

Erdbeobachtung und Raumentwicklung?

Hannes Taubenböck, Thomas Esch, Michael Wurm, Wieke Heldens, Christian Geiss, Stefan Dech

(Dr. Hannes Taubenböck, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, 82234 Weßling, hannes.taubenboeck@dlr.de)

(Dr. Thomas Esch, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, 82234 Weßling, thomas.esch@dlr.de)

(Dr. Wieke Heldens, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, 82234 Weßling, wieke.heldens@dlr.de)

(Michael Wurm, Julius-Maximilians-University of Würzburg, Geographical Institute, Earth Observation, 97074 Würzburg, Germany, German Aerospace Center (DLR), and German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling, Germany, michael.wurm@dlr.de)

(Christian Geiss, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, 82234 Weßling, christian.geiss@dlr.de)

(Prof. Dr. Stefan Dech, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, 82234 Weßling, stefan.dech@dlr.de)

1 KURZFASSUNG

Die Erdbeobachtung stellt für die Raumentwicklung und Landesplanung ein sehr junges Medium zur Daten- und Informationsgewinnung dar. Sie ist ein unabhängiges, vergleichsweise günstiges, flächendeckendes und vor allem aktuelles Instrumentarium zur Gewinnung von raumbezogenen Informationen. Die Stadt oder Stadt-Umland Regionen von einer erhöhten Position im Blick – aus einem Flugzeug oder aus dem All – ist eine andere Form der Annäherung an die räumlichen Komponenten, Objekte und Zusammenhänge auf der Erdoberfläche. Die im vergangenen Jahrzehnt rasanten technischen Entwicklungen flugzeug- und satellitengestützter Sensoren erlauben nun die kleinräumige, heterogene Charakteristik urbaner Räume geometrisch und thematisch hoch detailliert und in kurzen Zeitintervallen zu erheben. Die damit einhergehenden Entwicklungen verschiedener Methoden und Verfahren zur Auswertung dieser Daten ermöglichen die Entfaltung eines weiten Anwendungsspektrums. Allerdings – so zeigt die Erfahrung in der Praxis – werden fernerkundliche Daten- und Informationsgrundlagen bis heute nur rudimentär im stadtplanerischen Alltag genutzt.

Dieser Beitrag konzentriert sich darauf, neue Potenziale, aber auch vorhandene Limitierungen der Fernerkundung für vielfältige raumbezogene und planerische Fragestellungen aufzuzeigen. Beispiele zeigen Produkte der Erdbeobachtung von geometrisch und thematisch hoch detaillierten 3-D Stadtmodellen über physische Parameter wie Versiegelungsgrade, temporale Veränderungsanalysen oder Bevölkerungsabschätzungen bis hin zu geringer auflösenden nationalen, kontinentalen oder globalen Produkten. Ziel ist es die Fernerkundung für die Planung als relevante Informationsquelle ins Blickfeld zu rücken, um diese Disziplin zukünftig stärker in den inter- und transdisziplinären Diskurs zur nachhaltigen Stadt- und Raumentwicklung miteinzubringen.

2 EINLEITUNG

Eine große, unbestrittene Stärke der Erdbeobachtung ist es, unabhängige raumbezogene Informationen zu Gebieten liefern zu können, in denen entweder digitale Informationen Mangelware sind, die einer sehr dynamischen Änderung unterliegen, oder die schwer zugänglich sind. Daraus erschließt sich, dass die Fernerkundung gerade in Entwicklungsländern, oder in Gebieten die beispielweise infolge eines Naturereignisses eine dynamische Veränderung erfahren haben oder in Gebieten, die beispielweise durch abgelegene Lagen oder durch Risiken unzugänglich sind, einen essentiellen Mehrwert an Informationen bieten kann.

Wo aber liegt das Potenzial der Erdbeobachtung in Mitteleuropa, wo Geoinformation in vielfältigster Weise auch räumlich und thematisch höchst aufgelöst zur Verfügung steht? Welchen Mehrwert kann die Erdbeobachtung hier für Planungsträger, Politiker oder die Öffentlichkeit bieten?

Mit Plattformen wie „Google Earth“ oder „Bing“ haben höchst aufgelöste Fernerkundungsdaten den Einzug in den tagtäglichen Gebrauch vollzogen. Allerdings sind die „Bilder“ zunächst nur Daten und noch keine Information über den visuellen Eindruck hinaus. Mit automatisierten Algorithmen wird versucht aus diesen Daten einen Informationsmehrwert für Planer abzuleiten (Weng & Quattrochi, 2007; Netzband, Stefanov & Redman, 2007; Weng, 2008; Gamba & Herold, 2009; Rashed & Jürgens, 2010; Taubenböck & Dech, 2010). Im Folgenden soll gegliedert nach verschiedenen geometrischen Auflösungsstufen – lokal und regional,

national und kontinental und global – exemplarisch dargestellt werden, welche thematischen Felder die Fernerkundung substantiell bedienen kann und welche Vor- bzw. Nachteile bzw. Potenziale und Limitierungen sich daraus ergeben.

