



Erfassung der früheren und aktuellen Siedlungsdynamik von Hanoi auf Basis von heterogenen Satellitenbildern

INGRID CHRIST & ROLF LESSING, POTSDAM

Keywords: Stadtentwicklung, Urbanisierung, Fernerkundung, Klassifizierung, Satellitenbilder

Zusammenfassung: Die Megacity Hanoi erfährt bereits seit Jahrzehnten ein enormes Wachstum, zeitweise ungeplant, zeitweise geplant. Die räumliche Erfassung dieser Stadtentwicklung stellt dabei die Basis dar, um daraus Ableitungen für die zukünftigen Verkehrs- und Stadtentwicklungspläne vorzunehmen. Seit Beginn der 70er Jahre gibt es Satellitenbilddaten, die mittlerweile fast historische Stadtbilder widerspiegeln. Mit Hilfe verschiedener Satellitenbilddaten, basierend auf Landsat MSS, Landsat TM5, Landsat ETM7 bis hin zu RapidEye Sensoren wurden unterschiedliche Methoden zur semi-automatischen Klassifizierung der Stadtausdehnung sowie der Strukturänderung getestet und optimiert, um einen schnellen, aber auch qualitativ tragbaren Überblick zur Siedlungsdynamik zu erhalten. Als erste Methode wurde eine objektbasierte Klassifizierung auf Basis der eCognition-Software 8.0 angewandt, bei der zunächst eine Segmentierung und dann Klassifizierung für diese Segmente durchgeführt wurden. Die wenig transparente Ausweisung von Segmenten erwies sich als sehr nachteilig. Zeitreihen mit unterschiedlichen Wetterbedingungen, Jahreszeiten oder räumlich unterschiedliche Ausschnitte weisen dabei keine Vergleichbarkeit auf, um ein semi-automatisches Verfahren anzuwenden. Positiv hat sich dagegen die Verwendung eines eigenen DELPHI IMM Ansatzes von Repräsentanten erwiesen, da damit die ‚Segmente‘ vorgegeben und somit für alle optischen Sensordaten gleich sind. Eine Übertragbarkeit in Zeitreihen ist dadurch deutlich höher. Dies gilt auch für die Übertragbarkeit auf Daten von anderen Sensoren, wie beispielsweise Sentinel 2. Zukünftig könnten diese frei verfügbaren Sentinel-Daten eine preisgünstige Möglichkeit sein, um einen schnellen Hinweis auf Suburbanisierung, Verdichtung oder Verslumung zu erhalten. Das Ziel eines multi-temporalen Ansatzes konnte aufgrund der vielen Wolken im Großraum des subtropischen Hanois und damit schlechten Datenlage nicht erreicht werden. Für weitere Forschungsarbeiten

könnte alternativ der Einsatz von Radardaten getestet werden, die unabhängig von Wolken und für Sentinel 1 alle 6 Tage verfügbar sind. Die Veränderungsanalyse hat im Groben genau die Gebiete ermittelt, die politisch als suburbane Stadterweiterung oder als New Urban Area (NUA) deklariert wurden. Darüber hinaus konnten schneller und langsamer wachsende Gebiete über die Zeitschnitte detektiert sowie kleinräumigere Differenzierungen erkannt werden.

Summary: *Acquisition of the former and current settlement dynamics of Hanoi based on heterogeneous satellite images.* The Megacity Hanoi is growing enormously for decades, partly unplanned, temporarily planned. Spatial coverage of this urban development is a good basis for deriving prospective traffic- and urban development plans. Satellite imagery exists since the early 70s which now document almost historic cityscape. Different methods for semi-automatic classification of urban growth and structure were tested and optimized by means of several satellite data based on Landsat MSS, Landsat TM5, Landsat ETM7 or RapidEye sensors in order to get a quick and acceptable overview of the urban dynamics. The first applied method was an object-oriented classification with eCognition 8.0 divided into segmentation and classification. The object definition rules of time series already of one sensor based on different weather conditions, seasons and bounding boxes were not transferrable caused by completely different segmentation. In contrast to this an approach with representatives has better results for time series because these ‚segments‘ are pre-defined and have always the same borders. The same is true for data from other sensors, for example Sentinel 2. This free data could become in future a low-cost possibility to get quick hints for suburbanization, agglomeration or urban decay. The aim of a multi-temporal approach was not achieved due to an insufficient number of satellite data caused by many clouds in the subtropical

area. The use of radar satellite data, irrespective of clouds, could specially in this area be an alternative and a focus for further research works. Sentinel 1 is a radar satellite with a revisit time of six days. The analysis of the change has roughly confirmed the political plans for suburban growth or also known as New Urban Area (NUA). Moreover, areas with fast or slow growth were detected while urban structures were differentiated in more detail.

1 Einleitung

Die Megacity Hanoi ist von Beginn der Stadtgründung bis heute starken Veränderungen unterlegen. Historisch gesehen geht die Altstadt von Hanoi auf die Stadtgründung im 11. Jahrhundert zurück. Danach folgte eine starke Prägung durch die französische Kolonialherrschaft bis 1954. Die Stadterweiterung nach Süden, der Bau des Hauptbahnhofes sowie der Ausbau des Verkehrsnetzes stellen heute noch prägende Strukturen aus dieser Zeit dar. Nach der Unabhängigkeit Vietnams wurde die Stadtstruktur Hanois bis 1985 von sozialistischen Leitvorstellungen beeinflusst, wie De-Urbanisierung und die Verlangsamung des städtischen Wachstums. In den letzten drei Dekaden erfuhr die vietnamesische Hauptstadtregion Hanoi einen enormen Anstieg an Bautätigkeit und damit eine Änderung der Landnutzung (WAIBEL 2011).

