

multum, non multi - Hierarchische BitTrees bei der Pflanzenverteilung mit oik

Wieland Röhricht¹ & Malte Clasen²

¹ Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e. V.
Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie

Eberswalder Str. 84, D - 15374 Müncheberg

² Zuse-Institut Berlin (ZIB, Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik)

Abteilung Visualisierung und Datenanalyse, Takustr. 7, D - 14195 Berlin

roehricht@zalf.de, clasen@zib.de

Zusammenfassung:

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes Lenné3D (www.lenne3d.de), gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), wird Software zur interaktiven 3D-Visualisierung von Landschaften, insbesondere für Akteurs-Beteiligungsverfahren in der Landschaftsplanung, entwickelt. Innerhalb von Lenné3D ist das hier vorgestellte Modul oik zuständig für die Vegetationsmodellierung bzw. die Berechnung der Pflanzen(modell)verteilungen. Dabei fallen, je nach Größe des Terrains, Hunderttausende bis mehrere Milliarden einzelner Pflanzenindividuen an, deren genaue Platzierung an das folgende Echtzeit-Rendering übergeben werden muss.

Vorgestellt wird ein Lösungsvorschlag für das damit verbunden Speicherproblem, bei welchem hierarchisierte Bit-Arrays (sogenannte BitTrees) für eine effiziente Speicherung genutzt werden. Eine berechnete Verbreitung wird hierbei in das auf Quadtree-Basis gerasterte Untersuchungsgebiet übertragen und hierarchisch komprimiert gespeichert.

1 Hintergrund

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes Lenné3D, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), wird Software zur interaktiven 3D-Visualisierung von Landschaften, insbesondere für Akteurs-Beteiligungsverfahren in der Landschaftsplanung, entwickelt.

Für eine überzeugende, realitätsnahe Visualisierung gibt es verschiedenen Ansätze, und das Potential computergrafischer Methoden für die Landschaftsplanung ist bislang höchstens angedeutet worden. Moderne Verfahren wie Mustererkennungen in Orthofotos, "rapid feature extraction" aus Laserscanning-Daten u. ä. versprechen in Zukunft eine noch schnellere, authentische und automatisierte Visualisierung realer Szenen (Hörsch 2001, Tiede & Blaschke 2005). Bislang aber ist es notwendig, auf der Basis vorhandener GIS-Daten (speziell von Biotoptypenkartierungen u. a. Fachdaten), sowie referenzierter vegetationskundlicher Aufnahmen, die Pflanzendecke im Untersuchungsgebiet (bzw. für einzelne Planungsvarianten) mehr oder weniger realistisch (auf jeden Fall aber wiedererkennbar) zu generieren. Innerhalb von Lenné3D[®] ist das hier vorgestellte Modul oik[®] zuständig für diese

Vegetationsmodellierung bzw. die Berechnung der Pflanzen(modell)verteilungen (Abb. 1).

