

# Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

## Räumliche Disaggregation von Bevölkerungsdaten

GIS-gestützte Methode zur Erstellung eines Deutschland-Rasters  
der kleinräumigen Bevölkerungsdichte

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. (FH) Sandra Töpsch**  
U1274, UNIGIS MSc Jahrgang 2006

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:  
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Hamburg, April 2009

## **Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit**

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Hamburg, 29. April 2009

(Sandra Töpsch)

---

## Kurzfassung

Wie viele Einwohner hat ein bestimmter Straßenabschnitt, ein Umkreis oder eine Region, die nicht gemeindegrenzt abgegrenzt ist? Die Frage nach kleinräumigen Einwohnerzahlen lässt sich derzeit nicht flächendeckend für Deutschland mit amtlichen Daten beantworten.

Allgemein stellt die (kleinräumige) Bevölkerungsverteilung und -dichte ein Basiswissen für viele Raum- und Fachplanungen der öffentlichen Verwaltung, für Forschungsfragen oder auch für die Privatwirtschaft dar.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Lösungsansatz auf der Grundlage allgemein verfügbarer amtlicher Daten vorgestellt, der die Schätzung der intrakommunalen Bevölkerungsdichte in Deutschland ermöglicht. Basierend auf einer Wohngebäudeklassifikation wurde die Geschossfläche und die Bevölkerungszahl je Gebäude abgeschätzt. Das Ergebnis des Lösungsansatzes ist ein gleichmäßiges geographisches Raster, das kleinräumig die Verteilung und die Dichte der Bevölkerung visualisiert.

Die Methode wurde auf ein Testgebiet, bestehend aus den Ländern Schleswig-Holstein und Hamburg, angewandt. Für das Land Hamburg wurde auf der Grundlage von Melderegisterdaten der Schätzfehler des Modells ausgewiesen.

Das Ergebnisraster kann in jedem GIS-gestützten Planungs- oder Forschungsprozess Eingang finden, in dem eine kleinräumige deutschlandweite Datenbasis der Bevölkerungszahl von Interesse ist.

Stichworte: kleinräumige Bevölkerungsdichte, Klassifikation Wohngebäude, dasymetric mapping, amtliche Daten

## **Abstract**

How many people live in a certain section of road, in an ambit or a region which is not a sharply delineated community? It is currently impossible to answer the question of small-scale populations with available official data in all parts of Germany.

However, the knowledge of population distribution and density is essential for space-planning and expertise of public administration, for scientific research or for the private sector.

In this paper, an approach based on common available official data is presented which facilitates the estimation of intra-communal population density in Germany. Based on a residential classification, the floor-space and the population of each building was estimated. The result of the approach is a regular geographic grid visualizing the small-scale distribution and density of population.

The method was applied to a testing area consisting of the German federal states of Schleswig-Holstein and Hamburg. Based on the population register data of the state of Hamburg the estimation error of the model was demonstrated.

The result grid can be used in any GIS-based planning and research process where a small-scale Germany-wide database of the population is needed.

**Keywords:** small-scale population density, residential classification, dasymetric mapping, official data

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 EINFÜHRUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 PROBLEMSTELLUNG.....	1
1.2 ZIELSETZUNG UND ABGRENZUNG DER ARBEIT .....	2
1.3 LÖSUNGSANSATZ.....	3
1.4 ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE.....	6
1.5 ZIELPUBLIKUM.....	6
<b>2 STAND DES WISSENS</b> .....	<b>7</b>
2.1 DISAGGREGATION VON BEVÖLKERUNGSDATEN.....	7
2.2 LÖSUNGSANSÄTZE DER FORSCHUNG IN DEUTSCHLAND .....	9
<b>3 AMTLICH VERFÜGBARE DATEN</b> .....	<b>14</b>
3.1 ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN DIE DATENGRUNDLAGE.....	14
3.2 GEOBASISDATEN.....	15
3.2.1 <i>Zeitbezug allgemein von Geobasisdaten</i> .....	15
3.2.2 <i>Hauskoordinaten (Hausnummern)</i> .....	15
3.2.3 <i>Hausumringe</i> .....	16
3.2.4 <i>Flächennutzung im ATKIS Basis-DLM</i> .....	16
3.2.5 <i>Gemeindegrenzen</i> .....	17
3.3 STATISTIK .....	17
3.3.1 <i>Bevölkerungsdaten</i> .....	17
3.3.2 <i>Gebäude- und Wohnungsstatistik</i> .....	19
3.4 ZUSAMMENFASSENDE ÜBERBLICK DER DATENGRUNDLAGE .....	19
<b>4 GRUNDLAGEN DER METHODISCHEN VORGEHENSWEISE</b> .....	<b>20</b>
4.1 THEORETISCHE EINFÜHRUNG.....	20
4.1.1 <i>Bevölkerung in Gemeinden</i> .....	20
4.1.2 <i>Räumliche Bevölkerungsverteilung und Bevölkerungsdichte</i> .....	21
4.1.3 <i>Siedlungsstruktur: räumliche Organisation der Gesellschaft</i> .....	23
4.1.4 <i>Siedlungsstrukturelle Gemeindeklassifikation</i> .....	24
4.1.5 <i>Flächennutzung: funktionale Differenzierung des Raumes</i> .....	25
4.1.6 <i>Städtebauliche Dichte</i> .....	26
4.1.7 <i>Clarks Modell der städtischen Bevölkerungsdichte</i> .....	29
4.1.8 <i>Beschreibung und Messung der städtebaulichen Gebäudetypologie</i> .....	30
4.2 METHODISCHE ASPEKTE DES LÖSUNGSANSATZES .....	33
4.2.1 <i>Modellentwicklung</i> .....	33

