

Dienste-basierte Architekturen für die Web-basierte 3D-Geovisualisierung

Benno Schmidt
con terra GmbH, Münster

Martin May
Institut für Geoinformatik der Universität Münster

Christoph Uhlenkücken
con terra GmbH, Münster

ZUSAMMENFASSUNG

Web-basierte Geovisualisierungen werden heute zunehmend durch Dienste-basierte Architekturen realisiert. Die Einordnung der speziell für 3D-Applikationen nutzbaren Dienste in ein Referenzmodell führt zu einer Charakterisierung der Dienste und macht die im Anwendungskontext eingenommenen Rollen deutlich. Der vorliegende Beitrag zeigt, wie sich verschiedene Anwendungsfälle basierend auf dem Datenfluss-Paradigma realisieren lassen und welche Konsequenzen die Art und Weise der Verteilung der Dienste auf verschiedene Komponenten hat.

1. EINLEITUNG

Dreidimensionale Darstellungen raumbezogener Daten und Prozesse sind heute in zunehmendem Maße im Internet zu finden. Hierbei besteht eine zentrale Anforderung darin, dass sich die entstehenden Anwendungen in die vorhandenen (geo-) informationstechnischen Infrastrukturen einfügen. Auf diese Weise lassen sich bestehende Geodatenbestände und diese verarbeitende Funktionen (Prozessierungsfunktionen) nutzen und offene, interoperable Systeme aufbauen. Unter dem Aspekt einer effektiven Software-Entwicklung wird hierbei dem Aufbau Dienste-basierter Architekturen zukünftig ein hoher praktischer Stellenwert eingeräumt. Das Einsatzpotenzial derartiger Lösungen, in denen sich die benötigte Funktionalität verteilt bereitstellen lässt, zeigen z. B. ZLATANOVA & TEMPFLI (2000), SONDERSHAUS et al. (2002), SRI (2002) oder MAY et al. (2003) auf.

"Web-Services" werden heute als eine der Schlüsseltechnologien für die Weiterentwicklung des World Wide Web (WWW) angesehen. Ein Web-Service lässt sich dabei als eine Schnittstelle verstehen, die eine Menge über Standard-Internet-Protokolle nutzbarer Operationen beschreibt (vgl.

BETTAG 2001, KREGER 2001). Zu den charakteristischen Eigenschaften von Web-Services zählen u. a. die Programmierbarkeit, die Fähigkeit zur Selbstbeschreibung, Kapselung, die ortsunabhängige Aktivierbarkeit, Internet-Protokoll-Transparenz, XML-Basiertheit und die Möglichkeit der Komposition (z. B. Hintereinanderschalten mehrerer Services). Die fundamentale Bedeutung der Web-Service-Technologie ist in der Interoperabilität von Komponenten über heterogene Plattform-Grenzen hinweg zu sehen.

Während für zweidimensionale, raumbezogene Präsentationsformen ("Web-Mapping") bereits geeignete offene Standards spezifiziert sind (insbesondere seitens OGC und ISO) und darauf aufsetzend zahlreiche Web-Anwendungen realisiert wurden, sind die den 3D-Bereich fokussierenden Schnittstellen wie z. B. X3D, MPEG-7 u. a. hinsichtlich ihrer praktischen Eignung zu prüfen. Insbesondere stellt sich die Frage nach den seitens der Anwendungsentwicklung konkret benötigten Diensten. In weiten Teilen werden sich bereits spezifizierte und implementierte Dienste nutzen lassen, teilweise werden jedoch Neuentwicklungen notwendig sein. Einen konkreten Anwendungsfall diskutieren z. B. MAY et al. (2003).

Zur Beantwortung der Frage nach den benötigten Diensten sind verschiedene methodische Vorgehensweisen möglich. FUHRMANN et al. (2001) schlagen eine Analyse der Merkmale einer breiten Gruppe von 3D-Geovisualisierungsanwendungen in Verbindung mit konkreten Szenario-Betrachtungen vor. Auf diese Weise lässt sich ein allgemeines domänenspezifisches Anforderungsmodell aufbauen (siehe auch SCHMIDT 2003). Alternativ lässt sich für konkrete, abgegrenzte Anwendungsfälle untersuchen, auf welche Art und Weise sich 3D-Geovisualisierungen im Web Dienstebasiert realisieren lassen (aktuell z. B. GDI NRW 2003). Sich daran anschließende "pilothafte" Realisierungen ermöglichen Aussagen über die Einhaltbarkeit infrastruktureller Randbedingungen (OGC/ISO-Konformität) im Rahmen der Applikationsentwicklung und geben weitergehend Hinweise auf die konkret benötigten, für die 3D-Visualisierung spezifischen Dienste.

