

Selektion des Baumbestands im Stadtgebiet Wiesbaden aus Laserscanner-Daten

Karl-Heinz Gertloff

Zusammenfassung

Aus den Daten einer Laserscanner-Befliegung ist ein Vegetationsmodell als 1-m-Höhenraster für das Stadtgebiet Wiesbaden aufbereitet worden. Daraus sind Baumhöhen für die in der Stadtgrundkarte nachgewiesenen Straßen- und Grünflächenbäume ermittelt worden. Zusätzlich ist daraus der sonstige Baumbestand in den Ortslagen und in den Feldlagen in einer generalisierten Form selektiert worden, die dessen Charakteristik bezüglich der Bestandsdichte, der Bestandshöhen und des Nadelbaum-Anteils wiedergibt. Dazu werden die einzelnen Arbeitsschritte beschrieben. Die 3D-Daten zum Baumbestand werden für umweltbezogene Aufgaben genutzt und ergänzen das 3D-Stadtmodell.

Summary

For the city of Wiesbaden LIDAR data have been processed to a 1-m-grid vegetation model from which the heights of road trees and park trees pointed out in the basic city map have been determined. Additionally most of the other trees in built-up areas and in field areas have also been derived from the vegetation model automatically and generalized so that the stock's characteristics of quantity, tree heights and portion of coniferous trees is caught. It is described how this has been done. The 3D data of trees are used for environmental tasks and to supply the 3D city model.

1 Anlass

Zu den topographischen Besonderheiten der hessischen Landeshauptstadt Wiesbaden zählt ein umfangreicher Baumbestand in weiten Teilen des Stadtgebietes. Rund 40% der Stadtgebietsfläche von 204 km² entfallen auf Ortslagen, jeweils rund 30% auf Feldlagen und auf den großflächig zusammenhängenden Stadtwald.

In den Ortslagen stehen ca. 18.000 Straßenbäume. In den städtischen Grünflächen (Spielplätze, Grünanlagen, Friedhöfe) und im landeseigenen Schlosspark Biebrich mit allein mehr als 1.500 Bäumen stehen ca. 20.000 Grünflächenbäume. Hinzu kommt ein teilweise sehr mächtiger und dichter Baumbestand auf Privatgrundstücken, der vor allem in den alten Villengebieten im Norden und Osten der Innenstadt gebietsprägend ist. Die Standorte der Straßen- und Grünflächenbäume sind in der Stadtgrundkarte vollständig nachgewiesen. Für die Bäume auf Privatgrundstücken gibt es dagegen bisher nur bildhafte Informationen in Orthophotos. Der gesamte Baumbestand in den Ortslagen unterliegt der städtischen Baumschutzsatzung.

Der Baumbestand in den Feldlagen umfasst Gärten, Bäume an Straßen, Wegen und v. a. an Gewässern, Baumgruppen und Gehölze sowie großflächige Streuobstbestände. Diese Bäume sind bisher ebenfalls nur bildhaft in Orthofotos dargestellt. Darüber hinaus existiert noch eine Realnutzungskartierung des städtischen Umweltamtes, die jedoch nur zum Baumbestand im Außenbereich die Abgrenzung der entsprechenden Flächenkategorien enthält. Der fachliche Bedarf des Umweltamtes an detaillierten Informationen zum Baumbestand in den Feldlagen, aber auch in den Ortslagen, geht über diese derzeitigen Gegebenheiten hinaus.

Für den städtischen Forst, der mit 45 km² drei Viertel des Stadtwaldes ausmacht, ist im Jahr 2006 ein neues Forsteinrichtungswerk als Grundlage für die Forstwirtschaft erstellt worden. Dazu ist jede einzelne Forstabteilung nach Baumarten, -alter und -bestandshöhen klassifiziert und in der Forsteinrichtungskarte auf der Basis der Stadtgrundkarte entsprechend den Fachvorschriften mit Flächenfarben nachgewiesen.