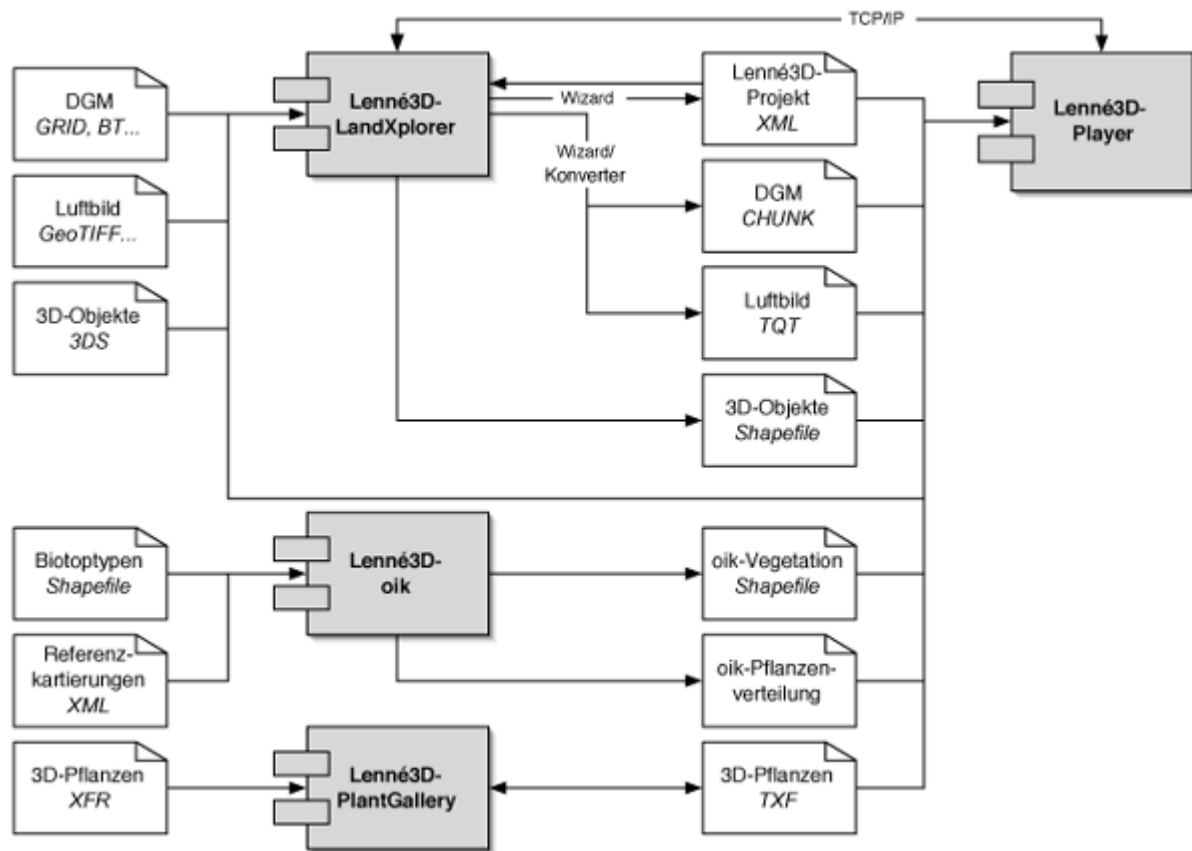


Abbildung 1. Modularer Aufbau des Lenné3D-Systems (schematisch) und die verarbeiteten und erzeugten Artefakte. Quelle: www.lenne3d.de.

2 Vegetationsmodellierung

Verfahren zur Generierung einzelner Pflanzenmodelle und zur Nachbildung der Pflanzendecke in einer virtuellen Welt sind fast so alt wie die Computergrafik. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts war dann die Hardware so weit entwickelt, dass erste komplexe Pflanzenbestände bis hin zu ganzen Landschaften in akzeptabler Zeit erzeugt werden konnten. Heute werden in vielen Bereichen computergenerierte Pflanzen benutzt, und die wissenschaftliche Modellierung beschäftigt sich immer erfolgreicher mit der Simulation von ökosystemaren Zusammenhängen (Deussen 2003, Hörsch 2001, Ostendorf 1995, Tappeiner et al. 1998 u. v. m.). Darüber hinaus boomt der Markt an 3D-Visualisierungstools (3D Nature 2005, Wells 2005 u. a. m.).

Ziel der Landschaftsvisualisierung ist im allgemeinen die möglichst realistische Abbildung einer ausgewählten Umgebung samt der belebten (erst einmal pflanzlichen) Natur. Es müssen also nicht nur Individuen, sondern komplexe Pflanzenbestände modelliert werden.

In der Vegetationskunde werden zur Definition und Kategorisierung von Vegetationseinheiten zuerst korrelative Verfahren eingesetzt, und erst in einem nächsten Schritt können Kausalanalysen (und eben auch algorithmischen Verfahren) für weitere Untersuchungen herangezogen werden. Die Beschreibung (erst recht nicht die Herleitung) komplexer Ökosysteme aus der Simulation einfacher Lebensabläufe von Individuen, wie Wachstum und Verdrängung (z. B. Beneš & Guerrero 2004, Deussen 2003), oder einer meist einfaktoriellen Umweltsimulation, beispielsweise des Wasserangebots (z. B. Deussen et al. 1998), funktioniert zwar für virtuell konstruierte Beispiele; die Vegetation eines konkreten, realen Areals kann aufgrund der unüberschaubaren Zahl zu berücksichtigender Parameter und Interaktionen allerdings nicht auf rein kausal-algorithmischer Grundlage befriedigend modelliert werden (vgl. Hagen et al. 1993 u. v. a. m.).