Der vorliegende Beitrag gliedert sich wie folgt. In Kapitel 2 wird zunächst die traditionell als Referenzmodell fungierende Visualisierungspipeline vorgestellt. Kapitel 3 zeigt anhand zweier konkreter Anwendungen Möglichkeiten Dienstebasierter Realisierungen. Anschließend werden architektonische Aspekte der praktischen Umsetzung diskutiert (Kapitel 4). Kapitel 5 gibt einen Ausblick auf weiterführende Arbeiten, die mit Blick auf die hier betrachteten Ziele von Relevanz sind.

2. REFERENZMODELL FÜR DEN GEOVISUALISIERUNGSPROZESS

Im Umfeld der Visualisierung sind verschiedene Arbeiten verfügbar, die den Aufbau von Referenzmodellen zur Kategorisierung der verschiedenen Dienste ermöglichen; siehe z. B. CARD et al. (1999).

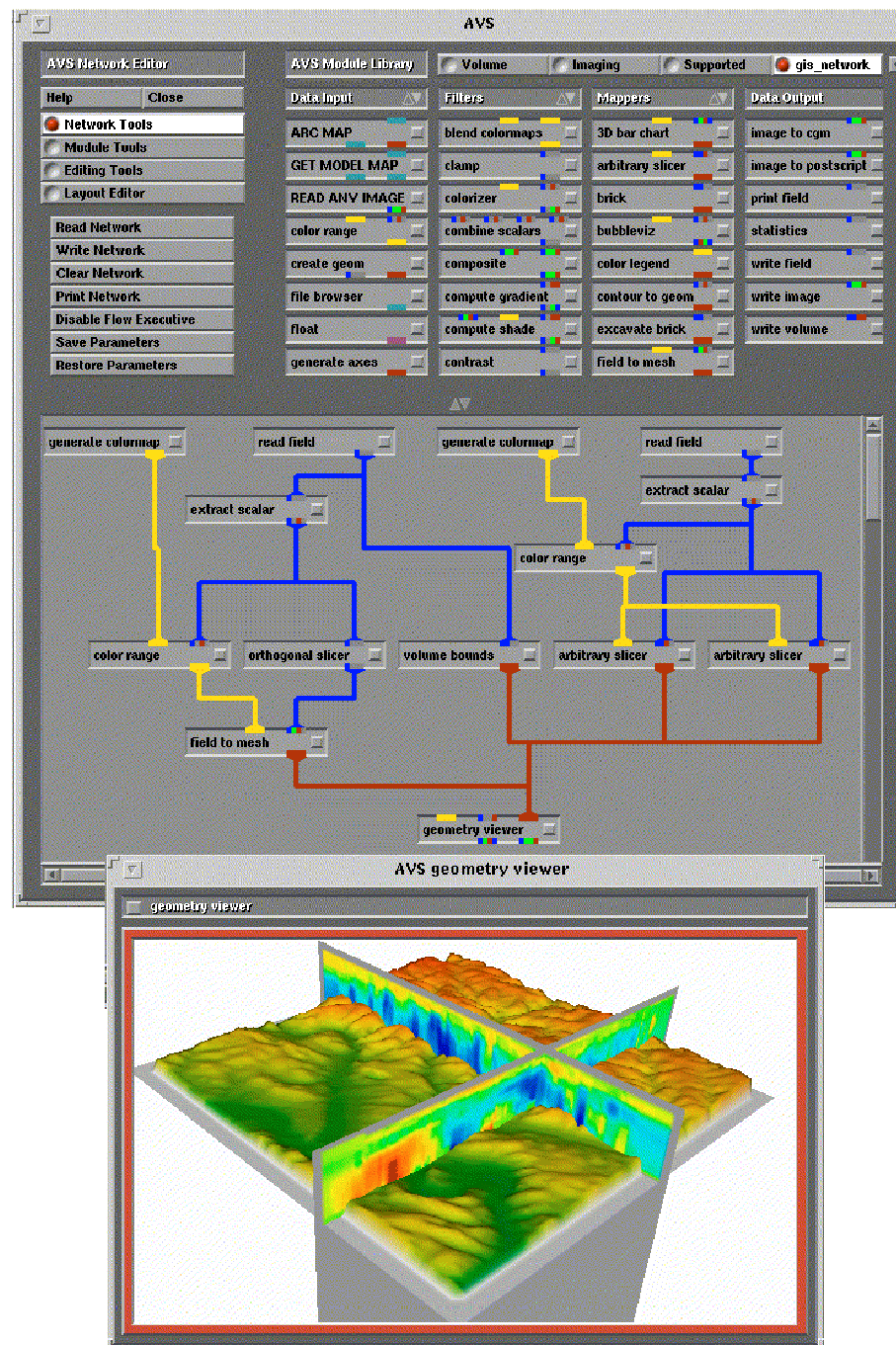


Abb. 1: Arbeitsoberfläche von AVS am Beispiel der Exploration atmosphärischer Daten

Weite Verbreitung hat insbesondere die sogenannte "Visualisierungspipeline" gefunden (WOOD et al. 1996, SCHMIDT 2003). Dieses Modell ist weitgehend konform mit dem z. Zt. im OGC-Umfeld diskutierten, geräumliche Anwendungen fokussierenden Referenzmodell des "interaktiven Portrayal" (DOYLE & CUTHBERT 1998). Im Folgenden werden die identifizierten Dienste in dieses Modell eingeordnet, wodurch die zugrunde liegenden Charakteristika und die im Gesamtkontext eingenommenen Rollen deutlich werden.

