

Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für das Monitoring und Safeguarding informeller Siedlungen: Eine Synthese

THOMAS BLASCHKE^{1,2}, PETER HOFMANN³, ISABEL GEORG⁴, ELISABETH SCHÖPFER¹, DIRK TIEDE¹, STEFAN LANG¹, MATTHIAS MÖLLER⁵, EDUARDO ARAÚJO⁶ & HERMANN KUX⁶

Zusammenfassung: In den schnell wachsenden Städten Afrikas und Lateinamerikas nehmen informelle Siedlungen aufgrund verstärkter Migration in die Städte und fehlenden Steuerungsmechanismen zu. Den Siedlungen fehlt oft eine rechtliche Grundlage, die Wohnverhältnisse sind aufgrund begrenzter technischer und sozialer Infrastruktur, ungesunden Wohn- und Lebensverhältnissen oft katastrophal. Mehrere Fallbeispiele diskutieren die technischen Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung und führen zu der Forderung ein Monitoringsystem für das Entstehen, das Wachstum und die Veränderungen aufzubauen, um Risikoanalysen und Bevölkerungsabschätzungen zu ermöglichen. Fernerkundung spielt dabei zweifellos eine unverzichtbare Rolle. In dieser Zusammenschau wird jedoch deutlich, dass Fernerkundung nur begrenzt und meist nur zusammen mit anderen Daten zur Analyse informeller Siedlungen geeignet ist. Während z.B. Townships in Südafrika als gut für das Fernerkundungsmonitoring geeignet gewertet werden, sind Favelas in Rio de Janeiro extrem schwierig abzugrenzen und zu kategorisieren. Diese und weitere Beispiele aus Afrika und Südamerika zeigen, dass die eigentlichen Probleme der Abgrenzung und der Klassifikation ontologisch und epistemologisch bedingt sind und weniger technischer Natur.

1. Problemstellung

In den schnell wachsenden Städten Afrikas und Lateinamerikas nehmen informelle Siedlungen bis zu 75% der bebauten städtischen Fläche ein. Sie sind aufgrund einer verstärkten Migration in die Städte oft ohne planerische Kontrolle entstanden und weisen daher große Defizite an Infrastruktur auf. Informelle Siedlungen bieten den Bewohnern oftmals die einzige Möglichkeit, in der Stadt zu wohnen. Die Nutzungsänderung von landwirtschaftlicher Fläche oder von Brachflächen zu Bauland geschieht oft ohne rechtliche Grundlage, wird aber mangels legaler Bauland-

¹ Z_GIS Centre for Geoinformatics University of Salzburg, A-5020 Salzburg

² Austrian Research Centers (ARC) research studio iSPACE, A-5020 Salzburg

³ Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Univ. Hannover, D-30167 Hannover

⁴ D-81541 München

⁵ Austrian Academy of Science, Geographic Information Science, 5020 Salzburg

⁶ INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, BR - São José dos Campos

angebote in vielen Fällen toleriert oder de-facto toleriert. Die Wohnverhältnisse sind aufgrund begrenzter technischer und sozialer Infrastruktur, ungesunden Wohn- und Lebensverhältnissen oft katastrophal. Wir verwenden den Begriff „informelle Siedlungen“ hier sehr breit und inkludieren darin nicht nur die in der Öffentlichkeit bekannten z.T. dramatischen Ausprägungen als „slums“, „Favelas“ oder „Shanty towns“ sondern jegliche Art von ungeplanter, unkontrollierter oder illegaler urbaner und suburbaner Siedlungstätigkeit. Die Abgrenzung zu „formal settlements“ oder planmäßigen Siedlungen ist dabei unscharf. In den vorgestellten Fallstudien in Brasilien sind bewusst auch „normale“ Siedlungen einbezogen da es hier große Probleme bei rein physiognomisch-deskriptiver Abgrenzung gibt (HOFMANN 2005). In dieser Synthese wird diese Rolle kritisch hinterfragt. Anhand mehrerer Fallstudien aus Brasilien und aus Afrika (Zimbabwe und Tschad/Dafur) wird das Potenzial hoch auflösender (optischer) Fernerkundungsdaten vergleichend bewertet und es werden Probleme aufgezeigt.

2. State of the art

Die exakte räumliche Verortung von ungeplanten Siedlungen ist lange Gegenstand der Forschung. Prinzipiell handelt es sich dabei um ein Problem, das abhängig ist vom Maßstab, resp. der räumlichen Auflösung. Der Einsatz von hoch auflösenden Fernerkundungsbilddaten aus Luftbildern (z.B. HURSKAINEN & PELLIKKA) oder Satellitendaten (vgl. MASON & FRASER 1998) wird häufig propagiert und hat sich in den letzten Jahren methodisch stark weiterentwickelt (PESARESI & BENEDIKTSSON 2000, DARE & FRASER 2001, HOFMANN 2005, HOFMANN et al. 2006, LANG et al. 2006a, LANG et al. 2006b, SCHÖPFER et al. 2007). Bei den neueren der genannten Studien werden aktuelle Fernerkundungsbilder mit räumlich hoher Auflösung und objekt-basierte Methoden (BLASCHKE et al. 2000, BLASCHKE & STROBL 2001, BURNETT & BLASCHKE 2003, CASTILLA 2003) zur Auswertung dieser Bilddaten angewendet. Aus Luftbildern kann detailliert und auf Katasterniveau der aktuelle Zustand eines Gebietes bis in einen Maßstabsbereich von ca. 1:500 erfasst werden (NEER 1999). Da aktuelle Luftbilder gerade in Regionen, in denen typischerweise ungeplante Siedlungen entstehen, nicht oder nur sehr eingeschränkt und in unregelmäßigen Abständen verfügbar sind, muss auf andere Informationsquellen zurückgegriffen werden. Hier bieten optische Fernerkundungssensoren der sog. 1 m Generation mit hohen räumlichen Auflösungen und einer spektralen Breite, die das sichtbare und das nahe infrarote Spektrum abdecken, beste Möglichkeiten für das Monitoring auch kleinräumiger urbaner Objekte auf einem hohen Maßstabsniveau (HOFMANN et al. 2006, MÖLLER & BLASCHKE 2006a, Abb. 1a-c). Insbesondere die Detektion von neuen Objekten oder eine Änderung der Flächennutzung sind hier zu nennen, über entsprechende Ontologien wird in diesem Aufsatz diskutiert. Für eine permanente, großmaßstäbige Beobachtung sensibler Regionen sind dann Auswerteverfahren sehr hilfreich, die die weitgehend automatisierte Ableitung der Änderung aus aktuellen Fernerkundungsdaten mit einer nur minimalen Überwachung und Unterstützung durch einen Interpreten ermöglichen. MASON & FRASER (1998) definieren detaillierte Anforderungen an Satellitenaufnahmen speziell für die Überwachung von informellen Siedlungen.

