



## Topographische Daten in bewaldeten Gebieten – Ein Pilotprojekt mit Laser-Scanner-Daten

Karl Kraus <sup>1</sup>, Erwin Hynst <sup>2</sup>, Peter Belada <sup>3</sup>, Thomas Reiter <sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> *Magistratsabteilung 41 – Stadtvermessung, Rathausstraße 14-16, 1082 Wien (Muthgasse 62, 1190 Wien)*

<sup>3</sup> *Magistratsabteilung 41 – Stadtvermessung, Rathausstraße 14-16, 1082 Wien (Muthgasse 62, 1190 Wien)*

<sup>4</sup> *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **85** (3), S. 174–181

1997

BibT<sub>E</sub>X:

```
@ARTICLE{Kraus_VGI_199723,
  Title = {Topographische Daten in bewaldeten Gebieten -- Ein Pilotprojekt mit
    Laser-Scanner-Daten},
  Author = {Kraus, Karl and Hynst, Erwin and Belada, Peter and Reiter, Thomas},
  Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und
    Geoinformation},
  Pages = {174--181},
  Number = {3},
  Year = {1997},
  Volume = {85}
}
```

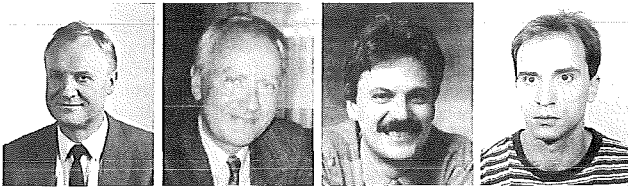


- Feldbach in der Steiermark. Berliner Geographische Studien, Bd. 44, S. 95–109.
- [33] *Klostius, W., Kostka, R., & Sulzer, W.*, 1994: Das KFA-3000 Bild als kostengünstige Datenquelle bei Aufgaben der regionalen Planung; Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Bd. 82, Nr. 3, S. 213–219.
- [34] *Kraus, K., & Sindhuber, A.*, 1996: Das Potential russischer Weltraumphotographien für verschiedene Anwendungen; Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Bd. 84, Nr. 1, S. 17–21.
- [35] *Baumann, N.*, 1985: Ökologie und Vegetation von Altwässern – Eine Einführung mit zwei Beispielen (Mur und Raab). Auengewässer als Ökozellen. Grüne Reihe des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz. Bd. 4, S. 85–159.
- [36] *Sulzer, W.*, 1997: Der Einsatz von Fernerkundungsbilddaten bei der Erstellung des kleinregionalen Entwicklungskonzeptes von Feldbach in der Steiermark. Salzburger Geographische Materialien, Heft 26, S. 373–378.
- [37] *Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Landesbau-  
direktion, Referat für Landes- und Regionalplanung)*, 1994: Öko-Kataster Kleinregion Feldbach – Pilotprojekt Endbericht. Graz, o.S.

- [38] *Kaufmann, V., Klostius, W., & Benzinger, R.*, 1994: Topographic Mapping of the Volcano Nevado Ojos del Salado using Optical and Microwave Image Data; Proceedings of the 3rd International Symposium on High-Mountain Remote Sensing Cartography, Mendoza, Argentina, S. 47–59.
- [39] *Sulzer, W.*, 1994: Geomorphologic Mapping of the Volcano Nevado Ojos del Salado using Optical and Microwave Image Data; Proceedings of the 3rd International Symposium on High-Mountain Remote Sensing Cartography, Mendoza, Argentina, S. 38–46.

#### *Anschrift der Autoren:*

Dr. Viktor Kaufmann, Abteilung für Photogrammetrie und Fernerkundung, Institut für Angewandte Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30, A-8010 Graz, e-mail: kaufmann@fugax.tu-graz.ac.at.  
Mag. Wolfgang Sulzer, Abteilung für Angewandte Geographie, Institut für Geographie, Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 36, A-8010 Graz, e-mail: sulzer@sat1.kfunigraz.ac.at.



## **Topographische Daten in bewaldeten Gebieten – Ein Pilotprojekt mit Laser-Scanner-Daten<sup>1</sup>**

*Karl Kraus, Erwin Hynst, Peter Belada,  
Thomas Reiter, Wien*

### **Zusammenfassung**

Im Wienerwald wurde ein Pilotprojekt mit flugzeuggetragenem Laser-Scanning durchgeführt. Aus diesen Daten läßt sich ein digitales Geländemodell (DGM) mit einer Genauigkeit von  $\pm 25$  cm im flachen Gelände und einer Genauigkeit von  $\pm 1$  m im sehr steilen Gelände (100% Steigung) ableiten. Durch Elimination der aufgetretenen systematischen Fehler läßt sich – durch Systemverbesserungen in den kommenden Jahren – diese Genauigkeit noch erheblich steigern. Den Abschluß des Aufsatzes bildet eine Abgrenzung der Laser-Technik zur Photogrammetrie mit dem Ergebnis, daß in bewaldeten Gebieten großmaßstäbige DGMs in Zukunft ausschließlich aus Laser-Daten abgeleitet werden, während im offenen Gelände die Photogrammetrie größere Vorteile bietet.