In der ursprünglich von HABER & MCNABB (1990) und UPSON et al. (1989) vorgeschlagenen Visualisierungspipeline werden konzeptuell die Prozessierungsschritte Filterung/Selektion, "Mapping" (Generierung von "Anzeigeelementen") und Rendering unterschieden. Aufbauend auf diesem Modell ließ sich in der Vergangenheit eine Vielzahl praktischer Anwendungsfälle effizient umsetzen. Prominente Beispiele sind die Softwarearchitektonisch auf dem Datenfluss-Muster beruhenden Visualisierungs-umgebungen AVS (Advanced Visual Systems), Khoros oder Iris Explorer, in der sich eine Vielzahl verschiedener Prozessierungsmoduln in Netzwerken dynamisch miteinander verknüpfen lassen (Abbildung 1). Interessanterweise halten derartige Modellierungswerkzeuge weiterhin Einzug in bestehende 2D-GIS, siehe z. B. ModelBuilder in ArcGIS oder ModelMaker in Erdas Imagine.

Hinsichtlich der Ausführung der instanziierten Module lassen sich Nebenläufigkeiten ausnutzen. Insbesondere ist dabei eine Verteilung auf verschiedene Rechner möglich. Die Möglichkeit der Realisierung von Modulen in Form von Web-Services verdeutlicht die Aktualität dieses Paradigmas (vgl. Idee der Dienste-Ketten).

Das Portrayal-Modell des OGC (Abbildung 2) entspricht im Wesentlichen dem obengenannten Referenzmodell. Die nachfolgend genannten Dienste verdeutlichen den Prozessablauf:

- Als Beispiel für innerhalb des Filterungs-/Selektionsschritts einsetzbare OGC-Dienste sind z. B. der "Web Feature Service" (WFS) und der "Web Coverage Service" (WCS) zu nennen, welche Geoobjekte liefern, die als Daten-Auswahl für die Visualisierung dienen können (OGC 2002).
- Beispiele für Dienste zur Transformation der Geoobjekte in Elemente für die visuelle Darstellung sind Funktionen, die zweidimensionale, attributierte Geometrien in 3D-Shapes (Dreiecksnetze mit visuellen Attributen, Texturen für Drapes, "Billboards" etc.) oder komplexe Szenen-graph-Teile umsetzen. Es ist zu beachten, dass die Kardinalität dieser

dynamischen (d. h. zur Systemlaufzeit änderbaren) Verknüpfung nicht notwendigerweise 1:1 ist. Zudem erfordern zahlreiche Anwendungen den Rückgriff auf die Ursprungsdaten aus der Visualisierung heraus (vgl. CARD et al. 1999, SCHMIDT 2003). Hinsichtlich der operationellen Nutzbarkeit dieser Visualisierungsdienste stellen sich hier besondere essenzielle Anforderungen.

- Rendering-Dienste übernehmen die Transformation der Visualisierungselemente (z. B. einer "display list" oder eines Szenengraphen) in ein wahrnehmbares Bild (2D-Pixelmatrix). Methodische Ansätze für den Aufbau generischer Rendering-Dienste sind z. B. bei DÖLLNER (2000) zu finden. Der seitens des OGCs diskutierte WTS ("Web Terrain Service") ist ein Beispiel für einen mehrere Schritte der Visualisierungspipeline umfassenden Dienst, in dessen Konzeption eine Integration des Rendering-Schritts vorgesehen ist.

