stress- und Killphase muß jeder Baum gewisse Perturbationen wie Forstwirtschaft und Feuer überstehen. Dabei sterben auch Bäume (Holzentnahme, Waldbrand). Die verschiedenen Perturbationen werden interaktiv in die Stressphase eingespielt. Damit ist es möglich, verschiedenste Szenarien wie z.B. unterschiedliche Feuerfrequenz, verschiedene Forstbewirtschaftungsweisen wie Kahlschlag, Kahlschlag mit Übersteher, Durchforstung und auch Plenterschlag, zu simulieren. Zur Zeit ist der Verfasser dabei, in die Stressphase noch Tierperturbation (Beweidung, Wildschweine) sowie eine Calamitätensubroutine zu initialisieren.

In MEDGROW sterben die Bäume nicht aufgrund von Verteilungsfunktionen wie in den meisten anderen Modellen, sondern weil sie Stress bzw. Perturbationen erleiden, d.h. sie werden gefressen, abgeholt oder verbrannt. Wenn dies nicht geschieht, können sie bis zu einem baumspezifischen Maximalalter (Maxage) leben, danach sterben sie in Anlehnung an die von MUELLER-DOMBOIS (1986) entwickelte Kohortentheorie. Das maximale Baumalter wurde, soweit möglich, aus der Literatur entnommen. Das Altern von Bäumen und auch das natürliche Sterben von Bäumen sind ein bisher nur sehr wenig bearbeitetes Problemgebiet in der Ökologie, deshalb blieb dem Verfasser manchmal vorerst nichts anderes übrig, als nach „gesundem Menschenverstand“, erst einmal ein Höchstalter festzulegen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß sich die in den anderen Modellen benutzten Daten auch an einem „willkürlich“ festgelegten Maximalalter pro Art orientieren, hier erreicht eben nur ein bestimmter Prozentsatz einer Baumart (SHUGART 1984) das potentielle Maximalalter. Die Stress- und Killphase wird zellenweise von Z1 bis Z10000 abgearbeitet. Tote Bäume, soweit sie nicht durch forstwirtschaftliche Maßnahmen (Totholzentnahme) entnommen werden, bleiben so lange stehen, bis sie durch einen Waldbrand verbrennen. Tote stehende Bäume verhindern somit auf den besetzten Zellen die Regeneration.

Photo 1 : *Pinus pinea* Forst  
in Cogolin /Massif des Mau-  
res Frankreich  
(Aufnahme. 38 CoglX 43,  
1415300, 6,3326200/Domi-  
nante Arten *Pinus pinea*,  
*Quercus suber*, *Arbutus*  
*unedo*): Photo Verfasser  
Juni 1996



Nach dem Abarbeiten der letzten Zelle (Z10000) beginnt die Growth- und Competitionphase. Vor dem Beginn dieser Phase wird der Baumbestand nach dem Biovolumen geordnet und beginnend mit dem Baum, der das größte Biovolumen erreicht hat, abgearbeitet. Hier wird hohes Biovolumen als Maß der potentiellen Assimilationsleistung sowie Vitalität und Konkurrenzkraft gleichgesetzt. Dieser erste Baum beginnt dann gemäß den vom Verfasser ermittelten Wachstumsfunktionen zu wachsen, erst in die Breite (Dickenwachstum), danach in die Höhe (Höhenwachstum). Soweit beim Dickenwachstum der Platz in der vom Baum besetzten Zelle nicht ausreicht, dehnt der Baum sich auf die Nachbarzellen aus. Sind diese mit Bäumen besetzt, müssen diese sterben (Competition/großes Biovolumen verdrängt kleines Biovolumen). Über eine artspezifische allometrische Funktion wird für den im Wachstum befindlichen Baum die Kronenprojektionsfläche ausgegeben und von der von MEDGROW zur Verfügung gestellten abgezogen. MEDGROW stellt am Anfang jeder Competitionphase  $40.000 \text{ m}^2$  Kronenprojektionsfläche zur Verfügung - dieses gilt im Modell als Maß der senkrecht einfallenden direkten Strahlung. Wenn diese durch MEDGROW zur Verfügung gestellte Kronenprojektionsfläche durch das sukzessive Wachstum der Bäume in

der Biovolumenschlange 0 erreicht, müssen alle jeweils folgenden Bäume sterben (Competition-/Biovolumenregel). Während der Wachstumsphase können die Bäume, soweit sie die artspezifische Geschlechtsreife erreicht haben, Samen produzieren und sich fortpflanzen. Die Samenproduktion ist auch hier eine Funktion des Biovolumens (hohes Biovolumen = hohe Samenproduktion). Die Samen fallen im Uhrzeigersinn im Umkreis des im Wachstum befindlichen Baumes auf alle noch freien Zellen. Im darauffolgenden Jahr (= Run) wachsen daraus Bäume. Wenn alle Zellen durch Bäume besetzt sind, gibt es keine Reproduktion - diese kann erst erfolgen, wenn in einem der weiteren Jahre (Runs) in der Stress- und Killphase Zellen freigemacht werden. Am Ende der Growth- und Competitionphase endet ein Jahresrun, hier erfolgt entweder die Ausgabe oder ein neuer Jahresrun mit dem erneuten Starten der Stress-Killphase. Die Aufteilung der in der Natur simultan vonstatten gehenden Prozesse wie Stress, Wachstum und Wettbewerb in zwei Hauptphasen geschieht aus technischen Gründen, weil der Rechner ja eine Funktion nach der anderen abarbeiten muß. In einem Jahr (Run) ohne nur eine einzige Perturbation muß der Computer, soweit sich auf jeder Zelle ein Baum befindet 50.000 Arbeitsschritte leisten.

