

WEBBASIERTE VISUALISIERUNG UND OBJEKTBASIERTE ANALYSE VON 3D-GEOINFORMATION AUS LASERPUNKTWOLKEN

Kristina König, Andreas Kiefer, Bernhard Höfle

Zusammenfassung: Der zunehmende Bedeutungsgewinn detaillierter dreidimensionaler Geodaten der letzten Jahre fordert neue und schnellere Analysemethoden. Die Entwicklung von Desktoplösungen bei Geoinformationssystemen (GIS) hin zu webbasierten Lösungen wurde in den letzten Jahren durch neue Webtechnologien ermöglicht. Durch die Etablierung neuer Webstandards wie WebGL sind viele Browser nun in der Lage, in Kombination mit HTML5 und JavaScript gewisse Funktionen des Grafikprozessors nativ zu nutzen und anspruchsvolle, interaktive dreidimensionale Visualisierungen auszuführen. Die Erfassung hochauflösender 3D-Information erfolgt meist mittels Laserscanning. Für die Verwaltung, Verarbeitung und Analyse dieser großvolumigen 3D-Punktwolken müssen neue Konzepte definiert werden; gängige GIS-Programme sind für die Verwaltung und Verarbeitung solcher Datenvolumina nicht ausgelegt. Dieser Beitrag verdeutlicht das Potenzial der Analyse von 3D-Geodaten in einer GeoWeb-Infrastruktur und zeigt anhand ausgewählter Beispiele, wie mithilfe der neuen Webtechnologien die Visualisierung und objektbasierte Analyse von 3D-Vegetationsobjekten aus Laserpunktwolken im Web erfolgen kann. Den Rahmen für diese Visualisierungs- und Analysetools gibt die Geodaten- und Analysestruktur LVISA (LVISA.uni-hd.de), die von der LiDAR Research Group am Lehrstuhl für Geoinformatik der Universität Heidelberg entwickelt wird.

Schlüsselwörter: 3D-GIS, Laserscanning, LiDAR, Punktwolke, GeoWeb, WebGL

Abstract: Three-dimensional geodata is increasingly gaining in importance and demands new and faster methods to analyze the data. The development of new web technologies in recent years supports the trend from desktop applications of geographic information systems (GIS) towards web-based solutions. The establishment of new web standards like WebGL in combination with HTML5 and JavaScript enables the browser to use functions of the graphic processing unit (GPU) directly, performing sophisticated, interactive three-dimensional visualizations. The laser scanning technology has evolved into the state-of-the-art technology for highly accurate 3D data acquisition. The last decade has witnessed heavily increasing research effort on improving sensor technology, data quality enhancement and stimulating new applications of the valuable datasets. Research initiatives and the respective results are strongly fragmented into isolated applications. Spatial Data Infrastructures (SDIs) play an important role in sharing, accessing, visualizing and distributing spatial data in decentralized way connecting multiple levels of competence and authorities. However, the integration of 3D laser scanning point cloud data and processing workflows into SDIs has not been discussed in an interdisciplinary scientific context and the broader benefits have not been assessed yet. This article shows the importance of 3D geodata and the potential of analyzing the data in a broader GeoWeb context. A developed web-based infrastructure will be introduced and tools for visualization and analysis of 3D vegetation objects derived from laser scanning will be shown. The geodata and analysis framework is called LVISA and is developed by the LiDAR Research Group at the Chair of GIScience of the University of Heidelberg.

Keywords: 3D GIS, laser scanning, LiDAR, point cloud, GeoWeb, WebGL

Autoren

Dipl.-Geogr. Kristina König
Andreas Kiefer
Jun.-Prof. Dr. Bernhard Höfle
Universität Heidelberg
Geographisches Institut
Berliner Straße 48
D-69120 Heidelberg

E: k.koenig@uni-heidelberg.de
andrkief@googlemail.com
hoehle@uni-heidelberg.de

1 EINLEITUNG

Detaillierte dreidimensionale Informationen der Erde, insbesondere die Analyse und Modellierung geographischer Phänomene, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Neben der Abbildung und Charakterisierung der Erdoberfläche stehen das „3D-Objekt“ und seine Struktur im Mittelpunkt des Interesses. So spielt beispielsweise das Objekt „Vegetation“ bzw. dessen Eigenschaften eine zentrale Rolle in der Forstwirtschaft (Hyypä et al. 2012), der Bewertung von Biodiversität und Lebensräumen (García-Feced et al. 2012, Mücke & Hermann 2010), der Landwirtschaft (Lumme et al. 2008), der Produktion erneuerbarer Energien (Jochem et al. 2011) oder bei der Analyse der Biosphären-Atmosphären-Interaktion. Denn gerade durch die dreidimensionale Abbildung der Realität können Zusammenhänge und Wechselwirkungen besser analysiert und modelliert werden.

Die Ableitung von 3D-Informationen erfolgt zunehmend mittels Laserscanning (LS), welches Geodaten nicht nur hochauflösend, sondern auch kosteneffektiv für große Flächen erfassen kann (Vosselman & Maas 2010). Dabei werden die erfassten Objekte durch eine 3D-Punktwolke repräsentiert, die sowohl geometrische (Verortung im Raum) als auch radiometrische Eigenschaften (spezifische Rückstrahlcharakteristika) des Objekts umfasst (Höfle & Rutzinger 2011). Die Verwaltung, Verarbeitung und Analyse besonders großvolumiger 3D-Punktwolken stellt große Herausforderungen an klassische GIS-Desktopprogramme. So konnten bis vor einigen Jahren Punktwolken in Standard-GIS-Programmen weder verwaltet noch analysiert und visualisiert werden. Häufig sind die zugrunde liegenden Datenstrukturen, Datenmanagementkonzepte sowie Analyse- und Visualisierungsmodule nicht auf solch große Datenmengen ausgelegt (Höfle & Jochem 2012). Ebenfalls existieren meist verschiedene, voneinander isolierte Anwendungen oder Lösungen – trotz der ansteigenden Forschungsarbeiten mit Laserscanningdaten. Einige kommerzielle sowie Open-Source-GIS-Programme unterstützen seit kurzer Zeit Laserscanning-Punktwolken wie beispielsweise SAGA GIS.