Für eine Detektion auf Gebäudeebene im Maßstab von ca. 1:1.000 bieten Satellitenaufnahmen der Sensoren Ikonos, Orbview und Quickbird mit Bodenauflösungen von 0,6 - 1 m (panchromatisch) und 2,44 - 4 m multispektral gute Voraussetzungen. So konnten MOELLER & BLASCHKE 2006b zeigen, dass die Grundrisse von Gebäuden sehr exakt aus optischen Fernerkundungsdaten mit einer räumlichen Auflösung von 0,6 m abgeleitet werden können. MAYUNGA et al. (2005) nutzen sog. Snakes für eine semiautomatische Detektion von Gebäuden aus Quickbird Satellitenbilddaten und kommen zu erstaunlich hohen Lagegenauigkeiten der extrahierten Gebäudekanten. MOSCH (2005) stellt einen Ansatz vor, mit dessen Hilfe aus hoch aufgelösten Quickbird-Daten Gebäude direkt als 3D Objekte extrahiert werden können. MOELLER & BLASCHKE 2006a konnten anhand von fusionierten Bilddaten des Quickbird Sensors im Gebiet der Stadt Phoenix, Arizona, mehrere spektrale Indizes testen, die zur robusten Detektion von geänderten Objekten (hier Gebäuden und Strassen) geeignet sind. In Abb. 1 sind Beispiele für diese Indizes visuell dargestellt. LANG et al. (2006a und 2006b) erarbeiteten übertragbare Regelsätze, die die automatische Detektion von Behausungsstrukturen in Flüchtlingslagern in Afrika und die damit verbundene Bevölkerungsabschätzung aus Quickbird bzw. Ikonos Daten ermöglichen. SCHÖPFER et al. (2007) konnten am Beispiel Harare, Zimbabwe, zeigen, dass ein schneller, objekt-basierter *Change Detection* Ansatz für informelle Siedlungen mit Quickbird-Daten möglich ist.

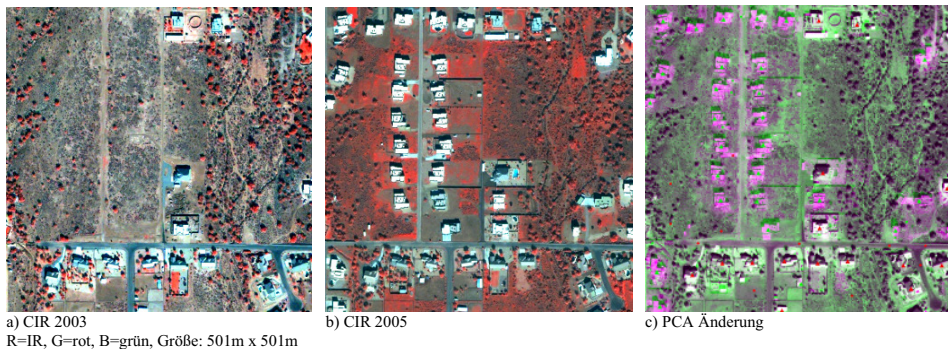


Abb. 1a -c: Quickbird Colorinfrarot Bild, pan-geschärft, Änderung der Visualisierung als Hauptkomponententransformation (PCA), aus: Moeller und Blaschke 2006.

3. Fallstudien

3.1. Rio de Janeiro

Problemstellung

Eine Erfassung von so genannten Favelas in Rio de Janeiro mittels Fernerkundungsdaten wirft aufgrund des heterogenen Erscheinungsbilds und unterschiedlichster Physiognomie Probleme auf. Seit ihrem ersten Aufkommen vor mehr als 100 Jahren sind in Rio über 750 Favelas entstanden, deren Größe zwischen nur wenigen Hütten und ganzen Stadtteilen mit schätzungsweise bis zu 250.000 Einwohnern variiert. Insbesondere die älteren und

zentrumsnahen Favelas haben teilweise inzwischen eine Konsolidierung erfahren, in deren Verlauf die ansonsten für informelle Siedlungen typischen temporären Behelfsbehausungen ersetzt wurden durch Backsteinhäuser, die vier und mehr Stockwerke hoch sein können. Aus fernerkundlicher Sicht lassen sich diese Favelas nur sehr schwer von anderen, formellen Stadtteilen unterscheiden.

Daten und Forschungsansatz

In einer Studie wurde eine IKONOS-Szene von Rio vom 16. Juni 2004, auf die ein Pan-sharpening-Algorithmus angewendet wurde, um eine Auflösung vom 1m auch in den Multispektralkanälen zu erzielen, mit Hilfe der Software Definiens Developer 5 analysiert. Die dabei verwendeten Merkmale wurden so ausgewählt, dass sie potentiell auch auf andere Regionen übertragen werden können. Zunächst wurden Siedlungen allgemein klassifiziert und dann versucht, aus diesen die informellen Siedlungen zu extrahieren. Es wurden dabei die Annahmen getroffen, dass Siedlungen einen relativ geringen Vegetationsanteil haben und kompakt (im Gegensatz z.B. zu länglichen Straßen) sowie relativ stark texturiert sind. Informelle Siedlungen weisen zudem folgende Merkmale auf: kleinere Gebäude, geringer Anteil an roten und hellen Dächern sowie eine gewisse Entfernung zu privaten als auch öffentlichen Schwimmbädern. Weiterhin wurde berücksichtigt, dass formelle Siedlungen nicht komplett von informellen Siedlungen umgeben sind.