Es sind in der Computergrafik deswegen verschiedene Ansätze entwickelt worden, trotzdem die reale Vegetation in einem Untersuchungsgebiet zu prognostizieren. Einerseits ist es möglich, für ein bestimmtes Areal die dort vorkommenden Vegetationseinheiten zu analysieren, (Textur-) Bausteine für jeden Typ vorzufertigen, und deren Verteilung im Gelände algorithmisch nachzustellen (vgl. Hammes 2001, Wells 2005). Dieser Ansatz ist aber nicht ohne weiteres übertragbar. Andererseits kann für viele Landschaftsmodelle die ökosystemare Komplexität auch dadurch reduziert werden, dass beispielsweise nur der Baumbestand algorithmisch ermittelt (und der "Rest" über Texturen abgebildet) wird, wobei forstliche Bestandskartierungen benutzt werden, oder virtuelle "Einsaaten" dem realen Vorkommen der (meist wenigen) Hauptbaumarten angeglichen werden. Im zweiten Schritt werden dann Simulationen z. B. der Bestandsentwicklung gerechnet. Man kann so recht realitätsnahe Bilder größerer Landschaften erzeugen (vgl. 3D Nature 2005, Seifert 1998 u. a.). Mit der Weiterentwicklung von Fernkundungs- und Explorationsverfahren sind darüber hinaus weitere Automatisierungen zu erwarten, auch einzelne Baumbestände sind schon direkt aus Laserscanning-Daten abgeleitet worden (Tiede & Blaschke 2005).

Während sich also die ersten (computergrafischen) Arbeiten auf der Grundlage der mathematischen Modellierung mehr oder weniger einfacher, vor allem populationsbiologischer, Parameter der Thematik nähern, wird heute mehr und mehr (auch in oik) die Pflanzendecke (für eine wiedererkennbare, realitätsnahe Modellierung der Vegetation) nicht innerhalb einer kausal-algorithmischen Simulation erzeugt, sondern korrelativ-empirisch aus vorliegenden Daten abgeleitet.

Um zu wissen, welche Pflanzen in einem Gebiet wachsen, muss man nicht die Standortfaktoren kennen, sondern die Vegetation.

Dazu ist, kann man nicht ressourcenintensive Freilandkartierungen durchführen, eine umfangreiche Heuristik erforderlich. Grundlagen hierfür sind zum einen die in der Regel vorliegende Biotop(typen)kartierungen (wenn vorhanden auch Vegetationskarten) und das Digitale Geländemodell (DGM) für Reliefanalysen, sowie ein Fundus an möglichst regionalisierten bzw. lokalen Vegetationsaufnahmen (vgl. Abb. 1).

Daneben sollten aber auch möglichst andere Geodaten, wie Bodenkarten, Karten der historischen Vegetation bzw. Landnutzung u. ä., einbezogen werden.

Durch die Kombination dieser Ausgangsdaten wird eine Karte von (in Bezug auf die Ausgangsdaten) homogenen Landschaftsausschnitten erzeugt; entweder direkt im GIS-Modul von oik mittels eingebauter clipping-Routine (Röhrlich & Wieland 2004, Abb. 2), oder extern innerhalb eines Geographischen Informationssystems (GIS). Die in dieser Karte ausgewiesenen, polygonalen Landschaftsausschnitte (sogenannte geoCells) beschreiben also, je nach verarbeiteten Informationen, Flächen je gleichen Biotoptyps, gleicher Nutzung, Topographie, Bodenart etc. Basierend auf einem komplexen Entscheidungsverfahren werden (z. Z. hauptsächlich manuell) nun die Referenzaufnahmen den geoCells zugeordnet. Damit erfolgt in der Tat eine Abschätzung der zu erwartenden Vegetation, im eigentlichen Sinne also eine *Vegetationsmodellierung*.