Im Gegensatz zu diesen echten Urbanisierungen (Stadterweiterung und Verdichtungen) wurde 2008 auch eine fundamentale, administrative Neugliederung (horizontale, administrative Reorganisation) in Hanoi durchgeführt, indem die westlich von Hanoi gelegene Provinz Ha Tay vollständig sowie kleinere Teile der Provinzen Vinh Phuc und Hoa Binh eingegliedert wurden. Damit verdreifachte sich die Stadtfläche von 922 km² auf 3.349 km² während die Einwohnerzahl vom 1. August 2008 bis heute von 3,4 Mio. auf 6,5 Mio stieg. Mit

dem Masterplan 2030, der 2010 zur Feier des 1000jährigen Bestehens vorgestellt wurde, wird weiterhin das Stadtwachstum in Hanoi offiziell untermauert (WAIBEL 2011).

Dieses Wachstum bringt Chancen, birgt aber auch viele Herausforderungen. Insbesondere im Verkehrsbereich könnten die bestehenden Probleme durch einen Umstieg von Motorrollern zu Autos sowie einer Zunahme an Pendlern von den New Urban Areas (NUA) hin zum Stadtzentrum verstärkt werden. Die räumliche Erfassung dieser Stadtentwicklung kann dabei eine wichtige Voraussetzung darstellen, um die bisherige Verkehrsentwicklung zu erklären und zukünftige Verkehrs- und Stadtentwicklungspläne zu entwickeln.

Mit Hilfe von Erdbeobachtungssatelliten können Landbedeckungen erkannt und Veränderungen detektiert werden. Die Methodik der satellitenbildgestützten Erkennung wurde im Rahmen des Projektes *Real Time Monitoring of Urban Transport (REMON)* in Hanoi angewandt, um dieses immense Stadtwachstum und die Veränderungen der schnell wachsenden Metropole in Asien abzubilden. Die Zielstellung war dabei zum einen die Erfassung der wesentlichen Klassen der zentralen und peripheren Stadtstruktur zum gegenwärtigen Zeitpunkt sowie die Veränderungsmuster für die letzten vier Dekaden (vom Beginn der ersten verfügbaren Satellitenbilder bis zum Ende des Projektes) zu dokumentieren. Zum anderen bestand die Herausforderung in der Entwicklung eines (semi-) automatischen Prozesses für historische und gegenwärtige Satellitenbilder mit unterschiedlichen Sensoren unterschiedlicher radiometrischer, spektraler, temporaler und geometrischer Auflösung, um auch zukünftig schnelle Aussagen zum Stand der Stadtstruktur und zur Veränderung der Siedlung zu erhalten. Hierzu gibt es viele denkbare Einsätze, von der Veränderung der Flächengröße, -verteilung oder Siedlungs-

Tab. 1: Einwohnerzahlen der letzten 3 Jahre von Hanoi City (GENERAL STATISTICS OFFICE OF VIET NAM 2011–2014).

Jahr	2011	2012	2013	2014
Einwohnerzahl von Hanoi	6.761.300	6.865.200	6.977.000	7.095.900
Absolutes Wachstum		+ 103.900	+ 111.800	+ 118.900
Prozentuales Wachstum		+ 1,53%	+ 1,6%	+ 1,7%

verdichtung bis hin zur Erfassung von ungeplanten Stadt-Erweiterungen.

Für den Großraum Hanoi liegen zwar zahlreiche statistische Daten, aber kaum 'ground truth data' von Katasterämtern zur Verbesserung der Klassifizierung vor. Dies führte zu einer Studie, mit welcher Methode die besten Klassifizierungsergebnisse ohne amtliche Grundlagen erzielt werden können. Für die Qualitätsbewertung wurden stratifizierte Stichproben auf Basis von sehr hochauflösten Satellitenbildern und auch in-situ Kontrollen durchgeführt.

2 Datenlage

Beginnend mit den ersten verfügbaren Satellitenbildern aus den 1970er Jahren bis zum Jahre 2014 wurden Satellitendaten beschafft. Insbesondere für die früheren Zeiten wurden Aufnahmen aus der Landsat-Serie eingesetzt, da der erste Landsat-Satellit bereits 1972 mit MSS (Multispectral Scanner) startete. Aufgrund des subtropischen Klimas in Hanoi und der damit verbundenen häufigen Wolkenbildung konnten weitaus weniger Aufnahmen verwendet werden als geplant. Die Auswertung der Landsat MSS-Bilder bildet fast schon eine historische Stadtstruktur von Hanoi ab. Für die letzten drei Jahre wurden hochauflö-

sende RapidEye-Daten mit 5 m Boden-Auflösung aus dem RapidEye Science Archive (RESA) verwendet. Für den Innenstadtbereich konnten darüber hinaus noch die kostenintensiveren Worldview II-Daten für 2010 beschafft werden. Die Daten liegen in unregelmäßigen Zeitabständen vor. Für die 1970er Jahre existiert nur ein und für die 1980er Jahre gar kein brauchbares Satellitenbild. Demgegenüber liegen drei für die 1990er Jahre, vier für die 2000er und fünf für die 2010er Jahre vor.

Als Untersuchungsgebiet wurde die Abdeckung von RapidEye mit dem innerstädtischen Bereich sowie einem Großteil des bebauten Bereiches um die Innenstadt und entlang der Ausfallstraßen festgelegt. Insgesamt ist das Untersuchungsgebiet ca. 1.100 km² groß und wurde aus Performance-Gründen in die sechs Rapid-Eye-Kacheln unterteilt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Lage des Untersuchungsgebietes in Hanoi. Das Hintergrundbild stellt eine kostenfreie topographische Basis-karte der Bonner Firma mundialis dar, eine Kombination aus SRTM-, ASTER und OSM-Daten.

Die Provinz Hanoi ist in gelber Farbe und die sechs RapidEye-Kacheln in blauer Farbe umrandet. Das Zentrum von Hanoi ist durch die Ballung der weiß dargestellten OSM-Straßen gut zu erkennen.

