

Objektorientierte Landbedeckungsklassifikation von Graz (Österreich) unter besonderer Berücksichtigung der dritten Dimension

Wolfgang Sulzer, Marc Muick, Winfried Ganster

(Ao. Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Sulzer, Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Heinrichstraße 36, A-8010 Graz/Austria, wolfgang.sulzer@uni-graz.at)

(MSc Marc Muick, Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Heinrichstraße 36, A-8010 Graz/Austria, mmuick@yahoo.com)

(Winfried Ganster, Stadtvermessungsgamte der Stadt Graz, Europaplatz 20, A-8011 Graz/Austria, winfried.ganster@stadt.graz.at)

1 ABSTRACT

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Erstellung von Landbedeckungsklassifikationen aus sehr hochauflösenden, digitalen ULTRACAM Luftbilddaten aus den Jahren 2007 und 2011 für das Stadtgebiet von Graz (Österreich). Am Beginn dieser Arbeit steht ein Überblick über die in der Literatur dokumentierten Forschungsarbeiten, welche sich mit thematisch ähnlichen Fragestellungen, oder ähnlichem Datenmaterial beschäftigen. Danach werden die verwendeten Datengrundlagen, die Datenvorverarbeitung, sowie das Untersuchungsgebiet kurz beschrieben. Der zentrale Teil der Arbeit dokumentiert die praktische Umsetzung der Landbedeckungsklassifikation von Graz in unterschiedlichen Ausarbeitungsstufen und zu zwei unterschiedlichen Befliegungsterminen (2007 und 2011). Zentraler Teil der vorgestellten Projektarbeit ist die Erstellung der Regelsätze der objektbasierten Klassifikation und der Umgang mit datenbezogenen Problemen wie etwa der abgeschatteten Bildareale in den Bilddaten von 2007. Die Legende bzw. die Landbedeckungsklassen wurden in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Grünraum und Gewässer der Stadt Graz und dem Referat für Photogrammetrie des Vermessungsamtes Graz erarbeitet. Ziel war es hier, Planungsgrundlagen für die Stadtplanung und Stadtentwicklung bzw. für die Abteilung für Grünraum und Gewässer der Stadtverwaltung Graz zu generieren. Anhand von Testgebieten, die die unterschiedlichen Stadtstrukturen repräsentieren, wurden die Regelwerke entwickelt und getestet. Ferner wurden die Klassifikationsergebnisse unter Einbindung der jeweiligen Höhenmodelle (LiDAR und Photogrammetrie) miteinander verglichen. Das Ziel dieses Arbeitsschrittes war es, ein möglichst repräsentatives Regelwerk für die gesamte Stadt Graz zu entwickeln. Die generierten Regelwerke wurden in einem weiteren Schritt für das gesamte Stadtgebiet von Graz an den Luftbilddaten von 2007 umgesetzt und anschließend evaluiert. Es zeigte sich, dass für eine flächenhafte Umsetzung nur geringe Adaptierungen notwendig waren. Durch die in dieser Arbeit untersuchte Möglichkeit der Höhenabstufung der Vegetation allgemein und im Speziellen der Waldklasse wird u.a. eine neue Betrachtungsweise der Waldgebiete der Stadt Graz ermöglicht. Besonders durch die Repräsentation von annähernden Einzelbaumsegmenten ist diese Darstellung als sehr realitätsnahe zu bezeichnen. Dieser Themenbereich wurde im Rahmen dieser Arbeit auch mit separaten Einzelkarten dargestellt, um die Interpretierbarkeit zu erhöhen. Im letzten Teil der Arbeiten wurde das Gesamtregelwerk auf die Luftbilddaten 2011 angewandt. Durch den unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkt (September und Juni) bzw. durch die unterschiedliche geometrische und radiometrische Auflösung der Daten ergaben sich neue Herausforderungen für die Klassifikation. Schließlich zielt das Gesamtprojekt auf die Entwicklung einer allgemein gültigen Auswertemethodik für zukünftige Befliegungsprojekte der Stadtvermessung Graz hin, um den Auswerteaufwand (Adaptierung der Regelwerke) möglichst niedrig zu halten und zu automatisieren. Den Abschluss der Arbeit bilden eine generelle Ergebnisdiskussion der erhaltenen Resultate, sowie ein Ausblick über weitere Analyse- und Verwendungsmöglichkeiten der gesammelten Erkenntnisse und eine Beschreibung der zur Anwendung gebrachten „best of“ Methode.

2 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Für unterschiedlichste Aufgabenszenarien der Stadtplanung im Bereich der fernerkundungsgestützten Analyse stehen eine Vielzahl an Sensoren und Aufnahmeplattformen zur Verfügung. Die stetige Entwicklung von neuen Sensoren und der damit verbundenen Steigerung der geometrischen, spektralen, radiometrischen und multitemporalen Auflösungsqualität erfordern im Laufe der Zeit auch die Entwicklung neuer Analysemethoden (WENG 2012, PATINO and DUQUE 2013). Die kombinierte Nutzung von Höheninformation und optischen Daten stellt auch bei der Generierung von Landbedeckungsklassifikationen eine praktikable Herangehensweise dar. Durch die fortschreitende Steigerung der Verfügbarkeit von sehr hochauflösenden und multispektralen Daten, wie auch von LiDAR Daten, ist ein Trend in Richtung dieser Kombination durchaus feststellbar.

Die Fragestellung dieser Arbeit lautet, in wie weit die Integration von Höheninformation in den Vorgang der objektbasierten Klassifizierung zu einer Verbesserung der Genauigkeit führt und ob durch diese zusätzliche Informationsquelle auch weitere neue Klassen über s.g. Höhenfeatures stabil abgeleitet werden können. Die Hypothese besteht darin, hochauflösende ULTRACAM Bilder mit zweierlei Höheninformation zu fusionieren, um so neue Informationen und Klassen zu generieren. Erreicht werden sollen hochgenaue Klassifikationsergebnisse bzw. Klassen unter Einbindung der Höheninformation. Außerdem soll die Auswirkung der Einbindung verschiedener Höheninformationsquellen auf die Klassifikation qualitativ beschrieben werden. Ebenfalls ein Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung von Regelsätzen an nur drei Testgebieten innerhalb der Stadt Graz, die dann für das gesamte Stadtgebiet angewandt werden sollen. Darauf aufbauend zielt das Projekt auf eine umfassende, wiederholbare „Best of“ Methodik für eine Landbedeckungsklassifikation des Grazer Stadtgebietes ab. Die Ergebnisse werden von verschiedenen Ämtern des Magistrats Graz in ihre Planungsprozesse eingebunden.

Die hier vorgestellten Arbeiten sind Teil eines langfristigen Kooperationsprojektes (seit 2004) mit der Stadt Graz bzw. dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung, bei dem Fragen des Stadtklimas bzw. der Stadtentwicklung laufend behandelt werden (LAZAR und PODESSER 2009, SULZER und KERN 2008 und 2009, SULZER et.al 2009).