Bei dem im Jahr 2002 begonnenen Aufbau des digitalen 3D-Stadtmodells war von vorneherein vorgesehen, auch den Baumbestand in den Orts- und Feldlagen in 3D zu modellieren und in das virtuelle Modell der Stadtlandschaft mit aufzunehmen (Gertloff u. Fricke 2006). Mit den Ergebnissen der Laserscanner-Befliegung 2006 sind dazu geeignete Datengrundlagen als »Momentaufnahme« für den Zeitpunkt April 2006 vorhanden. Ihre Aufbereitung für das 3D-Stadtmodell war geboten, nachdem dieses inzwischen einen weit fortgeschrittenen Bearbeitungsstand erreicht hat, wie die aktuelle Situation zum Ende des III. Quartals 2008 zeigt:

Gebäude-Grobmodell (LOD1):

- für das gesamte bebaute Stadtgebiet vorhanden
- Grundlage: ALK-Gebäudegrundrisse und Laserscanner-Gebäudehöhen 04/2001
- Aktualitätsstand 12/2002, bisher nicht fortgeführt

Gebäude-Feinmodell (LOD2):

- für ca. 85% des bebauten Stadtgebietes vorhanden
- Grundlage: photogrammetrische Messungen aus Luftbildern 04/2003
- Aktualitätsstand 04/2003, bisher nicht fortgeführt
- Fertigstellung für gesamtes bebautes Stadtgebiet und Aktualisierung auf Stand 05/2008 bis Ende 2008 vorgesehen; Grundlage: Luftbilder 05/2008
- ab 2009 Datenübernahme vom Auftragnehmer und Beginn der Laufendhaltung durch das Vermessungsamt

2 Laserscanner-Befliegung 2006

Eine erste Laserscanner-Befliegung des Stadtgebietes ist im April 2001 erfolgt. Deren Ergebnisse sind seinerzeit bereits umfassend aufbereitet worden (Gertloff 2004):

- Geländehöhen als 5-m-Höhenraster für das gesamte Stadtgebiet
- Gebäudehöhen als Grundlage für das Gebäude-Grobmodell (siehe Abschnitt 1)
- Baumhöhen von Straßen- und Grünflächenbäumen
- Baumstandorte und -höhen für sonstige Bäume ab ca. 10 m Höhe, stark generalisiert

Ziel der Befliegung 2001 war ursprünglich nur die Bereitstellung des 5-m-Höhenrasters. Die Ableitung von Daten zum Baumbestand war aus technischen Gründen nur in einer sehr groben Form und auch nur unvollständig möglich, weil die Baumstandorte der Straßenbäume und der Grünflächenbäume zum Befliegungszeitpunkt erst zu etwa drei Viertel erfasst waren. Dies war zwar vorher bekannt, dennoch sind die genannten Auswertungen zum Baumbestand bewusst ausgeführt worden. Mit Blick auf eine zukünftige Wiederholung der Laserscanner-Befliegung mit verbesserten Parametern sollte insbesondere das städtische Umweltamt frühzeitig für diese Form der Datengewinnung und für die damit gegebenen Möglichkeiten sensibilisiert werden.

Die Richtigkeit dieser Überlegung hat sich bestätigt, als vom Vermessungsamt Mainz für das Frühjahr 2006 ebenfalls eine Laserscanner-Befliegung geplant wurde. Auf der Grundlage der Erfahrungen von 2001 und mit Hilfe erheblich besserer Beispieldaten aus Frankfurt aus dem Jahr 2005, die vom dortigen Stadtvermessungsamt freundlicherweise zur Verfügung gestellt worden waren, konnte das Umweltamt für eine Erweiterung des Befliegungsgebietes auf das Stadtgebiet Wiesbaden und für deren hälftige Mitfinanzierung aus eigenen Budgetmitteln gewonnen werden. Andernfalls wäre für Wiesbaden wegen nicht ausreichender Budgetmittel des Vermessungsamtes die Laserscanner-Befliegung 2006 nicht zustande gekommen, da eine neue Befliegung ursprünglich frühestens für das Jahr 2009 vorgesehen war.

Der Vergleich einiger Parameter verdeutlicht die Unterschiede zwischen beiden Befliegungen und die damit gegebenen verbesserten Auswertemöglichkeiten:

- Erfassungsdichte (Originaldaten):
1 Pkt./5 m² (2001) → 4 Pkt./m² (2006)
- Flächenabdeckung durch Laser-Spots:
ca. 20 % (2001) → ca. 90 % (2006)
- Höhengenaugigkeit (Kanaldeckel):
± 14 cm (2001) → ± 6 cm (2006)

Bei der Befliegung 2006 sind die Datensätze »first echo« und »last echo« aufgezeichnet worden. Aus den Originaldaten beider Datensätze sind für das gesamte Stadtgebiet

fünf Höhenmodelle jeweils als 1-m-Höhenraster berechnet worden (Abb. 1):

