



Leibniz-Institut  
für ökologische  
Raumentwicklung



Gotthard Meinel, Ulrich Schumacher (Hrsg.)  
**Flächennutzungsmonitoring II**  
Konzepte – Indikatoren – Statistik

# Analyse und Visualisierung der Siedlungsentwicklung mit SEMENTA®-CHANGE

*Robert Hecht, Hendrik Herold, Gotthard Meinel*

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden Methoden der gebäudebasierten Erfassung der Siedlungsstruktur, deren Veränderung und Visualisierung vorgestellt. Die Analyse der Siedlungsentwicklung mit SEMENTA®-CHANGE basiert auf der automatisierten Auswertung topographischer Kartenwerke verschiedenster Zeitstände im Maßstab 1:25 000. Der Verfahrensansatz leistet einen wichtigen Beitrag für die Planung, da er für große Flächen eine Verortung der Gebäude-, Siedlungsflächen- und Siedlungsstrukturentwicklung der vergangenen Jahrzehnte erlaubt und sich daraus auch wertvolle Aussagen über die Wirksamkeit von raumplanerischen Instrumenten (z. B. Verhältnis der Innen- zur Außenentwicklung) ableiten lassen. Beispielhaft werden an ausgewählten Projektergebnissen das Anwendungspotenzial sowie die Grenzen des Verfahrens diskutiert.

## 1 Einleitung

Der Gebäudebestand wird häufig als größter physischer, wirtschaftlicher und kultureller Bestandteil unserer Gesellschaft bezeichnet (Kohler, Bradley 2007). Er bestimmt die Siedlungsstruktur maßgeblich. Trotz der großen Bedeutung des Gebäudes stehen Planung, Politik und Wissenschaft in Deutschland nur wenig aktuelle bzw. nur stark aggregierte Statistikinformationen zum Gebäudebestand und dessen Entwicklung zur Verfügung. Hochauflösende Informationen zur Siedlungsstruktur, wie zum Baualter, der Gebäudestruktur, Wohnungs- und Stockwerkzahl oder Kenngrößen zum Maß der baulichen Nutzung (Geschossflächendichte und Grundflächendichte), stehen weder flächendeckend zur Verfügung noch sind sie ausreichend aufbereitet. Mithilfe solcher siedlungsstruktureller Kennzahlen lassen sich Planungsergebnisse optimieren und Anwendungen im Bereich der Telekommunikation, des Risikomanagements, der Schadens- oder der Stoffstrommodellierung unter anderem auch Infrastrukturplanungen und regionale Studien zur Abschätzung des Wärmebedarfs (Neidhart, Sester 2004) realisieren.

Im Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Bearbeitung ökologischer Fragestellungen der Raumentwicklung auf regionaler, städtischer bzw. teilstädtischer Ebene wird häufig mit Repräsentanten und Aggregaten in Form von Strukturtypenansätzen gearbeitet (Blum, Gruhler 2010). Eine automatisierte objektive Erhebung der Siedlungsstruktur kann hier die derzeitige extrem zeit- und damit kostenaufwändige visuelle Interpretation und Kartierung unterstützen bzw. auch erübrigen.

Trotz hoher Nachfrage nach kleinräumigen Daten ist die kleinste Einheit der amtlichen Flächenstatistik in Deutschland derzeit die Gemeindeebene. Zunehmend werden deshalb private Geodatenanbieter aktiv und bieten selbstaufbereitete kleinräumige Geostatistiken an. Beispielhaft sei hier auf Produkte von infas geodaten eingegangen ([www.infas-geodaten.de](http://www.infas-geodaten.de)). Deren angebotene mikrogeographische Daten von Deutschland werden auf ca. 75 000 Wohnquartiere (ehemalige Stimmbezirke) mit einer annähernd vergleichbaren Größe von je 500 Haushalten modelliert. Die für die Aufbereitung verwendeten Daten sind dabei nicht amtlich und die angewandten Methoden intransparent. Mit dem Anwenderfokus Geomarketing sind die Datenpakete sehr teuer und letztlich für dünn besiedelte Gebiete immer noch zu grob auflösend.

Auch für ein flächennutzungsbezogenes Informationsmanagement fehlen planungsunterstützende Analyse- und Diagnosedaten, wie z. B. zur Identifizierung von baulichen Nutzungspotenzialen (Baulücken) im Siedlungsbestand (siehe Beitrag Siedentop in diesem Band) sowie zur räumlichen Verortung des Gebäudeneubaus und -abrisses in der Vergangenheit. Diese werden u. a. benötigt, um Aussagen zur Wirksamkeit raumplanerischer Instrumente zu treffen, Leitlinien nachhaltiger städtischer Entwicklung wie „Innenentwicklung vor der Außenentwicklung“ (Bundesregierung 2002) in ihrer Umsetzung zu prüfen und die Entwicklung neuer Planungsinstrumente zu unterstützen (Henger, Schröter-Schlaack 2008).

Mit dem SettlementAnalyzer (SEMENTA<sup>®</sup>) und dem darauf aufbauendem SEMENTA<sup>®</sup>-CHANGE können solche gebäudebasierten Informationen zur Siedlungsstruktur und -entwicklung abgeleitet werden.

## 2 Datengrundlagen für Gebäudeerhebungen

Die wichtigste Informationsquelle des Gebäudebestandes ist das Liegenschaftskataster mit dem Liegenschaftsbuch (beschreibender Teil) und der Liegenschaftskarte, in dem neben den Flurstücksgrenzen auch der geometrische Gebäudegrundriss enthalten ist. In den letzten Jahren wurden die analogen Liegenschaftskarten von den Vermessungsverwaltungen aufbereitet und stehen in Deutschland inzwischen flächendeckend digital zur Verfügung. Diese Daten können in Zukunft auch multitemporal ausgewertet werden, da sie mit der beginnenden Einführung des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) als neues einheitliches Datenmodell in Deutschland ab diesem Zeitpunkt mit Historisierung zur Verfügung gestellt werden. Bei Gebühren von 1,80 € pro Gebäude (AdV 2009) wird deutlich, dass für großflächige Analysen enorme Beschaffungskosten eingeplant werden müssen.