MEDGROW ist somit ein deterministisches Wettbewerbssimulationsmodell um Licht und Raum unter Berücksichtigung der klimatischen (Niederschläge, Temperatur, Strahlung = latitude) und standortlichen Bedingungen (Höhe, Substrattiefe) sowie artspezifischer Parameter (Dicken- und Höhenwachstumsfunktion, Geschlechtsreife, Feuertoleranz, Stockausschlagfähigkeit) unter Perturbationsstress (Tiere, Feuer, Forstwirtschaft).

### **Validierung und Plausibilität**

Eine Validierung anhand eines unabhängigen Datensatzes wurde bisher nicht durchgeführt. Dies ist auch nicht vorgesehen, da eine weitere Datenaufnahme einen unverhältnismäßig hohen Zeit- und Arbeitseinsatz bedeuten würde. Für die Zukunft ist aber nicht auszuschließen, daß der Verfasser ein oder zwei seiner aufgenommenen Standorte nach einer gewissen Zeitspanne wieder aufsucht, um einen neuen Datensatz aufzunehmen, anhand dessen dann die Zuverlässigkeit geprüft werden könnte. Da es sich bei MEDGROW um ein deterministisches Modell handelt, welches zumindest bis dato keinerlei stochastischen Elemente enthält, würde eine Überprüfung anhand des Originaldatensatzes wenig gewinnbringend sein. Außerdem wurden die artspezifischen Wachstumsfunktionen jeweils schon anhand der Originaldatensätze den in der multiplen Regression üblichen Standarttests (Residuenanalyse) unterzogen. Nichtsdestotrotz bleibt die strenge Validierung ein Problem von MEDGROW. Dies betrifft aber nicht nur MEDGROW, sondern alle Simulationsmodelle von Ökosystemen, insbesondere wenn sie eine Vielzahl von stochastischen Elementen beinhalten. Die strenge Validierung von Ökosystemmodellen ist bis dato in den Systemwissenschaften noch ein weitgehend ungelöstes Problem (RYKIEL 1996). Dies betrifft in ganz besonderem Maße globale Vegetationsmodelle für Global change - Szenarien, denn so wie es Cramer sehr trefflich ausdrückt „given only one planet, no two sites with strictly replaceable conditions occur, so there are severe limitations for the databases available to any one of these components,“ (CRAMER 1997: 277.)

Simulationsmodelle zu initialisieren ist ein Prozeß, vor allem wenn analog dazu erst noch eine entsprechende Datenbasis erarbeitet werden muß. In diesem Prozeß muß konstant überprüft werden, ob der graphische Entwurf (Flußdiagramm) vom Computer in der vom Verfasser gewollten Logik verarbeitet wird. Darüberhinaus können eine Vielzahl von numerischen Problemen auftreten, an die der Nicht-Informatiker gar nicht denkt, die sich aber als elementar herausstellen können. Deshalb wurde MEDGROW, sobald die wichtigsten Grobstrukturen standen, immer wieder anhand von einfachen Szenarien getestet.

Abb. 3. Flußdiagramm MEDGROW - Entwurf: C.Neff; Kartographie + Grafik: S.Friedel  
(Neff, Chr.: Kulturlandschaftswandel und Vegetationsdynamik im Mittelmeerraum, eine raum-zeitliche Analyse)

