

## Städtisches Grünvolumen – neuer Basisindikator für die Stadtökologie? Bestimmungsmethodik und Ergebnisbewertung

Gotthard MEINEL, Robert HECHT, Wolfgang SOCHER

(Dr. Gotthard Meinel, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Weberplatz 1, 01217 Dresden, [G.Meinel@ioer.de](mailto:G.Meinel@ioer.de); Robert Hecht, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Weberplatz 1, 01217 Dresden, [R.Hecht@ioer.de](mailto:R.Hecht@ioer.de);  
Wolfgang Socher, Umweltamt der Landeshauptstadt Dresden, Postfach 120012, 01001 Dresden, [WSocher@dresden.de](mailto:WSocher@dresden.de))

### 1. PROBLEM

Städtisches Grün ist unverzichtbar und erfüllt direkt und indirekt elementare ökologische Funktionen (Biotopfunktion, CO<sub>2</sub>-, O<sub>2</sub>-Bilanz, Temperatursenkung, Staubfilterung, Grundwasserneubildung etc.). Durch Baumschatten und Verdunstungskälte mindert es das Aufheizen versiegelter Flächen. Zudem bilden Parkanlagen Oasen der Ruhe und Erholung und erfüllen somit eine soziale Funktion. Laut Umfrage (bundesweite Umfrage der Bürgerzufriedenheit mit kommunalen Grünflächen 2004) suchen 23 % der Bevölkerung täglich und 53 % 1- bis 3-mal wöchentlich Grün- und Parkanlagen auf.

Wegen der Bedeutung des Stadtgrüns werden seitens der Stadtplanung zunehmend Indikatoren für eine quantitative Beschreibung der Vegetation gesucht. Als Pendant zu den Indikatoren der baulichen Nutzung wie der Grundflächenzahl (GRZ) und der Geschossflächenzahl (GFZ) können die vegetationsbezogenen Indikatoren Biotopflächenfaktor (BFF), Bodenfunktionszahl (BFZ), Durchgrünungsgrad oder die Grünvolumenzahl (GVZ) mit ihrer ökologischen Aussagekraft sein (u. a. Heber 1993, Kenneweg 2002). Der in Forst und Landwirtschaft häufig verwendete Blattflächenindex (LAI) ist für Fragestellungen in der Stadtumweltplanung weniger aussagekräftig, berücksichtigt er doch nicht die Vegetationshöhe, die aber für viele Wirkungen von Vegetation in der Stadt wie Lärminderung, Staubbildung, Verdunstung, Beschattung und auch die Erholung bedeutungsvoll ist.

Während für den Grünflächenanteil (Durchgrünungsgrad) eine zweidimensionale Erfassung ausreicht, ist für die Berechnung des Grünvolumens zwingend eine dreidimensionale Erhebung erforderlich. Teilweise von den Städten geführte Baumkataster können zwar eine Datengrundlage von Grünvolumenerhebungen sein, erfassen den Baumbestand aber nur sehr selektiv (meist nur Straßenbäume). Flächendeckende städtische Grünkartierungen sind sehr kosten- und zeitaufwändig, sodass eine Grünvolumenkartierung in der Praxis nur für wenige lokale Planungsvorhaben erfolgt. In der Stadtplanung werden daher vereinfachend Grünvolumen in Abhängigkeit der zugrunde liegenden Bedeckungsart von Bezugsflächen geschätzt (Arlt et al. 2003). Diese konventionellen Verfahren besitzen aber einen hohen Verallgemeinerungsgrad, da sie nur auf repräsentative Einzelflächenaufnahmen mit einer anschließenden Extrapolation auf die Fläche beruhen.

Im Zuge der zunehmenden Verfügbarkeit dreidimensionaler Messungen auf Laserscannerbasis scheint es sinnvoll, derartige Daten zur Bestimmung städtischen Grünvolumens zu verwenden. Problematisch ist, dass städtische Laserscannerbefliegungen zur Erstellung eines hochwertigen Geländemodells (wo Vegetation störend wirkt) zu 90 % in laubfreier Zeit stattfinden. Fraglich war es nun, ob das Messsignal trotz der fehlenden Vegetation ausreichend ist, um die Vegetation zu rekonstruieren, denn allein für die laserscanbasierte Aufnahme städtischer Vegetationshöhen fehlen den Kommunen die finanziellen Mittel.

Nach dem Elbe-Hochwasser erfolgte im Dezember 2002 im Auftrag des Stadtvermessungsamtes Dresden eine Laserscannerbefliegung der Stadtfläche Dresdens. Da das Ziel in der Erstellung eines hochgenauen Digitalen Geländemodells (DGM) als Grundlage für Hochwassermodellierungen bestand, wurde die erste (Firstpulse) und letzte Reflexion (Lastpulse) des Lasersignals zwar aufgezeichnet, aber aus Kostengründen und da vom Auftraggeber nicht ausdrücklich gefordert nur der Lastpulse prozessiert. Da gerade der Firstpulse ein wichtiges Vegetationshöhsensignal liefert, gingen wichtige Informationen verloren. Mit dieser suboptimalen Datenlage liegen allerdings typische Ausgangssituationen vor, die die nachfolgenden Arbeiten praxisnahe und sinnvoll erscheinen lassen.

### 2. METHODIK DER BESTIMMUNG STÄDTISCHEN GRÜNVOLUMENS

Grundlage der Untersuchungen war eine Laserscanbefliegung der Stadt Dresden im Dezember 2002 mit einem Optech ALTM 1225 (rotierender Spiegel) der Firma Topscan mit einer Punktdichte von 1,1 Punkten/m<sup>2</sup> (TopScan, Projektbericht, 2002). Neben den Messpunkten (nur Lastpulse), die klassifiziert waren nach Bodenpunkten, Oberflächenpunkten, Kunstbauten und Stabilisierungspunkten wurden seitens der Firma auch ein mittels der Software SCOP++ aus den Bodenpunkten interpoliertes Digitales Geländemodell (DGM) und ein aus allen Messpunkten mittels Maximalfilter berechnetes Digitales Oberflächenmodell (DOM) jeweils in einer Rasterweite von 1 m geliefert.

Zur Analyse des Laserantwortverhaltens in verschiedenen Vegetationstypen wurden für ein 520 x 514 m großes Untersuchungsgebiet Vegetationshöhen auf Basis von hochauflösenden Luftbildern photogrammetrisch gemessen und anschließend zu einem normalisierten Oberflächenmodell der Vegetation (Referenz-Vegetations-nDOM) interpoliert. Über die Aufnahme von Referenzflächen für drei Hauptvegetationstypen (Strauch, Nadelbaum, Laubbaum) konnten die Laserscannerdaten dann evaluiert werden.

