

LandXplorer – ein Werkzeug für komplexe Geoinformationen auf Grundlage virtueller 3D-Stadt- und 3D-Landschaftsmodelle

Die wachsende Zahl vielschichtiger, heterogener Geoinformationsbestände wirft für die Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft die Frage auf, wie diese Bestände erschlossen, integrativ genutzt, effizient gemanagt, wirkungsvoll kommuniziert und aufgabenorientiert bereitgestellt werden können. Insofern stellen die Integration von Geoinformationsbeständen und effektive Benutzungsschnittstellen zu ihnen zentrale Anforderungen zukünftiger Geoinformationssysteme und Geodateninfrastrukturen dar. Mit der LandXplorer-Technologie steht ein neuartiges Werkzeug für das Management komplexer 2D- und 3D-Geoinformationen auf der Basis virtueller 3D-Stadtmodelle und 3D-Landschaftsmodelle bereit. Das Werkzeug leistet die Visualisierung von großen und größten Mengen von Geoinformationen in Echtzeit und dient zur interaktiven Exploration, Analyse, Editierung und Präsentation. In besonderer Weise wird die Weitergabe von komplexen Geoinformationen über unterschiedliche Medien mit Techniken des Geospatial Digital Rights Management unterstützt.

Einführung

Eine wachsende Zahl von Geoinformationsangeboten, die insbesondere innerhalb von Geodateninfrastrukturen und mit Geodaten-Services realisiert werden, wirft die Frage auf, wie deren Potential für Anwendungen und Systeme erschlossen werden kann. Mit Blick in die Zukunft lautet daher die Frage weniger „Wie stellen wir unsere Geodaten bereit?“, sondern „Wie setzen wir die vielschichtige Masse an verfügbaren Geoinformationen in IT-Lösungen produktiv ein?“. In der Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft muss insofern bereits heute übergreifend überlegt werden, wie aus den einzelnen

Geoinformationsangeboten *komplexe Geoinformationsräume* hergestellt und wie diese aufgabenunterstützend interaktiv angeboten und wirkungsvoll kommuniziert werden können.

Betrachten wir allgemein die Voraussetzungen für den nachhaltigen und produktiven Einsatz von Geoinformationen, so lassen sich diese in folgende Kategorien einordnen:

- ⇒ 1. Auffindbarkeit über Metadaten und Datenhandelsplattformen
- ⇒ 2. Wirtschaftlichkeit und angemessene Geschäftsmodelle

- ⇒ 3. Verfügbarkeit in Hinblick auf Quantität und Qualität der Geodaten
- ⇒ 4. Verarbeitbarkeit und Interoperabilität
- ⇒ 5. Integrierbarkeit zu komplexen Informationsbeständen; Veredlung
- ⇒ 6. Nutzbarkeit durch den Anwender über Benutzungsschnittstellen
- ⇒ 7. Kontrollierbarkeit im Sinne von Urheberrecht und Datenschutz

Besitzen die Kategorien 1, 2, 3 und 7 eine eher organisatorische und rechtliche Dimension, stellen sich für die Kategorien 4, 5 und 6 konzeptionelle und technische Fragen – sie bilden den Hauptgegenstand dieses Beitrags.

Virtuelle 3D-Stadtmodelle und 3D-Landschaftsmodelle

Eine herausragende Möglichkeit zur Verarbeitung, Integration und Nutzung von komplexen Geoinformationen bieten *virtuelle 3D-Stadtmodelle und 3D-Landschaftsmodelle*. Diese *virtuellen 3D-Raummodelle* repräsentieren Informationsplattformen und tragen insbesondere 3D-Geoinformationen Rechnung. Als ausgezeichnete Formen geovirtueller Umgebungen verfügen sie über Funktionalität zur Integration, Exploration, Analyse, Editierung und Präsentation von 2D- und 3D-Geoinformationen. Einen Überblick über Grundlagen und Konzepte der Visualisierung von 3D-Geoinformationen geben Wood et al. (2005).

