

Winfried Kurth

Abschlussbericht zum Stipendium im Heisenberg-Programm

AZ Ku 847/2-1

Dauer der Inanspruchnahme des Stipendiums: 21 Monate, 1. 1. 2000 - 30. 9. 2001

1. Forschungstätigkeit

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer formalen Sprache, beruhend auf erweiterten L-Systemen, für die räumlich explizite Modellierung und Simulation des Wachstums und der C- und N-Allokation von Gehölzpflanzen. Diese formale Sprache soll grundlegende Mechanismen der genetischen Kontrolle pflanzlicher Morphogenese mit abzubilden gestatten. Andererseits sollten opportunistische Reaktionen des Wachstums und der Architekturentwicklung der Pflanzen auf Umwelteinflüsse berücksichtigt werden, so dass sich die Antworten auf Veränderungen der Konkurrenzsituation im Modell als Ergebnis der Interaktion pflanzlicher Organe durch Veränderung von Ressourcen- und Kontrollflüssen ergeben würden. Zudem sollten statistische und geometrische Verfahren zur Charakterisierung von Pflanzen- und Bestandesarchitekturen und zum Vergleich der Ergebnisse von 3D-Modellen weiterentwickelt werden. Die Verfügbarmachung entsprechender Datensätze und Modelle sollte durch die Implementation von Softwareschnittstellen und grafischer Benutzungsoberflächen verbessert werden.

Das Vorhaben war auf 5 Jahre angelegt. In den 21 Monaten, die das Stipendium in Anspruch genommen wurde, konnten einige erste Schritte realisiert werden. Außerdem war der Autor mit Koordinations- und Lehrtätigkeit im Bereich der Pflanzenmodellierung befasst, welche der Forschungsrichtung mittelfristig zugute kommen wird.

1.1. Konzeptionelle Arbeit und Entwicklung wissenschaftlicher Software

Es wurden Erweiterungen der Syntax und Semantik der Lindenmayer-Systeme entwickelt, bei verschiedenen Anlässen diskutiert (siehe unten, 2. und 3.) und in ersten Entwürfen z.T. publiziert (Kurth 2000a, 2001, 2002; Kurth & Sloboda 2002). Diese Konzepte betreffen die Kommunikation zwischen Pflanzenorganen, die Wechselwirkung von Pflanzen und Herbivoren und die Verallgemeinerung der Datenstrukturen, auf die regelbasierte Pflanzenmodelle angewandt werden (bisher im wesentlichen Strings). Weitergehende Ergänzungen des L-System-Konzepts, u.a. zur Generalisierung kontextsensitiver und global-sensitiver Mechanismen, wurden vorbereitet, aber noch nicht publiziert. Auch eine Implementierung

dieser Konzepte in einer konkreten Modellierungssoftware, als Erweiterung des bestehenden Simulations- und Analysewerkzeugs GROGRA 3.3, war in dieser Phase des Vorhabens noch nicht möglich, wird aber demnächst im Rahmen einer Studienarbeit von Informatik-Studierenden an der TU Cottbus begonnen.

Kern der Überlegungen sind Erweiterungen des Datenstrukturkonzepts, das den bisherigen L-Systemen zugrundeliegt. Dieses ist für einige biologische Anwendungen zu unflexibel. Der Dualismus zwischen Strings (auf die die Regeln angewandt werden) und dreidimensionalen Strukturen (welche die Pflanzen modellieren) ist in manchen Situationen schwerfällig und fehleranfällig. Eine Weiterentwicklung des Konzepts ist in dreierlei Richtungen möglich:

- Zusammenfassung von String und geometrischer Struktur zu Graphen (auf welche Graph-Grammatiken angewandt werden) mit Labeln an den Knoten, die die Regelanwendung steuern – diese Graphen können ähnlich verarbeitet werden wie die "Szenengraphen", die in neueren Grafiksprachen (VRML, Java 3D) zur Objekt- und Szenenrepräsentation verwendet werden;
- Erweiterung auf multiskalierte Strukturen (vgl. Godin & Caraglio 1998);
- Erweiterung der String-Codierung auf zusätzliche Einheiten (neben der reinen Morphologie-Beschreibung), die für Gene und Transkriptionsfaktoren stehen (vgl. Kim 2001)

(siehe Abbildung 1). Alle drei Erweiterungen werden durch biologische Anwendungen nahegelegt und wurden einzeln jeweils in gewissen Varianten schon realisiert, aber noch nirgends gemeinsam. Das am weitesten fortentwickelte L-System-Tool, *cpfg* bzw. L-Studio aus der Arbeitsgruppe von P. Prusinkiewicz an der University of Calgary, hat inzwischen Elemente der zweiten Erweiterungsart (auf multiskalierte Strukturen) integriert (Prusinkiewicz et al. 2001), konzentriert sich aber stark auf computergrafische Effekte und wenig auf biologische Kausalitäten. In einem neuen Verbundprojekt mit Agronomen und Pflanzengenetikern (siehe Abschnitt 2) wird sich nun die Möglichkeit ergeben, alle drei Erweiterungsarten zumindest teilweise zu realisieren und praktisch zu erproben.

Mit Herrn Ole Kniemeyer, Student der Physik und Mathematik und wissenschaftl. Hilfskraft am Institut für Forstliche Biometrie und Informatik, ergab sich die Möglichkeit, mit der Implementierung eines übergeordneten Softwaresystems zu beginnen (GroIMP = Grogra-related Interactive Modelling Platform), welches es erlaubt, Strukturen (3D-Pflanzenmodelle) aus GROGRA zu importieren, interaktiv zu manipulieren, zu Beständen zusammensetzen und zu visualisieren (Abbildung 2).

