



## Digitale Geländemodelle im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten

Christian Briese <sup>1</sup>, Peter Belada <sup>2</sup>, Norbert Pfeifer <sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

<sup>2</sup> *Magistratsabteilung 41, Muthgasse 62 / 3. und 4. Stock, A-1190 Wien*

<sup>3</sup> *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

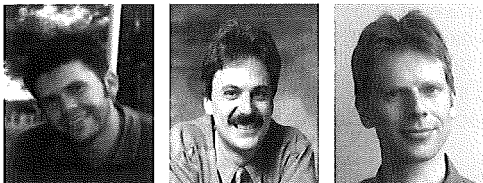
VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **89** (2), S. 83–91

2001

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Briese_VGI_200107,  
Title = {Digitale Gel{\a}ndemodelle im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten},  
Author = {Briese, Christian and Belada, Peter and Pfeifer, Norbert},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
    Geoinformation},  
Pages = {83--91},  
Number = {2},  
Year = {2001},  
Volume = {89}  
}
```





# Digitale Geländemodelle im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten

Christian Briese, Peter Belada und Norbert Pfeifer,  
Wien

## Kurzfassung

Laser-Scanning ist eine Aufnahmetechnik zur Erfassung topographischer Daten und ist für viele Anwendungsbereiche interessant. In diesem Artikel wird neben einer kurzen Beschreibung der Aufnahmetechnik (mit dem Schwerpunkt Distanzmessung) auf die Filterung und Klassifizierung von Laser-Scanner-Daten zur Erstellung eines digitalen Geländemodells (DGMs) im Stadtgebiet eingegangen. Die hierfür entwickelte Methode – die hierarchische iterative robuste lineare Prädiktion – wird vorgestellt. Dieser vom Groben ins Feine arbeitende Algorithmus bewirkt neben einer Verringerung der Rechenzeit eine Stärkung in der Robustheit der Auswertung. Anhand eines Projekts im Stadtgebiet von Wien (3. Bezirk) wird auf die Genauigkeit des mit dieser Methode berechneten DGMs eingegangen. Den Abschluss bildet ein kurzer Ausblick auf zukünftige Anwendungsmöglichkeiten von Laser-Scanner-Daten.

## Abstract

Laser scanning is a widely used technique for obtaining topographic information for a lot of interesting applications ([5], [8], [17]). Following the introduction, we will describe in this article the measurement system in section 2. The emphasis is laid on the distance measurement of this data acquisition method. Next, the data of a small laser scanning project in the 3rd district of Vienna are presented. Using the data of this project, the filtering and classification of laser scanner data for the determination of a digital terrain model (DTM) with iterative robust linear prediction [7] in a hierarchical fashion [12] are explained (section 4). This coarse-to-fine approach makes the method more robust and decreases computation time. The final DTM describes the ground, trees, cars, houses and other urban objects are eliminated. The results for the test data set are shown, an accuracy analysis is included. Finally, a short outlook treats future applications of laser scanning.

## 1. Einleitung

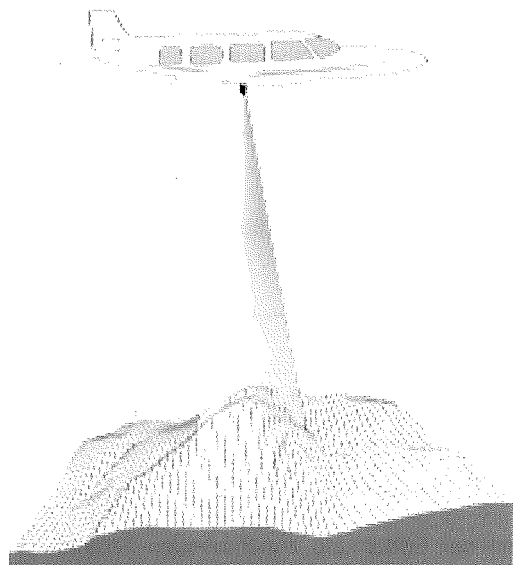


Abb. 1: Prinzip des Laser-Scanning

Laser-Scanning (Abb. 1) ist eine Messmethode zur Bestimmung von dreidimensionalen Punkten auf einer Oberfläche. Die Definition der Punkte

erfolgt über eine getaktete Verspeicherung der Messwerte eines aktiven Multisensorsystems. Die flächenmäßige Erfassung wird durch die Bewegung der Sensorplattform entlang eines Flugweges erreicht.

Diese Aufnahmemethode zur Erfassung topographischer Daten hat sich zur Berechnung hochgenauer digitaler Geländemodelle (DGM) vor allem in bewaldeten Gebieten in der Praxis etabliert [6], [11]. In jüngster Zeit erweiterte sich das Anwendungsspektrum des Einsatzes von Laserscannern erheblich (z.B. Vegetationshöhenbestimmung [8], Hochwasserschutz [3] und Vermessung von Hochspannungsleitungen [1], [9]).

Das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (I.P.F.) hat sich bereits in den letzten Jahren intensiv mit der Aufnahmemethode und der Auswertung von Laser-Scanner-Daten vor allem in bewaldeten Gebieten befasst.

Anhand einer von der Wiener Magistratsabteilung 41 (MA 41, Stadtvermessung) in Auftrag gegebenen Testbefliegung im Stadtgebiet von Wien (3. Bezirk) wurden im Rahmen einer am I.P.F. durchgeführten Diplomarbeit [4] die Einsatzmöglichkeiten von Laser-Scannern im dicht

verbauten Gebiet untersucht. Im Folgenden werden einige Ergebnisse dieser Arbeit vorgestellt, wobei der Schwerpunkt neben einer genaueren Betrachtung der Distanzmesseinrichtung auf eine hierarchisch arbeitende Methode zur Erstellung eines DGMs im Stadtgebiet gelegt wird.