Wesentliche Anwendungsfelder von virtuellen 3D-Stadtmodellen und 3D-Landschaftsmodellen liegen u.a. in folgenden Bereichen:

- Geodaten-Management, -Erstellung, -Veredlung und -Distribution
- Stadtentwicklung, Stadtumbau und Stadtplanung

- Investorenberatung, Standortmarketing und Immobilien-Management
- Katastrophen- und Sicherheits-Management
- Fachanwendung in der Telekommunikation und Versorgung
- Umwelt-Monitoring

Integration von Geoinformationen

Für Geoinformationen lassen sich konzeptionell grundsätzlich drei Formen der Integration unterscheiden:

- ⇒ *Integration auf Modellebene*
 - Geoinformationen werden konzeptionell, z. B. durch gemeinsame Schemata, zusammengeführt, meist auch physisch in einem gemeinsamen Datenbestand gehalten.
- ⇒ *Integration auf Serviceebene*
 - Geoinformationen werden über Web-Services mit entsprechender Standardisierung (z.B. WMS, WFS, W3DS u.a.) verfügbar und damit in Verarbeitungsketten integrierbar.
- ⇒ *Integration auf Visualisierungsebene*
 - Geoinformationen werden durch intelligente Visualisierungsverfahren in einer geovirtuellen Umgebung integriert – je nach Anforderungen und in Echtzeit.

Für komplexe Geoinformationsräume scheidet Variante 1 im allgemeinen aus rechtlichen und organisatorischen Gründen aus. Variante 2 erscheint derzeit als praktisch erreichbare Lösung. Web-Services reduzieren vor allem technische Zutrittsbarrieren und verbessern somit die Verarbeitbarkeit. Jedoch stellen sie keine eigenen Konzepte zur Integration komplexer Geoinformationen bereit.

Der Vorteil der Variante 3 liegt darin, dass das Visualisierungssystem erst zum

Zeitpunkt der tatsächlichen Nutzung („on-the-fly“) Zuordnungs-, Transformations- und Integrationsaufgaben ausführen muss. Die Integration auf Visualisierungsebene wird auch dann eingesetzt, wenn aus technischen Gründen (Software-Komplexität, Administration) und wirtschaftlich-rechtlichen Gründen (Lizenz- und Kostenstrukturen) andere Varianten der Integration ausscheiden. Hinzu kommt, dass schlanke Softwarelösungen effizient mit Variante 3 realisiert werden können. Die Integration auf Visualisierungsebene bildet das Hauptleistungsmerkmal der LandXplorer-Technologie.

LandXplorer-Technologie

Der Begriff LandXplorer-Technologie bezeichnet ein Software-Rahmensystem für die Prozessierung und Visualisierung von 2D- und 3D-Geoinformationen. Insbesondere dient es als Management- und Präsentationssystem für virtuelle 3D-Stadtmodelle und 3D-Landschaftsmodelle (Döllner et al. 2003). Abbildung 1 zeigt ein photorealistisch gestaltetes 3D-Stadtmodell von Berlin (gemeinsame Entwicklung der 3D Geo GmbH und der RSS GmbH),

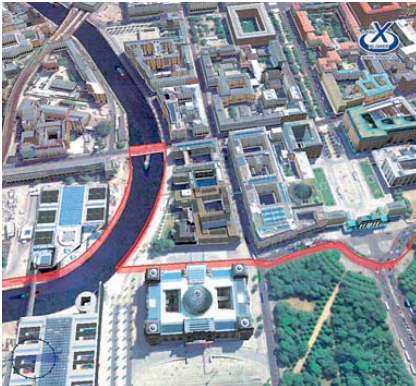


Abb. 1: Ausschnitt aus „Berlin-3D“ mit einblendeten thematischen Informationen (Mauerverlauf am Reichstag).

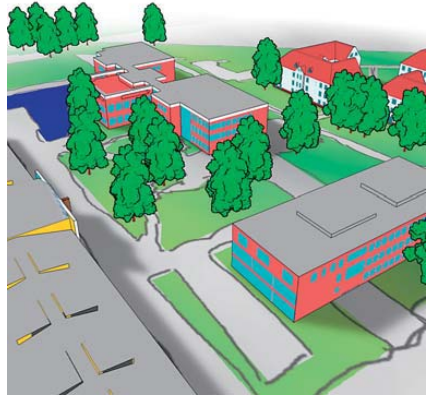


Abb. 2: 3D-Campus-Modell des HPI, Potsdam. LandXplorer unterstützt auch illustrative, skizzenhafte Darstellungsstile.

wohingegen Abbildung 2 ein illustrativ dargestelltes 3D-Campus-Modell des Hasso-Plattner-Instituts darstellt.