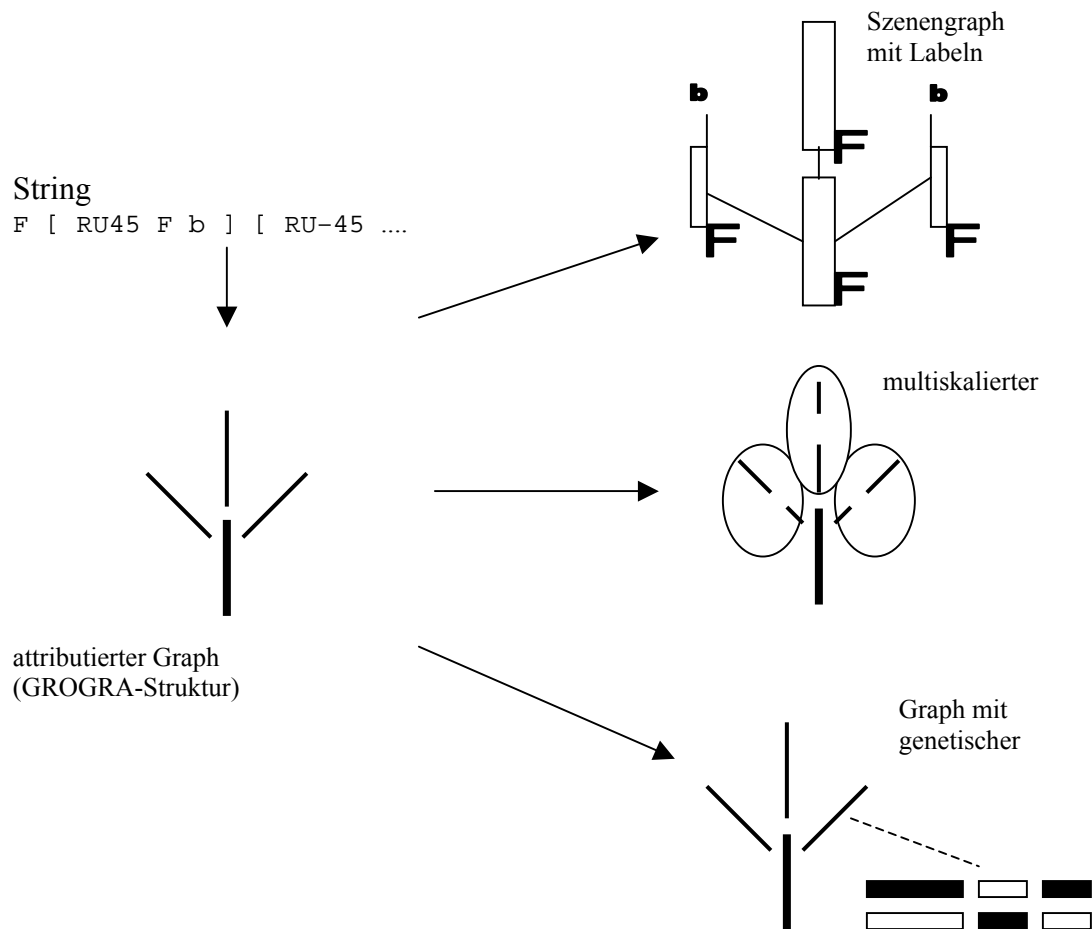


Abbildung 1: Weiterentwicklungen der Objekte, auf denen L-Systeme operieren

Außerdem wurde versuchsweise ein bereits publiziertes, einzelbaumorientiertes Prozessmodell (Sloboda & Pfreundt 1989) innerhalb dieser Softwareumgebung reimplementiert, welches mit vereinfachten Baumkronen (Blattmassen-Verteilungsfunktionen) und mit dem Prinzip der beschattenden Biomasse arbeitet. GROGRA-Bäume mit ihrer 3D-Verzweigungsstruktur können durch einen entsprechenden *fitting*-Algorithmus in solche vereinfachten Kronen transformiert werden (Wechsel zwischen verschiedenen Skalen). Es ist geplant, weitere, für Anwendungen relevante Skalenebenen bei Bedarf mit einzubauen (Jahrringstruktur einzelner Stammsegmente für dendrochronologische und baummechanische Modelle). Die GroIMP-Software ist in der Programmiersprache Java realisiert und ist somit plattformunabhängig und internetfähig. Sie verwendet eine Erweiterung der Szenengraphen aus Java 3D und ist insofern gut geeignet als Basis für die Realisierung der ersten, oben genannten Erweiterungsmöglichkeit für L-Systeme. Auch die multiskalierte Erweiterungsoption ist mit dem erwähnten Skalenübergang von detaillierten zu vereinfachten Baumkronen schon ansatzweise berücksichtigt worden.