Für eine effiziente Ableitung von 3D-Stadtmodellen werden zunehmend Laserscannerdaten eingesetzt. Mit den automatischen Methoden der Gebäudedetektion werden

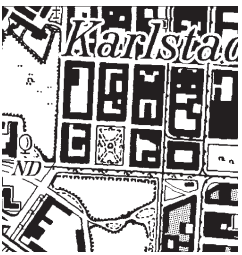


Erkennungsraten von bis zu 95 % erreicht (Vosselman, Maas 2010). Derartige Daten liefern zwar eine sehr gute Grundlage für siedlungsstrukturelle Analysen, sind aber mit hohen Erfassungskosten verbunden und werden deshalb häufig nur für größere Städte oder potenzielle Überschwemmungsgebiete erhoben. Die Verfügbarkeit solcher Daten für frühere Zeitstände ist nicht gegeben, da das Laserscanning eine vergleichsweise junge Fernerkundungsmethode ist. In Zukunft werden aber multitemporale Auswertungen von Laserscannerdaten an Bedeutung gewinnen (u. a. Rutzinger et al. 2010).

Eine weitere Datenquelle sind Fernerkundungsdaten wie hochauflösende Satelliten- und Ortholuftbilder. In der Beschaffung sind die Daten mit moderaten Kosten verbunden. Erkennungsraten von 64 % bis 81 % (z. B. Lee et al. 2003; Shan, Lee 2005; Lari, Ebadi 2007; Koç San, Turker 2007; Lefèvre, Sheeren 2007) erfordern jedoch zusätzliche kostenintensive Nachdigitalisierungen und Korrekturen. Trotz zunehmender Erfolge bleibt die vollautomatisierte Gebäudeextraktion aus Luftbildern immer noch ein Forschungsschwerpunkt in der Fernerkundung und Photogrammetrie (Grün 2008).

Als alternative Quelle für großflächige Analysen des Gebäudebestandes eignen sich amtliche topographische Kartenwerke, da sich die Gebäude mithilfe der digitalen Bildverarbeitung ausreichend genau aus dem Binärbild extrahieren lassen. Studien (Meinel et al. 2008a und Meinel et al. 2008b) haben gezeigt, dass topographische Karten der Maßstabebene 1:25 000 einen optimalen Kompromiss zwischen Datenmenge und -kosten sowie hinreichender Genauigkeit darstellen, da sie den Gebäudebestand fast vollständig und mit nur geringen, für Bestandsbilanzen akzeptablen Generalisierungseffekten abbilden. Für die Verwendung topographischer Karten sprechen die landesweite Verfügbarkeit von älteren Zeitständen, eine gesicherte Datenfortführung sowie eine ausreichende Datenhomogenität, die für den Aufbau konsistenter Zeitreihen Voraussetzung sind. In der Regel wurden die Karten bisher aller fünf Jahre aktualisiert, in Zukunft soll dieses alle drei Jahre erfolgen.

Gescannte topographische Karten stellen aus Sicht der Datenmodellierung zunächst unstrukturierte Rasterdaten dar. Im Gegensatz zu Katasterdaten, die im Vektordatenmodell vorliegen, müssen die entsprechenden Gebäudeobjekte mit Bildverarbeitungsmethoden extrahiert werden, da in der vorläufigen Version der Digitalen Topographischen Karte (DTK25-V) die Gebäude in der Ebene „Grundriss“ mit allen anderen schwarz dargestellten Hauptinhaltselementen (Verkehr, Vegetationssignaturen, Schriftelemente) vereint sind. Methodische Details zur Gebäudeextraktion sind in Herold et al. (2010a) beschrieben. Mit der Digitalen Topographischen Karte 1:25 000 (DTK25) ist eine Gebäudeextraktion nicht mehr notwendig, da diese hier in einer separaten Ebene abgespeichert sind.

Tab. 1: Gebäudeinformationen aus verschiedenen Geobasisdaten

	Grundrisslayer (DTK25-V)	Gebäudelayer (DTK25)	Gebäudegrundrisse (ALK)
			
Datenstruktur	Raster (Bildauffösung: 508dpi bzw. 200 Linien/cm entspricht 1,25 m x 1,25 m in Natur)		Vektor
Produktbezeichnung	Grundrisslayer der Digitalen Topographischen Karte 1:25 000 in der vorläufigen Version (DTK25-V), gescannte Topographische Karten TK25 oder TK25 (AS) (Staatliches Kartenwerk der DDR)	Gebäude (Ebene "Haus") der Digitalen Topographischen Karte 1:25 000 (DTK25)	ALK (Gebäude), ALKIS (AX_Gebäude), Hausumringe des deutschen Liegenschaftskatasters, 3D-Gebäudestrukturen (3D-GS)
Maßstab	1:25 000	1:5 000 bis 1:25 000	1:500 bis 1:5 000
Gebäuderepräsentation	Generalisierte grundrissähnliche Darstellung der zusammenhängenden Baukörper mit allen schwarz dargestellten Elementen der TK25 vereint (Verkehr, Vegetation, Schrift) mit Freistellung durch Schrift und punktförmigen Signaturen	Generalisierte grundrissähnliche Darstellung der zusammenhängenden Baukörper, teilweise mit Freistellung durch Schrift und punktförmigen Signaturen	Grundrissstreu Einzelgebäude-darstellung
Multitemporal verfügbar	Ja	Nein, derzeit noch nicht	Nein, derzeit noch nicht
Gebäude-nutzungs-infor-mation	Nein	Nein	Ja (nicht Hausumringe)

Die für eine gebäudebasierte siedlungsstrukturelle Analyse besonders geeigneten Karten stehen in Deutschland seitens der Landesvermessungsämter als Digitale Topographische Rasterkarte DTK25(-V), in Österreich seitens des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen als Österreichische Karte (ÖK25 abgeleitet aus der ÖK50) und in der Schweiz seitens des Bundesamtes für Landestopografie als Landeskarte der Schweiz (LK25 bzw. Swiss Map 25) zur Verfügung. Tabelle 1 fasst die verschiedenen Geobasisdaten für Gebäude in Deutschland zusammen, die für großflächige siedlungsstrukturelle Analysen geeignet sind.

Die Gebäude werden in den Daten unterschiedlich repräsentiert. Gebäudegrundrisse aus der Liegenschaftskarte bilden Einzelgebäude in einem größeren Maßstab ab. Dementsprechend können auch sehr kleine Gebäude der Nichtwohnnutzung in der siedlungsstrukturellen Analyse berücksichtigt werden. Obwohl Gebäudegrundrisse der ALK sogar mit Nutzungsinformationen hinterlegt sind, reichen diese nicht aus, um Aussagen zum Baualter und Gebäudetyp abzuleiten. Zudem kann die Nutzungsklassifizierung in der Tiefe von Kommune zu Kommune stark variieren. Somit müssen die Gebäudegrundrisse mit semantischen Informationen (z. B. Gebäudetyp) angereichert werden. Stehen keine dieser Gebäudegrundrisssdaten zur Verfügung, so muss auf die DTK25-(V) zurückgegriffen werden.