LandXplorer wird seit 2001 im Fachbereich Computergrafische Systeme des Hasso-Plattner-Instituts an der Universität Potsdam entwickelt und bildet die Grundlage der Forschungsarbeiten im Bereich Geovisualisierung. In einer Vielzahl von kommerziellen Systemen findet es derzeit Eingang als Software-Komponente zur Handhabung komplexer Geoinformationsräume, wie etwa zur 3D-Funknetzplanung in der Telekommunikation, in der Betriebsleittechnik, in Investoren-Beratungssystemen und im Feld der Stadtentwicklung.

Modellierung komplexer Geoinformationsräume

Die wesentlichen Leistungsmerkmale der LandXplorer-Modellbildung sind im Folgenden kurz skizziert.

- **Geländemodelle.** Als Grundlage virtueller 3D-Raummodelle werden hochaufgelöste gitterbasierte oder TIN-basierte Geländemodelle unterstützt.

Durch Level-of-Detail-Techniken wird die geometrische Komplexität der Geländemodelle für die Visualisierung reduziert. Ein „Out-of-Core“-Algorithmus stellt dabei sicher, dass die DGM-Originaldaten effizient vom externen Medium gelesen werden, ohne umfänglich in den Hauptspeicher kopiert werden zu müssen. Modelle mit einer Auflösung von mehreren 10 000 Gitterpunkten pro Dimension sind echtzeitfähig visualisierbar.

- **Georeferenzierte Texturen.** Sie bilden ein grundlegendes Mittel zur Visualisierung von raumbezogenen 2D-Rasterdaten und 2D-Vektordaten im virtuellen 3D-Raummodell (Döllner und Baumann 2005). Rasterdaten werden dazu in einer vom DGM unabhängigen Level-of-Detail-Struktur aufbereitet, so dass derzeit z.B. Luftbilder mit mehr als 250 GB in Echtzeit visualisierbar sind. 2D-Vektordaten können ebenfalls gleichberechtigt als Layer auf das DGM projiziert werden, wobei deren Rasterisierung sicht- und distanzabhängig in Echtzeit erfolgt.
- **Gebäudemodelle.** Als wesentliche Komponenten virtueller 3D-Raummodelle unterstützt LandXplorer Gebäudemodelle aller Detailstufen in Anlehnung an CityGML: LOD-1 (Blockmodelle), LOD-2 (einfache Geometrie-Modelle mit Dachformen), LOD-3 (detaillierte Geometrie-Modelle) und LOD-4 (Architekturmodelle mit Innenraummodellierung). Hierzu werden neuartige Rendering-Verfahren verwendet, die große und größte Gebäudemengen in Echtzeit bewältigen und praktisch nicht mehr bzgl. der Geometrie- und Texturmenge limitiert sind. Für die Erfassung der 3D-Primär-Geodaten werden im

Allgemeinen Laser-Scan- und Photogrammetrie-Verfahren verwendet.

- **Umgebungsmodelle.** Sie bezeichnen die Modelle des Straßen- und Freiflächenraums und modellieren im Allgemeinen Wege, Straßen, Treppen, Mauern, Ufer, Kanäle, etc. LandXplorer verfügt über ein Verfahren, dass aus attributierten 2D-Landschaftsplänen ein 3D-Umgebungsmodell auf Basis von Regeln und einer Heuristik automatisch herleitet. Als Datengrundlage können Stadt- und Landschaftspläne bzw. Verkehrsraumdaten herangezogen werden.
- **Vegetationsmodelle.** Sie repräsentieren die Vegetation in einem 3D-Raummodell. Ausgangspunkt bildet die Lenne3D-Bibliothek botanisch abgesicherter 3D-Pflanzenmodelle, die derzeit mehr als 500 in Mitteleuropa typische Pflanzen in verschiedenen Wachstums- und Jahreszeitzuständen enthält. LandXplorer nutzt diese Ausgangsmodelle in Verbindung mit einem spezialisierten Level-of-Detail-Verfahren, um die resultierende hohe geometrische Komplexität der vegetationsbehafteten Szenen in Echtzeit zu bewältigen (ein einzelnes 3D-Baummodell besitzt z.B. zwischen 70 000 und 150 000 Dreiecke). Die Datengrundlagen stammen im allgemeinen aus dem Grünflächenkataster oder aus Landschaftsplänen.