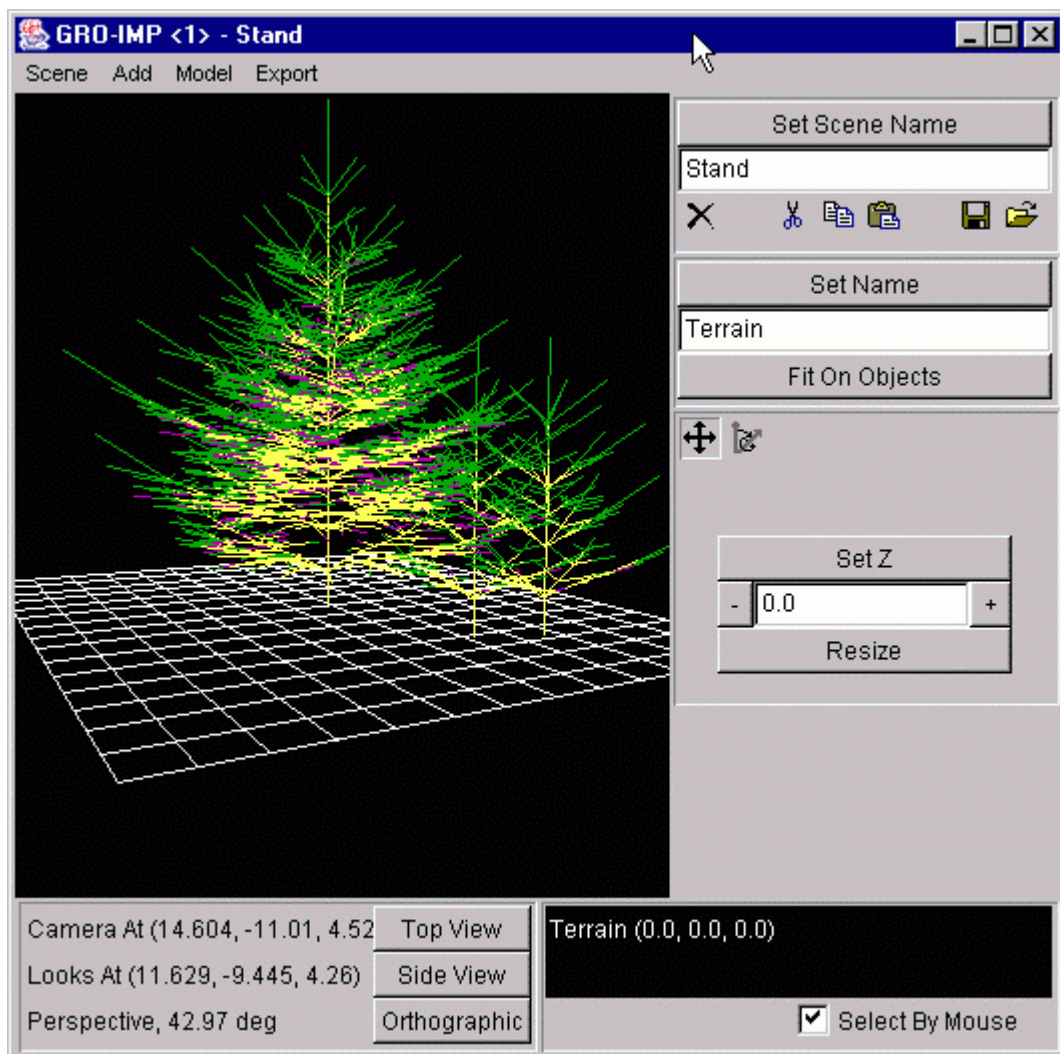


Abbildung 2: Screenshot der Software GroIMP.

Zum Ermöglichen des Austausches gemessener und simulierter 3D-Strukturinformationen von Bäumen wurden Schnittstellen zwischen der GROGRA-Software und Lignum (METLA / Universität Helsinki, Finnland) sowie von GROGRA ins AMAPmod (MTG-) Format (CIRAD / INRA, UMR Modélisation, Montpellier, Frankreich; Abb. 3) implementiert und getestet (Dzierzon & Kurth 2001, Dzierzon et al. 2002).

Mit Herrn A. Oppelt (Forstbotanisches Institut der Universität Göttingen) wurden Möglichkeiten der topologischen, geometrischen und fraktalen Analyse von Verzweigungssystemen weiterentwickelt und anhand von ausgegrabenen Grobwurzelsystemen von Arten aus dem südlichen Afrika erprobt (Oppelt et al. 2000, 2001). Insbesondere wurden topologische Indices nach Fitter et al. (1991) und Berntson (1995) auf eine mathematisch saubere Weise (d.h. ohne a-priori-Annahmen an Wahrscheinlichkeitsverteilungen) neu standardisiert. Ent-

sprechende Analysealgorithmen wurden in die GROGRA-Software eingebaut. Hypothesen zum *tapering*, zur Konstanz der Querschnittsflächen in den Verzweigungsknoten und zu *scaling*-Relationen auf Individuen- und Wurzelsegment-Ebene wurden überprüft (Oppelt et al. 2001). Diese Methoden und Algorithmen wurden zwar hier noch nicht auf simulierte Pflanzen angewandt, werden aber zukünftig wichtige Bausteine für die Überprüfung von 3D-Strukturmodellen anhand gemessener Daten und für den Modellvergleich darstellen.

