

Flächennutzungsmonitoring VI
Innenentwicklung – Prognose – Datenschutz

IÖR Schriften Band 65 · 2014

ISBN: 978-3-944101-65-1

# Die bauliche Dichte der Stadtregion – Erzeugung kleinräumiger Dichtedaten mit fernerkundlichen Mitteln

*Stefan Siedentop, Angelika Krehl, Hannes Taubenböck, Michael Wurm*

Siedentop, Stefan; Krehl, Angelika; Taubenböck, Hannes; Wurm, Michael (2014): Die bauliche Dichte der Stadtregion – Erzeugung kleinräumiger Dichtedaten mit fernerkundlichen Mitteln. In: Gotthard Meinel, Ulrich Schumacher, Martin Behnisch (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring VI. Innenentwicklung – Prognose – Datenschutz. Berlin: Rhombos-Verlag, 2014, (IÖR-Schriften; 65), S. 179-188

RHOMBOS Rhombos Verlag – www.rhombos.de

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung IÖR – www.ioer.de

# Die bauliche Dichte der Stadtregion – Erzeugung kleinräumiger Dichtedaten mit fernerkundlichen Mitteln

*Stefan Siedentop, Angelika Krehl, Hannes Taubenböck, Michael Wurm*

## Zusammenfassung

Die unbestrittene Bedeutung der baulichen Dichte als normative und deskriptive Größe in der Raumplanung sowie den Raumwissenschaften und benachbarten Disziplinen steht in bemerkenswertem Kontrast zur mangelnden Verfügbarkeit qualifizierter Daten. So war es bislang nicht möglich, gebräuchliche Dichteindikatoren wie die Geschossflächendichte für größere Gebietskulissen verlässlich zu ermitteln. Das sich ständig weiterentwickelnde Datenangebot der Fernerkundung kann jedoch dazu beitragen, diese Leerstelle in der laufenden Beobachtung der Stadt- und Regionalentwicklung zu schließen. In diesem Beitrag wird ein methodischer Ansatz präsentiert, mit dem aus fernerkundlich erzeugten Gebäudemodellen Dichteinformationen abgleitet werden. Der für vier Regionen erprobte Ansatz ermöglicht es, Ver- und Entdichtungsprozesse in Stadtregionen zukünftig einem systematischen Monitoring zu unterziehen.

## 1 Einführung

In der Raumplanung fungiert die bauliche Dichte als eines der wichtigsten Maße zur Steuerung der städtebaulichen Entwicklung. In qualifizierten Bebauungsplänen finden sich regelmäßig verbindliche Regelungen zum Umfang der überbaubaren Grundstücksfläche (Grundflächenzahl, GRZ) sowie zum maximalen oder minimalen Umfang der realisierbaren Geschossfläche (Geschossflächenzahl, GFZ) eines Grundstücks. Mit diesbezüglichen städtebaulichen Festsetzungen lassen sich wichtige Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Stadt- und Quartiersentwicklung treffen, da sowohl flächenextensive Bodennutzungsformen als auch eine „Überverdichtung“ unterbunden werden können (Bott, Siedentop 2013, 98 ff.). Dichtebezogenen Planungsaussagen kommt zudem erhebliche Bedeutung für den Wert von Grundstücken zu. Vor diesem Hintergrund kann es nicht verwundern, dass die planungsrechtliche Regulierung der Dichte nicht selten Gegenstand rechtlicher Auseinandersetzungen sowie kontroverser öffentlicher Diskussion ist. Dabei zeigt sich, dass die Wahrnehmung und Bewertung von Dichte in hohem Maß kulturellen und sozialen Prägungen unterliegt (Acioly, Davidson 1996, 6). Ein objektiver Maßstab, mit dem bauliche oder nutzungsbezogene Dichten als „hoch“ oder „gering“ zu bewerten sind, existiert nicht.