In den letzten Jahren sind vermehrt serviceorientierte Architekturen (SOA) und Webapplikationen auf dem Vormarsch,

anhand derer beispielsweise GIS-Aufgaben über standardisierte Webdienste (OGC 2011) abgebildet und administrativ in Geodateninfrastrukturen (GDI) zusammengefasst werden können. Die vermehrte Anwendung von Internet-Technologien in GIS mündet in der stetigen Weiterentwicklung von WebGIS-Applikationen. Diese Weiterentwicklungen wie WebGL („Web Graphics Library“) (Khronos 2012) ermöglichen sogar die Darstellung von Punktwolken im Browser. Durch eine Auslagerung der Berechnungen auf den Grafikprozessor (GPU) der Grafikkarte kann die Prozessierungsgeschwindigkeit sogar deutlich verbessert werden (Auer 2012). Da GDI eine wichtige Rolle bei dezentraler Nutzung, Zugriff, Visualisierung und Verteilung von Geodaten spielen und Laserpunktwolken sehr wertvolle Geoinformationen beinhalten, müssen für die enormen Datenmengen neue Konzepte der Verwaltung, Prozessierung, Analyse und Visualisierung über das Web definiert werden (Höfle et al. 2011). OpenTopography (OpenTopography 2012) ist ein Beispiel einer bereits existierenden GDI, die Punktwolken sowie Tools zu deren Prozessierung umfasst.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, einen Überblick über aktuelle Entwicklungen im Bereich 3D-Punktdaten und webbasierter Visualisierung zu geben (Kapitel 2). Es werden der Bedarf und die Bedeutung von 3D-Geodaten, Signaturdatenbanken und Analysemethoden für Laserdaten erläutert (Kapitel 3) und anhand des Anwendungsbeispiels LVISA ein mögliches Realisierungskonzept aufgezeigt (Kapitel 4). Der Beitrag schließt mit einem zusammenfassenden Fazit im letzten Kapitel.

2 VISUALISIERUNG VON LASERPUNKTWOLKEN IM WEBBROWSER

Die Entwicklung der Geoinformationssysteme und der damit einhergehenden Geodatenvisualisierung in den letzten Jahren ist durch zwei Trends geprägt: Zum einen wurde durch Entwicklungen im Onlinebereich die Umstellung von Desktoplösungen hin zu Client-Server-Formen immer wichtiger (Dragicevic 2004, Neumann 2012), zum anderen wurde die Visualisierung von Geodaten durch das Aufkommen dreidimensionaler Darstellungen stark aufgewertet. Die Repräsentation von Geodaten in 3D ermöglicht es dem Nutzer, abstrakte

Sachverhalte besser und eindrücklicher verstehen zu können (Wood et al. 2005, Bleisch 2012). Die Kombination dieser beiden Trends resultiert in „WebGIS“-Systemen, welche als Frontend im Browser des Anwenders plattformunabhängige, interaktive dreidimensionale Darstellungen der Geodaten und somit leicht zugängliche, qualitativ hochwertige Applikationen ermöglichen.

Die dreidimensionale Visualisierung von Geodaten hat in den letzten Jahren einen starken Aufschwung erlebt. Die dazu benötigte Hardware wird ständig leistungsfähiger, und so ist es seit geraumer Zeit möglich, realitätsnah und in Echtzeit (Geo-) Daten dreidimensional darzustellen. Viele dieser Entwicklungen stammen ursprünglich aus der Computerspieleindustrie. Dies hat den Vorteil, dass die benötigte Hardware kostengünstig ist und es bereits einige Grafikstandards gibt (Wood et al. 2005). 3D-Anwendungen wurden über eine spezielle Sprache, die „VRML“ (Virtual Reality Modeling Language), realisiert (Ming 2008). Wie Feng et al. (2011) konstatieren, ist diese Sprache für 3D-WebGIS-Systeme aufgrund ihrer unflexiblen Natur und der schlechten Integrationsmöglichkeiten in andere Systeme nur unzureichend geeignet. Eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung von 3D-Inhalten stellt die XML-Erweiterung „X3D“ dar, die durch standardisierte Verfahren eine einfachere Implementierung ermöglicht, als dies noch bei VRML der Fall war. Der Nachteil dieser beiden Verfahren stellt jedoch die Abhängigkeit von speziellen Plug-ins dar. Es werden also Programm-erweiterungen benötigt, um dreidimensionale Inhalte im Browser darzustellen; die native Einbettung in den Browser ist nicht möglich.

Durch die Entwicklung des WebGL-Standards („Web Graphics Library“) (Khronos 2012) sind viele Browser nun in der Lage, gewisse Funktionen des Grafikprozessors nativ anzusprechen (vgl. Jung et al. 2012). In Kombination mit HTML5 und JavaScript lassen sich so bereits anspruchsvolle, interaktive dreidimensionale Visualisierungen implementieren (Lienert et al. 2012). WebGL ist ein Derivat von OpenGL. Beide werden von der Khronos Group verwaltet (Khronos 2012). Für geographische Anwendungen bietet WebGL vielversprechende Entwicklungsmöglichkeiten, beispielsweise das Rendern von Hang-

schummerungen in Echtzeit über ein DEM (vgl. Auer 2012). Ebenso können bereits Punktwolken aus LS-Datensätzen mithilfe verschiedener JavaScript-Bibliotheken visualisiert und animiert werden.