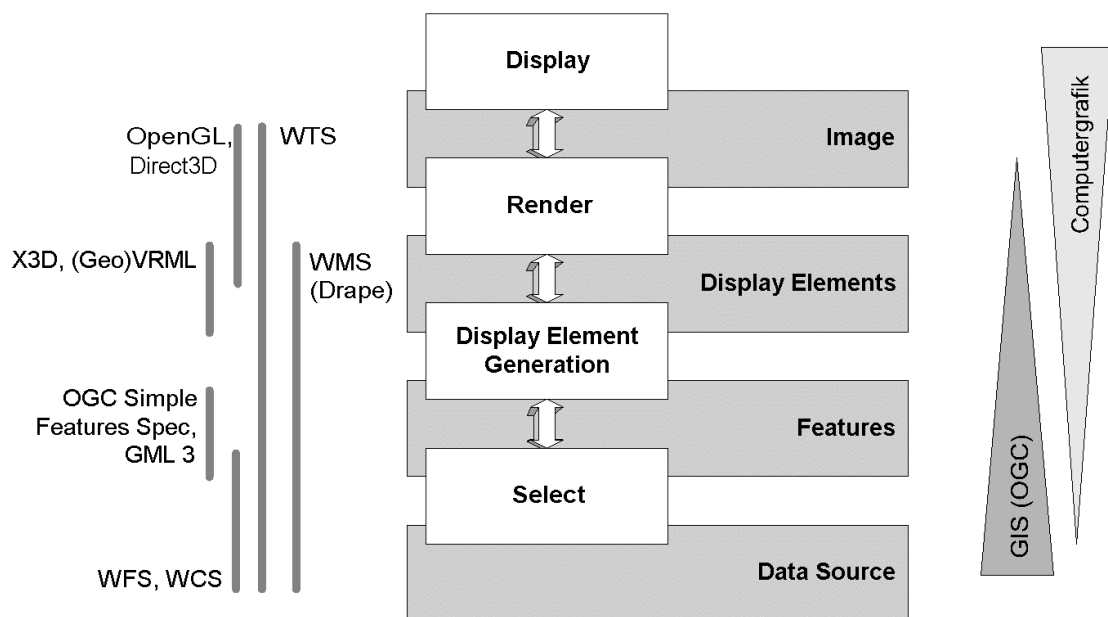


Abb. 2: OGC-Modell des Visualisierungsprozesses (leicht modifiziert) mit potenziell beteiligten Diensten und Beschreibungssprachen

Filterungs-, "Mapping-" und Rendering-Dienste lassen sich prinzipiell miteinander verketteten (UPSON et al. 1989, ISO 2001). Wesentliche Voraussetzung ist hierbei die Kompatibilität der Ein- und Ausgabeobjekte der hintereinander geschalteten, optional verteilt vorliegenden Prozesselemente. Bei der Nutzung der klassischen Datenfluss-orientierten "Application Builder" ergeben sich dabei häufig Inkompatibilitäten zwischen den

Modulen, die zu einer stark anwachsenden Zahl von "Adapter-Modulen" führen. Diese Gefahr besteht aus konzeptueller Sicht auch für Dienste-basierte Umgebungen.

Neben präzisen Dienst-Beschreibungen ist häufig eine systematische Einordnung in eine "Dienste-Sammlung" sinnvoll, welche Hinweise über Anwendungsbereich und -kontext sowie alternativ oder in Kombination nutzbare Dienste liefern kann. Das hier diskutierte Referenzmodell unterstützt die Einordnung von Diensten in die Taxonomie des OGC-Service-Modells (OGC 19119).

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass sich für 3D-Geovisualisierungen zahlreiche, teilweise sehr heterogene Dienste nutzen lassen, die sich u. a. hinsichtlich ihrer funktionalen Mächtigkeit, der verarbeiteten Objekte und der jeweiligen Operationsebene unterscheiden. Die Dienste entstammen dabei teils dem GIS-Umfeld; teils sind sie hinsichtlich ihrer Genese der Computer-Grafik zuzuordnen (siehe Abbildung 2). Für die Anwendungsentwicklung stellt sich die Herausforderung einer adäquaten Verknüpfung dieser heterogenen technologischen "Welten".

3. MÖGLICHKEITEN DER DIENSTE-BASIERTEN UMSETZUNG

Zu den in 3D-Geovisualisierungen am häufigsten verwendeten Elementen zählen Darstellungen der Erdoberfläche ("Relief"/Geländemodell), zur Einfärbung/Texturierung dieser Oberfläche verwendete planare Objekte wie z. B. Luft-/Satellitenbilder ("Image Drape") oder thematische Informationsebenen sowie verschiedenes 3D-"Inventar" (Bauwerke, Vegetation, bewegte Fahrzeuge etc.). Verlässt man den Bereich der präsentativen Visualisierung, treten zahlreiche weitere Objekte hinzu (z. B. für explorative Visualisierungstechniken benötigte Elemente oder Interaktionswerkzeuge für Entwurfsaufgaben).

Abbildung 3 zeigt, wie in ArcScene (ESRI) ein "Web Map Service" (WMS) genutzt wird, um über das Web dynamisch Texturen zur Projektion auf eine Erdoberflächen-Darstellung zu laden. Hierbei dient ArcGIS als Client-Anwendung, die Textur wird auf Anfrage des Clients Server-seitig generiert. Der WWW-basierte Zugriff wird über eine für ArcGIS verfügbare WMS-Extension (ESRI/con terra) gesteuert.

Gegenüber der konventionellen Verwendung von Texturen ergeben sich für das "Image Draping" an dieser Stelle verschiedene Vorteile. So entfällt der Aufwand zur Georeferenzierung von Texturen, da die benötigte "Map" dem räumlichen Zielausschnitt entsprechend angefordert werden kann.