Tab. 2: Verwendete Satellitendaten.

Aufnahmedatum	Satellit / Sensor	Spektrale Auflösung	Geometrische Auflösung	Radiometrische Auflösung
29.12.1975	Landsat MSS	4	Vorprozessiert 57 × 57 m ²	8 Bit
27.12.1993 30.09.1996	Landsat TM5	6	30 × 30 m ²	8 Bit
20.12.1999 11.04.2000 23.11.2001 08.11.2007 03.09.2009	Landsat ETM7	7	30 × 30 m ²	8 Bit
10.12.2010	WorldView II	4	2 × 2 m ²	11 Bit
10.12.2010	WorldView II	PAN	0,5 × 0,5 m ²	11 Bit
18.11.2012 20.05.2013 04.11.2013 14.05.2014	RapidEye (RE1) RapidEye (RE3) RapidEye (RE4) RapidEye (RE5)	5	5 × 5 m ²	16 Bit

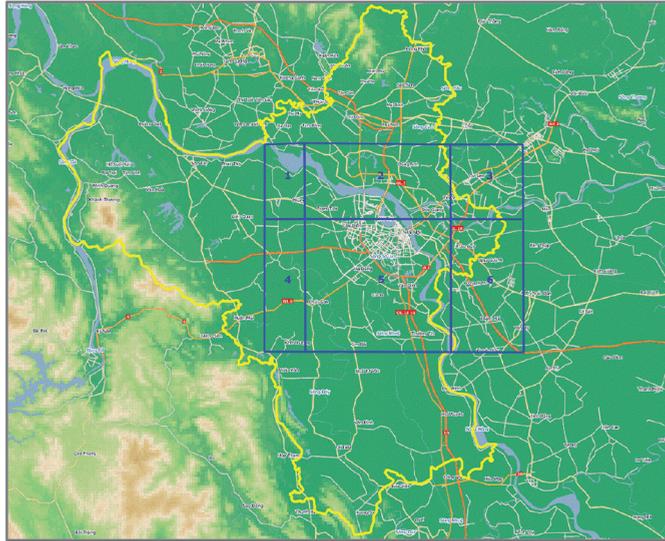


Abb. 1: Untersuchungsgebiet im Großraum Hanoi City.

3 Preprocessing – Vorarbeiten

3.1 Transformation der Satellitenbild-Spektralwerte

Die große Herausforderung dieser Arbeit stellt die semi-automatische Klassifizierung der Zeitreihen von verschiedenen Sensoren mit unterschiedlichen Eigenschaften dar (Tab. 2). Daraus ergeben sich Schwierigkeiten hinsichtlich der unterschiedlichen absoluten Spektralwerte

- durch Veränderungen aufgrund von Wolken und Wolkenschatten,
- durch unterschiedliche Aufnahmebedingungen,
- durch lokale atmosphärische Einflüsse wie Dunst.

DELPHI IMM hat hierzu einen Transformations-Algorithmus entwickelt, um die Verteilung der spektralen Pixelwerte von beliebigen Zeitreihen auf eine sogenannte Masterszene anzupassen. Dazu wurde zunächst die damals aktuellste RapidEye-Szene vom November 2013 aufgrund der Wolkenfreiheit als Masterszene (sechs Kacheln) und dazu

noch eine Zentralkachel (Kachel 5 im Altstadtbereich) definiert. Die einzelnen Bänder der Nachbarkacheln der Zentralkachel für die Masterszene wurden mit Hilfe einer linearen Regression farblich angepasst. Die Regressionsgleichung mit der Form: $Band (angepasst) = Band (original) * a + b$ ergab sich aus den Überlappungsbereichen der Kacheln.

Zur Durchführung einer Transformation wurde für jeden Spektralwert jedes Pixels und jeder Szene die kumulierte Häufigkeitsverteilung in einem bestimmten Umkreis berechnet. Für den Spektralwert des anzuwendenden Satellitenbildes wird die Position innerhalb der Häufigkeitsverteilung bestimmt und der Wert der identischen Position in der Masterszene übertragen.

Die Transformation der Original-Satellitenbilder brachte an einigen Stellen und Bereichen innerhalb der Abdeckung aufschlussreiche Informationen, so z.B. am Rande einer Wolke, unter leichten Federwolkendecken oder unter dem Wolkenschatten. An diesen Stellen liegen noch ausreichend spektrale Informationen vor, die mittels der Transformationsmethode 'freigelegt' und ausgewertet werden können. Bei starker, dichter Bewölkung greift diese Methode jedoch nicht mehr, da

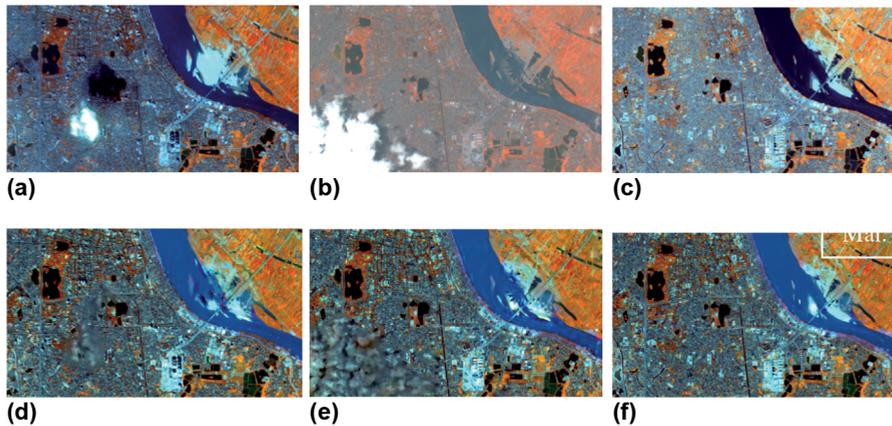


Abb. 2: Beispiele eines Ausschnittes von Original- (a) – (c) und transformierten RapidEye-Bildern (d) – (f).