Das Maß der Verdichtung einer Stadt ist aber nicht nur ein planungspraktisch und lebensweltlich relevantes Thema, auch die Stadt- und Regionalforschung hat sich immer wieder – sowohl aus theoretischer wie aus empirischer Perspektive – mit dem Phänomen „Dichte" beschäftigt (einen Überblick gibt Westphal 2008). Die bauliche Dichte und mit dieser korrespondierende Nutzungsdichten (z. B. die Bevölkerungs- und Arbeitsplatzdichte) gelten beispielsweise als Schlüsselfaktoren bei der Erklärung von standörtlichen Unterschieden des Verkehrs- und Bewegungsverhaltens der Bevölkerung (Ewing, Cervero 2010; Kelly-Schwartz et al. 2004; Newman, Kenworthy 1989), der Wirtschaftlichkeit technischer Infrastrukturen (siehe z. B. Siedentop et al. 2006, 6 ff.) oder lokalen und regionalen Umweltbedingungen wie lufthygienischen oder mikroklimatischen Belastungen (Koppe et al. 2004).

Die unbestrittene Bedeutung von „Dichte" als normative und deskriptive Größe in der Raumplanung sowie den Raumwissenschaften steht im bemerkenswerten Kontrast zur mangelnden Verfügbarkeit qualifizierter Daten zur baulichen Verdichtung besiedelter Flächen. Vor diesem Hintergrund stellt dieser Beitrag einen neuen methodischen Ansatz zur Ermittlung der baulichen Dichte städtischer Siedlungsgebiete vor. Dieser basiert im Wesentlichen auf fernerkundlichen Daten und ermöglicht die Erzeugung großflächiger dreidimensionaler Gebäudemodelle, welche die Grundlage für Dichteberechnungen darstellen. Im Folgenden wird die methodische Vorgehensweise vorgestellt und für vier Stadtregionen in knapper Form diskutiert.

## 2 Methodischer Ansatz

### 2.1 Konzeptioneller Rahmen

Unter den Dichteindikatoren lassen sich bauliche Dichten und Nutzungsdichten unterscheiden. Erstere beziehen sich allein auf die Menge von Baumassen in einer Gebietseinheit, während Nutzungsdichten auch die Intensität der menschlichen Nutzung der betreffenden Flächen berücksichtigen. Der verbreitetste bauliche Dichteindikator ist die Geschossflächenzahl (GFZ) bzw. die Geschossflächendichte (GFD), welcher sich auf das Verhältnis von Gebäudegeschossfläche zur Grundstücksfläche bezieht. Bekannt sind ferner Volumengrößen wie die Baumassenzahl, die das Verhältnis des Gebäudevolumens und der Grundstücksfläche angibt. Neben den grundstücksbezogenen Dichtemaßen existieren Messgrößen für Gebietsausschnitte auf verschiedenen Skalenebenen (Quartier, Gesamtstadt, Region).

Der wissenschaftliche Anspruch einer objektiven Ermittlung von Geschossflächendichten und Baumassenvolumina war bislang mit datentechnischen Problemen konfrontiert. So war es bis vor wenigen Jahren kaum möglich, die GFD für größere Regionen in verlässlicher Form zu ermitteln. Nur wenige Städte waren in der Lage, aufwändige

terrestrische Erhebungen durchzuführen, die zudem nur mit hohem Aufwand regelmäßig aktualisiert werden können.

Abhilfe versprechen fernerkundliche Daten, die Höheninformation für sehr große räumliche Gebiete verfügbar machen. In den vergangenen beiden Jahrzehnten wurden vermehrt Höhenmessungen aus berührungslosen Instrumenten zum Einsatz gebracht, wozu vor allem Aufnahmen aus flugzeuggetragenen Laserverfahren zählen. Mit diesen Daten lassen sich modellhafte Darstellungen von Gebäuden sowohl in ihrer flächenhaften Form als auch in ihrer Höhe erzeugen, die wiederum Grundlage für verschiedenartige Dichteberechnungen sein können. Diese Art der Datenerhebung hat den Vorteil, dass sehr präzise Messungen mit einer Höhengenauigkeit von einigen Zentimetern und einer Lagegenauigkeit im Dezimeterbereich möglich sind. Der entscheidende Nachteil kommt im Zusammenhang mit sehr großflächiger Datenerhebung durch die Anbringung des Messinstrumentes auf einem Flugzeug zum Tragen, wodurch die Gebiete von Interesse beflogen werden müssen. In diesem Zusammenhang ermöglicht die satellitengestützte Erhebung von räumlichen Daten auf der Erdoberfläche, dass von nahezu jedem Punkt auf der Erde berührungslos Daten aufgenommen werden können.

