



Fernerkundungsbasierte Ermittlung der Bevölkerungsverteilung für den Einsatz in humanitären Krisenregionen

GUNTER ZEUG, Ispra, Italien & OLAF KRANZ, Oberpfaffenhofen

Keywords: Bevölkerungskartografie, Katastrophenhilfe, Fernerkundung, GIS

Summary: *Remote Sensing Based Population Maps for Crisis Response.* Population numbers are important information in the aftermath of a natural disaster. They directly influence national and international relief planning. However, information and accurate figures on where people live and population characteristics are not always available especially in developing countries. A methodology is developed to rapidly estimate population distribution and density in disaster affected areas. It is based on high resolution earth observation satellite imagery and the classification of the built-up areas therein conducting a textural analysis. Census data is interpolated on the built-up land applying binary dasymetric mapping. Inferring population densities from road densities improved the results in a further step. Result is a population density estimation per built-up area presenting a better picture than known from global datasets. The presented methodology is restricted by the requirement of a road layer which is not available for certain areas in the world.

Zusammenfassung: Katastrophenhilfe zielt auf die direkte Unterstützung der betroffenen Bevölkerung zur Milderung der Auswirkungen eines Extremereignisses. Nicht nur in Entwicklungsländern sind Bevölkerungszahlen und Informationen zur Lage von Siedlungen nicht immer verfügbar. Die vorliegende Studie beschreibt eine Methode, welche die kurzfristige Erstellung von Bevölkerungskarten ermöglicht. Das Verfahren orientiert sich am „binary dasymetric mapping“. Hierbei wird zunächst anhand des Kontrast-Texturparameters eine Siedlungsklasse „bebautes Gebiet“ abgeleitet. Bevölkerungsdaten werden nachfolgend auf die resultierende Siedlungsklasse interpoliert. Unter Annahme, dass die Straßendichte Rückschlüsse auf die Bevölkerungsdichte zulässt, werden die Ergebnisse verfeinert. Endergebnis ist eine Abschätzung zu Bevölkerungsverteilung und -dichte, die eine höhere Aussagekraft aufweist, als herkömmliche global verfügbare Datensätze. Eingeschränkt wird die Methoden durch die Notwendigkeit von Straßendaten, die für bestimmte Regionen der Erde nicht oder nur eingeschränkt verfügbar sind.

1 Einleitung

Humanitäre Hilfsmaßnahmen in unmittelbarer Folge von Naturkatastrophen zielen auf die direkte Unterstützung der betroffenen Bevölkerung, deren Erstversorgung und die Abwendung unmittelbarer weiterer Gefahren. Wesentliche Planungsgrundlage zum Umfang nationaler sowie internationaler Hilfe sind Angaben und Schätzungen zur Größe der betroffenen Bevölkerung. Informationen zu Einwohnerzahlen, Lage von Siedlungen und Abschätzungen von Toten und Verletzten beeinflussen die Planung für benötigte Ausrüstung

wie Zelte, Wasseraufbereitung und Nahrungsmittel (KAISER et al. 2003).

Bevölkerungszahlen stammen meist aus offiziellen Statistiken, die gewöhnlich zehnjährig auf Basis räumlicher Einheiten wie Haushalt, Gemeinde oder Distrikt von nationalen Ämtern für Statistik erhoben werden. Aus Gründen des Persönlichkeitsschutzes erfolgt die Veröffentlichung immer in aggregierter Form und aufgrund der umfangreichen Daten und dem damit verbundenen Aufwand der statistischen Auswertung mit großer zeitlicher Verzögerung (EHRlich 2003). Für Jahre ohne offizielle Volkszählungsdaten werden Bevöl-

kerungsangaben mittels demografischer Modelle statistisch modelliert. In weniger entwickelten Regionen der Erde, die häufig durch hohes Bevölkerungswachstum, Stadt-Land-Migration und/oder Konflikte gekennzeichnet sind, sind veraltete und ungenaue Abschätzungen nicht ungewöhnlich. Im Katastrophenfall stehen somit häufig nur unzureichende Informationen über Zahlen der betroffenen Bevölkerung zur Verfügung (WFP 2006).

Betrachtet man die Bevölkerung als Raumeinheit wird deutlich, dass sich Aussagen zur Lage von betroffenen Siedlungen, deren Größe und deren Zugänglichkeit nur schwer treffen lassen. Auf Basis topografischer Karten können Siedlungen verortet werden, geografische Ortsverzeichnisse (Gazetteer) bieten Koordinaten zur Lokalisierung, darauf basierende Angaben zur Bevölkerung existieren aber nicht oder nur für große und bedeutende Siedlungen oder Städte. Bevölkerungsdaten werden gewöhnlich auf Basis administrativer Einheiten wie Gemeinde oder Kreis gleichmäßig verteilt visualisiert. Damit einhergehende Aussagen zur Bevölkerungsdichte, welche die Anzahl der Bevölkerung pro Flächeneinheit ausdrückt, berücksichtigen dabei nicht die jeweiligen naturräumlichen Gegebenheiten. Wald, landwirtschaftliche Flächen und Gewässer reduzieren den potentiellen Wohnraum. Aus diesem Grund kommen Angaben zur physiologischen Bevölkerungsdichte, wel-

che die Einwohnerzahl pro tatsächlich besiedeltem und genutztem Gebiet berücksichtigt, der Realität näher, als Informationen zur klassischen Bevölkerungsdichte.

Der vorliegende Beitrag präsentiert eine Methode, mittels derer im Krisenfall, bei geringem Zeitaufwand, Bevölkerungskarten erstellt werden können. Sie wird damit auch den hohen zeitlichen Anforderungen einer Vorbereitung von Katastropheneinsätzen gerecht. Die vorgestellte Methode basiert auf dem Ansatz des *Binary Dasymetric Mapping*, einer Form der dasymetrischen Darstellung, deren Ergebnis durch Informationen zur Straßendichte zusätzlich verfeinert wird. Zur Umsetzung werden räumlich hochaufgelöste Satellitenbilddaten herangezogen, auf deren Basis mittels Texturanalyse eine Siedlungsmaske abgeleitet wird. In einem weiteren Schritt werden auf Basis von vektorisierten Straßendaten Dichtezonen ermittelt und verfügbare Zensusdaten empirisch auf die resultierende Klasse verteilt. Als Ergebnisse werden Siedlungsdichtekarten erstellt, deren räumliche Auflösung höher ist, als die vorhandener globaler Datensätze.

2 Projekthintergrund und Lage des Untersuchungsgebietes

Die Untersuchung wurde im Rahmen des LIMES Projekts (6. Rahmenprogramm der Eu-



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes (rot), Stichproben zur Ermittlung der Verteilungswichtung der Bevölkerung (orange) und Stichproben zur Evaluierung der Klassifikation (blau).

ropäischen Kommission) durchgeführt. LIMES (Land and Sea Integrated Monitoring for European Security) entwickelt präoperationelle Dienste in den Bereichen der maritimen und terrestrischen Sicherheit sowie der humanitären Hilfe. Die Studie erfolgte in Zusammenhang mit dem regelmäßig innerhalb des Europäischen Gemeinschaftsverfahrens (European Community Mechanism) stattfindenden Assessment Mission Course (AMC). Der AMC hat zum Ziel Mitarbeiter des europäischen Zivilschutzes sowie der Vereinten Nationen gemeinsam in der Durchführung von ‚Situation assessments‘ zu trainieren (European Virtual Academy 2006). Die Übung erfolgt im Auftrag der Europäischen Kommission und wird derzeit von Technischem Hilfswerk (THW) und Johanniter Unfallhilfe (JUH) organisiert und durchgeführt. Sie findet mehrfach im Jahr im südlichen Teil der Insel Zypern (Republik Zypern) statt. Der Übung liegt ein Erdbebenszenario mit anschließender Tsunamiwelle aus südöstlicher Richtung zugrunde. Das LIMES Cluster für Humanitäre Hilfe & Wiederaufbau, koordiniert vom Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation am DLR (ZKI), unterstützt die Übung mit Kartenprodukten. Im Rahmen des AMC im Juni 2008 erstellte das Joint Research Center der Europäischen Kommission als Clusterpartner die im Folgenden näher beschriebenen Bevölkerungskarten. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von Paphos aus südlich-östlich etwa 35 km entlang der Küste Zyperns und reicht ungefähr 10 km landeinwärts (vgl. Abb. 1).