Die Hauptproblematik bei der Darstellung von Punktwolken, nicht nur im Browser, besteht aus den großen Datenmengen. Punktwolken können mitunter ein enormes Datenvolumen aufweisen, welches über eine unter Umständen unzureichend performante Internetverbindung zum User gelangen muss. Es gibt bereits Ansätze, wie solche Daten progressiv geladen werden können, ähnlich dem von Bildern. Ebenso ist es möglich, durch Streaming die Wartezeit zu verkürzen. Woo & Pierre (2012, 85) nennen hier unter anderem die Bibliotheken „XB-Pointstream“ und „Cyclone“, es existieren jedoch noch einige mehr. Neben der rein geometrischen Darstellung der Punktwolken müssen die Bibliotheken zusätzlich Methoden anbieten, mit denen zum Beispiel Farbwerte (z. B. Klassifikation eines Punkts oder RGB-Werte) für jeden einzelnen Punkt verarbeitet werden können und ferner die Navigation innerhalb der Darstellung ermöglicht wird. Ein weiterer Punkt ist die serverseitige Aufbereitung der LS-Punktwolke, bevor diese zum Client gesendet werden. Je nach Anwendung müssen die Rohdaten in einem DBMS (Datenbankmanagementsystem) gespeichert und aufbereitet werden und anschließend auf Anfrage hin in ein vom Client lesbares Format transformiert werden. Die Applikation wiederum muss intelligent genug sein, um nur die jeweils benötigten Daten vom Server anzufordern. Zur Visualisierung der LS-Punktwolken ist letztendlich ein Framework nötig, welches Datenverfügbarkeit, -prozessierung und -management beinhaltet. Lewis et al. (2012) zeigen beispielhaft, wie die Implementierung eines objekt-relationalen PostgreSQL Datenbanksystems in solch ein Framework erfolgen kann.

3 RELEVANZ EINER LASERDATEN- UND -ANALYSEINFRASTRUKTUR

Durch die neuen Entwicklungen im Bereich der 3D-Geodaten und webbasierter Visualisierung wächst der Bedarf an neuen Datenstrukturen und -konzepten. Im Folgenden werden die Bedeutung der 3D-Geodaten, der Bedarf an Signaturdatenbanken und an Analysemethoden für Laserdaten aufgezeigt.

3.1 BEDEUTUNG VON 3D-GEODATEN FÜR VEGETATIONSANALYSEN

Die Abbildung und Charakterisierung der dreidimensionalen Struktur der Vegetation gewinnt zunehmend an Bedeutung. Jedoch wird diese dreidimensionale Struktur mit gängigen Technologien und Verfahren nicht vollständig und präzise erfasst und analysiert. LS-Systeme ermöglichen diese genaue Aufnahme der Struktur auch im Millimeterbereich. Neben den geometrischen Informationen der gescannten Oberfläche in Form einer 3D-Punktwolke (XYZ-Koordinaten) erfassen LS-Systeme für jeden Punkt weitere, radiometrische Eigenschaften wie beispielsweise die Stärke des reflektierten Laserschusses (Grundlagen des Laserscanning, vgl. Shan & Toth 2008, Vosselman & Maas 2009). Mithilfe dieser geometrischen und radiometrischen Informationen können charakteristische Eigenschaften einzelner Vegetationsobjekte detektiert werden (Höfle & Hollaus 2010, Reitberger 2009). Diese Eigenschaften, wie zum Beispiel die Höhe, der Durchmesser, die Amplitude oder die Echoweite des Objekts, werden Features genannt. Jedes Objekt weist für sich eine charakteristische Kombination/Summe dieser Features auf, die wiederum als Signatur des Objekts definiert werden kann. Mithilfe dieser Signatur lassen sich Objekte (z. B. Baumarten) eindeutig voneinander unterscheiden. Wenn zusätzlich Referenzdaten/Objektparameter bekannt sind, können diese Signaturen als Referenzsignaturen verstanden werden. Diese Referenzsignaturen werden unter definierten Bedingungen aus Laserpunktwolken extrahiert und dienen der Klassifikation der Vegetation (vgl. auch Höfle & Hollaus 2010). Referenzsignaturen erlauben die Identifikation nicht klassifizierter Objekte, sei es ein Haus, die Straßenoberfläche oder sogar die Baumart. Mithilfe von LVISA soll das Verständnis vegetationsspezifischer Charakterisierung und Beobachtung mit Laserscanning gefördert und verbessert werden.

3.2 BEDEUTUNG VON SIGNATURDATENBANKEN

Neben den klassischen Fernerkundungsmethoden wie Photogrammetrie stellt Laserscanning wertvolle Informationen für die Forschung zur Verfügung. Aktuelle Forschungen im Schnittbereich zwischen Geoinfor-