### **Abstract**

In the Vienna Woods (Wienerwald) a pilot project employing an airborne laser scanner has been carried out. The digital terrain model (DTM) derived from those data may be as accurate as  $\pm 25$  cm in flat regions and  $\pm 1$  m in steep areas (with slopes of 100%). By eliminating systematic errors 3/4 after improvements of some components of the system during the upcoming years 3/4 the accuracy could be increased significantly. At the end of the article the comparison of laser scanning with photogrammetry suggests to utilize in future laser scanning exclusively for deriving large scale DTMs over forested areas while photogrammetry remains the more advantageous means of data acquisition over open land.

### **1. Einleitung**

Die Fläche des Stadtgebietes von Wien beträgt rund 415 km<sup>2</sup>, davon sind etwa 70 km<sup>2</sup> bewaldet. Zur Erstellung der Stadtkarten des Magistrates von Wien wurden von der MA 41-

Stadtvermessung bisher photogrammetrische Auswertungen vorgenommen. Mit diesen Arbeiten wurde in den 50er-Jahren mit analogen Auswertegeräten begonnen und im Laufe der Zeit auf die jeweils dem Stand der Technik entsprechenden Geräte umgestellt. Die analogen Aus-

<sup>1</sup> Eine vorläufige, englischsprachige Version dieses Aufsatzes ist in den Proceedings der Joint European Conference on Geographical Information, April 16–18, 1997, Austria Center, Vienna, erschienen. Zusätzlich zum Vortrag am 17. April im Austria Center wurde am 6. Mai 1997 bei einer ÖVG-Vortragsveranstaltung berichtet.

wertungen wurden für einen Kartenmaßstab 1:2000 aus Bildmaßstäben 1:5500 bis 1:7500 vorgenommen. Die erzielte Genauigkeit lag im Waldbereich – u.a. wegen der fehlenden Bodensicht – bei etwa  $\pm 2$  m.

Die Magistrats-Dienststellen für Hydrologie, Forstwirtschaft, Naturparkplanung, Besiedlungsplanung, etc. stellen zunehmend höhere Ansprüche an die Unterlagen, die mit diesen vorhandenen Stadtkarten nicht erfüllt werden können. Diese Dienststellen erwarten Geländehöhendaten mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 0.5$  m. Derartige Genauigkeiten könnten in dicht bewaldeten Gebieten nur mit – sehr teuren – terrestrischen Messungen erreicht werden. In weniger dicht bewaldeten Gebieten hätte man mit der Photogrammetrie eine Chance, allerdings nur bei sehr günstigem Flugwetter und mit sehr großmaßstäbigen Bildern.

Aus diesem Grund war es besonders interessant, inwieweit mit flugzeuggetragenen rotierenden Laserscannern, die inzwischen eine beachtliche Ausreifung erlangt haben, bessere topographische Daten in bewaldeten Gebieten erhoben werden können.

Für die Stadtverwaltung von Wien ist die Erstellung und Wartung der digitalen Stadtkarte, die sich auf den nicht bewaldeten Teil von Wien konzentriert, gegenwärtig die zentrale Aufgabe. Die Geländeerfassung in den Waldgebieten stellt für den Magistrat eine interessante zusätzliche Aufgabe dar.

## 2. Testbefliegung Wienerwald 1996

### 2.1. Beschreibung des Testgebietes

Das Befliegungsgebiet Wienerwald hat eine Fläche von 91 km<sup>2</sup>. Am östlichen Rand und in einem kleinen Teil des mittleren Bereiches befinden sich Siedlungsgebiete. Der restliche Teil des Befliegungsgebietes ist überwiegend bewaldet. Es handelt sich um Mischwald, wobei die Laubbäume überwiegen. Außer im Bereich der Siedlungsgebiete ist das Gelände sehr hügelig mit Geländehöhen zwischen 159 m und 543 m. Die Geländeneigung erreicht 100%.

### 2.2. Verwendeter Laser [3]

Firma	Optech Inc., Canada
Laser	ALTM 1020
Wellenlänge	1047 nm (nahes Infrarot)
Meßprinzip	Laufzeitmessung
Meßrate	2000 Hz
Scanfrequenz	30–50 Hz
Abtastfleck	20 cm bei 1000 m Flughöhe

Der Laser liefert Polarkoordinaten, deren Ursprung im (sich fortbewegenden) Flugzeug liegt und deren Orientierung von der veränderlichen Flugzeugstellung beeinflusst wird.

### 2.3. Flugparameter

Firma	Topscan, Deutschland
Mittlere Fluggeschwindigkeit über Grund	70 m/s
Mittlere Flughöhe über Grund	1000 m
Abtastbereich	$\pm 20^\circ$
Abstand zwischen den Flugstreifen	250 m
Flugrichtung	Nord-Süd, Süd-Nord
Flugzeiten	
28.04.1996	
1. Teil vormittags	2 Stunden
28.04.1996	
2. Teil nachmittags	5 Stunden 45 Minuten

Der sich bewegende Ursprung des Polarkoordinatensystems wird mit differentiellen GPS-Messungen im Post-Processing ermittelt; die (dynamische) Orientierung des Polarkoordinatensystems geschieht mit einem Inertial-Navigation-System (INS).