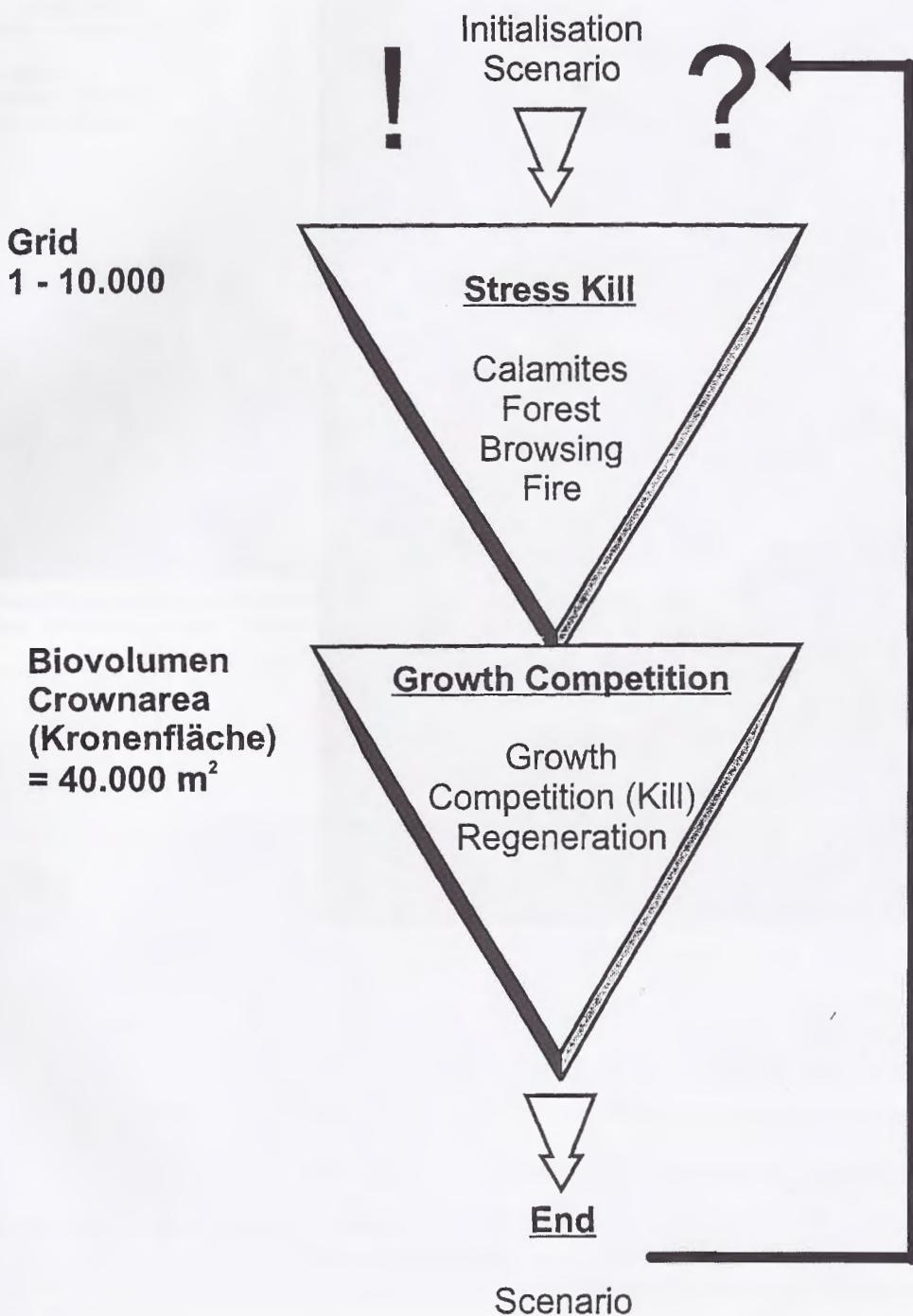




Photo 2 : *Quercus pubescens/Cistus monspeliensis*  
Maquis dense mit *Pinus pinnea* Überschirmung in  
Feuilla/Corbieres in Frankreich  
(Aufnahme 63 Feuilla-Ppp X1 42,5590000 2,5451200)  
Photo Verfasser Novemb.  
1997

Hingegen wurde das Modell auf Plausibilität getestet:

- Systemplausibilität und Ablauflogik
- Ergebnisplausibilität

Hierbei standen einfache systemlogische Fragen im Vordergrund wie z.B.

- Wachsen die Bäume tatsächlich in die Höhe oder kommt es aufgrund eines logischen oder auch nur eines Programmierfehlers zum negativen Wachstum ?
- Sterben die Bäume auch wie gewollt ?
- Kommt es tatsächlich zur Regeneration ?
- Können feuertolerante Bäume tatsächliche gewisse Feuer überstehen?



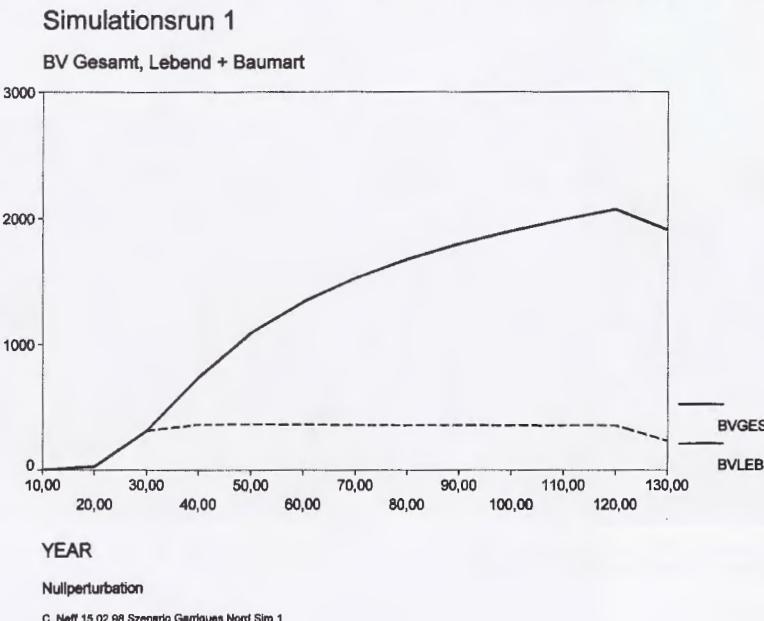
Photo 3: Populationsdynamik von *Pinus pinea* auf Weinbergbrache im *Inula viscosa* Stadium in den Costières du Gard, Gemarkung Générac. Photo Verfasser Oktober 1995



Photo 4: Ca 10 Jahre alter *Pinus pinea* bestand (Bildvordergrund & Mitte) auf dem Puech du Moulin à Vent, Costière du Gard, Gemarkung Générac. Photo Verfasser Oktober 1995

Diese wichtigen Fragen konnten bisher anhand von einfachen Szenarien, die mit vier Baumarten (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Quercus pubescens* und *Quercus ilex*) arbeiten, erfolgreich getestet werden. Diese Szenarien wurden bereits in Hamburg anlässlich des 12. deutschsprachigen Colloquiums für theoretische und quantitative Methodik in der Geographie (NEFF 98 C) vorgestellt.