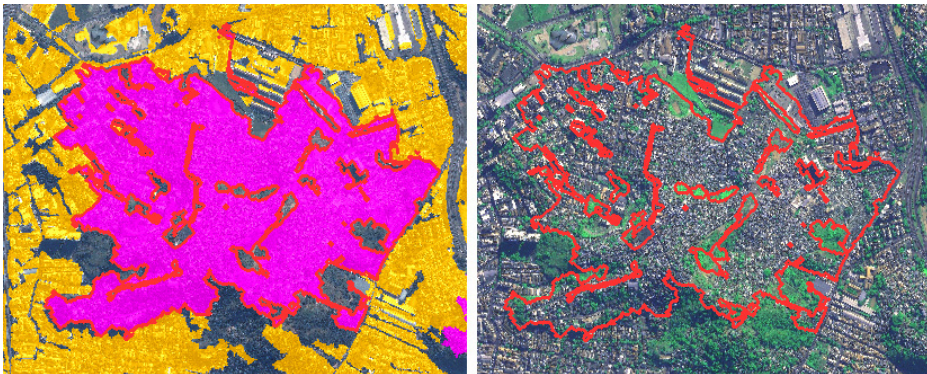


Abb. 2: Catumbi im Großraum Rio de Janeiro und angrenzende Favelas einmal klassifiziert (links) und mit transparenter Überlagerung der Abgrenzungsergebnisse. Einige formelle Siedlungsbereiche wurden fälschlicherweise als informell klassifiziert.

Mit dieser automatischen Klassifikation konnte eine Genauigkeit von insgesamt 86% erreicht werden. Dieses Ergebnis ist jedoch sehr unterschiedlich für formelle und informelle Siedlungen: während Siedlungen generell recht zuverlässig erfasst werden können (mit einer User's Accuracy von 87% und einer Producer's Accuracy von 81%), sind Favelas häufig nur schwer von formellen Siedlungen zu unterscheiden – hier liegt die User's Accuracy nur bei 60%, die Producer's Accuracy allerdings bei 100%. In vielen Fällen hätte jedoch auch ein menschlicher Interpret Probleme mit der genauen Abgrenzung. Spektrale Informationen alleine sind somit für die Erfassung von Favelas in Rio de Janeiro nur bedingt geeignet. Eine gleichzeitige Verwendung

von zusätzlichen Fernerkundungsdaten, wie digitale Höhenmodelle, könnte möglicherweise eindeutigere Ergebnisse zur Abgrenzung von Favelas liefern, da hierdurch weitere Faktoren berücksichtigt werden können, wie z.B. die Besonderheit in Rio, dass sich etliche Favelas auf relativ steilen Hügeln befinden.

3.2. Belo Horizonte, Brasilien

In zwei Stadtteilen (Belvedere und Buritis) von Belo Horizonte (Landeshauptstadt von Minas Gerais, Brasilien) wurde eine multi-temporale Klassifizierung von zwei *Quickbird* Satellitenbildern durchgeführt, wobei das OBIA-Konzept (*Object-based image Analysis*, HAY & CASTILLA 2006, BLASCHKE & LANG 2006) berücksichtigt wurde, zur Kartierung der Bodenbedeckung. Nach der geometrischen Korrektur beider Datensätze und der Bildsegmentierung, wurde die thematische Klassifizierung durchgeführt (s. Abb. 3) unter Anwendung des *eCognition* Softwarepakets. Der Vergleich beider Klassifizierungen (von 2002 und 2004) zeigt einige signifikante Änderungen. Diejenigen Klassen die Versiegelung andeuten haben flächenhaft zugenommen auf Kosten insbesondere der Baum- und Grass-Vegetation. Brachen (*Bare soil*) haben ebenso zugenommen, ein Indiz dafür dass diese Grundstücke für den Bau von Hochhäusern freigegeben wurden. Auf Grund weiterer Informationen von der Stadtverwaltung Belo Horizonte (Geologisch-geotechnische Karte, Karte der geologischen Risiken für Hochbauten, städtische Bestimmungen für den Bau von Häusern sowie Karten mit den Einfallswinkeln und Richtungen der Hänge (*slope steepness and orientation*) wurden mehrere räumliche Auswertungen/Inferenzen von Interesse für die Stadtplanung gemacht. So konnten z.B. die Bereiche der Bodenversiegelung, potenzieller Hangrutschungen, als auch die Gebäude die nicht vorschriftsmäßig gebaut wurden genau festgestellt werden. Aufgrund einer ausführlichen Analyse dieser Informationen wurde eine Karte der potentiellen Verwundbarkeit der Bewohner und des Eigentums erstellt, wo die Informationen der geologischen Risiken, Bodennutzung, Hangwinkel und städtische Bauvorschriften zusammengefasst sind. Als Fortsetzung dieses Vorhabens ist die Kartierung der sog. "informellen Siedlungen" ("*Favelas*") in Stadtvororten vorgesehen. Dabei muss insbesondere auf die Texturänderungen näher eingegangen werden, auf Grund der verschiedenen Größen der Häuser und Hütten als auch auf das unterschiedliche Material der Dächer. Die häufige Konfusion zwischen den Klassen "*Ceramic tiles*" und "*Bare soil*" muss beigelegt werden mit der Anwendung neuer *Fuzzy*-Klassifizierungsregeln, unter besonderer Berücksichtigung von Form und Größe der Bauten in den Favelas.