Hauptproblem der Bestimmung des Grünvolumens aus Laserscandaten laubfreier Befliegungszeit ist das ungenügende Reflexionssignal von Laubbäumen. Der Laserstrahl wird durch das wenig dichte Astwerk von Laubbäumen häufig erst von unteren Zweigen, dem Stamm oder auch überhaupt nicht reflektiert. Andererseits wird die Oberfläche und damit das Volumen von Nadelbäumen und Sträuchern sehr gut wiedergegeben (Meinel & Hecht 2004). Tabelle 1 zeigt die stark unterschiedlichen Messergebnisse für die Vegetationsarten Sträucher, Nadel- und Laubbaum im Vergleich zu einer photogrammetrischen Referenzmessung. Letztere werden bei der Nutzung des originalen Lasersignals in der Höhe um 64 % und in Volumen gar um 93 % unterschätzt.

Vegetationstyp	Strauch (<3 m)	Nadelbaum (3-30 m)	Laubbaum (3-30 m)
Anzahl Referenzflächen	28	32	67
Referenzflächen [m <sup>2</sup> ]	977	1 924	34 476
Mittlerer Quotient Laseroberflächen-/Lasergesamtpunkte [%]	52,0 (23,6)	89,4 (7,5)	5,5 (4,3)
Mittlere Referenzmesspunkthöhe [m]	2,4 (1,6)	12,7 (5,6)	15,6 (5,0)
Mittlere Lasermesspunkthöhe der Oberflächenpunkte [m]	2,2 (1,2)	13,2 (5,3)	5,6 (6,5)
Mittleres Referenz-Grünvolumen der Referenzflächen [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,6 (0,7)	11,2 (4,3)	10,9 (5,0)
Mittleres Lasergrünvolumen der Referenzflächen [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,4 (0,7)	11,4 (3,5)	0,8 (0,5)
Mittlere Volumendifferenz der Referenzflächen [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	+0,2	-0,2	+10,2
Spezifisches Referenz-Grünvolumen über alle Flächen [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,80	12,13	14,63
Spezifisches Lasergrünvolumen über alle Flächen [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,41	11,74	0,70
Spezifische Volumendifferenz über alle Flächen [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	+0,39	+0,39	+13,92

Tab. 1: Referenz- und Lasermodell im Vergleich auf Basis von typendifferenzierten Referenzflächen (Standardabweichungen in Klammern)

Andererseits ergibt der Quotient aus der Anzahl von Laseroberflächenpunkten und der Gesamtzahl aller Laserpunkte in einem lokalen Fenster von 6 m (entspricht der relativen Punktdichte) sowie die Höhe der Oberflächenpunkte ein gutes Kriterium der Trennung der verschiedenen Vegetationsbestände. Abbildung 1 zeigt die drei Hauptvegetationsarten in dem von „Vegetationshöhe“ und berechneter „relativer Punktdichte“ aufgespannten Merkmalsraum. Messpunkte in Sträuchern zeichnen sich durch eine geringe Höhe und eine weite Spannbreite von Oberflächenpunktdichten aus. Oberflächenpunkte im Baumbestand sind in der Regel über 2 Meter hoch, während der Laubbaumbestand mit dem Kriterium „relative Punktdichte“ gut von dichtem Nadelbaumbestand getrennt werden kann.

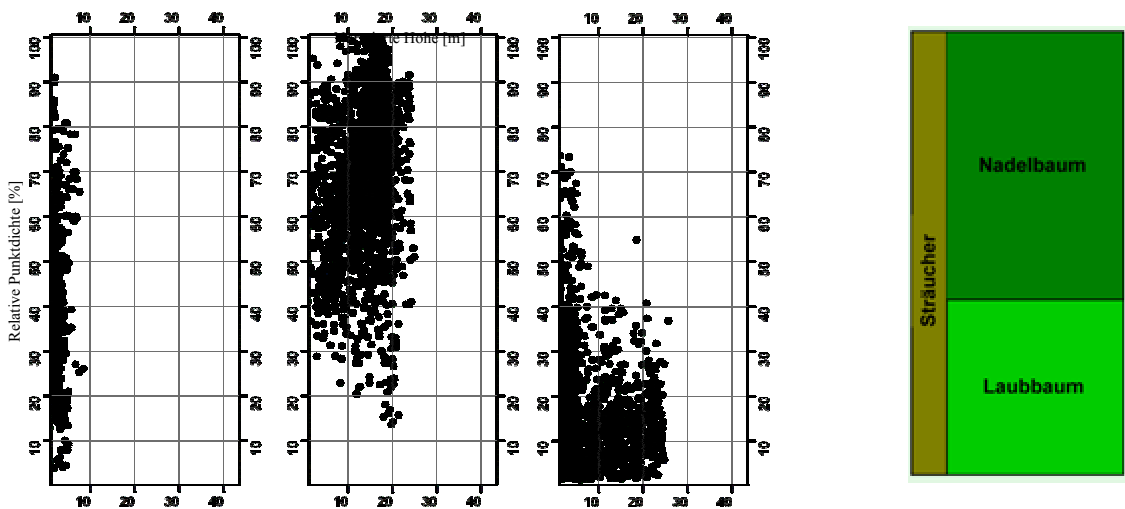


Abb. 1: Verteilung der Vegetationsarten Strauch (links), Nadelbaum (Mitte) und Laubbaum (rechts) im zweidimensionalen Merkmalsraum sowie schematische Darstellung der Vegetationstrennung

Die derart getrennten Vegetationsbestände müssen somit unterschiedlich rekonstruiert werden. Dafür bieten sich Zylinder an, welche mithilfe jeweils lokal ermittelten Indikatoren in Zylinderhöhe und -radius gesteuert werden. Diese werden für jeden Oberflächenpunkt im Laubbaumbestand in das interpolierte Laser-nDOM gesetzt. Der virtuelle Zylinderradius kompensiert dabei den Flächenverlust, während die virtuelle Zylinderhöhe dem „Höhenverlust“ entgegenwirkt.

Da die Klassifizierung der Oberflächenpunkte in Vegetationstypen keine scharfen Grenzen aufwies (Abb. 1), erfolgte die Definition unscharfer Mengen (Fuzzy-Mengen) für die Klassifizierung (Meinel & Hecht 2005). Die Zugehörigkeitsfunktionen wurden jeweils für die relative Punktdichte und die normierte Höhe aufgestellt. Mithilfe der Fuzzy-Logik lassen sich dann regelbasiert die Zylinder in Höhe und Radius über die Eingangsgrößen relative Punktdichte und normierte Höhe für jeden Oberflächenpunkt steuern. Eine Regel des Fuzzy-Modells zur Radiussteuerung wäre z. B.: „Wenn die normierte Höhe hoch und die relative Punktdichte niedrig ist, dann konstruiere einen großen Zylinderradius“ (Laubbaumrekonstruktion); „Wenn die normierte Höhe sehr niedrig und die relative Punktdichte hoch ist, dann konstruiere keinen Zylinderradius“ (Strauchwerk – benötigt keine Rekonstruktion). Da es zu räumlichen Überschneidungen der Zylinder kommt, werden diese nach dem Prinzip der Höhendominanz

in das Vegetations-nDOM gesetzt. Die Aufstellung der Zugehörigkeitsfunktionen, der Regeln und der Ausgangsvariablen erfolgte auf Basis der in Abbildung 1 gezeigten empirischen Erhebungen. Durch Ausschlusskriterien (z. B. ein Laubbaum ist mindestens 2,5 Meter hoch) und Optimierungen auf Basis der Referenzmessungen erfolgte ein wissenschaftlicher Eingriff in die initialen Fuzzy-Modelle.