4.2.2	<i>Disaggregation</i> .....	33
4.2.3	<i>Statistische Datenanalyse</i> .....	33
4.2.4	<i>Räumliche Datenanalyse</i> .....	34
4.2.5	<i>Rasteraggregation</i> .....	35
4.3	WERKZEUGE.....	36
4.3.1	<i>ArcInfo und ModelBuilder</i> .....	36
4.3.2	<i>SciDAVis</i> .....	36
<b>5</b>	<b>MODELLKONZEPT</b> .....	<b>37</b>
5.1	MODELLGEBIET UND BETRACHTUNGSMAßSTAB DER ARBEIT.....	37
5.2	TESTGEBIET DER MODELLENTWICKLUNG UND -ANWENDUNG.....	37
5.3	UNTERSUCHUNGSOBJEKT UND AUSWAHL DER HILFSDATEN.....	37
5.4	MODELLIERUNGSANSATZ.....	38
5.5	KONZEPTE DER RAUMEINTEILUNG: VEKTOR- UND RASTERMODELL.....	40
<b>6</b>	<b>MODELLIERUNG DER KLEINRÄUMIGEN BEVÖLKERUNGSDICHTE</b> .....	<b>41</b>
6.1	AUSGANGSSITUATION: WOHNEN IN DEUTSCHLAND.....	41
6.1.1	<i>Einwohnerzahlen nach Gemeindestruktur</i> .....	41
6.1.2	<i>Situation der Wohnbebauung</i> .....	43
6.2	VORBEMERKUNGEN ZUR MODELLENTWICKLUNG.....	44
6.3	DESKRIPTION UND EXPLORATIVE ANALYSE DER REFERENZDATEN.....	45
6.3.1	<i>Referenzdatengrundlage</i> .....	45
6.3.2	<i>Urbane und ländliche Bevölkerungsdichte im intrakommunal- globalen Trend</i> .....	45
6.3.3	<i>Bebauungsdichte Hamburgs in Abhängigkeit der Geschosshöhe</i> .....	48
6.3.4	<i>Einwohneranteile der ATKIS-Flächennutzungen</i> .....	49
6.3.5	<i>Analyse des Wohnnutzungsanteils der Gebäude</i> .....	51
6.3.6	<i>Zusammenfassung modellrelevanter Schlussfolgerungen</i> .....	57
6.3.7	<i>Erkenntnisse zur Datenqualität</i> .....	59
6.4	TEILMODELL ABLEITUNG DER BEBAUUNGSFORM VON (WOHN-) GEBÄUDEN.....	61
6.4.1	<i>Vorüberlegungen</i> .....	61
6.4.2	<i>Ermittlung von bebauungsspezifischen Kennwerten der Hausumringe</i> .....	61
6.4.3	<i>Regelbasierte Klassifikation der Hausumringe zu Bebauungsleittypen</i> .....	63
6.5	TEILMODELL IDENTIFIKATION POTENTIELLER WOHNSTÄNDORTE.....	64
6.6	TEILMODELL: SCHÄTZFUNKTION ZUR ERMITTLUNG DER EINWOHNERANZAHL.....	66
6.6.1	<i>Vorüberlegungen</i> .....	66
6.6.2	<i>Berechnung der geschätzten Wohnfläche je Gebäude</i> .....	66
6.6.3	<i>Disaggregation der amtlichen Wohnfläche</i> .....	69
6.6.4	<i>Berechnung der Einwohner</i> .....	69
6.7	TEILMODELL RASTERAGGREGATION.....	70
6.7.1	<i>Modellskalierung und Wahl des Raumbezugs</i> .....	70
6.8	ZUSAMMENSCHAU DES ENTWICKELTEN MODELLS.....	71
6.8.1	<i>Modellprämissen und -parameter</i> .....	71

---

6.8.2	<i>Modellprozesse im Flussdiagramm</i> .....	72
6.8.3	<i>UML-Klassendiagramm der Datengrundlage</i> .....	73
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>74</b>
7.1	ABLEITUNG DER BEBAUUNGSFORM VON (WOHN-) GEBÄUDEN .....	74
7.1.1	<i>Ergebnisdarstellung</i> .....	74
7.1.2	<i>Grundlage der Ergebnisbewertung</i> .....	76
7.1.3	<i>Ergebnisbewertung</i> .....	78
7.1.4	<i>Fehlerdiskussion</i> .....	80
7.2	IDENTIFIKATION POTENTIELLER WOHNSTANDORTE .....	82
7.2.1	<i>Ergebnisdarstellung</i> .....	82
7.3	ABSCHÄTZUNG DER GESCHOSSFLÄCHE JE GEBÄUDE .....	82
7.3.1	<i>Ergebnisdarstellung und -diskussion</i> .....	82
7.3.2	<i>Korrektur unplausibler Geschossezahlen</i> .....	85
7.4	ERMITTLUNG DER EINWOHNERANZAHL .....	86
7.4.1	<i>Ergebnisdarstellung</i> .....	86
7.4.2	<i>Ergebnisbewertung</i> .....	87
7.5	RASTERAGGREGATION .....	92
7.5.1	<i>Sensitivitätsanalyse</i> .....	92
7.5.2	<i>Wahl der Rasterweite des geographischen Rasters</i> .....	97
7.5.3	<i>Ergebnisraster Testgebiet</i> .....	98
7.6	ÜBERTRAGBARKEIT DER METHODIK AUF DEUTSCHLAND .....	99
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG, DISKUSSION, AUSBLICK</b> .....	<b>99</b>
8.1	ZUSAMMENFASSUNG .....	99
8.2	DISKUSSION UND AUSBLICK .....	102
	<b>ANHANG</b> .....	<b>104</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>109</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lösungsansatz im Überblick .....	5
Abbildung 2: regelbasierte Klassifikation von Gebäude- und Blockstrukturtypen .....	12
Abbildung 3: Grundformen räumlicher Bevölkerungsverteilung (Quelle: BÄHR 2004; S. 28) .....	21
Abbildung 4: Raumbegriff und Bevölkerungsdichte von Siedlungsteilflächen .....	22
Abbildung 6: Siedlungsstrukturelle Gebietstypen (BBR 2007).....	25
Abbildung 8: Dichtegradient der städtischen Bevölkerung ( KNAUS (1981); S. 37).....	30
Abbildung 9: Bebauungsformen der Wohnbebauung in Deutschland.....	31
Abbildung 10: Bruttogrundfläche deutscher Wohngebäude nach Gebäudetyp .....	32
Abbildung 11: Schematische Darstellung der Methodik der Rasteraggregation .....	35
Abbildung 12: Einwohnerzahlen nach Gemeindestruktur in den alten und den neuen Ländern .....	41
Abbildung 13: Karte der Bevölkerungsdichte des Modell-Zielgebietes.....	42
Abbildung 14: Bevölkerungsdichte Hamburgs im intrakommunalen Trend.....	46
Abbildung 15: Bevölkerungsdichte der Gemeinde Flossenburg im intrakommunalen Trend.....	47
Abbildung 16: Grundflächendichte in Abhängigkeit der Wohngebäude-Geschosszahl.....	48
Abbildung 17: Wohnnutzungsanteil in der ATKIS-Objektart "Wohnbaufläche" .....	53
Abbildung 18: Wohnnutzungsanteil in der ATKIS-Objektart "Fläche gemischter Nutzung" .....	55
Abbildung 19: Beispiel Dateninkonsistenz: Hauskoordinate ohne -umring.....	59
Abbildung 20: Geoprozessierung der Erstellung und Analyse der Gebäudeverbände .....	62
Abbildung 21: räumliche Datensicht der Identifikation potentieller Wohngebäude .....	65
Abbildung 22: Geoprozessierung des Teilmodells: Identifizieren von potentiellen Wohngebäuden.....	65
Abbildung 23: Übersicht Eingangsdaten zur Ermittlung der Einwohneranzahl.....	67
Abbildung 24: Modellprozesse im Überblick.....	72
Abbildung 25: Objektrelationales Datenmodell der Hilfsdaten.....	73
Abbildung 26: Ergebnisvisualisierung der Gebäudeklassifikation.....	75
Abbildung 27: Trefferquoten der regelbasierten Klassifikation nach Bebauungsleittyp .....	79
Abbildung 28: Fehlerdiskussion am Beispiel Hamburger Villen .....	81
Abbildung 29: Modellierte Geschosszahlen nach Bebauungsleittyp und Verdichtungsraum .....	84
Abbildung 30: Modellergebnis Einwohner je Gebäude .....	86
Abbildung 31: Schätzfehler Bevölkerung von homogen bebauten ATKIS-Wohnbauflächen .....	88
Abbildung 32: Schätzfehler Bevölkerung von homogen bebauten ATKIS-Flächen gemischter Nutzung.....	89
Abbildung 33: Sensitivitätsanalyse: Histogramme des Schätzfehlers verschiedener Rasterweiten .....	94
Abbildung 34: Sensitivitätsanalyse: räumliche Verteilung des Schätzfehlers im 2000x2000 m Raster.....	95
Abbildung 35: Über- und Unterschätzung der Bevölkerung in dünn besiedelten Bereichen .....	96
Abbildung 36: Über- und Unterschätzung der Bevölkerung in stark industriell genutzten Bereichen.....	97
Abbildung 37: Ergebnistraster der disaggregierten Bevölkerung im 1 x 1 km Raster .....	98