3 Räumliche Modellierung von Bevölkerungszahlen

Bis heute existieren nur wenige sofort verfügbare Bevölkerungskarten. Auf globalem Maßstab ist der Datensatz der Gridded Population of the World (GPW), der unter der Leitung des Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) der Columbia Universität in New York erstellt wird (CIESIN 2008), zu nennen. Die räumliche Auflösung beträgt 2,5 Bogenminuten (~ 4,5 km) (DEICHMANN et al. 2001). Basierend auf den Karten von GPW existieren weitere kontinentale Datensätze für Afrika und Asien.

Ein zweiter globaler Datensatz steht mit Landsat™ (Landsat 2008) des Oak Ridge National Laboratory zur Verfügung. Während ein Datensatz für die USA mit etwa 90 m vorliegt, existiert ein globaler Datensatz mit räumlicher Auflösung von 30 Bogensekunden (~ 1 km).

Die Erstellung beider Produkte basiert, wie unten beschrieben, auf unterschiedlichen Ansätzen. Trotz ihrer räumlichen Unschärfe sind beide Datensätze bis heute Hauptquellen für Krisenkartierungen (Rapid Mapping), welche in unmittelbarer Folge von katastrophalen Ereignissen Basisinformationen über die betroffene Region sowie erste Abschätzungen zu Ausmaß und Umfang geben. Es ist augenscheinlich, dass in diesem Zusammenhang, nicht nur in Entwicklungsländern, großer Bedarf an Karten mit genauen Angaben zur räumlichen Verteilung der Bevölkerung herrscht.

Eine traditionelle Form der Bevölkerungskartografie ist die Choroplethendarstellung. Die aus einer amtlichen Statistik hervorgehende Bevölkerungszahl wird homogen verteilt auf Basis einer administrativen Einheit wiedergegeben, ohne dabei naturräumliche Einflüsse zu berücksichtigen. Dieser Darstellungsansatz widerspricht der realen Situation. Aus diesem Grund wurden zahlreiche Methoden entwickelt, um Bevölkerungszahlen räumlich zu interpolieren und zu disaggregieren, um eine genauere Darstellung zu erreichen. Eine Übersicht geben zum Beispiel EICHER & BREWER (2001), WU et al. (2005) und LI et al. (2007).

Die Methoden lassen sich generell in die zwei Hauptgruppen räumliche Interpolation (Areal Interpolation) und statistische Modellierung (Statistical Modelling) unterteilen. Bei der statistischen Modellierung wird die potentielle Bevölkerung für jede Rasterzelle anhand verschiedener, die Bewohnbarkeit dieser Zelle beeinflussender Faktoren ermittelt. Diese Faktoren können zum Beispiel die Nähe einer Siedlung zu Straßen und Wasserflächen oder eine entsprechende Landnutzungsclassse sein (DEICHMANN 1996). Landsat™ folgt diesem Ansatz. Die genaue Erstellungsmethode ist nicht dokumentiert und patentrechtlich geschützt. Aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen geht hervor, dass Zensusangaben

mittels statistischer Wahrscheinlichkeitskoeffizienten, wie beispielsweise der Nähe zu Straßen, Hangneigung und Lichtquellen zur Nachtzeit (Nighttime lights), disaggregiert werden (DOBSON et al. 2000).

Methoden der räumlichen Interpolation bezeichnen Verfahren, vorhandene Daten aus Volkszählungen aus einer räumlichen Einheit (z. B. administrative Grenzen) in eine andere zu überführen (z. B. Landnutzungs-kategorie „Siedlung“) und damit zu verfeinern. GPW folgt dieser Methode. Mittels sogenanntem Areal weighting erfolgt die Transformation von Bevölkerungsdaten unter Berücksichtigung von administrativen Einheiten in eine Grid-Form, bei gleichzeitiger Annahme einer gleichmäßigen Bevölkerungsverteilung innerhalb jeder Gridzelle.

Bei der Berücksichtigung und Integration ergänzender Informationen, wie zum Beispiel Landnutzung, Topografie oder Infrastruktur, spricht man auch vom dasymetric mapping. Beim Binary dasymetric mapping (LANGFORD & UNWINN 1994, MENNIS 2003, HOLT 2004) wird eine binäre Landnutzungs-klassifikation (besiedelter – nicht besiedelter Raum) erstellt und die Bevölkerungszahlen entsprechend allokiert.

Erweiterungen zum binären Ansatz stellen das three-class dasymetric mapping sowie die limiting variable Methode dar (EICHER & BREWER 2001, MENNIS 2003). Beim three-class dasymetric mapping werden die Bevölkerungszahlen entsprechend vorher festgelegter Gewichtungen auf die verschiedenen Landnutzungs-klassen verteilt. Bei der limiting variable Methode werden maximale Bevölkerungsdichten für jede Landnutzungs-kategorie vordefiniert (EICHER & BREWER 2001). Werden nach Verteilung der Bevölkerungszahlen einzelne Dichtewerte überschritten, wird für die Klasse der zuvor definierte Wert festgelegt. Die überschüssigen Werte werden gleichmäßig auf alle verbleibenden Landnutzungs-klassen verteilt. Nachteil beider Verfahren ist, dass Gewichtungen und vordefinierte Bevölkerungsdichten auf Expertenwissen basieren und damit subjektiv sind. Verschiedene Studien beschäftigen sich mit der Ermittlung von Genauigkeiten und Vergleichen der einzelnen Methoden (LI et al. 2007, EICHER & BREWER 2001, MENNIS & HULTGREN 2006). Dabei werden unterschiedliche Ergebnisse erzielt.

Für alle genannten Methoden ist die Fernerkundung eine wichtige Quelle zur Ableitung relevanter Parameter. So verwendet MENNIS (2003) aus Fernerkundung ermittelte Bebauungsdichten zur gewichteten Verteilung der Bevölkerungszahlen. HOLT et al. (2004) bestimmen urbanisierte Räume mittels Landnutzungs-klassifikation und verwenden diese als Zusatzinformation beim dasymetric mapping. Hangneigung und Landnutzung sind bei SCHNEIDERBAUER & EHRLICH (2005) sowie MUBAREKA et al. (2008) Parameter zur Wichtung der Bevölkerungszahlen. SUTTON et al. (1997) analysieren den Zusammenhang von Lichtquellen zur Nachtzeit und der Bevölkerungsdichte in den USA. CHEN (1998) analysiert die Korrelation von Zensus und Wohngebietsdichten, welche er aus einer kombinierten Texturanalyse und Landnutzungs-klassifikation ableitet. Anhand eines Regressionsmodells untersucht HARVEY (2002) den Zusammenhang von Spektralwerten einzelner Pixel und Bevölkerungszahlen.