## 2. Prinzip des Laser-Scannings

Die mehr oder weniger zufällig angeordneten Punkte auf der sequentiell vom Laser beleuchteten Oberfläche werden durch die synchronisierten Beobachtungen eines Multisensorsystems bestimmt.

Aufgrund der Beobachtungen kann Laser-Scanning als Polarmethode angesehen werden. Allerdings verändert sich der Standpunkt und die Orientierung des Sensorkoordinatensystems entlang eines Flugpfades kontinuierlich in Bezug auf ein erdfestes Koordinatensystem. Zur Punktbestimmung ist daher einerseits die Bestimmung der Messgrößen im Sensorkoordinatensystem (Distanz und Richtung) nötig, andererseits muss ein synchronisiertes Beobachten der Parameter (Standpunkt und Orientierung des Sensorkoordinatensystems) für die zeitlich veränderliche räumliche 7-Parameter-Ähnlichkeitstransformation erfolgen um die Verknüpfung mit einem erdfesten Koordinatensystem zu ermöglichen.

Die sich mit der Zeit ändernde Position und Orientierung des Sensorkoordinatensystems wird mittels eines „Position-and-Orientation-Systems“ (POS) erfasst [17]. Das POS besteht in der Regel aus einem „Global Positioning System“ (GPS) und einer „Inertial Measurement Unit“ (IMU). Mit einem Laserstrahl wird die Di-

zeilenweise abgetastet. Es gibt aber auch andere Ablenkungseinrichtungen, die andere Abtastmuster hervorrufen. Der jeweiligen Entfernung wird die Orientierung des Laserstrahles in Bezug zum Sensorkoordinatensystem zugeordnet.

### Distanzmessung

Die Distanzmessung wird von einem aktiven Lasersensorsystem durchgeführt. Dieses System sendet einen Laserstrahl aus und beleuchtet somit die Oberfläche. Dort wird der Laserstrahl in der Folge je nach Oberflächenbeschaffenheit teilweise reflektiert und teilweise absorbiert, und der Receiver empfängt letztendlich ein zeitversetztes Echo (rückgestrahlter Teil des ausgesendeten Laserstrahles).

Für die Distanzmessung wird vorwiegend die Laserimpulsmessung eingesetzt. Die Methode der Phasendifferenzmessung spielt im Moment eine untergeordnetere Rolle. Daher wird in den folgenden Absätzen vor allem auf die Methode der Laserimpulsmessung eingegangen. Als tatsächliche Messwerte fallen zunächst bei beiden Methoden Zeitdifferenzen an, die mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  in Entfernungen umgerechnet werden können.

### Distanzmessung mittels eines Laserimpulses und seines Echos

In der Praxis treten keine „idealen“ Rechtecks-Laserimpulse und Echos auf (Abb. 2). Ein Laserimpuls muss als Lichtpaket angesehen werden, das durch Divergenz, Pulslänge bzw. Pulsdauer und Intensität (=Amplitude) gekennzeichnet ist. Die Divergenz ( $\sim 0.3$  bis  $2$  mrad [17]) bedingt einen

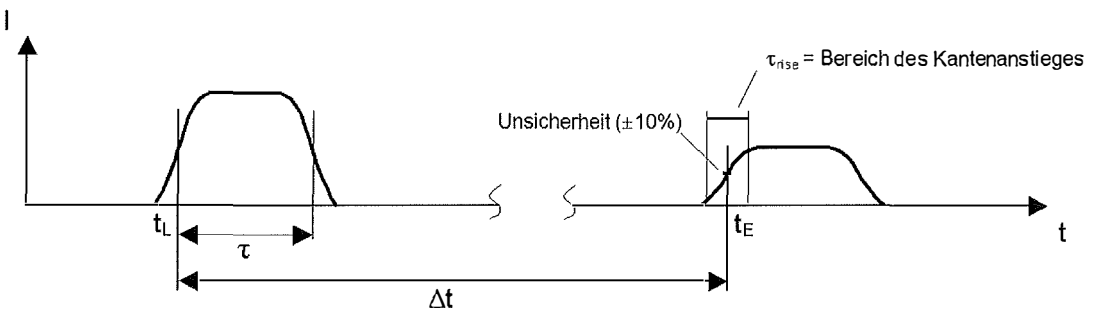


Abb. 2: Laserimpulse

stanz zwischen dem Lasersensor und den beleuchteten, reflektorlosen Punkten auf der Erdoberfläche ermittelt. Der Laserstrahl wird durch eine Ablenkungseinrichtung (z.B. ein schwingender oder rotierender Spiegel) quer zur Flugrichtung ausgelenkt. Dadurch wird die Oberfläche

mit der Entfernung zunehmenden Strahldurchmesser, während die Dauer des Impulses  $\tau$  (ein typischer Wert für die Pulsdauer ist z.B.  $\tau = 5$  ns, was einer Pulslänge von  $1.5$  m entspricht) Referenzzeitpunkte  $t_L$  bzw.  $t_E$  (aufsteigende Intensitätsflanken) für die Laufzeitmessung ( $\Delta t$ ) bedingt.

Das im Lasersensor empfangene Echo ist wegen atmosphärischer Einflüsse und der Reflexionseigenschaft der Oberfläche im Vergleich zum Ausgangssignal verändert. Aufgrund dieser Einflüsse muss das im Lasersensor empfangene Signal verstärkt werden.

### Ein Laserimpuls – mehrfache Echos

Ein einziger vom Lasersensor ausgesandter Laserimpuls kann mehrere Echos hervorrufen. Diese Mehrfachreflexion kann auftreten, wenn reflektierende Objekte in unterschiedlichen Distanzen  $d_{O_1}$  (entlang des Laserstrahl) vorhanden sind und die Divergenz des Laserstrahles ausreichend diese Objekte teilweise zu beleuchten. Im Receiver treten dann mehrere, zeitlich kurz versetzte Echos auf (Abb. 3, links) oder es überlagern sich mehrere Echos zu einem detektierten Echo (Abb. 3, rechts).