Neben der räumlichen Ausdehnung lässt sich die Auflösung für den benötigten Detaillierungsgrad im Map-Request aus der Anwendung heraus setzen.

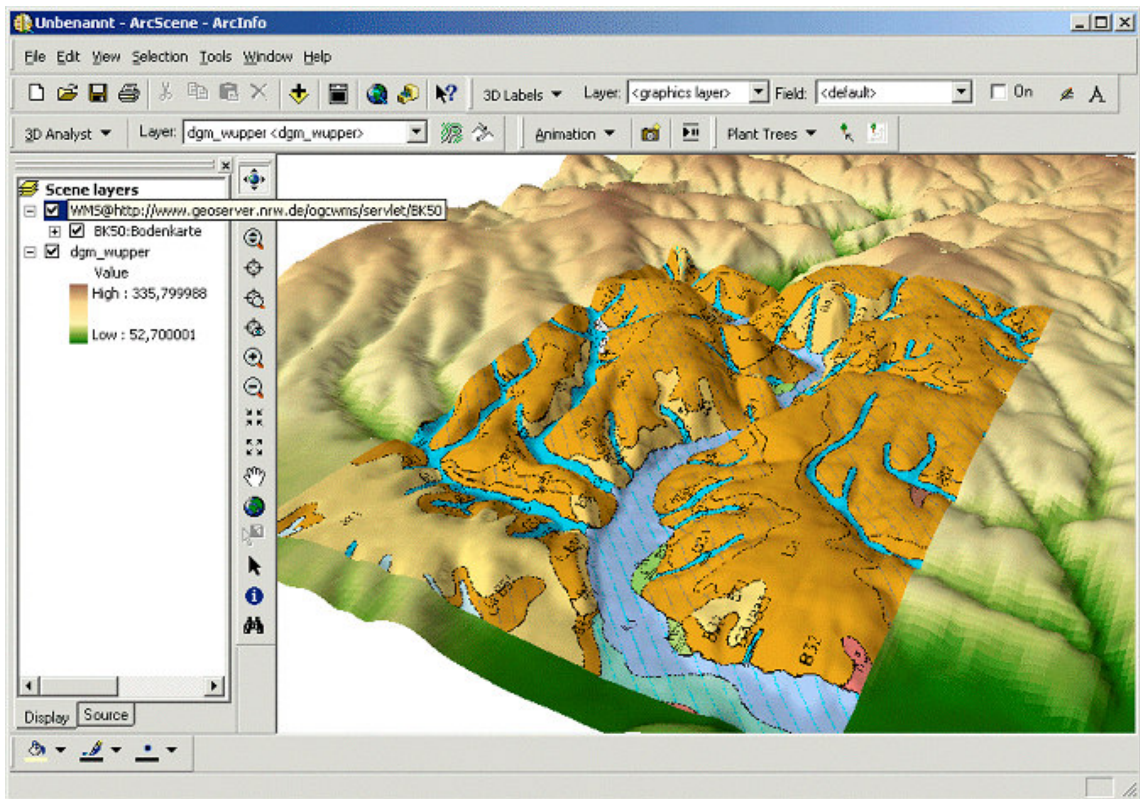


Abb. 3: "Image Draping" im ArcGIS-Client mittels Web Map Service

Weitergehend lässt sich über OGC/ISO-konforme Dienste auf Geländemodelle (z. B. über einen WCS) und Geometrien mit thematischen Attributen (WFS) zugreifen. Wie bereits dargestellt, lassen sich die gelieferten Objekte allerdings häufig nicht direkt für die Visualisierung verwenden, da die Generierung renderbarer Objekte die Zwischenschaltung geeigneter "Mapping"-Werkzeuge erfordert (z. B. die Positionierung eines Gebäudes mit Sockel auf der Erdoberfläche oder die Umsetzung einer 2D-Punkt-Geometrie mit den thematischen Attributen "Baumart" und "Wuchshöhe" in ein 3D-Baumsymbol).

Speziell für Geländemodelle steht z. Zt. eine allgemein anerkannte Spezifikation aus. Insbesondere durch die Vielzahl verfügbarer Modellierungen gestaltet sich ein einheitlicher Zugriff schwierig (vgl. WEIBEL 1997). Daneben fehlt es u. a. an Schnittstellen für 3D-Gebäudemodelle (optional mit Fassaden-Texturen).

Für Echtzeit-Anwendungen ist Client-seitig die Bereitstellung verschiedener weiterer Funktionalität notwendig. Dies betrifft insbesondere direktmanipulative Bedienungselemente z. B. für Navigationsaufgaben oder zur Objekteditierung (vgl. die seitens ISO/OGC diskutierten "geographic human interaction services"). Zu den weiteren lokal auszuführenden Operationen zählen u. a. Mechanismen für Level-of-Detail-Steuerungen.