Die in dieser Studie entwickelte Methode basiert auf dem Ansatz des Binary dasymetric mapping. Die im ersten Bearbeitungsschritt ermittelten Ergebnisse werden iterativ verfeinert, dem Ansatz des three-class dasymetric mapping folgend. Dabei wird jedoch auf eine Landnutzungs-klassifizierung als Eingangsparemeter verzichtet und stattdessen auf Straßendaten zurückgegriffen, einer Methode, die bereits von XIE (1995) und REIBEL & BUFALINO (2005) untersucht wurde.

4 Daten und Methoden

Von der Internetseite des Statistischen Service‘ Zyperns wurde ein Bericht mit Angaben zur Bevölkerung pro Gemeinde im Jahr 2001 heruntergeladen (Statistical Service of the Republic of Cyprus 2001). Es wurden keine weiteren Projektionen durchgeführt, um Bevölkerungszahlen für das Jahr 2008 zu ermitteln. Die NUTS Datenbank (Nomenclature of Territorial Units for Statistics) bietet einen Datensatz mit administrativen Grenzen (mit unterschiedlicher Detailschärfe der Länder) der EU-Mitgliedsstaaten an (Eurostat 2008). Für Zypern liegen jedoch nur Grenzen auf Distriktebene vor. Innerhalb des begrenzt zur Ver-

fügung stehenden Zeitraums während der AMC Übung konnte keine Karte mit Gemeindegrenzen generiert werden, so dass auf eine im Internet recherchierte, aber nicht georeferenzierte Kartendarstellung mit Grenzlinien zurückgegriffen wurde. Für die weitere Prozessierung kamen Daten des GEOnet Names Server (GNS) der US National Geospatial-Intelligence Agency's (NGA) zum Einsatz (NGA 2008). Grundlage zur Ableitung einer Maske der bebauten Fläche war eine multispektrale sowie pachchromatische Quickbird Szene von 2008, die zur Erstellung detaillierter Kriseninformationsprodukte im Kontext des AMC akquiriert wurde. Quickbird verfügt über eine räumliche Auflösung von 0,61 m im

Pan-Kanal und 2,44 m in den vier multispektralen Kanälen (R-G-B-NIR). Zur weiteren iterativen Interpolation stand ein Straßenlayer aus OpenStreetmap (OSM) zur Verfügung.

Die Datenprozessierung erfolgte in vier Hauptschritten (siehe Abb. 2):

- Erstellung einer Maske ‚bebaute Fläche‘
- Erstellung des Vektorlayers ‚Gemeindegrenzen‘ und Integration der Bevölkerungsdaten
- Räumliche Interpolation zur Übertragung der Bevölkerungsdaten in die Bebauungsmaske
- Iterative Verbesserung der Bevölkerungsdaten mittels Straßendaten

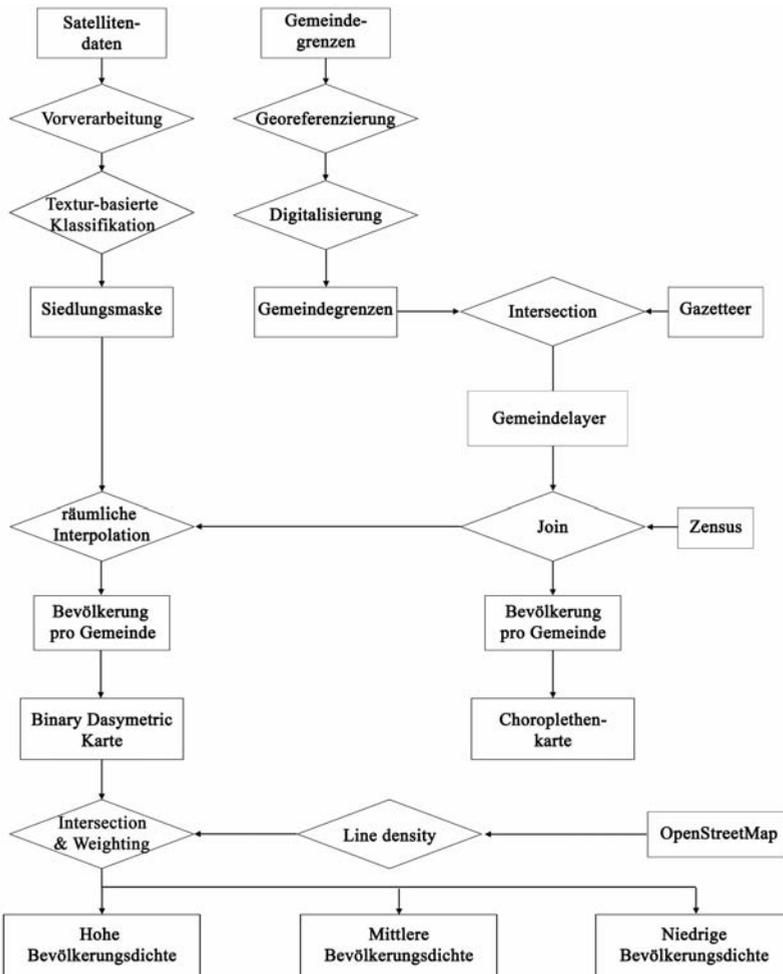


Abb. 2: Abfolge der Prozessierungsschritte.

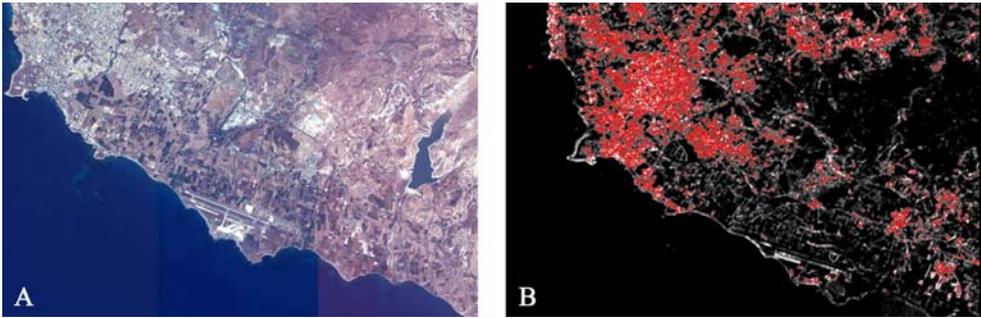


Abb. 3: Quickbird Bildausschnitt von Paphos und Umgebung (A) (QuickBird Imagery © DigitalGlobe, Inc., 2008. Distributed by Eurimage. (B) Abgeleitete Siedlungsmaske basierend auf dem Texturparameter Kontrast. In Graustufen das Texturbild überlagert mit der Siedlungsmaske, dargestellt als rote Konturen.

Zur Ermittlung einer Maske der bebauten Landfläche wurde das sogenannte Pantex-Verfahren von PESARESI et al. (2008) angewandt. Das Ziel der Methode ist die Ermittlung einer Landnutzungsklasse ‚bebautes Gebiet‘ anhand des Textursignals. Wie in vorangegangenen Studien ermittelt, gilt der Kontrast als effektivster Texturparameter für die Unterscheidung zwischen bebauten und unbebauten Flächen (PESARESI 2000), da Gebäude durch Schattenwurf einen hohen Kontrast zum Umland aufweisen. Das Verfahren ist unabhängig von der Ausrichtung der Gebäude, da die Textur in alle Richtungen um ein Pixel ermittelt und die Resultate in einem Datensatz integriert werden. Daneben ist die Methode auf optische wie auch SAR Daten anwendbar (PESARESI et al. 2008 & GAMBA et al. 2008). In früheren Studien wurde festgestellt, dass die Methode bei Satellitendaten mit einer räumlichen Auflösung von 5 m bereits sehr genaue Ergebnisse liefert (PESARESI 2000).