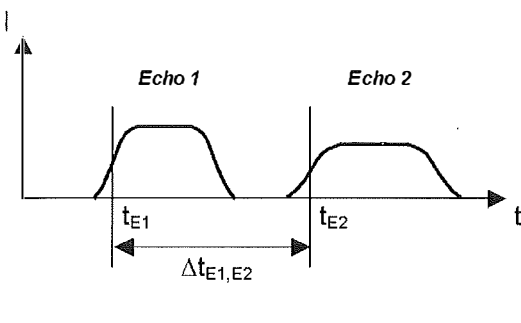


Abb. 3: Mehrfachreflexionen

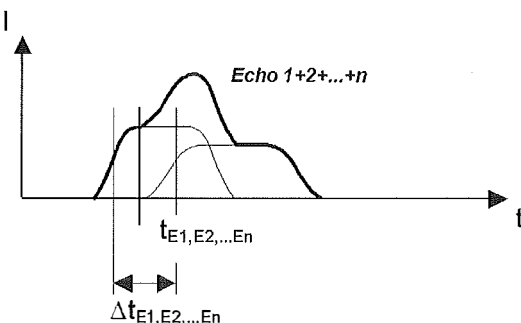
Eine Trennung zweier Echos ist nur dann möglich, wenn ihr zeitlicher Abstand  $\Delta t_{E1,E2}$  größer als die Pulslänge  $\tau_{E1}$  ist. Die Distanz  $\Delta d_{O1,O2}$  zwischen den beleuchteten Oberflächen  $O_1$  und  $O_2$ , die vom Laserstrahl zweimal zurückgelegt werden muss, darf demnach nicht geringer sein als die halbe Pulslänge  $\tau_{E1}$ . Außerdem benötigt die Elektronik bis zur Detektierung des nächsten Echos eine bestimmte Zeit (recovery time). Für eine realistische Pulsdauer von 5ns liegt somit die minimale Distanz, die zwischen zwei Objekten liegen muss um die Echos getrennt detektieren zu können, im Bereich von über 1.5m. Im Fall der Überlagerung der Einzel-Echos ist die gemessene Strecke keinem konkreten Teil-Echo bestimmter Reflexionsflächen zuordenbar, da es aus der Sichtweise des Detektors nur ein zu detektierendes Echo gibt.

### Beleuchtung natürlicher Oberflächen

Die Problematik der Mehrfachreflexionen soll nun anhand der Beleuchtung einer Horizontal-

ebene mit Bewuchs unterschiedlicher Vegetationsarten und -höhen (Abb. 4) demonstriert werden. Im ersten Fall wird die Horizontalebene senkrecht beleuchtet. Die ansteigende Flanke  $\tau_{rise}$  des reflektierten Echos bleibt unbeeinflusst. Mit der gemessenen Laufzeit  $\Delta t$  kann die Entfernung zwischen Lasersensor und der Horizontalebene bestimmt werden.

Das zweite Lichtpaket beleuchtet zunächst die niedrige Vegetation V1 und trifft erst dann, falls es die Vegetationsdichte zulässt, auf den Boden. Es entstehen zeitlich versetzte Mehrfachreflexionen (multiple Echos). Da die Differenz zwischen Vegetationsecho und Bodenecho kleiner als die Pulslänge ist, detektiert der Lasersensor ein Echo, das sich durch Überlagerung mehrerer Teilechos im Detektor zusammensetzt (rechter Teil der Abb. 3). Die Position der aufsteigenden Kante ist keinem konkreten Teilecho zuzuordnen und bezieht sich auf eine fiktive Reflektoroberfläche.



Beim dritten Laserstrahl erfolgt die erste Reflexion in der Baumkrone. Es entstehen aufgrund der späteren Bodenreflexion ebenfalls mehrfache Echos. Im Gegensatz zum vorherigen Beispiel ist der Abstand der beiden Reflexionsflächen deutlich größer und es kommt somit zu keiner Überlagerung der Teil-Echos im Detektor (Abb. 3, links). Je nach Interessenslage kann das erste und/oder letzte Echo zur Punktbestimmung herangezogen werden. Man spricht dabei von „first pulse“ und „last pulse“ Messungen.

Das vierte Beispiel stellt eine Kombination des zweiten und dritten Falles dar und soll zeigen, wie vielschichtig der vom Lichtpaket zurückgelegte Weg sein kann.

