

Gebäudebasierte, vollautomatische Erhebung und Analyse der Siedlungsstruktur – Grundlage für Monitoring und Bewertung der Siedlungsentwicklung

Gotthard MEINEL, Hendrik HEROLD, Robert HECHT

Dr. G. Meinel, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, 01217 Dresden, g.meinel@ioer.de
Dipl.-Geogr. H. Herold, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, 01217 Dresden, h.herold@ioer.de
Dipl.-Ing. R. Hecht, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, 01217 Dresden, r.hecht@ioer.de

1 PROBLEM

Viele überörtliche Raum- und Fachplanungen benötigen sehr kleinteilige Informationen zu Bestands-, Nutzungs-, Belegungs- und Ausstattungskennzahlen von Siedlungsflächen. Diese Informationen werden insbesondere für die Planung der Daseinsvorsorge unter Schrumpfungsbedingungen im Kontext notwendiger ressourcenschonender Siedlungsstrukturen immer wichtiger. Kleinteilige, flächendeckend und bis auf Gebäude herabreichende Daten sind in Deutschland nur in Form der Automatisierten Liegenschaftskarte ALK verfügbar (wird derzeit durch Integration des Automatisierten Liegenschaftsbuches ALB in ALKIS und später zusammen mit dem Amtlichen Festpunktinformationssystem AFIS in das AAA-Modell überführt, GeoInfoDok 2006). Die ALK wird auf Grund ihres großen Maßstabes (1 : 1 000), der aus rechtlichen Gründen eingeschränkten allgemeinen Datennutzbarkeit und der sehr hohen Datenkosten derzeit nicht in der mittelmaßstäbigen Planung verwendet.

Die Planung der Daseinsvorsorge benötigt neben der Siedlungsstruktur auch demographische, sozioökonomische, Wirtschafts- und Umweltdaten der Statistik. In Deutschland ist die kleinste flächendeckend erhobene statistische Gebietseinheit die Gemeinde. Kleinteiligere intrakommunale Daten sind nur für ca. 100 große Städte in Deutschland verfügbar (WWW.KOSTAT.DE). Hier ist die kleinste Einheit der statistische Block, der im Mittel immer noch 176 ha mit ca. 3 000 Einwohnern umfasst. Auch diese Raumgliederung ist für viele Fragen der Siedlungsstruktur und ihrer Entwicklung ungenügend räumlich auflösend. Über eine Regionalstatistik, z. B. auf Basis geographischer Rastereinheiten, wie sie in Dänemark, Finnland, der Schweiz und Österreich schon seit einiger Zeit verfügbar ist, wird in Deutschland zwar nachgedacht (SZIBALSKI 2006, ESCHWEGE 2006), sie wird aber erst nach der geplanten Volkszählung 2010/11 nicht vor 2013 verfügbar sein.

Welche räumliche Präzisierung der siedlungsstrukturellen Kennzahlen – angefangen von der Betrachtung der administrativen Gebietseinheiten (meist Gemeinde) hin zur Untersuchung einzelner Gebäudeflächen mit ihren unterschiedlichen gebäudetypabhängigen Einwohnerdichten – erreicht werden kann, wird durch folgende Zahlen deutlich: Die Bevölkerungsdichte in Deutschland beträgt 231 Einwohner/km², wobei die Stadt München mit 4 017 Einwohnern/km² die höchste und die Gemeinde Wiedenborstel mit 1 Einwohner/km² die niedrigste Siedlungsdichte aufweist (Stand 2006). Die Stadt Dresden hat eine Bevölkerungsdichte von 1 537 Einwohner/km². Auf Ebene der statistischen Bezirke Dresdens werden Dichten von 0 bis zu 45 705 Einwohnern/km² (Gorbitz-Süd) und auf Baublockebene sogar bis zu 92 985 Einwohner/km² erreicht (Stand 2006). Innerhalb der Wohngebäudefläche wiederum ist die Wohndichte extrem unterschiedlich. So variiert die Gebäudefläche pro Einwohner je nach Gebäudetyp zwischen 36 m² für Einfamilienhäuser bis hin zu 1,3 m² für vollbelegte 15-geschossige Hochhäuser. Diese enorme Spreizung der Dichtewerte spricht für eine möglichst kleinteilige Betrachtung der Siedlungsstruktur auf Gebäudeebene.

Kleinteilige Informationen zur Siedlungsstruktur können prinzipiell aus Fernerkundungs- oder kartographischen Datengrundlagen gewonnen werden. Dabei ist die Bestimmung der Bebauungsdichte allein aus Fernerkundungsdaten ein etabliertes Verfahren. So werden z. B. in dem auf Grundlage von Satellitendaten abgeleiteten Datensatz LaND25 (WWW.INFO-TERRA-GLOBAL.COM) städtische Bebauungsdichten in drei Klassen in einer Rasterauflösung von 25 m differenziert. In einem weiteren Schritt können Statistikdaten, wie z. B. Einwohnerzahlen, mit den abgeleiteten Bebauungsdichten verknüpft und kleinräumige Wohnverteilungen berechnet werden (z. B. STEINNOCHER et al. 2005). Diese Herangehensweise wird als räumliche Disaggregation bezeichnet.

Der hier beschriebene Ansatz geht aber nicht von Fernerkundungsdaten, sondern von digitalen topographischen Rasterkarten aus, welche auch Gebäude in flächenhafter Darstellung beinhalten. Auf Basis einer automatischen Gebäudeerkennung, -vermessung und -klassifikation wird eine Fülle siedlungsstruktureller Kennzahlen mit Planungsrelevanz auf Baublockebene abgeleitet. Einige statistische Kennzahlen, wie die auf Gemeinde oder statistischen Block bezogene Einwohner- und Wohnungszahl,

lassen sich damit auf Basis der siedlungsstrukturellen Kennzahlen bis auf Baublockebene räumlich disaggregieren.