### 2.4. GPS-Auswertung

Für die Auswertung der gesamten Flugwege wurde die Referenz-Station ‚Gloriette‘ im Park Schönbrunn verwendet. Die Landeskoordinaten dieser Station wurden mit den österreichweit gültigen Datumstransformationsparametern unter Berücksichtigung der Geoidundulation in diesem Punkt nach WGS84 transformiert. Die so erhaltenen Koordinaten dienen als Referenzkoordinaten für die Auswertung der Flugwege im WGS84. Die Polarkoordinaten der Laserpunkte wurden dann in kartesische Koordinaten im WGS84 umgerechnet und mit den inversen Transformationsformeln in das Landeskoordinatensystem transformiert. Die Parameter für die dafür verwendete Ähnlichkeitstransformation

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{MGI}} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + (1+s) \begin{pmatrix} 1 & \omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 1 & \omega_x \\ \omega_y & -\omega_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{WGS}} \quad (1)$$

hat das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung gestellt:

$$\begin{aligned} \Delta X &= -586 \text{ m} & \omega_x &= 1,54 \text{ mgon} \\ \Delta Y &= -89 \text{ m} & \omega_y &= 0,41 \text{ mgon} & s &= -1,1 \text{ ppm} \\ \Delta Z &= -468 \text{ m} & \omega_z &= 1,61 \text{ mgon} \end{aligned} \quad (2)$$

Die Höhen mußten noch um die Geoidundulationen korrigiert werden, die im Interessensge-

biet immerhin zwischen  $-21$  cm und  $+31$  cm variieren. Die Geoidundulationen hat das Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik der TU Wien bereitgestellt. Zur Kontrolle der gesamten GPS-Auswertung hat sich die Fa. Topscan die Höhe im Landeskoordinatensystem für einen (horizontalen) Sportplatz geben lassen.

### 2.5. Laserpunkte

Insgesamt wurden von der Fa. Topscan 15 480 726 Laserpunkte im Landeskoordinatensystem geliefert. Im Interessensgebiet lagen 9 257 130 Punkte. Ein großer Teil der Laserpunkte sind sogenannte Vegetationspunkte, das sind Punkte, bei denen die Reflexion der Laserstrahlen nicht am Boden sondern an Bäumen und Sträuchern erfolgt [1]. Mit einem groben Filterverfahren [8] hat die Fa. Topscan einen großen Teil der Vegetationspunkte eliminiert. In diesem zweiten Datensatz blieben insgesamt 4 475 308 Laserpunkte mit dem Attribut „Bodenpunkt“ übrig, das entspricht einer Durchdringungsrate

von 48%. Der mittlere Abstand dieser Bodenpunkte beträgt 4,5 m.

### 3. DGM-Auswertung

Mit den vermeintlichen Bodenpunkten wurde mit dem Programmpaket SCOP [6] ein digitales Geländemodell (DGM) erstellt, und zwar zunächst nur am Leopoldsberg (steiles Gelände) und im Lainzer Tiergarten, Rohrwiese (flaches Gelände). Das Gebiet am Leopoldsberg hat eine Größe von etwa  $2,5 \text{ km}^2$ . In diesem Gebiet lagen 105 649 vermeintliche Bodenpunkte. Die bei SCOP mit der Interpolation einhergehende Filterung der Daten lieferte Hinweise, daß in den Daten noch Vegetationspunkte bei gewissen Übergängen (Wald/Wiese, Waldwege, Schneise im Wald etc.) enthalten waren. Das Laser-DGM lag in diesen Fällen zu hoch.

Mit einer interaktiven Analyse der SCOP-Filterwerte wurden 4 185 (Vegetations-)Punkte, das sind 4,12%, eliminiert. Dabei werden vom