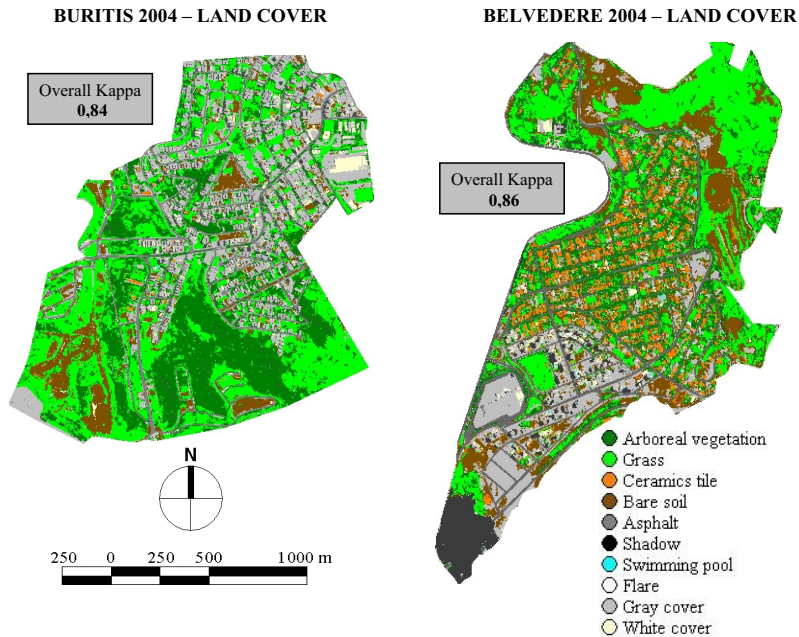


Abbildung 3: Thematische Klassifizierung beider untersuchten Stadtteile in Belo Horizonte 2004.

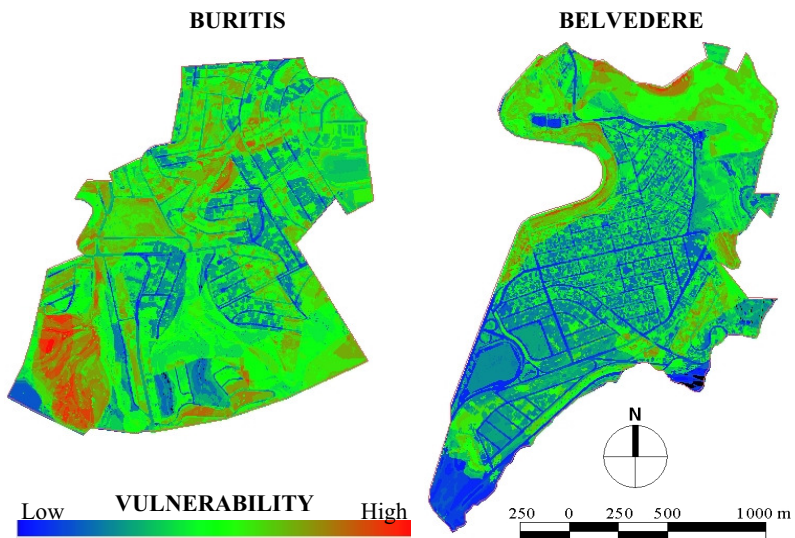


Abbildung 4: Karte der potentiellen Verwundbarkeit der Bewohner und des Eigentums.

3.3. Harare, Zimbabwe

Problemstellung

Harare, die Hauptstadt Zimbabwes mit knapp 1,9 Millionen Einwohnern, ist das Zentrum von Wirtschaft und Kultur des Landes. Die Innenstadt ist aufgrund der britischen Kolonialzeit von modernen Bürogebäuden, Einkaufspassagen und alten Häusern europäisch geprägt. In den Vororten wechseln sich reiche Villen-Viertel mit "High density areas" (Townships) ab. Am 19. Mai 2005 startete in Zimbabwe die Operation Murambatsvina (*Restore Order*) mit der gewaltsamen Räumung dieser Wohnviertel. Aufgrund der langen Ansässigkeit von den Bewohnern in den Townships und der Etablierung derselbigen sind diese informellen Strukturen schwer vom eigentlichen Siedlungsraum abzugrenzen. Ziel der Studie war, die Erfassung der informellen Siedlungen und eine Abschätzung der betroffenen Bevölkerung.

Daten und Forschungsansatz

Für die in Harare durchgeführte Studie wurden QuickBird Daten vom August 2004 sowie Juni/August 2005 verwendet, welche die Townships Mbare und Glen Norah vor und nach der Operation Murambatsvina abdecken (UTTENTHALER et al., 2007). Die Daten, auf Basis einer SPOT-5 Szene (10 m panchromatisch) mit rationalen Polynomkoeffizienten und einem 90 m SRTM Höhenmodells orthorektifiziert, wurden zur weiteren Bildverbesserung mit Hilfe des panchromatischen Kanals auf 0,6 m geschärft.

Für die objekt-basierte Bildanalyse wurde mit der in Definiens Developer implementierten Cognition Network Language (CNL) für die Szene von 2004 ein Klassifikationsregelwerk erstellt. Diese modular aufgebauten Programmiersprache ermöglicht die zyklische Verarbeitung von Segmentierungs- und Klassifikationsmethoden (TIEDE & HOFFMANN, 2006; SCHÖPFER et al., 2007). Der Benutzer entwickelt dabei einen komplexen, jedoch transparenten Workflow und überwacht gleichzeitig den gesamten Prozess. Die Beschreibung der Klassen, mit dem Fokus informelle von formellen Siedlungen zu unterscheiden sowie Einzelgebäude zu detektieren, basierte neben der spektralen Information vor allem auf räumlichen Merkmalen sowie Form- und Textureigenschaften. Informelle Siedlungen waren vor allem durch die verwendeten Baumaterialien der Häuser (Reflexion), die Größe der Dächer bzw. die dichte und zugleich nicht lineare Anordnung der hüttenartigen Behausungen zu beschreiben. Der entwickelte Regelsatz wurde anschließend auf die QuickBird-Szene von 2005 übertragen und eine Veränderungsanalyse durchgeführt.