Nach Vorverarbeitung der Bilddaten (Orthokorrektur) und Anwendung des Algorithmus wurde ein Texturbild erstellt, welches in einem weiteren Schritt mittels Schwellenwertbildung interaktiv angepasst wurde. Die Schwellenwerte wurden dabei so gewählt, dass die resultierende Bebauungsmaske möglichst genau den Siedlungsgebieten im Satellitenbild entsprach. Das resultierende Binärbild repräsentiert die beiden Klassen bebautes und unbebautes Gebiet (vgl. Abb. 3). Darauf folgte eine visuelle Kontrolle der Ergebnisse.

Die aus dem Internet heruntergeladene Karte mit Gemeindegrenzen wurde mittels Google Earth georeferenziert und auf dieser Basis die dargestellten Gemeindegrenzen digitalisiert. Da die Karte keinerlei Gemeindegrenzen oder Indizes aufwies erfolgte eine Verschneidung mit Punktdaten des GNS. Durch Vergleich mit Gemeindegrenzen im Zensus konnten die entsprechenden Gemeindegebiete lokalisiert werden. Die Verknüpfung der Tabellen von Gemeindegrenzen und Zensusdaten mittels JOIN ermöglichte die Ermittlung von Bevölkerungszahlen pro Gemeinde. Das Ergebnis war eine Choroplethenkarte mit Anzahl der Bevölkerung pro Gemeinde (siehe Abb. 4 A).

Für den Prozess des dasymmetric mapping wurden die Bevölkerungszahlen auf die Maske der bebauten Flächen interpoliert. Dies erfolgt auf Basis folgender Gleichung (LI et al. 2007):

$$P_t = \sum_{s=1}^s \frac{A_{tsp} \times P_s}{A_p} \quad (1)$$

wobei P_t die geschätzte Bevölkerungsgröße innerhalb der Bebauungsmaske darstellt,

A_{tsp} ist der Überlappungsbereich zwischen Ausgangszone (Gemeindegrenzen) und der Bebauungsmaske,

A_{sp} stellt die Fläche der Ausgangszone dar (Gemeindegrenzen),

P_s ist die Anzahl der Bevölkerung in der Ausgangszone.

Das Ergebnis des binary dasymetric mapping ergibt eine, im Vergleich zu Choroplethenkarten, verbesserte Darstellung der Bevölkerungsverteilung, da der besiedelbare Raum auf die tatsächlich bebaute Fläche eingeschränkt wird (vgl. Abb. 4 A und 4 B). Dennoch erfolgt die Verteilung von Bevölkerungszahlen auch beim binary dasymetric mapping homogen auf die vorhandene Fläche. Regionen mit unterschiedlichen Bebauungsdichten werden nicht berücksichtigt.

Wie oben erwähnt, erfolgt beim three-class dasymetric mapping eine gewichtete Verteilung der Bevölkerungszahlen abhängig von der Landnutzungsklasse. Die Erstellung einer genauen Landnutzungsklassifikation ist zeitaufwendig und erfordert Geländeinformationen. Im Kontext der Katastrophenhilfe sind dies einschränkende Faktoren. Aus diesem Grund erfolgte eine gewichtete Verteilung der Bevölkerungszahlen anhand von Straßendaten. In Anlehnung an die Wichtung nach Landnutzung wurde davon ausgegangen, dass Zonen hoher Straßendichte, Gebieten mit ho-

her Besiedlungsdichte und damit auch Bevölkerungsdichte entsprechen (Xie 1995; Reibel & Bufalino 2005; Xuegang et al. 2007). Nach Analyse des Straßenlayers wurden Fahrrad- und Feldwege, Fußpfade und Autobahnen von der Berechnung ausgenommen.

Die Dichteberechnung der Straßenvektoren erfolgte in ArcGIS, getrennt für jede Gemeinde. Dabei werden die Linien und Liniensegmente in einem Radius um jede Rasterzelle ermittelt, addiert und durch die Kreisfläche dividiert. Die ermittelten Dichtelayer wurden für jede Gemeinde bei einheitlicher Klassenbreite in fünf Klassen geteilt und ins Vektorformat transformiert. Die Verknüpfung der Straßendichteklassen mit der Bebauungsmaske erfolgte in einem weiteren Schritt durch geometrische Verschneidung. Für die Wichtung der Bevölkerungszahlen pro Dichteklasse stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung. EICHER & BREWER (2001) wenden beim three-class dasymetric mapping einen rein subjektiven Verteilungsschlüssel an. XIE (1995) erstellt eine Wichtungsmatrix basie-

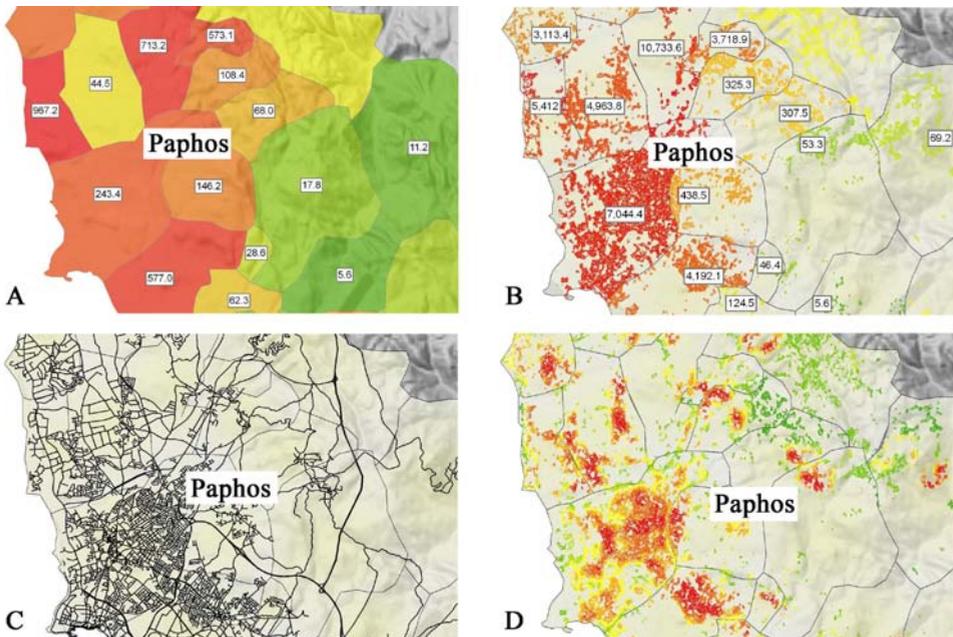


Abb. 4: Ausschnitte der Ergebniskarten (13 km × 9 km). A: Choroplethkarte mit Bevölkerungsdichte; B: Dasymetrische Karte mit Bevölkerungsdichte; C: OpenStreetMap Karte; D: Qualitative Darstellung – wie B mit gewichteten Bevölkerungsdichten entsprechend abgeleiteter Straßendichten aus C. Für A, B, und D gilt: grün: niedrige Bevölkerungsdichte, gelb: mittlere Bevölkerungsdichte, rot: hohe Bevölkerungsdichte.

Tab. 1: Verteilungsschlüssel der Bevölkerungszahlen.