Im Folgenden werden die Softwareprogramme SEMENTA<sup>®</sup> und die Erweiterung SEMENTA<sup>®</sup>-CHANGE vorgestellt, welche siedlungsstrukturelle Kennzahlen und ihre Veränderung vorerst auf Basis topographischer Karten automatisiert berechnen.

### **3 Analyse der Siedlungsentwicklung**

#### **3.1 Siedlungsstrukturelle Analyse mit SEMENTA<sup>®</sup>**

Die automatisierte Kartenauswertung zur Erfassung des Gebäudebestandes ist seit vielen Jahren ein aktives Forschungsfeld (z. B. Maderlechner, Mayer 1994, Frischknecht, Kanani 1998). Vor diesem Hintergrund wurde am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung das inzwischen patentierte Verfahren SEMENTA<sup>®</sup> entwickelt, welches die automatische Ableitung siedlungsstruktureller Kennzahlen auf Grundlage topographischer Karten erlaubt. Der Prozessablauf (Abb. 1) wurde in Form eines Softwareprogramms SEMENTA<sup>®</sup> (SettlementAnalyzer) für ArcGIS implementiert und bereits in einer Vielzahl von Projekten operationell eingesetzt. Das Verfahren beruht auf der objektorientierten Extraktion aller Gebäude aus der Topographischen Karte, der Klassifikation der Gebäude in sieben Wohnnutzungs- und zwei Nichtwohnnutzungsklassen, der Verknüpfung der Gebäude mit gebäudetypischen Dichtereferenzwerten und der anschließenden Berechnung verschiedenster siedlungsstruktureller Kennzahlen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens ist in Meinel et al. (2008) zu finden. Das im nächsten Abschnitt vorgestellte SEMENTA<sup>®</sup>-CHANGE ist eine Erweiterung von SEMENTA<sup>®</sup>, mit der eine multitemporale Analyse möglich wird.



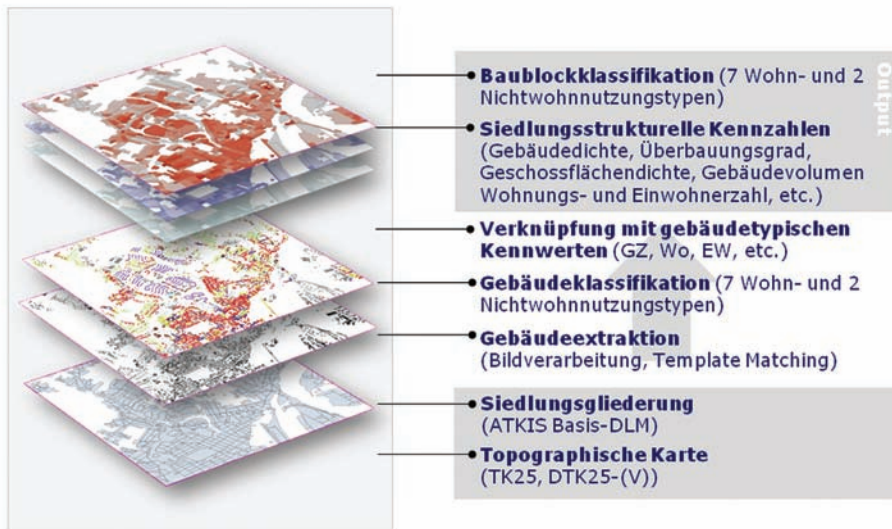


Abb. 1: Workflow von SEMENTA® (Programmbeschreibung 2008, IÖR)

### 3.2 Veränderungsanalyse mit SEMENTA®-CHANGE

Die klassische GIS-gestützte Erhebung der Flächennutzungsentwicklung erfolgt gewöhnlich durch rückwärtiges Editieren mittels visueller Interpretation auf der Grundlage georeferenzierter historischer Karten oder Luftbilder (z. B. Meinel, Neumann 2003). Eine solche Erfassung auf Gebäudeebene und für große Flächen bedeutet einen enormen Editieraufwand. Zur automatisierten multitemporalen Analyse topographischer Karten gibt es nur wenig Literatur. Dodt, Lechtenböcker (2004) stellen gescannte topographische Karten verschiedener Zeitstände in einem RGB-Farbkomposit zusammen, um Landschaftsänderungen nachzuweisen. Eine gebäudebasierte Bilanzierung ist mit dieser Methodik nicht möglich, da die Objekte lediglich über deren Grauwert definiert sind und damit keine Trennung von Gebäuden und anderen Signaturen (z. B. Verkehrsstrassen) möglich ist. Hochauflösende Veränderungsanalysen im Siedlungsraum erfordern jedoch bilanzierbare quantitative Daten mit hoher räumlicher Auflösung auf Gebäudeebene.

Das im Rahmen des Verbundprojektes REFINA-DoRiF<sup>1</sup> entwickelte GIS-basierte Werkzeug SEMENTA®-CHANGE ermöglicht es, solche gebäudebasierten Veränderungen der Siedlungsstruktur und Flächennutzung für große Gebiete zu ermitteln und auf definierten räumlichen Ebenen zu analysieren. Als Datengrundlage dienen georeferenzierte amtliche Topographische Karten unterschiedlicher Zeitstände. Die Methodik und deren

<sup>1</sup> „Designoptionen und Implementation von Raumordnungsinstrumenten zur Flächenverbrauchsreduktion“ (DoRiF) ist ein Verbundprojekt des Förderschwerpunktes „Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement“ (REFINA). [www.refina-dorif.de](http://www.refina-dorif.de)

technische Implementierung sind in Hecht et al. (2008) und Meinel et al. (2009) ausführlich beschrieben.