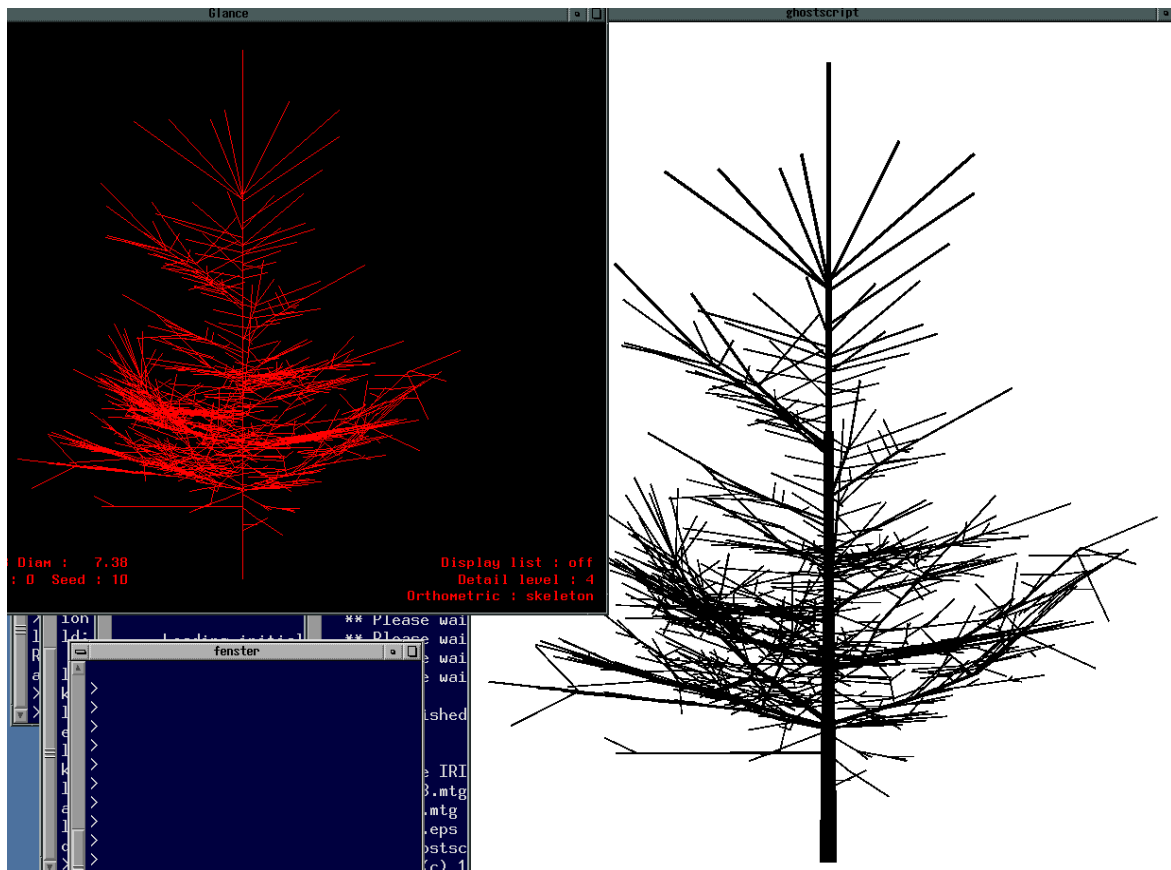


Abbildung 3: Demonstration der Schnittstelle zwischen den Softwaresystemen GROGRA (Entwicklung des Autors) und AMAPmod (CIRAD, Montpellier) anhand einer rekonstruierten Krone einer jungen Fichte (Screenshot). Linker, oberer Ausschnitt: Ausgabe von AMAPmod auf der Grundlage der ins MTG-Format übersetzten Strukturdaten aus GROGRA (großes Bild).

Im Projekt "Struktur- und Prozessmodelle des Baumwachstums" (SI 11/7-1,2) wurden verschiedene, bereits als Software realisierte Modelle gekoppelt. Der Grundgedanke war hier, keine Erweiterung am L-System-Formalismus oder an einzelnen, speziellen Modellen vorzunehmen, sondern durch Schaffung eines generischen Verknüpfungswerkzeugs, einer Art "Modell-Drehscheibe", bestehende Simulationssysteme besser miteinander kompatibel zu

machen und durch die Integration neue Ergebnisse zu gewinnen. Es hat sich gezeigt, dass dieser Weg beschwerlicher ist als zunächst angenommen. Die Schwierigkeiten liegen in den Details der einzelnen Modellsysteme (wie z.B. AMAPsim, MIR, Musc, Lignum), die sich ab einem gewissen Komplexitätsgrad einer Vereinheitlichung der Schnittstellen und Kontrollstrukturen sperren bzw. sehr viel technische Anpassungsarbeit im Kleinen erfordern. Dies gilt insbesondere dann, wenn einzelne Modellkomponenten – wie es im biologischen Bereich leider häufig der Fall ist – ohne umfassende Dokumentation und ohne Berücksichtigung grundlegender Arbeitsprinzipien der Softwareentwicklung (Modularisierung, Versionsmanagement, Kommentierung wesentlicher Parameter etc.) von "Software-Laien" erstellt wurden. Dennoch ist es gelungen, mit der neu entwickelten Vernetzungssoftware "NEXUS" sehr disparate Softwaresysteme unterschiedlicher Kooperationspartner zu verknüpfen. Zu diesem Projekt wurde ein eigener Abschlussbericht erstellt (welcher beigefügt ist).

1.2. Ergänzende empirische Arbeiten

Ein parallel laufendes DFG-Vorhaben (SL 11/8-1,2) befasst sich mit der numerischen Simulation des Wasserflusses im verzweigten Achsensystem von Gehölzpflanzen. Nach dem Aufbau der Simulationssoftware HYDRA durch Dr. Th. Früh (vgl. Früh & Kurth 1999) und deren Anwendung auf Koniferen wird dieses Projekt durch Dr. M. Schulte weitergeführt. Gegenstand ist zunächst die Erweiterung des Modells auf Laubbäume, speziell die Traubeneiche (*Quercus petraea*), die Ankopplung eines Mikroklima- und Blatt-Energiebilanz-Modells zur Steuerung der Transpiration, sowie die Überprüfung des Modells durch gemessene Xylemsaftflussdaten im Freiland. Entsprechende Messkampagnen wurden von Dr. Schulte geleitet und fanden unter Beteiligung von Prof. Dr. J. Čermák (Universität Brno), Dr. N. Naděždina (Brno), Dr. H. Coners, St. Landwehr und Prof. Dr. Ch. Leuschner (Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften, Göttingen) auf verschiedenen Eichen-Versuchsflächen des FZW in Unterlüss (Südheide) statt (26. 6. - 6. 7., 29. 8. 2000). Vom Autor wurden hier die notwendigen ergänzenden Messungen zur Morphologie des Verzweigungssystems und der Blätter angeleitet und z.T. mit durchgeführt (Abb. 4), ebenso Messungen der axialen hydraulischen Leitfähigkeit (B. Dietrich, nach Methode Granier). Zusätzliche morphometrische Messungen auf Spross- und Blattebene wurden von O. Oliefka an Kiefer, Eiche und Bergahorn durchgeführt.



