

## Change Detection im städtischen Umfeld von Graz/Österreich mit sehr hoch auflösenden UltraCam-Daten

Wolfgang Sulzer, Andreas Salentinig, Michael Mollatz, Florian Pfeiler, Winfried Ganster

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

(Mag.Dr. Andreas Salentinig, Karl Franzens Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Heinrichstrasse 36, A-8010 Graz/Austria, andreas.salentinig@uni-graz.at)

(BA Michael Mollatz, Karl Franzens Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Heinrichstrasse 36, A-8010 Graz/Austria, michael.mollatz@gmail.com)

(BA Florian Pfeiler, Karl Franzens Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Heinrichstrasse 36, A-8010 Graz/Austria, florian.pfeiler@edu.uni-graz.at)

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

### 1 ABSTRACT

Dieser Beitrag befasst sich mit der Analyse von Landnutzungsänderungen mittels hochauflösender UltraCam-Daten in einer städtischen Umgebung. Das Hauptziel ist es, herauszufinden, ob die Daten geeignet sind, um Landnutzungs- bzw. Landschaftsveränderungen in Städten, die sich durch hohe Heterogenität und rasche Veränderung auszeichnen, halbautomatisch zu erkennen. Die theoretischen Ansätze und Fernerkundungsänderungserfassungsprinzipien werden im ersten Teil des Beitrages behandelt. Die Anzahl der Änderungserkennungsmethoden ist enorm und daher wird ein "Stand der Technik" präsentiert. Der zweite Hauptteil widmet sich der Entwicklung einer Änderungserkennungsmethode für Testgebiete der Stadt Graz und deren Anwendung auf das gesamte Stadtgebiet. Dabei wird ein objektbasiertes, wissensbasiertes Hybridänderungs-Erkennungsverfahren, bzw. die Integration von „image differencing, image rationing and principle component analysis“ angewandt. Die Umwelteinflüsse und Dateneigenschaften, die einen großen Einfluss auf die Genauigkeit des Änderungserfassungsergebnisses haben, werden sowohl für die Befliegungszeiträume (September 2007, Juni 2011 und März/April 2015) dokumentiert und erörtert.

Der letzte Teil dieses Aufsatzes beschäftigt sich mit der Diskussion der Ergebnisse der Change Detection Analysen und der Eignung der erreichten Methodik für die Anwendungen in der städtischen Planung durch das Magistrat Graz.

Keywords: Fernerkundung, Stadtmodell, Ultracam, Monitoring, Landnutzung

### 2 EINLEITUNG

Die Erforschung der Änderungserkennung („change detection“) mit sehr hochauflösenden Fernerkundungsdaten ist relativ neu. UltraCam X Luftbilddaten wurden noch kaum in einem Change Detection Ansatz für Städte verwendet. Vergleichbare Daten, z.B. DMC (Z/I IMAGING ([www.ziimaging.com](http://www.ziimaging.com)), ADS 40 (LEICA GEOSYSTEMS, [www.gis.leicageosystems.com](http://www.gis.leicageosystems.com)), HRSC-AX (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT, [www.dlr.de](http://www.dlr.de)) oder ADAR 5500 (POSITIVE SYSTEMS, [www.possys.com](http://www.possys.com)) wurden in verschiedenen Change Detection Projekten weltweit eingesetzt.

Das Hauptziel des hier vorgestellten Projektes war es, eine Methodik zur Change Detection Analyse mit High-End UltraCam X Daten in der Stadt Graz zu entwickeln. Die Studie konzentriert sich auf drei verschiedene Arten von Veränderungen: Höhenänderung, zweidimensionale Veränderung von Objektformen und thematische Veränderungen (Bodenbedeckung/Bodennutzung). Besonderes Augenmerk wird auf Veränderungen der Gebäudeflächen, der versiegelten Flächen und der Vegetationsstrukturen gelegt.

Eine umfassende Kategorisierung von Change Detection Techniken ist eine schwierige Aufgabe und daher gibt es keine einheitliche Klassifizierung der verwendeten Methoden. Trotzdem haben mehrere Autoren ein Klassifizierungsschema für Änderungserkennungstechniken erstellt. SINGH (1989) ist einer der Pioniere auf diesem Gebiet. In seiner Arbeit fasst er den Stand der Technik der Veränderungserkennungstechniken im Jahr 1989 zusammen. Die beschriebenen Methoden beinhalten „image differencing, image regression, image rationing, vegetation index differencing, principle component analysis, post-classification comparison, direct multitemporal classification, change vector analysis, background subtraction“ und andere Methoden. Man könnte diese Methoden aus der gegenwärtigen Perspektive als "klassische" Techniken beschreiben, die in den letzten zwei Jahrzehnten erfolgreich in zahlreichen Anwendungen eingesetzt wurden. SINGHs Veröffentlichung ist daher eine der am häufigsten zitierten Publikationen in der Fernerkundung. DEER

(1995) teilt Veränderungserkennungstechniken in zwei grundlegende Ansätze: „comparative analysis of independently produced thematic labellings or classifications of imagery from different dates“ und „simultaneous analysis of multi-temporal data“. Innerhalb dieser beiden Ansätze unterscheidet er mehrere Methoden und Techniken, die bereits von SINGH (1989) erwähnt wurden, sowie statistische Tests und einige neue Techniken wie „computer vision“ oder „image understanding“. COPPIN et al. (2004) stellen fest, dass alle in der Literatur dokumentierten Änderungserfassungs-Algorithmen in neun verschiedene Kategorien und eine hybride Gruppe zusammengefasst werden können (Tab.1). Die neun Kategorien sind:

post-classification comparison	change vector analysis
composite analysis	image regression
univariate image differencing	multi-temporal spectral mixture analysis
image rationing	multidimensional temporal feature space analysis
bi-temporal linear data transformation	

Tab. 1: Change-Detection-Kategorien nach COPPIN (2004).