Die Klassifikationsergebnisse wurden mit Hilfe einer zuvor mit ArcGIS 9.2 erstellten manuellen Abgrenzung der betroffenen Gebiete sowie der Digitalisierung von Einzelgebäuden auf deren Genauigkeit überprüft. Im Untersuchungsgebiet Mbare konnten (1) visuell 98 Hütten und (2) automatisch 102 Hütten detektiert werden. BROWN (2001) beschreibt in ihrer Arbeit, dass ca. 12 Personen in einer Hütte wohnen; diese Zahl wurde von uns aufgrund der geringen Größe der Hütten auf 8-10 Personen verringert. Die Berechnungen ergeben, dass dem erfassten Teilgebiet von Mbare zwischen 800 und 1000 Personen leben. In Glen Norah wurden (1) 63 Hütten visuell und (2) 135 Hütten automatisch erfasst. Die durchgeführte Genauigkeitsüberprüfung mit jeweils 100 entnommenen Stichproben erzielte eine Klassifikationsgesamtgenauigkeit bei (1)

informellen Siedlungen von 77 % und (2) Einzelgebäudeextrahierung von 79 % (UTTENTHALER et al. 2007)

3.4. Cape Town – Nyanga/Crossroads, Südafrika

Während in Rio de Janeiro eine klare Abgrenzung Informeller Siedlungen aufgrund der allgemein vorherrschenden heterogenen Siedlungsstruktur nicht immer leicht ist, zeichnet sich im südlichen Afrika - insbesondere in der Republik Südafrika – ein klareres Bild ab: hier orientieren sich unterschiedliche Siedlungsstrukturen i.d.R. an bereits gegebenen natürlichen oder anthropogenen Grenzen, wie z.B. Flussläufe oder Straßenzüge. Da nicht zu letzt auch wegen der erzwungenen Segregation während der Apartheid, die Grenzen zwischen verschiedenen Siedlungsstrukturen in den meisten Fernerkundungsdaten der 1m-Generation klar erkennbar sind, ist eine allgemeine räumliche Abgrenzung solcher Strukturen und eine Abgrenzung informeller Siedlungen im Speziellen, visuell und auch automatisiert leicht möglich. Entsprechend lassen sich in den sehr hoch aufgelösten Bilddaten auch ohne Zuhilfenahme zusätzlicher (GIS-) Daten relativ einfach gut geeignete Bildsegmente – sei es automatisch, sei es manuell – erzeugen. Da diese Bildsegmente zur weiteren Analyse der Bilddaten bzw. zur Detektion informeller Siedlungen verwendet werden, besteht die Problemstellung für die Erfassung informeller Siedlungen im südlichen Afrika weitestgehend darin, geeignete identifizierbare und quantifizierbare Indikatoren auf Basis der Bildsegmente zu bestimmen, mit deren Hilfe eine automatisierte und möglichst übertragbare Erfassung informeller Siedlungen möglich ist.

Entsprechend wurde zunächst eine allgemeine funktionale und phänomenologische Ontologie informeller Siedlungen erstellt, anhand derer typische, segmentbasierte Parameter und Wertebereiche abgeleitet werden sollten, die in entsprechender Software (hier eCognition 4.0) umsetzbar sind. Als Zwischenschritt wurde aus der funktionalen phänomenologischen Ontologie eine Ontologie aus Sicht der Fernerkundung erstellt - quasi ein (hierarchischer) Interpretationsschlüssel, die dann in einem entsprechenden Fuzzy-Regelsatz in eCognition 4.0 realisiert wurde (vgl. Abbildung 5).

Zur eigentlichen Extraktion informeller Siedlungen wurden IKONOS pan-sharpened Daten verwendet. Dabei zeigte sich, dass nicht alle Indikatoren und Parameter entsprechend der in Abbildung 5 dargestellten Ontologie verwendet werden konnten. So konnten beispielsweise die eigentlichen Siedlungselemente – nämlich die einzelnen Hütten – nicht direkt aus den Daten extrahiert werden. Jedoch war es möglich aufgrund des Kontrastes einzelne kleine Schatten (oder auch andere dunkle Objekte in der gleichen Größenordnung) so zu identifizieren, dass damit die Struktur informeller Siedlung beschreibbar und quantifizierbar wurde. Zusammen mit dem Indikator *Vegetationsanteil* und *irreguläres Straßennetz*, der durch die mittlere Länglichkeit¹ der Unterobjekte eines Objekts indirekt beschrieben wird, gelang es informelle Siedlungen in der verwendeten Szene mit einer thematischen Genauigkeit von 71 % zu extrahieren. Durch Anwendung eines iterativen Prozesses, mit dessen Hilfe eingeschlossene, formelle Siedlungen innerhalb informeller Siedlungen eliminiert werden und der somit das Prinzip der Segregation für die Extraktion informeller Siedlungen anwendet, konnte die thematische Genauigkeit auf 80 % erhöht werden (vgl. HOFMANN 2005).

¹ In eCognition ausgedrückt durch das Merkmal Asymmetry

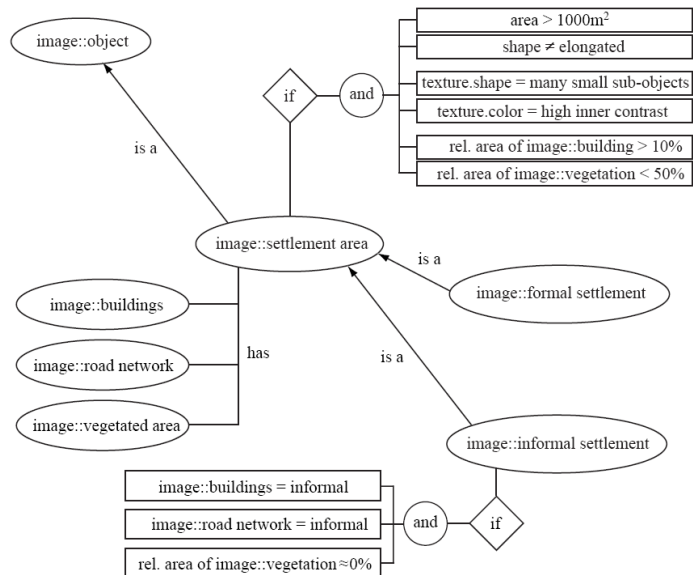


Abbildung 5: Ontologie informeller Siedlungen aus fernerkundlicher Sicht mit entsprechenden quantifizierbaren und aus den Bilddaten ableitbaren Indikatoren.