2 DATENGRUNDLAGEN FÜR DIE SIEDLUNGSSTRUKTURELLE INFORMATIONSGEWINNUNG

Die Datengrundlagen eines Verfahrens zur Generierung kleinteiliger Siedlungskennzahlen müssen einer Reihe von Anforderungen genügen. Da die Gebäude mit ihrer flächenhaften Ausdehnung und speziellen Nutzung Träger der Elementarinformationen der Siedlungsstruktur sind, müssen die Daten alle wesentlichen Einzelbaukörper abbilden, wobei kleinere Generalisierungen, wie Gebäudeformvereinfachungen oder Gebäudevereinigungen, hinnehmbar sind. Weiterhin sollten die grundlegenden Daten in ihrer Fortschreibung gesichert sein - am wirkungsvollsten in Form eines gesetzlichen Fortführungsauftrags. Auch müssen die Daten deutschlandweit möglichst in homogenisierter Form (Vergleichbarkeit) verfügbar sein und zentral vorgehalten werden (Beschaffungsaufwand). Letztlich sollten die Grundlagendaten auch digital und zu entsprechend geringem Preis angeboten werden.

Insbesondere durch die Datenfortschreibungsgarantie, die auch aktuelle Daten in der Zukunft gewährt, schränkt sich die Datenauswahl auf die Geobasisdaten der staatlichen Vermessungsämter ein. So wurden die in Deutschland durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) angebotenen digitalen Geobasisdaten hinsichtlich der formulierten Anforderungen geprüft. An dieser Stelle sei gleich vermerkt, dass die alleinige Verwendung des ATKIS Basis-DLM nicht ausreicht. Zwar ist im Objektartenkatalog die Objektart „Gebäude“ (2135) definiert, allerdings ist die Erfassung erst in der Realisierungsstufe 3 geplant. Auch muss die Gebäudeerfassung nicht zwingend flächenhaft, sondern kann auch punktförmig erfolgen. So liegen Gebäudeerfassungen im ATKIS Basis DLM (Stand 12/2006) derzeit nur für die Länder Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern vollständig und flächenhaft, in Rheinland-Phalz und Schleswig-Holstein nur punktuell sowie für die anderen Bundesländer überhaupt nicht vor. Eine telefonische Umfrage bei den zuständigen Landesvermessungsämtern ergab, dass sich diese Situation nicht schnell ändern wird. Die Gebäudeintegration stößt auf technische Probleme (Lagegenauigkeit) und wird auch aus strategischen Gründen nicht forciert, tangiert diese Entwicklung doch in starkem Maße auch den Vertrieb anderer Geodatenprodukte (z. B. Digitale Stadtkarten, ALK).

2.1 Gebäudedaten aus der DTK25-V

Für die Extraktion der Einzelgebäude wird z. Z. auf die Digitale Topographische Karte 1 : 25 000 (DTK25-V) zurückgegriffen, die Grundlage für den Druck der TK25 ist. Während die DTK200, DTK100 und DTK50 die Gebäude zu stark generalisieren, werden in der DTK25 und der DTK10 die Gebäude vollständig wiedergegeben. Auch wenn die Gebäudedarstellung in der DTK10 noch genauer und vollständiger erfolgt, wurde für die Verfahrensentwicklung die DTK25 ausgewählt. Die Gebäude sind hier bei wesentlich kleinerem Datenumfang (1/4 der DTK10) und einfacherer Darstellung für eine automatische Gebäudeextraktion (Vollton der Gebäudegrundfläche statt Gebäudeumriß) leichter und schneller zu extrahieren. Auch werden die DTK25-Daten am BKG homogenisiert und zentral durch das BKG vertrieben, was bei der DTK10 nicht der Fall ist.

Der Gebäudebestand wird in der DTK25-V bis auf sehr wenige Ausnahmen vollständig dargestellt. Teilweise generalisierte Gebäude (Mindestgröße, Vereinfachungen von Gebäudegrundrissen, Einbeziehung von Neben- in Hauptgebäude bei geringem Abstand) und geringfügige Lageverschiebung (Verdrängung durch verbreiterte Kennzeichnung des Straßennetzes) sind keine Einschränkung der Dateneignung. Derzeit sind 65 % der ca. 3 000 DTK25-V-Blätter in Deutschland jünger als 5 Jahre. Durch den abgeschlossenen Technologiewechsel in der Kartenerstellung ist aber in Zukunft eine höhere Aktualität der Karten zu erwarten.

Derzeit muss meistens noch auf die vorläufige Version DTK25-V der Topographischen Karte zurückgegriffen werden, da die Version DTK25, die vollständig aus dem vektorbasierten ATKIS Basis-DLM abgeleitet wird, erst ca. 2011 flächendeckend für die Bundesrepublik zur Verfügung stehen wird. Die DTK25-V wird durch Scannen der Einzellayer (gegliedert nach Kartenfarben) der analogen Originale mit 200 Linien/cm (508 dpi) in ein digitales Rasterformat gebracht.

Der schwarze Grundriss-Layer (auch Siedlungslayer genannt) der DTK25-V enthält neben der Gebäudedarstellung die Kartenschrift und andere punkt-, linien- und flächenhafte Signaturen, wie z. B.

Grenzen, Straßen, Vegetationssignaturen oder Stromleitungen. Diese Elemente sind in einem binären Rasterlayer untrennbar verschmolzen. Hier besteht die Herausforderung in der sicheren Selektion der Gebäude.

2.2 Baublockabgrenzung und -nutzung aus dem ATKIS Basis-DLM

Neben der Gebäudedarstellung ist auch eine räumliche Abgrenzung der Baublöcke notwendig. So können die auf Gebäudebasis berechneten Kennwerte auf die nächste höhere räumliche Ebene aggregiert werden. Als Baublock wird gemeinhin eine durch ein Straßengeviert abgetrennter Siedlungsteil bezeichnet. Dieses geht konform mit der Digitalisierungsvorschrift für die Objektgruppe „baulich geprägte Fläche“ (2100) von ATKIS. Neben den Baublockgrenzen weist ATKIS auch die Hauptnutzung im Block aus. Das Basis-DLM unterscheidet in der Objektgruppe „Baulich geprägte Fläche“ (2100) die Nutzungsarten „Wohnbaufläche“ (2111), „Industrie- und Gewerbefläche“ (2112), „Fläche gemischter Nutzung“ (2113) sowie „Fläche besonderer funktionaler Prägung“ (2114).