IOANNIDIS et al. (2009) kategorisieren die fernerkungsbasierte Change Detection nach dem Maßstabsbereich, wobei zwischen kleineren und großflächigen Änderungserkennungsanwendungen unterschieden werden kann. Die kleine Maßstabsklasse enthält einfache, „low level“ Algorithmen (wie „image differencing, image rationing“ und „principal components analysis“), „medium level“ („object oriented classification, feature and texture segmentation“) und hochrangige, „high level“ („knowledge based methods“) Gruppen. Die groß angelegte Kategorie umfasst anspruchsvollere Ansätze wie künstliche neuronale Netze. Weitere Change Detection Algorithmen werden von YIANJA et al. (2008) und PACIFICI et al. (2007) beschrieben. YIANJA et al. (2008) stellen ein Klassifizierungskonzept von Änderungserfassungs-Algorithmen vor, in dem festgestellt wird, dass für die bi-temporale Änderungserkennung die Algorithmen auf einen der folgenden drei Ansätze zurückzuführen sind: direktes Vergleichen verschiedener Datenquellen („direct comparison method“), Vergleich von getrennten Klassifikationen („post-analysis comparison method“) oder die Integration aller Datenquellen in ein einheitliches Modell („uniform modelling method“). PACIFICI et al. (2007) unterteilen Veränderungserkennungsmethoden in „unsupervised“ und „supervised“ Ansätze. Der „unsupervised“ Ansatz umfasst klassische Methoden wie „image differencing, image rationing“ oder „change vector analysis“ und einige andere statistische Ansätze, während der „supervised“ Ansatz Methoden wie „post-classification comparison, direct multi-date classification“ oder „neural networks“ umfasst. LU et al. (2004) entwickeln eine umfassende Kategorisierung von Änderungserkennungsmethoden durch die Zuordnung jeder Technik zu einer von sieben spezifischen Gruppen von Änderungserkennungsmethoden: „algebraic operations, transformations, classification, advanced models, GIS, visual analysis“ und andere Techniken.

Alle Kategorisierungsansätze und Überprüfungen von Change Detection Verfahren haben gemeinsam, dass sie aufgrund der großen Anzahl von Techniken nicht vollständig sind, wobei der Ansatz von LU et al. (2004) der Anspruchsvollste zu sein scheint. Alle Änderungserkennungsmethoden der „transformation category“ haben gemeinsam, dass sie die Datenredundanz minimieren, um Änderungsinformationen in den abgeleiteten Komponenten zu extrahieren. Ähnlich wie bei algebraischen Methoden besteht der Hauptnachteil darin, dass sie keine vollständigen Änderungsmatrizen ableiten können und geeignete Schwellenwerte ausgewählt werden müssen. Die Interpretation und Kennzeichnung der Änderungsinformationen ist eine komplexe Aufgabe, weshalb die Bearbeiterin oder der Bearbeiter eine gute Kenntnis der verwendeten Daten und des Untersuchungsgebietes besitzen muss. Die Erkennungsmethoden der „transformation category“ kann für eine Vielzahl von Anwendungen verwendet werden, einschließlich der Veränderung der Erkennung von Vegetation oder Wasser und der Extraktion von Änderungsinformationen in städtischen Umgebungen.

### 3 DATENGRUNDLAGEN UND UNTERSUCHUNGSGEBIET (FIG. 1)

Alle Daten wurden vom Stadtvermessungsamt der Stadt Graz bereitgestellt. Zusätzlich zu den an drei verschiedenen Befliegungen (2007, 2011 und 2015) aufgenommenen UltraCam-Daten wurden jeweils photogrammetrisch digitale Oberflächenmodelle (DSM) generiert. Als digitales Geländemodell (DEM) wurden Lidar-Datensätze verwendet. Die erste Bilderfassung wurde am 22. und 23. September 2007 mit der UltraCam X-Kamera von "FFM Forest Mapping Management" durchgeführt. Zudem wurden während des Fluges ein GPS-Empfänger und eine Inertial-Messeinheit (IMU) eingesetzt, um die Bildaufnahme zu

unterstützen und die Bildrektifikation zu erleichtern. Die Kamera besteht aus acht unabhängigen Kameraeinheiten, von denen vier zum panchromatischen Bild beitragen und vier zum multispektralen Bild beitragen. Die zweite Bilderfassung von UltraCam-Daten fand am 22. Mai 2011 statt, wieder mit dem UltraCam X. Ähnlich wie bei dem Flug 2007 wurde Graz in zwei Blöcke aufgeteilt, aber diesmal wurden die Bilder mit einer räumlichen Auflösung von 6 cm statt 8 bzw. 16 cm aufgenommen. Die radiometrische Auflösung in der 2011 und 2015 Bilder beträgt 16 Bit, die aus dem Jahre 2007 8 Bit. Es wurden RGB- und CIR-Daten aufgenommen. Die UltraCam-X (SCHNEIDER und GRUBER 2008, GRUBER et. al 2009) Befliegungen wurden mit einer (resampled) geometrischen Auflösung von 25cm verwendet, da eine Prozessierung in der Originalauflösung an die Grenzen der Hard- und Software stößt.