3 MULTISKALIGE POTENZIALE DER ERDBEOBACHTUNG

3.1 Lokale und regionale Anwendungen

Durch die Distanz der fernerkundlichen Perspektive wird es möglich, die städtischen Siedlungselemente in ihrer Gesamtheit zu erfassen und zu einem physischen System ›Stadt‹ zusammenzufügen. Neue Fernerkundungssensoren wie z. B. WorldView I & II, Geoeye, Ikonos oder Quickbird verschaffen uns die Möglichkeit, selbst die kleinräumigen Strukturen im städtischen System zu erkennen und die Gesamtstadt wiederum als ein heterogenes System von Gebäuden, Straßen und Freiflächen auflösen und begreifen zu können (Taubenböck & Dech, 2010).

Die Ableitung von 3-D Stadtmodellen aus multisensoralen EO-Daten (z.B. QuickBird in Kombination mit flugzeuggetragenen Laserscanning-Daten) stellt dabei ein High-End Produkt dar, das eine Annäherung an die realen Strukturen urbaner Räume bietet. Darüber hinaus stecken in den Daten quantitative, raumbezogene Informationen, um den städtischen Raum nicht nur wie in Abbildung 1 dargestellt visuell abzubilden, sondern Parameter wie Gebäudegrößen, Gebäudehöhen, Dachtypen, Lage, etc. quantitativ vorliegen zu haben. Das Wissen über die physischen Parameter der individuellen Objekte des urbanen Raumes erlaubt es darüber hinaus, Strukturparameter wie Gebäudedichte, Geschossflächenzahl, Vegetationsanteil, etc. abzuleiten, oder gar Strukturtypen abzuleiten (Bochow, 2010).

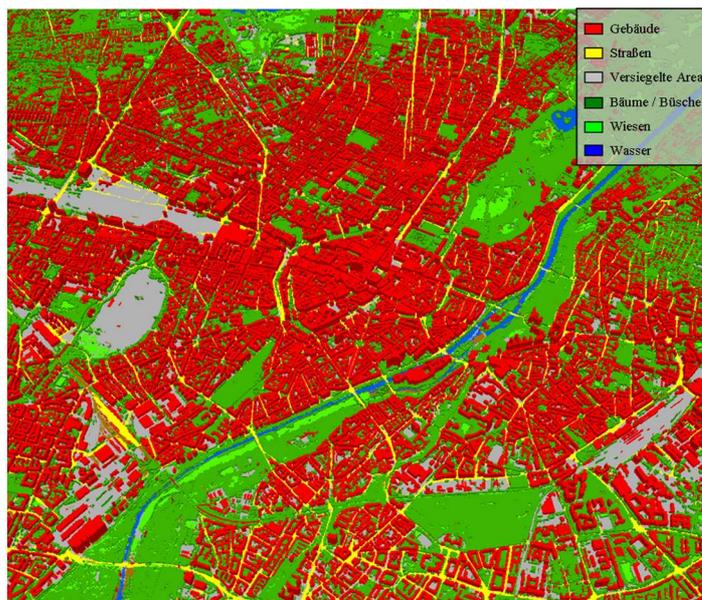


Abb. 1: 3-D Stadtmodell von München

Die Fernerkundung urbaner Räume bereitet aber über die dargestellten Anwendungen noch weitere Möglichkeiten thematische Informationen für Planer oder Entscheidungsträger zur Verfügung zu stellen. So sind Anwendungen zu Standortanalysen, ökologischen Fragestellungen (Lakes, 2006), energierelevanten Fragestellungen zu nennen, wie die Identifikation von Solarflächen oder die Ableitung von Oberflächenmaterial mittels Hyperspektralfernerkundung (Heldens, 2010). Zudem wurde der Mehrwert der Fernerkundung hinsichtlich Risiko- und Vulnerabilitätsanalysen (z.B. Hochwasser) (Taubenböck et al., 2009) oder die Kartierung aktueller Ereignisse (Voigt et al., 2007; www.dlr.de/zki), die Erfassung von Verkehr und / oder Mobilität in der Stadt (Reinartz et al., 2006), die Abschätzung von Bevölkerungsdichten (Schneiderbauer und Ehrlich, 2007), Analysen zum Stadtklima (Rigo & Parlow, 2007) oder die Korrelation von physischen Gebäudestrukturen mit Gebäudenutzungen (Barnsley et al., 2000) demonstriert. Abbildung 2 zeigt die Top-Down Interpolation von Bevölkerungsdaten auf administrativem Level auf Gebäudelevel. Bezugsgrößen sind dabei die aus Erdbeobachtungsdaten abgeleiteten Gebäudegrößen und –höhen bzw. einer indirekten Ableitung der Gebäudenutzungen (Wurm & Taubenböck, 2010).