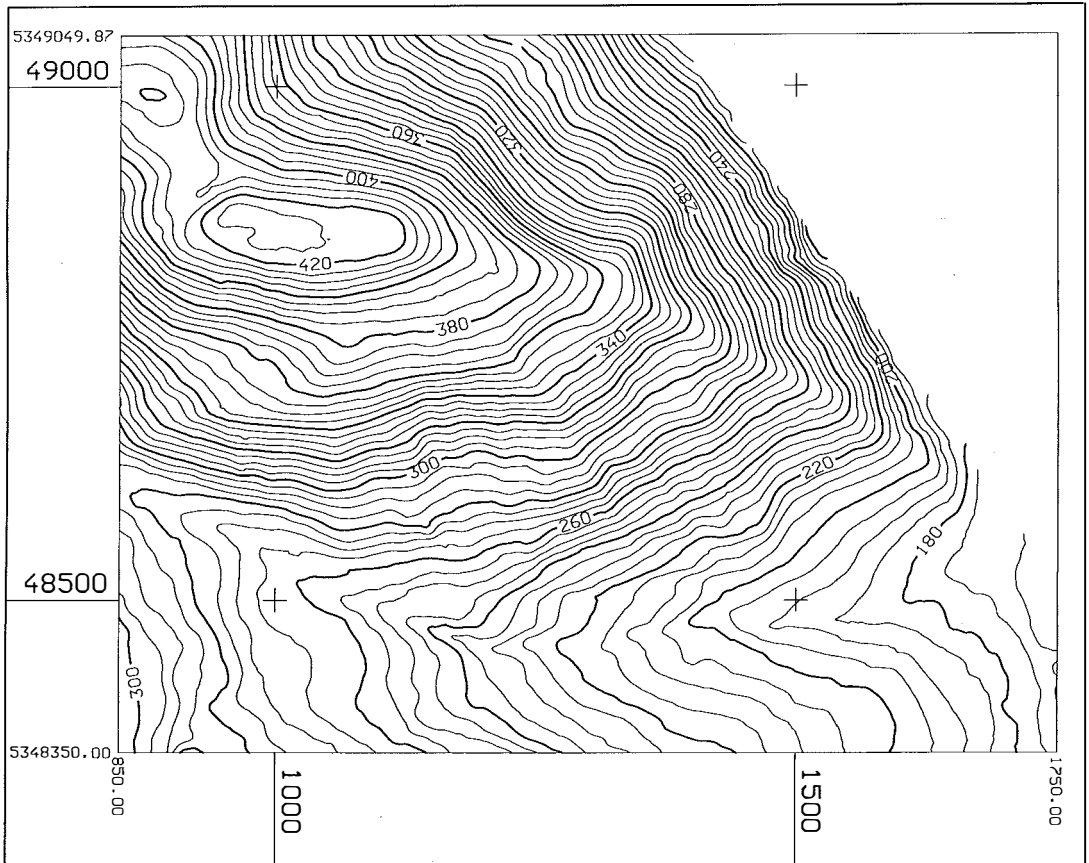


Abb. 1: Höhenlinien des Laser-DGM ‚Leopoldsberg‘

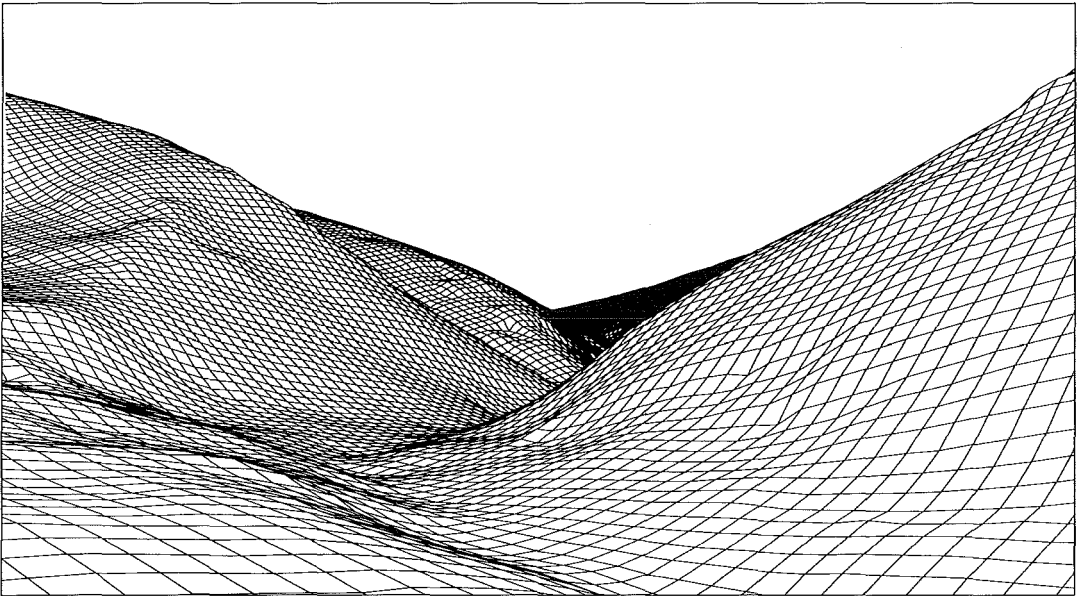


Abb. 2: Perspektivansicht mit Blick nach Nord-Westen

Bearbeiter unterschiedliche Schwellwerte für die positiven und negativen Filterbeträge eingegeben. SCOP eliminiert dann automatisch alle außerhalb der Schwellwerte liegenden Laserpunkte. Abb. 1 zeigt einen Höhenlinienauschnitt aus dem Geländemodell ‚Leopoldsberg‘ und Abb. 2 eine Perspektivansicht.

Gegenwärtig wird – bis zum Jahresende 1997 – der gesamte Wienerwald auf diese Weise bearbeitet. Das DGM wird mit einer Maschenweite von 3.125 m, das sind 160x160 Rastermaschen für ein Blatt 1:1000 der Wiener Stadtkarte berechnet. Es sind insgesamt etwa 350 Kartenblätter.