Abb. 4. MEDGROW Nullperturbationsszenario Garrigues Nord



Nichtentnahme von toten Bäumen durch Feuer oder Forstwirtschaft führt zum Stillstand, es gibt ein paar wenige große Bäume, sehr viel Totholz, wenig oder gar keine Regeneration, wegen mangelnder Freifläche (vgl. Abb. 4).

Zyklische Biomassenentnahme durch Waldbrände führt zu einem erhöhten Biomassenumsatz, Regeneration findet statt, feuertolerante Arten werden leicht bevorzugt (vgl. Abb. 5).

Die ergebnisorientierte Plausibilität stand bisher nicht im Vordergrund der Untersuchungen, da die artspezifischen Wachstumsfunktionen nur auf einem Bruchteil des Datensatzes beruhen. Dennoch wurde ein historischer Simulationsrun durchgeführt (vgl. Abb. 6). Dieser entspricht im großen ganzen dem graphischen Entwurf von NEFF & FRANKENBERG (1995 b) zur Vegetationsdynamik im Languedoc, berücksichtigt also z.B. Feuerfrequenz und Forstbewirtschaftung. Das Szenario beginnt 1870 und endet im Jahr 2000, wobei die standortlichen Bedingungen der Garrigues de Nîmes zugrunde liegen. Überraschender Weise gelangt dieses Szenario zu ähnlichen Ergebnissen wie das graphische Modell von NEFF & FRANKENBERG (1995), nämlich der Dominanz von *Quercus pubescens* und der *Pinus*-Formationen. Vergleicht man das Endergebnis dieses historischen Szenarios mit den Verhältnissen in den Costières de Nîmes, so wird die Übereinstimmung noch deutlicher. Die Dynamik von *Pinus pinea* im Modell wird nicht nur durch die diversen Untersuchungen des Lehrstuhls für Physische Geographie (NEFF & FRANKENBERG 1995b, FRANKENBERG et al. 1996, WEIß & FRANKENBERG 1997) in den Costières de Nîmes bestätigt (Photo 3 & 4), sondern auch durch die Arbeit von VERNET (1997). Vor allem die Übereinstimmung der Ergebnisse dieses Szenarios mit den von C. WEIß im Rahmen ihrer Staatsexamens-

arbeit (1996) entworfenen Karten zum Landschaftswandel auf der Gemarkung Générac in den Costières du Gard sowie der daraus entstandenen Veröffentlichung zum Wandel der Agrarlandschaft (WEIß & FRANKENBERG 1997) ist frappierend. Dies ist auch deshalb bedeutend, weil der Verfasser auf der Gemarkung fast keine Aufnahmen durchgeführt hat, das heißt die von WEIß & FRANKENBERG präsentierten Karten und Ergebnisse können durchaus als unabhängiger Datensatz betrachtet werden

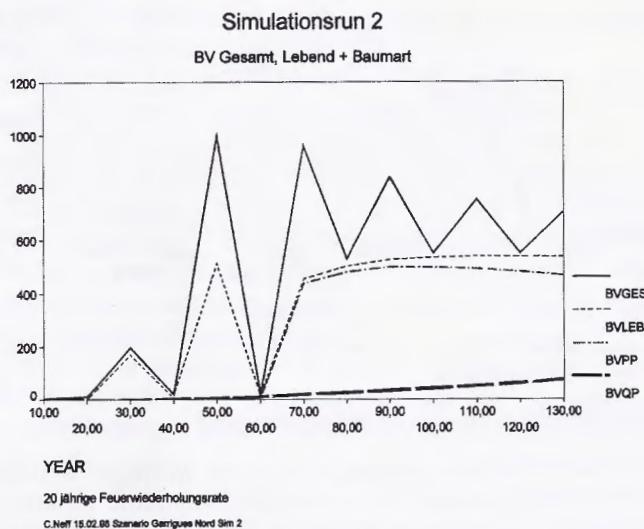


Abb. 5 MEDGROW Feuerszenario (20 jährige Feuerwiederholungsrate) Garrigues Nord

Die in der Simulation erzeugte virtuelle „Landschaft“, und ihre „Dynamik“, funktioniert gemäß der vom Verfasser zugrundegelegten landschaftsökologischen Systemtheorie:

- ⇒ keine Regeneration ohne Freiraum, Sterben und Stoffumwandlung
- ⇒ kein Wachstum ohne Licht
- ⇒ Wettbewerb um Ressourcen
- ⇒ artspezifische Klimaeffizienz.