Abbildung 4: Drei der Versuchspflanzen von der Eichen-Jungwuchs-Versuchsfläche Unterlüss, rekonstruiert mit GROGRA (Bäume nicht im gleichen Maßstab).

Diese empirischen Erhebungen liefern nicht nur wichtige Eingangsdaten für die Überprüfung des HYDRA-Modells des Wasserflusses (in Arbeit), sondern auch eine Datenbasis, anhand derer Modellannahmen zur Allokation überprüft werden können. Anhand eines Vergleichs gemessener mit vom finnischen Modell LIGNUM generierter Kiefern wurde eine solche Überprüfung bereits versuchsweise durchgeführt (Dzierzon et al. 2002). Außerdem konnten die Baumdaten für den Vergleich des hydraulischen Systemverhaltens verschiedener Arten herangezogen werden (Abbildung 5). Die Anpassung von HYDRA an Laubbäume hat ferner spezifische Anpassungen und Entwicklungsarbeiten auch an den Softwaresystemen GROGRA und DISC (Früh 1995) erforderlich gemacht, die vom Autor in Abstimmung mit Dr. M. Schulte ausgeführt wurden. Die Erweiterungsarbeiten und Tests an HYDRA sind zur Zeit noch nicht abgeschlossen; Publikationen sind geplant.

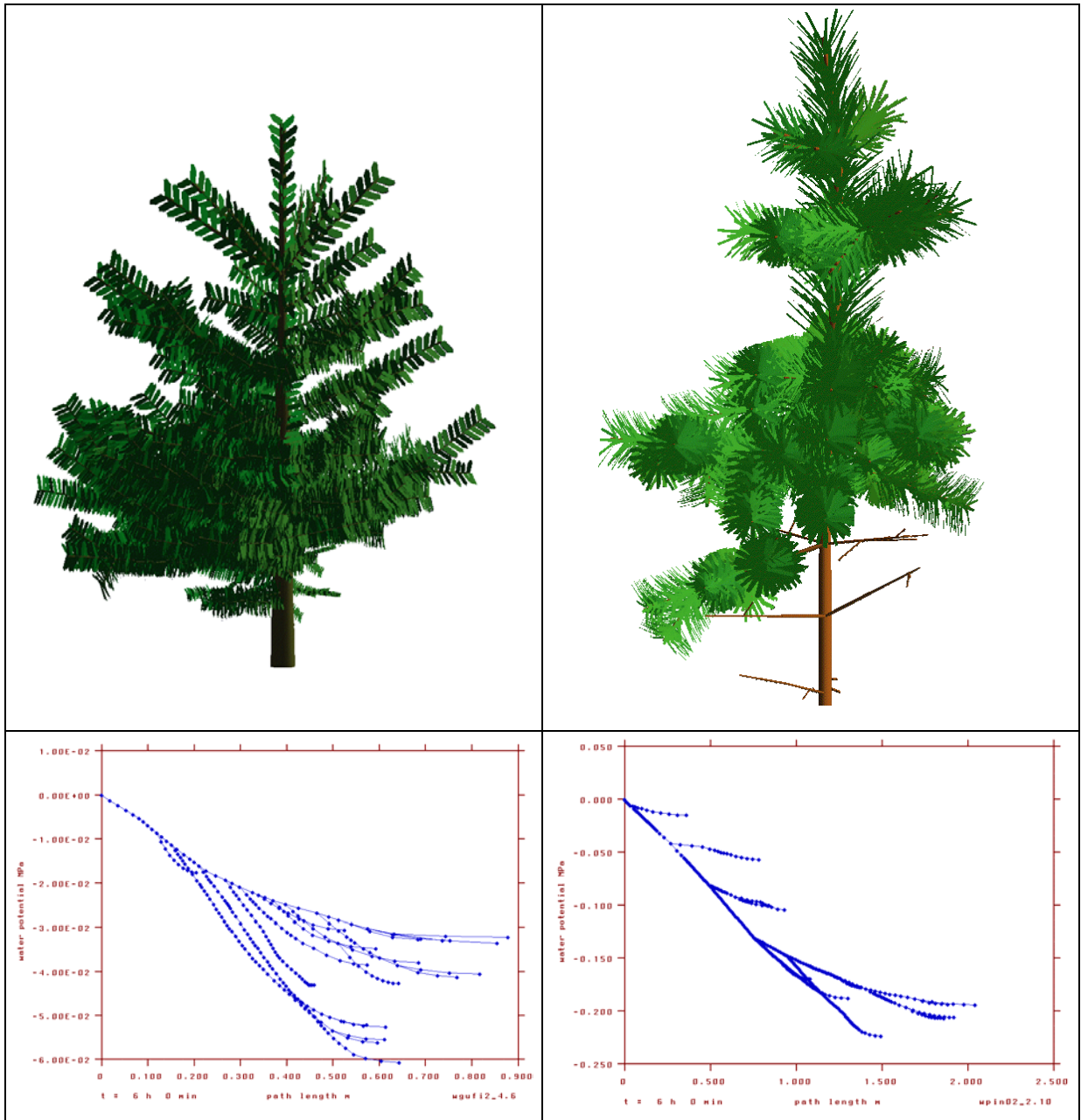


Abbildung 5: 12-jährige Fichte (Höhe 88 cm) und 10-jährige Kiefer (Höhe 203 cm), rekonstruiert mit GROGRA nach empirischen Erhebungen und visualisiert mit AMAP-Glance unter Verwendung der GROGRA-AMAP-Schnittstelle (obere Zeile). Unten: Profile der *steady-state* Wasserpotenziale entlang ausgewählter Pfade in den oben gezeigten Baumkronen, berechnet mit HYDRA (Pfadlängen von der Stammbasis aus gemessen).