die vorhandenen spektralen Werte größtenteils aus den Wolken oder dem dazugehörigen Schatten bestehen. Eine Transformation und Farbanpassung führt dann zur Belegung der Werte aus der Masterszene. Dieses Phänomen ist auch sehr gut bei größeren Veränderungsflächen zu erkennen, wie Baustellen oder Sandflächen im Roten Fluss. Für diese großen Veränderungsflächen werden hauptsächlich die Werte von der Masterszene überschrieben. Somit konnte festgestellt werden, dass die Transformation eine probate Methode für kleinere Flächen und nicht komplett überdeckte Flächen darstellt, um die darunter liegenden Informationen zu ermitteln. Bei großen oder komplett verdeckten Flächen führt diese Methode jedoch nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Deshalb wurde für die weitere Klassifizierung auf die originalen Spektralwerte zurückgegriffen sowie eine Wolken- und Schattendetektion durchgeführt.

3.2 Wolken- und Schattendetektion

Die Ausweisung von Wolken- und Schattenobjekten auf Basis der optischen Satellitenbilder von RapidEye als Landsat hat sich als ei-

gener Prozessionsschritt in Vorbereitung zur eigentlichen Klassifizierung als sehr günstig erwiesen. Auch für diese binäre Klassifizierung (1 = clouds, 0 = no_clouds) wurden unterschiedlichen Methoden eingesetzt. Im Gegensatz zur späteren Landbedeckungsklassifizierung sind die Ergebnisse der verschiedenen Methoden relativ ähnlich, so dass aus Gründen der einfachen Prozessierbarkeit das gleiche Verfahren wie die Landbedeckungsklassifizierung angewandt wurde.

4 Methodische Klassifizierungsansätze

4.1 Objektorientierte Klassifizierung mit eCognition

Für die semiautomatische Klassifizierung der Siedlungsdynamik in Hanoi wurden unterschiedliche Methoden angewandt und miteinander verglichen. Das Ziel war neben der Qualität ein möglichst geringes manuelles Eingreifen in die Prozessierungskette, um eine schnelle Abbildung der Siedlungsstruktur so-

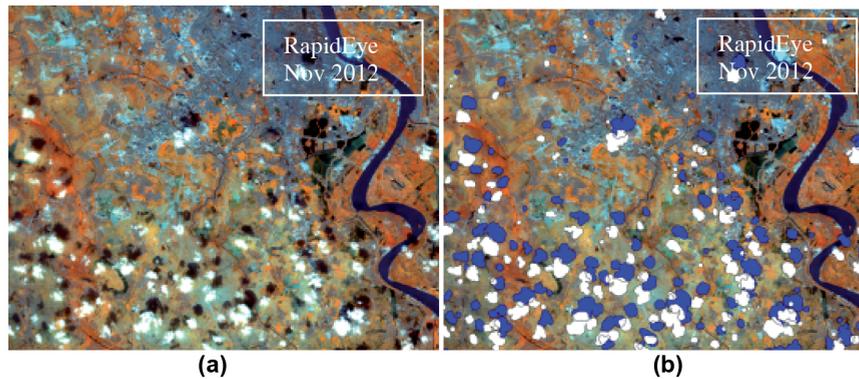


Abb. 3: Original-Bild von RapidEye (a) und Satellitenbild mit detektierten Wolken (weiße Farbe) und Ableitung der Wolkenschatten (blaue Farbe) (b).

wie eine Vergleichbarkeit der Zeitreihen auch basierend auf unterschiedlichen Sensoren zu erhalten.

Im Vergleich zur Klassifizierung im deutschen Raum stellte das Fehlen von räumlichen digitalen Katasterdaten in Vietnam eine große Herausforderung dar, da es weder eine Basiskarte noch definierte Basisobjekte gab, die mittels Change Detection Methode bewertet und dann klassifiziert werden konnten. Es musste anhand von Satellitenbildern eine eigene Basiskarte erstellt werden. Die Informationen aus der Basiskarte und den nachfolgend erzeugten Informationen konnten dann wiederum eingesetzt werden.

Dazu wurde zunächst die Software eCognition 8 eingesetzt, bei der im ersten Schritt unter Berücksichtigung der OpenStreetMap-

Straßendaten (OSM) sowie des Wolken- und Schattenlayers eine pixelbasierte multiresolution Segmentierung mit einem 7:3 Verhältnis von Compactness zu Shape durchgeführt wurde.

Im zweiten Schritt wurde für diese Segmente eine regelbasierte Klassifizierung auf Basis eines Signaturenkataloges, der Angaben zu spektralen Wertebereichen, Indices, wie beispielsweise NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sowie geometrische Parameter enthält, durchgeführt. Die Berücksichtigung von Texturlayern brachte insbesondere für die urbanen Klassen eine deutliche Verbesserung. Die nachfolgende Abbildung zeigt die mit den vietnamesischen Partnern definierten Landbedeckungsklassen.

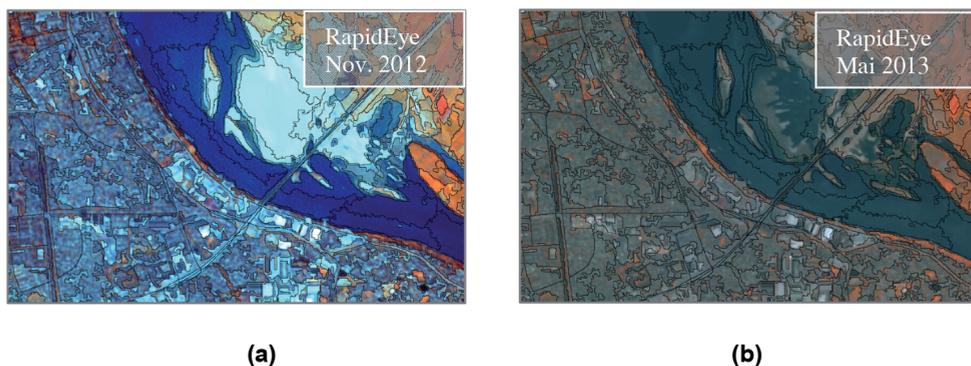


Abb. 4: eCognition-Segmentierung auf Basis der RapidEye-Szene vom November 2012 mit RapidEye Bild von 2012 (a) und mit RapidEye Bild von 2013 (b).