## 2.2 Methodische Vorgehensweise

### 2.2.1 Datengrundlagen

Für die Berechnung der Gebäudehöhen werden Höhendaten aus digitalen Oberflächenmodellen (DOM) verwendet, welche aus stereoskopischen Satellitenaufnahmen gewonnen werden. Der Satellit Cartosat-1 wurde insbesondere für großflächige Stereoaufnahmen konstruiert und stellt Aufnahmen mit einer Pixelauflösung von 2,5 m in einer Schwadbreite von 27 km zur Verfügung. Die Stereoaufnahmen können für die Herstellung von digitalen Oberflächenmodellen mit einer Rasterweite von 5 m (d'Angelo et al. 2008) und in weiterer Folge für die Ableitung von digitalen Gebäudemodellen verwendet werden (z. B. Wurm et al. 2014; Sirmacek et al. 2012; Crespi et al. 2006).

Für die Untersuchungsgebiete in der vorliegenden Studie wurden insgesamt 56 Cartosat-Aufnahmen verwendet und zu digitalen Oberflächenmodellen umgewandelt. Da die Rasterweite der Oberflächenmodelle von 5 m allerdings nicht für eine automatisierte Abgrenzung der individuellen Gebäudegrundrisse ausreicht, werden für die Erstellung der 3D-Gebäudemodelle zusätzliche Gebäudegrundflächen aus topographischen Karten im Maßstab 1:25 000 verwendet. Die Karten wurden in einer Auflösung von 254 dpi gescannt und beinhalten alle schwarzen Kartenelemente. Karteninformationen werden für die Herstellung der 3D-Gebäudemodelle verwendet, um die Gebäudegrundflächen daraus zu extrahieren und mit der Höheninformation aus den Oberflächenmodellen zu vereinigen.

Für die Berechnung der GFD werden noch zusätzliche Informationen über die Siedlungsstruktur benötigt. Vor diesem Hintergrund werden Daten aus dem European Urban Atlas integriert. Die Daten beschreiben eine thematische Klassifikation der urbanen Struktur für alle europäischen Großstadtregionen mit mindestens 100 000 Einwohnern. Als räumliche Bezugsebene für die Berechnung der Dichten wurde im Rahmen der Untersuchung das Europäische Gitter INSPIRE bestehend aus überlappungsfreien, quadratischen Zellen mit einer Kantenlänge von 1 000 m verwendet.

### 2.2.2 Berechnung der Baumassenkonzentrationen

Aus der Fusion der Gebäudegrundflächen aus den topographischen Karten und den Höheninformationen aus dem DOM werden in der Folge 3D-Gebäudemodelle hergestellt. Sie repräsentieren die urbanen Elemente als generalisiertes Klötzchenmodell mit einem Level-of-Detail 1. Das bedeutet, dass jeder Grundfläche ein Höhenwert zugeschrieben wird (Abb. 1). Mit diesem einfachen Gebäudemodell können für beliebige Raumeinheiten Dichteindikatoren berechnet werden. In diesem Beitrag werden neben dem angesprochenen INSPIRE–Grid Baublöcke aus dem European Urban Atlas als Bezugsgeometrien eingesetzt.

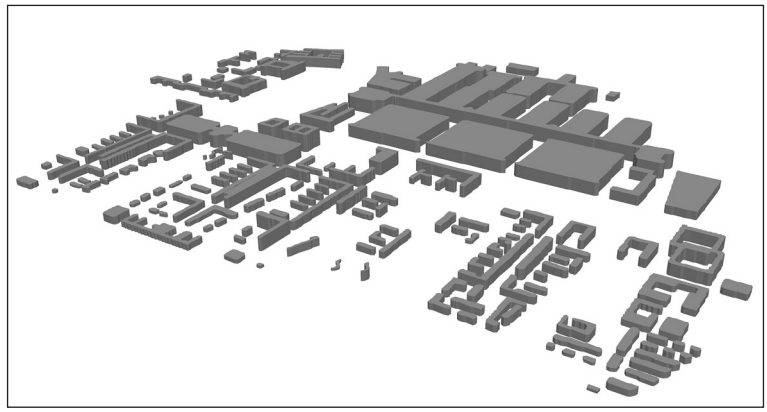


*Abb. 1: 3D-Klötzchenmodell aus Gebäudegrundflächen und Höheninformation aus Cartosat-1 (Quelle: eigene Darstellung, Gebäudegrundflächen: © GeoBasis-DE/BKG 2010)*