Abhängig von der Soziabilität der Pflanzenarten (oder einem vorgegebenen Verbreitungs-"Muster") berechnet nun oik die Verteilung der Pflanzen(modelle) innerhalb der geoCells mittels einfacher Algorithmen. Dabei fallen, je nach Größe des Terrains, Hunderttausende bis mehrere Milliarden einzelner Pflanzenindividuen an, deren genaue Platzierung an die eigentlichen Visualisierungsmodule übergeben werden muss. Bei der Benutzung konventioneller Speicherstrukturen, und erst recht bei Echtzeit-Rendering, stößt die Software dabei schnell an die Grenzen heutiger Rechentechnik.

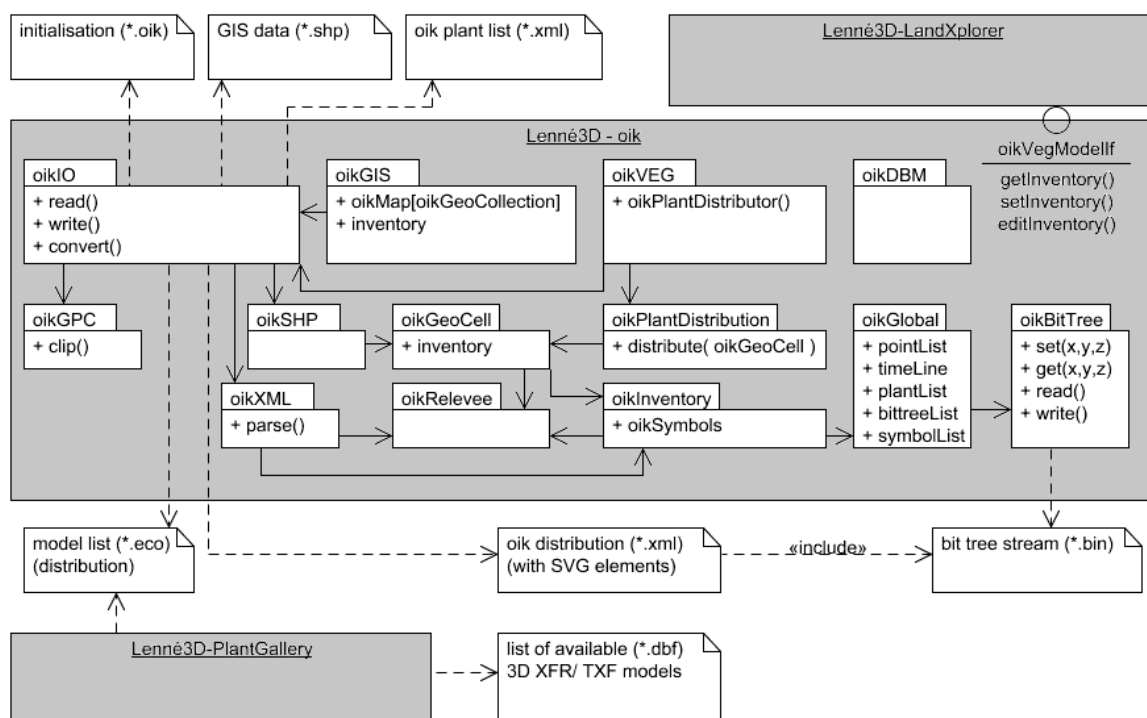


Abbildung 2. Schematischer Aufbau des oik-Moduls mit Schnittstellen zur Lenné3D-PlantGallery und Autorenwerkzeug Lenné3D-LandXplorér sowie verarbeitete Daten.

3 Hierarchische BitTrees

Vorgestellt wird deswegen ein Lösungsvorschlag für dieses Problem, bei welchem hierarchisierte Bit-Arrays (sogenannte BitTrees) für eine effiziente Speicherung genutzt werden. Eine berechnete Verbreitung wird hierbei in das auf quadtree-, octree-, hexadecimaltree- o. ä. Basis gerasterte Untersuchungsgebiet übertragen und hierarchisch komprimiert gespeichert.