matik und Fernerkundung bzw. Photogrammetrie verdeutlichen jedoch den Vorteil der direkten Nutzung der 3D-Punktwolke für 3D-GIS-Analysen, z. B. Solarpotenzialanalyse (Jochem et al. 2011, 2010) oder Vegetationskartierung (Zlinszky et al. 2012). Bei der Nutzung von Laserscanningdaten besteht häufig die Schwierigkeit in der eindeutigen Identifikation und Zuordnung der Punkte/Punktwolke zu einem bekannten Objekt. Der direkte Vergleich mit Orthophotos erleichtert zwar die Zuordnung von Punkten zu Objekten, allerdings muss dieser häufig manuell durchgeführt werden und bedarf der Ortskenntnis des Objekts. Referenzdatenbanken wie die ASTER Spectral Library (Baldrige et al. 2009) erleichtern die Identifikation von Objekten. Diese Bibliothek umfasst Spektren von Gesteinen, Mineralen, Bodenarten, künstlichen Materialien, Meteoriten, Schnee, Wasser und Vegetation des sichtbaren bis infraroten Wellenlängenbereichs (0,4 – 15,4 µm), die es Nutzern erlauben, eigene Daten einfacher zu interpretieren und zu klassifizieren. Solche Referenzdatenbanken fehlen bisher für Laserscanningdaten. Einige Autoren betonen den zunehmenden Bedarf an Signaturdatenbanken bzw. Archiven für Laserscanningdaten (Kaasalainen et al. 2006), in denen Rückstrahlcharakteristika verschiedener Objekte in den verschiedenen Wellenlängenbereichen gespeichert werden und für jeden abrufbar sind (Bretar et al. 2008). Diese Lücke versucht LVISA zu schließen. Ein zentrales Element von LVISA ist eine Geodatenbank der Signaturen, die Punktwolken und Referenzdaten von Baumobjekten sowie objektbezogene Metadaten enthält.

3.3 ANALYSEMETHODEN FÜR LASERDATEN

Mit dem Aufkommen und den stetig wachsenden Anwendungsgebieten steigen auch die entwickelten Verfahren und Methoden, um aus einer „einfachen“ Punktwolke wertvolle Informationen zu gewinnen. Genauere Informationen über die verschiedenen Anwendungsgebiete dieser Technologie finden sich z. B. in Shan & Toth (2008) und Vosselman & Maas (2009). Neben den klassischen Anwendungsgebieten der Gelände- und Oberflächenmodellberechnung mehren sich die Untersuchungen und Methoden zur Ableitung von einzelnen Objekten wie Wasserflächen, Gebäu-

den, Bruchkanten oder anderen Objekten aus der Punktwolke. Dabei existieren häufig verschiedene Herangehensweisen, semi-automatische bis automatische Algorithmen, um Objekte aus der Punktwolke zu extrahieren. Beispielsweise zur Oberflächendetektion mithilfe von morphologischen Filtern/Neigungsfiltern (Masaharu et al. 2002, Roggero 2001, Vosselman 2000), progressiven TIN-Verdichtungen (Sohn 2002, Axelsson 1999) oder mithilfe von Kantendetektion (Brovelli 2002). Dabei sind die entwickelten Algorithmen nicht selten auf ein Untersuchungsgebiet abgestimmt und nur eingeschränkt übertragbar. Entweder es muss der Algorithmus angepasst oder ein neuer entwickelt werden. Häufig fehlt auch der Zugriff auf einen passenden, bereits entwickelten Algorithmus eines anderen Entwicklers. LVISA setzt an dieser Stelle an und soll neben dem Zugang zu Referenzdaten auch den Zugang zu Methoden zur Datenanalyse ermöglichen.

4 LVISA – LIDAR INVESTIGATION AND SIGNATURE ANALYSIS SYSTEM

Um die Möglichkeiten und die Bedeutung der webbasierten Nutzung von 3D-Geodaten aus Laserscanning zu verdeutlichen, wird im Folgenden das entwickelte webbasierte System LVISA vorgestellt. LVISA steht für „LiDAR Investigation and Signature Analysis System“ und stellt eine Infrastruktur zur Exploration und Analyse von 2D- und 3D-Geodaten sowie Sachdaten am Beispiel von Vegetationssignaturen dar.

LVISA ist als Infrastruktur zu verstehen, die verschiedene Werkzeuge und Methoden zur Analyse und Visualisierung von Laserscanningdaten bereitstellt. Dies kann sowohl punktbasiert als auch objektbasiert erfolgen. Punktbasiert meint die Analyse der Punktwolke eines Objekts, beispielsweise die der Punktdichte oder der Punkt- und Featureverteilung im Raum. Bei objektbasierten Analysen werden hingegen die verschiedenen Featureausprägungen eines Objekts aggregiert. Während die punktbasierten Analysen die detaillierte Untersuchung eines Objekts z. B. im vertikalen Profil erlauben, zielen die objektbasierten Analysen auf den direkten Vergleich von verschiedenen Objekten ab. Diese ermöglichen eine erste Abschätzung der Gemeinsamkeiten bzw. der Unterschiede der verschiedenen Objekte. Mit LVISA können

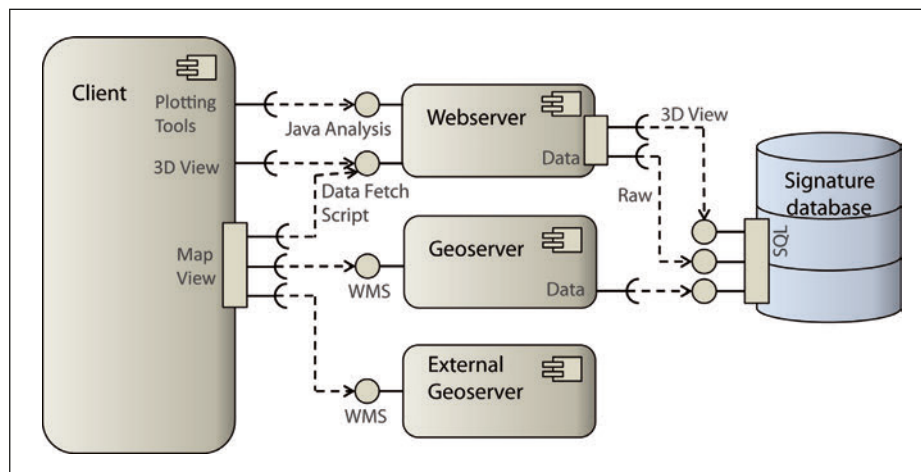


Abbildung 1: Architektur der Webmapping-Plattform LVISA (Kiefer 2012)

2D-, 3D-Daten und Attribute miteinander verknüpft werden. Die Selektion von Objekten kann sowohl über die Attributdaten (Tabelle) als auch über den räumlichen Kontext (Karte) erfolgen.