Folgende Daten wurden verwendet:

- Ultracam X aus den Befliegungen 2007, 2011 und 2015:
  - RGB
  - CIR (25cm)
  - DSM (25cm) inkl. nDSM (2007-2011 und 2011-2015)
- DTM 2011 aus Laserscanner Daten (1m), Resampling auf 25cm

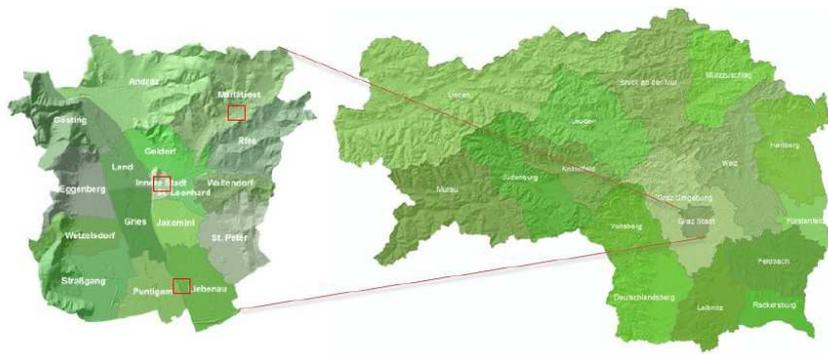


Fig. 1: Die Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb der Steiermark (Österreich), die Bezirke der Stadt Graz und die Lage der Testgebiete (MUICK 2011)

#### 4 METHODIK

Die Auswahl einer geeigneten Methode hängt stark von den Dateneigenschaften, dem Untersuchungsgebiet und der Forschungsfrage ab. Die Änderungserkennungsanalyse für diese Studie zeichnet sich durch eine hohe räumliche Auflösung der multispektralen Daten in einer städtischen Umgebung aus, die die Anzahl geeigneter Methoden begrenzt. Die offensichtlichste Änderungserkennungsmethode für diesen spezifischen Datenaufbau ist die „post-classification comparison“, die auch in einem anderen Projekt am Institut für Geographie und Regionalforschung (SULZER et al., 2013) verwendet wurde. EICHBERGER und SULZER (2005), SULZER (2016) analysierten den Urbanisierungsprozess in Graz zwischen 1944/1945 und 2015. Für die Langzeitstudien nutzten sie 12 Serien von Luftaufnahmen in Abständen von etwa fünf bis zehn Jahren. Das Hauptziel war es, eine homogene GIS-Datenbank zu erstellen, um Stadtplaner bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen. SULZER UND KERN (2009) untersuchten die Entwicklung der Versiegelung von Graz in einer mehrstufigen Veränderungsanalyse mittels multispektraler DAEDALUS Scannendaten.

Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, Änderungsinformationen zu generieren, ohne jedes Bild des multitemporalen Datensatzes einzeln zu klassifizieren. Ein Ansatz, um dies zu erreichen, ist die spektralzeitliche kombinierte Analyse, bei der alle Bilddaten in einen Datenlayer integriert werden, der dann auf Veränderungen hin analysiert wird. Diese Methode wurde gewählt, weil es in der Literatur als ein vielversprechender Ansatz für die Veränderungserkennung mit hoher räumlicher Auflösung betrachtet wird. Darüber hinaus wurden mehrere andere Methoden wie „image differencing, image rationing and principle component analysis“ berücksichtigt. Eine wissensbasiertes Regelwerk wurde erstellt und auf die UltraCam-Daten in der eCognition Developer-Softwareumgebung angewendet. Die objektbasierte Bildanalyse wurde aufgrund der sehr hohen räumlichen Auflösung gewählt. Die entwickelte Methodik kann als objekt- und

wissensbasierte Hybridmethode zusammengefasst werden, die spektral-zeitliche kombinierte Analyse, Bilddifferenzierung, Bildratiobildung und Hauptkomponentenanalyse kombiniert.

Die dargestellte Methode kann keine komplette Änderungsmatrix liefern. Allerdings ist dies nicht das Ziel dieser Studie, weil veränderte Gebiete im Vergleich zum vollen Umfang des Stadtgebietes spärlich sind, so dass die meisten Änderungsklassen einer kompletten Änderungsmatrix höchst unwahrscheinlich sind (z. B. Wasser zu versiegelte Oberfläche, versiegelte Oberflächen zu hoher Vegetation oder Gebäude zu Wasser). Die Landnutzungs- und Bodenbedeckungsklassen "Gebäude", "Vegetation" und "versiegelte Flächen" werden separat behandelt, da einige spezifische Bereiche mehr als einer Veränderungsklasse entsprechen können (z.B. es könnte ein Baum gefällt und ein Neubau an der gleichen Stelle errichtet werden - daher gehört das Gebiet zu den Klassen "gefallter Baum" und "Neubau"). Für eine Änderungskarte können die Ergebnisse jedes Algorithmus in einem Nachverarbeitungsschritt kombiniert und visualisiert werden. eCognition Developer wurde verwendet, um eine objektbasierte Change Detection Analysis durchzuführen. Ein Klassifizierungsprozess innerhalb dieser Softwareumgebung umfasst immer zwei Hauptschritte: Segmentierung und Klassifizierung (STOW et al. 2008). Die Segmentierung des multitemporalen UltraCam-Datensatzes erfolgte mit den RGB- und Infrarotdaten. Darüber hinaus wurden die DSMs beider Termine integriert, um bessere Segmentierungsergebnisse zu erzielen.