Um nicht-Echtzeit-fähige Visualisierungen wie z. B. statische Ansichten oder vorgefertigte ("nicht-navigierbare") Animationen über das Web abzurufen, ist Client-seitig keine Rendering-Funktionalität erforderlich. Diese Idee liegt dem z. Zt. im OGC diskutierten "Web Terrain Service" (WTS) zugrunde, über welchen sich Server-seitig perspektivische Ansichten rendern und im lokal Browser anzeigen zu lassen (Abbildung 4).



<http://www...?REQUEST=GetView&SRS=EPSG:31466&POI=3407410,5756700&DISTANCE=600&PITCH=45&YAW=225&AOV=55&WIDTH=700&HEIGHT=476&FORMAT=image/jpeg&QUALITY=medium>

Abb. 4: Beispiel zur Nutzung des "Web Terrain Service" zur Erzeugung perspektivischer Ansichten

4. ARCHITEKTONISCHE ASPEKTE DER PRAKTISCHEN UMSETZUNG

Die für die Umsetzung der konkreten Anwendungsfälle benötigten Dienste können architektonisch an verschiedenen Orten angesiedelt sein. Interaktive Echtzeit-Darstellungen (Frame-Raten > 20 fps) lassen sich nur dann

realisieren, wenn das Rendering Hardware-unterstützt auf dem lokalen Rechner des Anwenders erfolgt. Im Gegensatz zu Anwendungen, in denen Darstellungen mit einem niedrigen Interaktivitätsgrad verwendet werden, lässt sich in diesem Fall das Rendering nicht durch Server-seitige Dienste realisieren. Dies führt zu einem vergleichsweise mächtigen Client ("fat client – thin server"), wohingegen sich z. B. eine WTS-basierte Applikation sehr schlank halten lässt ("thin client – fat server"); vgl. auch LADSTÄTTER (1999).

Abbildung 5 zeigt verschiedene Konstellationen, in die Verteilung der Prozessierungselemente auf die Client- bzw. Server-Seite variiert. Für den in Kapitel 3 gezeigten ArcGIS-Client erfolgt nur der Geobjekt-Zugriff (teilweise) Server-seitig. In der WTS-basierte Web-Browser-Applikation erfolgt nur die Darstellung Client-seitig. Ein Szenengraph-liefernder Dienst (vorgeschlagen z. B. in GDI NRW 2003) ist in dem Modell zwischen diesen beiden Anwendungen anzusiedeln.

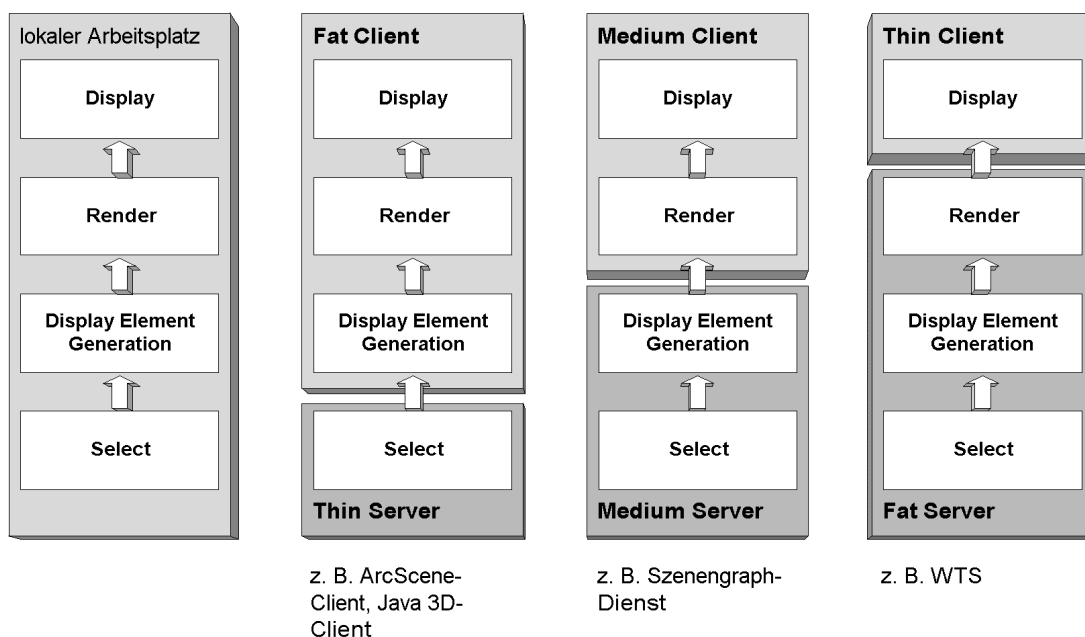


Abb. 5: Unterschiedliche Client-/Server-seitige Verteilungen von Prozessierungselementen

In der Diskussion um den Aufbau Dienste-basierter Architekturen für 3D-Geovisualisierungen wird die Bereitstellung von "Mappern" für die Transformation der Geobjekte in renderbare Elemente häufig vernachlässigt. Hierbei ist bedenken, dass nicht-konfigurierbare kartografische Zuordnungsvorschriften (Farbe, Symbolik etc.), fehlende Wahlmöglichkeiten

zwischen visuellen Umsetzungsalternativen (z. B. für unterschiedliche Abstraktionsgrade, Levels-of-Detail, Renderer oder Visualisierungstechniken) oder nicht-einstellbare Parameter (z. B. im Rahmen der explorativer Visualisierungsaufgaben) eine Architektur für konkrete Anwendungsfälle unbrauchbar machen können.