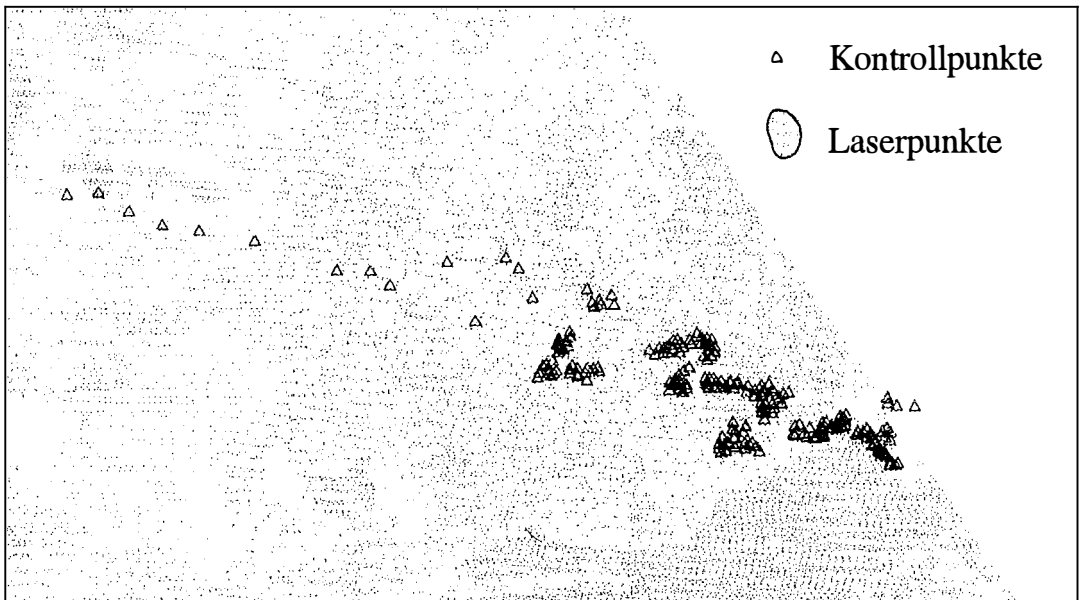


Abb. 3: Laser- und Kontrollpunkte am Leopoldsberg

50m → 45m ... 100m ± 1m

#### 4. Genauigkeitsanalyse

Entlang des Nasenweges, der vom Kahlenbergdorf (Höhe 170 m) bis zum Leopoldsberg (Höhe 425 m) führt, wurden terrestrisch 209 Kontrollpunkte eingemessen. (Abb. 3). Davon mußten 9 Punkte eliminiert werden. Diese Punkte wurden eindeutig als Ausreißer erkannt; sie befanden sich in Bereichen ohne Laserpunkte und in Bereichen mit außergewöhnlicher Morphologie (Aussichtsplattform, Maueroberkante etc.). Im Testgebiet Lainzer Tiergarten wurden 266 Kontrollpunkte bestimmt. Die terrestrischen Kontrollpunkte wurden mit dem Programmpaket ORIENT [7] mittels einer strengen Ausgleichung berechnet. Dabei ergaben sich mittlere Höhenfehler kleiner als  $\pm 3$  cm für die Polygonpunkte und kleiner als  $\pm 10$  cm für die Polarpunkte. Der Fehleranteil der terrestrischen Messungen wurde im weiteren Verlauf der Genauigkeitsanalyse vernachlässigt.

Für die insgesamt 466 Kontrollpunkte wurden an ihren XY-Positionen die Höhen aus dem DGM abgeleitet und mit den terrestrischen Sollhöhen verglichen. Abb. 4 zeigt das Histogramm. Die Diskrepanzen variieren zwischen  $-2.1$  m und  $+2.1$  m. Der mittlere Fehler beträgt  $\pm 57$  cm. Darin ist ein verhältnismäßig großer systematischer Anteil von 20 cm (Laser-DGM liegt zu hoch) enthalten, auf den wir im Abschnitt 5. genauer eingehen werden.

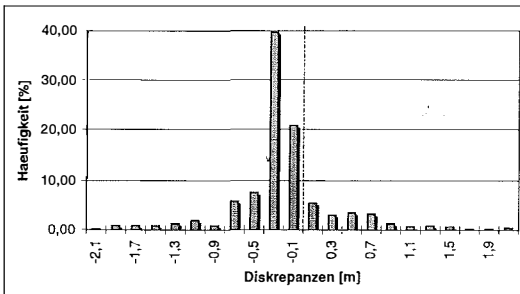


Abb. 4: Verteilung der Höhendifferenzen

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit der mittlere Höhenfehler von der Geländeneigung abhängt. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die 466 Kontrollpunkte in fünf Neigungsklassen mit etwa gleicher Anzahl von Kontrollpunkten – variierend zwischen 90 und 96 Punkten – eingeteilt und für die einzelnen Klassen die mittleren Fehler berechnet (Abb. 5).

Man sieht eine sehr starke Abhängigkeit von der Geländeneigung. Diese Abhängigkeit hat drei Ursachen:

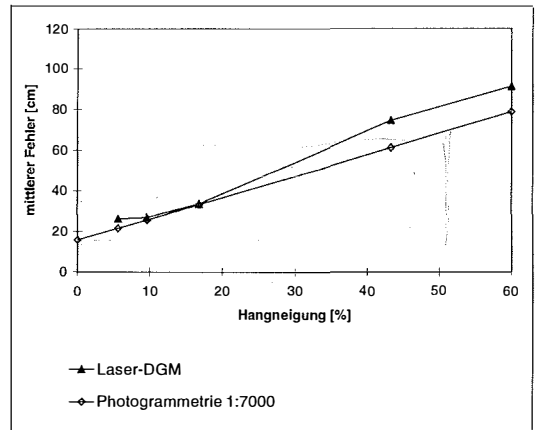


Abb. 5: Genauigkeit in Abhängigkeit von der Geländeneigung

- Im steilen Gelände ist die Definitionsunsicherheit der Oberfläche größer als im flachen Gelände.
- Die Ausdehnung des Abtastflecks, der immerhin 20 cm beträgt, spielt im ebenen Gelände keine Rolle, dagegen im steilen Gelände schon.
- Die zweifelsohne vorhandenen Lagefehler spielen im ebenen Gelände keine Rolle, dagegen im steilen Gelände schon.