- Oberflächenmodell
Grundlage Datensatz »first echo«
- Geländemodell
Grundlage Datensatz »last echo«, Filterung der Geländepunkte, Interpolation der Rasterpunkte für Datenlücken unter Objekten auf dem Gelände (Gebäude,

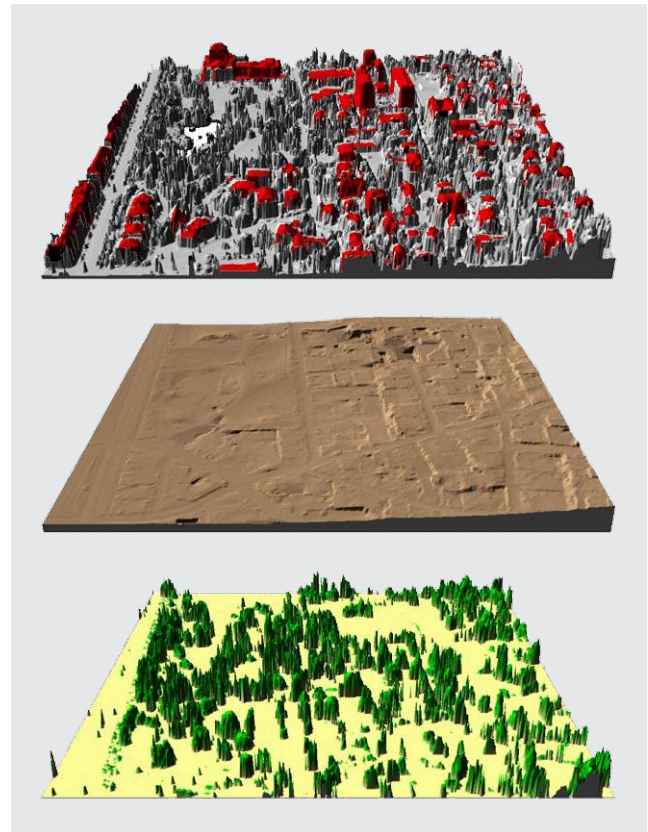


Abb. 1: Höhenmodelle aus Laserscannerdaten (500 m x 500 m): Oberflächenmodell mit Dachflächenmodell, Geländemodell und Vegetationsmodell

- Brücken, Fahrzeuge, dichte Vegetation, ...)
- Objektmodell (ohne Abbildung)
Grundlage Datensatz »last echo«, nur Rasterpunkte zu den vorstehend genannten Objekten auf dem Gelände
- Dachflächenmodell
Rasterpunkte des Objektmodells über den ALK-Gebäudegrundrissen
- Vegetationsmodell
Das Vegetationsmodell ist die Differenz zwischen dem Oberflächenmodell, reduziert um das Dachflächenmodell, und dem Geländemodell, mit relativen Höhen bezogen auf die Geländeoberfläche. In Abstimmung mit dem Umweltamt enthält es nur Vegetationshöhen ab 5 m. Dieser Schwellenwert ist ein Kompromiss: Die dem Vegetationsmodell verfahrensbedingt mit zugeordneten Rasterpunkte auf Fremdobjekten, die keine Vegetation repräsentieren, sind so bereits zu einem Großteil eliminiert (v.a. Punkte auf Fahrzeugen). Dies reduziert den späteren Aufwand für die

interaktive Überarbeitung der Daten erheblich (siehe Abschnitt 3.4). Trotzdem wird mit diesem Schwellenwert der Baumbestand noch in einem für die Zwecke des Umweltamtes ausreichenden Maß erfasst. Darüber hinaus enthält das Vegetationsmodell auch keine Rasterpunkte innerhalb eines Saums von 3 m um die ALK-Gebäudegrundrisse. Damit wird vermieden, dass Rasterpunkte auf Dachflächen (Dachüberstände) dem Vegetationsmodell zugeordnet sind.