Abb. 2: Bevölkerungsschätzung auf Gebäudelevel für einen ausschnitt der Münchner Stadtlandschaft

Zudem eröffnet die neue Qualität flugzeuggetragener Sensoren mit einer geometrischen Auflösung von bis zu 5 cm vielfältige Möglichkeiten bei der Inventarisierung von Katastern. Mit den detaillierten und fotorealistischen 3-D-Welten haben die Datensätze auch Anwendungspotenzial bei Standort- und Wirtschaftsförderung, Immobilienvermarktung, Umweltanalysen oder im Tourismus (z. B. für die Planung des Urlaubs).

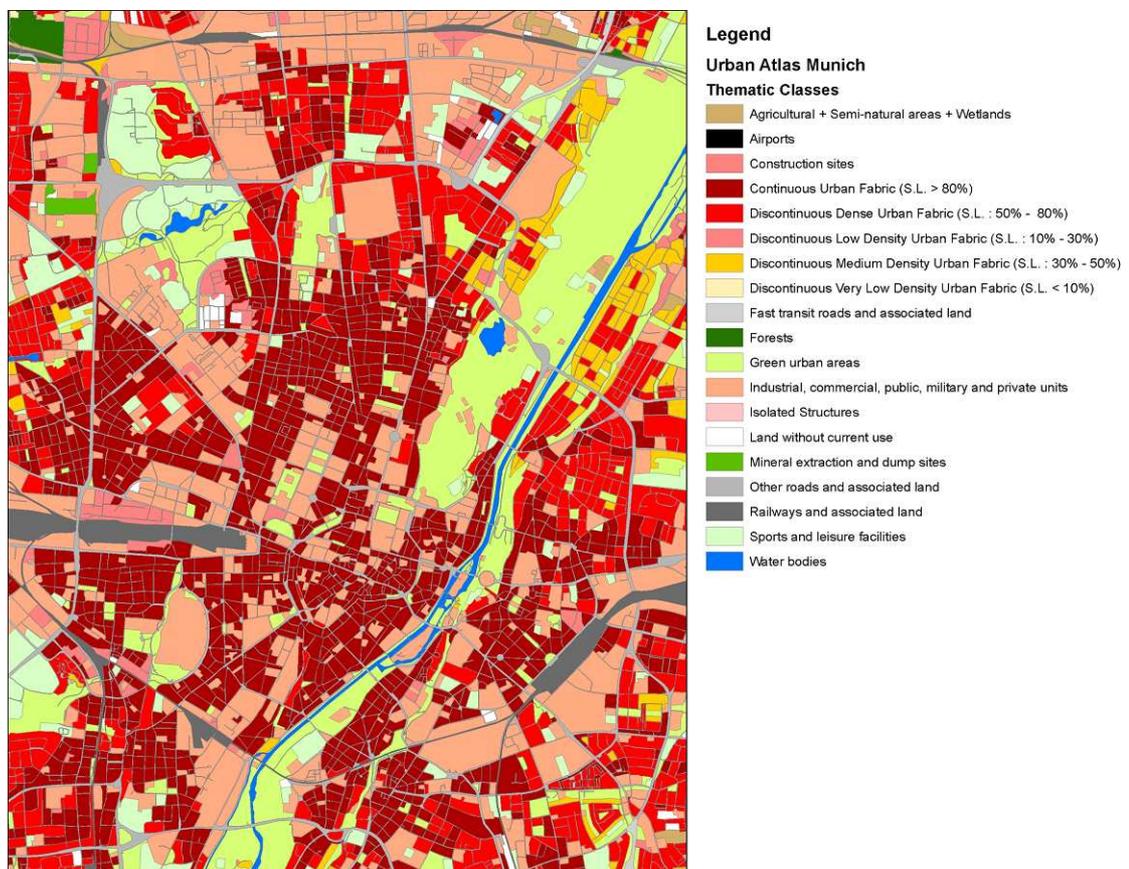


Abb. 3: European Urban Atlas am Beispiel Münchens

3.2 Nationale bis kontinentale Anwendungen

Die föderale Struktur in Deutschland bringt es mit sich, dass trotz einer Vielzahl an theoretisch verfügbaren Geoinformationprodukten, eine flächendeckende, konsistente Informationsbasis zu urbanen Räumen und deren Umland entweder sehr kostenintensiv ist, nur über eine Vielzahl an Providern zusammengestellt werden kann und diese Datensätze kaum zentral vorgehalten wird und dementsprechend an Ländergrenzen oftmals Inkonsistenzen aufweisen.

Daten der Erdbeobachtung werden aktuell bereits dafür verwendet eine konsistente und flächendeckende Informationsbasis auf nationaler bis kontinentaler Ebene zu erzeugen. Das europaweite Projekt CORINE Land Cover (CLC) strebt die Bereitstellung von einheitlichen und damit vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa an (Keil et al., 2010).