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Häufigkeiten der ATKIS-Objektarten "Wohnbaufläche" .....	17
Tabelle 2: Datengrundlage des Lösungsansatzes .....	19
Tabelle 3: Siedlungskategorien der amtlichen Statistik nach Einwohnerzahl, .....	24
Tabelle 4: Obergrenzen des Maßes der baulichen Nutzung nach Baugebietstypen .....	28
Tabelle 5: Geschossflächendichte und regionale Dichtegefälle (UBA (2004)).....	32
Tabelle 6: Bestand der Wohngebäude differenziert nach Wohnungsanzahl und Bundesland,.....	43
Tabelle 7: Übersicht Referenzdatengrundlage.....	45
Tabelle 8: Bevölkerungsanteile in den ATKIS-Objektarten.....	49
Tabelle 9: Gebäudegrundfläche in ausgewählten ATKIS-Objektarten .....	50
Tabelle 10: Wohnnutzungsanteil nach Einwohnergrößenklassen in ATKIS-„Wohnbauflächen“.....	54
Tabelle 11: Wohnnutzungsanteil an der Gebäudegrundfläche je Gemeinde in der ATKIS-Objektart.....	56
Tabelle 12: Regelwerk der Klassifikation der Hausumringe in Bebauungsleittypen .....	63
Tabelle 13: Modellprämissen und -parameter im Überblick .....	71
Tabelle 14: Klassifikationsergebnis Bebauungsleittypen der Gebäude .....	74
Tabelle 15: Reklassifizierung des ALK-Merkmals Gebäudenutzung in Bebauungsleittypen.....	77
Tabelle 16: ALK-basierte Ergebnisbewertung der Gebäudeklassifikation.....	78
Tabelle 17: Ergebnisbewertung der Gebäudeklassifikation mit amtlicher Statistik .....	80
Tabelle 18: Ergebnisse der Identifikation potentieller Wohnstandorte im Testgebiet.....	82
Tabelle 19: Schätzfehler Bevölkerung auf Stadtteilebene in Lübeck .....	91
Tabelle 20: Sensitivitätsanalyse: deskriptive Statistik des Schätzfehlers verschiedener Rasterweiten .....	93

## Abkürzungsverzeichnis

AAA	AAA-Datenmodell, das die Systeme AFIS, ALKIS und ATKIS zusammenführt
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
AGS	Amtlicher Gemeindegemeinschaftsschlüssel
ALB	Amtliches Liegenschaftsbuch
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
ATKIS-OK	ATKIS-Objektartenkatalog
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke
BBL	Bruttobauland
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BEFO	amtliche Statistik Bevölkerungsfortschreibung
BevStatG	Bevölkerungstatistikgesetz
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
CORINE	Coordinated Information on the European Environment
DESTATIS	Statistisches Bundesamt Deutschland
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DFK	Digitale Flurkarte
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DTK25	Digitale Topographische Karte im Maßstab 1:25.000
EFB	Einfamilienhausbebauung
EGD	Einwohnergrundflächendichte
ETRS89	Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989
GFZ	Geschossflächenzahl
GRZ	Grundflächenzahl
GVHK	Gemeinschaft zur Verbreitung von Hauskoordinaten
IÖR	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
IQR	Interquartilsabstand
ISO	Internationale Organisation für Normung

IT	Informationstechnologie
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
MFB	Mehrfamilienhausbebauung
NBL	Nettobauland
UBA	Umweltbundesamt
UML	Unified Modeling Language, („Vereinheitlichte Modellierungssprache“)
VZ87	Volkszählung des Jahres 1987 in Deutschland
WGD	Wohnungsgrundflächendichte
WOFO	amtliche Statistik Wohnungsfortschreibung

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung

Wie viele Einwohner hat ein bestimmter Straßenabschnitt, ein bestimmter Umkreis oder eine bestimmte Region, die nicht gemeindegrenzt abgegrenzt ist? Die Frage nach kleinräumiger Bevölkerungsverteilung lässt sich derzeit nicht flächendeckend für Deutschland mit amtlichen Zahlen beantworten.

Für die Feststellung der Bevölkerungszahlen ist in Deutschland die amtliche Bund-Länder-Statistik zuständig. Der gesetzliche Auftrag umfasst die Erhebung der Bevölkerungszahl je Gemeinde. Setzt man die vorhandene Bevölkerungszahl in Relation zur Flächenausdehnung der Gemeinde, kann für Deutschland folgende Datenlage skizziert werden: Die Bevölkerungsdichte beträgt derzeit im Durchschnitt 231 Einwohner/km<sup>2</sup>, wobei die Stadt München mit 4 017 Einwohnern/km<sup>2</sup> die höchste und die Gemeinde Wiedenborstel mit 1 Einwohner/km<sup>2</sup> die niedrigste Bevölkerungsdichte aufweist (Stand 31.12.2006, vgl. DESTATIS 2007). Räumlich höher aufgelöste amtliche Daten zur Bevölkerungsdichte sind nicht verfügbar.

Allgemein stellt die (kleinräumige) Bevölkerungsverteilung und -dichte ein Basiswissen für die Raumplanung der öffentlichen Verwaltung und für Forschungsfragen dar. Sie ist auch Entscheidungsgrundlage für Problemstellungen der Privatwirtschaft.

Die Relevanz dieser Informationslücke für Deutschland hat in den vergangenen Jahren zugenommen, weil aktuelle Problemstellungen zunehmend die kleinräumige Betrachtung großer Gebiete bzw. von ganz Deutschland erfordern. Als Beispiele können die Umsetzung der EU-Lärmrichtlinie und diverse Forschungsarbeiten auf Bundesebene zum Thema Demographischer Wandel genannt werden. Dabei müssen sehr große Datenmengen verarbeitet werden. Leistungsfähige Computertechnik ist heute nicht mehr das Problem. Jedoch fehlen immer noch homogene kleinräumige amtliche Bevölkerungsdaten in deutschlandweiter Abdeckung.

Um diese Datenlücke in Deutschland zu schließen, existieren bisher zahlreiche Methoden zur Modellierung von kleinräumigen Bevölkerungsdaten. Die Unterschiede der verschie-

denen Schätzmodelle liegen vor allem in der Wahl der Ausgangsdaten und in der resultierenden räumlichen Auflösung der Bevölkerungsinformation. Bisherige Lösungsansätze mit dem Zielgebiet Deutschland, wie in dieser Arbeit, generieren die gewünschte Bevölkerungsinformation häufiger im mesoskaligen Maßstabbereich, z.B. innerhalb von Landnutzungsflächen.