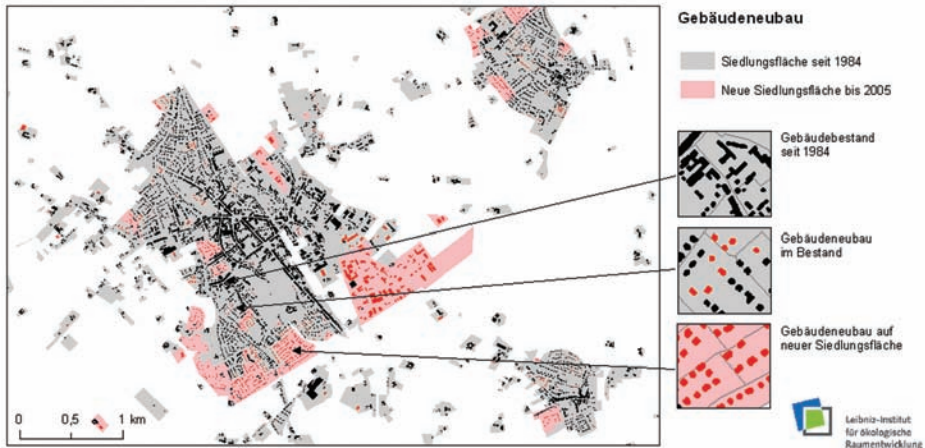


Abb. 2: Bauliche Entwicklung der Gemeinde Kevelaer: Gebäudebestand (schwarze Gebäude auf grauen Blöcken), Neubau im Bestand (rote Gebäude auf grauen Blöcken) und Neubau auf neuer Siedlungsfläche (rote Gebäude auf roten Blöcken) (Quelle: Eigene Berechnungen, 2009)

Das Verfahren besteht aus den Teilen Datenvorverarbeitung, Gebäudeextraktion, Gebäudeklassifikation, Gebäudematching, Veränderungsdetektion und Bilanzierung. In der Datenvorverarbeitung sind alle Prozesse vereint, die der Datenhomogenisierung dienen, wie die Harmonisierung der Datenstruktur und der Geometrie. Die Gebäudeextraktion und Gebäudeklassifikation sind in SEMENTA<sup>®</sup> implementiert. Diese Prozesse liefern für jeden Zeitschnitt klassifizierte Gebäudegrundrisse. Ein wichtiger Schritt ist die anschließende Zuordnung homologer Gebäude unterschiedlicher Zeitstände (Gebäudematching), um neue oder abgerissene Gebäude zu detektieren und anschließend die Siedlungsflächenentwicklung zu bilanzieren.

Für die Siedlungsflächenbilanzierung wird die Objektgruppe „Baulich geprägte Fläche“ aus dem aktuellen ATKIS Basis-DLM verwendet. Da es diese Daten erst seit etwa 2000 flächendeckend gibt, muss für die Kennzeichnung neuer Baublöcke gegenüber früheren Zeitständen mit einer Rückprojektion der aktuellen Baublockgrenzen<sup>2</sup> in die Vergangenheit gearbeitet werden (virtuelle Baublockgrenzen). Ergibt die Analyse des Gebäudebestandes, dass innerhalb eines rückprojizierten Baublocks kein Gebäude oder nur sehr wenige standen, so wird dieser Block als „Neue Siedlungsfläche“ gekennzeichnet (Abb. 2). Alle darauf stattfindenden Neubebauungen werden als neue Gebäude auf neuer Siedlungsfläche (Erstbebauung) bezeichnet; die restlichen als neue Gebäude im Bestand (Bestandsauffüllung).

<sup>2</sup> ATKIS modelliert Baublöcke als Polygone zwischen linienhaft modellierten Straßenachsen (Bruttoblöcke).



### 3.3 Ergebniskennzahlen

Kernergebnis von SEMENTA-CHANGE ist ein multitemporaler Gebäudelayer, welcher alle im Untersuchungszeitraum jemals existierenden Gebäude enthält und diese mit den entsprechenden Kennwerten beschreibt. Weiteres Ergebnis ist ein Siedlungslayer mit allen Baublöcken, wobei zwischen bereits bebauten Siedlungsblöcken (Bestand) und neuen Siedlungsblöcken (Neubauflächen) (s. Abb. 2) unterschieden wird. Diese Layer bilden die Grundlage für die Veränderungsanalyse, welche auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen erfolgen kann: auf Gebäude-, Baublock- (Quartier-), Gemeinde-, auf Rasterebene oder einer anderen sinnvollen Bezugsgeometrie.

Das Gebäude ist die kleinste Bezugseinheit, an denen die originären Kennzahlen für die Aggregation in einer Datenbank gespeichert sind. Je nach Eingangsdaten (siehe Tab. 1) sind das zusammenhängende Baukörper (Gebäude aus DTK25-V) oder Einzelgebäudegrundrisse (z. B. Gebäude aus ALK). Um die Gebäudeanzahl im Sinne der Statistik von zusammenhängenden Baukörpern zu bestimmen, wird mit gebäudetypischen Hauseingangsabständen für Reihenhäuser, Zeilenbebauungen und Gebäuden in geschlossener Bauweise gearbeitet. Somit kann die Gebäudeanzahl (entspricht der Hauseingangszahl) aus den aus der DTK25(-V) extrahierten Gebäuden über die Gesamtgebäudelänge geschätzt werden. Die Geschossanzahl und Geschosshöhe wurde vorab über regional- und gebäudetypische Erhebungen bestimmt.

Baublöcke (Quartiere) werden durch ein Straßengeviert oder die Grundstücksgrenze im Übergang zum Freiraum abgegrenzt. Der Baublock dient als Bezugsfläche zur Berechnung und ist somit die kleinste Raumeinheit zur Visualisierung von Dichten. Dessen Geometrie wurde aus der Objektgruppe „baulich geprägter Flächen“ des ATKIS-Basis DLM entnommen.

Eine dritte Bezugsebene sind alle aggregierten räumlichen Ebenen (wie z. B. Gemeinden, Kreise, Regionen) oder quadratische Rasterzellen. Auf dieser Grundlage können neben Gebäudeänderungen auch Bilanzen zur Siedlungsflächenentwicklung gezogen werden, in dem die „neuen Siedlungsflächen“, die durch eine erstmalige Bebauung des rückprojizierten Baublocks detektiert wurden, flächenhaft aufsummiert werden. Die Differenzierung zwischen neuer Siedlungsfläche und bereits bebauter Siedlungsfläche bietet die Grundlage zur Bestimmung der Relation der Innen- zu Außenentwicklung. Die Tabelle 2 fasst die siedlungsstrukturellen Kennwerte der räumlichen Ebenen zusammen.