3 GEBÄUDESELEKTION AUS DER DTK25-V

Kern des Verfahrens ist die Gebäudeextraktion aus der rasterbasierten digitalen Topographischen Karte 1 : 25 000. In dem Layer Siedlung sind die Gebäude, zusammen mit Verkehrs- und Grenzlinien, Vegetations- und weiteren Signaturen, in einem Binärlayer gespeichert. Die Gebäude werden nun durch digitale Bildverarbeitung in einem mehrstufigen Prozess vollautomatisch selektiert. Es erfolgt anschließend eine Abtrennung der Verkehrs- und Grenzlinien durch morphologische Operationen (Opening). Die nachfolgende Schriftentfernung kann nicht durch Schrifterkennungssoftware (OCR) erfolgen, da Schriftart, -schnitt und -größe der einzelnen Kartenzeichen zu unterschiedlich sind und die kurzen Ortsnamen und Abkürzungen keine geschlossenen Texte darstellen. Darum wurde eine spezielle Objekterkennung für Schriften und Signaturen entwickelt, die mit Bildpyramiden (gestaffelte Bildauflösung) arbeitet.

Die Schriftzeichenentfernung basiert auf einer automatischen Parameteranalyse aller Objekte des segmentierten Binärbildes bezüglich ihrer morphologischen Eigenschaften, wie z. B. ihrer Kompaktheit, Konvexität, Anisometrie und Orientierung. Für die Analyse der Signaturobjekte werden spezielle Strukturelementparameter verwendet, da viele Signaturen im Ergebnislayer nur noch fragmentarisch enthalten sind und keine Unterscheidung mehr ermöglichen. Abschließend werden noch vorhandene Signaturen, wie Kirchen, Türme, Bergwerke, Umspannwerke usw., extrahiert und vom Originalbild subtrahiert. Problematisch bei der Festlegung der Bildverarbeitungsparameter sind unter anderem die unterschiedliche Qualität und Eigenheiten der DTK25-V der einzelnen Bundesländer. Die wenigen Gebäude, die durch kartographisch bedingte Schriftfreistellung in der DTK nicht oder nur teilkartiert sind, können zwangsläufig nicht rekonstruiert werden. Da die angewandten fortgeschrittenen Bildverarbeitungsoperationen nicht in GIS- (z. B. ArcGIS) bzw. fernerkundlicher Bildverarbeitungssoftware (z. B. Erdas-Imagine) implementiert sind, wurde auf die Bildanalysesoftware HALCON (WWW.MVTEC.COM) zurückgegriffen.

4 GEBÄUDEKLASSIFIKATION

Die Gebäude liegen nach der Extraktion als unklassifizierte Polygone vor. Ziel ist es nun im zweiten Verarbeitungsschritt, den gesamten Gebäudebestand definierten Gebäudetypen zuzuordnen. Tabelle 1 zeigt die gewählte hierarchisch aufgebaute zweistufige Gebäudetypologie. Auf Hauptebene (Level 1) werden drei Klassen von Wohngebäuden und eine Klasse von Nichtwohngebäuden entsprechend ihrer baustrukturellen Merkmale grob unterschieden: Blockstrukturen und offene Strukturen im Mehrfamilienhausbestand, kleinteiligere Strukturen im Ein- und Zweifamilienhausbestand sowie unregelmäßige Strukturen der Nichtwohnnutzung. Auf Level 2 wird weiter differenziert unter Beachtung der Baukörpergröße der einzelnen Gebäudekomplexe.

Als Grundlage einer anschließenden automatischen regelbasierten Klassifikation wird der gesamte Gebäudebestand in der Form, Lage und Orientierung (z. B. Gebäudefläche, -umfang, Kompaktheit, Abstand

Level 1	Level 2 (Kurzbezeichnung)
MFH in (geschlossener) Blockstruktur	Mehrfamilienhaus traditionell in geschlossener Bauweise (MFH-G)
MFH in offener	Mehrfamilienhaus (traditionell o. neu) freistehend (MFH-F)
	Mehrfamilienhaus traditionell in Zeile (MFH-TZ)

Blockstruktur	Mehrfamilienhaus industriell in Zeile (MFH-IZ) Hochhaus >50m (MFH-HH)
Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäuser	Ein- und Zweifamilienhaus (EZFH) Reihenhaus (RH) Dörflich Traditionelles Haus (DH)
Nichtwohnnutzung	Industrie/Gewerbe (IG) Besondere funktionale Prägung (BFP) wie Verwaltung, Gesundheit/Soziales, Bildung/Forschung, Kultur usw.

Tabelle 1: Gewählte Gebäudetypologie

zum Nachbargebäude, Abstand zur Blockgrenze, etc.) vermessen und in Form von Attributwerten mit den Gebäudegeometrien verknüpft.

Für die automatische Klassifikation wurde ein regelbasiertes Entscheidungsnetzwerk aufgebaut. Es zeigte die höchste Effizienz in der Datenverarbeitung bei höchster Flexibilität in der Modifikation der Regelbasis gegenüber anderen geprüften Klassifikationsstrategien (multinomiale logistische Regression, Kompromissoptimierung mit Fuzzy Methoden). Ein weiterer Vorteil der regelbasierten Klassifikation ist, dass mit wenigen Regeln in kurzer Zeit ein akzeptables Ergebnis geliefert werden kann. Die Elemente eines regelbasierten Systems sind die aus einem Bedingungsteil (Prämisse) und einem Aktionsteil (Konklusion) bestehenden Regeln. Die Gebäude mit ihren charakteristischen Parameterwerten werden mittels Wenn-Dann-Regeln in Verbindung mit statistisch erhobenen Schwellwerten klassifiziert. Ein Beispiel für eine einfache Regel zur Klassifikation von Einfamilienhäusern, wäre z. B. die Selektion aller Gebäude, welche eine Grundfläche von 200 m² unterschreiten.