Die jüngste Dynamik der Ländervermessungen in Deutschland lässt deutliche Bestrebungen zur Harmonisierung der Geobasisdaten und zum zentralen Datenvertrieb erkennen. Dadurch sind weitere Geobasisdaten (z.B. Hausnummern und Hausumringe für Deutschland) zentral verfügbar. Kann auf der Grundlage einer räumlich hoch aufgelösten Geodatenbasis ein Ansatz zur Modellierung der kleinräumigen Bevölkerung in Deutschland geschaffen werden, der einen akzeptablen Schätzfehler für einen breiten Anwenderkreis erreicht?

## ***1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit***

Im Hinblick auf die Nicht-Verfügbarkeit von Daten der kleinräumigen Bevölkerungsdichte mit deutschlandweiter Abdeckung aus amtlichen Quellen ist das primäre Ziel eine Methode für die Erstellung eines geographischen Rasters zu entwickeln, der die intrakommunale Bevölkerungsdichte in Deutschland modellhaft abbildet. Ein Rasterdatensatz kann theoretisch in jedem GIS-gestützten Planungs- oder Forschungsprozess Eingang finden, in dem eine kleinräumige Datenbasis zur Bevölkerungsdichte von Interesse ist.

Die Ausgangsdaten sollen restriktiv aus amtlichen Datenquellen bezogen werden. Hierbei spielen die amtlichen Geobasisdaten der Länder-Vermessung eine wichtige Rolle, weil diese hinsichtlich Flächennutzung und Bebauungsstruktur räumlich hoch aufgelöst vorliegen. Die jüngsten Bestrebungen der Länder-Vermessung hinsichtlich Standardisierung ihrer Datenprodukte und deren zentralem Vertrieb ermöglicht eine vereinfachte Anwendung und Weiterverarbeitung der Daten gegenüber einem dezentralem Datenbezug von den 16 Bundesländern. Die dabei zu leistende Datenharmonisierung durch den Konsumenten entfällt. Eine strategische Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher, eine weitere Einsatzmöglichkeit sowie den Mehrwert von amtlich erhobenen Geobasisdaten aufzuzeigen, der entsteht, wenn Geobasisdaten als Hilfsdaten zur Disaggregation von amtlicher Statistik

eingesetzt wird, die in Deutschland in der Regel bis auf die räumliche Ebene Gemeinde erhoben und fortgeschrieben wird.

Das Modell wird anhand eines Testgebietes entwickelt und angewandt. Das Testgebiet umfasst die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg. Die Methodik soll prinzipiell auf die Gesamtfläche von Deutschland übertragbar sein.

Die Modellvalidierung ermöglicht die Ermittlung und Darstellung des Schätzfehlers des Modells. Als Referenzdaten stehen anonymisierte Melderegister-Adressdaten für Hamburg und Gebäude-Daten der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) für Hamburg und Schleswig-Holstein zur Verfügung. Damit können Aussagen zur Modellqualität für Hamburg getroffen werden. Es ist zu diskutieren, inwieweit dieser Fehler auf das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland übertragen werden kann und ob bzw. welche Einschränkungen der Verwendungsmöglichkeiten bestehen.

Im Rahmen der Modellentwicklung und -anwendung sollen auch praktische Erfahrungen der Datenkonsistenz und -qualität der Geobasisdaten benannt werden.

Allgemein liegt der Focus der Arbeit auf der Methodik. Die Modellentwicklung hinsichtlich der Implementation und Automatisierung von Prozessen spielt nur soweit eine Rolle, wie der Arbeitsrahmen und die Durchführung davon unterstützt werden.

### **1.3 Lösungsansatz**

Als grundlegende Basis zur Problemlösung dient eine umfassende Literaturrecherche, die Datengrundlagen und Methodik vergleichbarer Problemstellungen analysiert. Neben der Befassung mit relevanter Theorie zum Verständnis des Phänomens (kleinräumige) Bevölkerungsdichte liegt der Focus der Literaturrecherche auf Veröffentlichungen, die methodisch das Gebiet von Deutschland oder Teile davon betreffen und einen mikroskaligen Zielmaßstab für das Schätzergebnis der Bevölkerung anstreben. Dies ergibt sich aus der Zielstellung der Arbeit, eine Methodik für ein Bevölkerungsraster von Deutschland zu erstellen. Eine entsprechende Verfügbarkeit von amtlichen Daten ist dabei vorausgesetzt. Hier bestehen national sehr große Differenzen.

Eine Datenrecherche findet parallel statt. Es werden besonders die Datenangebote der amtlichen Vermessung und der amtlichen Statistik auf ihre Relevanz überprüft (vgl. Kapitel 3). Dabei geht es auch um das Eruiieren geeigneter Referenzdaten.

Als visuelle Aufbereitung der eingesetzten Datengrundlage wird ein UML-Klassendiagramm erstellt, das die Objektklassen und die Beziehungen der Objekte zueinander abbildet.

Die recherchierte Theorie und die Methoden werden im Anschluss strukturiert, nach Relevanz ausgewertet und für die Argumentation des Lösungsansatzes dargestellt (vgl. Kapitel 2 und 4). Vor Beginn der Modellentwicklung wird ein Modellkonzept aufgestellt, in dem die Erkenntnisse aus der Literatur- und Datenrecherche für die Festlegung richtungsweisender Rahmenbedingungen genutzt werden (vgl. Kapitel 5).

Im Rahmen der funktionalen Modellentwicklung (vgl. Kapitel 6) werden deskriptiv-statistische sowie deduktive und induktive Methoden eingesetzt. Bestehende Theorie soll anhand der Referenzdaten beispielhaft dargestellt werden. Für die Gewinnung von Modellparametern und -kennwerten werden die Referenzdaten exploriert, um Zusammenhänge zwischen den Referenzdaten und der Hilfsdatengrundlage aufzudecken. Da die Referenzdaten auf das Testgebiet und teilweise auch nur für Hamburg als Teilraum des Testgebietes begrenzt vorliegen, müssen die dargestellten Zusammenhänge mangels einer Referenzdatengrundlage für Deutschland im Rahmen dieser Arbeit als gegeben für das gesamte Modellgebiet Deutschland bzw. für das gesamte Testgebiet unterstellt werden. Unter diesen Bedingungen werden die Modelprämissen aufgestellt.

Für eine transparente Modellentwicklung wird das Modell in Teilmodelle zerlegt und schrittweise aufgebaut. Alle Teilmodelle bilden zusammen die Funktion des Modells.

Im Anschluss an die Teilergebnis- und Endergebnisdarstellung folgt jeweils eine Modellvalidierung auf der Basis der vorliegenden Referenzdaten. Mittels einer Sensitivitätsanalyse von Rasterweite und Schätzfehler soll eine geeignete Raumbezugsfläche für die geschätzte Bevölkerung analysiert werden, um die Bevölkerungsdichte als Merkmal jeder Rasterzelle abbilden zu können. (vgl. Kapitel 7)

Als Werkzeug zur Umsetzung und Anwendung des Modells soll die Software ArcGIS ArcInfo 9.2 mit den Funktionalitäten des Model Builders zum Einsatz kommen. Allgemein liegt der Focus der Arbeit auf der Methodik. Die Modellentwicklung hinsichtlich der Implementation und Automatisierung von Prozessen spielt nur soweit eine Rolle, wie der Arbeitsrahmen und die Durchführung davon unterstützt werden.