3 DIE KOMBINATION VON LIDAR DATEN MIT OPTISCHEN FERNERKUNDUNGSBILDDATEN

Die Erfassung von flächendeckenden LiDAR Daten wird von vielen regionalen und überregionalen Verwaltungsorganen durchgeführt. Die so erstellten hochauflösenden Höhenmodelle der LiDAR Befliegungen werden mit optischen Fernerkundungsbilddaten (flugzeug- und satellitengestützt) kombiniert und für unterschiedlichste Fragestellungen analysiert.

Eine in der Literatur sehr häufig dokumentierte Kombination von LiDAR mit optischen Daten ist jene der Ableitung von forstlichen Parametern. Besondere Beachtung wird dabei auf die Klassifizierung von verschiedenen Baumspesies auf Einzelbaumniveau geschenkt. Diese Anwendungen basieren häufig auf der Nutzung von hochauflösenden Luftbildkameras oder Zeilenscanner in Verbindung mit Digitalen Oberflächenmodellen (DOM's) (HIRSCHMUGL et al. 2007, WASER et al. 2010, CHEN et al. 2008, HALL et. al 2011). Die Verbindung von optischen Bilddaten mit 3D Daten erzielt in der Regel bessere Ergebnisse, als Anwendungen, welche eine solitäre Datenquelle verwenden (WASER et al. 2010, RAFIEYAN et al. 2009). Die Detektion von Einzelbäumen ist ein sehr komplexer Sachverhalt. Die Klassifikation verschiedener Spesies kann auf der Basis der Intensität der LiDAR Punkte (ORKA et al. 2007), mit Hilfe von Trainingsgebieten (RAFIEYAN et al. 2009) oder mit der statistischen Analyse der LiDAR Punktwolke (HOLLAUS et. al 2009, HÖFLE et al. 2012) selbst durchgeführt werden.

Ein weiteres Themenfeld, welches durch die Kombination von optischen Bilddaten mit 3D Daten bearbeitet werden kann, ist die Charakterisierung von Dachflächen. Diese, zur urbanen Fernerkundung zählende Anwendung, nutzt meist Hyperspektraldaten, um einen möglichst großen Teil des elektromagnetischen Spektrums zu nutzen. Unterschiedliche Dachmaterialien besitzen charakteristische Reflexionseigenschaften in bestimmten Bereichen des Spektrums und benötigen daher für derartige Analysen, Systeme mit einer enorm hohen spektralen Auflösung. Die LiDAR Daten ermöglichen in erster Linie eine geometrische Einteilung in unterschiedliche Dachtypen (LEMP und WEIDNER 2005). Eine der Hauptaufgaben liegt in der Auswahl der entsprechenden Kanäle, welche das zu klassifizierende Material bestmöglich charakterisieren. Am Beispiel des AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spektrometer) Systems, welches über 224 Kanäle verfügt (AVIRIS Homepage 2011), wird klar, dass das Vorhandensein von spektralen Kurven der Materialien für eine detaillierte Analyse notwendig ist. Aufgrund der hohen Veränderungsrate in urbanen Gebieten sind zudem Informationen über die Gebäudestruktur von zunehmendem Interesse (ALEXANDER et al. 2009, HEIDENA et al. 2012). Anwendungen, die solche Datengrundlagen benötigen, sind unter anderem Städteplanung und Städtedesign, Niederschlagsabflussmodellierungen, Telekommunikationsuntersuchungen, Lärmsimulationen, Mikroklimateuntersuchungen (ZHOU et al. 2009). Für die Durchführung solcher Analysen gehören die Derivate von Digitalen Oberflächenmodellen (DOM's), wie zum Beispiel die Gebäudehöhe, die Dachneigung sowie die Ausrichtung des Gebäudes (ALEXANDER et al. 2009, ZHOU and NEUMANN 2012). In diesem Zusammenhang muss auch die Erstellung von Solarkataster angeführt werden, bei der aus LiDAR bzw. aus

photogrammetrischen Oberflächenmodellen die Neigung sowie die Ausrichtungen der Dächer berechnet werden. Kombiniert mit der Modellierung des Sonnenverlaufes können so Klassen erstellt werden, welche die Effizienz von Dachflächen hinsichtlich ihrer Nutzung für Solarkollektoren beschreiben. Das Magistrat Graz hat in den letzten Jahren einen solchen Kataster erstellt (<http://www.geoportal.graz.at/cms/ziel/4515589/DE/>).

Auf eine korrekte Trennung und richtige Verwendung der Begriffe Landbedeckung und Landnutzung sollte vor allem bei der Zusammenarbeit mit Kunden und Projektpartner geachtet werden. Bei Projektpartnern, die in die Thematik der Fernerkundung und Geoinformatik nicht tief eingearbeitet sind, kann es oft und leicht zu Verwechslungen kommen. Dass diese Trennung innerhalb von Projekten nicht so leicht realisierbar ist, zeigt das Beispiel von Ackerflächen bzw. landwirtschaftlich genutzten Flächen. Denn stringent betrachtet dürfte diese Klasse eigentlich nicht existieren, da im Sinne einer Landbedeckungsklassifikation die potenziellen Flächen normalerweise entweder der Klasse „Grünfläche“ oder der Klasse „Offener Boden“ zugeordnet werden müsste. Trotzdem erscheinen Klassen wie zum Beispiel „Äcker“ oder „landwirtschaftlich genutzte Flächen“, in vielen Projekten bzw. in Forschungsberichten. Allgemein können Landbedeckungsklassifikationen auf verschiedene Art und Weise erstellt werden:

- Pixelbasierte, solitäre Sensornutzung: Pixelbasierte Klassifikation des Datenbestandes, welche nur aus einem Fernerkundungssensor z.B. LANDSAT TM besteht.
- Pixelbasierte, integrative Datennutzung: Pixelbasierte Klassifikation des Datenbestandes, welche neben dem Primärsensor noch weitere Informationen wie z.B. die Exposition, die Hangneigung, oder die Geländehöhe nutzt.
- Objektbasierte, solitäre Sensornutzung: Objektbasierte Klassifikation des Datenbestandes, welche nur aus einem Fernerkundungssensor z.B. LANDSAT TM besteht.
- Objektbasierte, integrative Datennutzung: Objektbasierte Klassifikation des Datenbestandes, welche neben dem Primärsensor noch weitere Informationen wie z.B. die Exposition, die Hangneigung, oder die Geländehöhe nutzt (MUICK 2011).

In Anbetracht des thematischen Hintergrundes dieser Arbeit wird der Fokus nur auf die objektbasierte, integrative Datennutzung gerichtet. Ähnlich wie in den zuvor beschriebenen Ansätzen ist die kombinierte Nutzung von Höheninformation und optischen Bilddaten auch bei der Generierung von Landbedeckungsklassifikationen eine praktikable Herangehensweise.

Im Besonderen ist die Kombination von LiDAR Datensätzen mit QUICKBIRD oder IKONOS Daten ein in der Literatur weit verbreiteter Ansatz (ARROYO et al. 2009, CHEN et al. 2008, WUEST and ZHANG 2008, KE et. al 2010). Durch die fortschreitende Steigerung der Verfügbarkeit von sehr hochauflösenden multispektralen Daten, wie auch von LiDAR Daten, ist ein Trend in Richtung dieser Kombination durchaus feststellbar. Eine Vielzahl von jüngeren Anwendungen wurde mit einer objektbasierten Methode umgesetzt. Zum einen haben Vergleiche bewiesen, dass objektorientierte Ansätze besser geeignet sind, sehr hochauflösende Daten zu verarbeiten (ZHOU and TROY 2008), zum anderen ist die Integration von zusätzlichen Datenquellen und dem Expertenwissen des Bearbeiters deutlich einfacher.