### Genauigkeit des Gesamtsystems

Die Genauigkeit des Gesamtsystems setzt sich aus der Genauigkeit der Positionsbestimmung mit GPS, der Orientierung mit Hilfe der IMU, der Distanzmessung, der Richtungs-

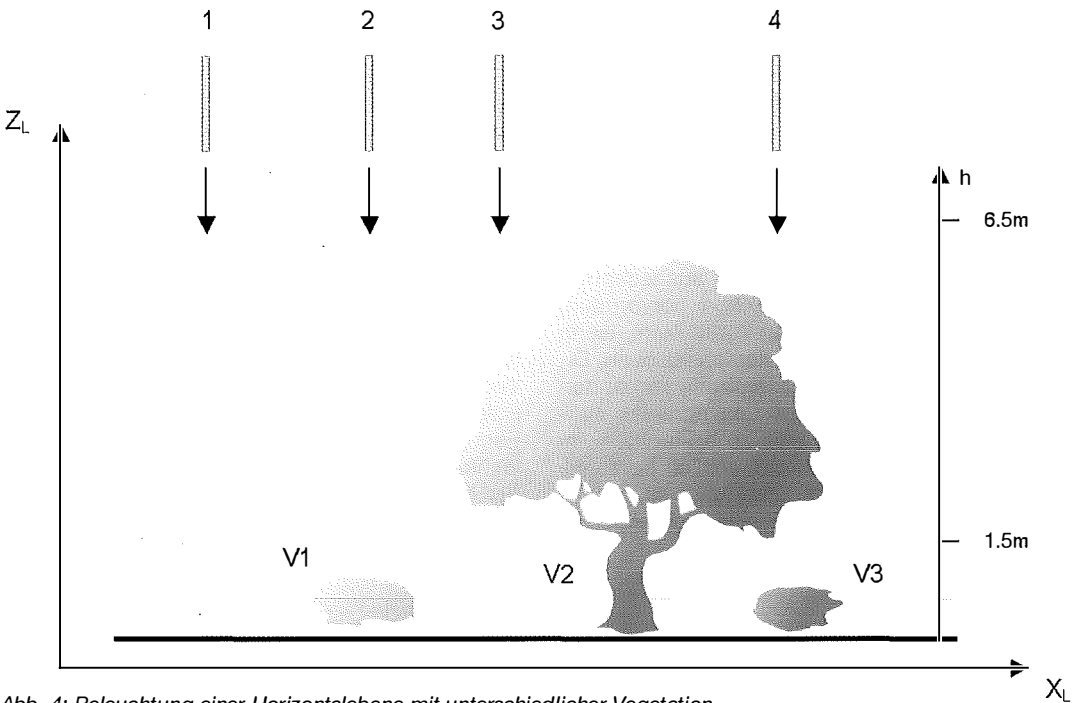


Abb. 4: Beleuchtung einer Horizontalebene mit unterschiedlicher Vegetation

sung, der Synchronisation der Messwerte und der Kalibrierung zusammen. Empirische Genauigkeitsuntersuchungen haben in bewaldeten Gebieten einen mittleren Fehler (root mean square error, RMS) von  $\sim(0.2\text{m}$  als Genauigkeitsmaß für ein DGM aus Laser-Scanner-Daten ergeben [8]. Mit zunehmender Geländeneigung verschlechtert sich die Genauigkeit.

### 3. Daten- und Projektbeschreibung

Als Testgebiet wurde in Wien ein  $2.5 \times 1.0 \text{ km}^2$  großes Gebiet im 3. Bezirk von Wien gewählt.

Der bei dieser Befliegung eingesetzte Laser-Scanner TopoSys I [15] arbeitet nach dem Prinzip der Laserimpulsmessung und führt pro Sekunde 83000 Distanzmessungen durch. Die Scanfrequenz (Anzahl der gemessenen Laserzeilen pro Sekunde) beträgt bei diesem System mit einem Scanwinkel von  $\pm 7^\circ$  630Hz. Als Genauigkeit für die Distanzmessung wird seitens der Fa. TopoSys ein Wert  $< 0.2\text{m}$  angegeben. Die Auflösung der Distanzmessung beträgt 0.06m.

Die mittlere geplante Flughöhe betrug 500m, wodurch 19 Flugstreifen benötigt wurden um das Gebiet zu erfassen. Aufgrund der Flug- und Systemparameter ergeben sich folgende charakteristische Werte für das Projekt im Stadtgebiet:

Streifenbreite:	123m
Anzahl der Punkte pro Scan:	127
Punktabstand in Flugrichtung:	0.10m
Punktabstand quer zur Flugrichtung:	0.97m
Ø Beleuchtete Fläche (Laser Footprint):	0.25m

Für die Transformation ins Landeskoordinatensystem verwendete die Fa. TopoSys Standardparameter und eine GPS-Referenzstation auf der Gloriette (Schloß Schönbrunn, Wien). Mit Hilfe von der Stadt Wien bereitgestellter Referenzdaten (z.B. Gebäudeumrissen) wurde die Transformation der Laser-Scanner-Daten überprüft [14].

Zur Auswertung der Laser-Scanner-Messungen standen einerseits die „Rohdaten“, d.h. die gemessene Punktwolke im Landeskoordinatensystem und andererseits ein aus den Rohdaten abgeleitetes Oberflächenmodell, das durch ein quadratisches 0.5m-Raster (sehr geringer Speicherbedarf im Vergleich zu den Rohdaten) repräsentiert wird, zur Verfügung (Abb. 5). Die Löcher im Datensatz ergaben sich durch Signalstörungen der DGPS gestützten Navigation [14].

Die Verfahren zur Rasterung der Originaldaten laufen anwendungsorientiert ab. Je nach Anwendung wird entweder versucht den Einfluss der Nicht-Bodenpunkte durch Höhergewichtung der niedrigeren Punkte zu reduzieren, oder aber es werden die Nicht-Bodenpunkte (Gebäuden, Dämme, etc.) hervorgehoben.

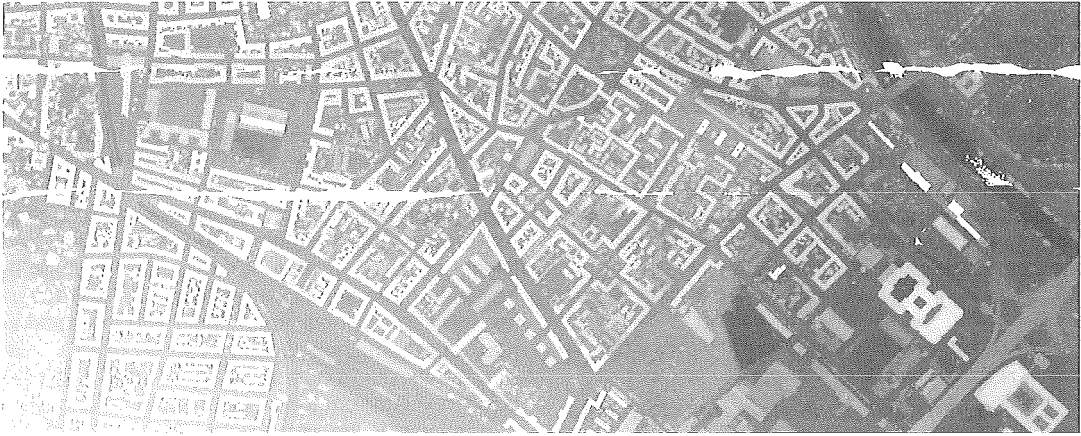


Abb. 5: Laser-Scanner-Messungen – Rohdaten

Für das Projektgebiet in der Stadt Wien wurden seitens der Fa. TopoSys vor allem tief liegende Punkte hoch gewichtet, was einerseits eine Reduzierung der Vegetation bedingt, aber andererseits ein Verkleinern der Dimension anderer Objekte (Häuser, . . .) hervorruft.