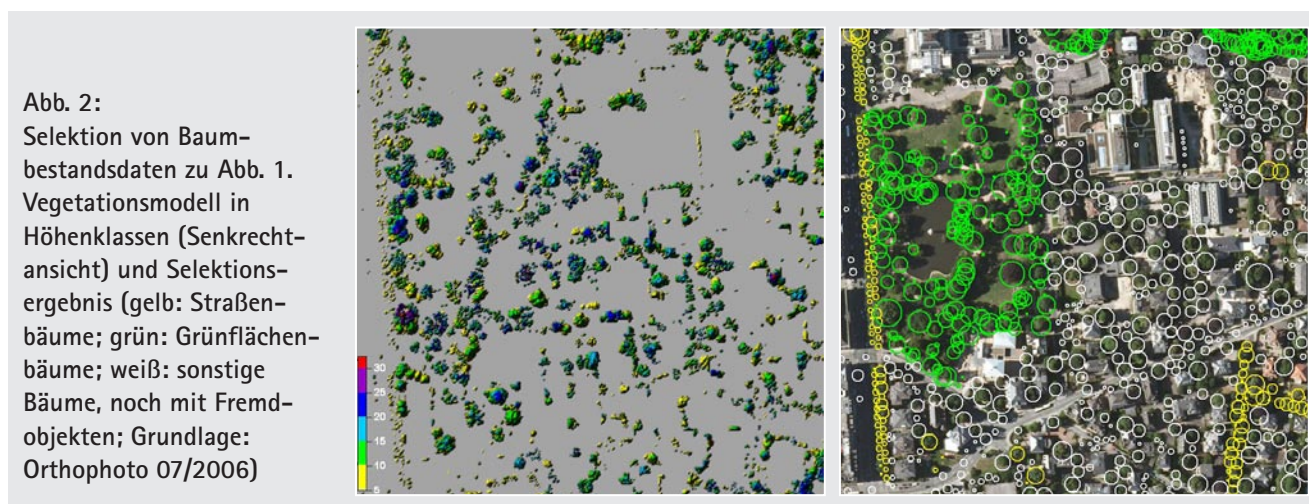
3 Selektion von 3D-Baumbestandsdaten

In der Fachliteratur finden sich zahlreiche Beiträge, die sich mit der Ableitung von Baumbestandsdaten aus Laserscanner-Daten, teilweise auch in Kombination mit Infrarot-Orthophotos, insbesondere für forstwirtschaftli-

mindest in der Weise erkennen, dass die Charakteristik des Baumbestands bezüglich Dichte und Höhe wiedergegeben wird. Für bestimmte Aufgaben im Stadtplanungsamt und im Umweltamt ist bereits dies von großem Interesse (siehe Abschnitt 4). Das Potenzial des Vegetationsmodells sollte deshalb nicht ungenutzt bleiben, sondern mit pragmatischen, kostengünstigen Lösungsansätzen entsprechend weiter aufbereitet werden.

3.1 Straßen- und Grünflächenbäume

Für jeden Straßen- und Grünflächenbaum wurde in einem 3-m-Fangkreis um den Baumstandort der Rasterpunkt des Vegetationsmodells mit der größten Höhe ermittelt, diese auf einen runden Meter-Wert aufgerundet und dem Baum als Baumhöhe zugeordnet (Abb. 2). Kleine Bäume in Grünflächen, die dicht neben größeren Bäu-



che Zwecke befassen. Ihnen gemeinsam ist das Ziel, aus diesen Daten mit einer entsprechenden Auswertesoftware die einzelnen Bäume selektieren und deren Baumhöhen, Kronendurchmesser usw. bestimmen zu können. Daraus lässt sich dann z. B. der für die Forstwirtschaft wichtige Holzvorrat ermitteln. Beispielhaft wird auf die Beiträge von Heurich (2006), Thies et al. (2002) und Weinacker et al. (2002) verwiesen. Soweit dabei auch Laubbaumbestände interessieren, müssen dazu i. d. R. Laserscanner-Daten aus einer Sommer-Befliegung oder von Sommer- und Winter-Befliegungen zusammen verwendet werden.

Die Laserscanner-Befliegung 2006 musste wegen der Ableitung detaillierter Geländemodelle für Mainz und Wiesbaden spätestens im Frühjahr vor dem Laubaustrieb stattfinden. Für eine Anwendung der in den o. g. Arbeiten entwickelten, technisch aufwendigen Verfahren auf das gesamte Stadtgebiet Wiesbaden standen somit keine optimalen Datengrundlagen, vor allem aber keine finanziellen Mittel, zur Verfügung. Die Visualisierung des Vegetationsmodells in Abb. 1 und Abb. 2 lässt jedoch die Eignung dieser Daten für eine weitere Aufbereitung zu-

men stehen, können bei diesem Verfahren eine zu große Baumhöhe erhalten. Baumstandorten ohne Höhenpunkte im Vegetationsmodell innerhalb dieses Fangkreises ist in Abstimmung mit dem Fachamt einheitlich der Höhenwert 4 m zugewiesen worden; solche Fälle betreffen vorwiegend Bäume mit sehr dünnem Astwerk, an dem keine »first echo«-Reflexionen der Laserscanner-Impulse stattgefunden haben.