4 DAS FALLBEISPIEL GRAZ

4.1 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit ist im Wesentlichen begrenzt durch die Stadt Graz (ca. 128km²). Die steirische Landeshauptstadt Graz ist mit rund 270.000 Einwohnern die zweitgrößte Stadt von Österreich und liegt im nördlichen Teil des Grazer Feldes auf einer Seehöhe von 351m (Grazer Hauptplatz) und wird im Norden und Westen der Stadt vom Steirischen Randgebirge umschlossen (Fig. 1). Die höchste Erhebung der Stadt befindet sich hier mit 763m im Westen der Stadt auf dem Plabutsch mit steil abfallenden Hängen. Der Osten ist geprägt von hügeligen Ausläufern des Oststeirischen Riedellandes mit seinen lang gezogenen, sanften Hügeln und Rücken und zerschnittenen Tälern. Ein weiteres charakteristisches Merkmal ist das markante Durchbruchstal der Mur bei Weinzödl im Nordwesten der Stadt. Im Zentrum der Stadt bildet der Schlossberg mit 474m Seehöhe eine wichtige Landmarke, in Richtung Süden weitet sich das Grazer Feld.

Die Testgebiete sind räumlich so verteilt, dass alle Landnutzungsklassen der Stadt Graz bestmöglich erfasst werden bzw. repräsentative Regelsätze erstellt werden können. Im Bezirk Innere Stadt liegt Testgebiet (1), welches den urbanen, innerstädtischen Charakter repräsentiert. Testgebiet (2) liegt im Bezirk Mariatrost und stellt die Übergangszone zwischen der dicht verbauten Innenstadt zum lockerer verbauten Gebiet (hoher Grünflächenanteil mit geschlossenen Waldflächen) dar. Testgebiet (3), das sich den Bezirken Liebenau und Puntigam befindet, spiegelt den locker verbauten Typus wider, jedoch im Gegensatz zu Testgebiet (2) in Mariatrost, sind hier auch großflächige landwirtschaftliche Flächen eingestreut.

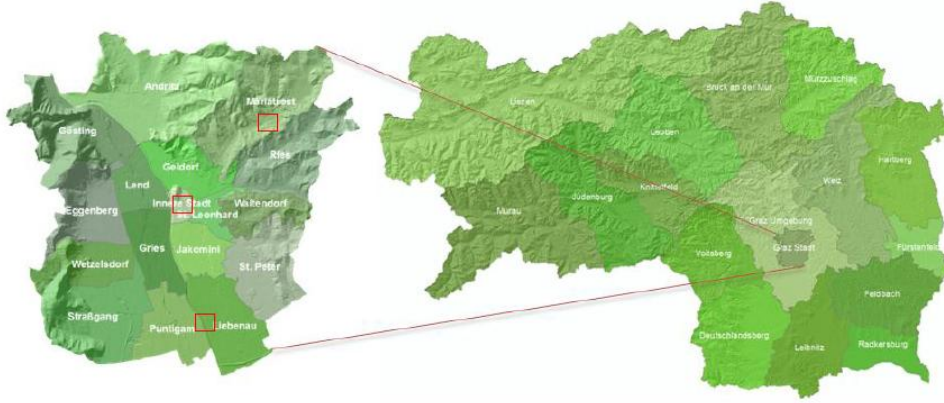


Fig. 1: Die Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb der Steiermark (Österreich), die Bezirke der Stadt Graz und die Lage der Testgebiete (MUICK 2011)

4.2 Datengrundlagen

Die zentrale Datenbasis für die Landbedeckungsklassifikation besteht aus zwei ULTRACAM-X (SCHNEIDER und GRUBER 2008, GRUBER et. al 2009) Befliegungen (B, G, R und NIR) vom September 2007 (8 Bit) und Juni 2011 (16 Bit) mit einer (heruntergerechneten) geometrischen Auflösung von 25cm (die Originalbilddaten von 2011 besitzen 7cm Auflösung). Aus diesen Befliegungen wurden True Orthofotos sowie Digitale Oberflächenmodelle erstellt (BISCHOF 2011) und vom Magistrat Graz (Referat für Photogrammetrie des Vermessungsamtes) bereitgestellt. Ebenso kamen LiDAR Daten von 2009 im originalen „las Format“ zum Einsatz. Die LiDAR Daten wurden vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung in einer Auflösung von 0,25 Metern zur Verfügung gestellt.

Bei der Datenvorverarbeitung für die drei Testgebiete wurden aus den LAS Files die Layer Intensität, Returnnummer und ein DOM abgeleitet. Ferner wurde der NDVI aus den ULTRACAM Daten berechnet und auch NDSM's (LiDAR und ULTRACAM) wurden berechnet. Für die Anwendung auf das gesamte Stadtgebiet von Graz war es auf Grund der softwareseitigen Einschränkungen notwendig, einzelne Teilblöcke für die Klassifikationsberechnung zu erstellen.

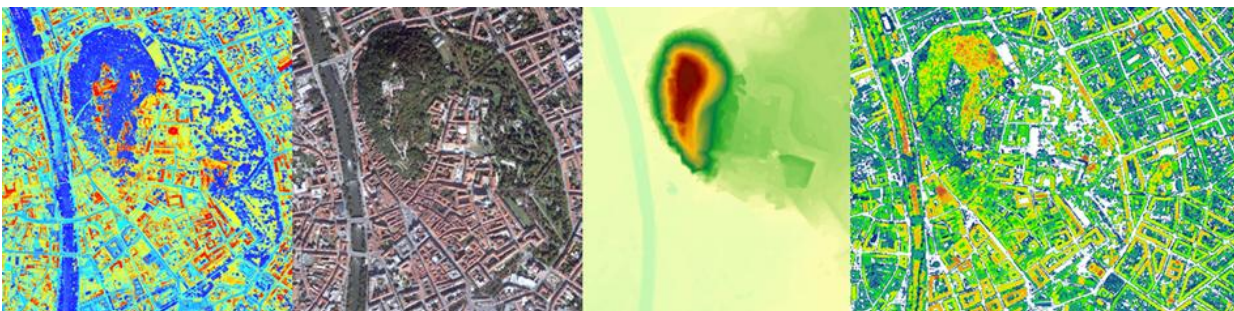


Fig. 2: Die Datengrundlagen: INTENSITÄTSBILD (LiDAR) – ULTRACAM – DGM – NDSM (von links nach rechts).

4.3 Methodik

Für die Umsetzung der Landbedeckungsklassifikation wurde ein objektbasierter Klassifikationsansatz gewählt. Wie im vorigen Kapitel erwähnt, sind gerade objektbasierte Ansätze bei sehr hochauflösenden Daten und der Integration komplexen Datenstrukturen im Vorteil (ZHOU et al. 2008, BLASCHKE et. al 2008, BLASCHKE 2010). Die Erstellung der Legende (Fig. 3) erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung für Grünraum und Gewässer der Stadt Graz und dem Referat für Photogrammetrie des Vermessungsamtes Graz, um so eine optimale Folgenutzung der Ergebnisse zu gewährleisten.