Im Ergebnis des komplexen Rekonstruktionsverfahrens wurden die in Tabelle 2 gezeigten Ergebnisse erzielt.

Vegetationstyp	Strauch (<3 m)	Nadelbaum (3-30 m)	Laubbaum (3-30 m)
Referenz Grünvolumen in Summe [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,80	12,13	14,63
Unkorrigiertes Laser-Grünvolumen in Summe [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,41	11,75	0,70
Korrigiertes Laser-Grünvolumen in Summe [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,84	12,09	14,60
Volumendifferenz im Vergleich zur Referenz [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	-0,04	0,04	0,03

Tab. 2: Korrigiertes Laser-Grünvolumen im Vergleich zur Referenz

Die Ergebnisse zeigen die Volumendifferenz im Vergleich des 2,5-dimensionalen Referenzmodells und lassen die Kronenform vorerst unberücksichtigt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Da zumindest die meisten Laubbäume eine mehr kugel- als zylinderförmige Krone besitzen, musste in dem Laubbaumbestand noch mit einem Abschlagsfaktor gearbeitet werden, der aus der mittleren Silhouette von Laubbäumen über die Statistik des Laubbaumbestandes der Stadt Dresden ermittelt wurde (0,63). Dieser Abschlagsfaktor wurde in das Fuzzymodell zur Berechnung der Zylinderhöhe integriert, wird allerdings nur für den Laubbaumbestand wirksam.

Die Datenprozessierung erfolgte für das gesamte Stadtgebiet Dresden. Zur Eliminierung anthropogener Objekte, wie Gebäude, Fahrzeuge etc. wurde eine Vegetationsmaske auf Basis eines Luftbildes erzeugt, und es wurden nur die Oberflächenpunkte übernommen, welche dem Typ Vegetation angehörten. Durch die geringe Höhe von Rasen und Wiese werden diese nicht im Lasersignal vom Bodensignal getrennt und somit nicht erfasst. Andererseits machen Rasen- und Wiesenflächen einen erheblichen Teil der Stadtfläche aus (im Mittel 50 % Flächenanteil in deutschen Kernstädten, Arlt 2003). Um auch diese Flächen im Grünvolumen zu berücksichtigen, wurden sie auf Basis des Vegetations-nDOM, der erzeugten Vegetationsmaske und der Stadtstrukturtypenkarte Dresden erfasst und mit einer konstanten Höhe von 0,1 m (Großmann 1984) versehen. Die Ackerschläge, die bei laubfreien Laserscanbefliegungen in ihrer Vegetationshöhe nicht erfassbar sind, wurden ebenfalls auf Basis des Vegetations-nDOM, der Vegetationsmaske und der Stadtstrukturtypenkartierung in ihrer Flächenausdehnung erfasst und mit einer konstanten Vegetationshöhe von 0,5 m versehen. Da in der Literatur kein mittlerer Vegetationshöhenwert für Ackerflächen gefunden werden konnte, entspricht der Wert einer Abschätzung, die sowohl die unterschiedlichen Fruchtarten als auch die starke saisonale Veränderung im Jahreslauf berücksichtigt. Das Vegetations-nDOM wurde für die entsprechenden Flächen mit den mittleren Vegetationshöhen beaufschlagt.

Der Arbeitsablauf erfolgte mithilfe von AML-Programmen (Arc Macro Language) in ArcGIS, welche die Prozessierungsschritte angesichts der 330 Mill. Laserpunkte blockweise abarbeiten. Den Verfahrensablauf zeigt Abbildung 2. Als Ergebnis liegt ein rasterbasiertes Vegetations-nDOM mit einer räumlichen Auflösung von 1 m vor. Durch Verschneidung der Geometrien der digitalen Blockkarte 1 : 5 000 wurden den Baublöcken die Attribute des Grünvolumens und der Grünflächenanteile übergeben.