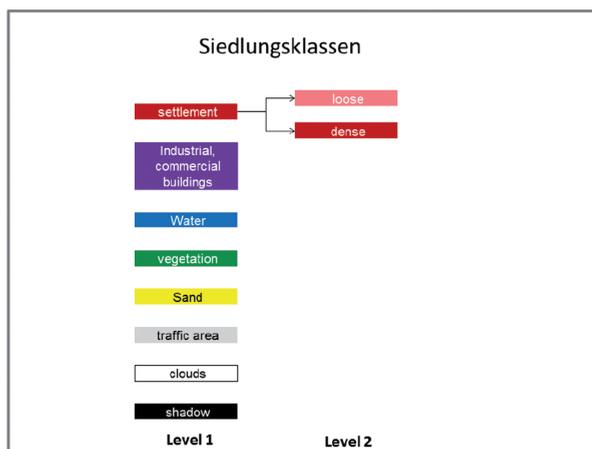


Abb. 5: Definierte Landbedeckungsklassen.

Die Ergebnisse der Qualitätskontrolle der Klassifizierung für das Satellitenbild von 2013 mittels einer 3%igen stratifizierten Stichprobe waren mit mehr als 80% Total Accuracy relativ gut. Ein großer Nachteil der beschriebenen Methode liegt dennoch in der softwareinternen, intransparenten Ausweisung der Segmente, die sich bei veränderten Bedingungen, z.B. Wetter, Jahreszeit oder auch räumlicher Ausschnitt, stark unterscheiden können. Für Zeitreihen sind diese unterschiedlichen Segmente nicht vergleichbar. In Abb. 4 ist die Segmentierung auf Basis des RapidEye-Bildes vom November 2012 dargestellt. Daneben wird das RapidEye-Bild vom Mai 2013 ebenfalls mit den Segmenten vom November 2012er Bild gezeigt. Der visuelle Eindruck zeigt bereits, dass diese Segmente vom älteren Satellitenbild nicht mehr zu verwenden sind. Eine Bewertung dieser sehr speziellen Segmente auf Basis eines aktuelleren Satellitenbildes erscheint sehr schwierig.

4.2 DELPHI Ansatz: eConstruction

Ab 2014 wurde deshalb ein neuer Ansatz auf verschiedenen Software-Modulen verfolgt, um diesen Nachteil auszugleichen. Die definierten Landbedeckungsklassen behalten weiterhin Gültigkeit als Klassifizierungsziel. Im ersten Schritt wird eine gleichförmige Maske aus Objekten, so genannte Repräsentanten,

erzeugt, die Objekt-Eigenschaften, z.B. Spektralwerte des Satellitenbildes, Textur und Indices, an sogenannten Scanpoints extrahiert und innerhalb der Repräsentanten statistisch ausgewertet, unter anderem Mittelwert, Minimum, Maximum und Standardabweichung. Dafür wurde von DELPHI IMM eine eigene Software-Komponente entwickelt, die sehr flexibel im Hinblick auf die Größe der Scanradien sowie auf die Auswahl an statistischen Merkmalen als Basis der Informationsgewinnung ist. Die Eigenschaften aus den verschiedenen Kanälen werden in einer PostgreSQL Datenbank mit Ergänzung von PostGIS vorgehalten. Damit beziehen sich alle Eigenschaften unabhängig vom Fernerkundungssensor auf die gleichen Repräsentanten. Dies ist eine wichtige Bedingung, um eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Szenen herzustellen und letztendlich Informationen zur Siedlungsdynamik aufzuzeigen.

Die Klassifizierung wurde mit RStudio auf Basis der *Random-Forest-Methode* durchgeführt, die aus mehreren unkorrelierten Entscheidungsbäumen besteht. Mit Hilfe von repräsentativen Samples zu jeder Klasse wurden diese Entscheidungsbäume trainiert. Die Samples beziehen sich auf die unterschiedlichen Landbedeckungsklassen und extrahieren ihre Werte aus den Originaldaten der Satellitenbilder. Damit sind sie unabhängig von der geometrischen, aber auch radiometrischen Auflösung des Inputs. Zuletzt werden die Klas-

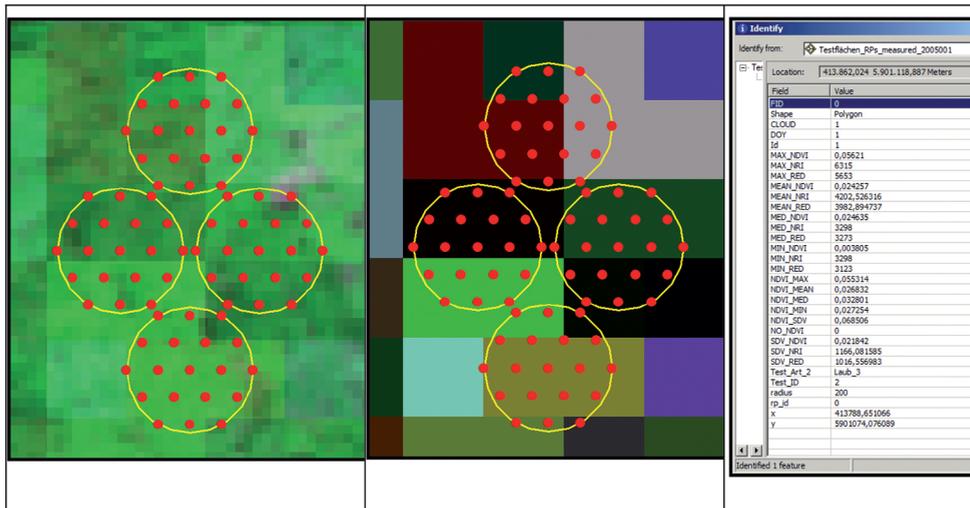


Abb. 6: Klassifizierungsansatz mittels Repräsentanten (gelber Umriss) und Scan-Points (roten Punkte).