Legende: Grünflächen, versiegelte Flächen, Laub- und Nadelbäume, Strauchschicht, Gebäude, Gewässer, Sportanlagen und landwirtschaftliche Nutzflächen. Die Erstellung der Regelsätze basierte auf drei repräsentativen Testgebieten, welche über sämtliche städtische Nutzungscharakteristika verfügten. Für die erste Segmentierung kam eine Multiresolution Segmentierung zum Einsatz. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die durch direkte Einbindung des NDVI bereits in der Segmentierungsphase zusammen mit der spektralen Information und dem photogrammetrischen ULTRACAM NDSM gute Ergebnisse erzielt werden konnten.

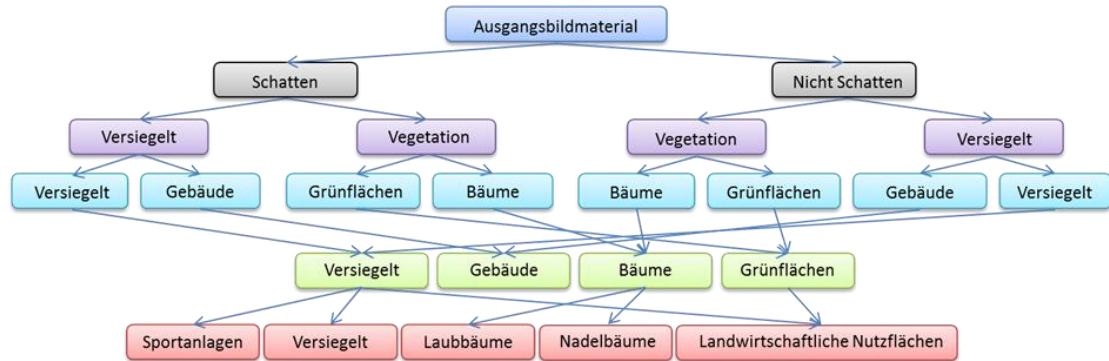


Fig. 3: Prozessierungskette für die Klassifizierung der ULTRACAM Daten (MUICK 2011).

Ein großes Problemfeld stellen abgeschattete Flächen in urbanen Gebieten dar. Gerade in Altstadtkernen mit sehr engen Gassen und Innenhöfen sind Schatten meist durch Gebäude induziert. In den Übergangszonen vom städtischen zum ländlichen Verbauungstyp ist anteilig auch der Schattenwurf von mittlerer bis hoher Vegetation nicht zu unterschätzen. Eine besondere Herausforderung stellen aber die Innenhöfe dar, welche in einigen Fällen sogar komplett abgeschattet sind. Diese totale Abschattung kann auch durch moderne Verfahren der digitalen Bildverarbeitung und durch den Einsatz von höher radiometrisch auflösenden ULTRACAM Daten (2011 mit 16bit, reel mit 12bit) nicht zur Gänze kompensiert werden. Natürlich lassen sich Schattenbereiche aufhellen oder anpassen. Der Grad dieser Anpassung ist aber sehr stark vom Datenmaterial selbst abhängig. In den ULTRACAM Daten von 2007 (8bit) nehmen Schattenflächen einen Flächenanteil von ca. 30 % ein. Bei der Klassifikation von abgeschatteten Bereichen kommt es verstärkt zu Fehlzuzuweisungen. Die ausgewählte Methodik zielt darauf ab, zuerst die Schattenflächen anhand ihrer „Brightness“ innerhalb eines hierarchischen Algorithmus zu klassifizieren. Durch diese Vorgangsweise eröffnet sich die Möglichkeit, differenzierte Klassifikationsalgorithmen einzusetzen. Im Anschluss wurden die jeweiligen Schatten- und Nichtschattenklassen wieder zusammengeführt, um die klassifizierten Features wie z.B. Gebäude anhand ihrer Proportionen (area, length to width, rel. border usw.) noch besser zuweisen zu können. Diese Methodik wurde bereits von ZHOU et al. (2009) im Vergleich mit zwei weiteren angeführten Schattenkorrekturmethode erprobt und lieferte sehr gute Ergebnisse.

Bei der Erstellung der Regelsätze wurden auch auf die sensorgeometrischen Eigenschaften des Datensatzes Rücksicht genommen. Die LiDAR Daten waren insbesondere in stark abgeschatteten Bereichen eingebunden, in denen eine Klassenzuweisung nur basierend auf 8bit ULTRACAM Daten (2007) zu große Fehler produziert hatte. Hier bot der Einsatz der „Intensität“ eine wertvolle zusätzliche Entscheidungshilfe. Die Detektion von Einzelbäumen stellt eine komplexe Herausforderung bei der Klassifikation dar. Die Lösung zielt darauf ab, zuerst potenzielle Baumspitzen (seeds) zu finden, aus welchen dann Segmente wachsen sollen (CHEN et al. 2008, HIRSCHMUGL et al. 2007). Für das Auffinden der seeds werden meist „lokale Maximum Filterverfahren“ verwendet. Die Erfolgsquote hängt zum einen von den Filterparametern ab und zum anderen auch von der Kronendachstruktur, dem Abstand der Bäume und vom Datenmaterial. Diese Herangehensweise wurde im Rahmen dieser Arbeit leicht adaptiert durchgeführt. Der erste Schritt lag in der Detektion von Schattenflächen innerhalb der Waldklasse. So konnte für die abgeschatteten Bereiche das LiDAR NDSM zum Einsatz kommen. Das Auffinden der lokalen Maxima wurde zweistufig durchgeführt. Nach einer Reihe von verschiedenen Parametertests des Maximum Filters wurden nun die Basis seeds klassifiziert. Darauf aufbauend erfolgte eine Plausibilitätsprüfung der Maxima anhand ihrer Distanz zueinander und zu anderen Klassen. Dadurch konnte die Qualität der seeds weiter verbessert werden. Grundsätzlich ist an dieser Stelle festzuhalten, dass besonders geschlossene Kronendächer in Laubwäldern, aufgrund ihrer im Vergleich zu Nadelwäldern eher ebenmäßiger Oberflächenbeschaffenheit, Probleme beim

Auffinden der lokalen Maxima bereiten. Da eine Ableitung forstlicher Parameter von Einzelbäumen nicht das Ziel dieser Arbeit darstellte, sondern eine möglichst realitätsnahe Darstellung von Laub- und Nadelwäldern sowie eine Einteilung der Waldklasse in Höhenstufen, ist der verwendete Ansatz als äußerst erfolgreich zu bewerten. Die Aufteilung der Waldklasse erfolgte mehrstufig. Dabei kamen Werte des NIR, der Intensität und Formparameter zum Einsatz. Lediglich für sehr stark abgeschattete Waldgebiete konnte auf Grund der fehlenden spektralen Informationen keine weitere Aufteilung der Waldklasse erfolgen.