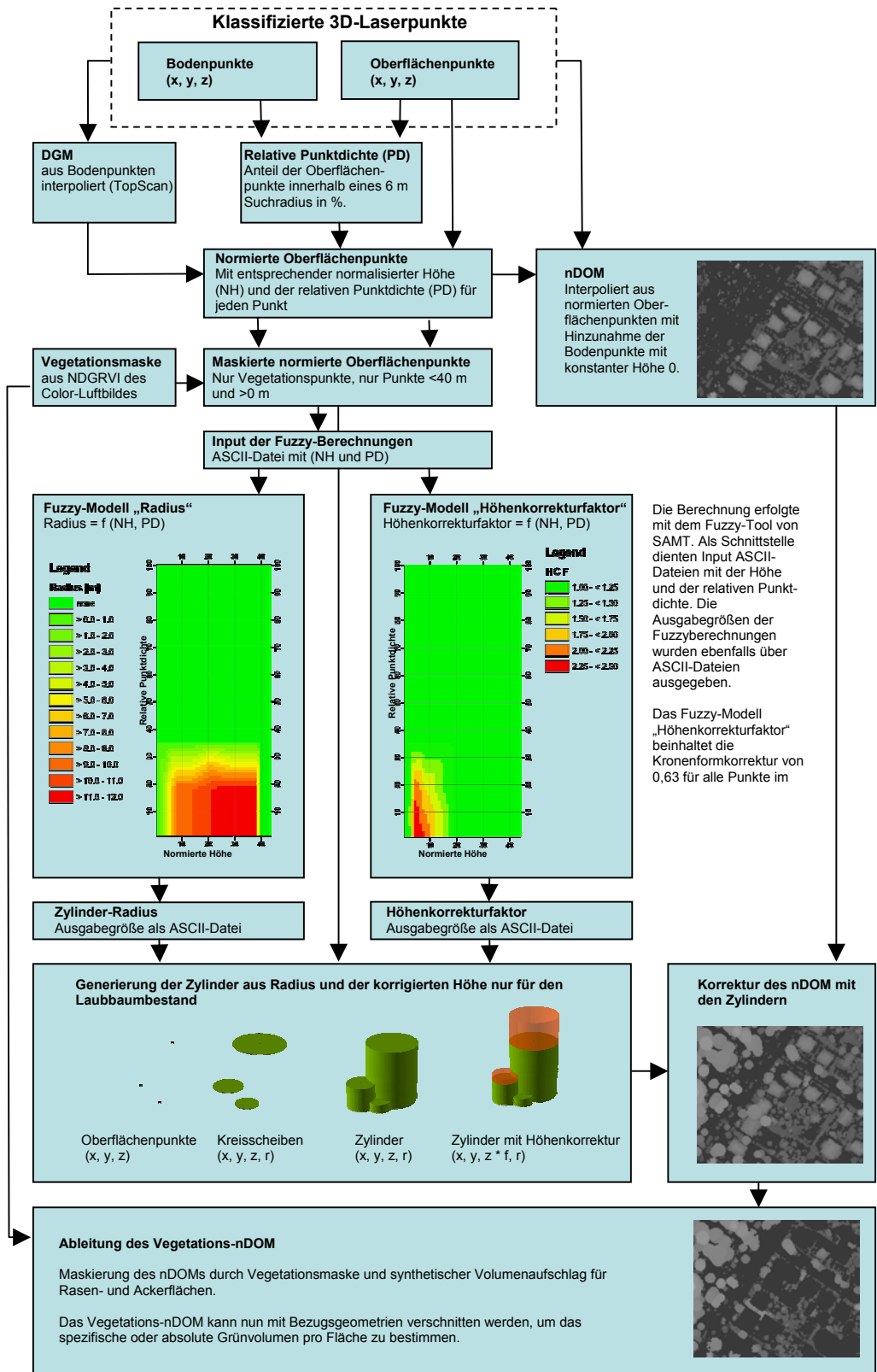


Abb. 2: Verfahren zur Berechnung eines Vegetations-nDOM auf Basis von Laserscannerdaten

### 3 GENAUIGKEIT DER ERGEBNISSE DER GRÜNVOLUMENBESTIMMUNG

Die Bestimmung der Genauigkeit des Vegetations-nDOM ist angesichts der nur sehr begrenzt zur Verfügung stehenden Referenzdaten schwierig. So standen weder flächendeckende Daten einer Laserscanbefliegung aus der Vegetationsperiode zur Verfügung und das auf Luftbildbasis photogrammetrisch ermittelte Referenz-Vegetations-nDOM deckt nur 0,08 % der Gesamtfläche Dresdens ab. Die Verwendung dieses Referenzmodells für eine Teilfläche von 25 ha wurde zur Modellkalibrierung benutzt und war

für die Genauigkeitsbestimmung darum nur bedingt einsetzbar. Genauigkeitskontrollen konnten aber auf Basis von verorteten Straßenbäumen des Baumkatasters durchgeführt werden. Hier kam es zu einer Unterschätzung des Grünvolumens in Höhe von 30 %, welche auf die in der Regel doch relativ niedrigen und kleinkronigen Bäume im Verkehrsraum zurückzuführen ist. Weiterhin wurden Vergleiche mit dem Forst-GIS (FGIS) und der gekoppelten Walddatenbank durchgeführt, die allerdings nur Daten für die Waldflächen der Stadt beinhaltet. Das Grünvolumen aus dem FGIS wurde aus den sehr komplex strukturierten Daten (Schichthöhen, mittlerer Bestandesschluss, Anteil bestandener Fläche) ermittelt und sind daher nur bedingt mit den Laserscannerdaten vergleichbar. Hier ergab sich eine Unterschätzung des Grünvolumens von 19,4 %.

Im Ergebnis der Untersuchungen muss festgestellt werden, dass durch die suboptimalen Aufnahmebedingungen des Laserfluges für die Vegetationsbestimmung keine sichere Erkennung und Rekonstruktion von Einzelbäumen erfolgen kann. Hier sind die Grenzen insbesondere bei den einzeln stehenden und häufig auch nur kleinen Straßenbäumen schnell erreicht (es wurden nur 3 478 der 6 809 Bäume erfasst, 51 %). Für eine sichere Erkennung auch dieses Baumbestandes müssen First- und Lastpulse einer Laserscanbefliegung (möglichst in der Vegetationsperiode) vorliegen.

Das Differenzmodell (Laser-Vegetations-nDOM – Referenz-Vegetations-nDOM) des Untersuchungsgebietes soll Aufschluss über die Genauigkeiten geben. Es wird dabei deutlich, dass in dem berechneten Vegetations-nDOM mit einer Rasterzellenaufösung von 1 m örtlich mit erheblichen Fehlern gerechnet wird. Über größere Flächeneinheiten aber mittelt sich hier der Fehler aus und es ist eine recht genaue Angabe des Grünvolumens möglich, wie Tabelle 3 zeigt.

Rasterweite [m]	Zellgröße [m²]	Standardabweichung des Differenz-nDOM [m³/m²]	Korrelationskoeffizient
1	1	6,2 (158 %)	0,65
5	25	4,9 (125 %)	0,73
10	100	3,9 (99 %)	0,79
15	225	3,2 (80 %)	0,84
20	400	2,7 (69 %)	0,87
25	625	2,4 (62 %)	0,89
30	900	2,1 (53 %)	0,91
35	1 225	1,9 (47 %)	0,92
40	1 600	1,7 (44 %)	0,93
45	2 025	1,5 (38 %)	0,94
50	2 500	1,5 (37 %)	0,94
55	3 025	1,4 (35 %)	0,95
60	3 600	1,3 (33 %)	0,95
65	4 225	1,3 (32 %)	0,95
70	4 900	1,2 (29 %)	0,95
75	5 625	1,0 (25 %)	0,97
80	6 400	1,1 (28 %)	0,96
85	7 225	1,0 (27 %)	0,96
90	8 100	1,0 (25 %)	0,96
95	9 025	1,1 (28 %)	0,96
100	10 000	0,9 (24 %)	0,97

Tab. 3: Standardabweichung des Differenz-nDOM und Korrelation zwischen dem Laser- und Referenz-Vegetations-nDOM in Abhängigkeit der Rasterweite

Sehr deutlich werden mit zunehmender Rasterweite (und damit größerer geometrischer Auflösung) die Verringerung des Fehlers und die zunehmende Korrelation mit der Referenzerhebung. Ab einer Fläche von 1 ha ist der Fehler nur noch minimal. Darum ist eine sinnvolle Bezugsgröße für die Berechnung des Grünvolumens der Baublock mit seiner mittleren Größe von 1,5 ha, der als Basisgeometrie den Städten zur Verfügung steht und eine genügend kleinteilige Bestandsanalyse und Planung ermöglicht. Auch ist die Genauigkeit des ermittelten Grünvolumens stark von der vorliegenden Vegetation abhängig. Bei einer komplett mit Nadelbäumen oder Sträuchern bestandenen Fläche kann man mit sehr geringen Abweichungen rechnen, da für diese Flächen kaum Volumenkorrekturen notwendig sind. Abbildung 3 zeigt das Untersuchungsgebiet im Vergleich von Referenzerhebung und Endergebnis der laserscanbasierten Berechnung.