Zum Schluß soll jedoch erwähnt werden, daß diese Plausibilitätsprüfung auch Probleme bei MEDGROW aufzeigte. Da es sich bei MEDGROW um ein geschlossenes System handelt, führt das dazu, daß Arten, die dem Wettbewerbsdruck nicht standhalten, in MEDGROW aussterben. In der Realität ist das natürlich anders, da es immer Nachbarschaftseffekte gibt die dafür sorgen, daß eine Art nicht endgültig ausstirbt. Diese Nachbarschaftseffekte können sich auch noch über die Entfernung von vielen Kilometern bemerkbar machen. Um das Aussterben von Arten zu verhindern, muß eine Samenbank bzw. ein Samengedächtnis geschaffen werden. Diese kann entweder als Konstante der Anfangsbedingungen festgeschrieben werden (KRÄUCHI 1994), wie es in den meisten Simulationsmodellen der Fall ist, oder sie wird als tatsächliche Samenbank initialisiert, die durch eine Funktion der Samenproduktion der vorangegangenen Jahre beschrieben wird.

MEDGROW kann, obwohl bis dato noch nicht vollständig implementiert, schon die wichtigsten Modellbedingungen erfüllen. Es ist systemlogisch plausibel, die ersten Ergebnisse der Simulationsruns erscheinen ebenfalls plausibel und es ist jetzt schon möglich, die Konsequenzen von Perturbationen wie z.B. Feuer auf die Vegetationsbedingungen zu simulieren.

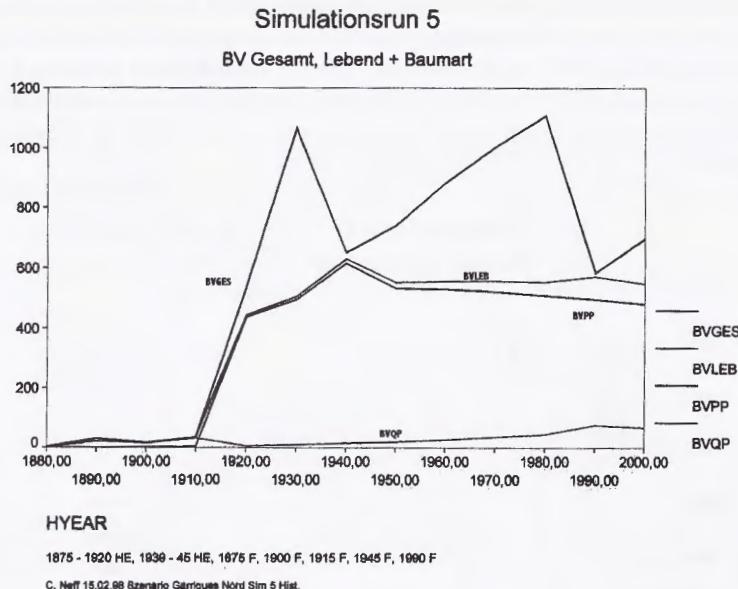


Abb 6. MEDGROW historischer Simulationsrun Garrigues Nord

Ist MEDGROW erst einmal 100% implementiert, wird es ein wichtiges Werkzeug zum Erkenntnisgewinn über die funktionalen Prozesse in der Vegetationsdynamik mediterraner Ökosysteme werden. Verschiedene Perturbationsszenarien lassen sich dann analog zum Experiment der Physik und Chemie raum-zeitlich simulieren.

Darüberhinaus ist MEDGROW so angelegt, daß es sich problemlos ausbauen läßt und mit anderen modernen EDV-gestützten Techniken kombiniert werden kann. Die Zellenstruktur ermöglicht es, MEDGROW problemlos mit einem GRID-gestützten GIS zu kombinieren. Der deterministisch-funktionale Ansatz des Baumwachstums erlaubt es, sobald gesicherte Erkenntnisse über die Architektur der einzelnen Baumarten vorliegen, eine 3 D- Simulation des Baumwachstums durchzuführen.

Das vom Verfasser entwickelte Simulationsmodell MEDGROW wird, dies läßt sich schon jetzt absehen, zu einem unerlässlichen Analyseinstrument werden. Dies gilt sowohl in der landschaftsökologischen Grundlagenforschung wie z.B. Perturbationsforschung, als auch in den angewandten Wissenschaften zur Evaluation von forstlichen Bewirtschaftungstechniken und dem sinnvollen Einsatz von prescribed fire.

## LITERATUR<sup>13</sup>

- BACILIERI, R., BOUCHET, M.A., BRAN, D., GRANDJANNY, M., MAISTRE, M., PERRET, M., ROMANE, F. (1994): Natural germination as resilience component in Mediterranean coppice stands of *Castanea sativa* Mill. and *Quercus ilex*. L. In: Acta Oecologica, 15, 4, 417 -429.
- BIO, A.M.F., ALKEMADE, R., BARENDEGRT, A. (1998): Determining alternative models for vegetation response analysis: a non-parametric approach. In: Journal of Vegetation Science, 9, 5- 16.

<sup>13</sup> Im Literaturverzeichnis ist nur die zitierte Literatur aufgeführt. Ein ausführliches Literaturverzeichnis befindet sich bei NEFF (1998b).