Der Prozess der Gebäudeklassifikation wurde in zwei Phasen realisiert. In der ersten Phase erfolgt eine Klassifikation der Einzelgebäude nach ihrer Form (z. B. kleines, zeilenförmiges, sehr breites oder komplexes Gebäude). Auf dieser Ebene werden keine nachbarschafts- oder blockbezogenen Kennwerte verwendet, sondern allein auf Basis der gebäudebezogenen Parameterwerte auf die grundsätzliche Gebäudeform geschlossen. Diese lässt allerdings noch keine eindeutige Zuordnung der Gebäude in die definierte Zielklasse (Tab. 1) zu. Erst in der zweiten Klassifikationsphase können durch die Verwendung von Nachbarschaftsbeziehungen, blockbezogener Kennwerte, die ATKIS-Objektart und den berechneten Flächenanteilen einzelner Klassen aus Phase 1 Rückschlüsse auf den Gebäudetyp gemacht werden. Im Entscheidungsnetzwerk werden insgesamt 61 Indikatoren verwendet, welche sich aus 17 gebäude- und 46 blockbezogenen Indikatoren zusammensetzen. Die Optimierung der vorab statistisch ermittelten Schwellwerte für die Regelbasis erfolgte durch einen Abgleich mit Hilfe von Ortholufbildern und einem Referenzdatensatz.



Abbildung 1: a) Grundrisslayer der DTK25-V, b) Ergebnis der Gebäudeselektion, c) Ergebnis der Gebäudeklassifikation am Beispiel Dresden-Grüna (Legende: s. Abb. 5)

Abbildung 1 zeigt an einem Ausschnitt die Ergebnisse der Gebäudeselektion und -klassifikation für ein Dresdner Untersuchungsgebiet. Die Gebäude der Nichtwohnnutzung (Industrie/Gewerbe sowie Gebäude besonderer funktionaler Prägung) ergeben sich aus der Objektart 2112 sowie 2114, während die Wohngebäude innerhalb der ATKIS-Objektarten 2111 und 2113 in 7 Gebäudetypen klassifiziert werden.

5 BERECHNUNG VON SIEDLUNGSKENNWERTEN

5.1 Abgeleitete Siedlungskennwerte

Der typisierte Gebäudebestand bildet die Grundlage für die Ableitung siedlungsstruktureller Grundlagendaten. Folgende blockbezogene planungsrelevante Kennwerte werden vollautomatisch berechnet:

5.1.1 Baublocktyp

Der Baublocktyp (7 Wohnnutzungs- und 2 Nichtwohnnutzungstypen) wird über die Gebäudezusammensetzung im Block bestimmt. Die Entscheidung für einen Strukturtyp wird über ein Regelwerk mittels berechneter Flächendominanzen der Gebäudetypen getroffen, da es auch bei manuellen Luftbildinterpretationen Entscheidungskriterium ist. Abbildung 2 zeigt das Prinzip der automatisierten Baublocktypisierung.

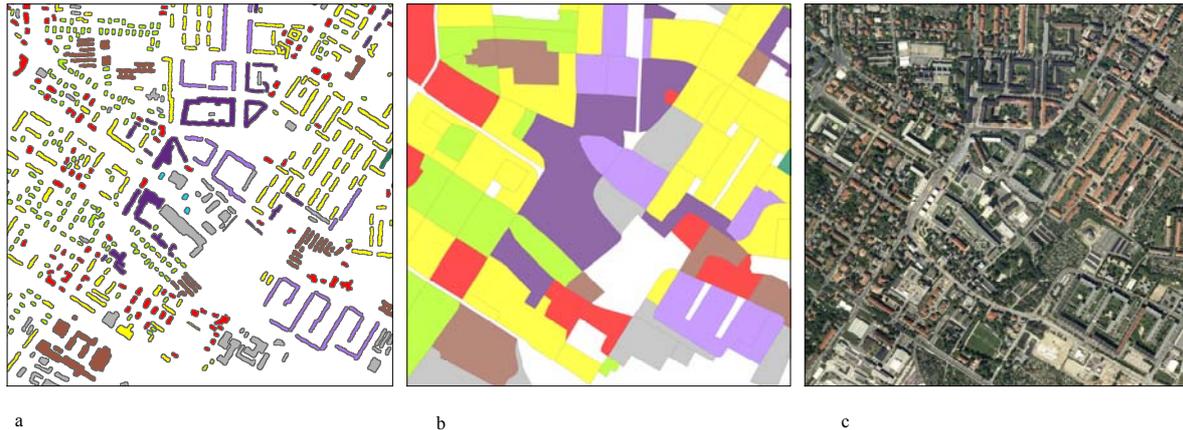


Abbildung 2: a) Klassifizierte Gebäude, b) Klassifizierte Baublöcke, c) Orthophoto

Beispiel Dresden-Gruna (Legende: s. Abb. 5)

Die für jeden Block berechneten Flächen- und Fallzahlanteile der im Block befindlichen Gebäudetypen liefern noch differenziertere Aussagen über die Gebäudezusammensetzung, so dass Planungsprozesse durch den Einsatz dieser hochaufgelösten Strukturdaten noch bessere Grundlagen haben. Für die Untersuchungsstädte Dresden und Bonn konnte eine Klassifikationsgüte der Baublöcke von 76 % erreicht werden. Während die geschlossene Bebauung (94 %), die EZFH-Bebauung (91 %) sowie die Hochhausbebauung (80 %) eine sehr hohe Klassifikationsgüte aufweisen, kommt es gerade bei physiognomisch ähnlichen Strukturen zur Überlagerung der Klassen Reihen- und Zeilenbebauung, sodass bei diesen Typen nur eine geringe Klassifikationsgüte erreicht wird. Hierzu sind noch weitere Untersuchungen erforderlich, um die Ergebnisse zu verbessern.

5.1.2 Anzahl der Gebäude/Gebäudedichte

Die Anzahl der Gebäude im Block kann durch berechnete Flächenschwerpunkte eindeutig bestimmt werden. Die Gebäudedichte (Gebäudeanzahl pro ha Blockfläche) liefert quantitative Aussagen zur Gebäudedichte. Allerdings werden „zusammenhängende“ Gebäude wie Reihenhäuser, Zeilenbauten, geschlossene Bebauung nur durch einen Schwerpunkt repräsentiert. Durch Berücksichtigung der individuellen Gesamtgebäuelänge in Verknüpfung mit gebäudetypischen Einzelgebäuelängen könnte auch für diese Gebäudetypen auf die Einzelgebäudezahl geschlossen werden.