sifizierungsergebnisse noch in einem GIS, z.B. QGIS, im Hinblick auf den zeitlichen Vergleich, die Klassenbezeichnung, Grenzauflösung bei gleichen benachbarten Objekten sowie der Änderung des Ausgabeformates, angepasst. Für die Gesamtprozessierung liegt hiermit ein semi-automatisiertes System zur Erkennung von Siedlungsstrukturen vor. Angewandt wurde dieses zunächst auf Rapid-Eye-Satellitenbildern zu verschiedenen Zeitschnitten. Danach wurde eine Übertragung auf Landsat-Daten mit 30 m Bodenauflösung mit Erfolg durchgeführt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Klassifizierung zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Die vier ausgewählten Bilder der Zeitreihe von 1975 bis 2014 zeigen sowohl in den Original-Satellitenbildern als auch in der Klassifizierung deutlich, dass sich im Laufe der Zeit die Stadtentwicklungskerne verändert haben. Das Landsat-Bild von 2001 zeigt urbane Verdichtungen im Vergleich zu 1996, bei denen noch einige Offenflächen oder auch Baustellen in gelber Farbe dargestellt werden. Weiterhin liegen die Entwicklungsgebiete in den nördlichen Vororten noch südlich des Roten Flusses und erste kleine Entwicklungskerne östlich des Roten Flusses auch noch südlich des Flusses Sông Đuống. Im Jahre 2009 zeigt das Landsat-Bild starke Entwicklungen im

nördlichen und östlichen Bereich jenseits der nördlichen Flussgrenzen. Hier entwickelten sich komplett neue Wohngebiete, aber auch Industriegebiete wie das Beispiel *Thăng Long Industrial Park II* (violett eingekreist) zeigt. Auf einer Fläche von 3.000.000 m² ist der Industriepark entstanden, der als Gewerbe- und Industrieansiedlung genutzt wird, von nationalen, aber auch internationalen Banken, Logistikunternehmen und Fabrikanten.

Das aktuellste Bild aus dem Jahre 2014 zeigt eine enorme Verdichtung über das ganze Stadtgebiet von Hanoi. Besonders auffällig ist die Entwicklung entlang der NE-SW – Achse. Hier ist das Beispiel *Vinhomes Riverside* in hellroter Farbe umkreist. Dabei handelt es sich um ein komplett neu gebautes Quartier mit Wohnhäusern, Bürogebäuden, Hospital, Schule, Kindergarten, Einkaufscenter, Golfplatz, Grün- und Wasserflächen. Hier wurden landwirtschaftliche Flächen von ca. 600.000 m² bebaut.