Die ersten Referenzsignaturen in LVISA umfassen Punktwolken und Referenzdaten von ca. 680 Bäumen der Stadt Wien. Die Stadt Wien (MA41 2011) verfügt über einen full-waveform ALS-Datensatz mit Punktdichten bis zu 50 Echos/m². Basierend auf diesen Daten wurden die Möglichkeiten der Visualisierung und objektbasierten Analyse von 3D-Geoinformation im Web untersucht und im Folgenden dargestellt.

4.1 SYSTEMARCHITEKTUR

Ein zentrales Element von LVISA ist eine Geodatenbank der Signaturen (kurz Signaturdatenbank), die Punktwolken und Referenzdaten von Baumobjekten sowie objektbezogene Metadaten enthält und die Verwaltung und Analyse von Referenzsignaturen ermöglicht. Neben der Ver-

waltung der Referenzsignaturen umfasst LVISA eine Webplattform, die zum einen den Zugang zu der Signaturdatenbank ermöglicht und zum anderen verschiedene Tools bereitstellt, mit denen 2D- wie 3D-Geodaten visualisiert und analysiert werden können.

LVISA verfügt serverseitig über Daten- sowie Kartenserver und stellt über einen Webserver die clientseitige Visualisierung, Exploration und Analyse der Daten zur Verfügung (Abbildung 1). Die Objekte, die dazugehörige Punktwolke, Referenzdaten und Metadaten werden in einer objektrelationalen Datenbank (PostgreSQL 9.1 mit PostGIS) abgespeichert. Der Zugriff auf die Daten sowie auf die Karten folgt den OGC-Webstandards (WMS, WFS, WPS). Der Web-GIS-Client stellt dem Nutzer die Geodaten in einer Web-Mapping-Applikation zur Verfügung und ist in der Lage, auf Nutzerinteraktion hin die entsprechenden Punktwolken vom DBMS abzufragen und direkt im Brow-

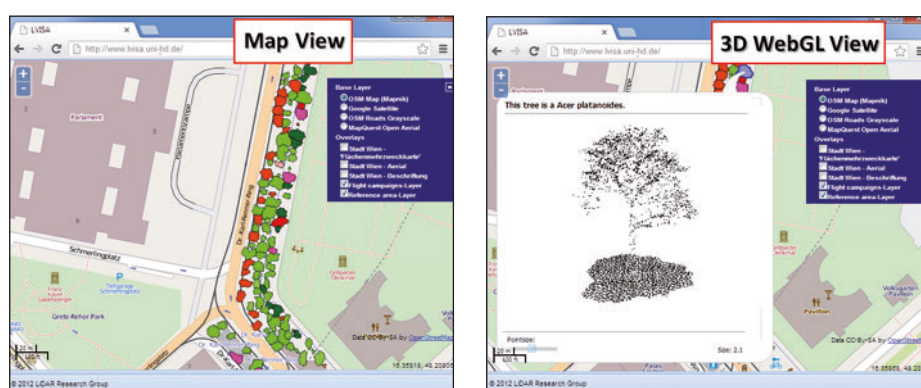


Abbildung 2: Mapview, Geographische Verortung der Objekte mit Open-Street-Basemap, eingefärbt nach der Baumart (dunkelgrün: *Acer sp.*, hellgrün: *Acer platanoides*, rot: *Tilia platyphyllos*, rosa: *Platanus acerifolia*) und 3D-WebGL-View eines Baums.

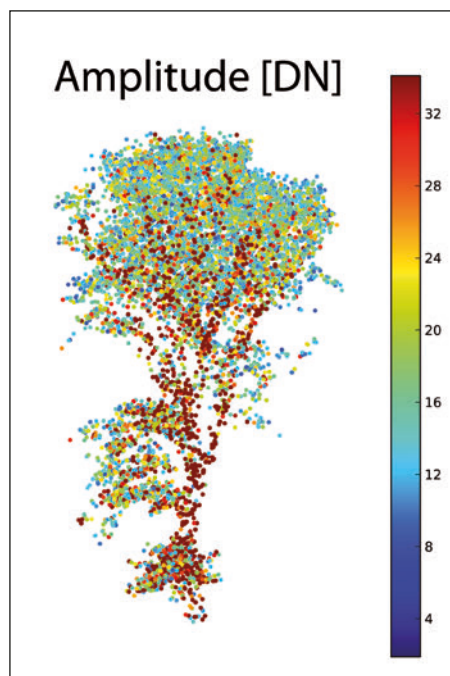


Abbildung 3: Punktwolke einer Rotbuche (*Fagus sylvatica*) im blattfreien Zustand, eingefärbt nach der Amplitude des Laserechos (König 2012)

serfenster des Nutzers zu rendern (vgl. Baumvisualisierung in Abbildung 2). Die Punktwolken werden folglich in geographischen Kontext gesetzt und können nicht nur dreidimensional betrachtet, sondern auch lokalisiert werden.

4.2 WEBBASIERTE VISUALISIERUNGS- UND ANALYSETOOLS

Die visuelle Darstellung von Daten in 2D und 3D fördert das bessere Verständnis der verschiedenen Ausprägungen und der Zusammenhänge der Daten bzw. der repräsentierten Objekte. Gerade die Kombination von numerischer/statistischer Repräsentation der Daten mit visueller Aufbereitung erlaubt bessere Rückschlüsse auf die Wechselwirkung des Laserstrahls mit dem Objekt und damit auf die charakteristischen Objekteigenschaften.