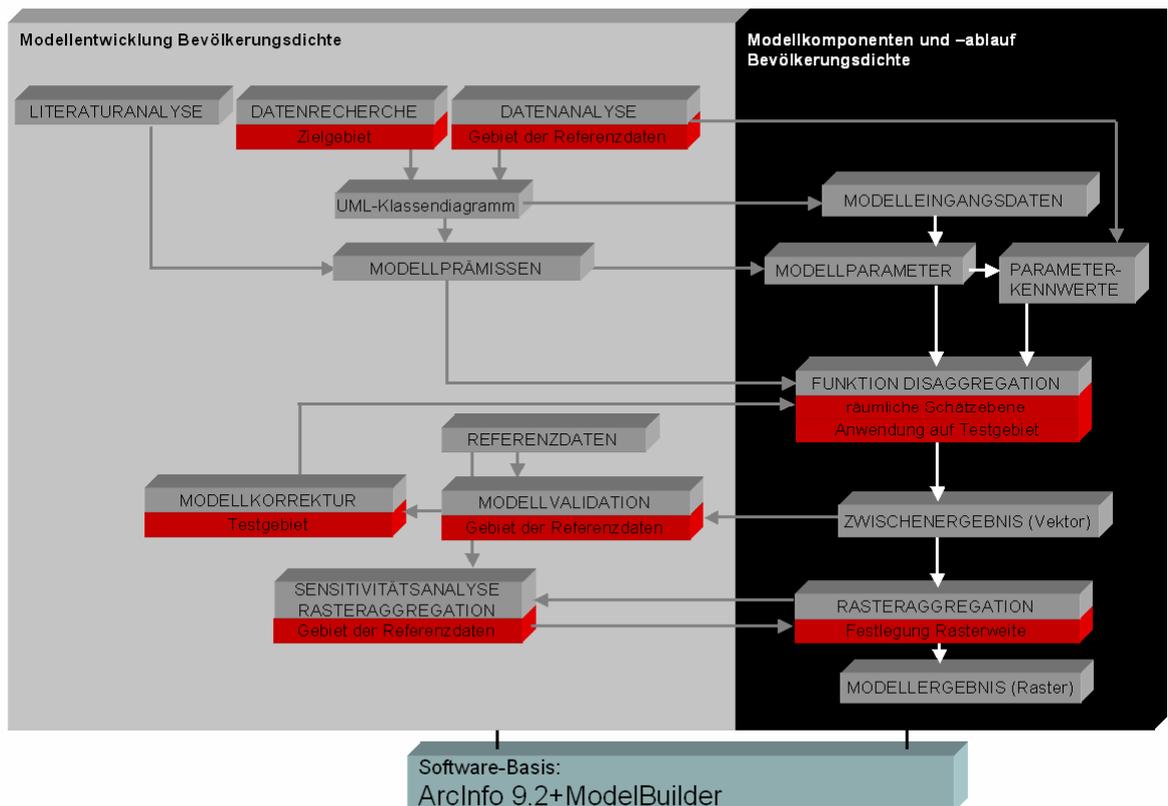


Abbildung 1: Lösungsansatz im Überblick

## **1.4 Zu erwartende Ergebnisse**

Der Lösungsansatz (siehe Abbildung 1) lässt erkennen, dass durch die Arbeit folgende Fragen beantwortet werden müssen:

- ⇒ Welche Daten aus amtlichen Quellen sind als Eingangsdaten für das Modell geeignet?
- ⇒ Welche Zusammenhänge zwischen den Referenzdaten zu Einwohnern und Gebäuden und der Hilfsdatengrundlage können für die Ableitung von Modellprämissen und –parametern exploriert und aus der Fachliteratur eruiert werden?
- ⇒ Welche Raumbezugsebene sollen für die Schätzung der kleinräumigen Bevölkerung genutzt werden?
- ⇒ Welcher Schätzfehler der Bevölkerungszahl resultiert aus der Modellvalidierung in Abhängigkeit unterschiedlicher Rasterweiten (Sensitivitätsanalyse). Welche Rasterweite wird in der Folge ausgewählt?

## **1.5 Zielpublikum**

Diese Arbeit richtet sich an Interessierte aus der Wissenschaft, der Verwaltung und der Privatwirtschaft, dabei speziell an GIS-Anwender, für die das Ableiten der kleinräumigen Bevölkerungsverteilung auf der Basis der allgemein verfügbarer amtlicher Daten von Bedeutung ist.

## 2 Stand des Wissens

### 2.1 Disaggregation von Bevölkerungsdaten

Die Disaggregation von Bevölkerungsdaten ist eine Zielstellung, die Wissenschaft und (Planungs-) Praxis immer wieder beschäftigt. Ziel ist es, Bevölkerungszahlen für kleinräumige Raumgliederungen zu generieren, die den realen Bedingungen in Abhängigkeit der jeweiligen Problemstellung und des erforderlichen Betrachtungsmaßstabes hinreichend genau entsprechen. Beispiele für solche Problemstellungen in diesem Zusammenhang sind die Visualisierung der Bevölkerungsverteilung und –dichte eines Gebietes, die Modellierung von Nachfragepotential oder die kleinräumige Untersuchung von Objekten im Zusammenhang mit der Bevölkerung. In der Literatur wird die Disaggregation von Bevölkerungsdaten überwiegend als Teilproblem behandelt, dessen Lösung eine Voraussetzung der Bearbeitung der jeweiligen Problemstellung ist. Dabei wird auf eine überschaubare Anzahl von grundlegenden Methoden zurückgegriffen.

Ursächlich wird die Disaggregation von Bevölkerungsdaten erforderlich, wenn die verfügbaren Bevölkerungsdaten nicht den gewünschten Raumbezug besitzen. Diese Situation äußert sich in räumlich zu gering aufgelösten Raumeinheiten denen Bevölkerungszahlen zugeordnet sind, oder wenn sich differierende Raumgliederungen mit auszuwertenden Merkmalen in einer Weise überschneiden, dass die vorliegenden Bevölkerungsdaten räumlich nicht konsistent mit den weiteren georeferenzierten Daten in Beziehung gesetzt werden können.

MAANTAY et al. (2007) schätzen ein, dass Disaggregationsmethoden seit dem frühen 18. Jahrhundert eingesetzt werden. Bis heute sind international diverse Methoden veröffentlicht, die auf der Basis unterschiedlicher Datengrundlagen verschiedene räumliche Auflösungen der zu disaggregierenden Größe anstreben.