Da die Berechnung der Geschossflächendichte die Kenntnis der Anzahl der Geschosse eines Gebäudes voraussetzt, diese Informationen aber im Gebäudemodell nicht enthalten sind, kommt ein Schätzverfahren zum Einsatz (Wurm et al. 2011). Die Geschossflächendichte wird darauf basierend aus der Summe aller Geschossflächen für jede INSPIRE-Gridzelle abgeleitet (Abb. 2). Bei der Berechnung der GFD werden allerdings nur jene Flächen innerhalb jeder Gitterzelle verwendet, welche baulich überprägt sind. Diese Flächen wurden aus der räumlichen Überlagerung mit den Daten des European Urban Atlas gewonnen. Mit diesem Verfahren werden die realen Dichten vermutlich

leicht unterschätzt, weil die Bezugsflächen aus dem Urban Atlas auch Nutzungen enthalten, die bei der Berechnung einer GFD üblicherweise nicht enthalten sind, beispielsweise städtische Grünflächen.




*Abb. 2: Geschossflächendichte für 1 km x 1 km INSPIRE-Gridzellen. In Schwarz sind die Gebäudegrundflächen dargestellt, in Rot sehr hohe Dichten, in Orange hohe, in Gelb mittlere und in Weiß niedrige Dichten (Quelle: eigene Darstellung, Gebäudegrundflächen: © GeoBasis-DE/BKG 2010)*

## 3 Ergebnisse

Mit dem vorgestellten methodischen Ansatz ist erstmals eine regionsweite Ermittlung von baulichen Dichten möglich. Damit lassen sich auch intra- und inter-regionale Vergleiche der Verdichtungssituation durchführen. Abbildung 3 zeigt die Geschossflächendichten in den vier Regionen Köln, Frankfurt am Main, Stuttgart und München in der Abgrenzung des Urban Atlas. Deutlich zu erkennen sind die unterschiedlichen siedlungsstrukturellen Grundmuster der Regionen. So tritt die axiale Struktur der Region Stuttgart in deutlichen Kontrast zur monozentrisch geprägten Region München. Sichtbar wird auch, dass, mit Ausnahme der Region Köln, außerhalb der Kernstädte und weniger zentraler Orte im Umland kaum höhere bauliche Dichten angetroffen werden. Bereits die Ränder der Kernstädte werden von gering verdichteten Siedlungsgebieten dominiert, deren Geschossflächendichten meistens unter einem Durchschnittswert von 0,5 rangieren.

Ursächlich dafür sind die Beharrungskräfte des Siedlungssystems, die darin zum Ausdruck kommen, dass die in Zeiten noch geringer oder moderater Bodenpreise – in der Gründer- oder der Nachkriegszeit – entstandenen suburbanen Siedlungen kaum einer nachträglichen Verdichtung unterlagen. So finden sich in zentrumsnahen Lagen oder

in räumlicher Nähe zu den Haltepunkten des schienengebundenen Nahverkehrs häufig geringe Baudichten und damit auch geringe Einwohner-Arbeitsplatzdichten. Die planerisch durchaus gewünschte Verdichtung solcher Bereiche unterliegt den planungsrechtlichen Restriktionen des Bestandsschutzes und wird auch aus Gründen geringer sozialer Akzeptanz nur selten konsequent angestrebt. An dieser Stelle sei nochmals darauf verwiesen, dass der hier zum Tragen kommende methodische Ansatz zu einer leichten systematischen Unterschätzung der realen Dichten neigt. Eine genauere Quantifizierung dieser Abweichungen ist indes nicht möglich, da keine regionalen oder gemeindlichen Referenzdaten aus anderen Quellen vorliegen.