Der European Urban Atlas als weiteres kontinentales Erdbeobachtungsprojekt, hat zum Ziel, aus höchst aufgelösten Satellitendaten (v. a. von SPOT) thematische Karten zu mehr als 300 Städten in Europa zu generieren (Seifert, 2009; Steinborn, 2010). Mit 34 thematischen Klassen und einer Minimum Mapping Unit von 0,25 Hektar wird dieses Produkt Städtevergleiche mit konsistenten Datensätzen zulassen. Abbildung 3 zeigt beispielhaft für München die Blockebene mit den zugehörigen thematischen Karten bereitgestellt werden.

Weitere bundesweite Anwendungen wurden bereits mittels Erdbeobachtungsdaten sowie Bildanalysetechniken durchgeführt. Die Ableitung des Versiegelungsgrades ist eine thematische Anwendung. Sowohl in der Bundesrepublik Deutschland als auch auf globaler Ebene ist ein stetiges Anwachsen der Siedlungs- und Verkehrsfläche zu verzeichnen. Die aus der Urbanisierung resultierende Flächeninanspruchnahme ist eng verknüpft mit einer zunehmenden Versiegelung des belebten Bodens.

Mit der Fähigkeit einer flächendeckenden sowie räumlich und zeitlich flexibel fortschreibbaren Erfassung der Bodenbedeckung kann die Erdbeobachtung mittels multispektraler Satellitensysteme an dieser Stelle eine vielversprechende Technik zur quantitativen Charakterisierung der Bodenversiegelung bereitstellen. Für einen Einsatz für Bayern haben Esch et al. (2009) zu diesem Zweck einen Ansatz zur kombinierten Auswertung von Satellitendaten und Informationen des Amtlichen Topographisch- Kartographischen Informationssystems (ATKIS) entwickelt. Dabei erfolgt zunächst über Techniken der digitalen Bildanalyse eine Modellierung des Versiegelungsgrades auf Basis von Aufnahmen des Landsat-7-Satelliten. Der kombinierte Datensatz aus fernerkundlich modellierter Bodenversiegelung und linienhaften Infrastrukturelementen aus ATKIS kann nun über Techniken Geographischer Informationssysteme (GIS) räumlich auf beliebige administrative oder raumstrukturelle Gebietseinheiten aggregiert werden. Dieser ermöglicht vergleichende Aussagen zur Versiegelungssituation oder aber die Verknüpfung der Versiegelungsdaten mit statistischen Informationen – etwa zur Bevölkerung. Abbildung 4 ist der Versiegelungsgrad pro Gemeindefläche der versiegelten Fläche pro Kopf in Deutschland gegenüber gestellt. Dabei kristallisieren sich in der Regel die bekannten urbanen Ballungszentren wie Hamburg, Bremen, Ruhrgebiet, Großraum Frankfurt, Region Mannheim/Ludwigshafen, Raum Stuttgart, München, Nürnberg, Dresden, Leipzig und Berlin – mit ihren hohen Versiegelungswerten klar heraus. Ebenfalls gut zu erkennen sind die stark ländlich geprägten Regionen – etwa Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern oder die Region des Schwarzwalds. Im rechten Bild zeigt die versiegelte Fläche pro Kopf demgegenüber ein nahezu umgekehrtes Bild. Je ländlicher und damit geringer besiedelt die Region, desto mehr versiegelte Fläche entfällt dort auf die einzelnen Bewohner (Esch, 2010).

Eine weitere am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum durchgeführte bundesweite Analyse mittels Bildanalysetechniken zielt auf eine energierelevante Fragestellung ab. So wurde die Möglichkeit physisch-strukturelle Parameter abzubilden dazu genutzt, eine Priorisierung von Gebieten bezüglich einer Nahwärmenetzversorgung vorzunehmen. Dabei gehen Parameter wie Gebäudevolumen, strukturelle Anordnung, Gebäudealter sowie Nutzungskomponenten sowie die nötigen Investitionskosten für ein Nahwärmenetz basierend auf Leitungslängen, etc. in die Analyse mit ein. Diese Methode bedient sich für detaillierte Studien 3-D Stadtmodellen (Geiß, 2010) sowie Bildanalysetechniken, um bundesweit aus topographischen Karten die Gebäudestrukturen abzuleiten (Esch et al., 2011). Das Ergebnis zeigt weniger und besonders geeignete Standorte für eine Nahwärmeversorgung auf Gemeindeebene in der Bundesrepublik Deutschland.