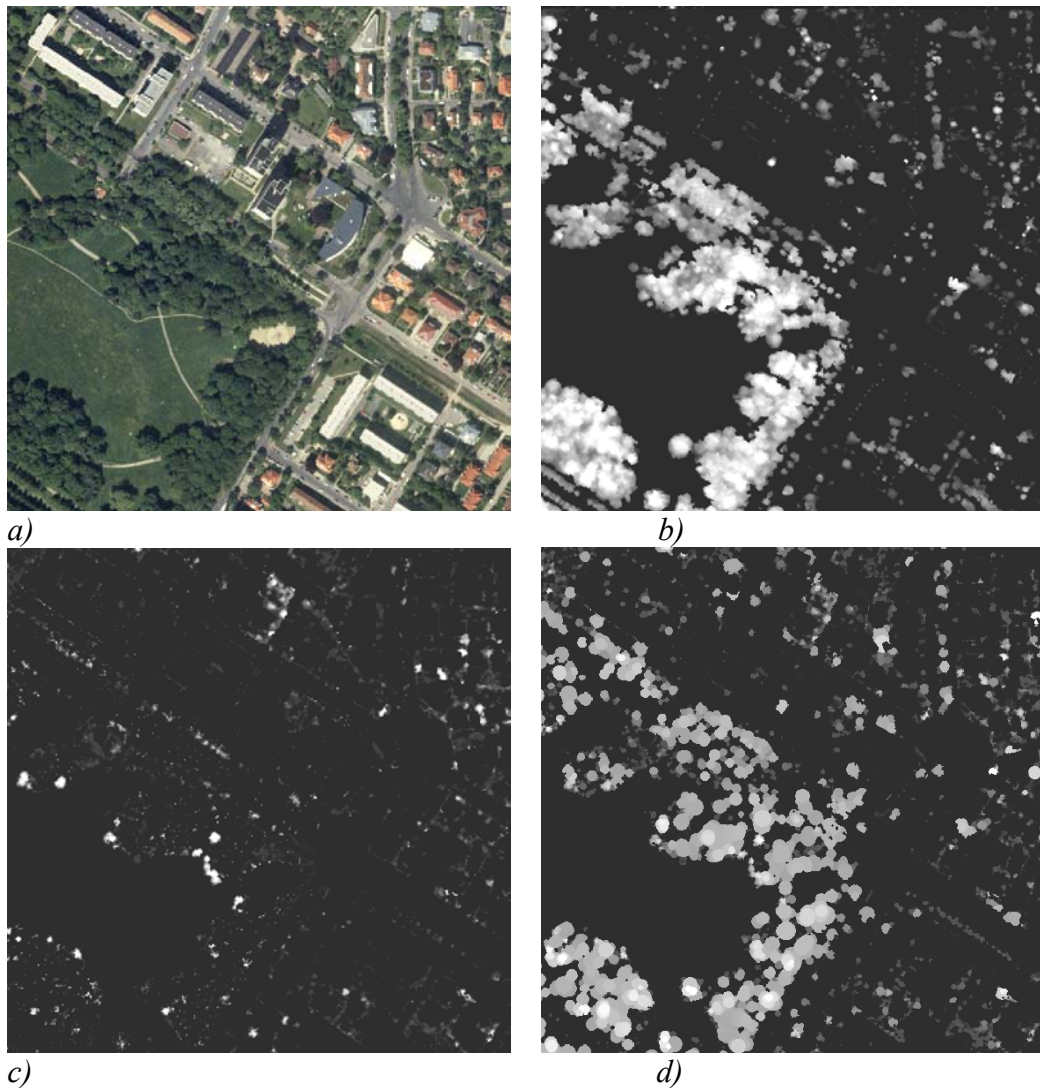


Abb. 3: Untersuchungsgebiet Bertolt-Brecht-Platz: a) Luftbild (August 2002), b) photogrammetrisch erhobenes Referenz-Vegetations-nDOM, c) unkorrigiertes laserbasiertes Vegetations-nDOM, d) korrigiertes laserbasiertes Vegetations-nDOM

#### 4 GRÜNVOLUMEN STÄDTISCHER STRUKTURTYPEN

Im Ergebnis einer Verschneidung des rasterbasierten Vegetations-nDOM und der digitalen Baublockkarte der Stadt Dresden wurden für jeden der 16 743 Blöcke der Stadt das absolute und das spezifische (flächenbezogene) Grünvolumen sowie der Grünvolumen- und der Vegetationsflächenanteil getrennt für die Vegetationstypen Rasen/Wiese, Acker, niedrige (Sträucher), hohe lockere (Laubbäume) und hohe dichte (Nadelbäume) berechnet und auch in Kartenform ausgegeben.

Auf Basis der digitalen Blockkarte werden für stadtoökologische Untersuchungen seit Jahren alle Blöcke im Auftrag des Umweltamtes der Stadt Dresden auf Basis von Satelliten- bzw. Luftbilddaten einem vorherrschenden Stadtstrukturtyp zugeordnet (Meinel & Hennersdorf 2004). Da hierbei das Flächendominanzprinzip Anwendung findet, können z. B. auch Ackerflächen geringe Bebauungsanteile oder Wasserflächen auch Grünflächen enthalten. Die Auswertung der Parameter für typische Stadtstrukturen zeigt Tabelle 4.

Stadtstrukturtyp	Spez. GV [m³/m²]	SD spez. GV [m³/m²]	Max. spez. GV [m³/m²]	Min. spez. GV [m³/m²]	Flächenanteil hohe Vegetation [%]	Flächenanteil Vegetation gesamt [%]
Geschlossene Blockbebauung	0,40	0,34	1,24	0,0	4,5	15,9
Offene Blockbebauung	1,20	0,91	6,85	0,08	13,9	37,3
Zeilen-/Reihenhausbebauung	0,96	0,71	5,47	0,0	11,5	44,3
Einzel-/Doppelhausbebauung	1,50	1,30	10,70	0,0	19,4	55,2

Mischformen <sup>1</sup>	1,17	1,10	8,96	0,0	14,1	42,6
Großflächige Bebauung	0,56	0,61	5,55	0,0	6,7	28,5
Sport-/Freizeitanlagen	1,79	1,53	8,80	0,39	16,2	56,5
Kleingärten	1,03	0,67	5,24	0,25	16,8	63,2
Gleisanlagen	1,05	1,62	10,59	0,0	11,8	47,4
Acker	1,20	1,16	7,05	0,47	6,9	98,5
Grünland/Gärtnerereien	1,28	1,81	13,12	0,0	13,2	70,9
Parkanlagen/Zoo	3,76	2,58	13,63	0,17	32,8	79,6
Friedhöfe	4,08	1,67	8,94	1,12	39,8	83,3
Wald	7,90	4,31	19,71	0,26	58,1	91,4
Wasserflächen	2,30	3,21	19,54	0,0	21,2	33,1
Abgrabungen/Aufschüttungen	0,67	0,63	1,90	0,09	7,1	51,2
Baustellen	0,40	1,07	5,32	0,0	3,4	51,0
Verkehrsflächen, Garagen	0,45	0,88	7,85	0,0	5,2	31,8
Brachflächen	0,54	0,50	1,80	0,0	7,0	35,1
Blockrestflächen <sup>2</sup>	1,28	2,13	22,90	0,0	11,8	33,1