Eine universelle und sehr einfache Methode beschreiben GOODCHILD/LAM (1980). Die Ausgangs-Raumgliederung, z.B. mit dem Merkmal Bevölkerungszahl, überschneidet mit ungleichen Grenzen die Ziel-Raumgliederung, für welche deshalb die Bevölkerungszahl gesucht ist. Die Methodik wird als einfache flächengewichtete Interpolation bezeichnet. Der Anteil an einer Ausgangs-Fläche, gegeben als Schnittfläche von Ausgangs-Fläche und

Ziel-Fläche, wird auf die Gesamtbevölkerung dieser Ausgangs-Fläche bezogen und für die jeweilige Ziel-Schnittfläche als Bevölkerung angenommen. Die Prämisse ist dabei die homogene Verteilung der Bevölkerung, die real nicht gegeben ist.

EICHER/BREWER (2001) beschreiben die „Binary Method“: ausgehend von dem Wissen, dass nicht alle Gebiete entsprechend ihrer Nutzung bewohnt sind, wird mit Hilfe von klassifizierten Landnutzungsdaten aus der Fernerkundung die bewohnte Teilfläche einer Gemeinde identifiziert. Daraus resultieren Teilflächen, die bewohnt und unbewohnt sind. Es erfolgt die Berechnung der Bevölkerungsdichte als Siedlungsdichte, indem die Anzahl der Einwohner einer Gemeinde durch die Fläche der bewohnten Teile der Gemeinde dividiert wird. Die „Binary Method“ geht damit auch (vgl. GOODCHILD/LAM 1980) von der Annahme aus, dass die Bevölkerung auf der bewohnten Teilfläche gleichmäßig verteilt ist. Die standörtlich reale Bevölkerungsdichte wird damit vernachlässigt. Jedoch ist das Herausfiltern von Flächen, die bewohnt sind, eine für den Lösungsansatz der vorliegenden Arbeit relevante Methode, um die tatsächliche Abgrenzung der realen Bevölkerungsverteilung bei der Disaggregation zu berücksichtigen und darzustellen. Zu der „Binary Method“ existieren Weiterentwicklungen, z.B. von BIELECKA (2005), die mit differenzierten Werten der Bevölkerungsdichte in den einzelnen Landnutzungsklassen operieren. Um dabei den Aufwand gering zu halten, wird zuvor die Vielzahl der CORINE Landnutzungsklassen zu einer geringeren Anzahl gruppiert. Der Nachteil dabei ist, dass die Bevölkerungsdichten zwar je nach konkreter Nutzung variieren, aber regional gleich sind. Das existierende Dichtegefälle zwischen Regionen im System der zentralen Orte bleibt unberücksichtigt.

Die Gegenüberstellung dieser beiden Methoden-Klassiker ist ausreichend, um einen wesentlichen Unterschied in der Methodik für Disaggregation zu skizzieren. Dieser besteht darin, dass EICHER/BREWER (2001) im Gegensatz zu GOODCHILD/LAM (1980) mit sogenannten Hilfsdaten, hier CORINE Landnutzungsklassen, operieren. In definierter Abhängigkeit der Ausprägung der Merkmale der Hilfsdaten werden dabei funktionale Zusammenhänge und Prämissen aufgestellt, die eine differenzierte Gewichtung der Bevölkerungsanteile zulassen. In der Literatur, u.a. ARNTZ/WILKE (2007), wird die Methodik von GOODCHILD/LAM (1980) als Beispiel für „simple area weighting“ und die von EICHER/BREWER (2001) als Beispiel für „dasymetric mapping“ aufgeführt. Diese beiden Konzepte stehen sich im meso- bis mikroskaligen Betrachtungsmaßstab bei der Disaggregation von Daten gegenüber.

Das Konzept „Dasymetric Mapping“ auf der Basis von Hilfsdaten soll für den Lösungsansatz in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen werden. Wenn begründete Modellprämissen aufgestellt werden, wird unterstellt, damit eine höhere Genauigkeit der disaggregierten Bevölkerungszahlen zu erreichen.

## **2.2 Lösungsansätze der Forschung in Deutschland**

Im Weiteren werden Methoden aus Deutschland betrachtet, da die Datenverfügbarkeit den Rahmen der möglichen Datengrundlage vorgibt. Die Datenverfügbarkeit ist aufgrund der vorliegenden konkreten Problemstellung national abhängig. Im Lösungsansatz dieser Arbeit sollen ausschließlich allgemein verfügbare amtliche Daten eingesetzt werden.

Um die Datenlücke der kleinräumigen Bevölkerung in Deutschland (vgl. Kapitel 1.1) zu schließen, existieren bisher wenige relevante Methoden zur Modellierung dieser Daten in einem mikroskaligen Maßstabsbereich. Die Unterschiede der verschiedenen Schätzmodelle liegen vor allem in der Wahl der Ausgangsdaten. Der Stand des Wissens ist geprägt durch Auftragsforschungsarbeiten des BMVBS, des BBR und des UBA aus den Jahren 2004 bis 2008. Der Problemrahmen spannt sich um die Themen Regionalplanung, Städtebau, demographischer Wandel und Infrastrukturfolgekosten. Die kleinräumige Bevölkerungszahl stellt für die bearbeiteten Forschungsfragen eine zentrale Größe oder das Untersuchungsobjekt selbst dar.

Im Rahmen des Forschungsprojektes UBA (2004) wurden Szenarien und Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige bauliche Entwicklung in Deutschland erstellt. In diesem Zusammenhang entwickelten Buchert et al. ein Modell zur Abschätzung der Verkehrser-schließungsfläche im Wohnungsbestand. Es besteht hierbei eine Abhängigkeit hinsichtlich der kleinräumigen Formen der Wohnbebauung, die den Grad der baulichen Verdichtung prägen. Da die amtliche Statistik des Wohnungsbestandes intrakommunal nicht zuordenbar ist, mussten strukturtypenbezogene Annahme hinsichtlich der Geschossflächendichten getroffen werden. Der Rahmen der Schätzung ist durch sieben Bebauungsleittypen (nach IÖR) und drei siedlungsstrukturelle Gebietstypen (nach BBR) gegeben. Auf der Basis von mittleren Wohnungsdichten je Landkreis, von Literaturangaben und eigener Fachkompetenz des IÖR wurden differenzierte Kennwerte für die strukturtypenbezogenen Geschossflächendichten mit einem Gültigkeitsbereich für Deutschland aufgestellt. Diese ergeben

sich aus einer Matrix der BBR-Gebietstypen (vgl. Kapitel 4.1.4) und den Bebauungsleittypen (vgl. Tabelle 5). Diese Kennwerte-Matrix wird für den vorliegenden Lösungsansatz aufgegriffen, um in Anlehnung der Methodik in UBA (2004) die amtliche Wohnflächenstatistik intrakommunal gewichtet disaggregieren zu können.