#### 4. Erstellung eines DGMs aus Laser-Scanner-Daten in bebauten Gebieten

Das Echo eines Laserstrahls, das im Detektor empfangen wird, stammt von den unterschiedlichsten reflektierenden Oberflächen. Für die Er-

stellung eines DGMs ist es daher notwendig die Nicht-Bodenpunkte zu eliminieren oder ihren Einfluss auf die Modellbildung möglichst zu reduzieren. Die großen Datenmengen machen eine mehr oder weniger automatisch arbeitende Auswertung notwendig.

Den Ausgangspunkt zur Erstellung des DGMs im Stadtgebiet bilden die 0.5m-Rasterdaten der Fa. TopoSys, die in der Abb. 6 perspektivisch dargestellt sind. Im rechten Teil der Abbildung ist dichte Vegetation im Botanischen Garten der Universität Wien sichtbar. Im linken Teil des Bildes ist die Oberfläche einer Straße (Jacquin-



Abb. 6: perspektive Darstellung der reflektierenden Oberflächen

gasse, inklusive parkender Autos) und eines Häuserblockes dargestellt.

Im Rahmen der ersten Projekte wurde am I.P.F. ein Algorithmus zur Berechnung eines DGMs aus Laser-Scanner-Daten entwickelt [7], [10]. Dieser im Programmpaket SCOP [13] implementierte Algorithmus und die für die Erstellung eines DGMs im Stadtgebiet notwendigen Erweiterungen (hierarchischer Ansatz) sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

#### *Algorithmus zur Filterung und Klassifizierung von Laser-Scanner-Daten*

Der Algorithmus – die *iterative robuste Interpolation mit schiefer Fehlverteilung* – beruht auf einer statistischen Analyse der Verbesserungen der gemessenen Laserpunkte in Bezug auf eine Fläche, die alle Punkte approximiert. Je nach Größe und Vorzeichen der Verbesserung bekommt der Punkt für die nächste Interpolation ein neues Gewicht. Durch eine geeignete Wahl der Gewichtsfunktion (stochastisches Modell), die einerseits Bodenpunkten, also Punkten, die in Bezug zur Referenzfläche tief liegen, ein hohes Gewicht (nahe bei 1) und Nicht-Bodenpunkten, das sind jene Punkte, die über der Referenzoberfläche liegen, ein geringes Gewicht (nahe bei 0) zuordnet, gelingt es schrittweise ein DGM aus Laser-Scanner-Daten abzuleiten. Das funktionale Modell (in diesem Fall die lineare Prädiktion) ist „nur“ für die Art und Weise der Oberflächeninterpolation verantwortlich.

Die Steuerung der Gewichtsfunktion erfolgt mit wenigen Parametern. Da die Berechnung innerhalb von SCOP patch-weise erfolgt (SCOP-Recheneinheiten), passt sich diese Vorgangsweise adaptiv dem Gelände an. Toleranzwerte werden zur Klassifizierung der Daten (in Boden- und Nicht-Bodenpunkte) genutzt. Diese Methode hat sich bereits in einer Vielzahl von Projekten in bebauten Gebieten bewährt.

#### *Hierarchischer Ansatz*

Um ein DGM im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten möglichst automatisch und ohne zusätzliche Datenquellen ableiten zu können, war eine Erweiterung der Auswertemethode notwendig. Unter einem Gebäude ist das Gelände eine fiktive Fläche, die auf Basis der benachbarten Bodenpunkte berechnet wird.

Im Stadtgebiet, wie auch in Gebieten mit einer geschlossenen Vegetationsdecke, ist die „Sicht“ zum Boden nicht gegeben, wodurch eine Vielzahl von Nicht-Bodenpunkten in räumlich relativ

groß ausgedehnten Gebieten gemessen wird. Die iterative Annäherung an die Geländeoberfläche schlägt in diesen Gebieten mit dem bereits vorgestellten Algorithmus fehl.

Der hierarchische Ansatz arbeitet mit Datenpyramiden, wie sie aus der digitalen Bildverarbeitung bekannt sind. Die verschiedenen Niveaus der Pyramide stellen die Daten in verschiedenen Auflösungsstufen (Generalisierungs-Stufen) dar. Diese höheren Niveaus können mit verschiedenen Methoden aus den niedrigeren gebildet werden. Beispielsweise kann innerhalb eines kleinen, quadratischen Gebiets (Rasterzelle) immer der Schwerpunkt oder der tiefste Punkt selektiert werden. Dadurch wird eine Modellbildung vom Groben ins Feine ermöglicht. Der Ablauf dieser Methode ist durch folgende Schritte gegeben:

1. Berechnung der Datenpyramiden
2. Filterung, Klassifizierung und DGM-Berechnung
3. Vergleich des DGMs mit den Daten der nächsthöheren Auflösung und Auswahl der Punkte innerhalb eines Toleranzbandes

Die Schritte 2 und 3 werden so lange wiederholt, bis nach dem 2. Schritt das DGM mit der endgültigen Auflösung vorliegt.