Die Methode wurde von SALENTINIG (2012) im Rahmen seiner Masterarbeit am Institut für Geographie und Raumforschung entwickelt. Weitere Informationen können u.a. auch aus SULZER et al. (2008, 2009, 2013, 2016); entnommen werden. Die Analysen für den Datensatz von 2015 wurden von PFEILER und MOLLATZ durchgeführt. Für die Entwicklung der Change Detection Methodik wurden im Grazer Stadtgebiet zwei Testgebiete, die jeweils für eine bestimmte Bebauungsstruktur repräsentativ sind, ausgewählt (Fig.2 und Fig. 3) und anschließend auf das gesamte Stadtgebiet angewandt.



Fig.2: UltraCam Daten von 2007 (links), 2011 (Mitte) und 2015 (rechts).



Fig.3: UltraCam Daten von 2007 (links), 2011 (Mitte) und 2015 (rechts).

#### 4.1 Veränderung von Gebäuden

Ähnlich wie bei BOUZIANI et al. (2010) wurde ein Regelwerk entwickelt, um Informationen über die Veränderung von Gebäuden zu extrahieren. Sie enthält Regeln, die Bildobjekte identifizieren, die entweder von einer Landnutzungs-/Landbedeckungsklasse auf "Gebäude" oder von "Gebäude" zu etwas anderes übertragen werden. Daher ist das Ergebnis des Algorithmus eine Klassifikation, die die Veränderungsklassen "Neubau" und "abgerissenes Gebäude" umfasst (Fig. 4). Da das Regelwerk stark hierarchisch aufgebaut ist, ist es wichtig, die Regeln Schritt für Schritt im eCognition-Developer zu implementieren, da die Ergebnisse jedes Prozesses die Grundlage für den nachfolgenden Klassifizierungsschritt bilden. Der komplette Gebäudewechselerkennungs-Workflow wird in Fig. 5 (links) visualisiert.



Fig.4: Mögliche 2D Gebäudeveränderungen

#### 4.2 Änderungen der Vegetation (Fig. 5, rechts)

Die Vegetationsstruktur wurde in drei Höhenstufen eingeteilt: Hohe Vegetation (über 3,5 Meter), mittelhohe Vegetation (zwischen 1,5 und 3,5 Meter) und Bodenvegetation (unter 1,5 Meter). Dadurch wird es u.a. möglich zwischen Baum und Busch zu unterscheiden. Der Algorithmus für beide Vegetationstypen ist grundsätzlich gleich, aber die Schwellwerte für das Regelwerk mussten für die Erkennung der Buschänderung angepasst werden. Zuerst wurden alle Bäume und Sträucher in den Bilddaten von 2007, 2011 und 2015 klassifiziert, um eine Basis für die anschließende Klassifizierung von Vegetationsveränderungen in eCognition Developer zu generieren. Darauf folgte die Anwendung des bisher entwickelten wissensbasierten Regelwerks.

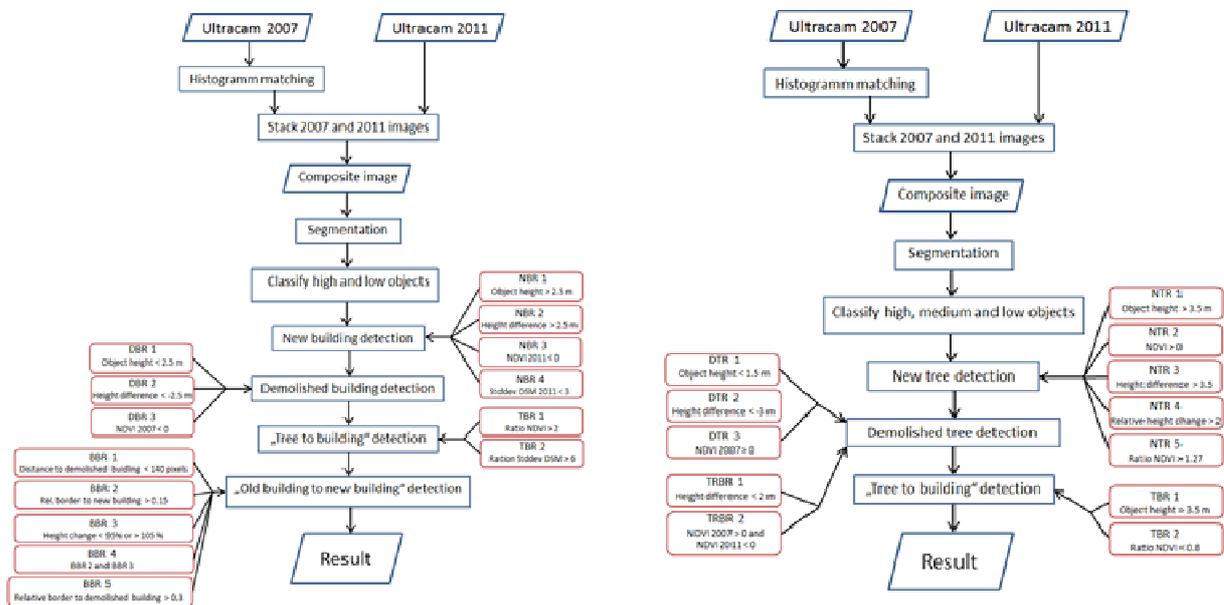


Fig. 5: „Gebäude Change Detection Workflow“ (links) und „Vegetation Change Detection Workflow“ (rechts).