Straßendichte	Anzahl der Wohngebäude										Gesamt	
	niedrig		mittel – niedrig		mittel		hoch – mittel		hoch			
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%
Zone 1 / ländlich	11	3,37	60	18,4	56	17,18	92	28,22	102	32,82	362	100
Zone 2 / ländlich – urban	–	–	85	10,64	87	10,89	211	26,41	416	52,07	799	100
Zone 3 / urban	34	5,29	53	8,24	60	9,33	152	23,64	344	53,3	643	100
Mittelwerte	15	2,88	66	12,4	67,6	12,5	151,6	26,09	289	46,1	589,3	100
Finale Verteilung [%]	3		12		15		25		45		100	

rend auf Straßenklassen (Hauptstraße, Nebenstraße, Feldweg, etc.). Im vorliegenden Fall wurde der Verteilungsschlüssel anhand der Anzahl von Wohngebäuden pro Dichtezone ermittelt. Dafür wurden in drei Testgebieten (urbane Zone, Übergangszone urban-ländlich, ländliche Zone) von 1 km² Größe (siehe Abb. 1) alle Gebäude visuell interpretiert und im GIS mittels Punkt markiert. Häuser, die offensichtlich in industrieller oder wirtschaftlicher Nutzung sind, wurden nicht erfasst. In einem weiteren Schritt wurde die Anzahl der Gebäude pro Straßendichteklasse festgestellt und daraus deren prozentualer Anteil an der Gesamtfläche errechnet. Aus den Ergebnissen der drei Testgebiete wurde ein gerundeter Mittelwert als finaler Verteilungsschlüssel angewandt. Daraufhin erfolgte die erneute Berechnung der Bevölkerungszahlen. Tab. 1 zeigt den gewählten Verteilungsschlüssel von Bevölkerungszahlen zu Straßendichten. Aufgelistet werden die Anzahl der Wohngebäude pro Straßendichtezone in den drei Testgebieten sowie deren prozentualer Anteil an der Gesamtfläche. Die resultierenden Mittelwerte wurden gerundet.

5 Ergebnisse

Als Ergebnis wurde eine Karte der Bevölkerungsverteilung an der Südwestküste Zyperns erstellt. Durch Anwendung einer Texturanalyse konnte die Landnutzungsklasse „bebautes

Gebiet“ abgeleitet werden (vgl. Abb. 3 B). In einem weiteren Schritt wurde ein Vektordatensatz mit Gemeindegrenzen generiert und über eine Verschneidung mit den Gazetteer-Daten des GNS den entsprechenden Gemeinden zugeordnet. Mit Ausnahme von drei Gemeinden konnte allen Orten erfolgreich eine entsprechende Bevölkerungszahl zugewiesen werden, welche anschließend auf die Landnutzungsklasse „bebautes Gebiet“ interpoliert wurde. Anhand von Straßendaten wurden Dichteklassen errechnet, die als Basis für eine weitere, gewichtete Verteilung der Bevölkerungszahlen dienten (vgl. Abb. 4 C und 4 D). Der Verteilungsschlüssel für die Bevölkerungszahlen erfolgte durch die Ermittlung des prozentualen Anteils von Wohngebäuden je Straßendichteklasse.

5.1 Genauigkeitsanalyse der Siedlungsklassifikation

Eine visuelle Kontrolle der Bebauungsmaske ergab, dass aufgrund ihres hohen Kontrastes einige landwirtschaftlich genutzte Flächen der Siedlungsklasse zugeordnet wurden. Diese wurden manuell korrigiert. Anhand von drei Stichproben wurde die Klassifikationsgenauigkeit der texturbasierten Bebauungsmasken evaluiert (siehe Abb. 1).

Dazu wurden auf Basis des Satellitenbildes alle Gebäudegrundrisse digitalisiert. Da das

Tab. 2: Fehler der texturbasierten Siedlungsklassifikation für drei Kontrollgebiete (BB – bebautes Gebiet, UB – unbebautes Gebiet).

Fehler	BB		UB	
	Commission (%)	Omission (%)	Commission (%)	Omission (%)
ländlich	10,25	29,85	5,3	1,48
ländlich/ urban	17,5	27,59	5,04	2,87
urban	23,01	3,28	4,3	28,36
gesamt	20,38	13,15	5,01	8,2

Tab. 3: Klassifikationsgenauigkeit für drei Kontrollgebiete (BB – bebautes Gebiet, UB – unbebautes Gebiet).

Genauigkeit	BB		UB	
	Producer (%)	Consumer (%)	Producer (%)	Consumer (%)
ländlich	70,15	89,75	94,7	98,52
ländlich/ urban	72,41	82,5	97,13	94,96
urban	96,72	76,99	71,64	95,7
gesamt	86,85	79,62	91,8	94,99

Texturbild auch Straßen und offene Plätze beinhaltet, wurden die Gebäudegrenzen im GIS mit einem Puffer von 5 m, der empirisch anhand des Satellitenbildes definiert wurde, versehen, um auch diese versiegelten Flächen im Referenzlayer zu erfassen. Zwei der drei jeweils 1 km² großen Referenzgebiete liegen im ländlichen und urbanen Raum. Eine weitere im urban-ländlichen Übergangsraum. Tab. 2 und 3 zeigen die Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse.

Die Tab. 2 und 3 geben einen detaillierten Überblick über Omission- und Commissionsfehler sowie über die Produzenten- und Konsumentengenauigkeit. Die Genauigkeit der texturbasierten Siedlungsklassifikation steigt vom ländlichen zum urban Gebiet. Während im ländlichen und urban-ländlichen Bereich 70,15% und 72,41% des bebauten Gebietes richtig klassifiziert wurden, steigt der Wert im urbanen Raum auf 96,72% an. Die Konsumentengenauigkeit sinkt gleichzeitig von 89,75% auf 76,99%. Die Ergebnisse spiegeln sich auch in den Werten von Commission- und Omissionsfehlern wieder. Während im ländlichen Bereich 10,25% fehlerhaft als bebautes Gebiet erfasst wurde, steigt der Fehler auf 17,5% im urban-ländlichen beziehungsweise

23,01% im urbanen Gebiet an. Der Omissionsfehler sinkt gleichzeitig von 29,85% (ländlich) und 27,59% (urban-ländlich) auf 3,28% im urbanen Gebiet an. Die Fehler und Genauigkeiten der unbebauten Flächen verhalten sich entsprechend gegenläufig.

Wie oben beschrieben erfasst die Pantex-Methode Bildbereiche mit hohem Kontrast. Dabei werden auch versiegelte Flächen wie Straßen und offene Plätze erfasst. Der Referenzlayer hingegen repräsentiert zunächst nur die Gebäudeumrisse. Obwohl diese gepuffert wurden, um auch Flächen um die Gebäude herum zu erfassen, scheint der Puffer vor allem in ländlichen Gebieten nicht ausreichend. Dies drückt sich in einem erhöhten Omissionsfehler aus. Gleichzeitig werden im urbanen Bereich 23,01% des Gebietes zu viel klassifiziert. Eine Evaluierung verschiedener Puffergrößen erscheint in diesem Zusammenhang angebracht.

Die Gesamtgenauigkeit (Overall accuracy) aller drei Stichproben beträgt 90,46% bei einem Kappakoeffizienten von 0,76. Die aufgeführten Fehlerwerte und Genauigkeiten müssen bei der Evaluierung der Bevölkerungsdichten berücksichtigt werden. Während ein hoher Omissionsfehler im ländlichen Gebiet

die Bevölkerungsdichte erhöht, bewirkt ein hoher Commission-Fehler im urbanen Raum eine niedrigere Bevölkerungsdichte.

5.2 Genauigkeitsanalyse der Bevölkerungsverteilung

Zur Validierung der gewichteten Bevölkerungsverteilung sind Bevölkerungszahlen auf Ebene von Stadtvierteln oder Gebäudeblocks notwendig, die für diese Studie nicht verfügbar waren. Auch in hoch entwickelten Ländern sind diese nicht ohne weiteres von öffentlicher Hand erhältlich, denn Volkszählungen werden grundsätzlich aggregiert veröffentlicht.