Die in Kapitel 2 vorgestellten Webtechnologien und Bibliotheken ermöglichen nicht nur die direkte Visualisierung der dreidimensionalen Punktwolke, sondern auch explorative Analysen mittels Histogrammen oder Scatterplots. Gerade am Anfang einer ersten Datenanalyse ist es wichtig, sich einen Überblick über die Daten zu verschaffen: sei es die geographische Verortung oder der Umfang und die Qualität der Daten. Die Kombination von Basiskarten (z. B. OpenStreetMap), Orthophotos und

den Referenzflächen der Objekte (also die 2D-Projektion des Objekts) zeigen neben der geographischen Verortung auch die unmittelbare Nachbarschaft des Objekts. Dieses Wissen ist beispielsweise bei der Analyse von Bäumen wichtig. Soll zum Beispiel die charakteristische Wuchsform untersucht werden, ist es von Wichtigkeit zu wissen, ob es sich um einen Stadtbau oder einen Waldbaum handelt. Ebenso ist die Analyse der direkten Nachbarschaft aufschlussreich: Befinden sich störende Objekte wie Häuser oder andere Bäume in der Umgebung oder steht das Objekt frei. Abbildung 2 (links) zeigt solch eine grafische Verortung von Bäumen im Museumsbezirk der Stadt Wien.

Abgesehen von dem Wissen über die Nachbarschaft ist die dreidimensionale Form des Baums ein wichtiges Charakteristikum. Diese geometrische Struktur, die Punktwolke des Baums, kann mittels WebGL interaktiv im Browser visualisiert und von allen Seiten betrachtet werden (vgl. Abbildung 2 rechts). Abnormale Formen sind direkt erkennbar. Interaktiv meint das Drehen des Objekts um die drei Raumachsen, die Änderung des Betrachtungsausschnitts (Zoomen) sowie Änderung der Punktgröße. Laserscanning erfasst neben den XYZ-Koordinaten auch zusätzliche Attribute pro Laserpunkt. Diese zusätzlichen Informationen können durch Einfärben der einzelnen Punkte ebenfalls visuell dargestellt werden. Unterschiede in der Verteilung der einzelnen Featureausprägungen können dadurch einfacher den verschiedenen Objektelementen zugeordnet werden. Zum Beispiel können mit Einfärben der Punkte eines Baums nach der Amplitude

des Laserechos die Unterschiede zwischen Stamm und Ästen eindeutig veranschaulicht werden (vgl. Abbildung 3).

Neben der Visualisierung der vorhandenen Daten können auch statistische Untersuchungen webbasiert durchgeführt werden. Mithilfe des JavaScript-Frameworks „Sencha Ext JS“ können beispielsweise Featureausprägungen verschiedener Objekte mittels Histogrammen, Scatterplots und Kurvendiagrammen verglichen werden. Durch diese Vergleiche können Unterschiede oder Gemeinsamkeiten identifiziert werden. Diese sind eventuell durch die ausschließliche Betrachtung der numerischen Werte nur begrenzt ersichtlich. Abbildung 4 zeigt, wie solch ein Vergleich mit Scatterplots durchgeführt werden kann. Dargestellt ist das Verhältnis der mittleren Amplituden und Echeweiten der drei Baumfamilien Aceraceae, Hippocastanaceae und Fagaceae pro Baum. Es ist schnell zu erkennen, dass mit den zwei Objektfeatures – mittlere Echobreite und Amplitude – Aceraceae und Hippocastanaceae von Fagaceae schon sehr gut getrennt werden können. Somit sollten diese Objektfeatures für eine Unterscheidung dieser Arten in Betracht gezogen werden (z. B. als Input für einen unüberwachten Klassifikator).

Klassische tabellarische Datendarstellungen, beispielsweise der Vergleich statistischer Kennwerte verschiedener Objekte wie Minimal-, Maximal- und Mittelwert oder der Standardabweichung, können ebenfalls webbasiert erfolgen. Werden diese Statistiken dann parallel mit den visuell aufbereiteten Daten verglichen, können charakteristische Merkmale direkt und einfach identifiziert werden.

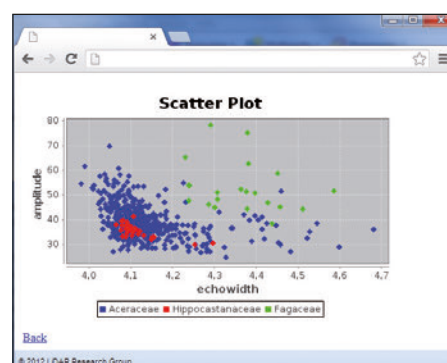
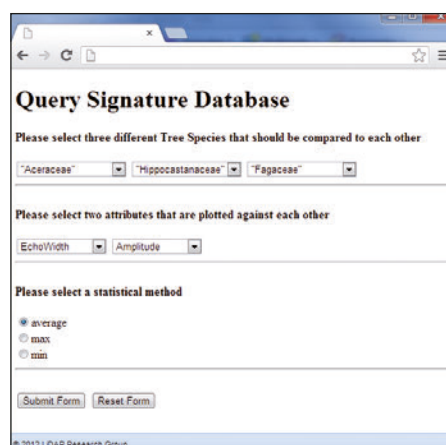


Abbildung 4: Beispiel eines Scatterplots, Vergleich der drei Baumfamilien Aceraceae, Hippocastanaceae und Fagaceae hinsichtlich der mittleren Amplituden und Echeweiten pro Baum

Zusätzlich zu diesen webbasierten Visualisierungs- und Analysetools können mittels der standardisierten Schnittstellen (WPS) erweiterte Analysen systemübergreifend, z. B. Prozesse und Funktionen der GIS, durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieser serverseitig durchgeführten Analysen können dann ebenfalls im Webbrowser dargestellt werden.