Tab. 4: Grünvolumen (GV) in Abhängigkeit vom Stadtstrukturtyp – Auswertung für die Stadt Dresden

Die Auswertung der Tabelle 4 führt zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Der Grünvolumenbeitrag von Kleingärten ist mit einem mittleren spezifischen Grünvolumen von 1,02 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> geringer als das vieler Bebauungstypen wie der offenen Blockbebauung (1,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>), der Einzel-/Doppelhausbebauung (1,50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) sowie von Mischformen der Bebauung (1,17 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).
- Das spezifische Grünvolumen der geschlossenen Bebauung ist erwartungsgemäß am geringsten (0,40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>), gefolgt von der großflächigen Bebauung (0,56 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).
- Das größte spezifische Grünvolumen erreichen Waldflächen (7,90 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).
- Das spez. Grünvolumen von Friedhöfen liegt mit 4,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> noch über dem von Parkanlagen (3,76 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). Auch der Flächenanteil hoher Vegetation ist in Friedhöfen größer als in Parkanlagen, die häufig auch über Rasen- und Wiesenflächen verfügen.
- Das hohe spez. Grünvolumen von 2,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> von Wasserflächen ist durch vegetationsbestandene Randflächen sowie dem Kronenüberstand bei baumbestandenen Ufersäumen schmaler Fließgewässer zu erklären.
- Das spezifische Grünvolumen von Ackerflächen beträgt 1,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> und liegt damit über dem zu erwartenden von 0,5 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]. Diese Abweichung nach oben wird wiederum durch die Integration auch von baumbestandenen Flächen in Ackerflächen erklärt (Flächendominanzprinzip).
- Auch der Wert für Gleisanlagen liegt mit 1,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> unerwartet hoch und ist auf Begleitgrün am Rand der Gleisanlagen zurückzuführen.
- Das spezifische Grünvolumen der Blockrestflächen, die in Dresden aufgrund der Nettoblockabgrenzung nur Straßenflächen darstellen, ist mit 1,28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ungewöhnlich hoch. Dieser Wert erklärt sich aus den sehr kleinen meist schmalen Straßenflächen, die häufig durch Straßenbäume überkront sind und so im Mittel zu hohen spezifischen Grünvolumenwerten führen.

Die Auswertung der Grünvolumenkarten für die Stadt Dresden ergab die folgenden Fakten:

Das spezifische Grünvolumen über die gesamte Stadtfläche Dresdens beträgt 3,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Das Grünvolumen der Stadt Dresden im Jahr 2002 setzt sich etwa aus 48 % Laub-, 46 % Nadelbäumen und 6 % Strauch-, Rasen- und Ackerflächen zusammen. Die grüne Lunge Dresdens ist die Dresdener Heide. Durch ihre große Fläche und ihrem Bestand an hohen Nadelgehölz stellt sie über 50 % des Vegetationsvolumens Dresdens, obwohl der Flächenanteil unter 25 % beträgt. 10 der 13 Blöcke mit dem größten absoluten Grünvolumen liegen in der Heide. Das Grünvolumen im Stadtzentrum Dresdens wird vom Großen Garten und vom Ostragehege gebildet, die über große baumbestandene Flächen verfügen. Andere Parkanlagen wie Wald- und Beutler Park sind lokale Grünoasen, tragen aber durch geringe Flächengrößen weniger zum städtischen Gesamtgrünvolumen bei. Die Elbewiesen tragen aufgrund weitestgehend fehlendem Baumbestand nur ganz unwesentlich zum städtischen Grünvolumen bei, sind aber natürlich für die Belüftung der Stadt ganz wesentlich. Interessant ist insbesondere der Vergleich des neuen Informationslayers Grünvolumen zu dem bekannten Layer Vegetationsflächenanteil. Während in einer Ansicht des zweidimensionalen Grünflächenanteils der Elbesaum durch eine sehr starke Begrünung gekennzeichnet ist, wird in der Grünvolumenansicht deutlich, dass der Uferbereich kaum zum Grünvolumen der Stadt beiträgt. Abbildung 4 zeigt eine 3D-Ansicht des spezifischen Grünvolumens und des Grünflächenanteils der Blöcke des Dresdner Stadtzentrums.

<sup>1</sup> Stadt- und Wohngebietszentren, alte Ortskerne, historische Gebäude, Bildung/Erziehung, Verwaltung, Medizin, Wohnheime

<sup>2</sup> Im Wesentlichen Straßenflächen



Abb. 4: 3D-Darstellung des spezifischen Grünvolumens (links) und des Grünflächenanteils (rechts) auf Baublockbasis des Stadtzentrums Dresdens

## 5 ANWENDUNG UND NUTZEN DER GRÜNVOLUMENINFORMATION FÜR DIE PLANUNG IN DRESDEN

Bisher standen flächendeckende Informationen zur Vegetation nur aus Biotoptypenkartierungen zur Verfügung und lieferten qualitative Angaben insbesondere zur Klassifizierung von Flächen, jedoch keine quantitativen zur Grünmasse oder dem Grünvolumen. Das spezifische Grünvolumen liefert somit in Verbindung mit dem Grünflächenanteil planerisch sinnvollere Daten. Mit der hier beschriebenen Grünvolumenbestimmung werden Beiträge für die Landschafts- und Flächennutzungsplanung für die Stadt Dresden erwartet.

Gegenwärtig wird für die Stadt ein neuer Flächennutzungsplan (FNP) erarbeitet, parallel dazu als ökologische Grundlage ein neuer Landschaftsplan (LP). Wesentliche Rahmendaten für den FNP liefern Bevölkerungsprognosen für die nächsten 15 Jahre, aus der der Flächenbedarf abgeleitet wird. Aus dieser Prognose ergibt sich ab etwa 2015 ein Rückgang der Bevölkerung. Dies erfordert bei dem schon jetzt hohen Wohnungsleerstand (Landeshauptstadt Dresden 2004) und einem Brachflächenanteil von 13,8 % bezogen auf die Bauflächen der Stadt (Landeshauptstadt Dresden 2005) eine klare planerische Antwort.

Eine prioritäre Option besteht in der Attraktivierung der inneren Stadtteile als Wohnstandorte. Geht man von den Umzugsgründen aus, die die Dresdner Bürger äußern (Landeshauptstadt Dresden 2003), stehen bezüglich Wohnumfeld „Ruhe und Naturnähe“ an erster Stelle, die bisher eher in Stadtrandbereichen gesucht wurde. Unabhängig von ökologischen Fragestellungen wird dieser Entwicklung durch die Kosten für die technische und soziale Infrastruktur (hoher Fixkostenanteil!) eine Grenze gesetzt.