Tab. 2: Übersicht der berechneten siedlungsstrukturellen Kennwerte mit SEMENTA® und SEMENTA®-CHANGE (Quelle: Eigene Darstellung)

	Indikator	Einheit	SEMENTA® Strukturkennzahlen			SEMENTA®-CHANGE Veränderung der Strukturkennzahlen		
			Gebäude	Baublock	Gemeinde o. a. Bezug	Gebäude	Baublock	Gemeinde o. a. Bezug
Kategorie	Gebäudetyp (7 Wohnnutzungstypen + 2 Nichtwohnnutzungstypen)		•	•				
	Status (Neubau, Abriss, Keine Änderung)					•		
	Siedlungsflächentyp (Neue Siedlungsfläche/Bestand)						•	
Absolute Kennzahlen	Gebäudeanzahl		•	•	•	•	•	•
	Grundfläche	m <sup>2</sup>	•	•	•	•	•	•
	Geschosszahl	.	•	•	•	•	•	•
	Geschosshöhe	m	•	•	•	•	•	•
	Geschossfläche	m <sup>2</sup>	•	•	•	•	•	•
	Gebäudevolumen	m <sup>3</sup>	•	•	•	•	•	•
	Wohnungen		•	•	•	•	•	•
	Einwohner		•	•	•	•	•	•
	Siedlungsfläche	ha		•	•		•	•
	Neue Siedlungsfläche	ha					•	•
	Neubau im Bestand					•	•	•
	Neubau auf grüner Wiese					•	•	•
Abriss im Bestand					•	•	•	
Relative Dichten mit Bezug zur Siedlungsfläche	Gebäudedichte	1/ha		•	•		•	•
	Grundflächendichte			•	•		•	•
	Geschossflächendichte			•	•		•	•
	Gebäudevolumendichte	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		•	•		•	•
	Wohnungsdichte	1/ha		•	•		•	•
	Einwohnerdichte	1/ha		•	•		•	•
	Neue Siedlungsfläche an Gesamtsiedlungsfläche	%						•
Anteile mit unterschiedlichem Bezug	Verhältnis von Bebauung im Bestand vs. „auf grüner Wiese“ (Innen- zu Außen)							•
	Anteil Neuer Siedlungsfläche an Gebietsfläche	%						•
	Gebäudetypanteile am Gesamtgebäudebestand	%			•			•

Die berechneten siedlungsstrukturellen Kennwerte können neben der zeitlich differenzierten Auswertung auch nach dem Gebäudetyp differenziert werden. Damit steht dem Nutzer eine Fülle statistischer Auswertungen und Visualisierungsoptionen zur Verfügung.

## 4 Visualisierung der Siedlungsentwicklung

Wie die Tabelle 2 zeigt, können die aufgelisteten Kennzahlen auf beliebigen räumlichen Ebenen, für jeden Zeitschnitt, differenziert nach dem Gebäudetyp oder differenziert nach Neubau/Abriß bzw. „im Bestand“/„auf der grünen Wiese“ dargestellt werden. Im Folgenden werden nur ausgewählte Ergebnisse an Hand von Beispielen vorgestellt, welche das Anwendungspotenzial des Verfahrens aus Sicht der Planung verdeutlichen.

### 4.1 Gebäudeentwicklung

Die Bautätigkeit über den betrachteten Zeitraum kann über den Gebäudelayer für einen beliebigen Untersuchungsraum ermittelt und visualisiert werden. In diesem Beispiel sind die Gebäude nach ihrem Zeitraum der Errichtung oder des Abrisses eingefärbt. Die zeitliche Auflösung von ca. 5 Jahren ergibt sich aus dem Aktualisierungszyklus des Kartenwerkes.

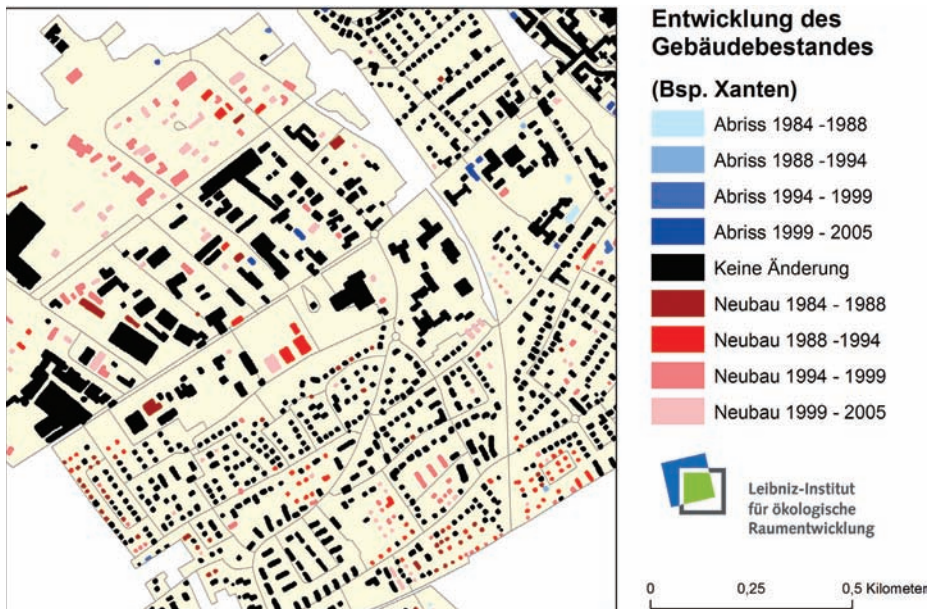


Abb. 3: Gebäudebestandsentwicklung in Xanten (Quelle: Eigene Berechnung, 2009)

## 4.2 Änderung der baulichen Dichten auf Baublockebene

Wichtiger Indikator einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung ist die Siedlungsdichte als ein Effizienzmaß der Siedlungsstruktur. Siedlungsstrukturelle Dichtekennzahlen, wie die Gebäudedichte, der Überbauungsgrad oder die Geschossflächendichte, wurden für jeden Baublock aggregiert und können nach der Berechnung für jeden Zeitstand visualisiert werden. Damit lassen sich räumliche Dichte- bzw. Kern-Rand-Gefälle veranschaulichen (Abb. 4). Mittels Differenzbildung für den gewünschten Zeitraum wird die Änderung der Dichte sichtbar und es kann geprüft werden, ob vorhandene Baulandreserven (geringe Dichten) im Innenbereich bei der Siedlungsentwicklung genutzt oder ob die neu bebauten Siedlungsflächen mit hohen Geschossflächendichten bebaut wurden, was den Grundsätzen einer flächensparenden Siedlungspolitik entspricht.