5.1.3 Gebäudegrundfläche/Gebäudegrundflächendichte

Die Gebäudegrundfläche (m^2) ist durch die Summe aller Gebäudegrundflächen im Block bestimmt. Im Bezug zur Blockfläche, die den Anteil der Gebäudegrundfläche an der Blockfläche beschreibt, spricht man von der Gebäudegrundflächendichte (m^2/m^2), welche vergleichbar mit der Grundflächenzahl (GRZ) ist (dort aber der Bezug zur Flurstücksgröße). Dieser Parameter hat sich in der Stadt- und Umweltplanung als ein wichtiger Schlüsselindikator etabliert. Durch Anwendung pauschaler blocktypenspezifischer Zuschläge für versiegelte Flächen wie Verkehrs- und Hofflächen kann in erster Näherung eine Abschätzung des Versiegelungsgrades erfolgen.

5.1.4 Mittlere Geschosszahl

Die mittlere Geschossanzahl gibt den gewichteten Mittelwert der Anzahl der Geschosse aller Gebäude im Block unter Berücksichtigung der Gebäudetypflächenanteile an. Es wird dabei eine gebäudebezogene Geschossanzahl implizit über den Gebäudetyp angenommen. Die gebäudetypischen Geschosshöhen und –höhen wurden durch statistische Auswertungen gewonnen. Durch Ersatz der derzeit verwendeten bundesweiten Referenzwerte durch regional erhobene Kennzahlen können die Ergebnisse weiter verbessert werden.

5.1.5 Geschossfläche/Geschossflächendichte

Die blockbezogene (Brutto-)Geschossfläche ist die Summe aller Gebäudegrundflächen multipliziert mit der mittleren Geschosszahl in m^2 . Zur Berechnung der Geschossfläche wird eine gebäudebezogene Geschossanzahl implizit über den Gebäudetyp angenommen. So ist für ein Ein- bzw. Zweifamilienhaus die durchschnittliche Geschosszahl ca. 1,2, während das Mehrfamilienhaus eine mittlere Geschossigkeit von 3,5 besitzt. Die Geschossflächendichte (m^2/m^2) beschreibt den Anteil der Geschossfläche an der Blockfläche und ist vergleichbar mit der Geschossflächenzahl GFZ. Abbildung 3 zeigt ein Ergebnis der abgeleiteten blockbezogenen Geschossflächendichte für Dresden-Gorbitz. Des Weiteren kann auf Grundlage der Geschossflächendichte in Verbindung mit einer errechneten Wohnungszahl (s. 5.1.7) eine Abschätzung der Wohnungsgröße erfolgen.

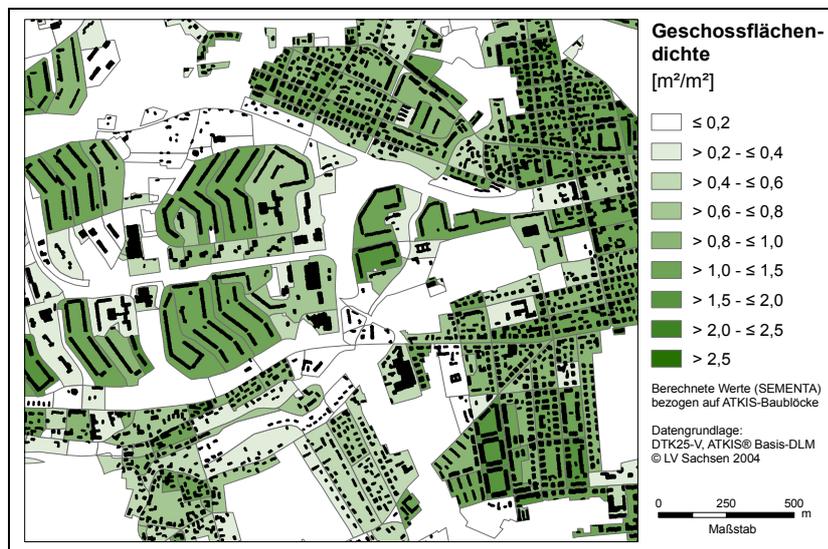


Abbildung 3: Karte der Geschossflächendichte für Dresden-Gorbitz

5.1.6 Gebäudevolumen/Gebäudevolumendichte

Das Gebäudevolumen (m^3) wird durch die Summe aller Einzelgebäudevolumen im Block bestimmt. Das Gebäudevolumen wird aus der Gebäudegrundfläche und regional differenzierten gebäudetypabhängigen Geschosshöhen und -höhen errechnet. Gerade für Stoffstrommodellierungen können Gebäudevolumen von Interesse sein. Die Gebäudevolumendichte (m^3/m^2) beschreibt das Verhältnis vom Gebäudevolumen zur Blockfläche und ist ein Indikator zu Quantifizierung von Bebauungsdichten.

5.1.7 Wohnungszahl/Wohnungsdichte

Für das Untersuchungsgebiet Dresden und Bonn lagen durch visuelle Interpretation typisierte Gebäude (insgesamt 13 120 bzw. 25 176) sowie blockbezogene Einwohner- und Wohnungsdaten aus der Intrakommunalstatistik vor. Für die Ermittlung typischer Dichtereferenzwerte wurden nun die Baublöcke ausgewählt, die einen weitestgehend homogenen Gebäudetypbestand haben. Dabei wird ein Bezug zwischen der Wohnungszahl zu der Gebäudegrundflächensumme im Block für jeden Gebäudetyp hergestellt, so dass man aus mehreren Messungen sichere gebäudetypenabhängige Dichtekennwerte erhält. Der so errechnete gebäudespezifische Referenzwert Wohnungsgleichendichte WGD (Wohnungen/ m^2), wird im Berechnungsprozess mit den typisierten Gebäuden verknüpft. Aus dem Gebäudetyp und der -fläche kann durch diese Verknüpfung die Wohnungszahl aller Gebäude geschätzt werden. Nach Summierung aller

Wohnungen im Block erhält man die blockbezogene Wohnungszahl bzw. Wohnungsdichte (1/ha). Diese Schätzwerte werden anschließend bis auf die nächstbekannte Gebietseinheit mit verfügbaren statistischen Kennziffern (in der Regel die Gemeinde oder wenn verfügbar auch Teile davon) aggregiert, mit den statistischen Wohnungsdaten verglichen und korrigiert wieder auf die Gebäude bzw. Blöcke verteilt. Die Abweichung der Erstschtzung (ohne Abgleich) im Vergleich zur Referenz betrug für das Untersuchungsgebiet Dresden für die Wohnungen +1,1 %.