Mit der blockbezogenen Grünvolumenbestimmung besteht nun die Möglichkeit, sowohl Defizite als auch Potenziale der Grünausstattung blockgenau zu identifizieren. Durch die ebenfalls vorliegende blockbezogene Strukturtypenkartierung können differenzierte Aussagen zu den jeweiligen Wohnformen getroffen werden. Neben den wohngebietsnahen „Grüninseln“ können Planungen für Brachflächen auf den Weg gebracht werden, die zu einem mehr vernetzten Grünsystem führen. Durch die Aufnahme des „Schutzgutes Mensch“ in die Umweltprüfungen des Landschafts- und Flächennutzungsplanes erlangen derartige Kenntnisse auch einen neuen verfahrensrechtlichen Wert.

Abgesehen von denkmalpflegerischen Aspekten gilt auch im Umweltbereich nicht uneingeschränkt die einfache Formel „je mehr Grün, desto besser“. So ist aus stadtklimatischen Gründen die Freihaltung von Kaltluftbahnen nicht nur von Bebauung, sondern auch von Großgrün erstrebenswert. In innerstädtischen Straßenschluchten kann ein hoher Großgrünanteil durchaus zur Verschlechterung der Durchlüftung und damit zu höheren Schadstoffkonzentrationen führen. Wichtig ist hier eine sorgfältige Abwägung, die durch entsprechendes Datenmaterial erst möglich gemacht wird.

Allerdings stößt die hier vorgestellte Methodik auch an ihre Grenzen, je mehr man sich kleinräumigen Fragestellungen widmet. Aus Tabelle 3 geht hervor, dass die Genauigkeit der ermittelten Werte deutlich zurückgeht, wenn die Bezugsgeometrien kleiner als 0,16 ha (entspricht einem Raster von 40 x 40 m) sind. Für grundstücksscharfe Aussagen können die Daten deshalb nur bedingt verwendet werden, da die Genauigkeit ebenfalls stark von der vorliegenden Vegetationsart abhängt.

Ein weiterer praktischer Aspekt seitens der Planung ist die Fortschreibung der Daten. So wichtig eine einmalige Erhebung auch ist, wichtiger ist eine regelmäßige Datenfortschreibung, die Trends erkennen lässt und Schlussfolgerungen für planerisches Handeln ermöglicht. So erfordert das BauGB eine Umweltprüfung (Monitoring) der durch die Planungen verursachten Umweltauswirkungen (§ 4c BauGB). Dies dient im Wesentlichen der frühzeitigen Ermittlung nachteiliger Umweltfolgen, um durch geeignete Gegenmaßnahmen Abhilfe zu schaffen. Wünschenswert wäre hier eine verbesserte Aufgabenstellung hinsichtlich der Prozessierung für weitere Laserscan-Aufnahmen.



## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Es wurde ein Verfahren zur Grünvolumenberechnung auf Basis von Laserscannerdaten vorgestellt. Gebunden an die Geometrie der digitalen Blockkarte wurden das absolute und spezifische Grünvolumen sowie der Flächen- und Volumenanteil getrennt für die fünf Vegetationstypen „niedrig“ (Sträucher), „hohe dichte“ (Nadelbäume), „hohe lockere“ (Laubbäume), „Rasen/Wiese“ und „Ackerfläche“ ermittelt. Die Unterscheidung dieser fünf Vegetationsarten war angesichts der sehr unterschiedlichen Lasersignalcharakteristik in diesen Beständen methodisch notwendig. Sie ist aber auch angesichts der unterschiedlichen ökologischen Wirkung dieser Bestände sinnvoll. Mit diesen die gesamte Stadtfläche Dresdens abdeckenden Informationen stehen nun erstmals 3D-Vegetationsinformationen zur Verfügung. Eine erste Auswertung der blockbezogenen spezifischen Grünvolumenwerte zeigt, dass der Informationsgehalt sehr viel höher ist als der allein flächiger Betrachtungen der Vegetation. Da die Stärke der ökologischen Wirkung unmittelbar mit der Vegetationshöhe korreliert, wird durch die dreidimensionale Erhebung überhaupt erst eine differenzierte örtliche Betrachtung möglich. Einerseits können allgemeine Aussagen zum mittleren Grünvolumen städtischer Strukturtypen getroffen werden, andererseits können Gründefizitbereiche in der Stadt ermittelt und darauf bauend planerische Ziele in Landschafts- und Grünordnungsplänen präzisiert werden. Die Daten sind darüber hinaus auch für die allgemeine Stadtentwicklungsplanung, den Naturschutz und die Landespflege interessant.

Durch das große Potenzial der Laserscannerdaten und einer speziell entwickelten Korrekturmethode ist es trotz der vegetationsfreien Aufnahmezeit und dem Fehlen der ersten Laserreflexion (Firstpulse) zu einem genauen Ergebnis gekommen, welches im Bereich der Baublockebene bedenkenlos angewendet werden kann. Die entwickelte Korrekturmethode zeichnet sich durch einen hohen Automatisierungsgrad aus und kann, sofern die Lasersystem- und Aufnahmeparameter übereinstimmen, auch leicht auf andere Gebiete übertragen werden. Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass aus einem Datenbestand, der für eine andere Aufgabenstellung, nämlich die Berechnung eines DGM und eines Gebäude-DOM, erhoben wurde, auch Daten zum Grünvolumen abgeleitet werden können. Dieses ist auch methodisch so interessant, da aus den immer noch sehr teuren Laserscannerdaten ein Mehrwert abgeleitet werden konnte und sich so eine separate Befliegung (Sommeraufnahme mit Firstpulse-Aufnahme und -prozessierung) erübrigt.

Die genauesten Ergebnisse würde die Berechnung des Vegetations-nDOM aus dem DOM einer Sommerbefliegung und dem DGM einer Winterbefliegung liefern (Wagner et al. 2004). Aus akademischem Interesse wäre eine solche Studie ganz sicher interessant, ob aber die zu erwartende Genauigkeitsverbesserung im Verhältnis steht zu den Mehrkosten, ist eher unwahrscheinlich. Zudem würde aufgrund der geringeren Durchdringungsrate des Laserstrahls im Sommer im Laubbestand eine Unterscheidung des Laub- vom Nadelbaumbestand kaum mehr möglich sein. Der besondere Wert der Arbeit liegt eben genau in der Nutzung von Standarddatenmaterial der Städte, welches für die Stadtumweltplanung durch die Bestimmung der Vegetationshöhen und des Grünvolumens zusätzlich genutzt und in Wert gesetzt wird. In diesem Zusammenhang muss auch auf die hohe Dynamik der Grünvolumenänderung hingewiesen werden, die sich nicht nur durch den Jahreslauf ergibt, sondern auch durch Bau- und Pflegemaßnahmen. So werden z. B. in der Stadt Dresden jährlich rund 600 Bäume gefällt und ca. 1 000 neu gepflanzt. Da Grünflächen, aber insbesondere baumbestandene Flächen, eine starke wind- und temperatursenkende Wirkung haben, könnten die Ergebnisse einer flächigen Grünvolumenbestimmung auch Eingangsdaten für Umweltmodellierungen wie Wind- und Temperatursimulationen darstellen. Nicht zuletzt könnte die Vegetationstypen-, Vegetationshöhenaufnahme und Grünvolumenbestimmung durch das hohe Staubbindungsvermögen von Bäumen im Zusammenhang mit der EU-Luftqualitäts-Richtlinie Bedeutung gewinnen.