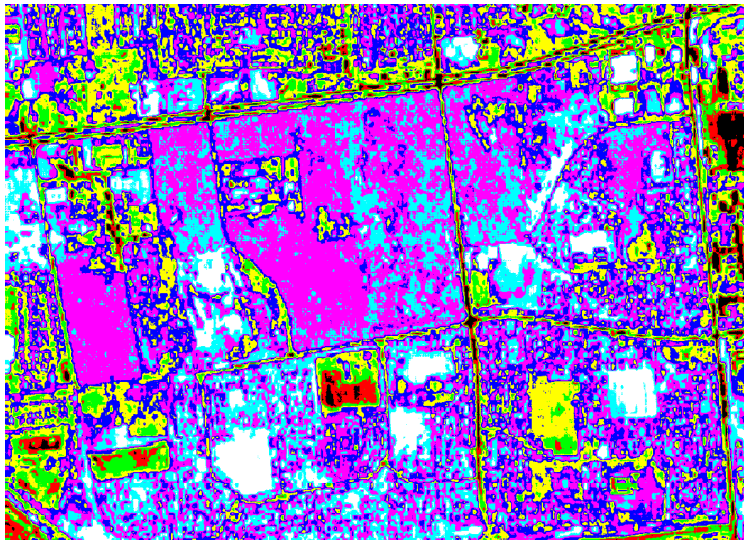


Abbildung 6: Ausschnitt aus der IKONOS Szene Nyanga/Crossroads. Transparent überlagert sind automatisch extrahierte informelle Siedlungen.

3.5. Refugee camps – Beispiele aus Tschad/Sudan

Problemstellung

Bürgerkriege und Übergriffe auf die Zivilbevölkerung mobilisieren eine große Anzahl von Flüchtlingen (> 8 Millionen bis Ende 2005, UNHC 2005) und zusätzlich viele internally displaced people (IDPs). Anhand von zwei verschiedenen Flüchtlingslagern (Goz Amer, Tschad + Lukole, Tanzania) sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, inwieweit Fernerkundungsdaten zur semi-automatisierten Extraktion von Behausungen und darauf aufbauender Bevölkerungsabschätzung herangezogen werden können. Das Flüchtlingslager Goz Amer liegt ca. 100 km westlich der Grenze Tschad/Sudan. Die Anzahl der Flüchtlinge aus der Darfur Region wurde vom UNHCR 2004 auf 18.341 geschätzt (UNHCR Camp statistics, August 2004). Das Flüchtlingslager Lukole (bestehend aus Teil A + B) im Westen Tanzanias beherbergt, trotz mehr als 10 jährigem Bestehen, immer noch ca. 50.000 Menschen (WFP & UNHCR, 2005), wovon die meisten während des Konflikts zwischen Hutu und Tutsi 1993/94 aus Burundi geflohen sind (LANG et al., 2006a)

Während im Flüchtlingslager Goz Amer noch von flüchtigen Behausungsstrukturen ausgegangen werden kann (hauptsächlich Zeltstrukturen, *ibid.*), kann im Flüchtlingslager Lukole aufgrund der 10+ Jahre Existenz und der eher dauerhaften Strukturen wie Hütten und kleinere Häuser (LANG et al. 2006b) durchaus von informellen Siedlungen gesprochen werden.

Daten und Forschungsansatz

Für die Informationsextraktion im Flüchtlingslager Goz Amer wurden Quickbird Daten von Dezember 2004 herangezogen (pan-geschärft, 0,6 m GSD), für Lukole standen IKONOS Daten vom September 2000 zur Verfügung (panchromatisch 1 m, multispektral 4m GSD). Der von LANG et al. (2006a) entwickelte Workflow zur Informationsextraktion aus Fernerkundungsdaten wurde für beide Beispiele angewendet. Kernelement der Informationsextraktion bildet dabei die objekt-basierte Bildanalyse (OBIA, siehe Kap. 2 und 3.2)). Hierbei wurden mit der Cognition Network Language (CNL) wissensbasierte Regelsätze zur zyklische Modellierung und Extraktion von Zielklassen im Flüchtlingslager Goz Amer erarbeitet. Für Übertragung dieser Regelsätze auf das Flüchtlingslager Lukole unter Berücksichtigung anderer Zielklassen (unterschiedliche Behausungsstrukturen) und anderer Daten (IKONOS) waren kleinere Modifikationen nötig.

Die Extraktionsergebnisse wurden mit Hilfe von visuellen Interpretationen verglichen, da in diesen Krisenregionen eine andere Form des *ground truthing* massiv erschwert ist. Für das gesamte Gebiet des Flüchtlingslagers Goz Amer konnten 80 % der Zelte extrahiert werden. Eine Abschätzung der Bevölkerung durch die Annahme von verschiedenen Familiengrößen je Behausungstyp, ergab eine Schätzung von ca. 20.300 Bewohnern (LANG et al. 2006a). Dies entspricht einer leichten Überschätzung der offiziellen Zahlen 4 Monate vor der Satellitenbildaufnahme (18.341, UNHCR August 2004). Die Ergebnisse im Flüchtlingslager Lukole wurden mit visuellen Interpretationen für 3 Teilbereiche überprüft. Die Ergebnisse schwanken zwischen 88,5 % und fast 96 % korrekt extrahierter Behausungsstrukturen (LANG et al. 2006b). Trotz etwas geringere GSD der Daten (Quickbird vs. Ikonos) konnten im Bereich Lukole bessere Ergebnisse erzielt werden, was in erster Linie auf die Behausungsstrukturen mit schon informellen Siedlungsscharakter zurück zuführen sein dürfte.