Ein Versuch, die Bevölkerungsverteilung anhand der Anzahl der Gebäude pro Straßendichteklasse und der durchschnittlichen Haushaltsgröße zu ermitteln, welche als statistische Größe veröffentlicht wird (Distrikt Paphos im Jahr 2007: 3,13 Personen in urbanen Gebieten, 2,7 in ländlichen Gebieten; Statistical Service of the Republic of Cyprus 2009), scheitert an der fehlenden Information über Anzahl der Haushalte pro Gebäude. Diese zusammen mit Informationen zur Gebäudenutzung sowie der

Gebäudehöhe, welche aus Stereo-Satellitendaten abgeleitet werden kann, ermöglichte eine entsprechende Abschätzung (ECKERT & ZEUG 2009).

Aus diesem Grund erfolgte zunächst eine visuelle Kontrolle der Straßendichtezonen mit den Siedlungsstrukturen im Satellitenbild. Diese zeigt, dass dicht bebaute Gebiete auch eine erhöhte Straßendichte aufweisen. Lässt man die unterschiedliche Gebäudenutzung außer Acht, wird damit die Annahme gestützt, dass eine hohe Straßendichte Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte entsprechen (XIE 1995; REIBEL & BUFALINO 2005). Zur Stützung dieser Aussage wurde eine quantitative Analyse durchgeführt. Dafür wurde das gesamte Untersuchungsgebiet in 277, je 1 km × 1 km große Quadrate unterteilt. Für 150 dieser Quadrate wurden dann sowohl die bebaute Fläche als auch die Länge der Straßensegmente ermittelt und miteinander korreliert. Mit einem *Pearson R²* von 0,83 wird eine hohe positive Korrelation erreicht. Abb. 5 zeigt einen Ausschnitt des selektierten 1 km × 1 km Gitters, überlagert mit Straßenabschnitten und den bebauten Flächen. Abb. 6 zeigt den zugehörigen Scatterplot mit der Straßlänge als Abszisse

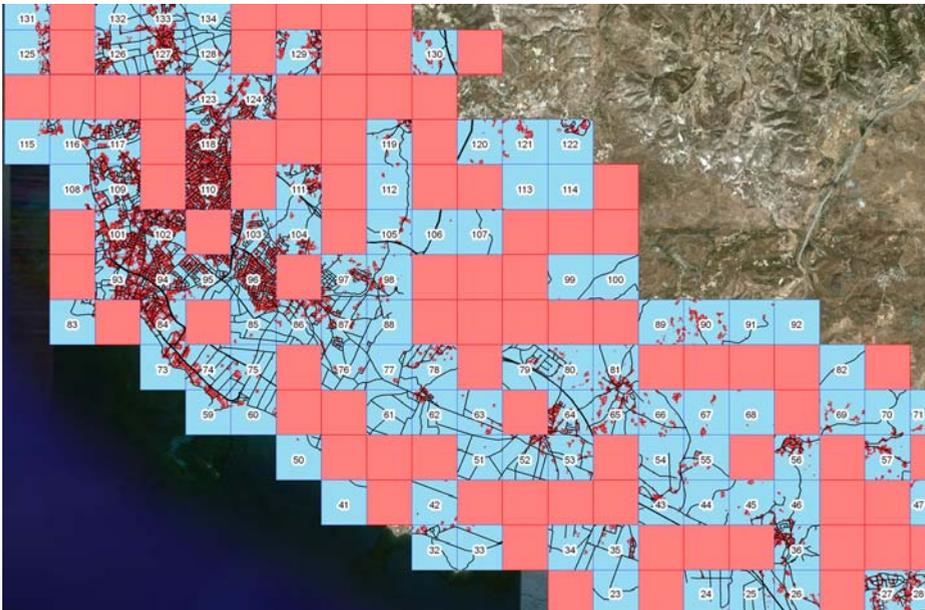


Abb. 5: Korrelation von bebauter Fläche und Straßlänge. Rose: 1 km × 1 km Grid des Untersuchungsgebietes (Ausschnitt), blau: 150 zufällig ausgewählte Teilflächen des Grid. dunkelrot: bebautes Gebiet, schwarz: Straßenabschnitte.

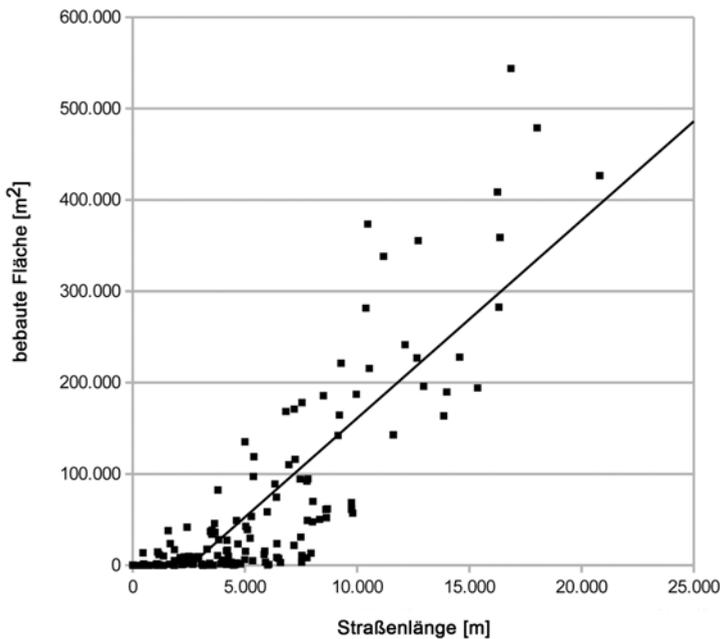


Abb. 6: Scatterplot der korrelierten Straßenlängen (Abszisse) und Flächen der bebauten Gebiete (Ordinate).

und der Fläche der bebauten Gebiete als Ordinate.

6 Diskussion

Im Zusammenhang mit Krisenkartierungen stehen für zahlreiche Regionen der Erde nur globale Datensätze mit groben räumlichen Auflösungen zur Verfügung. Die vorgestellte Methode bietet die Möglichkeit, hoch aufgelöste Bevölkerungskarten zu erstellen. Dafür kommen Satellitenbilddaten und Straßendaten zum Einsatz. In einem ersten Schritt werden Bevölkerungskarten mittels binary dasymetric mapping erstellt. Dafür werden durch Texturanalyse die bebauten Flächen aus dem Satellitenbild abgeleitet. Die Bevölkerungsdaten des Zensus werden unter Zuhilfenahme von administrativen Grenzen auf die ermittelten Siedlungsflächen interpoliert. In einem zweiten Schritt werden, basierend auf Straßenvektoren, mehrere Straßendichtezonen ermittelt. Anhand eines empirischen Verteilungsschlüssels erfolgt eine erneute Interpolation der Bevölkerungsdaten.

Das vorgestellte Verfahren zur Ableitung der Siedlungsmaske benötigt hochauflösende Satellitenbilddaten von mindestens 5 m Bodenauflösung (PESARESI 2000). Der Einsatz von Fernerkundungsdaten im Krisenmanagement ist heute keine Seltenheit mehr. Zahlreiche Initiativen und Projekte existieren, in deren Rahmen hochauflösende Satellitenbilder zur Erstellung von Krisenkartierungen verfügbar gemacht und eingesetzt werden. Als Beispiele sind zu nennen die International Charter for Major Disasters, einem Zusammenschluss nationaler und internationaler Raumfahrtbehörden, die sich zum Ziel gesetzt haben, Fernerkundungsdaten zur Unterstützung des Krisenmanagements nach Katastrophenereignissen verfügbar zu machen. Daneben existieren Projekte (z. B. ESA-GSE *Respond* und EU-FP7 *Safer*) im Rahmen des Global Monitoring for Environment and Security Projektes der Europäischen Union (GMES), die alle Phasen des Krisenmanagements mit Karten und Satellitenbildmaterial unterstützen.