2. Kontakte und Anbahnung neuer Forschungsprojekte

(a) Für das bereits erwähnte DFG-Projekt "Verbindung von Struktur- und Prozessmodellen des Baumwachstums" (Sl 11/7-1,2) wurde eine Verlängerung um 1 Jahr erforderlich, die beantragt und bewilligt wurde.

(b) Für das DFG-Projekt "Entwicklung statistischer und geometrischer Verfahren zur Charakterisierung von Pflanzen- und Bestandesarchitekturen und für Modellvergleiche" (Ku 847/3-1,2) wurde eine Verlängerung um 9 Monate beantragt. Erste Ergebnisse wurden in dem entsprechenden Zwischenbericht vorgelegt, welcher der DFG bereits vorliegt und auf den hier verwiesen wird.

(c) Interesse an einem Forschungsaufenthalt beim Autor bekundete Herr Dr. V. Galitskii (Russische Akademie der Wissenschaften, Pushchino b. Moskau), der an Modellen der Bestandesstruktur und Konkurrenz zwischen Einzelpflanzen arbeitet. Dieser Kontakt führte zu einem Antrag beim DAAD auf Finanzierung (noch nicht entschieden). Ebenfalls interessiert an einem Forschungsaufenthalt in der Arbeitsgruppe des Autors war Sven Mutke Regneri von der Forst- und Agrarabteilung der Ingenieurfachhochschule Madrid, der an der Modellierung des Pinienwachstums arbeitet. Bislang hat sich hier ein längerer e-mail-Kontakt entwickelt.

(d) Von Prof. Dr. W. Diepenbrock, Dr. H. Müller und P. Wernecke vom Institut für Acker- und Pflanzenbau der Universität Halle-Wittenberg ging eine Initiative aus zur Etablierung einer DFG-Forschergruppe "Virtual Crops". Daraufhin bildete sich ein Konsortium von 9 antragstellenden Gruppen; der Autor beteiligt sich mit einem Teilvorhaben "Techniken der Informatik für Struktur-Funktions-Modelle von Pflanzen: Sensitive Wachstumsgrammatiken, Mustererkennung, formale Repräsentation von Genregelungsnetzwerken". Der Autor war an zahlreichen Koordinationstreffen in Halle, Göttingen und Gatersleben und an zwei Projektvorstellungen zur Begutachtung (in Halle und in Bonn) beteiligt und koordiniert innerhalb des Verbundes ein Teilprojektcluster "Entwicklung und Nutzung von Informatik-Tools, Datenmanagement, statistische Methoden". Der Antrag wurde inzwischen bewilligt, die Forschergruppe wird am 1. April 2002 ihre Arbeit aufnehmen. — Dieses Verbundvorhaben wird auch eine intensivere Wiederaufnahme der bereits bewährten Zusammenarbeit mit Dr. G. Buck-Sorlin (früher Bangor, Wales; zur Zeit IPK Gatersleben) implizieren, da

dieser die Gerstengenetik und -morphologie in dem Projekt bearbeiten soll und mit L-Systemen vertraut ist. Zugleich beinhaltet dieses Vorhaben eine sinnvolle Verallgemeinerung der Modellierung von den bisher als Modellpflanzen benutzten Gehölzen auf agrarische Nutzpflanzen.

(e) Am 22. 11. 2000 war der Autor an einem Treffen mit Vertretern des Niedersächsischen Forstplanungsamtes und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt beteiligt, bei dem es um Initiativen zur räumlichen Modellierung und Visualisierung von Waldlandschaften ging. Nach Vorstellung der Modellkonzepte durch den Autor und seine Arbeitsgruppe bekundeten das Forstplanungsamt und die NFVA die Bereitschaft einer anteiligen Finanzierung eines Vorhabens zur Bestandesvisualisierung auf der Grundlage von GIS-Daten und unter Verwendung des an der NFVA entwickelten Bestandeswachstumssimulators BWIN. Dieses Vorhaben wurde von Herrn Dr. F.-J. Knauff aus der Arbeitsgruppe des Autors am Institut für Forstliche Biometrie und Informatik ausgeführt (vgl. Knauff et al. 2001).

(f) Mit Herrn Dr. H. Spellmann und Herrn M. Guericke, ebenfalls von der NFVA, wurde am 30. 1. 2001 eine gemeinsame Nutzung ertragskundlicher und dendrometrischer Daten von norddeutschen Kiefern-Versuchsflächen zur Kalibrierung und Überprüfung von Kronenform- und Konkurrenzmodellen vereinbart. Diese Kooperation sollte Testmaterial liefern für das von Herrn H. Dzierzon in der Arbeitsgruppe des Autors bearbeitete DFG-Projekt zur statistischen Charakterisierung von Baum- und Bestandesstrukturen und zum Modellvergleich. Leider zeigten sich Mängel in der Qualität und Verwendbarkeit der Daten für die verfolgten Ziele, so dass letztlich auf Daten aus einer anderen Quelle, nämlich aus einer früheren Kooperation mit Frau Dr. Marie-Stella Duchiron (Engref, Nancy, Frankreich), zurückgegriffen wurde.