Konstruktion komplexer Geoinformationsräume

Die Konstruktion von komplexen Geoinformationsräumen kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen:

- **Interaktive Konstruktion.** Über die Benutzungsschnittstellen des LandXplorer-Systems können Anwender in-

teraktiv einzelne Komponenten virtueller 3D-Raummodelle zusammenfügen. Diese Konstruktionsweise richtet sich an Fachanwender, die ein gegebenes 3D-Raummodell kontinuierlich bearbeiten.

- **Skriptbasierte Konstruktion.** Die Konstruktion erfolgt auf Grundlage eines Skripts, das in einem Batch-Prozess ausgeführt wird. Virtuelle 3D-Raummodelle können so vollautomatisiert (z.B. „on demand“) erstellt werden. Diese Konstruktionsweise wird insbesondere zur Herstellung von kunden- und auftragsspezifischen Geoinformationsräumen eingesetzt.

Interaktion mit komplexen Geoinformationsräumen

Neben der Integration von Geoinformationen stellt die Interaktion des Nutzers eine zentrale Herausforderung dar. Die grundsätzlichen Probleme resultieren von den beschränkten Möglichkeiten meist zweidimensional operierender Eingabegeräte (z.B. Standard-Maus) und der zweidimensionalen bildlichen Darstellung der 3D-Szenen.

Die LandXplorer-Technologie hat hierzu neue Ansätze erprobt, die insbesondere die Teilautomatisierung der Interaktion zum Ziel hat. Zur Realisierung wird ein physikalisch basiertes 3D-Kameramodell zwischen der Verarbeitung der Nutzereingaben und der virtuellen 3D-Kamera geschaltet. Dieses Modell berücksichtigt die räumliche Situation (z.B. Kamera steigt, um einem Hindernis auszuweichen) und den aktuellen Zustand der Kamera (Richtung, Position, Beschleunigung). Somit kann das System frühzeitig Kollisionen erkennen, ungünstige Sichtsituationen vermeiden und Unstetigkeiten in der Naviga-

tion des Nutzers ausgleichen (Buchholz et al. 2005).

Weiter werden in der LandXplorer-Navigation die inhärenten Navigationseigenschaften der Objekte eines 3D-Raummodells ausgewertet, um die Navigation teilweise vom System steuern zu lassen. Markiert z.B. der Nutzer ein Hausdach, so kann das System den virtuellen Betrachter auf dem Hausdach für einen Rundumblick positionieren. Aus Nutzersicht wird damit die Eingabe von Navigationskommandos erleichtert.

Zur weiteren Strukturierung von komplexen Geoinformationsräumen stehen visuelle 3D-Lesezeichen zur Verfügung, die jeweils durch eine konkrete 3D-Sichtsituation und 3D-Position bestimmt sind. Zwischen einzelnen 3D-Lesezeichen kann das System automatisch hin- und hernavigieren. So lassen sich z.B. Filmsequenzen planen, in denen die Schlüsseleinstellungen mit 3D-Lesezeichen erfasst und die Bildfolge durch Interpolation dieser 3D-Lesezeichen berechnet wird.

Aspekte des Digitalen Rechte-Management

Der Begriff „digitale Rechte“ wird in der Informatik im Zusammenhang mit zugehörigen Managementsystemen wie folgt verstanden: „Digital Rights Management (DRM) systems restrict the use of digital files in order to protect the interests of copyright holders. DRM technologies can control file access (number of views, length of views), altering, sharing, copying, printing, and saving. These technologies may be contained within the operating system, program software, or in the actual hardware of a device.“ (EPIC, 2004).