Die Autoren in BMVBS/BBR (2006) erstellten unterschiedliche Szenarien der siedlungs-räumlichen Entwicklung im Hinblick auf die jeweils anfallenden infrastrukturellen Kosten. Hintergrund ist dabei die demographische Entwicklung in Ostdeutschland. Als Untersuchungsregion, an der das Verfahren entwickelt und getestet wurde, diente die Planungsregion Havelland-Fläming im Land Brandenburg. Für diesen Problemrahmen wird die intrakommunale Nachfrage nach sozialen und technischen Infrastrukturen benötigt. Eine entsprechende kleinräumige Datenbasis lag nicht vor. Die Ableitung der Nachfrage-Datenbasis erfolgte auf der Grundlage der verfügbaren amtlichen Statistiken zu Bevölkerung und des Wohnungsbestandes. Die Abschätzung der Bevölkerung auf der räumlichen Ebene der Gebäude wurde mit spezifischen Wohnungs- und Einwohnerdichten vorgenommen. Siedentop et al. haben in BMVBS/BBR (2006) hierfür idealtypische Formen der Wohnbebauung klassifiziert. Um das bauliche Verdichtungsgefälle im zentralörtlichen Raum zu berücksichtigen, wurden eigene siedlungsstrukturellen Gemeindetypen in Abhängigkeit von Siedlungsdichte und Bevölkerungsdynamik aufgestellt. Auf der Basis von UBA (2004) wurden regional angepasste strukturtypenbezogenen Kennwerte der Geschossflächendichten aufgestellt. Ein Hauptmerkmal der aufgestellten Systematik der Wohnbebauung ist die Berücksichtigung der DDR-spezifischen Plattenbauweise im Geschosswohnungsbau. Im Hinblick auf die Problemstellung der vorliegenden Arbeit soll diese DDR-angepasste Wohnbebauungssystematik an dieser Stelle festgehalten werden. In der DDR entwickelte sich seit 1958 der Montage- bzw. Fertigteilbau für die industrielle Errichtung von Wohnbauten zur dominierenden Bauweise. Aufgrund einer überschaubaren Anzahl von Modelltypen kann diese Bauweise gut für ein Klassifikationsmodell der Wohnbebauung beschrieben werden (vgl. BRBS 1992).

Meinel et al. verfolgten in BMVBS/BBR (2008) das Ziel der vollautomatischen GIS-basierten Klassifikation und kennwertgestützten Beschreibung von Gebäuden und Baublöcken, einschließlich der Abschätzung von gebäude- und gebäudekomplexbezogener Einwohner- und Wohnungszahlen. Es handelt sich hierbei um siedlungsstrukturelle Kennwerte in hoher räumlicher Auflösung, die als Basisdaten für die Raum-, Stadt-, und Verkehrspla-

nung aus verfügbaren Datenquellen abgeleitet werden sollen. Die Autoren wählten u.a. als Datengrundlage die Digitale Topographische Karte im Maßstab 1:25.000 (DTK25) und die siedlungsrelevanten Objektarten aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS). Die Städte Bonn und Dresden wurden als Gebiete für die Verfahrensentwicklung und -anwendung ausgewählt.

Für die grundlegende Gebäudeklassifikation wurden zu Beginn die Methoden multinomiale logistische Regression, Fuzzy-Logik und regelbasierte Klassifikation vergleichend betrachtet. Die Wahl fiel auf die regelbasierte Klassifikation, weil sich das erforderliche Regelwerk effizient optimieren ließ und schneller und sicherer realisiert werden konnte. Aufgrund operationeller Umsetzungsprobleme wurde die multinominale logistische Regression nicht weiter verfolgt. Im Vergleich zur Fuzzy-Logik stellten sich für die regelbasierte Klassifikation schnellere Rechenzeiten und ein geringerer Modellfehler heraus.

Die regelbasierte Klassifikation stützt sich auf eine von BMVBS/BBR (2008) aufgestellte Gebäude- und Baublocktypologie, die jeweils in drei Detailstufen ausgearbeitet wurde. Als Entscheidungsgrundlage des Regelwerkes werden vor der Klassifikation sehr umfangreiche Kennwerte aus der Gebäude- und Blockgeometrie sowie aus der Topologie der Geoobjekte gewonnen. Die meisten von ihnen können nicht mit ArcGIS-Standardfunktionalität ermittelt werden, sondern wurden von Meinel et al. in BMVBS/BBR (2008) in entsprechenden Algorithmen programmiert. Daneben wurden auf der Grundlage baublock-aggregierter Wohnungs- und Einwohnerzahlen aus der Kommunalstatistik die Dichtereferenzwerte Einwohnergrundflächendichte (EGD: Einwohner je m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche) und Wohnungsgrundflächendichte (WGD: Wohnungen je m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche) für die aufgestellten Gebäude- und Baublocktypen errechnet. Diese dienen im Berechnungsablauf zur gebäude- und blockbezogenen Abschätzung der Einwohnerdaten, indem der gebäudetypspezifische Dichtewert mit der Grundfläche des Gebäudes multipliziert wird. Durch Summierung aller absoluten Einwohnerzahlen im Baublock wird die blockbezogene Einwohnerzahl ermittelt. Da die Dichtereferenzwerte in homogen bestanden Baublöcken ermittelt wurden, zeigte sich eine konstante Überschätzung der Einwohnerdichte von ca. 30% in Bonn und Dresden. In der Regel weisen die Blöcke jedoch einen Nichtwohnanteil von 10-20 % auf. Durch die Einführung eines pauschalen Korrekturfaktors nähert sich die Schätzung den empirischen Einwohner-Blockdaten maximal an. Meinel et al. geben in BMVBS/BBR (2008) eine Abweichung der Einwohnerzahlen zur Referenz von +7,1 % vor der Korrektur an. Nach der Korrektur wird der Wert auf -0,1% gesenkt, der durch Rundungsfehler begründet wird.

Der gesamte Klassifikationsprozess wurde als ArcGIS-Programmerweiterung implementiert und erhielt den Namen SEMENTA als Kurzbezeichnung für Settlement Analyzer (siehe Abbildung 2).