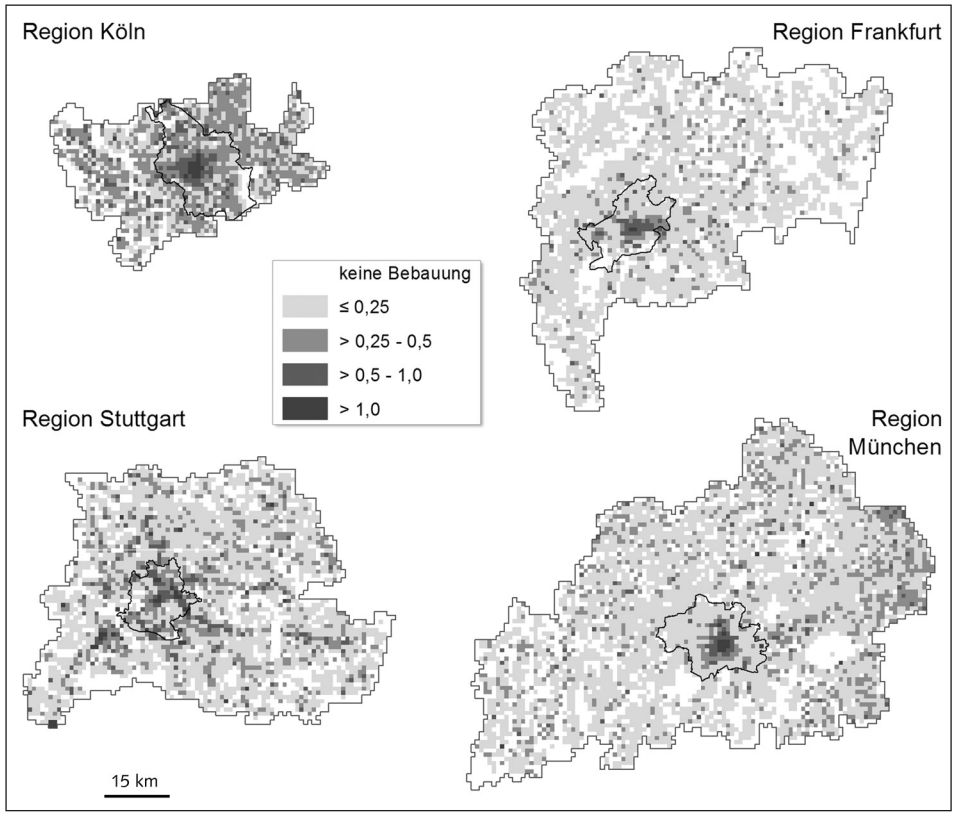



*Abb. 3: Geschossflächendichte [m² pro m²] gemäß European Urban Atlas baulich überprägter Fläche in vier Fallstudienregionen bezogen auf das INSPIRE-Grid mit 1 000 m Kantenlänge (Quelle: eigene Darstellung)*

Die Abbildungen 3 und 4 lassen darüber hinaus erhebliche interregionale Unterschiede des Verdichtungsniveaus erkennen. So erreicht die Geschossflächendichte in der Region Köln deutlich höhere Werte als in den drei übrigen Regionen. Ein Grund hierfür ist zum einen in der früher und flächenhaft erfolgten Industrialisierung der Region Köln zu

vermuten, die zu deutlich höheren Siedlungsdichten geführt hat. Zum anderen könnten die wirtschaftsstrukturellen Gegebenheiten und Entwicklungen in den Regionen Dichteunterschiede erklären. Unterschiedliche Ausmaße altindustrieller Bausubstanz oder auch abweichende Branchenstrukturen im produzierenden Gewerbe und im Handel lassen sich als plausible Faktoren vermuten.

Abbildung 4 verdeutlicht die durchschnittlichen Geschossflächendichten für drei kreisförmige Zonen um die Kernstädte der vier Regionen: eine innere Zone mit einer maximalen Distanz von zwei Kilometern zum Zentrum der Kernstadt, eine Randzone mit einem Radius von zwei bis fünf Kilometern zum Zentrum sowie eine äußere Zone mit einer radialen Distanz von 5 bis 10 Kilometern zum Zentrum. Hier zeigt sich, dass die Stadt Köln die stärkste Verdichtung des zentralen Siedlungsbereichs aufweist: Die mittlere Geschossflächendichte nimmt einen Wert von nahezu 1,5 an. Aber bereits die Randlagen um die Innenstadt herum (2- bis 5-km Zone) sind in allen Regionen ähnlich gering verdichtet, in drei von vier Fällen mit Geschossflächendichtewerten von durchschnittlich weniger als 0,5. In der äußeren (suburbanen) Zone werden erwartungsgemäß geringe Dichten angetroffen. Dies ist in besonderem Maße in den Städten Frankfurt und München ausgeprägt.