Hinsichtlich der Konzeption einer breit einsetzbaren Dienste-Infrastruktur stellt sich die Herausforderung, eine sinnvolle Partition des Visualisierungsprozesses in kombinierbare, generisch verwendbare Teilprozesse bzw. Dienste zu finden. Eine technische Randbedingung stellen dabei die in ihrer Komplexität gering zu haltenden Dienste-Schnittstellen dar (Gefahr der Schaffung von "fat interfaces" und/oder "monolithischer Dienste").

5. FAZIT UND AUSBLICK

Es zeigt sich, dass die konsequente Anwendung der Dienste-basierten Idee auch für Applikationen zur 3D-Geovisualisierung zu einer virtuellen, homogenen (Geodaten-) Infrastruktur für die "verteilungstransparente" Bereitstellung benötigter Funktionen führt.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Art und Weise des Interoperierens der beteiligten Dienste. Im vorliegenden Beitrag wurde hinsichtlich der Dienste-Kollaboration das Datenfluss-Muster fokussiert.

Überträgt man die Arbeitsweise klassischer "Application-Builder" auf die avisierten Dienste-orientierten Umgebungen, so ergeben sich daraus verschiedene Hinweise: Die benötigten Dienste müssen auffindbar sein (vgl. Diskussion um Katalog-Dienste). Zudem müssen die Dienste in geeigneter Weise kombinierbar sein.

Im vorliegenden Beitrag gilt der Verteilung der benötigten Prozessierungselemente auf Client- bzw. Server-Komponenten besonderes Augenmerk. Als Nachteil ist die häufig fehlende Zugriffsmöglichkeit auf die Eingabeobjekte der verketteten Dienste zu nennen. Die vorhandenen Schnittstellen beschränken sich oft auf die Navigation innerhalb einer 3D-Szene und auf die als Datenquellen fungierenden Geoobjekte. Die Schnittstellen zu "Mapper"-Elementen sind oft nicht oder nur in rudimentärer Form vorhanden.

Verlässt man den Bereich präsentativer Visualisierungen und untersucht die Umsetzbarkeit von Explorations- und Synthese-Aufgaben (vgl. MAC-EACHREN & KRAAK 1997), lässt sich das Auftreten weiterer Defizite prognostizieren. Mit Blick auf bestehende konventionelle 3D-Anwendungen

ist festzustellen, dass sich komplexe Interaktionsaufgaben nicht immer ohne Weiteres in die bestehenden Dienste-basierten Architekturen einfügen lassen. So stellt z. B. die Umsetzung komplexer, direkt-manipulativer Interaktionen in 3D-Szenen eine Herausforderung an bestehende Dienste-Infrastrukturen dar (SCHMIDT 2003). Als weiterer Punkt sei auf die Notwendigkeit leistungsfähiger Präprozessierungsdienste hingewiesen, die für den Aufbau vieler 3D-Visualisierungen im Geo-Umfeld notwendig sind (z. B. zur Geländemodellierung oder Generierung komplexer Shapes).

Für die Systementwicklung werden praktisch zumeist mehrere verschiedene Architekturmuster überlagert. Neben dem (auch als "Chain" oder "Pipes and Filters" bezeichneten) Datenfluss-Muster sind hierbei insbesondere das Model-View-Controller-Muster (MVC), Mediatoren und die Schichtung zu nennen (BUSCHMANN et al. 1996, PREIM 1999). Zu praktischen Problemen kann jedoch die Überlagerung mehrerer dieser Muster innerhalb eines Systems führen. Aus Software-technischer Sicht stellt sich u. a. die Frage nach für den Aufbau interoperabler, anpassbarer Anwendungen geeigneten Architekturen.

Die con terra GmbH und das Institut für Geoinformatik beschäftigen sich z. Zt. mit der Identifizierung der für den Aufbau allgemeiner 3D-Geovisualisierungen benötigten Dienste und mit der Fragestellung, wie sich diese in bestehende informationstechnische Infrastrukturen (wie z. B. ISO/OGC und GDI NRW) einfügen lassen. Eine gemeinsame Vision ist hierbei die Interoperabilität verteilt vorliegender Systemkomponenten über Plattform-Grenzen hinweg. 3D-Geovisualisierung wird hierbei nicht als isolierte Anwendungsdomäne gesehen, sondern als funktionale Komponente innerhalb komplexer Gesamtsysteme wie z. B. komplexen Analysewerkzeugen, Planungsumgebungen oder allgemeinen Informationssystemen.