- BLONDEL, J., ARONSON, J. (1995): Biodiversity and Ecosystem Function in the Mediterranean Basin: Human and Non-Human Determinants. In: Davis, G.M., Richardson, D.M. (Hg.): Mediterranean-type ecosystems. The function of biodiversity. Ecological Studies 109, 43 - 119.
- BOTKIN, D.B., JANAK, J.F., WALLIS, J.R. (1972): Some ecological consequences of a computer model of forest growth. In: Journal of Ecology, 60, 849-872.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1936): La Forêt d' Yeuse languedocienne (Quercion ilicis). Monographie Phytosociologique. Mémoire de la Soc. d' Et. des Sci. Nat. de Nîmes N. 5, Montpellier.
- BUGMANN, H. (1994): On the Ecology of Mountainous Forest in a Changing Climate: A Simulation Study. Diss. ETH Zürich. (No. 10638).
- CANADELL, J., RIBA, M., ANDRÉS, P. (1988): Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, Northeastern Spain. In: Forestry , 61 (2), 137- 147.
- CARTAN-SON, M., FLORET, C., GALAN, M.J., GRANDJANNY, M., LE FLOC'H, E., MAISTRE, M., PERRET, P., ROMANE, F. (1992): Factors affecting radial growth of *Quercus ilex* L. in a coppice stand in southern France. In: Vegetatio, 99-100, 61 - 68.
- CARTAN-SON, M., ROMANE, F. (1992): „Standardized„, description of some experimental plots in the *Quercus ilex*. L. ecosystems. In: Romane, F., Terradas, J. (Hg.): *Quercus ilex*. L. ecosystems: function, dynamics and management. Advances in vegetation science 13 (Reprinted from Vegetatio Volume 99/100), Dordrecht, 3 - 12.
- CRAMER, W. (1997): Using plant functional types in a global vegetation model. In: Smith, T.M., Shugart, H.H., Woodward, F.I. (Hg.): Plant functional types - their relevance to ecosystem properties and global change. International Geosphere-Biosphere Programme Book Series 1. Cambridge, 271 - 288.
- DEBUSSCHE, M., RAMBAL, S., LEPART, J. (1987): Les changements de l'occupation des terres en région méditerranéenne humide: évaluation des conséquences hydrologiques. In: Acta Oecologica, Oecologica Applicata, 8, 317 - 332.
- DEIL, U. (1997): Zur geobotanischen Kennzeichnung von Kulturlandschaften - Vergleichende Untersuchungen in Südspanien und Nordmarokko. Erdwissenschaftliche Forschung B.XXXVI, Stuttgart.
- DERVIEUX, A., VAKHNOVSKY, N. LEPORT, J., DEBUSSCHE, M. (1995): Friche, garrigue ou forêt ? Les changements du paysage dans la vallée de l'Hérault au cours du 20ème siècle. Publication de la Photothèque 4. Montpellier.
- DOUGUEDROIT, A. (1976): Les Paysages forestiers de Haute Provence et des Alpes-Maritimes. Aix en Provence.
- DUCREY, M. (1988): Sylviculture de taillis de chêne vert pratiques traditionnelles et problématiques des recherches récentes. In: Revue Forestière française, XL, 302 -313.
- DUTTMANN, R., MOSIMANN, Th. (1994): Die ökologische Bewertung und dynamische Modellierung von Teilstufen und -prozessen des Landschaftshaushaltes - Anwendung und Perspektiven eines geoökologischen Informationssystems in der Praxis. PGM, 138, 3- 17.
- DUTTMANN, R., MOSIMANN, Th. (1996): Methodische Vorgehensweise bei der flächenhaften Modellierung landschaftsökologischer Prozesse. In: Margraf, O. (Hg.): Theorie und Quantitative Methodik in der Geographie, Tagungsband, 11. Deutschsprachiges Kolloquium des Arbeitskreises Leipzig/Naunhof, 28.02-02.03.1996. Beiträge zur Regionalen Geographie, 42, Leipzig, 66 - 75.
- EHLERS, E., HEINRITZ, G. (1995): Stop the Flood - zur Diskussion gestellt. In: Rundbrief Geographie, H. 131, 1- 6.
- ESCARRÉ, J., LEPORT, J., SENTUC, J. J. (1996): Effects of simulated herbivory in three old field Compositae with different inflorescence architectures. In: Oecologia, 105, 501- 508.