3.2 Sonstiger Baumbestand

Für die Selektion des sonstigen Baumbestands > 5 m Höhe ist zunächst das Vegetationsmodell wie folgt vorbereitet worden:

- *Elimination der Rasterpunkte innerhalb von Grünflächen und Waldflächen*

Zu diesen Flächen ist keine Selektion erforderlich, weil Grünflächenbäume aufgemessen sind und gemäß Abschnitt 3.1 behandelt werden und weil für Waldflächen entsprechend der Aufgabenstellung keine Selektion erfolgen soll.

- *Elimination der Rasterpunkte um Straßen- und Grünflächenbäume in einem von der Baumhöhe abhängigen Umkreis $R = 0,7H$ mit $R_{min} = 5\text{ m}$*

Diese Radien sind nach Test-Selektionen mit unterschiedlichen Parametern an einer Referenzfläche empirisch als gut geeignet ermittelt worden. Die Einbeziehung der Grünflächenbäume ist insbesondere im Hinblick auf großkronige Bäume am Rand einer Grün-

ergeben per Definition den (genäherten) Baumstandort, die aufgerundete Höhe des Rasterpunktes dessen Baumhöhe

- Elimination der Rasterpunkte um diesen Baumstandort in einem von der Baumhöhe abhängigen Umkreis $R = 0,7H$ mit $R_{min} = 5\text{ m}$
- Wiederholung dieser beiden Schritte so lange, bis alle Rasterpunkte selektiert oder eliminiert sind



Abb. 3: Baumbestandsnachweis, Detail für Ortslage und Feldlage (100 m x 100 m): Stadtgrundkarte und Orthophoto 04/2003

fläche erforderlich, deren Baumkronen teilweise weit über die Grünfläche hinausragen.

- *Elimination der Rasterpunkte im Umkreis von 3 m um die Standorte von Straßenlampen*

Zu den verfahrensbedingt im Vegetationsmodell enthaltenen Objekten, die keine Vegetation repräsentieren, gehören Lampenkörper der Straßenbeleuchtung, die sich i. d. R. in einer Höhe $> 5\text{ m}$ über dem Straßenniveau befinden. Da die Standorte der Lampenmasten im GIS der Stadtwerke Wiesbaden nachgewiesen sind, konnten die betreffenden Rasterpunkte des Vegetationsmodells mit Hilfe dieser Daten weitgehend vorab eliminiert werden.

Für die Ortslagen sind so rund 108.000 Bäume, für die Feldlagen rund 160.000 Bäume selektiert worden. Das Ergebnis ist ein generalisierter Nachweis des sonstigen Baumbestands, der allerdings noch Fremdobjekte enthält (Abb. 2). Der genaue Standort eines selektierten Baumes kann bis zu ca. $\pm 5\text{ m}$ vom Selektionsergebnis abweichen. Solitär bäume werden vollständig erfasst, der Bestand von geschlossenen Baumreihen, Baumgruppen und Gehölzen ist je nach deren Baumhöhen ausgedünnt bzw. lückenhaft wiedergegeben. Bäume an Grundstücksgrenzen, deren Baumkronen über die Grundstücksgrenze hinausragen, können im Nachbargrundstück platziert sein, Bäume auf Grundstücken an der Grenze zum Straßenraum somit im Straßengrundstück.

Die Selektion der sonstigen Bäume aus der so bereinigten Datenbasis ist iterativ mit einer einfachen Strategie erfolgt:

- Ermittlung des Rasterpunktes im Selektionsgebiet mit der größten Höhe; die Koordinaten dieses Punktes

3.3 Unterscheidung Laubbaum/Nadelbaum

In einer vom Vermessungsamt Wiesbaden initiierten Diplomarbeit ist untersucht worden, ob die Daten der Laserscanner-Befliegung 2006 auch für eine automatische Unterscheidung von Laubbäumen und Nadelbäumen geeignet sind (Schmidt 2007). Dazu sind drei Ansätze gewählt worden, für die jeweils die Originaldaten der Beflie-

der Geländeoberfläche, zum Teil bereits im Astwerk oder an der Oberfläche der Baumkrone. Die Durchdringungsrate als Anteil der Geländepunkte an den »last echo«-Daten ist deshalb ein geeignetes Kriterium für eine Unterscheidung Laubbaum/Nadelbaum.