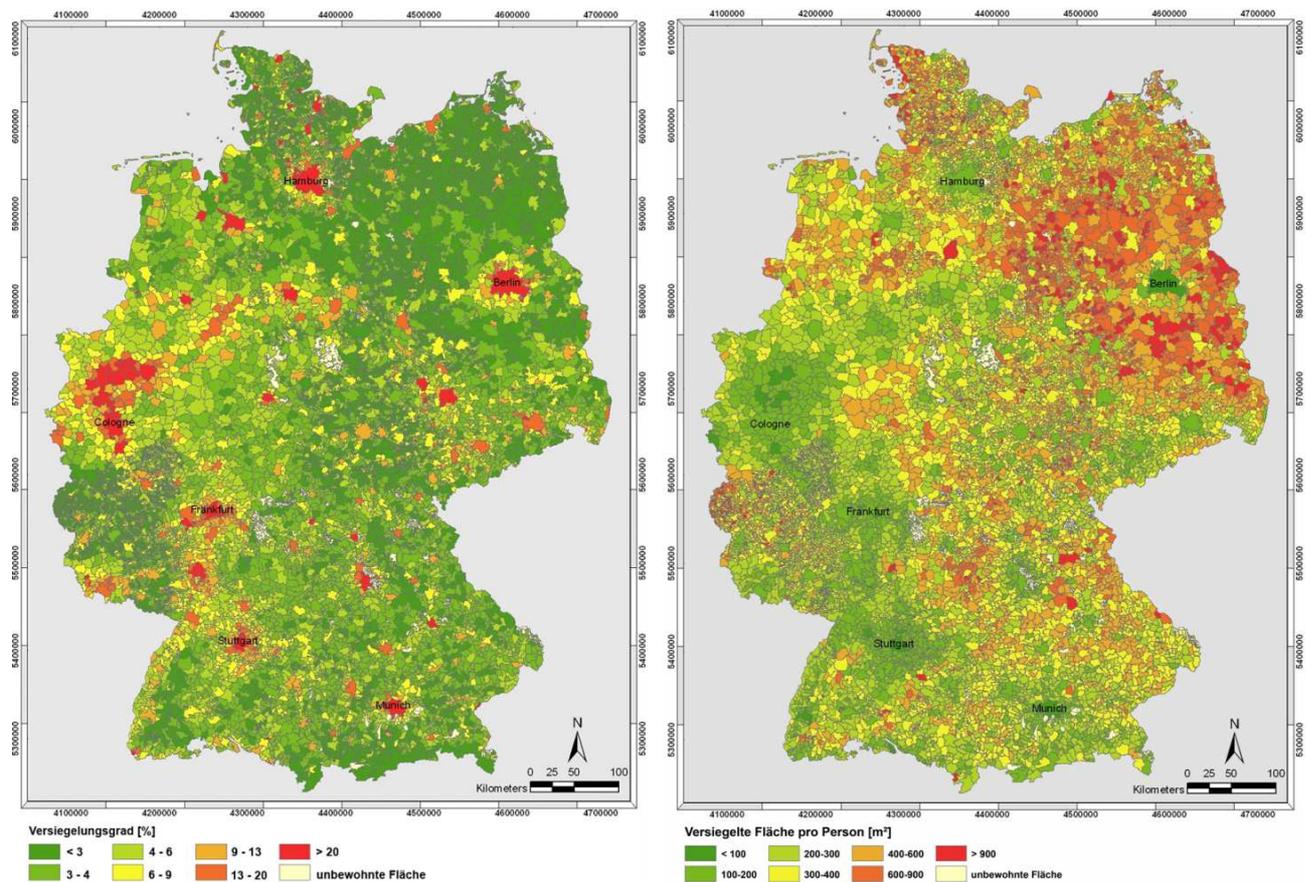


Abb. 4: Versiegelungsgrad der Gemeindefläche (links) und versiegelte Fläche pro Kopf (rechts) in Deutschland

3.3 Globale Anwendungen

Wenn jemand vor dem Jahr 2000 die Frage gestellt hätte „Wie viel Fläche unseres Planeten ist urbanisiert, und wo liegen diese Flächen?“, wäre der einzig verfügbare globale Datensatz ein digitalisiertes Mosaik von Karten und Bildern gewesen, das über 30 Jahre hinweg von 1960 bis 1990 erzeugt wurde (siehe *Digital Chart of the World* (DCW), ein Produkt des Environmental Systems Research Institute). Die hohe räumliche Dynamik urbaner Gebiete erzwingt es geradezu, die Fernerkundung für solche Fragestellungen zu nutzen. Die rasante technische Entwicklung bei tag- und nachtaufzeichnenden Satellitensystemen, Methoden zur Kartierung und der entsprechend benötigten Rechenleistung, eröffnet Anwendern heute bereits die Möglichkeit globale Fragestellungen zu bearbeiten.