Zur Beurteilung der Genauigkeit des Laser-DGMs ist in Abb. 5 als Referenz die Genauigkeit eines aus photogrammetrischen Messungen – im offenen Gelände – abgeleiteten DGMs eingetragen. Bekanntlich hängt die Genauigkeit eines photogrammetrischen DGMs entscheidend vom gewählten Bildmaßstab ab [10]. Es wurde ein Bildmaßstab 1:7000 gewählt, insbesondere

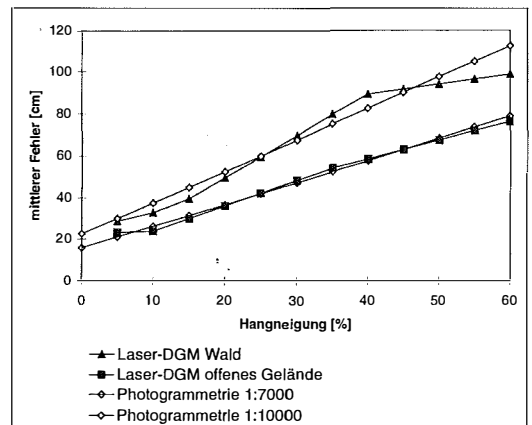


Abb. 6: Genauigkeit in Abhängigkeit von der Geländeneigung und vom Bewuchs

deshalb, weil die Stadt Wien für die Erstellung der Stadtkarte diesen Bildmaßstab verwendet.

Die zweite interessante Frage betrifft die unterschiedliche Genauigkeit des Laser-DGMs im Wald und im offenen Gelände. Nachdem ein Teil der Kontrollpunkte auch im offenen Gelände liegt, konnte auch diese Frage beantwortet werden. Abb. 6 zeigt die Genauigkeit in Abhängigkeit von der Geländeneigung und vom Bewuchs.

Zur Beurteilung der Genauigkeit des Laser-DGMs wurden in Abb. 6 als Referenz wieder die Genauigkeit von DGMen, die aus photogrammetrischen Messungen abgeleitet werden, eingetragen. Es ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Das Laser-DGM hat im offenen Gelände die gleiche Genauigkeit wie ein photogrammetrisches DGM im offenen Gelände aus einem Bildmaßstab 1:7000.
- Das Laser-DGM hat im Wald die gleiche Genauigkeit wie ein photogrammetrisches DGM im offenen Gelände aus einem Bildmaßstab 1:10 000.
- Das Laser-DGM ist im Wald um ein Vielfaches besser als ein photogrammetrisches DGM im Wald.

### 5. Elimination des systematischen Fehlers

Zur Elimination des systematischen Fehlers wurden die 466 Kontrollpunkte herangezogen. So wird man in der Praxis allerdings nicht vorgehen; es zeigt aber das Genauigkeitspotential dieser Technik nach entsprechenden Systemverbesserungen auf. Die 466 Kontrollpunkte wurden in kleinere zusammenhängende Gebiete unterteilt und das arithmetische Mittel der Fehler gebildet. Anschließend wurden diese Mittelwerte von den einzelnen Fehlern subtrahiert und dann die Standardabweichung berechnet. Die Ergebnisse sind in den Abb. 7 und 8 zusammengestellt. Die Abb. 7 ist mit der Abb. 5 zu vergleichen. Wir sehen daraus, daß eine Elimination des systematischen Fehlers eine beachtliche Genauigkeitssteigerung bringen wird: Im flachen Gelände reduziert sich zum Beispiel der mittlere Fehler von  $\pm 26$  cm auf  $\pm 10$  cm. Dieser sensationelle Wert ist sicherlich die Schallmauer dieser Technik.

Die Abb. 8 ist mit der Abb. 6 zu vergleichen. Wir sehen daraus, daß eine Elimination des systematischen Fehlers die Genauigkeit des Laser-DGMs im offenen und bewaldeten Gelände noch näher zusammenbringt. Wenn also die systematischen Fehler eliminiert werden können,

wird die Genauigkeit des Laser-DGMs nahezu unabhängig vom Bewuchs sein.

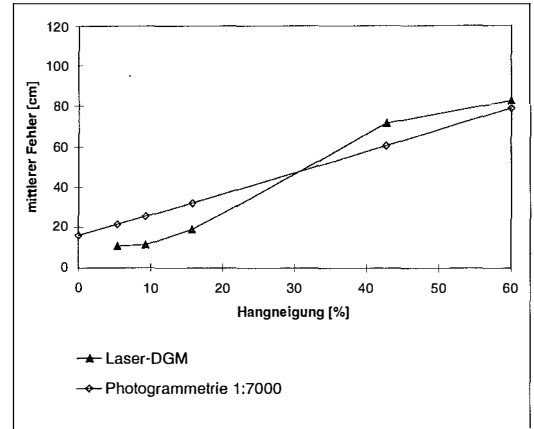


Abb. 7: Genauigkeit in Abhängigkeit von der Geländeneigung nach Elimination des systematischen Fehlers

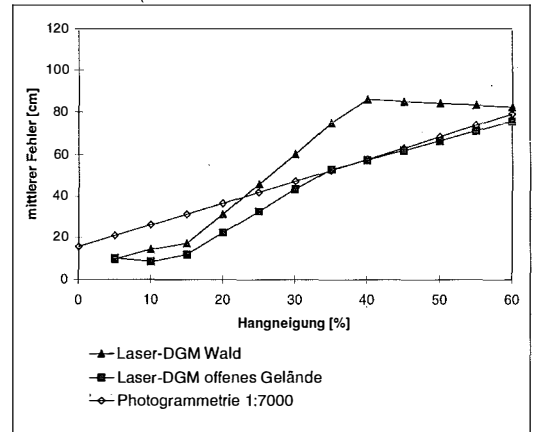


Abb. 8: Genauigkeit in Abhängigkeit von der Geländeneigung und vom Bewuchs nach Elimination des systematischen Fehlers.