LITERATUR:

Bettag, U. (2001): *Web-Services*. Informatik-Spektrum, 24: 302-304.

Buschmann, F., R. Meunier, H. Rohnert, P. Sommerlad & M. Stal (1996): *Pattern-Oriented Software Architecture*. Chichester, U.K.: Wiley.

Card, S. K., J. D. Mackinlay & B. Shneiderman, eds. (1999): *Readings in Information Visualization, chapter "Interaction"*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

- Döllner, J. (2000): *Objektorientierte kartographische Visualisierung*. In G. Buziek, D. Dransch & W.-D. Rase, Hrsg.: *Dynamische Visualisierung*, Berlin: Springer: 61-82.
- Doyle, A. & A. Cuthbert (1998): *Essential Model of Interactive Portrayal*. OpenGIS project document 98-061. <http://www.opengis.org>
- Fuhrmann, S., B. Schmidt, K. Berlin & W. Kuhn (2001): *Anforderungen an 3D-Interaktionen in geo-virtuellen Visualisierungsumgebungen*. *Kartographische Nachrichten*, 4/01: 191-195.
- GDI NRW (2003): *Pilot 3D : Call for Participation*. SIG "3D" der Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen. www.gdi-nrw.com (Mai 2003)
- Haber, R. B. & D. A. McNabb (1990): *Visualization Idioms: A Conceptual Model for Scientific Visualization Systems*. In B. Schriver, G. M. Nielson & L. J. Rosenblum: *Visualization in Scientific Computing*, IEEE Computer Society Press: 74-93.
- ISO (2001): *Geographic Information Services*. ISO TC 211/WG 4, Document no. N 1044, Oslo: Norwegian Technology Centre.
- Kreger, H. (2001): *Web Services Conceptual Architecture (WSCA 1.0)*. IBM Software Group, May 2001.
- Ladstätter, P. (1999): *GIS on the Internet: Applications, Technologies and Trends*. 6. Internationales Anwenderforum für Geoinformationssysteme, 24/25.02.99, Duisburg.
- MacEachren, A. M. & J. M. Kraak (1997): *Exploratory Cartographic Visualization: Advancing the Agenda*. *Computers & Geosciences*, 23(4): 335-343.
- May, M., B. Schmidt, U. Streit & C. Uhlenkücken (2003): *Web-Service-basierte 3D-Visualisierung im Umfeld der Raumplanung*. 8. Intern. Symp. CORP 2003 (Geo-Multimedia 03), Wien, 25.02.-01.03.2002.
- OGC (2002): *The OpenGIS Abstract Specification - Topic 12: OpenGIS Service Architectures*. <http://www.opengis.org>
- Preim, B. (1999): *Entwicklung interaktiver Systeme*. Berlin: Springer.
- Schmidt, B. (2003): *Verknüpfung der Datenmodelle für GIS und interaktive 3D-Visualisierung*. IfGIprints, Bd. 17, Münster: IfGI.
- Sondershaus, R., G. Lörcher & T. Hüttner (2002): *ArcIMS 3D Extension: Interaktive 3D-Visualisierung für den Arc Internet Map Server*. White paper. www.magic-maps.com

- SRI International (2002): *TerraVision WMS Support*. Menlo Park, CA: SRI Intern./Digital Earth. <http://tvgeo.com/wmt.shtml>
- Upton, C. et al. (1989): *The Application Visualization System: A Computational Environment for Scientific Visualization*. IEEE Computer Graphics and Applications, 9(4): 30-42.
- Weibel, R. (1997): *Digital Terrain Modelling for Environmental Applications - A Review of Techniques and Future Trends*. Proc. 3rd Joint European Conference & Exhibition on Geogr. Inform., Vienna: 464-474.
- Wood, J., K. Brodlie & H. Wright (1996): *Visualization Over the World Wide Web And Its Application to Environmental Data*. In R. Yagel & G. M. Nielson, eds.: Proc. Visualization '96, IEEE Comp. Society: 81-86.
- Zlatanova, S. & K. Tempfli (2000): *Modelling for 3D GIS: Spatial Analysis and Visualisation Through the Web*. Proceedings of the 19th ISPRS congress, 15-23 July 2000, Amsterdam, Netherl.: 1257-1264.

Anschriften der Verfasser:

Benno Schmidt, Christoph Uhlenküken, con terra GmbH, Martin-Luther-King-Weg 24, D-48155 Münster, Tel. 0251 / 7474-0. <http://www.conterra.de>
Email: schmidt@conterra.de, uhlenkueken@conterra.de

Martin May, Institut für Geoinformatik der Universität Münster, Robert-Koch-Str. 26-28, D-48149 Münster, Tel. 0251 / 83-38407. <http://ifgi.uni-muenster.de>
Email: may@ifgi.uni-muenster.de