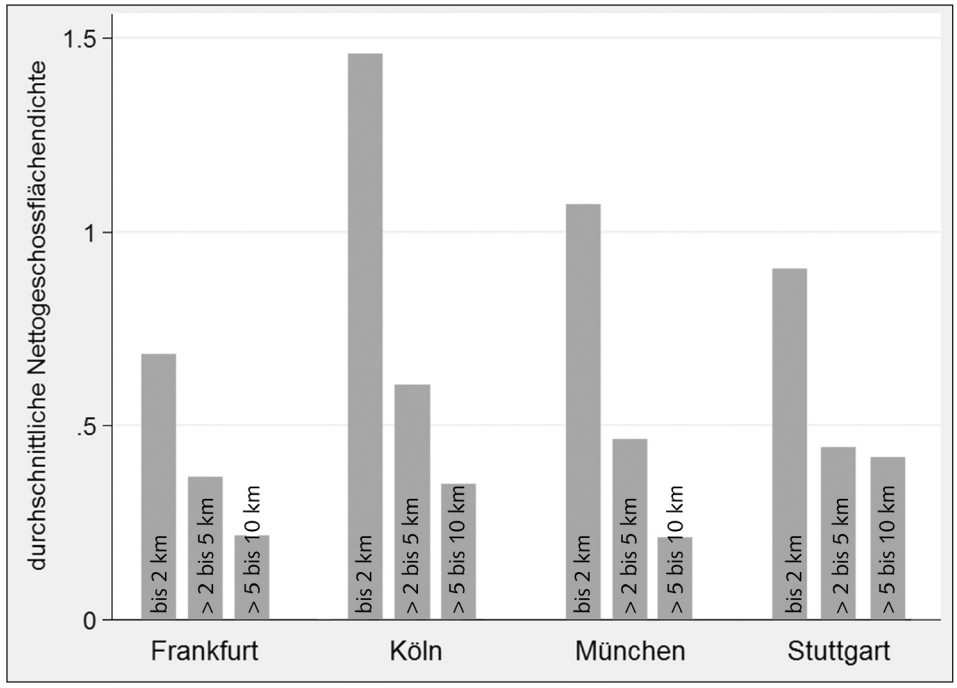



*Abb. 4: Durchschnittliche Geschossflächendichte in vier Fallstudienregionen nach Ringzonen (Quelle: eigene Berechnung)*

## 4 Fazit

Der vorliegende Beitrag zeigt, dass es mithilfe von Fernerkundungsdaten möglich ist, Gebäudemodelle für Großstadtregionen zu erzeugen und daraus Dichteinformationen abzuleiten. Damit wird eine erhebliche Lücke in der laufenden Beobachtung von Prozessen der Stadt- und Regionalentwicklung geschlossen. Zukünftig wird es möglich sein, Ver- und Entdichtungsprozesse in Stadtregionen einem systematischen Monitoring zu unterziehen.

Sowohl aus planungspraktischer als auch aus raumwissenschaftlicher Perspektive eröffnen sich mit der Verfügbarkeit kleinräumiger Dichtedaten vielfältige Nutzungsoptionen. Beispielhafte Anwendungsbezüge bieten sich in der Stadtklimatologie und in Vulnerabilitätsstudien an. Auch die Planung des Stadtumbaus könnte von Gebäude- und Dichtedaten profitieren, indem u. a. Rückbauoptionen auf ihre infrastrukturellen Implikationen vertiefend untersucht werden. Ähnliches gilt für die Bewertung von Nachverdichtungsmaßnahmen mit ihren positiven und negativen Auswirkungen (z. B. Verbesserung der Infrastruktureffizienz, Verringerung der Freiraumversorgung). So könnte beispielsweise ermittelt werden, welche potenziellen Nachverdichtungsmöglichkeiten im Umfeld von U- oder S-Bahnhöfen bestehen.