Dieser hierarchische Ansatz ermöglicht neben einer Reduktion der Rechenzeit eine stärkere Robustheit der Methode und ein Überbrücken von Bereichen ohne Bodeninformation. Mit Hilfe dieser Methode, die mittlerweile in einigen weiteren Projekten zum Einsatz gekommen ist (vom Ingenieurbüro Peter Schmid, Wien und für die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz [5]) konnte für das gesamte Projektgebiet ein DGM mit geringen manuellen Aufwand berechnet werden. Abb. 7 zeigt das endgültige DGM (Bodenmodell) in einer Schummerung für das ganze Projektgebiet.

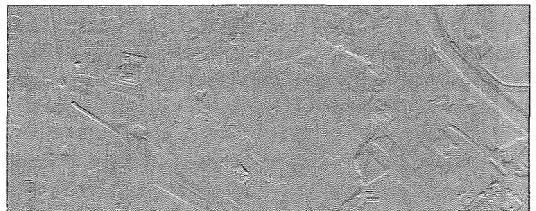


Abb. 7: endgültiges DGM (Bodenmodell) in einer Schummerung

#### **5. Kontrolle des DGMs**

Die Kontrolle des DGMs erfolgte durch 816 terrestrisch bestimmten Punkte, die in unterschiedlichen Bereichen im südwestlichen Teil

des Projektgebietes liegen. Diese Punkte wurden von der MA 41 bestimmt. Die Ergebnisse dieser Genauigkeitsuntersuchung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, wobei die Abweichungen vom DGM zum terrestrischen Kontrollpunkt (Höhendifferenz) untersucht worden sind. In der zweiten Spalte ist der RMS angegeben, also die Abweichungen quadratisch aufsummiert, in der dritten Spalte ist die Standardabweichung  $\sigma$ , die frei vom systematischen Anteil ist, angegeben.

Region	RMS	$\sigma$
Gesamtgebiet	$\pm 10.5\text{cm}$	$\pm 7.1\text{cm}$
Park, dichter Baumbestand	$\pm 14.5\text{cm}$	$\pm 11.1\text{cm}$
Park, geringe Vegetation	$\pm 11.4\text{cm}$	$\pm 7.8\text{cm}$
Park, offenes Gelände	$\pm 8.6\text{cm}$	$\pm 4.5\text{cm}$
Straße, mit parkenden Autos	$\pm 9.2\text{cm}$	$\pm 3.7\text{cm}$
Straße, ohne Autos	$\pm 2.4\text{cm}$	$\pm 1.0\text{cm}$

Diese Ergebnisse zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Genauigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit. Der sehr geringe Wert für die Abweichungen im offenen Straßengebiet ist auf-

grund der Einzelpunktgenauigkeit, die schlechter als 10cm ist, überraschend. Die Methode der linearen Prädiktion ermöglicht jedoch für gut definierte, leicht gekrümmte Oberflächen und der zudem auftretenden hohen Punktdichte die Bestimmung eines Oberflächenmodells, dessen Genauigkeit deutlich höher ist als die Genauigkeit der einzelnen Stützpunkte [6].