Die Idee hinter den BitTrees ist die Umwandlung von expliziten in implizite Positionsangaben (Abb. 3). Explizite Positionen werden durch eine Liste der individuellen Positionen charakterisiert. Diese kann eine beliebige Form annehmen, sei es eine einfache lineare Liste, ein KD-Tree oder eine andere dem jeweiligen Anwendungsgebiet angepasste Struktur. Alle Varianten haben zunächst einen Mindestspeicherbedarf, der durch die Anzahl der gespeicherten Individuen bestimmt wird. Durch Ausnutzung von Korrelationen läßt sich der Bedarf pro Individuum senken, aber die Abhängigkeit von der Anzahl bleibt prinzipiell bestehen.

Implizite Speicherung geht von einer Diskretisierung des Bereichs aus, in dem die Individuen angesiedelt sind (area of interest). Dabei wird die Elementgröße so gewählt, dass nie mehr als ein Individuum pro Element auftritt. Gespeichert wird nun eine Liste dieser diskreten Elemente, wobei ein Bit ausreicht, um festzuhalten, ob ein Element ein Individuum enthält oder nicht. Durch die Reihenfolge der Elemente im Datenstrom kann die Position der einzelnen Individuen rekonstruiert werden, wobei die räumliche Auflösung und damit der maximale Fehler durch eingangs gewählte Elementgröße bestimmt wird. Der Speicherbedarf der impliziten Speicherung hängt prinzipiell nur von der Diskretisierung ab, d. h. von der Anzahl der Elemente und nicht mehr von der Anzahl der Individuen. Damit lassen sich nun auch die Anwendungsbereiche expliziter und impliziter Speicherung skizzieren: Das Optimum der expliziten Repräsentation liegt bei Szenen mit sehr wenigen Individuen, da der Speicherbedarf unabhängig von der zu Grunde liegenden Fläche ist, wohingegen die implizite Speicherung ihr Optimum bei der vollständigen Abdeckung der Fläche mit Individuen hat.

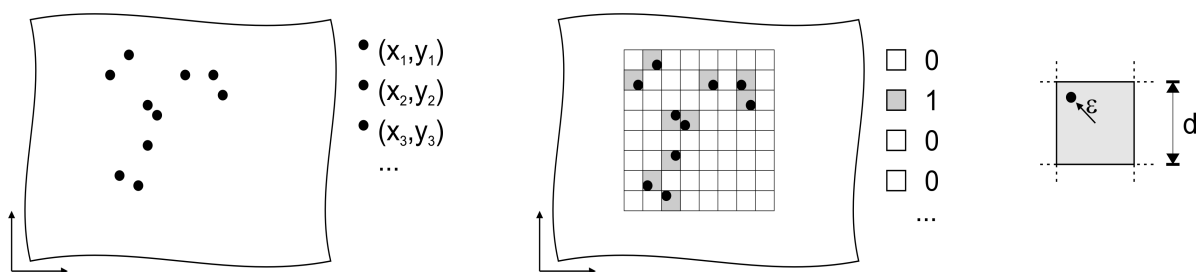


Abbildung 3: Explizite Speicherung erfolgt durch Auflistung der Individuen, implizite durch Angabe, welche diskreten Elemente belegt sind. Der Positionsfehler wird durch die Auflösung der Diskretisierung begrenzt.

Der Speicherbedarf der impliziten Darstellung für realistische Datensätze lässt sich senken, indem man Korrelationen der gespeicherten Bits ausnutzt, so dass man beispielsweise größere freie Bereiche nicht bis zur untersten Detailstufe auflöst (Abb. 4). Der hier vorgestellte BitTree-Ansatz verwendet dafür eine Quadtree-Struktur, die ähnlich der impliziten Darstellung von Punkt-Geometrien in Botsch et al. (2002) funktioniert: In jeder Hierarchie-Ebene wird das übergeordnete Element in n (z. B. 4, 16, 64) Elemente unterteilt, solange bis die gewünschte Auflösung erreicht ist. Dabei wird in einer Ebene gespeichert, in welchem der n Elemente Individuen vorhanden sind, so dass nur für diese weitere Unterebenen angelegt werden müssen. Auch dies wird über Bits kodiert, wobei 0 für vollständig freie Bereiche steht, 1 für teilweise oder ganz belegte. Dieser Kodierung liegt die Annahme zu Grunde, dass in der Praxis deutlich mehr Bereiche gar keine Individuen enthalten als dass sie vollständig bedeckt sind.