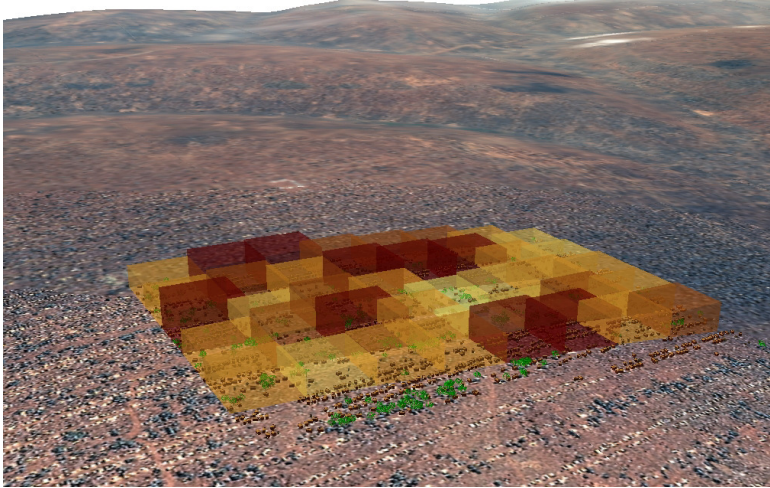


Abb. 7: 3D Visualisierung und quantitative Analyseeinheiten. Die Höhe der Zellen repräsentiert die Zahl der extrahierten Behausungen für jede 100 m x 100 m Raster Einheit. Teilbereich aus dem Flüchtlingslager Lukol (A); (aus LANG et al 2006b)

4. Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die aktuelle Generation hoch auflösender optischer Satelliten („1-m Generation“) eine sehr gute Ausgangsbasis für das Monitoring informeller Siedlungen und – noch allgemeiner – schnell sich verändernder urbaner und sub-urbaner Siedlungsstrukturen liefert. Die räumlichen Auflösungen von ca. 1 m oder darunter im panchromatischen und 2,5 bis 5m im multi-spektralen Bereich können als ausreichend angesehen werden. Dies ist eine ganz andere Situation als in den 1900er Jahren als die User immer wieder die räumliche Auflösung als limitierend empfunden hatten. In den einfach gelagerten Fällen, wo sich die Siedlungsstrukturen weitgehend durch eine in eine zweidimensionale Fläche projizierte Draufsicht erklären lassen, sind die Fernerkundungsdaten auch zur inneren Differenzierung ausreichend. Dort wo die Definition bzw. die Kategorisierung nicht allein deskriptiv „von oben“ determiniert ist sondern komplexe 3-dimensionale Merkmale aufweist oder von siedlungsgenetischen Merkmalen und/oder qualitativen Veränderungen determiniert wird, sind Fernerkundungsdaten allein nicht ausreichend, um eine Kategorisierung vorzunehmen und Veränderungen zu qualifizieren. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse zusammenfassend bewertet.

Zukünftige optische Satellitensensoren der „Post 1m Klasse“ warten mit räumlichen Auflösungen von 0.5m im panchromatischen, resp. 2.0m im multispektralen Modus auf (Geoeye). Prinzipiell sollte man daher erwarten, dass sie damit noch besser geeignet wären, informelle Siedlungen eindeutig zu identifizieren, zu klassifizieren und zu überwachen.

	Sensor/en	Räuml. Auflösung	Detektion informeller Siedlungen	Veränderungen klassifizierbar	Anmerkungen
Fallstudie 1: Rio de Janeiro	IKONOS	👍	zu 60% identifiziert (User's Accuracy), Producer's Accuracy 100%	----	Abgrenzung zu formellen Siedlungen aufgrund Konsolidierung schwierig
Fallstudie 2: Belo Horizonte	QuickBird	👍	<i>noch nicht erfolgt</i>	Änderungen auch nach nur 2 Jahren gut detektierbar	Bisher auf geplante Siedlungen angewandt mit Schwerpunkt change detection.
Fallstudie 3: Harare, Zimbabwe	QuickBird	👍	Overall accuracy: Informelle Siedlungen 77 %; Einzelgebäudeextrahierung 79 %		Übergangsbereichen zwischen Hütten und offener Boden problematisch
Fallstudie 4: Cape Town – Nyanga/Crossroads	IKONOS	👍	Ca. 80% overall accuracy	----	Abgrenzung einfach, da fast keine Übergangszonen oder Mischformen; Ergebnisverbesserung durch Umsetzung von Segregations-Kriterien in Regelsatz.
Fallstudie 5: Flüchtlingslager	QuickBird Ikonos	👍	Behausungsextraktion: 80 % - 96%, je nach Sensor und Behausungsstruktur		Abschätzung von Bevölkerungszahlen aus Behausungsstrukturen schwierig. <i>Ground truthing</i> massiv erschwert

Tab. 1: Zusammenfassende Bewertung der vorgestellten Fallstudien hinsichtlich der Möglichkeiten der Satellitenfernerkundung für das Monitoring und Safeguarding

Der Vergleich der verschiedensten Studien in diesem Beitrag führt jedoch zu der Schlussfolgerung, dass die räumliche Auflösung gar nicht limitierend ist. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die Kombination mit SAR (Synthetic Aperture Radar) Bilddaten. Während diese bisher meist räumlich geringer aufgelöst als hilfreiche Zusatzinformation zur Verfügung standen, um z.B. Dachmaterialien zu unterscheiden und Strukturen zu kartieren (z.B. DEKKER 2003), wird von der Kombination mit Daten des TerraSAR-X, der im zweiten Halbjahr 2007 erste Bilddaten aufzeichnen soll eine Art Quantensprung im Monitoring erwartet. Die Verfügbarkeit an Daten steigt damit natürlich in Gebieten mit häufiger Wolkenbedeckung. Vor operationellen Anwendungen gilt es jedoch erst noch Algorithmen und Methoden zu entwickeln, die Datensätze beider Sensorsysteme so optimal kombinieren, dass die gewünschten Objekte daraus mit hoher Sicherheit abgeleitet werden können.

Danksagung

Teile der Arbeiten wurden im Rahmen des EU FP6Network of Excellence GMOSS (<http://gmoss.jrc.it>, SNE3-CT-2003-503699, 2004-2008) durchgeführt. Die dabei verwendeten Daten wurden zur Benutzung innerhalb von GMOSS freigegeben.