5.1.8 Einwohnerzahl/Einwohnerdichte

Ähnlich der Wohnungsschätzung, können ausgehend von einer ermittelten Einwohnergrundflächendichte EGD (Einwohner/m²) die gebäude- und anschließend die blockbezogene Einwohnerzahl geschätzt und über die nächstbekannte statistische Einheit korrigiert werden. Lokale Wohnungsleerstände sind allerdings nur sehr schwer oder mit hochgenauen regionalisierten Parameteranpassungen modellierbar.



Abbildung 4: Einwohnerdichte der Stadt Bonn: a) Vorhersage (mit Abgleich): 157 499 EW b) Referenz: 157 581 EW

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Einwohnerdichte für Bonn. Die Abweichung der Erstschtzung (ohne Abgleich) im Vergleich zur Referenz betrug für die Einwohner +10,4 %.

5.2 Implementierung

Die beschriebenen Vorverarbeitungs-, Bildverarbeitungs- (Gebäudeextraktion), Objektvermessungs- (Kennwertberechnung) und Klassifizierungsprozesse sowie die Ableitung der siedlungsstrukturellen Parameter wurden mit Hilfe einer entwickelten Programmiererweiterung in einem GIS vollständig automatisiert. Um die Bedienung und Steuerung der verschiedenen Module soweit wie möglich zu vereinfachen, wurde eine intuitiv gestaltete Benutzeroberfläche in Form einer Werkzeugsammlung (Toolbar) für ArcMap (ESRI) geschaffen. Die Realisierung erfolgte in der Programmiersprache C# als Dynamic-Link Library (DLL). Die Programmgrundlagen sowie das Programm selbst wurde zum Patent angemeldet und auf den Namen SEMENTA (SettlementAnalyzer) getauft.

In dem Menü-gesteuerten Programm können die Eingangsdaten (DTK25, Objektarten 2111-2114 des ATKIS-Basis-DLM, Statistikdaten für den Abgleich) ausgewählt, Programmeinstellungen vorgenommen und die Programmparameter Einwohnergrundflächendichte EGD (1/m²), Wohnungsgrundflächendichte WGD (1/m²) sowie die mittlere Geschosshöhen und -höhen (m) der definierten Gebäudetypen modifiziert werden.

Am Ende der aufwendigen Prozessierung wird neben den Ergebnis-Shape-Dateien eine EXCEL-kompatible Statistikdatei erzeugt und automatisch ein ArcMap-Projekt geöffnet, welche die wichtigsten Ergebnis-Layer mit vordefinierten Legenden visualisiert (vgl. Abbildung 2, 3, 4). Auch kann eine schnelle dreidimensionale Darstellung der Gebäude- und Blockklassifikation durch Verknüpfung der Ergebnisse mit einem ArcScene-Projekt realisiert werden. Abbildung 5 zeigt beispielhaft ein Ergebnis - die klassifizierte Gebäude, sowie die daraus abgeleiteten Baublocktypen.

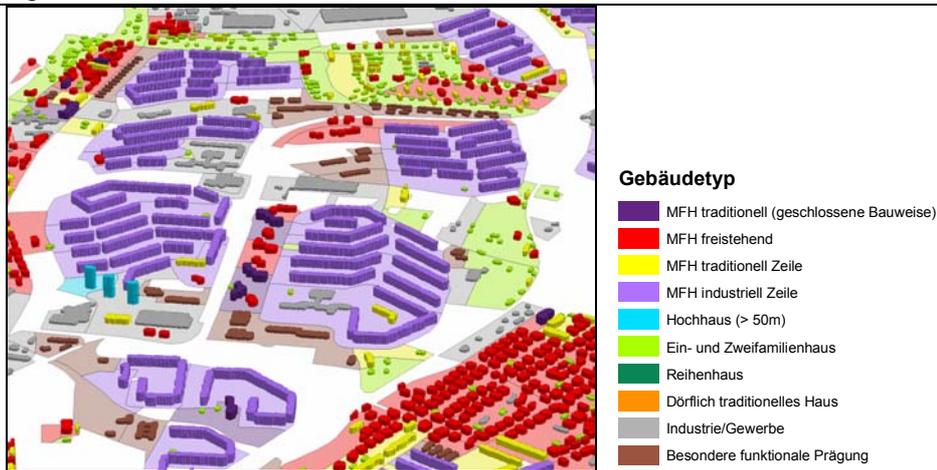


Abbildung 5: Ergebnis der automatischen Gebäude- und Blockklassifikation für Dresden-Gorbitz

6 ANWENDUNG

Das in seinen Grundzügen entwickelte Verfahren ist für verschiedenste Anwendungen insbesondere im mittelmaßstäbigen Planungsumfeld interessant. Es kann zu einem wichtigen Hilfsmittel in der überörtlichen Verkehrsplanungspraxis (Bundesverkehrswegeplan), der Raum- und Stadtplanungspraxis sowie der Raumbewertung werden. Somit sind eine Fülle an Anwendungen sowohl des entwickelten Verfahrens zur automatischen Generierung siedlungsstruktureller Grundlagendaten als auch der Verfahrensergebnisse denkbar. Einige davon seien im Folgenden kurz angedeutet.