(g) Auf europäischer Ebene hat sich der Autor an einem Antragsteller-Konsortium für ein "Research Training Network" (RTN) im 5. Rahmenprogramm der EU, welches den Arbeitstitel "EuroPAIS" (European Plant Architecture Information Systems) trug, beteiligt. Es waren 12 Arbeitsgruppen aus 6 Ländern involviert. Bei der Definition der Workpackages erhielt der Autor die Verantwortung für den Bereich "Formale Sprachen und Integration". Ein Koordinationstreffen der gesamten Gruppe wurde am 9.–10. 4. 2001 vom Autor in Göttingen organisiert. Leider wurde der Antrag für das gesamte RTN inzwischen abgelehnt. Es gibt

Überlegungen, mit einem modifizierten Antragskonzept einen neuen Anlauf im 6. Rahmenprogramm zu versuchen.

(h) Weitere, informelle Kontakte ergaben sich durch Besuche: von Prof. Dr. M. Suzuki und Dr. K. Yoda (Kanazawa Universität, Japan) am 17. 8. 2000, von Prof. Dr. Y. Chiba (Universität Tsukuba, Ibaraki, Japan) am 31. 10. 2000 zur Morphologie und Modellierung von Stamm und Ästen, von Dr. J. Kim (Medizinische Universität Lübeck, Institut für Neuro- und Bioinformatik) am 10. 11. 2000 zur Modellierung von Genregelungsnetzwerken, und von Dr. Christophe Godin und Dr. Hervé Sinoquet (CIRAD / INRA, Frankreich) am 10. 4. 2001 zur Verknüpfung von Software zur Repräsentation und Analyse von Pflanzenarchitekturen.

3. Außendarstellung, Kongresse

Die Arbeitsgruppe des Autors war durch Herrn Dr. F.-J. Knauff unter dem Thema "Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien" an dezentralen Projekten der EXPO2000 beteiligt (Lokhalle Göttingen; "ErlebnisWald" Uslar-Schönhagen).

Am Workshop der Ökosystem-Forschungszentren über "Individuenbasierte Modelle und Struktur-Funktions-Modelle", der am 10.–12. 7. 2000 in Helenenau bei Berlin stattfand, waren der Autor und seine Arbeitsgruppe mit insgesamt 5 Beiträgen beteiligt.

Der Autor war auf der EUROSILVA-Tagung "Development and Ageing in Forest Trees" (Florenz 20.–24. 9. 2000) mit einem Poster und auf der Forstwissenschaftlichen Tagung Freiburg (11.–13. 10. 2000) sowie auf dem IUFRO-Kongress "Forest Biometry, Modelling and Information Science" (Greenwich, UK, 25.–29. 6. 2001) mit je einem Vortrag vertreten.

Zu eingeladenen Vorträgen war der Autor an der Universität Leipzig, Institut für Informatik (12. 6. 2001), und an der Medizinischen Universität Lübeck, Institut für Neuro- und Bioinformatik (18. 7. 2001).

Die Arbeitsgruppe war außerdem mit Postern vertreten auf dem 2nd International Symposium "Dynamics of Physiological Processes in Woody Roots" und auf dem Workshop "Water Transport in Woody Plants and Linkages to Plant Structure and Productivity" (Hyttiälä, Finnland, 14.–16. 3. 2001), sowie mit Vorträgen auf dem "Third International Workshop on Functional-Structural Tree and Stand Models" (Montréal, Kanada, 27.–29. 9. 2001) und auf dem Workshop "Hierarchical Treatment of Multi-Scale Processes in Tree and Stand Models" (Helsinki, Finnland, 26.–27. 2. 2002; eingeladener Vortrag). Vorgestellt werden die Ergebnisse dieses Vorhabens schließlich auch vom Autor auf dem Workshop "Simulation in den

Umwelt- und Geowissenschaften" der Gesellschaft für Informatik (Fachgruppe 4.5.3/4.6.3) (Cottbus, 7.–8. 3. 2002).

4. Lehrtätigkeit, organisatorische Tätigkeit

Der Autor hat folgende Lehrveranstaltungen im Rahmen des Studiengangs "Forstwissenschaften und Waldökologie" an der Universität Göttingen geleitet:

Wintersemester 1999/2000: *Mathematische Grundlagen für Forstwissenschaften*

Sommersemester 2000: *Biometrische Datenanalyse*, und (gemeinsam mit A. Oppelt): *Strukturmodelle des Austriebsverhaltens und der Verzweigung*

Wintersemester 2000/2001: *Mathematische Grundlagen für Forstwissenschaften*

Sommersemester 2001 (gemeinsam mit Dr. Ch. Eschenbach vom Institut für Botanik der Universität Hohenheim): *Struktur- und Funktionsmodelle von Pflanzen*.

Die zuletzt genannte Veranstaltung wurde mit Studierenden der Universitäten Göttingen und Hohenheim als gemeinsame Lehrveranstaltung beider Universitäten angeboten und als Blockveranstaltung teils in Göttingen, teils in Stuttgart-Hohenheim durchgeführt.

Außerdem wurde ein fortlaufendes Mitarbeiterseminar (auch in den Semesterferien) über neuere Literatur zur Pflanzenmodellierung geleitet.

Der Autor war gutachterlich und als Betreuer beteiligt an den Promotionen von Herrn Dr. F.-J. Knauff (13. 4. 2000) und J. Myšiak (20. 4. 2001), sowie als Prüfer an der Promotion von Herrn Marc Hagemeier (30. 10. 2001; Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften). Außerdem erfolgte eine Mitbetreuung des Promotionsvorhabens von A. Oppelt (Institut für Forstbotanik; noch nicht abgeschlossen) und einer Masterarbeit (U. Junghans).

Der Autor hat mitgewirkt an den Planungen für die Einrichtung eines Zentrums für Informatik an der Universität Göttingen und an der Konzeption eines Nebenfachs "Ökologische Informatik" im Rahmen des neuen Master-Studiengangs "Angewandte Informatik" in Göttingen.