Neben der räumlichen Auflösung besteht die Anforderung, dass die Satellitenbilder möglichst zeitnah zum Katastrophenereignis

aufgenommen wurden. Dies ist jedoch nicht immer möglich und oftmals kann nur auf ältere Archivdaten zurückgegriffen werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass das Aufnahmedatum des Bildmaterials und das Erhebungsdatum des Zensus' möglichst zeitnah beieinander liegen sollten. Da Volkszählungen jedoch gewöhnlich nur zehnjährig durchgeführt werden, müssen bei weit zurückliegenden Erhebungen interpolierte Bevölkerungsschätzungen herangezogen werden.

Die Verfügbarkeit eines detaillierten Straßenlayers stellt einen limitierenden Faktor, vor allem für den Einsatz in Entwicklungsländern, dar. Kommerzielle Datenprovider bieten für zahlreiche Länder Straßendaten an. Auf weniger entwickelte Länder trifft dies allerdings nur sehr bedingt zu. Die Verfügbarkeit ist dabei nicht nur für ländliche Gebiete, sondern z. B. auch für Slums in Städten und Megacities eingeschränkt. Initiativen wie OpenStreetMap, in welcher Geodaten von Freiwilligen erhoben und frei verfügbar gemacht werden, sind für Entwicklungsländer ebenfalls nur limitiert vorhanden. Daneben kann die Qualität der Daten nicht garantiert werden. Die Wiki-typische Erfassung von OpenStreetMap gewährleistet jedoch eine Kontrolle und Korrektur durch die Nutzergemeinde. Für Regionen ohne Straßendaten könnte der im ersten Bearbeitungsschritt vorgestellte binary dasymmetric mapping Ansatz eine Alternative darstellen (ZEUG et al. 2009).

Neben der mangelnden Verfügbarkeit von Straßendaten müssen auch Unterschiede in den Siedlungsstrukturen berücksichtigt werden. In ländlichen Gebieten existieren oft wenig zusammenhängende Streusiedlungen. In einer zukünftigen Studie müsste deshalb untersucht werden, ob die vorgeschlagene Texturanalyse die bebauten Gebiete zufriedenstellend ermitteln kann.

Der Vorschlag Straßendichten als Zusatzinformation zur Interpolation von Bevölkerungsdaten zu verwenden ist nicht neu. Bei deren Verwendung ist zu berücksichtigen, dass hohe Straßendichten zum Beispiel auch durch kurve Straßen hervorgerufen werden können, da durch einen solchen Straßenverlauf die Länge der Liniensegmente im Suchradius um die Rasterzelle erhöht wird. Diese

Einschränkung wird dadurch gemildert, dass die vorgestellte Methode nur Straßendichtezonen berücksichtigt, die mit der Klasse ‚bebautes Gebiet‘ zusammenfallen.

Ein spezifisches Problem der vorliegenden Studie war, dass keine Informationen zur Validierung der gewichteten Bevölkerungsverteilung verfügbar waren. Dafür wären Bevölkerungszahlen auf Ebene von Stadtvierteln oder Gemarkungen notwendig. Diese Zahlen sind auch in entwickelten Ländern nicht ohne weiteres erhältlich. In Deutschland könnten Quellen für solche Information zum Beispiel private Adressanbieter sein, die über hoch genaue Bevölkerungsprofile verfügen und diese kommerziell vertreiben. Für die vorliegende Studie waren solche Daten nicht vorhanden. Der vorgeschlagene Verteilungsschlüssel basiert auf der Anzahl von Gebäuden pro Dichteklasse und deren prozentualer Anteil an der betrachteten Gesamtfläche. Dabei ist die unterschiedliche Gebäudenutzung zu berücksichtigen. Industriell und wirtschaftlich genutzte Gebäude scheiden als Wohngebiet aus und müssen von der Erstellung des Verteilungsschlüssels ausgeschlossen werden. Eine Landnutzungsklassifizierung kann hier Abhilfe schaffen. Daneben beeinflussen die Gebäudegröße und Gebäudehöhe den möglichen Wohnraum und die Anzahl der möglichen Haushalte pro Wohngebäude. Für eine Optimierung des Verteilungsschlüssels müsste auch diese Information berücksichtigt werden. Eine Ableitung beider Parameter wäre auf Basis von Stereo-Satellitendaten möglich. Durch deren aufwendige Prozessierung und deren geringe Verfügbarkeit im Zusammenhang mit Krisenkartierungen wird dies jedoch auch in Zukunft einen limitierenden Faktor darstellen. Dennoch konnte gezeigt werden, dass Straßenlängen und bebaute Flächen eine hohe Korrelation aufweisen. Es muss auch festgehalten werden, dass sich bei Änderungen der Bevölkerungsverteilung die Gesamtzahl der Bevölkerung innerhalb der kleinsten untersuchten administrativen Einheit nicht ändert, sondern immer der Größe des Zensus entspricht.

Neben den oben bereits genannten Faktoren wie Landnutzungsklassifizierung und Gebäudehöhen muss in einem erweiterten Ansatz die Entwicklung der Bevölkerungszahlen seit

ihrer Erhebung berücksichtigt werden. Daneben kann der Faktor Zeit weitere wichtige Informationen zur Verteilung der Bevölkerung geben. Diese ist stark abhängig von Tages- und Nachtzeit, denn Menschen pendeln gewöhnlich zwischen Wohn- und Arbeitsplatz. Auch die unterschiedliche Jahreszeit kann von Bedeutung sein. So enthält der Zensusbericht für Zypern Angaben zur Bevölkerung mit permanentem und temporärem Wohnsitz. In einer stark touristisch orientierten Region wie die Südwestküste Zyperns kann dies im Krisenfall wertvolle Zusatzinformation sein, denn in der touristischen Hauptsaison ist mit mehr Menschen zu rechnen, als in der Nebensaison.

Mit der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass auch unter den zeitlich engen Rahmenbedingungen der AMC Übung von einer Woche, Bevölkerungskarten kurzfristig erstellt werden können. Die neu entwickelte Methode, basierend auf höchst aufgelösten Satelliten- und Straßendaten und unter Anwendung und in Anlehnung an verschiedene dasy-metric mapping Methoden, zeichnet sich durch höhere Genauigkeit aus, als gängige globale Datensätze. Die aufgeführten globalen Datensätze GPW und Landscan™ sowie der hier vorgestellte Ansatz basieren auf unterschiedlichen Erstellungsmethoden. Eine höhere Genauigkeit wird durch die höhere räumliche Auflösung erreicht, die in erster Linie von den eingesetzten Satellitendaten abhängig ist. Während beim GPW-Produkt die Bevölkerungszahlen räumlich in Gridzellen transformiert werden und dabei keinerlei Zusatzinformation wie zum Beispiel der Landnutzung berücksichtigt werden, reduziert die vorgestellte Methode den möglichen Siedlungsraum nur auf bebaute Gebiete. Dadurch wird die Aussagekraft der errechneten Bevölkerungsdichten erhöht. Der statistische Modellierungsansatz von Landscan™ basiert auf unveröffentlichten Regelsätzen, welche die Bevölkerungsverteilung an naturräumliche und sozioökonomische Faktoren binden, ohne dass deren Allgemeingültigkeit bewiesen ist. Im Vergleich zu globalen Datensätzen bietet die Methode auch die Möglichkeit, die Bevölkerungskarten schnell upzudaten und dabei jeweils die letzten verfügbaren Bevölkerungsdaten der nationalen statistischen Behörden

einzusetzen. Damit bietet sie die Möglichkeit, Katastrophenhilfe besser zu planen und den betroffenen Menschen geeignete Hilfe gezielter zukommen zu lassen.