- **Verkehrstrassenplanung:** Mit vergleichsweise sehr geringem Aufwand ist eine siedlungsstrukturelle Analyse für größere Planungsprojekte bzw. Trassen möglich. Durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit kann nun auch das Maß der baulichen Nutzung automatisiert und in hoher Genauigkeit abgeleitet werden. Damit wird eine wesentliche Effizienzsteigerung erreicht und die bisher nur pauschalisierten Annahmen von Kennwerten könnte durch reale Messwerte ersetzt werden. Auch morphologische Kennwerte, wie die Gliederung einer Stadt in Dichtezonen, könnten auf Grundlage des Verfahrens in Zukunft standardisiert und automatisiert erhoben werden. Diese betrifft sowohl funktional-strukturelle Kennzahlen, wie die Bauweise, Art und Maß der Nutzung, Bebauungsabstand, Abstand Hausfront-Straßenachse, Zahl Betroffener, als auch morphologische Kennzahlen, wie Gemeinde-, Dorf- und Lagetypisierungen. Das Verfahren würde die Berechnung weiterer Kennzahlen ermöglichen: minimaler und mittlerer Gebäudeabstand zur Straßenachse, Straßenschluchtbreitenverhältnis (für Lärm- und Immissionsrechnungen), Lückenanteil (Anteil unbebaute Bauflucht/Straßenabschnittlänge) und die Einwohnerzahl in der ersten Gebäudereihe (wichtig für Verkehrslärberechnungen).
- **Grundlage für die Erstellung von Lärmkarten:** Bis 30.06.2007 sind nach der EU-Umwelt-Richtlinie (2002/49/EG) für alle Städte mit mehr als 250 000 Einwohnern Lärmkarten zu erstellen. Dabei sind u. a. für Hauptstraßen mit mehr als 6 Millionen Kfz/Jahr bzw. 60 000 Zügen/Jahr sowie für große Industrie- und Gewerbegebiete kleinteilige Lärmkarten einschließlich einer Abschätzung der lärmbeeinträchtigten Einwohnerzahlen zu erstellen. Daraus sollen dann strategische Lärmkarten und Lärmaktionspläne abgeleitet werden. Diese Arbeiten erfordern die Abschätzung der Zahl betroffener Personen, was auf Grundlage der generierten siedlungsstrukturellen Daten durch Pufferzonenbildung um die relevanten Verkehrstrassen leicht möglich ist.
- **Gefährdungskataster/Gefahrenkarten:** Gefahrenkarten für das Risiko- und Katastrophenmanagement sowie zur Information der Bürger gewinnen stark an Bedeutung. Deren Erstellung ist teilweise schon verpflichtendes Länder- bzw. Bundesgesetz. So müssen z. B. nach Sächsischem Wassergesetz (SächsWG) hochwassergefährdete Bereiche ausgewiesen werden. Eine EU-Hochwasserrichtlinie ist in Vorbereitung. Neben Hochwassergefahrenkarten etablieren sich zunehmend auch Karten der Strahlungsdichte in der Nähe von Funkanlagen. Derartige Gefahrenkarten weisen flächig die Gefahrenzonen aus. Durch Verschneidung der betroffenen Gefahrenflächen mit den

Programmergebnissen von SEMENTA lassen sich weiterführende Informationen für die Katastrophenplanung und die Gefahrenabwehr ableiten.

- **Infrastrukturplanung:** Die Daseinsvorsorge unter Schrumpfungsbedingungen verlangt in Zukunft eine sehr viel genauere und nachhaltigere Planung des Mitteleinsatzes für Erhaltung, Ausbau oder Rückbau der Infrastruktur. Dazu gehört alle Aufwendungen für die technische Infrastruktur mit den Teilbereichen Telekommunikation, Gas, Wasser, Strom und Abfall als auch die für die soziale Infrastruktur (Bildung, Gesundheit, Erholung, Einkauf). Für konkrete Planungen sind kleinteilige Informationen zur Einwohner-, Wohnungs- und Gebäudedichte unerlässlich. Die durch das Verfahren generierten kleinteiligen siedlungsstrukturellen Kennzahlen können eingesetzt werden in der Grundversorgungsplanung, der Schulnetzplanung oder der Kalkulation der Einzugsbereiche von Gesundheitseinrichtungen und Apotheken. Aber auch die ÖPNV-Planung kann das Verfahren zur Optimierung des Haltestellennetzes einsetzen. Kleinteilige Dichtekarten von Wohngebäuden, Wohnungen und Einwohnern sind aber auch für die Erarbeitung von Energiekonzepten zunehmend interessant.
- **Landes- und Regional- und Stadtplanung:** Hier ist der Verfahrenseinsatz besonders interessant, kann doch sehr einfach und schnell auch für sehr große Gebiete sehr kleinräumige planungsrelevante Grundlagendaten generiert werden. Auf Basis der ermittelten Kennzahlen könnte z. B. auch eine nachvollziehbare, vergleichbare und objektive räumliche Abgrenzung und Typisierung von Siedlungsgebieten erfolgen. Beispielhaft sei hier die räumliche Gliederung von Stadtregionen in städtisches Kerngebiet, Mittellage, Randlage und Außenbereich mit Hilfe von Dichtekennwerte genannt. Auch eine genaue räumliche Abgrenzung und Typisierung dörflicher Baustrukturen nach einer Dorftypologie wäre denkbar.
- **Geomarketing:** Längst hat die Geoinformatik auch Einzug gehalten in die Optimierung von Wirtschaft- und Verkaufskonzepten. Grundlage sind u. a. sehr kleinräumige Daten zu Einwohnern und Wohnungen verschiedener privater Datenanbieter (z. B. Microm, GfK Macon). Der hohe Preis für derartige Daten sind auch Ausdruck des hohen Erhebungsaufwandes, aber auch der hohen Wertschätzung dieser Daten für die Nutzer. Ein Teil dieser dort angebotenen Daten kann durch das entwickelte Verfahren wesentlich genauer und durch den hohen Automatisierungsgrad der Lösung auch zu wesentlich geringeren Kosten generiert werden.

Mit dem vorgestellten Verfahren zur Generierung siedlungsstruktureller Kennwerte sind Grundlagen für vielfältige Anwendungen in der Planung eröffnet. Erstmals können durch vollautomatische Vermessung und Typisierung des Gebäudebestandes die Siedlungsstruktur bis auf Baublockebene mittels eines Systems quantitativer Kennzahlen sehr genau beschrieben werden. Dieses verbessert die Informationslage für Planungs- und Entscheidungsprozesse elementar. Bisher notwendige Annahmen und Pauschalisierungen mit geringer räumlicher oder inhaltlicher Schärfe oder aber aufwändige Vororterhebungen, die letztlich immer nur auf kleinen Gebietsflächen möglich sind, können durch das Verfahren ersetzt werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Infrastrukturplanung unter Schrumpfungsbedingungen benötigt sehr kleinteilige Informationen zur Siedlungsstruktur. Gemeinden bzw. die statistischen Bezirke der großen Städte als derzeit jeweils kleinste statistische Gebietseinheiten sind dafür nicht genügend räumlich auflösend. Da in Deutschland eine rasterbasierte Regionalstatistik noch in weiter Ferne liegt, wird ein Verfahren zur räumlichen Disaggregation durch Verknüpfung von Geobasis- mit Statistikdaten vorgestellt. Nach Selektion der Wohngebäude aus der digitalen Topographischen Karte 1 : 25 000 DTK25(-V) wird eine automatische Typisierung aller Wohngebäude durch Bestimmung geometrischer Kennzahlen vorgenommen. Anschließend erfolgt eine erste Zuordnung der Einwohner- und Wohnungszahl für jedes Gebäude durch Verknüpfung mit gebäudetypischen Referenzwerten, abschließend der Abgleich mit statistischen Kennzahlen der Gebietseinheit. Im Ergebnis stehen block- bzw. rasterbasiert hochauflösende siedlungsstrukturelle Kennzahlen zur Verfügung.