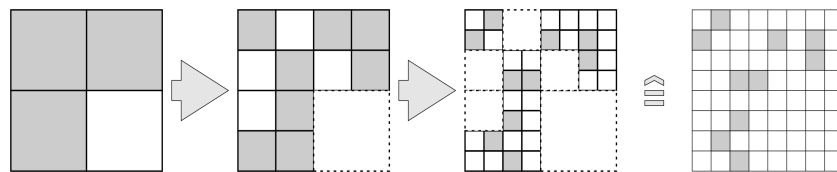


Abbildung 4: In der Hierarchie werden nur die Bereiche weiter aufgelöst, die mindestens ein Individuum beinhalten.

Der Overhead für den Grenzfall, d. h. vollständig belegte Flächen, liegt für $n=4$ bei 33%, bei größeren n oder nur teilweise bedeckten Flächen weniger. Damit ist die Einführung der Hierarchieebenen in impliziten Darstellungen in jedem Fall unproblematisch.

4 Anwendung in der Landschaftsplanung

Besonders die kommunale Landschaftsplanung ist für ihren Erfolg auf eine Vermittlung der langfristigen Vorteile von Planungszielen angewiesen. Akteuren, Bürgern und Entscheidungsträgern müssen die oft komplexen Zusammenhänge und Inhalte der Planungsszenarien vermittelt werden, um beispielsweise vorgeschlagene Maßnahmen umsetzen zu können. Viele Planungsprozesse scheitern daher an kognitiven (und weniger an inhaltlichen) Problemen (Paar & Rekittke 2003).

Verständliche Präsentationen der Planungen in Bürgerbeteiligungen mit wiedererkennbaren, realitätsnahen Darstellungen sind natürlich möglich, überfordern aber in der Regel die personellen und/ oder technischen Kompetenzen, bzw. die Budgets der Planungsbüros. Das Lenné3D-System versucht durch die Einpassung der Visualisierung in den gewohnten Ablauf des Planungsprozesses nicht nur eine interessante Präsentation im Beteiligungsverfahren vorzubereiten, sondern auch den Landschaftsplaner bei der Ausarbeitung der Planungsziele, -varianten und -szenarien zu unterstützen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf einer interaktiven

Echtzeitdarstellung, einer möglichst realitätsnahen Visualisierung der Pflanzendecke, und der Editierbarkeit räumlicher Daten.

Dies erfordert von der Vegetationsmodellierung in Lenné3D einerseits den komplikationsfreien Umgang mit den im planerischen Prozess anfallenden Daten, daneben müssen aber auch die Vorgaben der Visualisierungswerkzeuge zur auflösungsabhängigen Bereitstellung der Pflanzenpositionen erfüllt werden. Die Verwendung der vorgestellten BitTrees bietet gerade in dieser Hinsicht im Gegensatz zur expliziten Datenspeicherung enorme Vorteile, da durch die hierarchisierte implizite Speicherung die von der Visualisierung geforderte Datenreduktion bedient werden kann: in der Darstellung entfernte, geringer aufgelöste Bereiche können durch die Wiedergabe der Daten höherer Hierarchieebenen, also einer gröberen Auflösung, visualisiert werden, während im Vordergrund die Verteilung der Pflanzenindividuen der untersten, am feinsten aufgelösten Ebene entnommen wird (vgl. Abb. 4).

Daneben erfolgt die Einbettung der Vegetationsmodellierung in den Planungsprozess auch durch die Verwendung gängiger Datenformate. Zum einen können die in der Phase der Bestandserfassung, aber auch der Planung, anfallenden GIS-Daten (im ESRI™ Shapefile-Format) direkt von oik genutzt werden, andererseits sind auch die Ausgabeformate wiederum im GIS nutzbar.