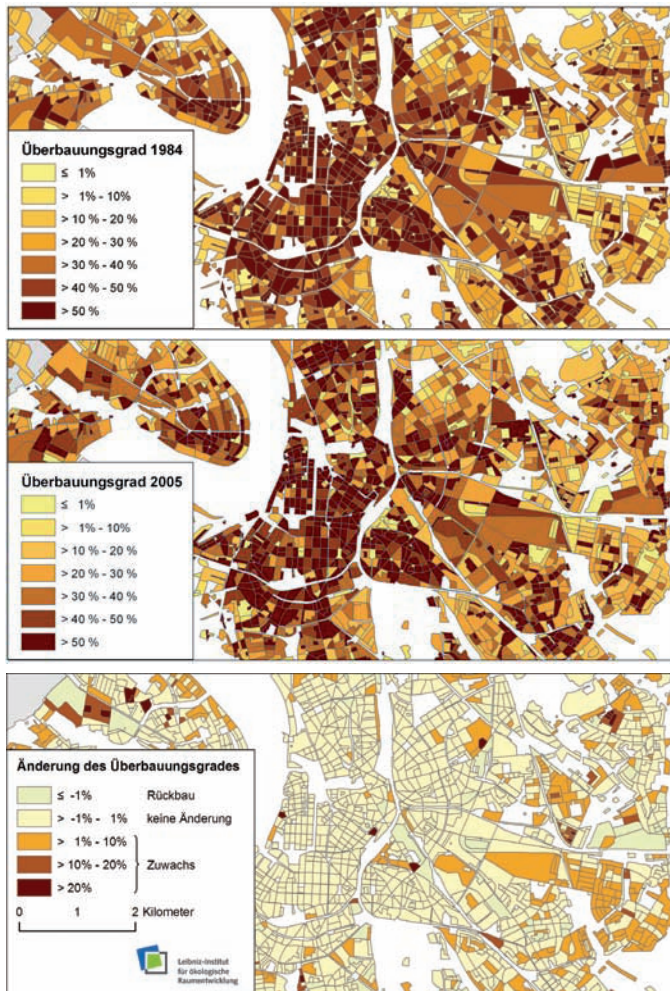


Abb. 4: Bauliche Dichte im Stadtgebiet von Düsseldorf 1984, 2005 und Veränderung (Quelle: Eigene Berechnung)

### 4.3 Siedlungsflächenzuwachs

Die Erkennung neuer Siedlungsflächen ist eines der wichtigsten Ergebnisse von SEMENTA-CHANGE. Die Abbildung 5 zeigt die detektierten Siedlungsflächenenerweiterungen in Form einer Kartenserie. Die Ergebnisse zeigen die konkrete räumliche Verortung der Siedlungsflächenenerweiterungen, welche über die amtliche Statistik nicht ermittelt werden kann. Mit GIS-Analysen kann geprüft werden, inwieweit sich die neue Siedlungsfläche in den bestehenden Siedlungsverbund integriert. Eine Methode zur Analyse der Integrität neuer Siedlungsflächen (über die angrenzende Randlänge) ist in Meinel und Winkler (2002) beschrieben.

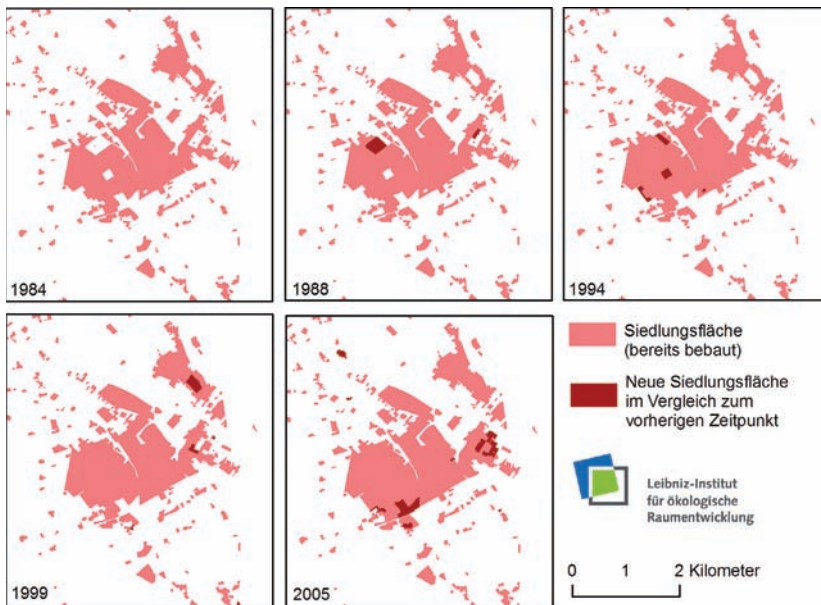


Abb. 5: Visualisierung des Siedlungsflächenzuwachses in Xanten  
(Quelle: Eigene Berechnung, 2009)

### 4.4 Bebauung im Bestand versus Bebauung auf „Grüner Wiese“

Für die Bewertung kommunaler Siedlungsentwicklung ist das Verhältnis der Neubautätigkeit im Innen- zu Außenbereich der Städte und Gemeinden wichtig. Mit dem Verfahren kann diese Relation erstmals abgeschätzt werden. Bei jeder Siedlungsflächenenerweiterung wird zwischen einer „erstmaligen Bebauung“ und der „Auffüllung im Bestand“ unterschieden. Die verorteten, neu errichteten Gebäude können mithilfe dieser Abgrenzung oder einer zusätzlichen Geometrie zur Innenbereichsabgrenzung differenziert werden. Im Ergebnis erhält man das Verhältnis von Bebauung im Bestand vs. der auf „Grüner Wiese“. In Abbildung 6 (links) ist das Ergebnis für den Regierungsbezirk Düsseldorf für den Zeitraum 1984 bis 2005 dargestellt. Es wird deutlich, dass das Verhältnis (im Mittel



1:1,4) weit hinter dem in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie vorgesehenen Verhältnis der Innen- zur Außenentwicklung von 3:1 (Deutsche Bundesregierung 2002) liegt. Mithilfe einer solchen Darstellung können Entwicklungsmuster (z. B. Entwicklungspfade entlang der Autobahnen A1 und A3) sichtbar gemacht und die Anteile der neu errichteten Gebäude auf den neuen Siedlungsflächen nach dem Gebäudetyp differenziert werden (Abb. 6, rechts). Diese Karte eignet sich besonders gut, um die dominanten Gebäudetypen, in diesem Fall hauptsächlich die Ein- und Zweifamilienhausbebauung, der Siedlungsflächenenerweiterung zu identifizieren.