### 6. Systemverbesserungen

Systematische Fehler deuten auf noch vorhandene Unzulänglichkeiten im gesamten System hin. Welche Unzulänglichkeiten gibt es im gegenwärtigen System und wie können sie behoben werden?

- Die Geoidundulationen sind gegenwärtig in Österreich mit einem mittleren Fehler von etwa  $\pm 5$  cm bekannt (Angabe von Dr. Weber, Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik). Eine genauere Geoidform würde einen Teil der systematischen Fehler eliminieren.

- b) Die Anbindung der gesamten GPS-Laser-Messung nur an eine Referenzstation und an einen ‚Sportplatz‘ zur Kontrolle entspricht nicht der üblichen Einpassung von GPS-Messungen in das Landeskoordinatensystem. Man sollte sich für diese Flugmissionen am Gebietsrand mehrere Referenzhöhen aus dem Landeskoordinatensystem besorgen und eine überbestimmte Einpassung auf diese Referenzhöhen vornehmen. Dadurch wird übrigens auch der Einfluß des Geoids weitgehend eliminiert.
- c) Die verwendete On-the-fly-Initialisierung zur Lösung der GPS-Phasenmehrdeutigkeiten ist heutzutage bei rasch bewegten Objekten wie Flugzeugen mit einem mittleren Fehler von  $\pm 10$  cm möglich. Die Spur des Ursprungs der Polarkoordinaten hat also noch eine beachtliche Ungenauigkeit von 1–2 dm [4]. Die INS-Orientierung ist noch mit Fehlern bis 0.01 gon behaftet, das entspricht 16 cm bei einer Flughöhe von 1000 m [4]. Eine rigore Blockausgleichung der einzelnen Streifen mit Minimierung der Höhendifferenzen in den Überlappungsbereichen und Minimierung der Diskrepanzen an den unter b) genannten ‚Paßpunkten‘ würde diese systematischen Einflüsse reduzieren.
- d) Die im Abschnitt 3. kurz erläuterte interaktive Datenbereinigung mit unterschiedlichen Schwellwerten für die positiven und negativen Filterbeträge kann noch verbessert werden, wenn man bei der Interpolation und Filterung die schiefe Fehlerverteilung der Laser-Daten beachtet. Die diesbezügliche Theorie wurde bereits in dieser Zeitschrift publiziert [9]; inzwischen gibt es auch andere Autoren, die sich dieses Problems angenommen haben [2].

## 7. Abgrenzung zur digitalen Photogrammetrie<sup>1</sup>

Die bereits jetzt gegebene große Genauigkeit der aus Laser-Messungen abgeleiteten DGMe, die – wie in den Abschnitten 5. und 6. ausgeführt wurde – in absehbarer Zeit noch weiter verbessert werden kann, wirft die Frage auf, ob die Lasertechnik die Photogrammetrie ganz verdrängen wird oder ob beide Verfahren nebeneinander existieren werden. Diese Frage wird im fol-

genden stichwortartig anhand wichtiger Kriterien behandelt.

- a) Genauigkeit  
Aus der Sicht der Genauigkeit wird man für großmaßstäbige Geländemodelle in bewaldeten Gebieten nur noch die Lasertechnik einsetzen. Wegen der begrenzten Reichweite der Lasermessung, die gegenwärtig bei etwa 1 km liegt, werden kleinmaßstäbige Geländemodelle in bewaldeten Gebieten, für die Genauigkeiten von  $\pm 2$  m ausreichen, auch weiterhin photogrammetrisch erfaßt werden.

Im offenen Gelände bringen die Photogrammetrie und Lasertechnik in den großen Maßstäben etwa die gleiche Genauigkeit. Aus der Sicht der Genauigkeit gibt es in diesem Fall daher keine Bevorzugung des einen oder anderen Verfahrens.

- b) Punktdichte  
Die Lasertechnik liefert gegenwärtig eine Punktdichte von etwa 3 m; 1 m und etwas besser wird bald möglich sein. Dagegen liefert die großmaßstäbige digitale Photogrammetrie gegenwärtig eine Punktdichte von etwa 10 cm [11].

- c) Linienextraktion  
Das Laser-Verfahren liefert nur eine Punktwolke, aber keine geomorphologischen Strukturlinien. Eine automatische Kantenextraktion aus den Laserpunkten ist gegenwärtig – wegen der zu geringen Punktdichte – nicht erfolgversprechend.

Die manuelle Auswertung der Luftbilder liefert direkt Geländekanten, Strukturlinien, markante Höhenpunkte etc. Die Einbindung dieser Information bei der DGM-Interpolation und in den DGM-Datensatz bringt eine große Qualitätsverbesserung in geomorphologischer Hinsicht. Die automatische Auswertung digitalisierter Luftbilder liefert – wie die Lasertechnik – auch keine geomorphologischen Strukturlinien. Wegen der hohen Punktdichte sind aber die Voraussetzungen für eine automatische – oder zumindest halbautomatische – Ableitung dieser wichtigen Information in gewissem Ausmaß bereits erfolgreich [12].

- d) Radiometrische Information  
Der Laser liefert nur Entfernungsbild. Es spricht auch von einem Entfernungsbild. Es gibt Entwicklungen, auch die Intensität des reflektierten Laserstrahles zu registrieren [5], doch ist die Praxisreife dieser Erweiterung noch nicht gegeben. Aus den gegenwärtigen Lasermessungen können daher keine ob-

<sup>1</sup> Dieser Abschnitt ist eine Zusammenfassung des Vortrages „Topographische Daten mit flugzeuggetragenen Laser-Scannern und/oder digitaler Photogrammetrie“ von K. Kraus, AGIT'97, Salzburg, 1997.



jektbezogenen Attribute (Straße, Gebäude, Garten etc.) abgeleitet werden.