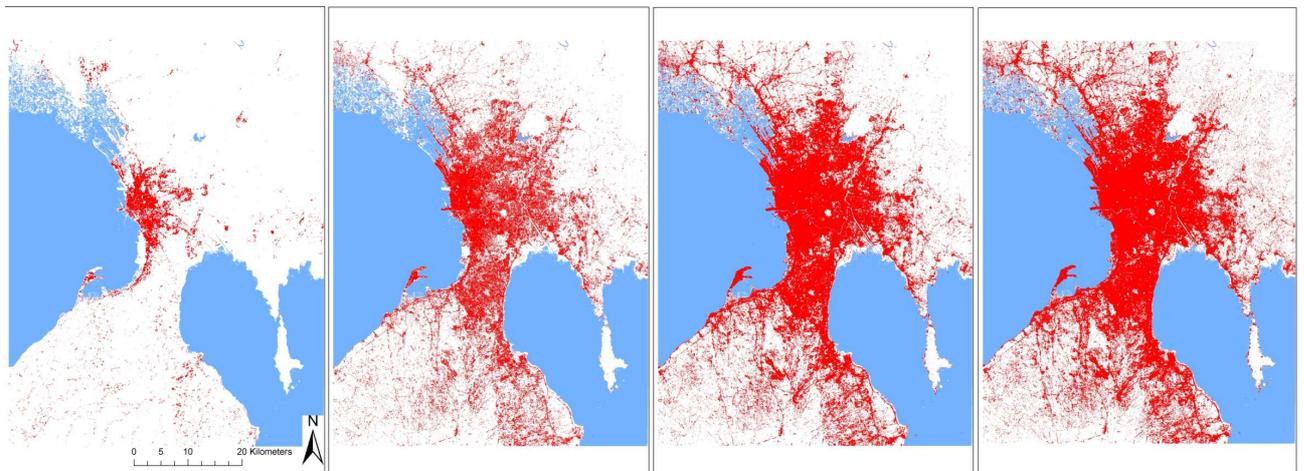


Abb. 5: Veränderungsanalyse für die Megastadt Manila, Philippinen mittels multi-sensoraler Daten von Landsat und TerraSAR-X (von links nach rechts Landsat MSS 1975, Landsat TM 1990, Landsat ETM 2000 & TerraSAR-X stripmap 2010)

Eine Anwendung ist beispielsweise die Kartierung der räumlichen Dimension aller Megacities der Welt, nicht nur zum aktuellen Zeitpunkt, sondern darüber hinaus in ihrer raumzeitlichen Entwicklung. Multi-sensorale und multi-temporale Datensätze von Landsat und TerraSAR-X machen dies möglich. So können vergleichbare, flächendeckende sogenannte „urbane Fußabdrücke“ abgeleitet werden und mittels eines Post-Klassifikations-Verfahrens bezüglich raumzeitlichen Wachstums analysiert werden (Taubenböck, 2011). Abbildung 5 zeigt exemplarisch das Wachstum urbanisierter Flächen der Megacity Manila auf den Philippinen. Das raumzeitliche Wachstum zeigt die Entwicklung von 1975 bis 2010 von einem relativ kleinen Stadt zu einer ausufernd und unkontrolliert wuchernden Megacity mit geschätzten 15 Millionen Einwohnern.

Aktuell gibt es fernerkundlich abgeleitete flächendeckende Karten des „globalen urbanen Fußabdruck“ abgeleitet aus gering auflösenden Daten von Sensoren wie MODIS, MERIS oder DMSOP-OLS (Potere et al., 2009). Die geometrische Auflösung liegt dabei aktuell bei 2 km bis zu maximal 250m. Beispiele sind *Global Landcover 2000* (GLC 00) oder *GlobCover* (GLOBC), welche 22 verschiedene thematische Landbedeckungsklassen mit einer räumlichen Auflösung von 1 km bzw. 500 m erfassen. Darin enthalten ist u. a. eine Klasse ‚urban‘, die aber nicht weiter differenziert wird. Die Produkte MOD1K, MODIS 500 und GRUMP (*Global Rural-Urban Mapping Project*) bieten in denselben geometrischen Auflösungen eine binäre Unterscheidung urbanisierter und nichturbanisierter Areale. Abbildung 6 zeigt die Messung der Lichtausstrahlung zur Nachtzeit über Europa und Nordafrika mit dem Sensor DMSP-OLS. Dieses Produkt ist ein flächendeckendes Instrumentarium, um menschliche Aktivitäten räumlich zu erfassen. Auch hier gilt, dass es zur Fernerkundung keine vergleichbare Datenbasis gibt, um eine konsistente und aktuelle Erfassung und Analyse durchzuführen.



Abb. 6: Messung der Lichtausstrahlung zur Nachtzeit über Europa und Nordafrika mit dem Sensor DMSP-OLS (National Geophysical Data Center (NGDC) – NOAA Satellite and Information Service)

Das Deutsche Fernerkundungszentrum zielt in den kommenden Jahren darauf ab, eine globale Kartierung des urbanen Fußabdruckes mittels TerraSAR-X Stripmap Daten durchzuführen. Dabei wird angestrebt die geometrische Auflösung wesentlich zu verbessern.

4 DISKUSSION

Mehrmals wurde erwähnt, dass die große Stärke der Erdbeobachtungsdaten darin liegt, dass man damit eine konsistente, flächendeckende, vergleichsweise günstige, aktuelle und unabhängige Informationsbasis erzeugen kann. Während auf nationaler bis globaler Skala Analysen und Datensätze mit Raumbezug kaum ohne Erdbeobachtungsdaten denkbar ist, so ist auf regionaler bis lokaler Ebene durchaus zu diskutieren, ob und inwieweit ein Mehrwert aus EO-Daten erzeugt werden kann.