Organisatorische Tätigkeit wurde erforderlich bei der Wiederaufnahme des DFG-Projektes "Numerische Simulation des hydraulischen Systems Baum-Boden bei der Traubeneiche" (Antragsteller B. Sloboda und Ch. Leuschner), welches nach dem Weggang von Herrn Dr. Th. Früh eine Unterbrechung erfahren hatte (hier wurde der Autor stellvertretend für Herrn Prof. Dr. B. Sloboda tätig) sowie im Rahmen des EuroPAIS-Vorhabens und bei der

Vorbereitung der Antragstellung der Forschergruppe "Virtual Crops" (siehe oben, Abschnitt 2).

5. Publikationen

Dzierzon, H., and Kurth, W. (2001): LIGNUM: A Finnish tree growth model and its interface to the French AML database. In: Proceedings of the 8th Workshop on Individual-based and Functional-Structural Models in Ecology (Ed.: B. Breckling, F. Hölker), Peter Lang Verlag, Frankfurt a. M. (in press).

Dzierzon, H.; Perttunen, J.; Kurth, W.; Sievänen, R., and Sloboda, B. (2002): Enhanced possibilities for analyzing tree structure as provided by an interface between different modelling systems. *Silva Fennica* (submitted).

Knauff, F.-J.; Sloboda, B., und Kurth, W. (2001): Modellintegration bei der Erzeugung virtueller Waldlandschaften. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 172 (8/9), 161–168.

Kurth, W. (2000a): Spezifikation räumlicher Bestandes- und Populationsmodelle mit sensitiven Grammatiken. In: DVFFA Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, 12. Tagung (Hg.: J. Saborowski, B. Sloboda), Ljubljana 2000, 259–278.

Kurth, W. (2000b): Towards universality of growth grammars: Models of Bell, Pagès, and Takenaka revisited. *Annals of Forest Science*, 57, 543–554.

Kurth, W. (2001): Spatial structure, sensitivity and communication in rule-based models. In: Proceedings of the 8th workshop on individual-based and functional-structural models in ecology (Ed.: B. Breckling, F. Hölker), Peter Lang Verlag, Frankfurt a. M. (in press).

Kurth, W. (2002): Spezifikation der Simulation der Struktur und Dynamik von Pflanzenbeständen und Tierpopulationen mit sensitiven Wachstumsgrammatiken. Tagungsband Workshop "Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften" der GI-Fachgruppe 4.5.3/4.6.3 und des ASIM-Fachausschusses 4.6 "Informatik im Umweltschutz", Cottbus, 7.–8. 3. 2002 (akzeptiert).

Kurth, W., and Sloboda, B. (2002): Sensitive growth grammars specifying models of forest structure, competition and plant-herbivore interaction. Proceedings of the IUFRO 4.11 Congress "Forest Biometry, Modelling and Information Science", Greenwich, U.K., 25.–29. 6. 2001 (in press).

Oppelt, A.L.; Kurth, W.; Dzierzon, H.; Jentschke, G., and Godbold, D.L. (2000): Structure and fractal dimensions of root systems of four co-occurring fruit tree species from Botswana. *Annals of Forest Science*, 57, 463–475.

Oppelt, A.L.; Kurth, W., and Godbold, D.L. (2001): Topology, scaling relations and Leonardo's rule in root systems from African tree species. *Tree Physiology*, 21, 117–128.

Sonstige, im Text erwähnte Literatur:

Berntson, G.M. (1995): The characterization of topology: A comparison of four topological indices for rooted binary trees. *J. Theor. Biol.*, 177, 271–281.

Fitter, A.H.; Stickland, T.R.; Harvey, M.L., and Wilson, G.W. (1991): Architectural analysis of plant root systems. 1. Architectural correlates of exploitation efficiency. *New Phytologist*, 118, 375–382.

Früh, Th. (1995): Entwicklung eines Simulationsmodells zur Untersuchung des Wasserflusses in der verzweigten Baumarchitektur. Ber. FZW Göttingen, A 131, zugl. Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Göttingen (192 S.).

Früh, Th., and Kurth, W. (1999): The hydraulic system of trees: Theoretical framework and numerical simulation. *J. Theor. Biol.*, 201, 251–270.

Godin, Ch., and Caraglio, Y. (1998): A multiscale model of plant topological structures. *J. Theor. Biol.*, 191, 1–46.

Kim, J. T. (2001): transsys: A generic formalism for modelling regulatory networks in morphogenesis. Proc. ECAL 2001, Prague 2001.

Prusinkiewicz, P.; Muendemann, L.; Karwowski, R., and Lane, B. (2001): The use of positional information in the modeling of plants. Proceedings of SIGGRAPH 2001 (Los Angeles, California, August 12-17, 2001), pp. 289–300.

Sloboda, B., and Pfreundt, J. (1989): Tree and stand growth. In: *Artificial Intelligence and Growth Models for Forest Management Decisions*. Publ. No. FWS-1-89, School of Forestry and Wildlife Resources, Blacksburg, Virginia, pp. 119–153.

6. Bewerbungen, Ruf

Es erfolgten Bewerbungen auf Professuren im Bereich der Informatik bzw. Mathematik an den Universitäten Greifswald, Cottbus, Bonn, Jena, Darmstadt und Paderborn. Vom Brandenburgischen Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur erhielt der Autor im Februar 2001 den Ruf auf eine C3-Professur für "Praktische Informatik / Grafische Systeme" an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Der Dienstantritt erfolgte am 1. 10. 2001.

Cottbus, den 28. 2. 2002

(Winfried Kurth)

Anlage: 6 Publikationen + Abschlussbericht zum Projekt SI 11/7-1,2