## 6. Ausblick und Zusammenfassung

Die bisher vorgestellte Methode zur Erstellung eines DGMs im Stadtgebiet hat nur die von der Messmethode zur Verfügung gestellten unstrukturierten Massenpunkte verwendet. Sowohl zur Verbesserung der Modellierung, als auch zur Unterstützung des hierarchischen Ansatzes, wäre es jedoch wünschenswert Bruchkanteninformation einzubeziehen. Diese zusätzliche Vektorinformation kann aus bereits vorhandenen Datenbeständen (z.B. eine photogrammetrische Auswertung) übernommen, manuell in einer Visualisierung der Laser-Daten digitalisiert, oder aber auch automatisch aus den Laserdaten ermittelt

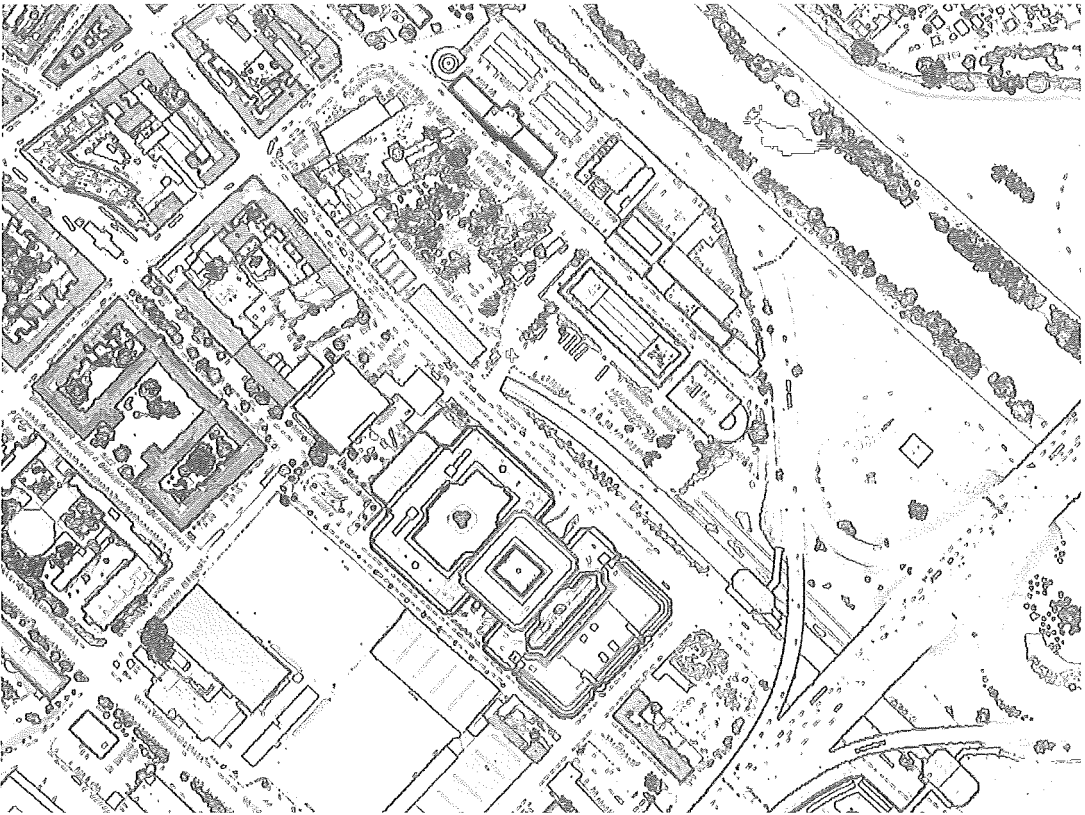


Abb. 8: Gradientenbild aus Oberflächenmodell abgeleitet



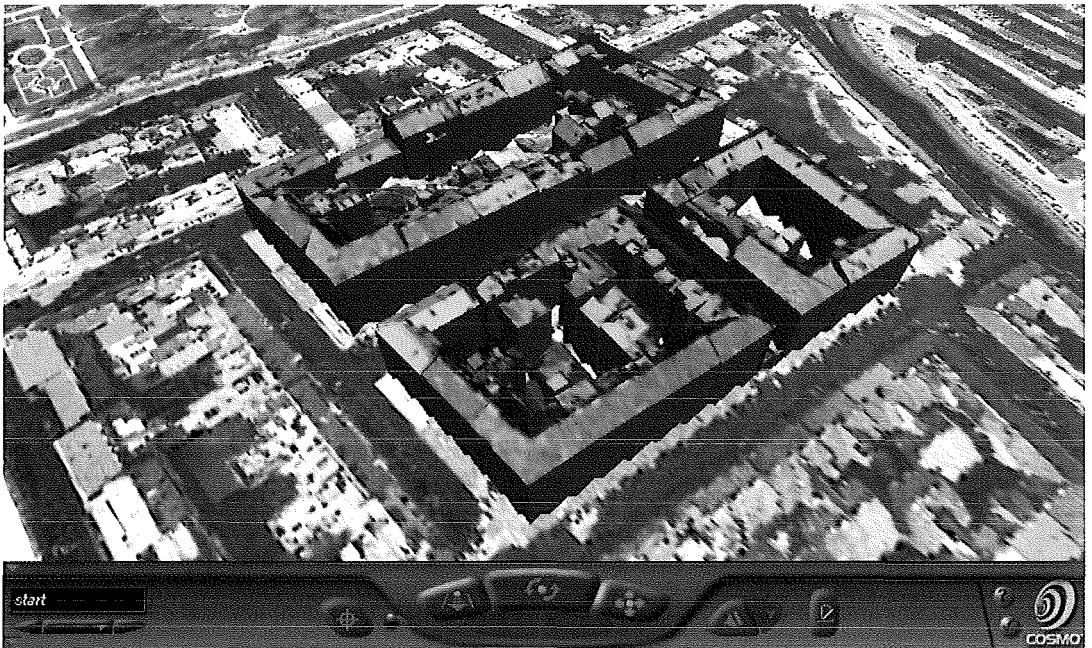


Abb. 9: Ergebnis der Modellierung

werden. Diese automatische oder semi-automatische Bestimmung der Geländekanten aus Laser-Scanner-Daten ist zur Zeit Gegenstand vieler Forschungsprojekte. Im Rahmen der Diplomarbeit [4] wurden mehrere Methoden untersucht und deren Ergebnisse beurteilt. Die Abb. 8, ein aus einem Oberflächenmodell abgeleitetes Gradientenbild (der Länge des in den Grundriss projizierten Gradientenvektors wird ein bestimmter Grauwert zugeordnet), soll einen Eindruck auf die Möglichkeiten der Kantenextraktion aus Laser-Scanner-Daten geben. In diesem Bild sind viele interessante Details erkennbar.

Einen weiteren großen Forschungsschwerpunkt stellt der Bereich der 3D-Stadtmodellierung dar. Die Daten einer Laser-Scanner-Befliegung sollen dabei nicht nur zur Erzeugung des DGMS beitragen, sondern es sollen auf Basis der mit dieser Messmethode erfassten Objekt-oberfläche, z.B. der Punkte an Hausdächern, 3D-Objekte modelliert werden.

Zur Erstellung eines 3D-Stadtmodelles im Projektgebiet von Wien wurde das Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart beauftragt. Die dabei angewandte Methode ist in [2] beschrieben. Das Ergebnis dieser Modellierung für drei Häuserblöcke ist in der Abb. 9 dargestellt. Die Genauigkeit dieser visualisierten Objekte im Bereich der Dächer liegt bei  $\pm 1,3$  m [3].

Wie bereits im Kapitel 2 (Prinzip des Laser-Scannings) erwähnt, hängt die Intensität des detektierten Echos von der beleuchteten Oberfläche ab. Das Echo kann somit nicht nur zur Distanzmessung genutzt werden, sondern die detektierte Intensität gibt auch Auskunft über die Oberflächenbeschaffenheit. Diese zusätzliche Information (Abb. 10) steht bei einigen neuen Systemen zur Verfügung.