Die angeführten Beispiele zeigen das hohe geometrische und thematische Potenzial fernerkundlicher Produkte. Trotzdem muss dabei berücksichtigt werden, dass katastergenaue Informationsprodukte mit bisherigen Möglichkeiten nicht erzielt werden können. Die thematischen Genauigkeiten schwanken dabei meist zwischen 75 und 90%. Ein weiteres Defizit bei der Anwendung von Erdbeobachtungsdaten und –methoden sind die für Kommunen noch immer oft zu hohen Kosten. Des Weiteren fehlt auf nationaler Ebene oft noch die juristische Grundlage, um Entscheidungen auf der Basis dieser Produkte fällen zu können.

Die Möglichkeit allerdings eine Fragestellung mit multidimensionalen Produkten aus vielen Perspektiven zu beleuchten ist dagegen von großem Nutzen. Oben angeführte Beispiele wie 3-D Stadtmodelle, zeitliche Veränderungsanalysen, Stadtstrukturtypenklassifikationen, Bevölkerungsabschätzungen, Risikoanalysen, sozio-demographische sowie –ökonomische Betrachtungsweisen oder ökologische Ansätze zeigen einen Ausschnitt des breiten Spektrums an potenziellen Anwendungen. Darüber hinaus bietet die Fernerkundung basierend auf vergleichbaren Datensätzen und Methoden die Möglichkeit Produkte zu erzeugen, die stadtübergreifende Analysen zulassen. Damit wird es machbar, urbane Entwicklungen im Verhältnis zu anderen Städten einzuordnen und planerische Zielvorgaben nicht anhand einer singulären Stadt zu erarbeiten. Dementsprechend gelingt es, durch eine Erhöhung der Fallzahl Zustände und Trends objektiver einzuschätzen und dadurch auch von anderen Metropolen bei planerischen Entscheidungen zu lernen.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Stärken der Fernerkundung liegen in erster Linie darin, Fragestellungen in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen und unabhängig von administrativen Verwaltungseinheiten flächendeckend zu bearbeiten. Diese multidimensionalen Informationsprodukte eröffnen zukünftig weitere Anwendungsfelder, um thematische und räumliche Wechselbeziehungen und Auswirkungen im komplexen System „urbaner Raum“ genauer zu betrachten, ganzheitlicher zu verstehen und daraus objektive Lösungsansätze und Strategien zu entwickeln.

Die vielfältigen Resultate sind somit nicht das Ende der Möglichkeiten, die Fernerkundung für urbane Fragestellungen einzusetzen, sondern vielmehr ein Anfang, die Fernerkundung für die Planung als relevante Informationsquelle ins Blickfeld zu rücken und zu einer ganzheitlicheren Betrachtung der oft komplexen Probleme zu verhelfen. Das Ziel ist es in einen intensiven inter- und transdisziplinären Diskurs einzutreten, um bestehende und mögliche Produkte zu diskutieren, diese in Planungsvorgänge einzubinden, von Anforderungen zu lernen und mit innovativen Ideen und neuen Lösungsansätzen dazu beizutragen, den urbanen Raum zukünftig nachhaltig und lebenswert zu gestalten.

6 LITERATUR

- BARNESLEY, M, MOLLER-JENSEN, L & S. BARR (2000): Inferring Urban Land Use by Spatial and Structural Pattern Recognition. – DONNAY J., BARNESLEY M., & P. LONGLEY (Ed.): Remote Sensing and Urban Analysis. Taylor and Francis, London: 115–141.
- BOCHOW, M. (2010): Automatisierungspotenzial von Stadtbiotopkartierungen durch Methoden der Fernerkundung. Dissertation. Universität Osnabrück.
- Esch, T. (2010): Erfassung und Bewertung der Bodenversiegelung. In: Taubenböck, H. & Dech S. (Hrsg.) (2010): *Fernerkundung im urbanen Raum – Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis*. WBG - Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. September, 2010. S. 58-62.
- Esch, T., Himmler, V., Schorcht, G., Thiel, M., Conrad, C., Wehrmann, T., Bachofer, F., Schmidt, M. & S. Dech (2009): Large-area Assessment of Impervious Surface based on integrated analysis of Single-date Landsat-7 Images and Geospatial vector Data. – In: Remote Sensing of Environment, Vol. 113 (2009), issue 8, pp. 1678 - 1690.
- Esch, T., Taubenböck, H., Geiss, C., Nast, M., Schillings, C., Metz, A., Heldens, W., Keil, M. & Dech, S. (2011): Potenzialanalyse zum Aufbau von Wärmenetzen unter Auswertung siedlungsstruktureller Merkmale. Projektbericht. Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Berlin. Förderkennzeichen 3004775. to be published.
- GAMBA, P. & M. HEROLD (2009): Global Mapping of Human Settlements: Experiences, Data Sets, and Prospects. Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA).
- Geiß, C. (2010): Potenzialmodellierung von Nahwärmenetzen auf Grundlage von Fernerkundungsdaten. Masterarbeit, Universität Salzburg, 119 S.
- Heldens, W. (2010): Use of airborne hyperspectral data and height information to support urban micro-climate characterisation. Phd Thesis, University of Würzburg; p. 180 (Online-Publikation: <http://www.opus-bayern.de/uni-wuerzburg/volltexte/2010/4893/>)
- Keil, M., Metz, A., Bock, M., Esch, T., Nieland, S. Feigenspan, S. (2010): Flächenerhebung und –statistik in CORINE Land Cover – Akutelle Ergebnisse und Programmentwicklung. In: Meinel & Schumacher (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring: Konzepte – Indikatoren – Statistik. IÖR Schriften, Band 52. S. 93-108.