Literatur

- CENTER FOR INTERNATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK (CIESIN), COLUMBIA UNIVERSITY & CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT), 2005: Gridded Population of the World Version 3 (GPWv3). – Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. sedac.ciesin.columbia.edu/gpw – 11.08.2009.
- CHEN, K., 1998: Correlation between census dwelling data and remotely sensed data. – 10th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Center, University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- DEICHMANN, U., 1996: A review of spatial population database design and modeling. – Technical Report 96-3. National Center for Geographic Information and Analysis. Santa Barbara.
- DEICHMANN, U., BALK, D. & YETMAN, G., 2001: Transforming population data for interdisciplinary usages: from census to grid. – Documentation for GPW Version 2. sedac.ciesin.columbia.edu/plue/gpw/GPWdocumentation.pdf – 23.12.2008.
- DOBSON, J.E., BRIGHT, E.A., COLEMAN, P.R., DURFEE, R.C. & WORLEY, B.A., 2000: LandScan: a global population database for estimating populations at risk. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66 (7): 849–857.
- ECKERT, S. & ZEUG, G., 2009: Assessing Tsunami Vulnerability in Alexandria, Egypt by using optical VHR satellite data. – 33rd ISPRS Conference, Stresa, Italy.
- EHRlich, D., 2003: Population density and dynamics. Population issues and datasets of significance to aid and development policies of the European Union. – European Commission Joint Research Center. Technical Note. I.03.121.
- EICHER, C.L. & BREWER, C.A., 2001: Dasy-metric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation. – Cartography and Geographic Information Science 28 (2): 125–138.
- EUROPEAN VIRTUAL ACADEMY, 2006: Basic Information on the Assessment Mission Course (AMC). – Republic of Cyprus. www.evnetwork.net/download/documents/brochures/Info_AMC.pdf – 27.12.2008.
- EUROSTAT GISCO, Geographic Information System of the European Commission. – epp.eurostat.

- ec.europa.eu/portal/page_pageid=2254,6214887_6,2254_62153824&_dad=portal&_schema=PORTAL – 28.12.2008.
- GAMBA, P., PESARESI, M., MOLCH K., GERHARDINGER, A., LISINI, G., 2008: Anisotropic rotation invariant built-up present index: applications to SAR data. – IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium.
- HARVEY, J.T., 2002: Population estimation models based on individual TM pixels. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **68** (11): 1181–1192.
- HOLT, J., LO, C.P. & HODLER, T.W., 2004: Dasy-metric estimation of population density and areal interpolation of census data. – Cartography and Geographic Information Science **31**: 103–121.
- KAISER, R., SPIEGEL, P.B., HENDERSON, A.K. & GERBER, M.L., 2003: The Application of Geographical Information Systems and Global Positioning Systems in Humanitarian Emergencies: Lessons Learned, Programme Implications and Future Research. – Disasters **27** (7): 127–140.
- LANDSCAN™, GLOBAL POPULATION DATABASE. OAK RIDGE, TN: Oak Ridge National Laboratory. – www.ornl.gov/sci/landscan – 19.12.2008.
- LANGFORD, M. & UNWIN, D.J., 1994: Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. – Cartographic Journal **31** (1): 21–26.
- LI, T., PULLAR, D., CORCORAN, J. & STIMSON, R., 2007: A comparison of spatial disaggregation techniques as applied to population estimation for south East Queensland (SEQ), Australia. – Applied GIS **3** (9): 1–16.
- MENNIS, J., 2003: Generating surface models of population using dasy-metric mapping. – The Professional Geographer **55**: 31–42.
- MENNIS, J. & HULTGREN, T., 2006: Intelligent dasy-metric mapping and its application to areal interpolation. – Cartography and Geographic Information Science **33** (3): 179–194.
- MUBAREKA, S., EHRLICH, D., BONN, F., & KAYITAKIRE, F., 2008: Settlement location and population density estimation in rugged terrain using information derived from Landsat ETM and SRTM data. – International Journal of Remote Sensing **29** (8): 2339–2357.
- NGA Geonet Names Server: earth-info.nga.mil/gns/html/index.html/ – 10.05.2008.
- OPENSTREETMAP: www.openstreetmap.org/ – 19.12.2008.
- PESARESI, M., 2000: Texture analysis for urban pattern recognition using fine-resolution panchromatic satellite imagery. – Geographical & Environmental Modeling **4** (1): 47–67.
- PESARESI, M., GERHARDINGER, A. & KAYITAKIRE, F., 2008: A robust built-up area presence index by anisotropic rotation-invariant textural measure. – IEEE JSTARS **1** (3): 180–192.
- REIBEL, M., & BUFALINO, M.E., 2005: Street-weighted interpolation techniques for demographic count estimation in incompatible zone systems. – Environment and Planning A **37**: 127–139.
- SCHNEIDERBAUER, S., & EHRLICH, D., 2005: Population density estimations for disaster management. Case study rural Zimbabwe. – Geoinformation for Disaster Management. Springer. Berlin.
- STATISTICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF CYPRUS CENSUS, 2001: Population per Municipality. –www.mof.gov.cy – 10.06.2008.
- STATISTICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF CYPRUS CENSUS, 2007: Demographic Report. – www.mof.gov.cy – 21.08.2009.
- SUTTON, P., ROBERTS, D., ELVIDGE, C., & BAUGH, K., 2001: Census from Heaven: an estimate of the global human population using night-time satellite imagery. – International Journal of Remote Sensing **22** (16): 3061–3076.
- WFP – WORLD FOOD PROGRAMME, 2006: Estimating Population Size in Emergencies. – Emergency Needs Assessment Branch.
- WU, S., QIU, X., & WANG, L., 2005: Population estimation methods in GIS and remote sensing: a review. – GIScience & Remote Sensing **42** (1): 58–74.
- XIE, Y., 1995: The overlaid network algorithms for areal interpolation problem. – Computers, Environment and Urban Systems **19** (4): 287–306.
- XUEGANG, C., ZHAOPING, Y. & XIAOLEI, Z., 2007: Study on simulating spatial distribution and varying patterns of Urumqi's population. – Chinese Journal of Population, Resources and Environment **5** (3): 31–36.
- ZEUG, G., KRANZ, O. & ECKERT, S., 2009: Rapid Population Maps for Crisis Response. – Cartography and Geoinformatics for Early Warning and Emergency Management.
- Adressen der Autoren:
 GUNTER ZEUG, European Commission Joint Research Center (JRC), Institute for the Protection and Security of the Citizen, Global Security and Crisis Management Unit, TP 267, 21027 Ispra (VA), Italien, Tel.: +39-0332-78-6550, Fax: -5154, e-mail: gunter.zeug@jrc.ec.europa.eu
 OLAF KRANZ, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatentezernum (DFD), Umwelt und Sicherheit (US), Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling, Tel.: +49-8153-28-3308, Fax: -1445, e-mail: olaf.kranz@dlr.de
- Manuskript eingereicht: Juni 2009
 Angenommen: Oktober 2009