#### 4.3 Änderungen der versiegelten Flächen

Der Change Detection Ansatz für die versiegelten Flächen stellt den einfachsten Algorithmus dar. Sobald ein Gebiet, das ursprünglich mit Vegetation bedeckt war, in eine versiegelte Fläche umgewandelt wird, ist dieser Prozess meist nicht mehr umkehrbar. Versiegelte Oberflächen sind Bodenobjekte. Erhöhte versiegelte Flächen (über 2,5m) wurden als Gebäude klassifiziert. Da versiegelte Bereiche fast keine photosynthetische Aktivität zeigen, ist auch der „normalisierte differenzierte Vegetationsindex“ (NDVI) sehr gut geeignet. Die Hauptkomponentenanalyse ist zudem ein sehr häufiger und geeigneter Ansatz zur Erkennung von Veränderungen in der Landnutzung/Landbedeckung und erwies sich auch als sehr nützlich für die Erkennung von versiegelten Oberflächen.

### 5 ERGEBNISSE

#### 5.1 Veränderung von Gebäuden

Die ersten Schritte des Algorithmus sind der Erkennung neuer Gebäude gewidmet, die auf ehemals flachen Gebieten (z. B. landwirtschaftliche Felder oder Wiesen) gebaut wurden. Alle Gebäude mit einer Mindesthöhe von 2,5 Metern wurden dabei ausgewiesen. Objekte, die kleiner als 2,5 Meter waren, wurden nicht berücksichtigt, da diese im traditionellen Sinne nicht als "Gebäude" bezeichnet werden können. Allerdings wurden auch Anhänge an bestehende Gebäuden oder kleine Neubauten wie Gartenhäuschen (mit entsprechender Höhe) erfolgreich klassifiziert. Fig. 6 bis Fig.8 zeigen korrekt erkannte neue Gebäude in

unterschiedlichen Bebauungsstrukturen. Die Gebäudeveränderungen („Change Map“) des gesamten Stadtgebietes werden in Form von einzelnen Mappenblättern dargestellt erfolgen (Fig. 9 und Fig 10).



Fig. 6: Richtig detektierte neue Gebäude.



Fig. 7: Ein richtig klassifizierter Gebäudezubau.



Fig. 8: Korrekt klassifizierte Objekte der Klasse "old building to new building".

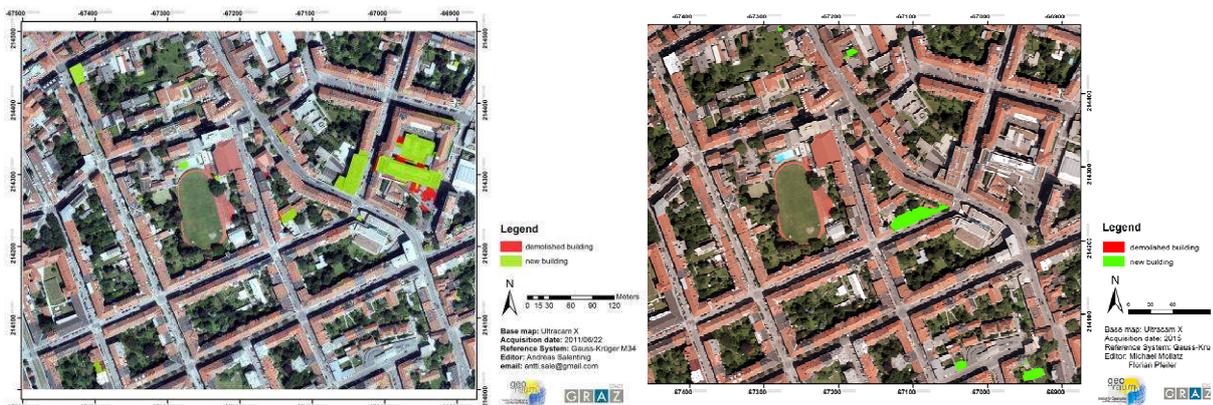


Fig. 9: Gebäudeveränderungen im Bereich der Neuen Technik (links: 2007 auf 2011, rechts: 2011 auf 2015).

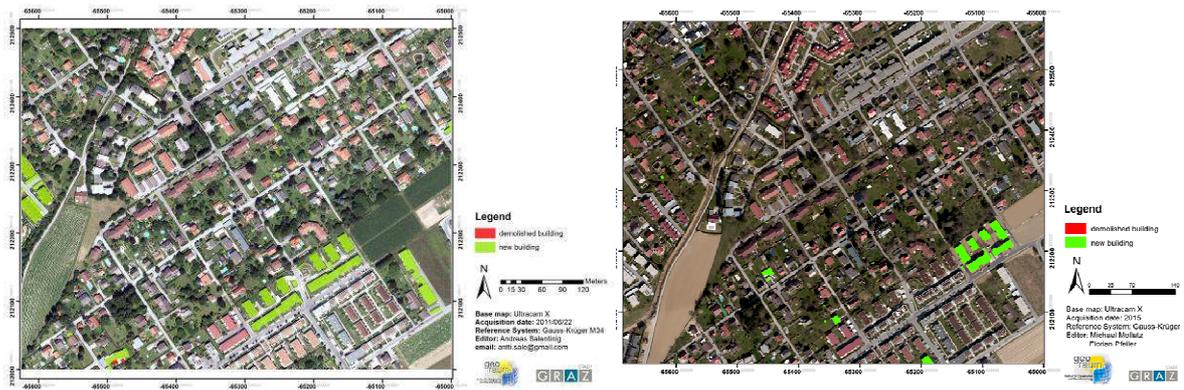


Fig. 10: Gebäudeveränderungen im Bereich Sternäckerweg (links: 2007 auf 2011, rechts: 2011 auf 2015).