Vorausgesetzt wird allerdings eine gut gepflegte Datenbasis vegetationskundlicher Daten (und ein dementsprechendes Knowhow), welche für das Entscheidungsverfahren zur Zuordnung der Vegetationsaufnahmen zu den geoCells unbedingt nötig ist. Hierbei haben wir seit Beginn der Arbeiten Wert auf eine hohe Flexibilität und Integrierbarkeit verschiedener Datenmodelle gelegt. Es setzen sich für die Speicherung von vegetationsbezogenen Daten neben relationalen Datenbanken aktuell mehr und mehr Austauschformate auf Basis der Extensible Markup Language (XML) durch. Bei der Definition des von Lenné3D genutzten Vegetationsdaten-Formates haben wir uns für eine transparente XML-Syntax entschieden, da diese zum einen menschenlesbar und mit verfügbaren Editoren von jedermann zu bearbeiten ist, zum anderen bei der Verwendung von Datenbanksystemen durch entsprechende Ausgaberroutinen automatisch erzeugt werden kann und zuletzt flexibel anzeigbar ist (vgl. Abb. 5).

5 XML Austauschformat

Sowohl für die Eingabe, als auch für die Ausgabe vegetationsrelevanter Daten in das bzw. aus dem oik-Modul nutzen wir ein spezielles XML-Format. Die Definition des Dokumententyps wird seit Projektbeginn weiterentwickelt, und soll nach Abschluss der Arbeiten offen gelegt werden. An dieser Stelle wollen wir jedoch eine kurze Charakterisierung geben.

Gegliedert werden die Daten innerhalb eines Datensatzes in einzelne *records*, welche 1..n *samples* und diese wiederum 1..n *items* in 1..n *layers* enthalten. Dabei

sind sowohl Ausgangsdaten wie Vegetationsaufnahmen, oder Artenlisten, als auch die eigentlichen Pflanzenverteilungen in diesem Format speicherbar. Es können z. Z. sowohl explizite Koordinatenangaben, wie auch Beschreibungen von Verteilungen (z. B. mit SVG-Elementen¹ wie *svg:path* etc., oder eigenen Ausdrücke wie *patch* oder *point*) oder BitTree-Datenströme gespeichert werden. Selbst faunistische, bodenkundliche o. ä. Daten lassen sich so ablegen.

Durch die Definition verschiedener XSL (Transformations)-Stilvorlagen² lässt sich der Inhalt einer XML-Datei nicht nur in der eigentlichen Anwendung oik benutzen, sondern auch in einem Browser anzeigen (Abb. 5). Die vollständige Einbindung von SVG-Elementen soll zukünftig eine (zweidimensionale) grafische Anzeige in einem SVG-kompatiblen Browser gestatten.

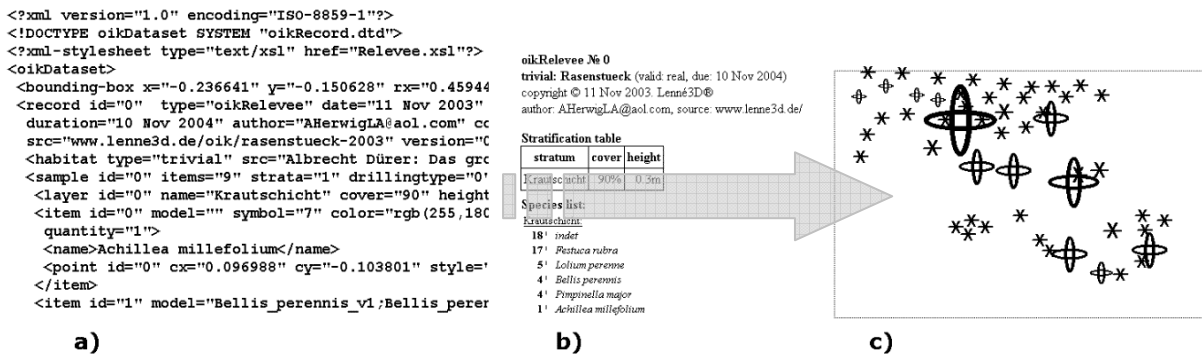


Abbildung 5. Flexibilität des oik XML-Formats: **a)** Quelltext-Ansicht (Ausschnitt) **b)** HTML-Transformation in übliches Vegetationsaufnahme-Textformat (Ausschnitt) **c)** HTML-Transformation in pseudo-grafisches Ausgabeformat mit Pflanzenverteilung. Alle Darstellungen sind Browseransichten.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben Lenné3D wurde von der Deutschen Bundestiftung Umwelt (DBU) unter dem Förderkennzeichen AZ 14209 gefördert; die Verfasser danken für die Unterstützung. Wir danken ebenfalls ganz herzlich für die "Entdeckung" des BitTree-Verfahrens zur Speicherung von Pflanzenpositionen, sowie fruchtbare Diskussionen und Hinweise den Herren Hon. Prof. H.-C. Hege (ZIB), L. Coconu (ZIB) und C. Colditz (Univ. Konstanz). Herrn P. Paar (ZIB) danken wir für die Durchsicht des Artikels hinsichtlich der landschaftsplanerisch relevanten Aussagen.