Die LandXplorer-Technologie stellt erstmalig Techniken des DRM als Hauptkom-

ponenten eines 3D-Geovisualisierungssystems bereit (Döllner 2005). LandXplorer generiert zu einem 3D-Raummodell eine komprimierte, serialisierte Anwendung („Black-Box“), die die spezifizierte Funktionalität und DRM-Komponenten sowie die zugehörigen Geodaten vollständig enthält. Virtuelle 3D-Raummodelle mit DRM-Komponenten verhalten sich als intelligente Geodaten-Container, deren Öffnungsgrad und Funktionalität vom jeweiligen Hersteller bzw. Autor festgelegt werden. Die Weitergabe und Personalisierung von komplexen Geoinformationsräumen werden damit gezielt kontrollierbar.

Konkret lassen sich für jede einzelne Modellkomponente eines 3D-Raummodells Einschränkungen und Bedingungen für die Nutzung festlegen, die die Freiheitsgrade während der Nutzung des Objekts festlegen. Technisch beruht das DRM einerseits auf spezialisierte DRM-Komponenten (z.B. Navigation Constraints), andererseits auf Zugriffsrechten in jeder einzelnen Modellkomponente (z.B. An- und Abschaltbarkeit eines Präsentationsobjekts, die Fähigkeit, neue Objekte in ein existierendes 3D-Raummodell einfügen zu können, u.a.). Die Rechtevergabe erfolgt zudem hierarchisch, so dass für Gruppen von Objekten einheitlich Rechte vorgegeben werden können, die partiell bei den Kindobjekten überschrieben werden können.

Ein komplexer Geoinformationsraum mit minimalem Rechumfang würde ausschließlich erlauben, ein statisches Bild zu generieren. Bei maximalem Rechumfang ist der Geoinformationsraum vollständig editierbar. In der Praxis werden Einstellungen zwischen diesen Extremen gewählt:

- Ein virtuelles 3D-Raummodell bietet eine feste, vorgegebene Menge von 3D-Lesezeichen an, zwischen denen der

Nutzer wählen darf. Analog können so auch einzelne Informationslayer (z.B. unterschiedliche Geländetexturen) angegeben werden, zwischen denen der Nutzer hin- und herschalten kann.

- Ein virtuelles 3D-Raummodell stellt interaktive Analysewerkzeuge, wie z.B. Objektselektion, Höhenmessung, Abstandsmessung etc. bereit. Der Nutzer kann diese Werkzeuge uneingeschränkt aufrufen und so interaktiv die virtuelle räumliche 3D-Umgebung analysieren.
- Ein virtuelles 3D-Raummodell erlaubt die Personalisierung durch Hinzufügen von Labels zur Markierung von Objekten oder durch Hinzufügen eigener georeferenzierter Raster- und Vektordaten.
- Ein virtuelles 3D-Raummodell gestattet dem Nutzer, ausgewählte enthaltene Geoinformationen zu exportieren bzw. eigene zu importieren.

Die Aufstellung zeigt, dass durch explizite Vergabe digitaler Rechte eine präzise Kontrolle über einen (ausgelieferten) Geoinformationsraum möglich ist. Hierdurch kann insbesondere den Anforderungen von Urheberrecht und Datenschutz Rechnung getragen werden. Auch lassen sich differenzierte Geschäftsmodelle entwickeln, die bei der automatischen Konstruktion von Geoinformationsräumen je nach Geschäftsfall mehr oder weniger diese DRM-Komponenten installieren.

Anwendungen komplexer Geoinformationsräume

Das vorgestellte Konzept komplexer Geoinformationsräume erweist sich in der Praxis als flexibel nutzbar in einer Vielzahl von Anwendungstypen:

- **Exploration/Analyse von Geoinformationen.** Virtuelle 3D-Raummodelle

ermöglichen zunächst Experten, 3D-Geoinformationsbestände interaktiv zu sichten und zu analysieren, z.B. mit visuell-operierenden Werkzeugen zur Messung und zur Auswertung des Datenbestands (Döllner und Baumann 2005). 2D- und 3D-Geodaten lassen sich in vektorieller Form interaktiv editieren, wie z.B. durch Markierung von 3D-Geländeabschnitten durch flächenfolgende Polygone und zugeordneter Beschriftung.