Dagegen liefert die Photogrammetrie in einem Spektralbereich (schwarzweiß) oder in drei Spektralbereichen (Farbe) den Reflexionsgrad in allen digitalisierten Bildpunkten. Daraus können automatisch oder interaktiv Objektklassifizierungen vorgenommen werden. In diesem Zusammenhang darf auch das wichtige Nebenprodukt ‚Orthophoto‘ nicht unerwähnt bleiben.

e) Automationsgrad

Die Lasertechnik ist bis zum DGM ohne größere Eingriffe automatisiert. Die digitale Photogrammetrie hat einen ähnlich hohen Automationsgrad, aber nur im offenen Gelände. Die auf linienweise Auswertung ausgerichtete Photogrammetrie besitzt dagegen keinen sehr hohen Automationsgrad.

f) Flugbedingungen

Der Laser ist ein aktives System im nahen Infrarot. Man kann daher bei Tag und Nacht fliegen; Wolken sind in gleicher Weise ein Hindernis wie bei der Luftaufnahme. Die Photographie ist ein passives Verfahren mit der Sonne als Lichtquelle; die Tage und Stunden für gute Luftaufnahmen sind gezählt.

g) Kosten bis zum DGM

Für die Photogrammetrie sind die Kosten mit einer beachtlichen Schärfe bekannt. Bei der Lasertechnik werden vermutlich noch marktpolitische Preise verlangt. Das vorliegende Pilotprojekt war jedenfalls (auch unter Einbeziehung der im Abschnitt 3. beschriebenen Nachbearbeitung) billiger als vergleichbare photogrammetrische Erfassungs- und Auswertemethoden.

## 8. Schlußfolgerung

Großmaßstäbige topographische Daten in bewaldeten Gebieten konnten bisher nicht wirtschaftlich (terrestrisch) und nicht genau genug (photogrammetrisch) erfaßt werden. Die Lasertechnik schließt diese wichtige Lücke. Für Österreich mit einem Waldanteil von 39% wird die Lasertechnik daher eine große Bedeutung erlangen. In den Nadelwäldern wird man nur eine Durchdringungsrate von 30% [1] haben; trotz-

dem kann daraus mit hochentwickelten Filtermethoden ein DGM abgeleitet werden.

Die Lasertechnik wird die Photogrammetrie in einigen Bereichen verdrängen. In anderen Bereichen ist nach wie vor die Photogrammetrie die richtige Methode. In Zwischenbereichen wäre eine simultane Laser-Aufnahme und photographische Aufnahme wünschenswert; zu diesem Zweck braucht man Vermessungsflugzeuge mit zwei Bodenluken.

### Dank

Dieser Beitrag kam mit Unterstützung von Herrn Dr. R. Weber, Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, und den Herren Dipl.-Ing. P. Loidolt und Dipl.-Ing. A. Zöchling von der MA 41 der Stadt Wien zustande.

### Literatur

- [1] Ackermann, F., Englisch, M., Kilian, J.: Die Laser-Profil-Befliegung ‚Gammertingen 1992‘. ZfV 119, S. 264–277, 1994.
- [2] Borkowski, A., Burghardt, D., Meier, S.: Zur optimalen Approximation von Höhenprofilen. VGI 85, Heft 4 (im Druck), 1997.
- [3] Flood, M., Gutelius, C.: Commercial Implications of Topographic Terrain Mapping Using Scanning Airborne Laser Radar. PE&RS 63, No. 4, pp. 327–329, 363–366, 1997.
- [4] Fritsch, D.: Arbeitskreis Geoinformationssystem. PFG, Heft 1, S. 55–58, 1997.
- [5] Hug, C.: Entwicklung und Erprobung eines abbildenden Laseraltimeters für den Flugeinsatz unter Verwendung des Mehrfrequenz-Phasenvergleichsverfahrens. DGK, Reihe C, Heft 457, München, 1996.
- [6] I.P.F.: SCOP-Produktinformation des Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, 1996.
- [7] I.P.F.: ORIENT-Produktinformation des Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, 1996.
- [8] Kilian, J., Haala, N., Englisch, M.: Capture and evaluation of airborne laser scanner data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part. B3, pp. 363–388, Vienna, 1996.
- [9] Kraus, K.: Eine neue Methode zur Interpolation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. VGI 85, S. 25–30, 1997.
- [10] Kraus, K.: Photogrammetrie. Band 2, 2. Auflage, Dümmler Verlag, 1987.
- [11] Kraus, K. mit Beiträgen von J. Jansa und H. Kager: Photogrammetrie. Band 2, 3. Auflage, Dümmler Verlag, 1996.
- [12] Wild, D., Krzystek, P.: Automatic Breakline Detection Using an Edge Preserving Filter. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 31, Part B3, pp. 946–952, Jänner 1996.

### Anschrift der Autoren:

o.Univ.-Prof. Dr. Karl Kraus, Thomas Reiter: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien.

SR Dipl.-Ing. Erwin Hynst, ÖStBR Dipl.-Ing. Peter Belada: Magistratsabteilung 41 – Stadtvermessung, Rathausstraße 14–16, 1082 Wien (Muthgasse 62, 1190 Wien).