Literaturangaben

3D Nature (2005): <http://www.3dnature.com/>

Beneš, B.; Guerrero, J. M. S. (2004): Clustering in Virtual Ecosystems. Journal of WSCG 12 9-16.

¹ SVG= Scalable Vector Graphics. siehe auch <http://www.w3.org/Graphics/SVG/>

² XSL= Extensible Stylesheet Language. siehe auch <http://www.w3.org/TR/xslt>

-
- Botsch, M.; Wiratanaya, A.; Kobbelt, L. (2002): Efficient High Quality Rendering of Point Sampled Geometry. Eurographics Workshop on Rendering. <http://www-i8.informatik.rwth-aachen.de/publications/downloads/octree.pdf>
- Deussen, O. (2003): Computergenerierte Pflanzen. Technik und Design digitaler Pflanzenwelten. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. I-XII & 1 - 287.
- Deussen, O.; Hanrahan, P.; Lintermann, B.; Mech, R.; Pharr, M.; Prusinkiewicz, P. (1998): Realistic modeling and rendering of plant ecosystems. Proceedings SIGGRAPH98, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1998, 275–286.
- Hagen, H.; Kleeberg, H.-B.; Niekamp, O. (1993): Parameter Estimation for Ecosystem Models with Special Regard to Target Functions. Modeling Geo-Biosphere Processes **2** 293-325.
- Hammes, J. (2001): Modeling of ecosystems as a data source for real-time terrain rendering. In: Westort, C. Y. (ed.): Proceedings of the First International Symposium on Digital Earth Moving. Springer, London. 98-111.
- Hörsch, B. (2001): Zusammenhang zwischen Vegetation und Relief in alpinen Einzugsgebieten des Wallis (Schweiz). Ein multiskaliger GIS- und Fernerkundungsansatz. Dissertation. Math.-Naturwiss. Fak., Rheinische Friedrich-Wilhelms-Univ. Bonn.
- Ostendorf, B. (Hrsg.) (1995): Räumlich differenzierte Modellierung von Ökosystemen. Bayreuther Forum Ökologie **13**
- Paar, P.; Rekitke, J. (2003): Geplante Landschaft - wie sie der Spaziergänger kennt. Lenné3D® - Entwicklung eines Programms zur Landschaftsvisualisierung. Stadt+Grün **11**. 26-30.
- Röhrich, W.; Wieland, R. (2004): divide et nosce - shape clipping als Teil einer Vegetationsanalyse. In: Wittmann, J.; Wieland, R. (eds.): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Müncheberg 2004.- Shaker, Aachen. 155-160.
- Seifert, S. (1998): Dreidimensionale Visualisierung des Waldwachstums. Diplomarbeit. Fachber. Informatik in Zusammenarb. m. d. Lehrstuhl f. Waldwachstumskunde, Ludwig-Maximilians-Univ. München.
- Tiede, D.; Blaschke, T. (2005): Visualisierung und Analyse in 2,5D- und 3D-GIS - von loser Kopplung zu voller Integration? Beispiele anhand kommerzieller Produkte. In: Coors, V.; Zipf, A. (Hrsg.): 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendung. Herbert Wichmann, Hamburg. 280-292.
- Tappeiner, U.; Tasser, E.; Tappeiner, G. (1998): Modelling vegetation patterns using natural and anthropogenic influence factors: preliminary experience with a GIS based model applied to an Alpine area. Ecological Modelling **113** 225-237.
- Wells, W. D. (2005): Genetics. Automated Vegetation Generation. <http://www.movesinstitute.org/~wdwells/4181/>