5 FAZIT

Laserscanning hat sich in den letzten Jahren zu einer etablierten Methode für die Erfassung von 3D-Geodaten entwickelt. Das hohe Datenvolumen sowie der 3D-Charakter dieser Daten stellen jedoch besondere Anforderungen an die Verwaltung, Analyse und Visualisierung von 3D-Laserpunktwolken. Die meist getrennten Repositories von Laserdaten und Prozessierungs- und Analysetools müssen besser integriert werden. Ein großes Potenzial zur Analyse von 3D-Geodaten ist in der Nutzung von GeoWeb-Infrastrukturen zu sehen, da hier die Vorteile beider Domänen ausgenutzt werden können: softwareunabhängige Analysen von 3D-Geodaten unter Verwendung

der reichhaltigen Webtechnologien bei gleichzeitigen Zugriff auf bestehende GIS-Methoden zu Punktwolkenanalysen. Das vorgestellte System zeigt beispielhaft, wie Datenmanagement, -analyse und -visualisierung in einem GeoWeb-GDI-Kontext realisiert werden können. Mit dem Aufbau einer Signaturdatenbank für Laserdaten wird der Austausch von Daten und Wissen auch interdisziplinär gefördert und der bisher teils fragmentierten und disziplinspezifischen Forschung entgegengewirkt. Geodaten- und Analyseinfrastrukturen (GDAI) – also GDI plus Analyse wie das vorgestellte LVISA – sollen es erlauben, neue Workflows aus bestehenden atomaren Tools zu erstellen und damit die „Wiederverwertbarkeit“ und den Mehrwert von Algorithmen und vor allem der kostenintensiven Ausgangsdaten zu garantieren. Der zunehmende Bedarf an Geodaten erfordert neben dem Zugang auch neue Methoden der Datenverarbeitung. Traditionelle webbasierte GIS-Applikationen bestehen meist aus Client-Server-Architekturen, bei denen die rechenintensiven Analysen serverseitig ausgeführt werden und der Webclient rein

der Visualisierung der Ergebnisse dient. Aktuelle Entwicklungen wie HTML5 und WebGL demonstrieren bereits das Potenzial von effizienteren, interaktiven WebGIS-Applikationen (Auer 2012).

Neben der reinen Visualisierung können komplette räumliche Analysen auf dem Grafikprozessor (GPU) durchgeführt werden. Das Potenzial zur Beschleunigung der Prozessierung massiver Datenvolumen mittels GPU konnte bereits in verschiedenen Studien aufgezeigt werden. So zeigten Yuan (2012) die Durchführung vektorbasierter Filteralgorithmen und Leite et al. (2009) Nachbarschaftsanalysen innerhalb von Punktwolken mithilfe der GPU. Zukünftige Forschung wird sich vermehrt mit der Einbindung von Punktwolken in GeoWeb-Infrastrukturen und der Verwendung von Grafikprozessoren für schnellere und effizientere Analysen beschäftigen.

6 DANKSAGUNG

Die Geodaten wurden von der MA41, Stadtvermessung, der Stadt Wien dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

Literatur

Auer, M. (2012): Real-Time Web GIS Analysis Using WebGL. In: International Journal of 3D Information Modeling (IJ3DIM), 1 (3), S. 49-61.

Axelsson, P. (1999): Processing of laser scanner data – algorithms and applications. In: ISPRS JPRS, 54, S. 138-147.

Baldrige, A. M.; Hook, S. J.; Grove, C. I.; Rivera, G. (2009): The ASTER spectral library

version 2.0. In: Remote Sensing of Environment, 113 (4), S. 711-715.

Bretar, F.; Chauve, A.; Mallet, C.; Jutzi, B. (2008): Managing full waveform lidar data: a challenging task for the forthcoming years. In: IAPRS, XXXVII (Part B1), S. 415-420.

Brovelli, M.; Cannata, M.; Longoni, U. (2002): Managing and processing lidar data within

GRASS. In: Proceedings of the Open Source GIS-GRASS users conference, 11-13 September, Trento, Italy.

Feng, L.; Wang, C.; Li, C.; Li, Z. (2011): A Research for 3D WebGIS based on WebGL. In: International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT), S. 348-351.