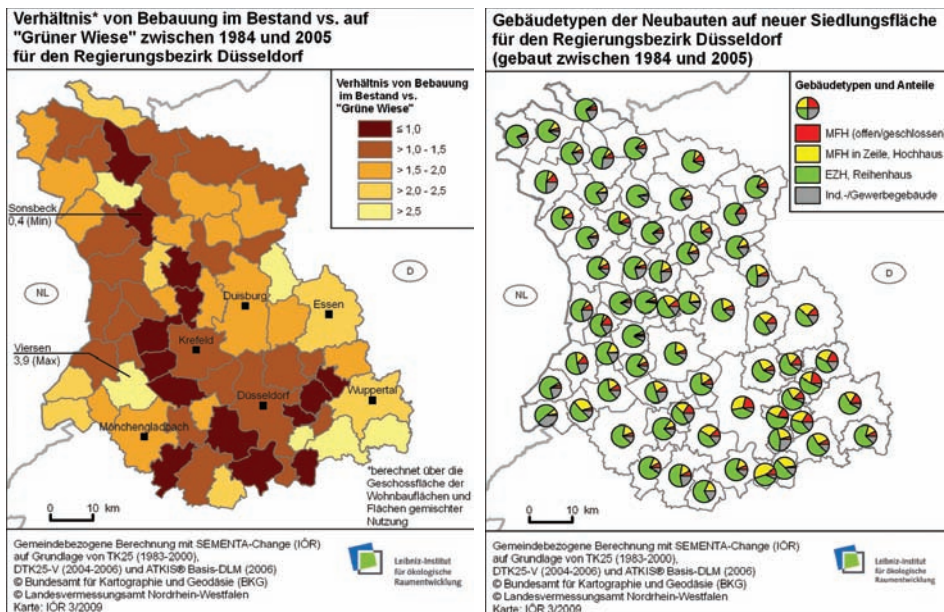


Abb. 6: Verhältnis von Bebauung im Bestand vs. auf „Grüner Wiese“ (links) und Anteile der Gebäudetypen der Neubauten auf neuer Siedlungsfläche (rechts), jeweils im Regierungsbezirk Düsseldorf 1984-2005 (Quelle: Eigene Berechnung)

Im Hinblick auf erweiterte Darstellungsformen ist der Einsatz sogenannter Kartogramme (s. Beitrag Burgdorf in diesem Band) denkbar. Der Anteil neuer Siedlungsflächen könnte damit besser vermittelt werden, in dem die Bezugsflächen (z. B. Gemeinden) proportional zur gesamten Siedlungsfläche skaliert werden. Damit kann vermieden werden, dass Kennzahlen, die sich nicht auf die Bezugsfläche beziehen (siehe Dichten in Tabellen) ohne Hintergrundwissen über den vorliegenden Siedlungsflächenanteil falsch interpretiert werden.

Eine weitere sehr öffentlichkeitswirksame Darstellung sind animierte Karten, mit denen sich dynamische Prozesse, wie die Gebäude oder Siedlungsflächenentwicklung, anschaulich visualisieren lassen. Aufgrund der vergleichsweise geringen Abmessungen von Gebäuden ist man hier allerdings auf die Darstellung kleiner Untersuchungsgebiete beschränkt.



## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden die am IÖR entwickelten Verfahren SEMENTA® und SEMENTA®-CHANGE vorgestellt, mit denen es möglich ist, siedlungsstrukturelle Kennzahlen und deren Entwicklung auf verschiedenen räumlichen Ebenen (Gebäude, Baublock, Gemeinde) zu berechnen. Es wurden Visualisierungsoptionen anhand von Projektergebnissen aufgezeigt in denen die Verfahren Anwendung fanden.

Bisher wurden mittelmaßstäbige topographische Karten im Maßstab 1:25 000 für die Analyse verwendet. Diese Daten erlauben trotz gebäudebasierter Berechnung lediglich überschlägige Ergebnisse für regionale und vergleichende Untersuchungen. Für gebäudescharfe Aussagen sollten stets genauere Gebäudedaten (z. B. ALK-Gebäude) verwendet werden.

Durch die standardisierte Gestaltung von Signaturen, Blattschnitt und Beschriftung ist die automatisierte Registrierung gescannter topographischer Karten möglich. Derzeit werden Methoden zur Erkennung der Kartenblattnummer sowie der Eckkoordinaten untersucht und anhand gescannter topographischer Karten 1:25 000 (ab 1945) getestet.

Die vorgestellten Verfahren liefern eine große Menge von Ergebniskennzahlen. Es könnten vertiefende Untersuchungen mit Methoden des Urban Data Mining (Behnisch 2009) durchgeführt werden, um in den Daten „verborgene“ implizite Information oder typische Siedlungsstrukturmuster und Entwicklungspfade zu erkennen und diese zu klassifizieren.

Die Ergebnisse von SEMENTA® sollen Verwendung im hochauflösenden Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor) finden (Meinel 2009). Nach der Einführung des AAA-Modells und den voraussichtlich 2012 bundesweit verfügbaren ALKIS®-/ATKIS®-Daten wird eine Verbesserung der Analyse- und Auswertemöglichkeiten mit diesen verbesserten Geobasisdaten erwartet, da auch Untersuchungen ausgewählter Geodatenbestände einschließlich einer Bilanzierung und räumlichen Verteilung unterhalb der Gemeindeebene möglich werden. Die Aussagekraft von Indikatoren in Monitoringsystemen wird somit erheblich verbessert (Ostrau 2010).

Bei multitemporalen Analysen wird man derzeit durch den Technologiewechsel von der analogen Kartenherstellung zur digitalen Ableitung topographischer Karten aus dem Liegenschaftskataster mit geometrischen Lageversätzen und unterschiedlichen Repräsentationen der Gebäude konfrontiert. Hierzu müssen weitere geeignete Matching-Algorithmen getestet werden, um die räumliche Verknüpfung herzustellen. Erste Ansätze dazu befinden sich in Herold et al. (2010b). Darüber hinaus wird an einer automatisierten Baublockabgrenzung auf Grundlage der topographischen Karte gearbeitet. Dies wäre für die Siedlungsflächenabgrenzung in älteren Karten von besonderem Interesse.