Für diese Unterscheidung über den gesamten Baumbestand in den Ortslagen und in den Feldlagen mit Aus-



Abb. 4: Baumbestandsnachweis, Übersicht (4 km x 4 km): Orthophoto 07/2006 und Datenbank »Vegetation«

gung 2006 mit der o.g. mittleren Erfassungsdichte von 4 Pkt./m² verwendet worden sind. Die Ergebnisse dieser drei Ansätze lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1) Form der 3D-Punktwolke der »first echo«-Daten

Im Idealfall haben Baumkronen von Laubbäumen bzw. Nadelbäumen die Form einer genäherten Kugel- bzw. Kegel-Oberfläche. Bei einer Sommer-Befliegung finden sich diese Formen in der Punktwolke der »first echo«-Daten hinreichend wieder, nicht jedoch bei einer Frühjahrs-Befliegung, insbesondere nicht bei Laubbäumen wegen der noch fehlenden Belaubung. Hier erfolgt die erste Reflexion der Laserimpulse teilweise an tiefer gelegenen Stellen im Astwerk, teilweise sogar erst an der Geländeoberfläche. Die Ergebnisse der Frühjahrs-Befliegung 2006 sind deshalb für diesen Ansatz wenig geeignet.

2) Höhenverteilung der als »first echo« und »last echo« reflektierten Laserimpulse in den Baumkronen

Die Reflexion der am bzw. im Baum insgesamt reflektierten Laserimpulse ist daraufhin untersucht worden, ob diese sich – so die Vermutung – bei Nadelbäumen im Bereich der unteren Schichten und bei Laubbäumen im Bereich der oberen Schichten häufen. Diese Vermutung hat sich nicht bestätigt.

3) Durchdringungsrate der »last echo«-Daten

Bei den im Vergleich zu unbelaubten Laubbäumen i. d. R. erheblich dichteren Nadelbäumen können die Laserimpulse das Astwerk nur teilweise durchdringen. Die letzte Reflexion erfolgt deshalb nur zum Teil an

nahme der Straßenbäume, die per Definition Laubbäume sind, ist deshalb der Ansatz 3) weiter verfolgt worden. Dazu sind jedoch nicht die unregelmäßig angeordneten »last echo«-Originaldaten, sondern die gleichmäßig angeordneten Rasterpunkte des o.g. Objektmodells verwendet worden. Für jeden Baum ist die Anzahl n der im Objektmodell enthaltenen Rasterpunkte innerhalb des 3-m-Fangkreises um den Baumstandort ermittelt worden. Bei $n > 50\%$ der maximal möglichen Rasterpunkte ist der betreffende Baum als Nadelbaum klassifiziert worden.

Das Ergebnis dieser Selektion von Nadelbäumen ist an sechs Referenzflächen mit unterschiedlichen Baumbestands-Charakteristiken und unterschiedlichen Nadelbaum-Anteilen örtlich überprüft worden. Insgesamt ergibt sich daraus:

- Von den in der Ausgangsmenge enthaltenen Nadelbäumen werden ca. 65% selektiert.
- Ein selektierter Nadelbaum ist mit einer Wahrscheinlichkeit $> 80\%$ auch tatsächlich ein Nadelbaum.
- Der Nadelbaum-Anteil wird sowohl lokal, z.B. für einige Baublöcke, als auch großflächig, z.B. für einen Stadtbezirk, mit einer Wahrscheinlichkeit $> 90\%$ richtig erfasst.

3.4 Interaktive Überarbeitung der Selektionsergebnisse

Wegen der verfahrensbedingt möglichen Einschränkungen und Mängel der Ergebnisse sind diese nach Übernahme in das städtische GIS anhand der Orthophotos 04/2003 und/oder 07/2006 systematisch gesichtet und teilweise interaktiv überarbeitet worden.

Zu Straßenbäumen ist in geringem Umfang, zu Grünflächenbäumen in wenigen besonders signifikanten Ausnahmefällen eine Korrektur der Baumhöhen mit Hilfe der Baumschatten in den Orthophotos erfolgt.