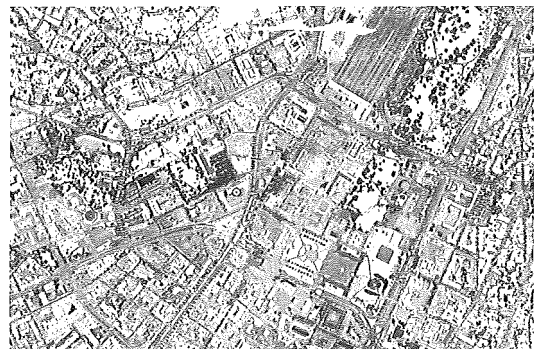


Abb. 10: Oberflächenbeschaffenheit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufnahmetechnik des Laser-Scannings interessante Anwendungsmöglichkeiten bietet. In vielen Bereichen stehen die Auswertemethoden jedoch noch am Beginn der Entwicklung und viele in den Laser-Scanner-Daten enthaltene Details

können mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden (noch) nicht modelliert werden.

#### Danksagung

Diese Forschung wird durch den FWF (Österr. Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung), Projekt-Nr. P14083-MAT, unterstützt. Dank geht weiters an die MA 41, Stadtvermessung der Stadt Wien, die nicht nur die Laserdaten bereitgestellt hat sondern dieses Projekt auch durch die Messung der Referenzdaten und fruchtbare Diskussionen unterstützt hat.

#### Literatur

- [1] Axelsson, P., Sterner, H., 1999: Mapping Electrical Power Lines with Laser Scanning, GIM International, March 1999, Volume 13, Number 3.
- [2] Brenner, K., Haala, N., 1999. Rapid Production of Virtual Reality City Models. Geoinformationssysteme 2/99, S. 22 – 28.
- [3] Briese, C., Kraus, K., Mandelburger, G., Pfeifer, N., 2001. Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner, Tagungsband der 11. Internationalen Geodätischen Woche in Oberurgel.
- [4] Briese, C., 2000. Digitale Modelle aus Laser-Scanner-Daten in städtischen Gebieten. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien.
- [5] Brockmann, H., Mandelburger, G., 2001. Modelling a watercourse DTM based on airborne laser-scanner data – using the example of the River Oder along the German/Polish Border. OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for digital elevation models, Stockholm.
- [6] Kraus, K., 2000. Photogrammetrie – Topographische Informationssysteme, Band 3, 1. Auflage, Dümmler Verlag, Bonn.
- [7] Kraus, K., Pfeifer, N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53, S. 193 – 203.

- [8] Kraus, K., Rieger, W., Processing of laser scanning data for wooded areas. Photogrammetric Week '99, S. 221–231, Wichmann Verlag, Deutschland.
- [9] Lohr, U., Schaller, J., 1999: Trassenbefliegung mit dem TopoSys Laserscanner. Geoinformationssysteme 2/99, S. 3 – 5.
- [10] Pfeifer, N., Kraus, K., Köstli, A., 1999. Restitution of Airborne Laser Scanner Data in Wooded Areas. Geoinformationssysteme 2/99, S. 18 – 21.
- [11] Pfeifer, N., Reiter, T., Briese, C., Rieger, W., 1999. Interpolation of high quality ground models from laser scanner data in forested areas. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, Working Group 2 and 5, La Jolla.
- [12] Pfeifer, N., Stadler, P., Briese, C., 2001. Derivation of digital terrain models in the SCOP++ environment. OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for digital elevation models, Stockholm.
- [13] SCOP (Programmpaket für Digitale Geländemodelle), 2001. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Produktinformation, 4.05.2001, <http://www.ipf.tuwien.ac.at/produkte/produkte.html>.
- [14] TopoSys, 1999. Protokoll der Auswertung der Höhendaten „Wien“.
- [15] TopoSys, 2001. Homepage der Fa. TopoSys, 4.05.2001, <http://www.toposys.com>.
- [16] Topscan, 2001. Homepage der Fa. Topscan, 4.05.2001, <http://www.topscan.de>.
- [17] Wehr, A., Lohr, U., 1999. Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, S. 68 – 82.

#### Anschrift der Autoren

Christian Briese, Norbert Pfeifer: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien. email: {cbriese, np}@ipf.tuwien.ac.at  
Peter Belada: Magistratsabteilung 41, Muthgasse 62 / 3. und 4. Stock, A-1190 Wien. email: bel@m41.mag-wien.gv.at



## Digitales „Atlas-Informationssystem“ von Österreich Abschlußbericht über das FWF-Projekt „Geoinformationssysteme und EDV-Kartographie“

Fritz Kelnhofer, Wien

#### Zusammenfassung

In einem fünfjährigen Forschungsprojekt des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (1995 – 2000) mit dem Titel „Geoinformationssysteme und EDV-Kartographie“ wurde das duale Prinzip in der Kartographie konsequent und professionell angewandt, allerdings nicht in der üblichen Form von inhaltlich unterschiedlichen, einander ergänzenden Produkten, sondern gleicher Produkte für unterschiedliche Transportvehikel einzusetzen. Damit erhält auch das elektronische Medium eine Kartographie, welche jener des Printmediums entspricht. Im interaktiven multimedialen Informationssystem „GeoInfo-Austria“ wird der Rastergraphik der Kartenbilder die Skelettgeometrie der Vektoren unterlegt, welche – für den Nutzer nicht sichtbar – das Karten-User-Interface darstellt, über welches alle von der Karte ausgehenden Interaktionen laufen. Für Interaktionen, welche über die DB laufen, bilden Funktions-Buttons und spezielle Interaktionsfenster das User-Interface. Die so erzielten kartographischen Visualisierungen sind in einem topographischen Kartenhintergrund eingebettet und selbst wieder interaktiv angelegt, so daß der Nutzer durch entsprechende Interaktionen bis zu den Primärmodellaten gelangen kann. „GeoInfo-Austria“ verfügt auch über andere mediale Komponenten wie zum Beispiel Text, Bilder, Statistiken, aber auch Toninformationen, welche durch Anklicken von hot spots abgerufen werden können. Selbst einfache Kartogramme nach nutzerspezifischen Vorstellungen können mit „GeoInfo-Austria“ kreiert werden, wobei allerdings nur die in der Datenbank vorgehaltenen Daten benutzt werden können.