- **Erstellung, Verteilung und Nutzung von Geoinformationen.** In diesem Anwendungstyp dienen virtuelle 3D-Raummodelle zur Kommunikation von Geoinformationen zwischen Autoren und Nutzern. Ein Autor legt für ein einzelnes 3D-Raummodell fest, welche Geoinformationen und produkt-spezifischen Daten (z.B. Baulandpreise, Mietleerstand, Lärmbelastung, etc.) aufgenommen werden. Weiter lassen sich Strukturierungs-, Interaktions- und Animationsobjekte hinzufügen. Abschließend spezifiziert der Autor DRM-Komponenten.
- **Geodatenhandel.** Ein Geodaten-Server instanziiert, assoziiert und konfiguriert ein 3D-Raummodell und liefert die eingebetteten Geodaten in Form des virtuellen 3D-Raummodells aus. Der Käufer nutzt die enthaltenen Geoinformationen mittels des mitgelieferten 3D-Visualisierungssystems („Viewer“).

Ausblick

Mehrwerte in Geoinformationen zu erschließen geschieht nicht allein durch breite Verfügbarkeit und interoperable Zugänge zu den einzelnen Beständen. Neue Konzepte für komplexe Geoinformationsräume, die Integration auf der Ebene der

Visualisierung und die interaktive Nutzung sind notwendig. Virtuelle 3D-Stadtmodelle und 3D-Landschaftsmodelle erweisen sich dabei als leistungsstarke Ansätze, die in einer Fülle von Anwendungsfeldern die Integration und Nutzung effektiv ermöglichen. Die LandXplorer-Technologie bietet auf diesem Weg ein erstes System, mit dem innovative und barrierefreie komplexe Geoinformationsräume in Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft eingesetzt werden können. Im operativen Betrieb befindet sich diese Technologie seit kurzem im Business Location Center der Berlin Partner GmbH, wo auf Grundlage eines 3D-Stadtmodells Investorenberatungsprozesse unterstützt werden.

Die Forschung an der LandXplorer-Technologie konzentriert sich in den nächsten Jahren verstärkt auf Aspekte der automatischen Prozessierung von Geoinformationen, einer erweiterten Modellbildung und neuen Formen der Visualisierung und Interaktion. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung wird dazu für die nächsten fünf Jahre eine Forschergruppe „3D-Geoinformationen“ am Hasso-Plattner-Institut an der Universität Potsdam im Rahmen des InnoProfile-Programms umfassend fördern. Nähere Informationen zur Forschung finden sich unter www.hpi.uni-potsdam.de/~doellner sowie unter www.landexplorer.net.

Literaturverzeichnis

- H. Buchholz, J. Bohnet, J. Döllner (2005): Smart Navigation Strategies for Virtual Landscapes. In: Buhmann/Paar/Bishop/Lange (Hrsg.): Trends in Real-Time Visualization and Participation, Wichmann, Heidelberg: pp. 115 - 131.

- J. Döllner, K. Baumann, O. Kersting (2003): LandExplorer – Ein System für interaktive 3D-Karten. In: Kartographische Schriften, Band 7: Visualisierung und Erschließung von Geodaten, pp. 67 - 76.
- J. Döllner, K. Baumann (2005): Geländetexturen als Mittel für die Präsentation, Exploration und Analyse komplexer räumlicher Informationen in 3D-GIS. In: A. Zipf, V. Coors (Eds.). 3D-Geoinformationssysteme, Wichmann Verlag, pp. 217 - 230.
- J. Döllner (2005): Constraints as Means of Controlling Usage of Geovirtual Environments. *Journal of Cartography and Geographic Information Science*, 32 (2): 69 - 80.
- EPIC Electronic Privacy Information Center (2004): Digital Rights Management and Privacy, <http://www.epic.org>
- J. Wood, S. Kirschenbauer, J. Döllner, A. Lopes, L. Bodum (2005): Using 3D in Visualization. In: Dykes/MacEachren/Kraak (Hrsg.): *Exploring Geovisualization*. Elsevier Amsterdam, Chapter 14, pp. 295 - 312.