## 6 Literatur

- AdV (2009): Richtlinie über Entgelte für die Bereitstellung und Nutzung von Geobasisdaten der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV-Entgeltrichtlinie) vom 09.09.2009 (Version 2.0).
- Behnisch, M. (2009): Urban Data Mining – Operationalisierung der Strukturerkennung und Strukturbildung von Ähnlichkeitsmustern über die gebaute Umwelt. Universitätsverlag, Karlsruhe.
- Blum, A.; Gruhler, K. (2010): Typologien der gebauten Umwelt – Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz, Aachen, Shaker.
- Deutsche Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin, 50 S.
- Dodt, J.; Lechtenböcker, C. (2004): Farbkomposition – Ein Hilfsmittel zur multitemporalen Kartenauswertung. *Kartographische Nachrichten* 5/2004, S. 2 113-2 118.
- Frischknecht, S. und Kanani, E. (1998): Automatic Interpretation of Scanned Topographic Maps: A Raster-Based Approach. *Lecture Notes in Computer Science* 1389/1998. Heidelberg: Springer Berlin.
- Grün, A. (2008): Building extraction from aerial imagery. In: Qihao Weng (editor): *Remote Sensing of Impervious Surfaces*, Taylor & Francis Series in Remote Sensing Applications, pp. 269-295.
- Hecht, R.; Herold, H.; Meinel, G. (2008): Gebäudescharfe Analyse der Siedlungsentwicklung auf Grundlage mittelmaßstäbiger Karten. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2008. Beiträge zum 20. AGIT-Symposium* Salzburg. Heidelberg, Wichmann, S. 11-17.
- Hecht, R. (2010): Classification of Building Footprints. In: Wallgrün, J. O.; Lautenschütz, A.-K. (Eds.): *Proceedings of the GIScience 2010 Doctoral Colloquium*. Heidelberg, AKA Verlag.
- Henger, R.; Schröter-Schlaack, C. (2008): Designoptionen für den Handel mit Flächenausweisungsrechten in Deutschland, *Land Use Economics and Planning – Discussion Paper*, 08-02, Georg-August-Universität Göttingen.
- Herold, H., Hecht, R.; Meinel, G. (2010a): Hochauflösende Modellierung urbaner Veränderungsprozesse auf Basis multitemporaler topographischer Kartenserien. In: *Proceedings des 18. Deutschsprachigen Kolloquiums für Theorie und quantitative Methoden in der Geographie 2010*, IÖR-Schriften, Dresden (im Erscheinen).
- Herold, H.; Meinel, G.; Csaplovics, E. (2010b): An Approach to Spatio-Temporal Information Retrieval from Map Series for Monitoring Urban Dynamics. In: Wallgrün, J. O.; Lautenschütz, A.-K. (Eds.): *Proceedings of the GIScience 2010 Doctoral Colloquium*. Heidelberg, AKA Verlag.
- Koç San, D.; Turker, M. (2007): Automatic building extraction from high resolution stereo satellite images. In: *Proceedings of Conference on Information Extraction from SAR and Optical Data with Emphasize on Developing Countries*, Istanbul, Turkey, May 2007.

- Kohler, N.; Bradley, P. E. (2007): Methodology for the survival analysis of urban building stocks. *Building Research and Information* 35, no. 5, pp. 529-542.
- Lari, Z.; Ebadi, H. (2007): Automated Building Extraction from High-Resolution Satellite Imagery Using Spectral and Structural Information Based on Artificial Neural Networks. In: *Proceeding of ISPRS conference on Information Extracting from SAR and Optical Data with Emphasis on Developing Countries*, Istanbul, Turkey, May 2007.
- Lee, D. S.; Shan, J.; Bethel, J. S. (2003): Class-Guided Building Extraction from Ikonos Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69(2), S. 143-150.
- Lefevre, S.; Weber, J.; Sheeren, D. (2007): Automatic Building Extraction in VHR Images Using Advanced Morphological Operators. In: *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (URBAN)*, Paris, France, 2007, S. 1-5.
- Maderlechner, G.; Mayer, H. (1994): Automated acquisition of geographic information from scanned maps for GIS using frames and semantic networks. In: *Proceedings of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition*, S. 361-363.
- Meinel, G.; Winkler, M. (2002): Spatial analysis of settlement and open land trends in urban areas on basis of RS data studies of five European cities over a 50-year period. *Proceedings of the 22nd Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories*: S. 539-546.
- Meinel, G.; Neumann, K. (2003): Siedlungsflächenentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790 – GIS-Methodik und Analyseergebnisse. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, no. 5, S. 409-422.
- Meinel, G.; Hecht, R.; Herold, H.; Schiller, G. (2008a): Automatische Ableitung von stadtstrukturellen Grundlagendaten und Integration in einem Geographischen Informationssystem, *Forschungen Heft 134*, Herausgeber BBR, Bonn, ISSN 1435-4659 (Schriftenreihe), ISBN 978-3-87994-466-8, 98 Seiten.
- Meinel, G.; Knop M.; Hecht, R. (2008b): Qualitätsaspekte und Verfügbarkeit digitaler Geobasisdaten in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung des ATKIS® Basis-DLM und der DTK25(-V). In: *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, Heft 1/2008, S. 29-40.
- Meinel, G. (2009): Konzept eines Monitors der Siedlungs- und Freiraumentwicklung auf Grundlage von Geobasisdaten. In *Flächennutzungsmonitoring. Konzepte – Indikatoren – Statistik*, Aachen, Shaker, S. 177-194.
- Meinel, G.; Hecht, R.; Herold, H. (2009): Analysing Building Stock using Topographic Maps and GIS, *Building Research & Information*, Volume 37 Issue 5, S. 468-482.
- Neidhart, H.; Sester M. (2004): Identifying Building Types and Building Clusters Using 3D-Laser Scanning and GIS-Data. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Bd. 35. Istanbul. [www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm4/papers/442.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm4/papers/442.pdf).
- Ostrau, S. (2010): Konzept zur Harmonisierung und Präsentation von Nutzungsdaten auf Grundlage des 3A-Modells. Bonn, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität. <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2010/2169/2169.pdf>.

- Rutzinger, M.; Rűf, B.; Hűfle, B.; Vetter, M. (2010): Change detection of building footprints from airborne laser scanning acquired in short time intervals. In: Wagner W., Székely, B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5-7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B.
- Shan, J.; Lee, D. S. (2005): Quality of Building Extraction from IKONOS Imagery. *Journal of Surveying Engineering*, American Society of Civil Engineers, February, Vol. 31, No. 1, pp. 27-32.
- Vosselman, G.; Maas, H.-G. (2010): *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. 1. Aufl. CRC Press, März 5.