- LAKES, T. (2006): Beitrag des Informationsmanagements für den Einsatz neuer Fernerkundungsdaten in der städtischen Planung am Beispiel der Stadtbiooptypenkartierung mit Flugzeugscannerdaten in Berlin. Dissertation am Institute of Landscape Architecture and Environmental Planning, Technische Universität Berlin.
- NETZBAND, M., STEFANOV, W. L. & C. REDMAN (EDS.) (2007): Applied Remote Sensing for Urban Planning, Governance and Sustainability.
- Potere, D., Schneider, A., Angel, S., Civco, D.L. (2009): Mapping urban areas on a global scale: Which of the eight maps now available is more accurate?. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No.24, pp. 6531-6558
- Rashed, T. & Jürgens, C. (Hrsg.) (2010): Remote Sensing of Urban and Suburban Areas.-Springer Berlin, 352 S.
- REINARTZ, P., LACHAISE, M., SCHMEER, E., KRAUSS, T. & H. RUNGE (2006): Traffic Monitoring with Serial Images from Airborne Cameras. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61: 149–158.
- Rigo, G. & Parlow, E. (2007): Modelling the ground heat flux of an urban area using remote sensing. *Theoretical and Applied Climatology*, 90, p. 185-199. data. *Theoretical and Applied Climatology*, 90, p. 185-199.
- SCHNEIDERBAUER, S. & EHRLICH, D.: EO data supported population density estimation at fine resolution – test case rural Zimbabwe. In: Zeug, G. & Pesaresi, M. (Eds): *Global Monitoring for Security and Stability (GMOSS). Integrated Scientific and Technological Research Supporting Security Aspects of the European Union*, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23033, pp. 194 – 209. 2007.
- Seifert, F. M. (2009): Improving Urban Monitoring toward a European Urban Atlas. - Gamba, P. & Herold, M. (Eds.): *Global Mapping of Human Settlements: Experiences, Data Sets, and Prospects*. Taylor & Francis Group: 231-249.
- Steinborn, W. (2010): The European Urban Atlas Supporting City Habitability. In: *V1 Magazine Promoting Spatial Design for a Sustainable Tomorrow*.
- Voigt, S., Kemper, T., Riedlinger, T., Kiefl, R., Scholte, K., and Mehl, H. (2007): Satellite Image Analysis for Disaster and Crisis-Management Support. In: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 6. S. 1520-1528.
- Taubenböck, H., Goseberg, N., Setiadi, N., Lämmel, G., Moder, F., Oczipka, M., Klüpfel, H., Wahl, R., Schlurmann, T., Strunz, G., Birkmann, J., Nagel, K., Siegert, F., Lehmann, F., Dech, S., Gress, A., Klein R. (2009): *Last-Mile preparation for a potential disaster – Interdisciplinary approach towards tsunami early warning and an evacuation information system for the coastal city of Padang, Indonesia*. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences*. vol. 9, pp. 1509-1528. <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1509/2009/nhess-9-1509-2009.html>
- Taubenböck, H. & Dech S. (Hrsg..) (2010): *Fernerkundung im urbanen Raum – Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis*. WBG - Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. September, 2010. S. 192.
- Taubenböck, H. (2011): Diagnose aus dem All: Die gigantische Flächenexpansion von Megastädten. *Geographische Rundschau*. 3/2011, S. 62-65.
- WENG, Q. & D. A. QUATTROCHI (Hrsg.). (2007): *Urban Remote Sensing*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA).
- WENG, Q. (Hrsg.) (2008): *Remote Sensing of Impervious Surfaces*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA).
- Wurm, M. & Taubenböck, H. (2010): *Abschätzung der Bevölkerungsverteilung mit Methoden der Fernerkundung*. In: Taubenböck, H. & Dech S. (Hrsg..) (2010): *Fernerkundung im urbanen Raum – Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis*. WBG - Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. September, 2010. S. 143-152.