Die Kombination der spektralen Informationen mit Ratiobildungen wie dem NDVI sowie der Einsatz von Höheninformation und Intensitätswerten ermöglichte eine Entwicklung dreier sehr gut angepasster Regelsätze. Für die Anwendung auf das gesamte Stadtgebiet ist natürlich eine Fusionierung und Adaption der Regelsätze notwendig. Im Rahmen dieser Fusionierung wurde deutlich, dass der Regelsatz des urbanen Testgebiets den mit Abstand geringsten Einfluss auf das resultierende Regelwerk hatte. Auf dieser Basis wurden sämtliche Bildblöcke prozessiert, einer minimalen manuellen Korrektur unterzogen und im Anschluss mosaikiert.

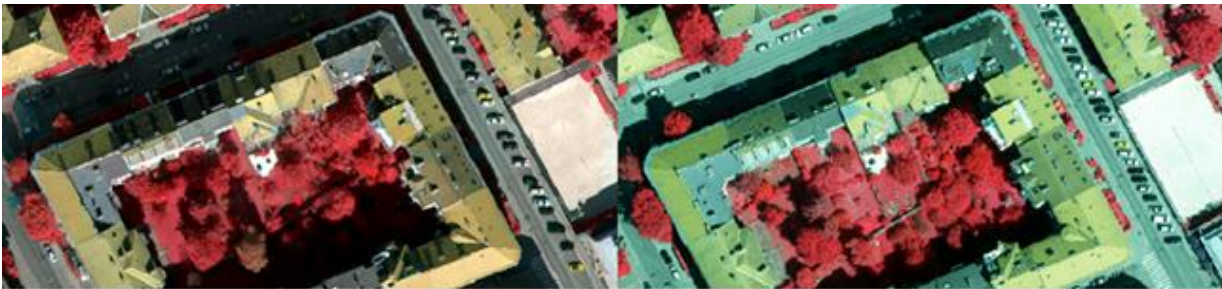


Fig. 4: Das unterschiedliche Auftreten von Schatten 2007 (links) und 2011 (rechts).

Für die Erstellung der Landbedeckungsklassifikation 2011 konnten bereits einige Erfahrungswerte der Klassifizierung der 2007er Daten in der Datenaufnahme umgesetzt werden. So wurden die ULTRACAM Daten mit 16 bit an das Referat für Photogrammetrie des Vermessungsamtes Graz geliefert, und auch der Befliegungszeitpunkt wurde auf Juni verschoben. Daraus resultierten im Besonderen zwei Vorteile: Die nun kleineren Schattenflächen (Fig. 4) konnten ohne die zusätzlich Nutzung der Intensitätswerte sehr gut klassifiziert werden und auch die spektralen Unterschiede innerhalb der Waldklassen wurden so deutlich gesteigert, sodass hier auf die Einbindung von Zusatzinformation verzichtet werden konnte. Auf Grund der Steigerung der radiometrischen Auflösung auf 16 bit und der damit einhergehende Verzicht auf die Nutzung der Intensität und des LiDAR NDSM's mussten einige Teilbereiche des Regelwerkes abgeändert werden. Von diesen Änderungen waren vorrangig sämtliche Schwellwerte der Schatten- und die Baumklassifikation betroffen.

5 ERGEBNISDISKUSSION UND AUSBLICK

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen deutlich, dass die Erstellung von Regelsätzen für die Klassifikation des gesamten Stadtgebietes (Fig. 5) anhand repräsentativer Testgebiete möglich ist (Fig. 6 und Fig. 7). Diese Einschätzung basiert auf den Ergebnissen von qualitativen und quantitativen Genauigkeitsuntersuchungen. Für die quantitative Abschätzung der Ergebnisse kam für beide Zeitpunkte eine Fehlermatrix zum Einsatz. Diese ergaben eine Gesamtgenauigkeit von 92,3 % für das Klassifikationsergebnis 2007 und 94,0 % für 2011. Die höchste Fehleranfälligkeit wiesen die Klassen Nadelbäume und Laubbäume auf, welche bei beiden Zeitpunkten eine Genauigkeit um 84 – 87 % erreichten. Damit liegt das Ergebnis quantitativ im Vergleich mit CHEN et al. 2008 oder ARROYO et al. 2009 auf einem sehr ähnlichen Niveau. Dennoch ist ein quantitativer Vergleich auf Grund der unterschiedlichen Datengrundlagen als wenig sinnvoll zu bezeichnen. Ein qualitatives Indiz, welches sich auch auf der quantitativen Ebene widerspiegelt, ist der geringere Anteil der Schattenflächen in den Daten von 2011. Durch den vier Monate früheren Befliegungszeitpunkt konnte der Anteil der Schattenflächen in etwa halbiert werden (ca. 15 % statt 30 %, Fig.4). Aufgrund der Reduktion der Anzahl der Inputlayer und die Weiterentwicklung der verwendeten Software war es darüber hinaus möglich, die Schattenflächen 2011 noch feiner zu segmentieren als dies 2007 möglich war. Diese Methodik der separaten, feineren Segmentierung von Problemstellen wurde ebenfalls für die Klasse der Gebäude verwendet. Diese Herangehensweise ermöglichte eine nochmalige Verbesserung des Klassifikationsergebnisses. Im Vergleich der NDSM's,

welche aus LiDAR Daten bzw. photogrammetrisch abgeleitet wurden, lässt sich festhalten, dass der Einsatz von photogrammetrischen NDSM's deutlich bessere Ergebnisse liefert. Dies lässt sich durch die unterschiedliche geometrische Auflösung der LiDAR Höheninformation zu den ULTRACAM Daten erklären. Denn im Besonderen die Lagerichtigkeit der Höheninformation hat entscheidenden Einfluss auf die Güte eines auf objektbasiertem Wege erstellten Klassifikationsergebnisses. Speziell bei der Klassifikation von Gebäuden tritt diese Bedingung zu Tage. Dies liegt vor allem in den Formparametern der Gebäude begründet, welche sich in urbaner Umgebung durch lange scharf abgegrenzte Kanten äußern.