- FILHO, J.T. (1995): Analyse et modélisation du fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier méditerranéen. Spatialisation à l'échelle du bassin versant. Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, These de doctorat, Hydrologie.
- FILHO, J.T., RAMBAL, S., LACAZE, B. (1996): Mapping maximal canopy transpiration over a Mediterranean watershed. In: Parlow, E. (Hg.) : Progress in Environmental Remote Sensing and Applications. Rotterdam, 379 - 384.
- FLORET, C., GALAN, M.J., LE FLOC'H, E., ROMANE, F. (1992): Dynamics of a holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices after clearcutting in southern France. In: Romane, F., Terradas, J. (Hg.): *Quercus ilex*. L. ecosystems: function, dynamics and management. Advances in vegetation science 13 (Reprinted from Vegetatio Volume 99/100), Dordrecht, 97 - 105.
- FLORET, C., GALAN, M.-J., LE FOC'H, E., RAPP, M., ROMANE, F. (1989): Organisation de la structure, de la biomasse et de la mineralomasse d'un taillis ouvert de chêne vert (*Quercus ilex* L.). In: Acta Oecologica, Oecol. Plant., Vol. 10, n3, 245-262.
- FRANKENBERG, P., WEIB, C., NEFF, C. (1996): Les Costières du Gard - prototype d'un paysage méditerranéen en évolution ? Premiers observations à l'exemple du Puech du Moulin à Vent. (Générac/Dept. Gard, France). In: Anhuf, D. (Hg.): Forschungen des Geographischen Institutes der Universität Mannheim im französischsprachigen Ausland/ Recherches de l' institut de géographie de Mannheim faites à l'étranger francophone. Mannheimer Geographische Arbeiten 43, Mannheim, 89 - 106.
- HAMZA, N., PIGNARD, G. (1997): L'extension de la forêt méditerranéenne: une réalité confirmée par les inventaires. In: Forêt méditerranéenne, T. XVIII, 215 - 217.
- HÖLLERMANN, P. (1995): Wald- und Buschbrände auf den westlichen Kanarischen Inseln. Ihre geoökologischen und geomorphologischen Auswirkungen. Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. Mathematisch -Physikalische Klasse, Dritte Folge Nr. 46. Göttingen
- JOFFRE, R., LACAZE, B. (1993): Estimating tree density in oak savanna-like „dehesa“, of southern Spain from SPOT data. In: International Journal of Remote Sensing, V,14, 4:685-697.
- KRÄUCHI, N. (1994): Modelling forest succession as influenced by a changing environment. Mitt. Eidgenöss. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, B. 69, H. 2. Teufen.
- KUHNHOLTZ-LORDAT, G. (1945): La silva, le saltus et l'ager de Garrigue. Montpellier
- LEEMANS, R., CRAMER, W. (1991): The IIASA database for mean monthly values of temperature, precipitation and cloudiness on a global terrestrial grid. International Institute for Applied Systems Analysis. Research-Report RR-91-18. Laxenburg.
- LEONARDI, S., RAPP, M. (1989): Productivité des bioéléments dans un peuplements de Pin d'Alep de Sicile méridionale. In: Archivio Botanico Italiano, 65, 59- 72.
- LEONARDI, S., RAPP, M., FAILLA, M., KOMAROMY, E. (1992): Biomasse, minéralomasse, productivité et gestion de certains éléments biogènes dans une forêt de *Quercus suber* L. en Sicile. In: Ecologia Mediterranea XVIII, 89- 98.
- LEPART, J., DEBUSSCHE, M. (1992): Human impact on landscape patterning: mediterranean examples: In: Hansen, A., Di Castri, F. (Hg.): Landscape Boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flow. Berlin. (Ecological Studies)
- LEPART, J., DERVIEUX, A., DEBUSSCHE, M. (1996): Photographie diachronique et changements des paysages. Un siècle de dynamique naturelle de la forêt à Saint-Bauzille-de-Putois, Vallée de l'Hérault. In: Forêt méditerranéenne, T. XVII, n. 2, 63- 80.
- MÉTHY, M., GILLON, D., HOUSSARD, C. (1997): Temperature-induced changes of photosystem II activity in *Quercus ilex* and *Pinus halepensis*. In: Canadian Journal of Forest Research, 27, 31 -38.
- MOSIMANN, T. (1984): Landschaftsökologische Komplexanalyse. Stuttgart 1984.

- MUCINA, L. (1997): Classification of vegetation: Past, present and future. In: *Journal of Vegetation Science* 8, 751- 760.
- MUELLER-DOMBOIS, D. (1986): Perspectives for an etiology of stand-level dieback. In: *Annual Review of Ecological Systematics*, 17, 221 -243.
- NEFF, C. (1995): Waldbrandrisiken in den Garrigues de Nimes. MZG 27. Mannheim.
- NEFF, C. (1998a): Kulturlandschaftswandel, Fremdenverkehr und Biodiversität auf der Halbinsel Leucate (Dept.Aude/Frankreich) In: Breuer, T. (Hg.): Fremdenverkehrsgebiete des Mittelmeerraums im Umbruch. Beiträge der Tagung des Arbeitskreises „Geographische Mittelmeirländer-Forschung vom 11- 13. Oktober 1996 in Regensburg. Regensburger Geographische Schriften H. 27. Regensburg, 99- 135.
- NEFF, C. (1998 b.): Kulturlandschaftswandel und Vegetationsdynamik im Mittelmeerraum - eine raum-zeitliche Modellanalyse. Dissertationsprojekt Betreuer Prof. Dr. Dr. P. Frankenberg.
- NEFF, C. (1998c): Wachstumsmodellierung mediterraner Bäume und Sträucher. Vortrag anlässlich des 12. Deutschsprachigen Kolloquiums für Theoretische und quantitative Methodik in der Geographie in Hamburg Februar 1998.
- NEFF, C., FRANKENBERG, P. (1995a) : Premiers résultats d'analyse phytogéographique en Côte (Gard/France). In: *Bul. Soc. Ét. Sc. Nat. Nîmes et Gard.* T. 60, 30-45.
- NEFF, C., FRANKENBERG, P. (1995b) : Zur Vegetationsdynamik im mediterranen Südfrankreich. Internationaler Forschungsstand und erste Skizze zur Vegetationsdynamik im Raum Nîmes (Frankreich/Dept. Gard). In: *Erdkunde* 49/3, 232- 244.
- NEMANI, R., RUNNING, S.W. (1996): Implementation of a hierarchical global vegetation classification in ecosystem function models. In: *Journal of Vegetation Science*, 7, 337-346.
- PREISS, E., MARTIN, J.L., DEBUSSCHE, M. (1997): Rural depopulation and recent landscape changes in a Mediterranean region: Consequences to the breeding avifauna. In: *Landscape Ecology*, 12, 51-61.
- QUADBECK-SEEGER, H.J. (1995): Chemie für die Zukunft - Innovationen im internationalen Wettbewerb. In: Markl, H., Geiler, G., Großmann, S. et al. (Hg.) (1995): Wissenschaft in der globalen Herausforderung. Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte. 118. Versammlung, 17-20. September 1994, Hamburg. Stuttgart, 195 - 215.
- RAPP, M. (1995): Biomass, litterfall and nutrient content in *Castanea sativa* coppice stands of Southern Europe: A first Synthesis. In: Romane, F. (Hg.)(1995): Sustainability of Mediterranean Ecosystems. Case Study of the Chestnut Forest. Ecosystems Reserach Report 19. Luxembourg, 63 - 70
- RIBEIRO, O. (1998): Le Caroubier, ses conditions naturelles, son expansion, ses rapports avec l'agriculture. In: *Portugaliae Acta Biologicae*, (A), XVI, 3-10.
- RICHTER, M. (1989): Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung und zum Standortwandel auf mediterranen Rebbrachen. *Braun-Blanquetia* 4. Camerion-Bailleul.
- ROMANE, F., FLORET, C., GALAN, M., GRANDJANNY, M., LE FLOC'H, E., MAISTRE, M., PERRET, P. (1988): Quelques remarques sur les taillis de chênes verts. Répartition, histoire, biomasse. In: *Forêt méditerranéenne*, t. X, 131- 135.
- RYKIEL (JR.) , E. J. (1996) : Testing ecological models, the meaning of validation. In: *Ecological Modelling*, 90, 229 - 244.
- SCHENK, H.J. (1996): Modelling the effects of temperature growth and persistance of tree species: A critical review of tree population models. In: *Ecological Modeling*, 92, 1 -32.
- SHUGART, H. H. (1984): A theory of forest dynamics. The Ecological implications of forest Succession Models. New York.
- TRABAUD, L., LACAZE, B., BOULET, C., ETIENNE, M., FULCRAND, B., JACQUINET, J.C. KELLY, D. (1973): Notice des cartes à grande échelle des formations combustibles du département de l'Hérault. CNRS-CEP Document N. 68, Montpellier.