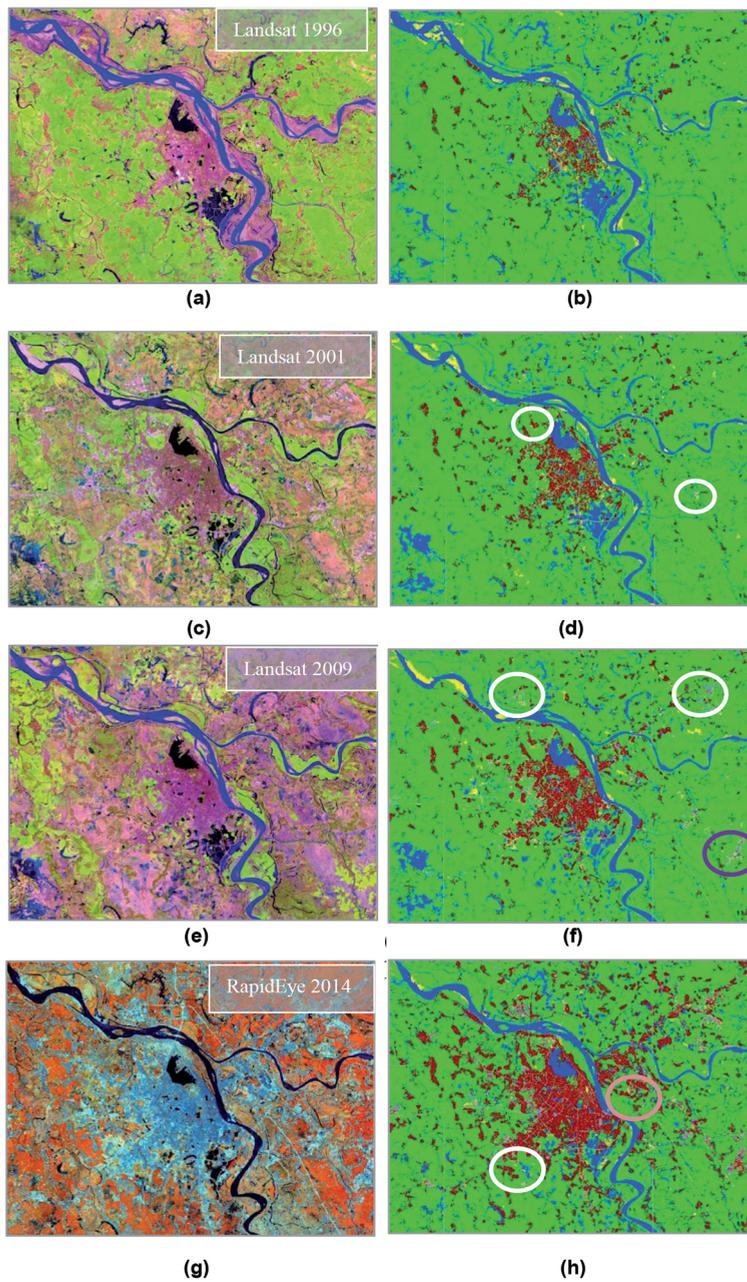


Abb. 7: Satellitenbilder von verschiedenen Zeitpunkten werden den Klassifizierungen gegenüber gestellt. Landsat von 1996 mit Klassifizierung (a) + (b), Landsat von 2001 mit Klassifizierung (c) + (d), Landsat von 2009 mit Klassifizierung (e) + (f), RapidEye von 2014 mit Klassifizierung (g) + (h). Die weißen Kreise spiegeln die Entwicklungskerne wider, der violette Kreis bezieht sich auf das Beispiel Thang Long Industrial Park II und der hellrote Kreis bezieht auf das Beispiel Vinhomes River.

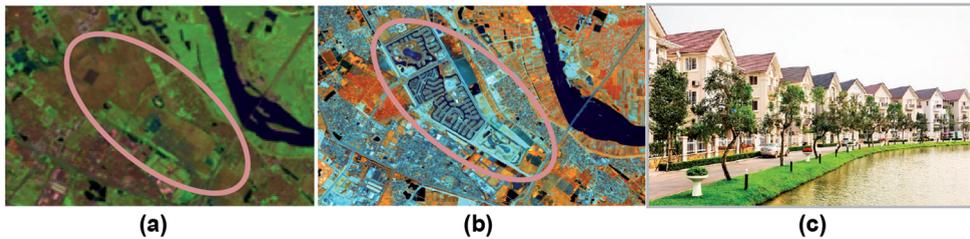


Abb. 8: Ausschnitte von Vinhomes Riverside, (a) Landsat-Bild von 2009, (b) RapidEye-Bild von 2014, (c) Beispiel-Foto von Vinhomes Riverside. Quelle: <http://www.villasvinhomesriverside.com>.

5 Siedlungsdynamik von Hanoi

5.1 Veränderungsanalyse

Das semi-automatische System beinhaltet im letzten Schritt die Ausweisung von räumlich-zeitlichen Veränderungsmustern. Abb. 9 zeigt

die Ergebnisse der Veränderungsanalyse auf Basis der Klassifizierungen der letzten vier RapidEye-Bilder von 2012 bis 2014. Dabei werden nur die Veränderungen zwischen den aufeinander folgenden Zeitschnitten betrachtet. Flächen ohne Veränderungen werden in weißer Farbe dargestellt. Die Farbe stellt die jeweils aktualisierte (veränderte) Landbedeckungsklasse dar.

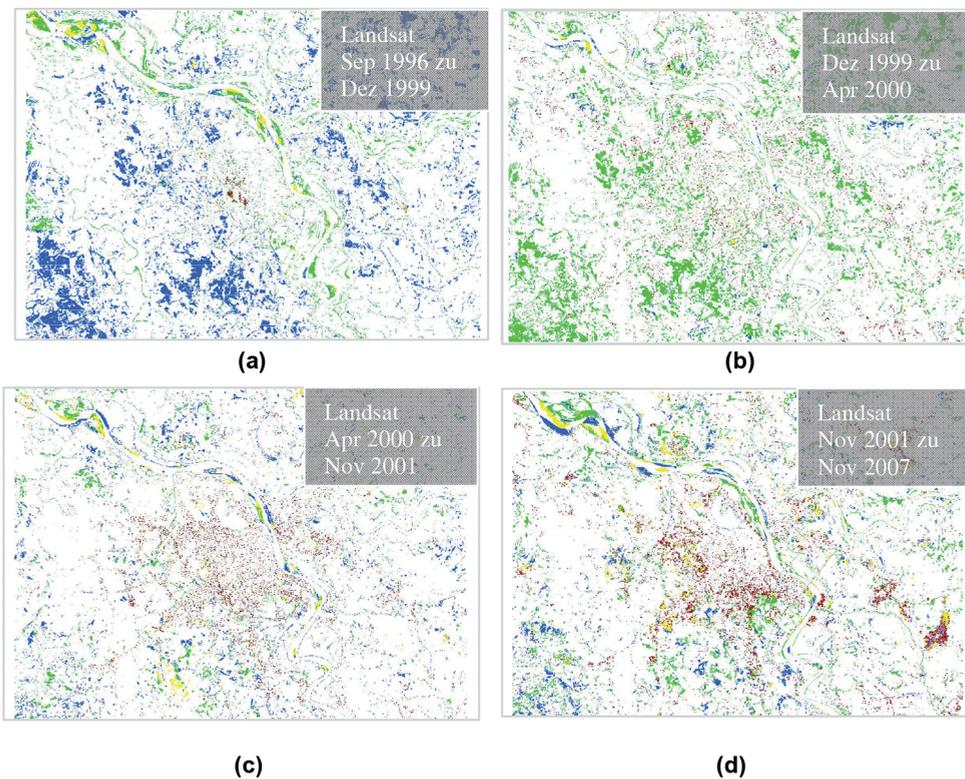


Abb. 9: Veränderungsanalyse von 1996 bis 2007 (a) – (d).

Im Großraum Hanoi handelt es sich meist um natürliche, jahreszeitliche Fluss- und Feuchtigkeitsschwankungen (erhöhter Wasseranteil in blauer Farbe) sowie um landwirtschaftliche, saisonale Veränderungen (erhöhter Vegetationsanteil in grüner Farbe). Die Veränderung zu mehr Wasserflächen ist beispielsweise sehr deutlich hin zum sehr feuchten Zeitpunkt im Dezember 1999 zu erkennen. Die Veränderung zwischen Dezember 1999 hin zum April 2000 sind meist grün, d.h. hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Vegetationsflächen, die häufig vormals Feuchthflächen oder nasse Reisangebiete darstellten.