- García-Feced, C.; Tempel, D. J.; Kelly, M. (2011): LiDAR as a Tool to Characterize Wildlife Habitat: California Spotted Owl Nesting Habitat as an Example. In: *Journal of Forestry*, S. 436-443.
- Höfle, B.; Hollaus, M. (2010): Urban vegetation detection using Full-Waveform Airborne LiDAR Data. In: *Geophysical Research Abstracts*, 12 (EGU20120-2528), S. 35-40.
- Höfle, B.; Jochem, A. (2012): 3D Laser Scanning Punktwolken und GIS – Aktuelle Entwicklungen. In: *gis.SCIENCE*, 25 (2), S. 91-100.
- Höfle, B.; Pfeifer, N.; Zipf, A. (2011): Laser Scanning Spatial Data Infrastructure (LaSDI). Report EW10-085, Scientific Report of ESF Exploratory Workshop, 8-11 September, Heidelberg, S. 1-18. <http://www.geog.uni-heidelberg.de/lehrstuehle/gis/lasdi.html>, Zugriff 11/2012.
- Höfle, B.; Rutzinger, M. (2011): Topographic airborne LiDAR in geomorphology – A technological perspective. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, 55 (2), S. 1-29.
- Hyypä, J.; Hyypä, H.; Vastaranta, M.; Holopainen, M.; Kukko, A.; Kaartinen, H.; Jaakkola, A.; Vaaja, M.; Koskinen, J.; Alho, P. (2012): Advances in Forest Inventory Using Airborne Laser Scanning. In: *Remote Sensing*, 4/2012, S. 1190-1207.
- Jochem, A.; Höfle, B.; Rutzinger, M. (2011): Extraction of Vertical Walls from Mobile Laser Scanning Data for Solar Potential Assessment. In: *Remote Sensing*, 3 (4), S. 650-667.
- Jochem, A.; Wichmann, V.; Höfle, B. (2010): Large area point cloud based solar radiation modeling. In: Böhner, J.; Conrad, O.; Hengl, T.: *SAGA Third Degree. Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie*, 21.
- Jung, Y.; Drevensek, T.; Behr, J.; Wagner, S. (2012): Declarative 3D Approaches for Distributed Web-based Scientific Visualization Services. Dec3D2012 workshop at WWW2012, Lyon, France.
- Kaasalainen, S.; Kaasalainen, M.; Mielonen, T.; Suomalainen, J.; Peltoniemi, J. I.; Naranen, J. (2006): Optical properties of snow in backscatter. In: *Journal of Glaciology*, 52 (179), S. 574-584.
- Khronos (2012): WebGL – OpenGL ES 2.0 for the Web (<http://www.khronos.org/webgl>).
- Kiefer, A. (2012): Entwicklung einer Webmapping-Plattform für die Visualisierung und Analyse von 3D Geodaten: Exploration von Vegetations-signalen aus Full-waveform Laser Scanning. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Geographisches Institut, Universität Heidelberg.
- König, K. (2012): Laser Scanning for 3D Object Characterization: Exploration and Analysis of Vegetation Signature. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Heidelberg.
- Leite, P.; Teixeira, J. M.; Farias, T.; Teichrieb, V.; Kellner, J. (2009): Massively Parallel Nearest Neighbor Queries for Dynamic Point Clouds in the GPU. 21st International Symposium in Computer Architecture and High Performance Computing, S. 19-25.
- Lewis, P.; McElhinney, C. P.; McCarthy, T. (2012): LiDAR data management pipeline; from spatial database population to web-application visualization. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Computing for Geospatial Research and Applications*, ACM, S. 16:1-16:10.
- Lienert, C.; Jenny, B.; Schnabel, O.; Hurni, L. (2012): Current Trends in Vector-Based Internet Mapping: A Technical Review. In: Peterson, M. P. (Ed.): *Online Maps With APIs and WebServices*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, S. 23-36.
- Lumme, J.; Karjalainen, M.; Kaartinen, H.; Kukko, A.; Hyypä, J.; Hyypä, H.; Jaakkola, A.; Kleemola, J. (2008): Terrestrial Laser Scanning of agricultural crops. In: *Proc. XXI. ISPRS Conference, Beijing 2008*, S. 563-566.
- MA41 (2011): Stadtvermessung Wien – MA41. <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/>, Zugriff 11/2011.
- Masaharu, H.; Ohtsubo, K. (2002): A filtering method of airborne laser scanner data for complex terrain. In: *IAPRS*, 34 (3B), S. 165-169.
- Ming, W. (2008): A 3D Web GIS System Based on VRML and X3D. In: *Proceedings of the 2008 Second International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, S. 197-200.
- Mücke, W.; Hermann, A. (2010): Estimation of biodiversity relevant quantities from airborne laser scanning data. In: *Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI)*, 98 (4), S. 201-210.
- Open Geospatial Consortium: OGC Standards and Supporting Documents.
- OpenTopography (2012): NSF OpenTopography Facility. <http://www.opentopography.org>, Zugriff 11/2012.
- PostGIS 1.5 (2012): <http://www.postgis.org>, Zugriff 11/2012.
- PostgreSQL 9.1 (2012): <http://www.postgresql.org>, Zugriff 11/2012.
- Reitberger, J.; Schnörr, C.; Krzystek, P.; Stilla, U. (2009): 3D segmentation of single trees exploiting full waveform LiDAR data. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, S. 561-574.
- Roggero, M. (2001): Airborne laser scanning: Clustering in raw data. In: *IAPRS*, 34 (3W/4), S. 227-232.
- Sencha Ext JS (2012): JavaScript Framework for Rich Apps in Every Browser. <http://www.sencha.com/products/extjs>, Zugriff 11/2012.
- Shan, J.; Toth, C. (Eds.) (2008): *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. Taylor & Francis, London.
- Sohn, G.; Dowman, I. (2002): Terrain surface reconstruction by the use of tetrahedron model with the mdl criterion. In: *Proceedings of the Photogrammetric Computer Vision, ISPRS Commission III, Symposium 2002 September 9-13*, 34 (3A), S. 336-344.
- Vosselman, G. (2000): Slope based filtering of laser altimetry data. In: *IAPRS, WG III/3, Amsterdam, The Netherlands*, 33 (B3), S. 935-942.
- Vosselman, G.; Maas, H. G. (2010): *Airborne and terrestrial laser scanning*. Whittles Publishing, Dunbeath, Caithness, Scotland.
- Wood, J.; Kirschenbauer, S.; Döllner, J.; Lopes, A.; Bodum, L. (2005): *Using 3D in Visualization*. In: Dykes, J.; MacEachren, A. M.; Kraak, M.-J. (Eds.): *Exploring Geovisualization*. Elsevier, Amsterdam, S. 295-312.
- Yuan, C. (2012): High Performance computing for massive LiDAR data processing with optimized GPU parallel programming. Masterthesis at the University of Texas.
- Zlinszky, A.; Mücke, W.; Lehner, H.; Briese, C.; Pfeifer, N. (2012): Categorizing Wetland Vegetation by Airborne Laser Scanning on Lake Balaton and Kis-Balaton, Hungary. In: *Remote Sensing*, 4 (6), S. 1617-1650.