Literatur

- ARAÚJO, E.H.G., 2006 Análise multi-temporal de cenas do satellite Quickbird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais: estudo de caso Belo Horizonte (MG), 159 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE. <http://mtc-m13.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.24.19.43/doc/paginadeacesso>
- BLASCHKE, T., LANG, S., LORUP, E., STROBL, J., ZEIL, P. (2000): Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: Cremers, A. & K. Greve (eds.): Environmental Information for Planning, Politics and the Public. Metropolis Verlag, Marburg, vol 2, 555-570.
- BLASCHKE, T. & STROBL, J. (2001): What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. GIS – Zeitschrift für Geoinformationssysteme **14** (6): 12-17.
- BLASCHKE, T. & LANG, S., 2006: Object based image analysis for automated information extraction – a synthesis. Measuring the Earth II ASPRS Fall Conf. 6-10 Nov. 2006, San Antonio, Texas, CD-ROM.
- BLASCHKE, T., BURNETT, C. & PEKKARINEN, A., 2004: New contextual approaches using image segmentation for object-based classification. In: De Meer, F. and de Jong, S. (eds.): Remote Sensing Image Analysis: Including the spatial domain. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 211-236.
- BROWN, A., 2001: Cities for the urban poor in Zimbabwe.
- CASTILLA, G., 2003: Object-oriented analysis of remote sensing images for land cover mapping: conceptual foundations and a segmentation method to derive a baseline partition for classification. Ph.D. Thesis, Polytechnic University of Madrid. http://www.montes.upm.es/Servicios/biblioteca/tesis/GCastillaTD_Montes.pdf
- DARE, P.M. & C.S. FRASER, 2001: Mapping informal settlements using high resolution satellite imagery. Int. Journ. of Remote Sensing **22** (8): 1399-1401.
- DEKKER, R., 2003: Texture analysis and classification of ERS SAR images for map updating of urban areas in the Netherlands. IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens., **41**: 1950 -1958.
- HEROLD, M., M. E. GARDNER, Dar A. ROBERTS, 2003: Spectral Resolution Requirements for Mapping Urban Areas. IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens., **41**: 1907 -1919.
- HAY, G.J. & G. CASTILLA, 2006: Object-based image analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT). Intern. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences vol. XXXVI-4/C42, CD ROM.
- HOFMAN, P., STROBL, J., BLASCHKE, T. & KUX, H., 2006: Detecting informal settlements from QuickBird data in Rio de Janeiro using an object oriented approach. Intern. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information sciences, Vol. XXXVI-4 / C42.
- HOFMANN, P., 2005: Übertragbarkeit von Methoden und Verfahren in der Objektorientierten Bildanalyse – das Beispiel informelle Siedlungen. Diss. Univ. Salzburg.
- HURSKAINEN, P & P. PELLIKKA, 2004: Change detection of informal settlements using multi-temporal aerial photographs. The case of Voi, SE-Kenya. In: Proc.of the 5th AARSE Conference, CD-ROM.
- KUX, H.J.H., ARAÚJO, E.H.G., DUPONT, H.S.J.B., 2007: Contribution of Remote Sensing and GIS Techniques to Geological/Geotechnical Problems at Urban Planning Issues: Case Study Belo Horizonte (Minas Gerais State, Brazil) Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft (ZDGG), Heft **158**(1) (*im Druck*).

- LANG, S., D. TIEDE & F. HOFER, 2006a: Modeling ephemeral settlements using VHSR image data and 3D visualisation – the example of Goz Amer refugee camp in Chad. In: PFG - Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformatik, 4/2006: 327-337.
- LANG, S., D. TIEDE & G. SANTILLI, 2006b: Varying sensors and algorithms – an information delivery approach for population estimation in African refugee camps. In: Proc. 6th African Assoc. of Remote Sensing of the Environment Conf. (AARSE), Oct 30 - Nov 2, Cairo, Egypt.
- MASON, S. O. & FRASER, C.S., 1998: Image Sources for informal settlement management. The Photogrammetric Record 16 (92): 313-330.
- MAYUNGA, S. D., ZHANG, Y. & COLEMAN, D. J. 2005: Semi-automated buildings extraction utilizing Quickbird imagery. Intern. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information sciences, Vol. XXXVI, 3/W24, 131-136.
- MÖLLER, M. & BLASCHKE, T., 2006a: Urban Change Extraction from High Resolution Satellite Imagery. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information sciences, Vol. XXXVI-2, 151-156.
- MÖLLER, M. & BLASCHKE, T., 2006b: GIS-gestützte Bildanalyse der städtischen Vegetation als Indikator urbaner Lebensqualität, in: Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation (PFG) 1/2006, S. 19-30.
- MOSCH, M., 2005: 3D-Gebäudeextraktion aus Satellitenbildern suburbaner Regionen, Dissertation, Freiburg, <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2648/pdf/MoschQBExtraction.pdf>
- NEER, J. T., 1999: High Resolution Imaging from Space - A Commercial Perspective on a Changing Landscape. Intern. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXII (7C2): 132-143.
- PESARESI, M. & BENEDIKTSSON, J.A., 2000: "Classification of Urban High-Resolution Satellite imagery Using Morphological and Neural Approaches", Proc. IGARSS'00, pp.3066-3068,
- SCHÖPFER, E., TIEDE, D., S. LANG, & ZEIL, P., 2007: Damage assessment in townships using VHSR data - The effect of Operation Murambatsvina / Restore Order in Harare, Zimbabwe. In: Proc. Urban Remote Sensing Joint Event. CD-ROM.
- TIEDE, D. & HOFFMANN, C., 2006: Process oriented object-based algorithms for single tree detection using laser scanning data. EARSeL-Proceedings of the Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14th-15th Feb 2006, Vienna, 151-156.
- UNHCR (2004): Refugee map: <http://www.unhcr.ch/chad/> (April 2004)
- UNHCR, 2005. Statistical overview of populations of refugees, asylum-seekers, internally displaced persons, stateless persons, and other persons of concern to UNHCR, available online under www.unhcr.org (accessed 04/2007)
- UTTENTHALER, A., SCHÖPFER, E. & LANG, S., 2007: Veränderungsanalyse informeller Siedlungen in Townships von Harare/Zimbabwe auf Basis von höchstauflösenden Satellitenbilddaten. In: J. STROBL, BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2007. Heidelberg: Wichmann.
- WFP & UNHCR, 2005. Joint Assessment Mission, Great Lakes Region – Tanzania, 8-14 November 2005. Final Report.