## 5.2 Änderungen der Vegetation

Die Änderungserfassungsalgorithmen für Bäume und Büsche lieferten gute Ergebnisse. Neu gepflanzte sowie gefällte hohe und niedrige Vegetation wurden durch die Anwendung der Algorithmen auf die UltraCam Daten genau abgegrenzt. Fig. 11 und Fig. 12 zeigen Beispiele von Objekten, die korrekt als "Neupflanzung" und "gefällter Baum" klassifiziert wurden. Fig. 13 zeigt eine Darstellung der Veränderungen von Baumkronen. Der Algorithmus erzielte zufriedenstellende Ergebnisse für die Klassifizierung von Objekten, die zu diesen Klassen gehörten. Baumkronenwachstum und Baumkronenzuschnitt sind besonders im urbanen Bereich häufig vorkommende Phänomene und in Hinblick auf Biomassezuwachs/-abnahme von Bedeutung.



Fig. 11: Richtig klassifizierte neu gepflanzte und gefällte Bäume



Fig. 12: Korrekt klassifizierte neue Einzelbäume.



Fig. 13: Korrekt klassifizierte Baumkronenveränderungen.

### 5.3 Änderungen der versiegelten Flächen

Neu versiegelte Flächen wie Straßen in der Nähe von Neubauten wurden erfolgreich erkannt. Geringfügige Ungenauigkeiten in den Klassifikationsergebnissen waren auf Fahrzeuge zurückzuführen, die auf den Straßen fahren und Schatten verursachten. Fig. 14 dokumentiert einige neue Straßen, die als Teil des Bauprozesses in diesem Bereich versiegelt wurden. Die hohe räumliche Auflösung der UltraCam-Daten erlaubte sogar die Erfassung kleinere Oberflächenveränderungen wie Straßenvergrößerungen oder neugebaute Gehsteige im Hinterhof. Eine Gesamtdarstellung findet sich in Fig.15.



Fig. 14: Richtig klassifizierte Straßenverbreiterungen.

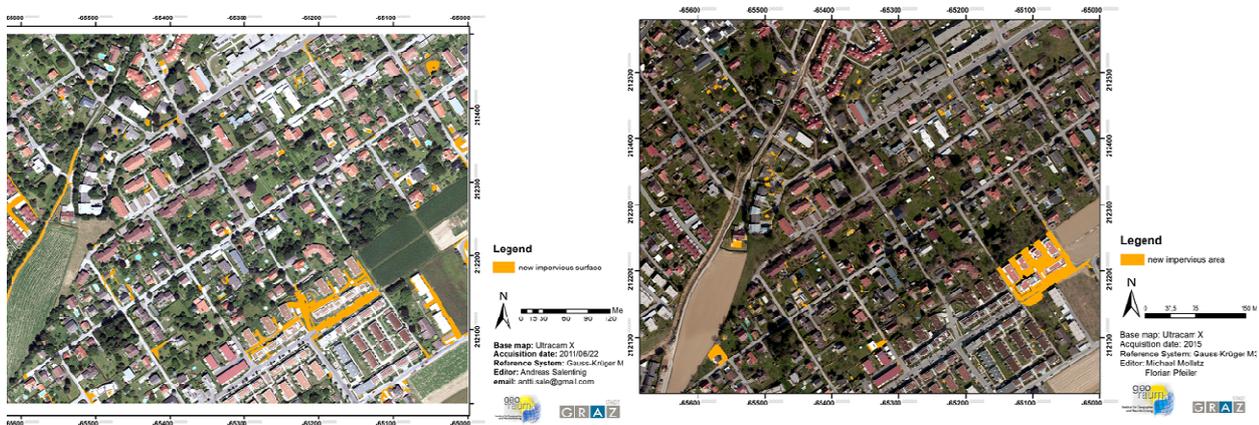


Fig. 15: Veränderungen von versiegelten Flächen im Bereich Sternäckerweg (links: 2007 auf 2011; rechts: 2011 auf 2015).

## 6 PROBLEME

Mehrere Probleme entstanden bei der Entwicklung der Änderungserfassungsalgorithmen. Alle im Algorithmus integrierten Veränderungstechniken haben gemeinsam, dass Schwellenwerte für veränderte Bereiche gefunden werden müssen. Die Methode kann somit bestenfalls als halbautomatisiert bezeichnet werden, da die Bearbeiterin oder der Bearbeiter die Schwellenwerte individuell bestimmen muss. Es wird eine gewisse Ungewissheit über die Veränderungen der Erkennungserfassung geben, da die Qualität des Regelwerks stark von der Erfahrung der Bearbeiterin oder des Bearbeiters abhängt. Schatten erwiesen sich als das größte Problem bei der Entwicklung der Änderungserfassungsalgorithmen. Schatten sind generell ein großes Problem in der Fernerkundung. Bei der Änderungserkennung wird das Problem noch komplizierter, weil die Bilder zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen werden. Während in der monotemporalen Klassifikation Schattenbereiche separat ausgeschnitten und separat behandelt werden können (MUICK 2011), bedeutet es für die multitemporale Klassifikation, dass Schatten nicht den gleichen Bereich abdecken und daher zu schlechten Änderungserkennungsergebnissen führen können (Fig. 16 und Fig. 18). Die Bilder wurden in verschiedenen phänologischen Stadien (Frühjahr 2007, Frühsommer im Jahr 2011 und am Beginn (März/April) der Vegetationsperiode im Jahre 2015) aufgenommen, was zu zusätzlichen Problemen führt (Fig.17). Ein Vergleich des absoluten NDVI-Wertes war also nicht geeignet. Das Verhältnis der NDVI-Werte musste also berechnet werden, um einen sinnvollen Parameter für die Vegetationsänderungserkennung zu schaffen. Auch war ein nDSM (2011-2015) aufgrund der fehlenden Belaubung in den 2015er Bilddaten nur eingeschränkt verwendbar.