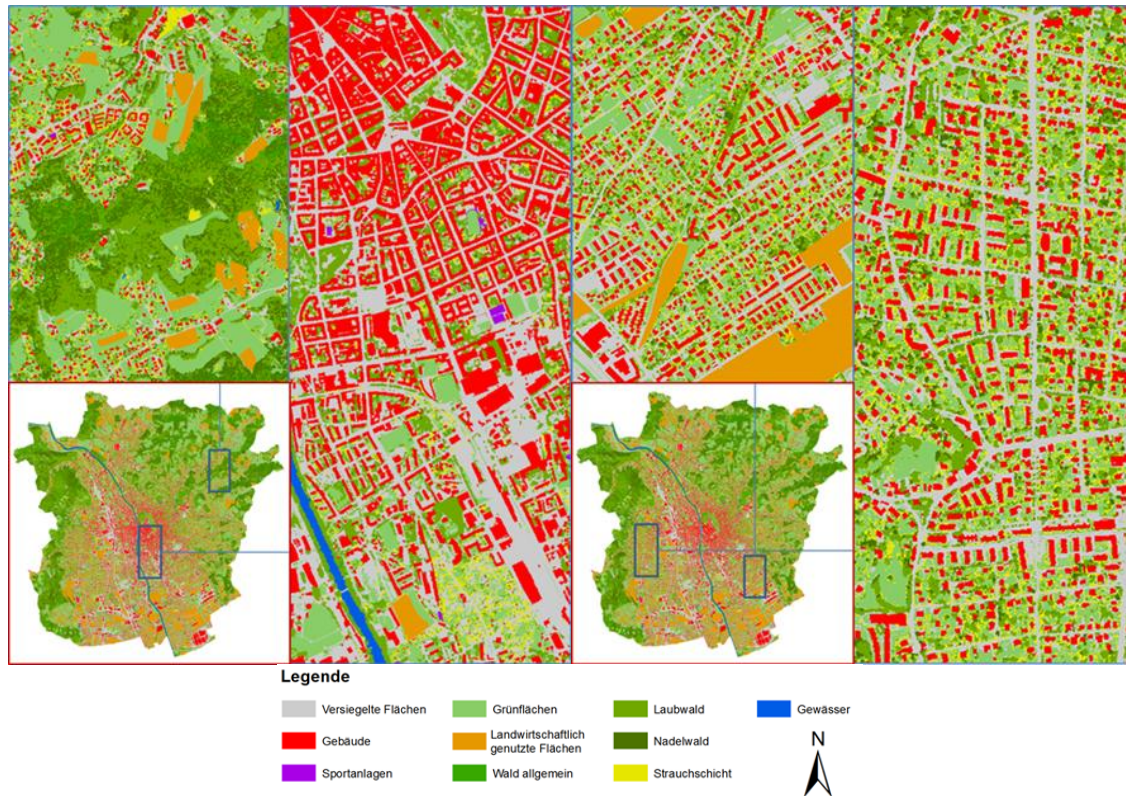


Fig.5: Die Ergebnisse der Landnutzungsklassifikation für das Stadtgebiet von Graz 2007 (links) und 2011 (rechts).

Die Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen, dass durch die Integration von Oberflächenmodellen in den objektbasierten Klassifikationsvorgang eine Fülle von neuen Möglichkeiten entstehen. Zum einen können aufgrund der Höheninformation neue Klassen abgeleitet werden, die ohne diese zusätzliche Information nur sehr schwer oder gar nicht klassifizierbar wären. Weiters können aber auch Klassen, welche im Rahmen der Erstellung von Landbedeckungsklassifikationen bereits als Standard zu bezeichnen sind, schneller und genauer erfasst werden. Als Beispiel sei hier die Trennung von Wald- und Grünflächen angeführt. Diese werden im Normalfall über spektrale Merkmale oder Texturen klassifiziert. Mit der Nutzung der Oberflächenmodelle können diese Klassen einfach, schnell und korrekt klassifiziert werden. Die Zeitersparnis bei der Erstellung der Regelsätze durch die integrative Datennutzung ist deutlich feststellbar. Auch die Länge der Regelsätze lässt sich auf gleiche Weise reduzieren. Aber auch die Kombination der unterschiedlichen Oberflächenmodelle steigert die Qualität des Ergebnisses. Auf Grund der differenzierten Entstehungsweise der genutzten Oberflächenmodelle wurde versucht, die jeweiligen Stärken bestmöglich in den Klassifikationsvorgang einzubinden. Die größte Stärke des photogrammetrisch erzeugten Oberflächenmodelles liegt in seiner sehr guten geometrischen Übereinstimmung mit den ULTRACAM Daten, was besonders für den Vorgang der Segmentierung von Nutzen ist. Die Stärken der LiDAR Daten liegen zum einen im aktiven Aufnahmeprinzip, was sich besonders bei abgeschatteten Bildbereichen bemerkbar macht, und zum anderen in den vielen zusätzlichen Informationen, welche sich im LAS File verbergen. Dennoch ergeben sich nicht nur neue Möglichkeiten und Verbesserungen, sondern es treten bei der Nutzung der Oberflächenmodelle auch neue Schwierigkeiten bzw. Fehlerquellen auf. Die meisten Probleme resultierten aus Lagefehlern der Oberflächenmodelle.

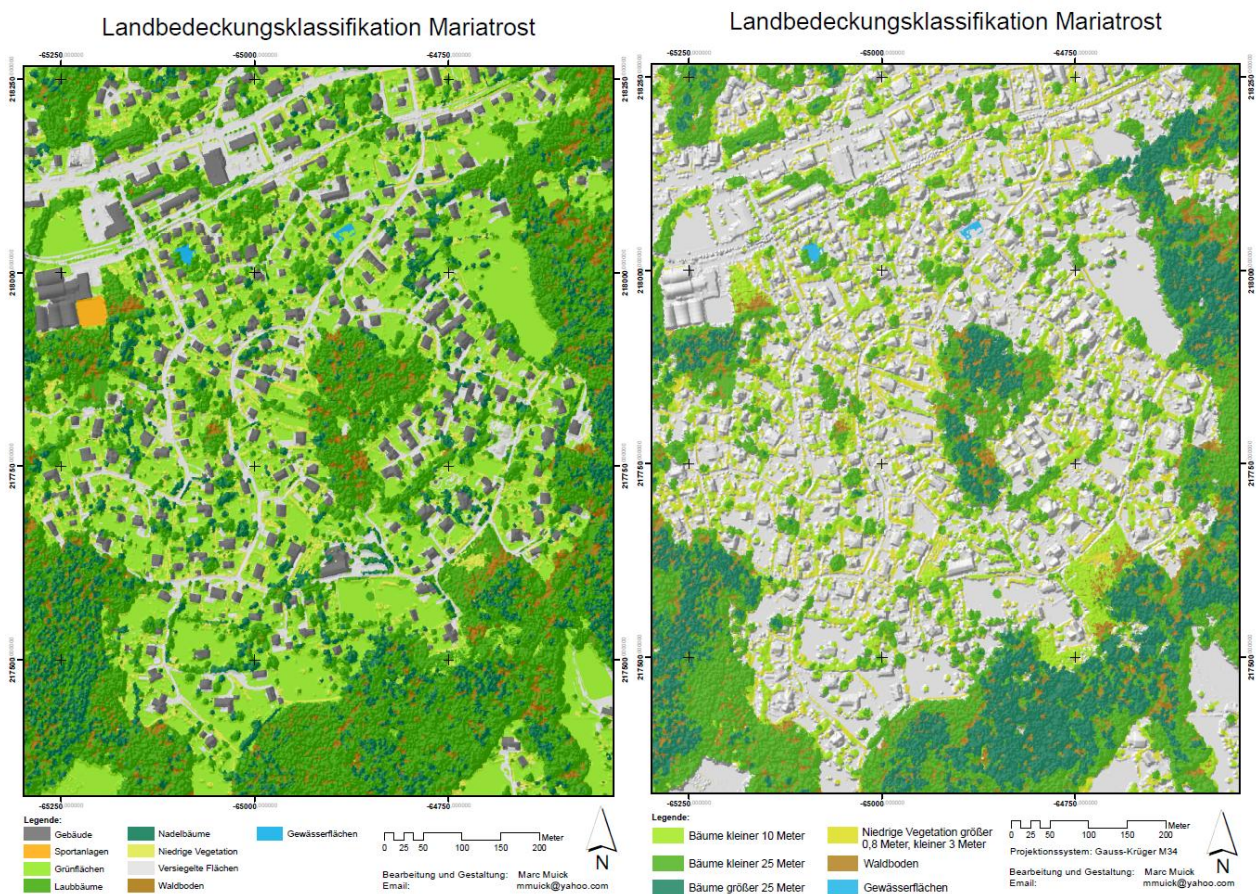


Fig. 6: Die Landnutzungsklassifikation (links) und Höhenabstufung der Vegetationsstruktur (rechts) im Testgebiet Mariatrost (MUICK 2011).