Die schnelle innovative Entwicklung der Laserscanneraufnahmesysteme wird in Zukunft weitere Genauigkeitssteigerungen erlauben. So wird heute teilweise schon mit einer Punktdichte von 10 Punkten/m<sup>2</sup> gearbeitet (hier noch 1,1 Punkte/m<sup>2</sup>), was natürlich die Präzision des Vegetations-nDOM wesentlich steigern würde. Die beginnende Aufzeichnung nicht nur von First- und Lastpulse sondern des gesamten Laserechos (Multi-Echo-Aufzeichnung) könnte die Erkennung vertikal gestaffelter Vegetationsschichten (insbesondere Strauchwerk unter Baumbeständen) ermöglichen. Letztlich ist eine spezielle Aufzeichnungstechnik mit einem sehr großen Laserspot (1,0 statt 0,2 m) besonders geeignet für Vegetationsaufzeichnungen, da so der Reflexionsanteil in Vegetationsbeständen wesentlich erhöht werden kann (z. B. Faserscanner der Firma TopoSys, [www.toposys.de](http://www.toposys.de)) und auch eine Winterbefliegung zu optimalen Ergebnissen führt. Eine weitere mögliche Weiterführung der Daten könnte auch durch den heutzutage vermehrten Einsatz digitaler Luftbilder sein. Diese auf Zeilenscanner basierte Erfassung (z. B. ADS40) erlaubt durch den 3-Seitenblick eine DOM-Erstellung auf Basis von Bildzuordnungsalgorithmen (Vozikis 2004). Diese könnten für die Anwendung einer Grünvolumenbestimmung getestet werden, enthalten aber keine Informationen über die Dichte der Vegetation.

## 7 LITERATUR

- Arlt G. et al.: Stadtökologische Qualität und Vegetationsstrukturen städtischer Siedlungsräume, IÖR-Texte 139, 2002, Dresden.
- Arlt G. et al.: Basisindikator Vegetationsvolumen. In: Stadtforschung und Statistik, 2/2003, 38-45.
- Bundesweite Internetumfrage zur Messung der Bürgerzufriedenheit mit den kommunalen Grünflächen (2004): Internet:  
[http://www.galk.de/arbeitskreise/ak\\_orga\\_betriebswirt/down/kgst\\_buergerumfrage\\_041027.pdf](http://www.galk.de/arbeitskreise/ak_orga_betriebswirt/down/kgst_buergerumfrage_041027.pdf)
- Großmann M. et al.: Bodenfunktionszahl, Grünvolumenzahl, Grünzahl, Gutachten im Auftrag der Umweltbehörde Hamburg, 1984.
- Heber B., Lehmann I.: Stadtstrukturelle Orientierungswerte für die Bodenversiegelung in Wohngebieten, IÖR-Schriften 05, 1993, Dresden.
- Kenneweg H.: Neue methodische Ansätze zur Fernerkundung in den Bereichen Landschaft, Wald und räumliche Planung. In: Dech S. et al. (Hrsg.): Tagungsband 19, DFD-Nutzerseminar, 15.-16.10.2002, 127-137.
- Kraus K.: Laserscanning und Photogrammetrie im Dienste der Geoinformation. AGIT 2005 Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVII, Salzburg (invited); 07.06.-07.08.2005. In: „Angewandte Geoinformatik 2005 – Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg“, Strobl J., Blaschke T., Griesebner G. (ed.); Wichmann Verlag, 2005, ISBN 3-87907-422-4; 386-396. Internet:  
[http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/kk\\_agit2005.pdf](http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/kk_agit2005.pdf)
- Landeshauptstadt Dresden: Kommunale Bürgerumfrage 2002. 2003.
- Landeshauptstadt Dresden: Gebäude und Wohnungen. Statistische Mitteilungen, 2004.
- Landeshauptstadt Dresden: V0766-SB15-05. Beschluss des Ausschusses für Stadtentwicklung und Bau vom 31.08.2005 (unveröffentlicht), 2005.
- Maas H.-G.: Akquisition von 3D-GIS-Daten durch Flugzeug-Laserscanning. Kartographische Nachrichten (Bielefeld), Jg. 55. No. 1, 3-11, 2005.
- Meinel G., Hecht R.: Bestimmung des blockbezogenen Grünvolumens für die Fläche der Stadt Dresden auf Basis von Laserscannerdaten, Abschlussbericht für das Umweltamt der Stadt Dresden (unveröffentlicht), 2005.
- Meinel G., Hecht R.: Determination of urban vegetation volume on the basis of laser scan data at non-leaf aerial flight times. In: Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment, Proc. of NATSCAN-Conference, Freiburg, 03.-06.10.2004, IAPRS Vol. XXXVI, PART 8/W2, ISSN 1682-1750, 334-339.  
Internet: [http://www.isprs.org/commission8/workshop\\_laser\\_forest/MEINEL.pdf](http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/MEINEL.pdf)
- Meinel G., Hecht R.: Reconstruction of Urban Vegetation based on Laser Scan Data at Leaf-off Aerial Flight Times – First Results; Proceedings of the 31st ISRSE; Saint Petersburg, June 20-24, 2005.  
Internet: [http://www.isprs.org/commission8/workshop\\_laser\\_forest/MEINEL.pdf](http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/MEINEL.pdf)
- Meinel G., Hennersdorf J.: Fortschreibung der Stadtstrukturtypenkarte der Stadt Dresden auf Basis von Ortholufbilddaten der Jahre 2003/2004, Abschlussbericht für das Umweltamt der Stadt Dresden (unveröffentlicht).
- Möller M., Blaschke T.: Urbanes Grün – Erfassung, Analyse und Bewertung aus Fernerkundungsdaten. CD-ROM der 25. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF. 21.-23. September 2005, Rostock, Publikationen der DGPF, Band 14, ISSN 0942-2870, 249-254, 2005.
- TopScan, Projektbericht: Städtisches Vermessungsamt Dresden, 2002.
- Vozikis G.: Urban Data Collection: An Automated Approach in Remote Sensing. Presentation: 24th Urban Data Management Symposium, Information Systems and the Delivery of Societal Benefits, Chioggia, Venice; 10-27-2004 – 10-29-2004. In: "Proceedings of UDMS'04", 2004.
- Wagner W. et al.: Robust Filtering of Airborne Laser Scanner Data For Vegetation Analysis. In: Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment, Proc. of NATSCAN-Conference, Freiburg, 03.-06.10.2004, IAPRS Vol. XXXVI, PART 8/W2, ISSN 1682-1750, 334-339, 2004.
- Wieland R.: Internetseite der SAMT-Software entwickelt vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF). Stand 2005. Internet:  
[http://www.zalf.de/home\\_samt-lsa/index.html](http://www.zalf.de/home_samt-lsa/index.html)