Die photogrammetrisch abgeleiteten DSMs der Daten waren aber allgemein von sehr hoher Qualität (Ausnahme siehe oben). Einige kleinere Unterschiede wurden zwischen dem 2007 und dem 2011 DSM beobachtet, vor allem bei Gebäudekanten. Die DSM-Unterschiede waren minimal und nur wenige

Dachkantenobjekte wurden falsch klassifiziert (Fig.18). LKW können ähnliche Höhen zu kleinen Gebäuden zeigen und ihre Oberfläche ist spektral vergleichbar mit Gebäudedächern. Deshalb wurden einige Lastwagen als "Neubau" eingestuft. Es wurden räumliche Beziehungen zu benachbarten Objekten benötigt, um LKW korrekt zu klassifizieren (Fig.19).



Fig. 16: Einfluss des Sonnenstands auf Schattenflächen (links: September 2007, Mitte: Juni 2011, rechts: April 2015).



Fig. 17: Fehlende Belaubung (März/April 2015).



Fig. 18: Einfluss des Sonnenstands auf Schattenflächen (links: September 2007, Mitte: Juni 2011, rechts: April 2015).



Fig. 19: Ein Lastwagen, fälschlicherweise als neues Gebäude klassifiziert.

## 7 FUNKTION DER ERKENNTNISSE

Das Aufzeigen von Veränderungen stellt eine unverzichtbare Basis-Information in Planung und im Controlling dar. Lange Zeit wurde in der photogrammetrischen Datenerfassung primär auf Aktualität Wert gelegt. Aber seit der Entwicklung hochgenauer, rationeller und praxistauglicher Algorithmen bzw. Workflows, ist die (wiederkehrende) Feststellung, Ausweisung und Dokumentation der wesentlichen Veränderungen (Monitoring) in den hochverdichteten urbanen Räumen fixer Bestandteil der Nachbearbeitung und Auswertung von Fernerkundungsdaten. Ausgehend von den umfassenden und komplexen Aufgabenstellungen, werden die Ergebnisse von einer Vielzahl von Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern, Planerinnen und Planern und anderen Interessenten genutzt (Fig. 20).



Fig. 20: User-Kunden-Struktur.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind für eine moderne kommunale Organisation von größter Bedeutung. Sie bilden eine wichtige Grundlage für strategische Überlegungen und Planungen in den unterschiedlichsten Themengebieten. Des Weiteren ermöglichen sie vertiefende bzw. fortführende (GIS-)Analysen und aufgrund der hohen Genauigkeit und Aussagekraft, grundlegend auch eine Steigerung der Qualität von Entscheidungen.

Beispielhafte Einsatzgebiete der Analysen sind in Tab. 2 angeführt :

Stadt- und Raumplanung: Entwicklungskonzepte Gutachten in Bauverfahren	Forstwirtschaft: Bestandskontroll/ Bewirtschaftungsplanung
Hoch- und Tiefbau: Generelle Projekte u. Studien Detailprojekte Kontrolle	Rechtsprechung (z.B. Bau- und Forstgesetz, Baumschutzverordnung...): Beweis der Veränderung
Grünraum: Bestandskontrolle Planung	

Tab. 2: Beispielhafte Einsatzgebiete der Analysen.

Die wesentlichsten Vorteile der generierten Ergebnisse sind: die rationelle großräumige Erfassung des gesamten Stadtgebietes, die hohe Genauigkeit auf Basis der hochauflösenden Bilddaten, sowie die Generierung historisch wertvoller Vergleichsdaten der Veränderungen.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse sind fester Bestandteil des städtischen Geographischen-Informationssystem. Somit sind ein effizientes Datenmanagement, umfassende Analysemöglichkeiten und zeitgemäße Informationsbereitstellung (Auskunftstools/WEB-Services etc.), ein Garant für eine nachhaltige umfassende Nutzung. Die umfangreiche Aussage der erarbeiteten Ergebnisse hat sich in der Praxis als unverzichtbarer Standard etabliert.

## 8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die entwickelte Change Detection Methode kann als objekt- und wissensbasiertes Hybridverfahren zusammengefasst werden, wobei die „image differencing, image rationing and principle component analysis“ kombiniert werden. Alle diese Methoden wurden in einen Algorithmus integriert. Eine der populärsten Methoden, die der „Post Classification Comparison“ wurde nicht berücksichtigt, weil sie in einem anderen Projekt an der Abteilung für Geographie und Regionalforschung verwendet wurde und auch weil das Ziel dieser Studie war, eine Methode zu entwickeln, die nur einen Klassifizierungsschritt erfordert. Die wertvollsten Parameter für den Änderungserkennungsprozess waren Höheninformationen (DSMs und nDSMs) und der NDVI. Die entwickelten Algorithmen lassen sich - wenn auch nicht ganz problemlos - auf weitere UltraCam-Befliegungen anwenden. Da die meisten Parameter den relativen Änderungen entsprechen, müssen nur wenige Schwellenwerte nach den Dateneigenschaften angepasst werden. Das Ziel war es, einen halbautomatischen Algorithmus, der für den Datensatz 2007-2011 entwickelt wurde, für die Änderungen 2011-2015 weiter zu entwickeln. In Zukunft sollte es möglich sein, dass neu erworbene UltraCam-Daten in das System geladen und automatisch auf Änderungen analysiert werden. Automatische Kartenaktualisierung mit Hilfe von vorhandenen Katasterverektordaten erspart viel Arbeit und Zeit. Aufgrund seiner sehr hohen räumlichen Auflösung eignen sich UltraCam X Daten sehr gut für eine anspruchsvolle Change Detection Analyse. Darüber hinaus erfasst der Sensor Bilder im IR-Teil des elektromagnetischen Spektrums, was definitiv die Möglichkeiten der städtischen Veränderung erhöht. UltraCam X Daten sind wahrscheinlich die besten Daten, die derzeit für die städtebauliche Erkennung zur Verfügung stehen. Allerdings hängt die Qualität in einer Veränderungserkennung stark von der Ähnlichkeit der Bildakquisitionstermine ab, bedingt durch den reduzierten Einfluss von Umweltfaktoren. Die Methodik kann auch mit allen Schwierigkeiten, die die frühe Befliegung 2015 bietet, auf das gesamte Stadtgebiet angewendet werden. Da die meisten Parameter den Höhenänderungen oder relativen Merkmalsänderungen entsprechen, müssen meist nur Schwellenwerte angepasst werden.