- TRABAUD, L. (1980): Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l' organisation, la structure et l' évolution de la végétation des zones de Garrigues du Bas-Languedoc. These, Docteur d' Etat, Mention Sciences. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- TREPL, L. (1994): Geschichte der Ökologie vom 17. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Zehn Vorlesungen. Weinheim. 2. Auflage.
- URBAN, D.L., SHUGART, H.H. (1992): Individual - based models of forest succession. In: Glenn-Lewin, D.C., Peet, R.K., Veblen, T.T. (Hg.) (1992): Plant succession, theory and prediction. London, 249 - 292.
- USÓ-DOMENECH, J. L., VILLACAMPA-ESTEVE, Y., STÜBING-MARTINEZ, G., KARJALAINEN, T., RAMO, M.P.(1995): MARIOLA: a model for calculating the response of mediterranean bush ecosystem to climatic variations. In: Ecological Modelling 80, 113- 129.
- USÓ, J. L., MATEU, J., KARJALAINEN, T., SALVADOR, P. ( 1997): Allometric regression equations to determine arial biomass of Mediterranean shrubs. In: Plant Ecology, 132, 59- 69.
- VERNET, J.L. (1997): L'homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours. Paris.
- WATT, A.S. (1947): Pattern and process in the plant community. In: Journal of Ecology, V. 35, 1 - 22.
- WEIß, C. (1996): Landwirtschaftlicher Strukturwandel im nördlichen Mittelmeerraum am Beispiel der Costières du Gard/Departement Gard. Südfrankreich. Wissenschaftliche Zulassungsarbeit für das Lehramt an Gymnasien. Geographisches Institut der Universität Mannheim (Betreuer Prof. Dr. Dr. P. Frankenberg). Mannheim
- WEIß, C., FRANKENBERG, P. (1997): Changements du paysage agricole en Costière du Gard. (Gard, France). In: Bul. Soc. Ét. Sc. Nat. Nîmes et Gard, T. 61, 25 - 35.
- WHITTAKER, R.H. (1953): A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern. In: Ecological Monographs, 23, Durham, NC., 41- 78.
- WHITTAKER, R.H., WOODWELL, G.M. (1968): Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. In: Journal of Ecology, 56, 1 - 25.
- ZHANG, S.H. (1987): Contribution à l'étude de la croissance en diamètre du chêne vert (*Quercus ilex L.*) en relation avec le climat. These de Doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- ZHANG, S.H., ROMANE, F. (1991):Variation de la croissance radiale de *Quercus ilex L.* en fonction du climat. In: Annales des Sciences Forestieres, 48, 225- 234.

## WEITERE QUELLEN

Diaabzug (im Besitz des Verfassers): Poster „A generic process based-model simulating Mediterranean fire - prone landscape changes., Autoren: FLORENT MOUILLOT, SERGE RAMBAL, JEAN PIERRE RATTE, SANDRA LAVOREL (CNRS-CEFE Montpellier).

Eingang des Manuskripts: 27.05.99  
Annahme des Manuskripts: 10.07.99