Die Überarbeitung der selektierten sonstigen Bäume war aufwendiger. Sie umfasste die Elimination von Fremdobjekten insbesondere im Straßenraum, das (geringe) Verschieben von Baumstandorten vom Rand des Straßenraums auf die angrenzende Grundstücksfläche, das Entfernen von Baumstandorten auf Waldflächen und an Waldrändern sowie vereinzelt die Ergänzung von Baumstandorten und die Korrektur von Baumhöhen anhand der Orthophotos.

Die selektierten Nadelbäume sind nicht interaktiv gesichtet und ggf. bezüglich der Baumart geändert worden. Korrekturen sollen hier nur nach entsprechenden Hinweisen der Datennutzer erfolgen.

4 Bereitstellung und Nutzung der Ergebnisse

Die 3D-Baumbestandsdaten sind in einer gesonderten Datenbank »Vegetation« zur Stadtgrundkarte abgelegt. Sie können im städtischen Intranet zusammen mit der Stadtgrundkarte und mit Orthophotos in 2D angezeigt (Abb. 3 und 4) und zusätzlich in 3D visualisiert werden. Auch die Präsentation des 3D-Stadtmodells in »Wiesbaden3D mit Google Earth« ist entsprechend erweitert worden (Abb. 5).



Abb. 5: »Wiesbaden3D mit Google Earth« mit 3D-Bäumen (www.wiesbaden.de/3d)

Im Umweltamt werden diese Daten für allgemeine Informationszwecke, für Übersichten und für die Arbeitsvorbereitung in den Aufgabengebieten Landschaftsanalytik, Landschaftsplanung, Baumschutz und Baumkontrolle genutzt, im Stadtplanungsamt vor allem für 2D- und 3D-Visualisierungen bei Vorhaben der Bauleitplanung, der Grünplanung und der Freiraumplanung.

Von besonderem Interesse für das Umweltamt ist die Unterscheidung von Laubbäumen und Nadelbäumen auch schon in der beschriebenen generalisierten Form. Laubbäume und Nadelbäume unterscheiden sich signifikant bezüglich ihrer ökologischen Bedeutung und ihrer Auswirkungen auf das Stadtklima. Eine entsprechende Differenzierung des Baumbestands und die Verfügbarkeit dieser Daten in Vektorform liefern deshalb wichtige Grundlagen für Analysen und Strategien zur Durchgrünung von Stadtteilen und damit für die weitere städtische Grünplanung.

Dieser fachliche Bedarf an bisher nicht vorhandenen grundlegenden Daten lässt erwarten, dass aus den Ergebnissen einer späteren abermaligen Laserscanner-Befliegung – dann als Sommer-Befliegung – mit einer verfeinerten Methodik eine detaillierte Selektion des Baumbestands aus den Laserscanner-Daten realisiert und auch finanziert werden kann.

Literaturverzeichnis

- Gertloff, K.-H.: Aufbereitung und Nutzung von Laserscanning-Daten in der Landeshauptstadt Wiesbaden. zfv 129, S. 195–201, 2004.
- Gertloff, K.-H. u. Fricke, L.: Das digitale 3D-Stadtmodell Wiesbaden – ein besonderer Weg zum Ziel. zfv 131, S. 176–182, 2006.
- Heurich, M.: Evaluierung und Entwicklung von Methoden zur automatisierten Erfassung von Waldstrukturen aus Daten flugzeugtragener Fernerkundungssensoren. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 202, 2006.
- Schmidt, D.: Untersuchungen zur Auswertung von Airborne-Laserscannerdaten in der Umweltanalytik. Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden, 2007 (unveröffentlichte Diplomarbeit).
- Thies, M., Koch, B., Spiecker, H.: Einsatzmöglichkeiten von Laserscannern für Wald- und Landschaftsinventuren. AFZ – Der Wald / Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge, 57, S. 395–397, 2002.
- Weinacker, H., Diedershausen, O., Koch, B.: NATSCAN – dreidimensionale lasergestützte Erfassung von landschaftsbildenden Elementen. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Band 11, S. 107–116, 2002.

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Gertloff
Landeshauptstadt Wiesbaden
Vermessungsamt
Gustav-Stresemann-Ring 15, 65189 Wiesbaden
vermessungsamt@wiesbaden.de