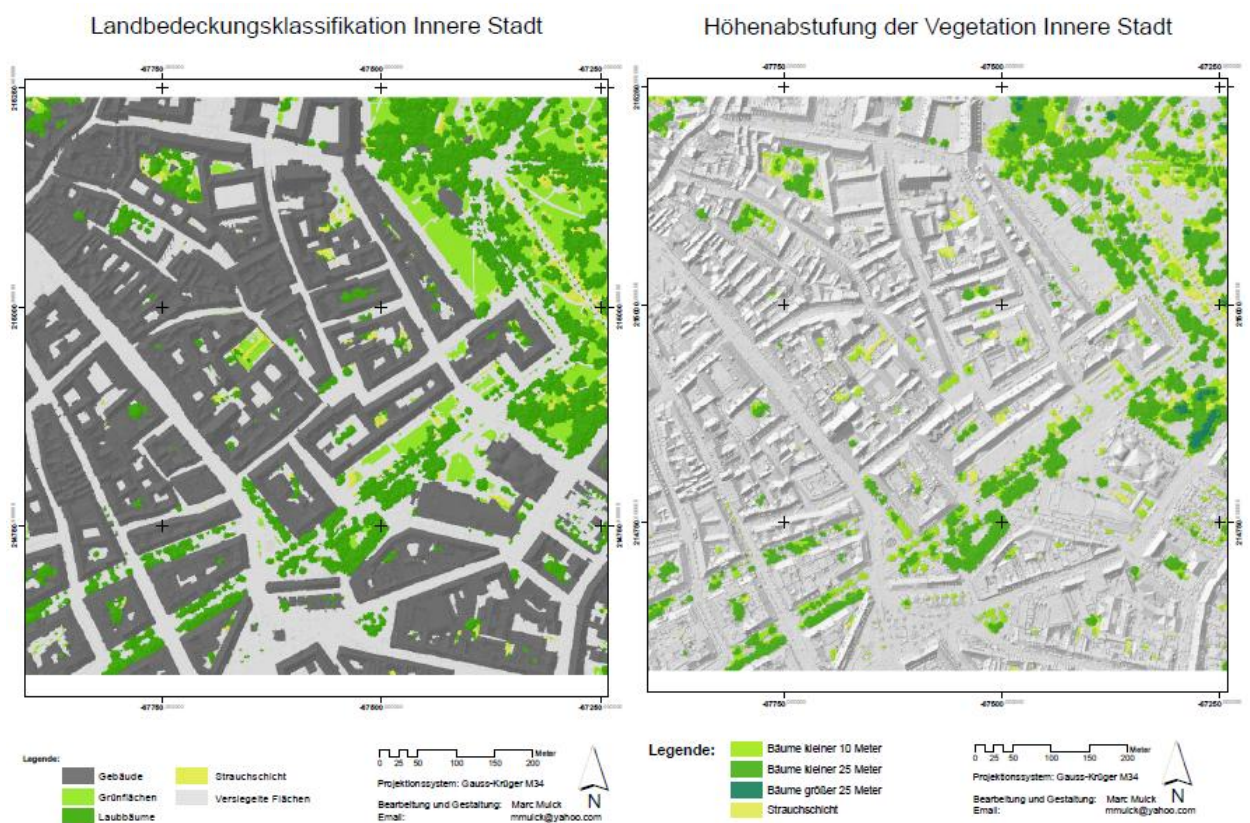


Fig. 7: Die Landnutzungsklassifikation (links) und Höhenabstufung der Vegetationsstruktur (rechts) im Testgebiet Innere Stadt (MUICK 2011).

Für das Projekt LISA (Landinformationssystem für Österreich) spielen die geometrischen Vorgaben für die jeweiligen Klassen eine entscheidende Rolle. Während die MVU (minimum validation unit) jene Mindestobjektgröße spezifiziert, ab welcher die Qualitätskontrolle durchgeführt wird, wird durch die MMU (minimum mapping unit, Mindestkartiergröße) definiert, ab welcher Größe Objekte erfasst werden dürfen (WEICHSELBAUM et al. 2009; GRILLMAYER et al. 2010; STEINNOCHER et al. 2011). Da die Mindestkartierungsgröße für das LISA Projekt allgemein bei 25-50m² liegt, ist die bei LISA angewandte Analysemethodik mit der hier vorgestellten Methodik nicht unmittelbar vergleichbar. Auch wenn für sämtliche Klassen in LISA Attributinformationen aufgenommen werden, wie zum Beispiel die Gebäudehöhe oder die durchschnittliche Höhe verholzter Flächen, so wird für Graz ein höhere räumliche Auflösung von 20-25cm angestrebt bzw. die Höheninformationen aus den photogrammetrischen Höhenmodellen bzw. aus den LiDAR Daten direkt eingebunden.



Fig. 8: Ergebnisausschnitt 2007 (links) und 2011 (rechts); grau: Landwirtschaftliche und versiegelte Flächen.

In einem Folgeprojekt werden die Datensätze der ULTRACAM Befliegungen von 2007 und 2011 mit Change Detection Verfahren für das Stadtgebiet von Graz analysiert (SALENTINIG 2012). Ziel ist es hier einerseits, verschiedene Verfahren auf ihre Güte und Anwendbarkeit zu untersuchen bzw. andererseits konkrete Bearbeitungsabläufe zu generieren, die bei zukünftigen Befliegungen angewandt werden können. Ein Ansatz bietet sich mit einem „Postklassifikationsansatz“, bei dem die Ergebnisse zweier getrennt durchgeführter Klassifikationen auf Basis getrennt durchgeführter Klassifikationen der ULTRACAM Daten verglichen werden (Fig. 8). Der zweite Ansatz fokussiert allein auf die Erkennung von Änderungen in Ausdehnung, Nutzung und Höhe von Landnutzungsklassen.