Fina et al. (2014) weisen ferner darauf hin, dass die Ergänzung konventioneller Raumbeobachtungssysteme Chancen für ein multidimensionales Monitoring der Stadt- und Regionalentwicklung bietet, indem Dichteindikatoren integriert und mit anderen Indikatoren kombiniert werden können. Die damit erleichterte Verfügbarkeit untergemeindlicher Daten ermöglicht interregional vergleichende Analysen siedlungsstruktureller Zustände und Entwicklungen, die für die Bundesrepublik Deutschland so bisher nicht möglich waren.

## 5 Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie für die Bereitstellung von Geodaten, bei der Firma Euromap GmbH, Neustrelitz, für die Bereitstellung der Cartosat-Daten und bei Dr. Pablo d'Angelo für die Berechnung der Höhenmodelle. Diese Studie wurde teilweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsprojektes „Polyzentralität deutscher Stadtregionen" (Förderkennziffer TA 800/1-1 & SI 932/4-1) finanziert.

## 6 Literatur

Acioly Jr., C.; Davidson, F. (1996): Density in urban development. In: Building Issues 8(3)/1996, 3-25.

Bott, H.; Siedentop, S. (2013): Regional-, Stadt- und Quartiersplanung. In: Bott. H.; Grassl, G.; Anders, S. (Hrsg.): Nachhaltige Stadtplanung. Konzepte für nachhaltige Quartiere, 93-101. Berlin: Edition Detail.

Crespi, M.; Barbato, F.; De Vendictis, L.; Onori, R.; Poli, D.; Volpe, F.; Wang, X. (2006): Orientation, orthorectification, DSM extraction and 3D city modeling by CARTOSAT-1 stereo imagery: First results of a test over Rome. In: Proceedings of ISPRS Commission IV Symposium, September 27-30.

d'Angelo, P.; Lehner, M.; Krauss, T. (2008): Towards automated DEM generation from high resolution stereo satellite images. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (Part B4), 1137-1142.

Ewing, R.; Cervero, R. (2010): Travel and the built environment. A meta-analysis. In: Journal of the American Planning Association 76(3)/2010, 256-294.

Fina, S.; Krehl, A.; Siedentop, S.; Taubenböck, H.; Wurm, M. (2014): Dichter dran! Neue Möglichkeiten der Vernetzung von Geobasis-, Statistik- und Erdbeobachtungsdaten zur räumlichen Analyse und Visualisierung von Stadtstrukturen mit Dichteoberflächen und -profilen. In: Raumforschung und Raumordnung, 72(3)/2014, 179-194.

Kelly-Schwartz, A. C.; Stockard, J.; Doyle, S.; Schlossberg, M. (2004): Is sprawl unhealthy? A multilevel analysis of the relationship of metropolitan sprawl to the health of individuals. In: Journal of Planning Education and Research 24, 184-196.

Koppe, C.; Kovats, S.; Jendritzky, G.; Menne, B. (2004): Heat-waves: risks and responses. In: Health and Global Environmental Change SERIES, 2. Kopenhagen.

Newman, P.; Kenworthy, J. R. (1989): Gasoline Consumption and Cities. A Comparison of U.S. Cities with a Global Survey. In: Journal of the American Planning Association, 55, 24-37.

Siedentop, S.; Schiller, G.; Gutsche, J.-M.; Koziol, M.; Walther, J. (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten. Bilanzierung und Strategieentwicklung. In: BBR-Online-Publikationen 3/2006. Bonn.

Sirmacek, B.; Taubenböck, H.; Reinartz, P. (2012): Performance evaluation for 3-D city model generation of six different DSMs from air- and spaceborne sensors. In: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 5(1)/2012, 59-70.

Westphal, C. (2008): Dichte und Schrumpfung. Kriterien zur Bestimmung angemessener Dichten in Wohnquartieren schrumpfender Städte aus Sicht der stadttechnischen Infrastruktur. Dresden, IÖR Schriften 49.

Wurm, M.; d'Angelo, P.; Reinartz, P.; Taubenböck, H. (2014): Investigating the applicability of Cartosat-1 DEMs and topographic maps to localize large-area urban mass concentration. In: Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (im Druck).

Wurm, M.; Taubenböck, H.; Schardt, M.; Esch, T.; Dech, S. (2011): Object-based image information fusion using multisensor earth observation data over urban areas, In: International Journal of image and data fusion, 2(2)/2011, 121-147.