## 9 DANKSAGUNGEN

Die Autoren danken der Stadt Graz (Stadtbaudirektion, Stadtplanungsgamt, Stadtvermessungsamt, Abteilung für Grünraum und Gewässer, Umweltamt, Holding Graz Services – Wasserwirtschaft) für die Finanzierung dieses Projekts und die Bereitstellung der Datengrundlagen.

## 10 REFERENCES

- BOUTIANI, M., GOITA, K., HE, D.: Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 64, pp. 143-153, 2010.
- COPPIN, P., JONCKHEERE, I., NACKERTS, K., MUYS, B., LAMBIN, E.: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. In: International Journal of Remote Sensing, Vol.25, No. 9, pp.1565-1596, 2004.
- DEER, P.: Digital change detection techniques: civilian and military applications. In: International Symposium on Spectral Sensing Research 1995 Report, Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Center, 1995. <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/digitalc.htm>
- DEFINIONS AG: eCognition Developer 8.0.1 – User Guide. – Definiens AG, Munich, Germany, 236 p., 2010.
- EICHBERGER, ST., SULZER, W.: Urban development of Graz – a time series analysis with historical aerial photographs. In: Remote Sensing and GIS for Environmental Studies - Goettinger Geographische Abhandlungen, Vol. 113, pp. 63 – 70, 2005.
- GRUBER, M., WIECHERT, A., LADSTÄDTER, R.: UltraCam – digitale Luftbildkameras für alle Fälle. In: Vermessung & Geoinformation, Issue 3, pp. 353 – 358, 2009.
- IOANNIDIS, C, PSALTIS, C. AND POTSIU, C.: Towards a strategy for control of suburban informal buildings through automatic change detection. In: Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 33(1), pp. 64-74, 2009.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDIZIO, E., MORAN, E.: Change detection techniques. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No.12, pp. 2365 – 2401, 2004.
- MUICK, M.: Objektorientierte Landbedeckungsklassifikation unter besonderer Berücksichtigung der dritten Dimension, unpublished Master Thesis, Department of Geography and Regional Science, University of Graz, 86 p., 2011.

- PACIFICI F., DEL FRATE, F., SOLIMINI, AND C., EMERY, W.: An Innovative Neural-Net Method to Detect Temporal Changes in High Resolution Optical Satellite Imagery. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 45, No. 9, pp. 2940 – 2952, 2007.
- SALENTINIG, A.: Remote sensing change detection of urban environments with very high resolution ULTRACAM data, unpublished master thesis, Department of Geography and Regional Science, University of Graz, 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.
- SINGH, A.: Digital change detection techniques using remotely sensed data. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, pp. 989–1003, 1989.
- STOW, D., HAMADA, Y., COULTER, L., ANGUELOVA, Z.: Monitoring shrubland habitat changes through object-based change identification with airborne multispectral imagery. In: Remote Sensing of the Environment, Vol. 112, pp. 1051 – 1061, 2008.
- STOW, D.: Geographic object-based Image Change Analysis. In: Handbook of Applied Spatial Analysis, edited by M. FISCHER AND A. GETIS, Springer, pp. 569 – 586, 2009.
- SULZER, W., KERN, K.: Urban change extraction from aerial photographs and multispectral scanner – an applied study from Graz/Austria. In: Remote Sensing for a Changing Europe, edited by D. MAKTAJAV, IOS Press, pp. 551 – 557, 2009.
- SULZER, W., KERN, K.: Urban change extraction from aerial photographs and multispectral scanner – an applied study from Graz/Austria. In: Remote Sensing for a Changing Europe, edited by D. MAKTAJAV, IOS Press, pp. 551 – 557, 2013.
- SULZER, W, MUICK, M., GANSTER, W.: Objektorientierte Landbedeckungsklassifikation von Graz (Österreich) unter besonderer Berücksichtigung der dritten Dimension, in: M. SCHRENK, V. V. POPOPICH, P. ZEILE, P. LISEI (Hrsg): Proceedings REAL CORP 2013. 2013, 651 – 660, 2013.
- SULZER, W.: Reale Abbildung der Stadtentwicklung Graz – Landnutzungskartierung 1945 – 2015. Magistrat Graz, 260p, 2016.
- 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, 2011.
- YIANYA, G., HAIGANG, S., GUORUI, M., QIMING, Z.: A review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37, part B7, Peking, pp. 757 – 762, 2008.