6 REFERENCES

- ALEXANDER, C., SMITH-VOYSEY, S., JARVIS, C., TANSEY, K.: Integrating building footprints and LiDAR data to classify roof structures and visualise buildings. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 33 (2009), pp. 285-292, 2009.
- ARROYO, L.A., JOHANSEN, K., ARMSTON, J., PHINN, S.: Integration of LiDAR and QuickBird imagery for mapping biophysical parameters and land cover types in Australian tropical savannas. In: *Forest Ecology and Management*, Vol.259, pp. 598-606, 2009.
- BISCHOF, H.: Bildflug Graz 2007 und Forschungsbericht zum Bildflug 2007, unpublizierter Befliegungs- und Entzerrungsbericht, o.S., 2011.
- BLASCHKE, T.: Object based image analysis for remote sensing. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 65 (2010), pp. 2-16, 2010.
- BLASCHKE, T., LANG, S., HAY, G.J.: *Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge Driven Remote Sensing Applications*, Springer Verlag, p. 817, 2008.
- CHEN, Y., SU, W., LI, J., SUN, Z.: Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and LiDAR data over urban areas. In: *Advances in Space Research*, Vol. 43, pp. 1101-1110, 2008.
- GRILLMAYER, R., BANKO, G., SCHOLZ, J., PERGER, C., STEINNOCHER, K., WALLI, A., WEICHSELBAUM, J.: Land Information System Austria (LISA) – Objektorientiertes Datenmodell zur Abbildung der Landbedeckung und Landnutzung. In: STROBL, J. BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, H. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 22. AGIT-Symposium*, Salzburg. Wichmann, Berlin/Offenbach, S. 616-621, 2010.
- GRUBER, M., WIECHERT, A., LADSTÄDTER, R.: UltraCam – digitale Luftbildkameras für alle Fälle. In: *Vermessung & Geoinformation*, Issue 3, pp. 353 – 358, 2009.
- HALL, F.G., BERGEN, K., BLAIR J.B., DUBAYAH, R., HOUGHTEN, R., HURTT G., KELLNDORFER, J., LEFSKY, M., RANSON, J., SAATCHI, S., SHUGART, H.H., WICKLAND, D.: Characterizing 3D vegetation structure from space: Mission requirements. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 115, pp. 2753–2775, 2011.

- HEIDENA, U., HELDENSA, W., ROESSNER, S., SEGLB, K., ESCHA, T., MUELLERA, A.: Urban structure type characterization using hyperspectral remote sensing and height information. In: *Landscape and Urban Planning*, Vol. 105, pp. 361–375, 2012.
- HIRSCHMUGL, M., OFNER, M., RAGGAM, J., SCHARDT, M.: Single tree detection in very high resolution remote sensing data. In: *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 110, pp. 533-544, 2007.
- HÖFLE, B., HOLLAUS, M., HAGENAUER, J.: Urban vegetation detection using radiometrically calibrated small-footprint full-waveform airborne LiDAR data. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 67, pp. 134–147, 2012.
- HOLLAUS, M., MÜCKE, W., HÖFLE, B., DORIGO, W., PFEIFER, N., WAGNER, W., BAUERHANSL, C., REGNER, B.: Tree species classification based on full waveform airborne laser scanning data, *Silvilaser 2009*, October 14-16, 2009, College Station Texas, 2009.
- KE, Y., QUACKENBUSH, L.J., IM, J.: Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LiDAR data for object-based forest species classification. In: *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 114, pp.1141-1154, 2010.
- LAZAR, R., PODESSER, A. (1999): An urban climate analysis of Graz and its significance for urban planning in the tributary valleys east of Graz (Austria). In: *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4195–4209, 1999.
- LEMP, D., WEIDNER, U.: Improvements of roof surface classification using hyperspectral and laser scanning data. In: *Proceedings of the URBAN 2005 Workshop*, Arizona, 2005.
- MUICK, M.: Objektorientierte Landbedeckungsklassifikation unter besonderer Berücksichtigung der dritten Dimension Am Beispiel dreier Testgebiete innerhalb der Stadt Graz. Unveröff. Masterarbeit am Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, Graz, p.86, 2011.
- ORKA, H.O., NAESSET, E., BOLLANDSAS, O.M.: Utilizing airborne laser intensity for tree species classification. In: *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and Silvilaser 2007*, Espoo, September 12-14, Finland, 2007.
- PATINO, J.E., DUQUE, J.C.: A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings. In: *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 37, pp. 1–17, 2013.
- RAFIEYAN, O., DARVISHSEFAT, A. A., BABAIL, S., MATAJI, A.: Object based classification using Ultracam-D Images for tree species discrimination (Case study: Hyrcanian Forrest Iran). In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-4/C7, 2009.
- SALENTINIG, A.: Remote sensing change detection in urban environments with very high resolution Ultracam data. Unveröff. Masterarbeit am Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, Graz, p.112, 2012.
- SCHNEIDER S., GRUBER M.: Radiometric quality of Ultracam – X images. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, Beijing 2008, pp. 539 – 544, 2008.
- STEINNOCHER K., BANKO G., WEICHSELBAUM J.: Planungsrelevante Datengrundlagen für Österreich: LISA – Land Information System Austria. In: Schrenk M., Popovich V., Zeile P. (Eds.): *REAL CORP 2011. Change for Stability – Lifecycles of Cities and Regions. The role and possibilities of foresighted planning in transformation processes. Proceedings of 16th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society*, pp.707-714, 2011.
- SULZER, W., KERN, K.: High resolution airborne scanner data for multitemporal sealing maps of Graz – and their applicability in town planning. *Remote Sensing – New Challenges of High Resolution. EARSeL Joint Workshop Bochum*, March 5-7, 2008. Selbstverlag des Geographischen Instituts für Geographie der Ruhr Universität Bochum, pp. 265-274, 2008.
- SULZER, W., KERN, K., EICHBERGER, St.: Urban change extraction from aerial photographs and multispectral scanner – an applied study from Graz/Austria. *Remote Sensing for a Changing Europe, Proceedings of the 28th Symposium of European Association of Remote Sensing Laboratories*, Istanbul, Turkey, 2-5 June 2008, pp. 551-557, 2009.
- SULZER, W., KERN, K.: Derivation of multi-temporal soil sealing maps using high resolution Airborne Thematic Mapper (ATM) imagery and an examination of their usefulness in town planning. *EARSeL eProceedings*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-10, 2009.
- WASER, L.T., GINZLER, C., KUECHLER, M., BALTSAVIAS, E., HURNI, L.: Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric values derived from Airborne Digital Sensor (ADS40) and RC30 data. In: *Remote Sensing of the Environment*, 2010.
- WENG, Q.: Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 117, pp. 34–49, 2012.
- WEICHSELBAUM, J. BANKO, G., HOFFMANN, C., RIEDL, M., SCHARDT, M., STEINNOCHER, K., WAGNER, W., WALLI, A.: Land Information System Austria (LISA): Bedarfsgerechte Landnutzungsinformationen für die öffentliche Verwaltung. In: STROBL, J. BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, H. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2009 – Beiträge zum 21. AGIT-Symposium*, Salzburg. Wichmann, Berlin/Offenbach, S. 492-497, 2009.
- WUEST, B., ZHANG, Y.: Region based segmentation of QuickBird multispectral imagery through band ratios and fuzzy comparison. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 64, pp. 55-64, 2008.
- ZHOU, W., TROY, A.: An object-oriented approach for analysing and characterizing urban landscape at the parcel level. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 11, Issue 5, pp.3119-3135, 2008.
- ZHOU, W., HUANG, G., TROY, A., CADENASSO, M. L.: Object based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study. In: *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 113, pp. 1769-1777, 2009.
- ZHOU, Q.-Y., NEUMANN, U.: Complete residential urban area reconstruction from dense aerial LiDAR point clouds. *Graphical Models*, in press, 2012.