Die dauerhaften, urbanen Änderungen (erhöhter Siedlungsanteil in roter Farbe) weisen in Bezug auf die Gesamtobjekte einen nachgeordneten Anteil auf. Diese stellen jedoch das Hauptinteresse in REMON dar. In den Bildern (c) und (d) ist die Urbanisierung besser zu erkennen. Beispiel c) zeigt dabei die Veränderung von Mai zu November 2013, wobei eine Ausbreitung der Urbanisierung (in hellroter Farbe) zu erkennen ist. Im Beispiel d) (November 2013 zu Mai 2014) ist eine Verdichtung von lockerer zu dichter Bebauung zu sehen. Die Urbanisierungen werden in den nächsten Abschnitten differenzierter beleuchtet.

5.2 Zonenentwicklung

Für eine genauere Betrachtung der Urbanisierung der letzten 20 Jahre erfolgte eine Analyse in Zonen, die sich konzentrisch um die

Innenstadt ausbreiten. Die Zonen beziehen sich auf die km-Entfernung zum Stadtzentrum (Hoan Kiem See), um nähere Informationen über Veränderungen im Innenstadtbereich, suburbanen Raum oder der Peripherie zu erhalten.

Der höchste relative Anteil an versiegelten Flächen befindet sich natürlich in der Zone 4 (ca. 70%). Je weiter entfernt sich die Zonen vom Stadtzentrum befinden, desto geringer ist der relative Anteil an versiegelten Flächen, so dass die Zone 20 den geringsten Anteil aufweist. Die Siedlungsflächen in den Zonen wachsen bis 2008 linear, danach gibt es bei allen Zonen einen Sprung zu 2011, abgesehen von Zone 4, d.h. in dieser Zeit hat die Bautätigkeit extrem zugenommen.

Ein weiteres Phänomen liegt in der Betrachtung der absoluten Veränderung. So ist erstaunlicherweise erkennbar, dass diese bis 2008 in der Zone 8 am höchsten ist. In den Jahren 2011 bis 2014 wachsen sogar die Peripherie-Bereiche überdurchschnittlich an (> 10 km² / Jahr). Den allerhöchsten Wert erreichen 2014 die Zonen 12 und 16. Es gibt verschiedene Erklärungsmodelle. Eines davon bezieht sich auf die Masterpläne. Während bis Ende der 90er Jahre noch Neubaugebiete im suburbanen Raum auf Basis des Masterplans 2010 verfolgt wurden, fokussierten sich die Neubaugebiete auf die städtischen Peripherie-Gebiete mit dem Masterplan 2020 (WAIBEL 2011). Eine wesentliche Voraussetzung dafür war die Überwindung der Barriere des Roten Flusses durch den Bau von neuen Brücken.

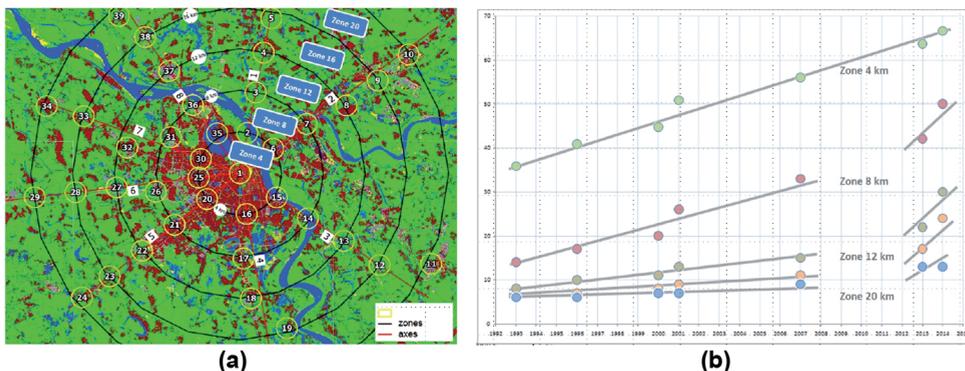


Abb. 10: Zonen-Modell (a) und relativer Anteil (in %) an versiegelten Flächen in den Zonen (b).



Abb. 11: Chronologische Einordnung des Brückenbaus in Hanoi. 1 – Cầu Long Biên (1903), 2 – Cầu Thăng Long (1985), 3 – Cầu Chương Dương (1985), 4 – Cầu Thanh Trì (2007), 5 – Cầu Vĩnh Tú (2008), 6 – Cầu Nhật Tân (2014), 7 – Cầu Đồng Tru (2014).

Allein in der Zeit zwischen 2008 und 2014 entstanden vier neue Brücken. Dies könnte ein Parameter für die sprunghafte Entwicklung in der Peripherie darstellen.

Danksagung

Die Forschungsergebnisse dieser Arbeit wurden im Rahmen des Projektes REMON ermittelt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Client-Programms ko-finanziert. Wir möchten uns auch herzlich bei den REMON-Partnern für die Zusammenarbeit und bei der Fa. Blackbridge für die Nutzung der RapidEye-Daten aus dem RapidEye Science Archive bedanken.

Literatur

- GENERAL STATISTICS OFFICE OF VIET NAM, 2011–2014: Area, population and population density by province, Hanoi. – http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=774 (7.10.2016).
- WAIBEL, M., 2011: Hanoi Goes West. – Stadterweiterung, Akteure und Konsequenzen. – *Geographische Rundschau* **63** (9): 48–55.

Adressen der Autoren:

INGRID CHRIST, DELPHI IMM GmbH, D-14469 Potsdam, e-mail: ingrid.christ@delphi-imm.de, Dr. ROLF LESSING, DELPHI IMM GmbH, D-14469 Potsdam, e-mail: rolf.lessing@delphi-imm.de

Manuskript eingereicht: August 2016
Angenommen: Oktober 2016