Das entwickelte Verfahren hat große Potenziale, da es allein auf allgemein verfügbaren und in ihrer Fortschreibung gesicherten Daten beruht. Durch die Anwendung von Geobasisdaten, die seitens der Landesvermessungsämter mit sehr hohem Aufwand erstellt und laufend gehalten werden, wird der Wert dieser Daten auch für Planungsprozesse nutzbar gemacht. In Zukunft sollten die einzelnen Fachplanungen

ohnehin einen stärkeren Einfluss auf die Weiterentwicklung der Geobasisdaten nehmen, denn diese sind in ihrer Anlage auf eine Ausdehnung auf relevante Fachdaten vorbereitet und offen. Eine zunehmende Verfügbarkeit von Kartenblättern in der neuen Kartengrafik (direkt aus ATKIS abgeleitete DTK25-Blätter) steigert die Genauigkeit der Ergebnisse bedeutend, sind doch hier die Gebäude noch genauer kartiert (digitale Erstellung in wesentlich größeren Maßstäben) und vor allem in einer separaten Ebene abgelegt, was die aufwändige und nicht völlig fehlerfreie Gebäudeextraktion erübrigt. Natürlich ist auch eine ausschließliche Verwendung des ATKIS Basis-DLM möglich, wenn dieses über den vollständigen Gebäudebestand verfügt. Allerdings ist der Preis für die notwendigen vektorbasierten ATKIS-Daten ca. sechs Mal höher, als für die rasterbasierten DTK25-Daten.

Das Verfahren könnte durch die Prozessierung verschiedener Kartenstände eines Gebietes auch eine quantitative Beschreibung der baulichen Veränderungen bis auf Gebäudeebene ermöglichen. Damit könnte letztlich auch die nationale Nachhaltigkeitsstrategie mit ihren flächenpolitischen Zielen verfahrenstechnisch unterstützt werden. So könnte beispielsweise erstmals die Nutzungseffizienz durch gebäudebezogene Auswertungen im Baubestand bestimmt werden.

Eine Verknüpfung der mittels SEMENTA gebäude- und blockbezogene Kennwerte mit anderen Datenquellen, wie Gebäudeadressen, Leerstandsinformationen, Straßendaten und Gewerbeinformationen, sind mittels GIS leicht realisierbar, überaus sinnvoll und erweitern den Anwendungsbereich des Programmes. Nachdem der Entwicklungsschwerpunkt bisher auf der Wohnbebauung gelegen hat, soll nun auch der Industrie- und Gewerbegebäudebestand mittels SEMENTA differenziert werden. Diese Gebäude sind nicht nur durch ihre Lage in der ATKIS-Objektklasse 2112, sondern auch durch ihre Gebäudegeometrie, insbesondere die häufig große Gebäudebreite (die so im Wohnungsbau durch die Anforderung einer natürlichen Beleuchtung nicht zu finden ist) eindeutig gekennzeichnet und können durch die Gebäudekennzahlen differenziert werden.

In näherer Zukunft soll das Programm auch für die Berechnung der Ökoeffizienz von Siedlungsstrukturen ausgebaut werden. Dazu soll auf Grundlage der berechneten Gebäude- und Blockkennwerte eine Abschätzung der Infrastrukturaufwendungen einschließlich der für die Verkehrsinfrastruktur erfolgen. Durch eine Anpassung des Gebäudeextraktionsteiles von SEMENTA auf älterer bzw. historische topographische Kartenwerke, wäre auch eine Auswertung früherer Siedlungsstruktur und damit eine retrospektive Siedlungsentwicklungsanalyse möglich. Auch eine Programmadaptation an die verschiedenen nationalen Geobasisdaten in Europa wäre denkbar und würde eine Nutzung auch außerhalb Deutschlands ermöglichen.

8 LITERATUR

- ESCHWEGE, A.V., HEIDRICH-RISKE, H. (2006): Nutzung des Raumbezuges in der amtlichen Statistik, Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik, 2/2006, S. 118-135
- GeoInfoDok (2006): Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (www.adv-online.de)
- GIFFINGER, R., KALASEK, R. WONKA, E. (2006): Ein neuer Ansatz zur Abgrenzung von Stadtregionen: methodische Grundlagen und Perspektiven zur Anwendung, In: CORP 2006-Tagungsband; Hrsg. Manfred Schrenk, S. 677-683
- MEINEL, G., HEROLD, H., Hecht, R.: Automatische Ableitung siedlungsstruktureller Grundlagendaten auf Basis digitaler Bildverarbeitung, GIS und räumlicher Statistik. In: Strobl, J.; Blaschke, Th.; Griesebner, G. (Hrsg.) : Angewandte Geoinformatik 2006. Beiträge zum 18. AGIT-Symposium Salzburg. Heidelberg : Wichmann, 2006, S.423-429
- STEINNOCHER, K., PETRINI, F., TÖTZER, T., WEICHSELBAUM, J. (2005): Räumliche Disaggregation von sozio-ökonomischen Daten: In Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVII- Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2005, S. 702-707
- SZIBALSKI, M. (2006): Karten in der amtlichen Statistik. In: Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik 3/2006, S. 205-211
- WWW.INFOERRA-GLOBAL.COM (2007): Infoterra Global: LaND25 Land Use/Land Cover Map
- WWW.KOSTAT.DE (2007): Arbeitsgemeinschaft Kommunalstatistik KOSTAT
- WWW.MVTEC.COM (2007): MVTEC Software GmbH - Machine Vision Technologies