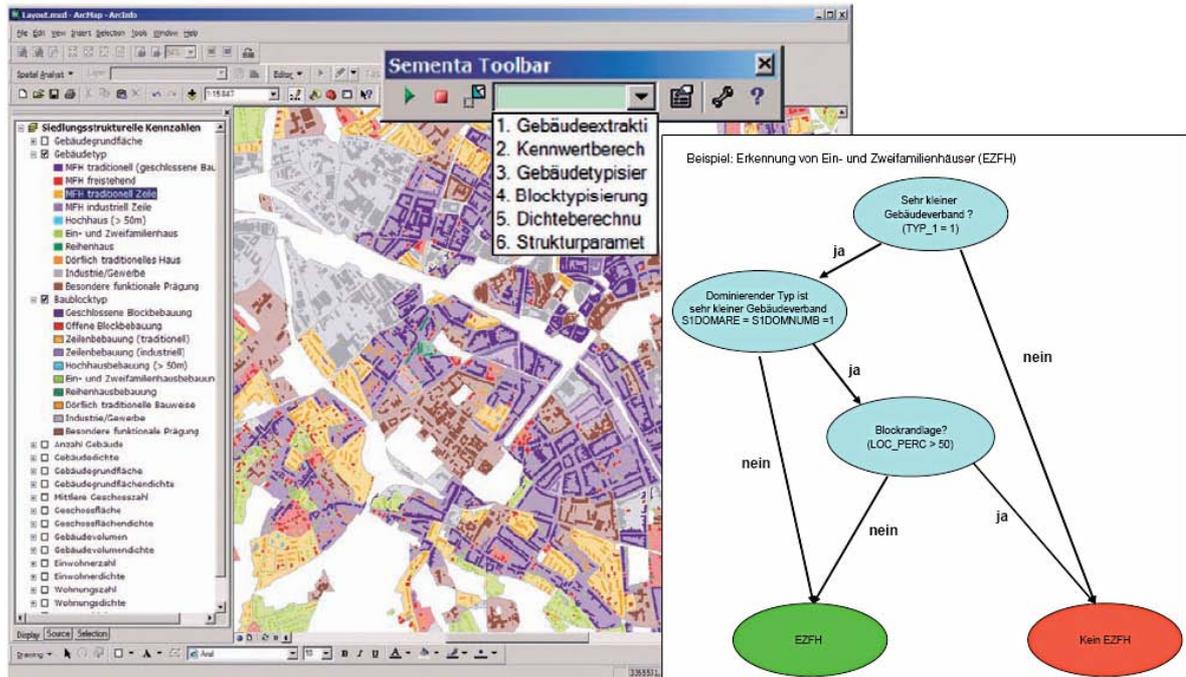


Abbildung 2: regelbasierte Klassifikation von Gebäude- und Blockstrukturtypen  
(Quelle: BMVBS/BBR 2008)

Hinsichtlich der vorliegenden Problemstellung liefert der Lösungsansatz in BMVBS/BBR (2008) neben den genannten Klassifikationsmethoden und deren Vergleich einen umfassenden Überblick potentieller gebäude- und blockbezogener Kennwerte, welche die Schätzung des standortbezogenen Bevölkerungsaufkommens ermöglichen. Im Weiteren verzichten Meinel et al. in BMVBS/BBR (2008) bewusst auf den Einsatz von Satellitendaten, weil sie die Auffassung vertreten, dass die amtlich geführten Geobasisdaten zukünftig garantiert verfügbar sind und im gewählten räumlichen Maßstab geringere Fehlerquoten des Klassifikationsprozesses erzielen. Es wird außerdem sichtbar, dass die verschiedenen Dichtewerte lokal-abhängig sehr verschieden ausgeprägt sind. Die relativ geringe Fehlerquote der Einwohnerschätzung basiert auf der kleinräumigen Datenbasis der Kommunalstatistik, die hinsichtlich der Problemstellung der vorliegenden Arbeit in einer Abdeckung von Deutschland nicht zur Verfügung steht. Gleichzeitig wird deutlich, welches Fehlerpotential heterogen bestandene Baublöcke in sich tragen und dass mit dieser Bebauungsstruktur großflächig in Großstädten gerechnet werden muss. Das Schätzverfahren der Einwohnerzahlen

kann nicht direkt übernommen werden, weil es intrakommunale räumlich hoch aufgelöste Dichtereferenzwerte erfordert, die derzeit nicht verfügbar sind.

Die drei deutschen vorgestellten Forschungsarbeiten zeigen, wie gering der Spielraum bei der Auswahl einer entsprechenden Datengrundlage für Deutschland aus amtlichen Quellen ist. Vor dem Hintergrund der komplexen Einflüsse auf die intrakommunale Bevölkerungsdichte kommt in allen Fällen eine Kombination aus Geobasisdaten der Landesvermessung und Bevölkerungs- und Wohnungsbestandsdaten aus der amtlichen Statistik zum Einsatz. Verwendet werden auch Daten zum Wohnraumleerstand aus der Statistik-Quelle Mikrozensus, die bis auf der räumlichen Ebene der Landkreise vorliegt.

Zu den oben genannten restriktiven Möglichkeiten der Auswahl der Hilfsdatengrundlage gehört die Bestimmung eines Indikators als Gewichtungparameter der Disaggregation. Hier wurde in den drei Arbeiten immer mit der Geschossflächendichte operiert. Da hierzu keine amtlichen Daten vorliegen, ist das Aufstellen strukturtypenspezifischer Dichtewerte der Wohnbebauung erforderlich. Für den vorliegenden Lösungsansatz wird die Kennwertematrix aus UBA (2004) übernommen, da diese für einen Gültigkeitsbereich für Deutschland aufgestellt wurde. Diese berücksichtigt das regionale Dichtegefälle im zentralörtlichen Raum durch die Nutzung der BBR-Regionsgrundtypen (vgl. Kapitel 4.1.4).

Nach Abschluss der Literaturrecherche bleibt festzustellen, dass relevante Kennwerte und Hilfsdaten (u.a. strukturtypenspezifische Geschossflächendichten, Anteil der Wohnnutzung für verschiedene Flächennutzungen) für die Modellierung der intrakommunalen Bevölkerung in der Regel nicht vorliegen. Verfügbar sind empirische Analysen einzelner Städte oder Regionen. Empirische Auswertungen in der Abdeckung von Deutschland sind nicht verfügbar. Die wichtigsten Gründe hierfür sind aus Sicht der Autorin in der dezentralen Organisation des Einwohnermeldewesens und dem relativ hohen räumlichen Aggregationsgrad (Gemeinde- bzw. Landkreisebene) der amtlichen Bund-Länder-Statistik zu sehen.

## 3 Amtlich verfügbare Daten

### 3.1 Allgemeine Anforderungen an die Datengrundlage

Für eine Abschätzung der lokalen Bevölkerungsdichte auf Basis allgemein verfügbarer Bevölkerungszahlen auf Gemeindeebene müssen geeignete Hilfs-Geodaten und -Statistiken verwendet werden. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an die Datengrundlage (vgl. BMVBS/BBR 2008):

- **Relevanz des Sachbezuges**  
Die ausgewählten Daten sollen Hilfsinformationen bereitstellen, so dass durch deren Einsatz die lokale Bevölkerungsdichte abgeschätzt werden kann, z.B. der räumlich abgegrenzte Gebäudebestand, möglichst mit Informationen zur Gebäudenutzung
- **Konsistenz im Raum- und Zeitbezug**  
Die erforderlichen Daten werden aus getrennt erfassten Quellen akquiriert: amtliche Statistik und amtliche Geobasisdaten. Daher muss auf möglichst gleichen Raum- und Zeitbezug geachtet werden, z.B. die Verknüpfung der Bevölkerungszahl je Gemeinde mit den Gemeindegrenzen aus dem amtlichen Geobasisdatenbestand. Der konsistente Raumbezug ist die Gemeinde, der konsistente Zeitbezug ist ein gleiches Datum des jeweiligen Fortschreibungsstandes beider Datenquellen. Denn möglich sind Grenzänderungen durch eine Gebietsreform.
- **Datenqualität**  
Eine weitere Anforderung ist die Notwendigkeit einer möglichst hohen Datenqualität hinsichtlich Vollständigkeit und Richtigkeit der erfassten (Geo-) Objekte. Speziell bei den Geobasisdaten spielt auch die Qualität hinsichtlich ihrer Geometrie und Topologie (auch mit Geoobjekten aus anderen Objektklassen) eine wichtige Rolle. Mangelnde Geometrie- und Topologiegültigkeit können einen erheblichen Aufwand der Datenkorrektur verursachen, weil ansonsten inkonsistente Ergebnisse möglich sind.
- **deutschlandweite Abdeckung und möglichst zentrale Bezugsquelle**

Die Daten sollen möglichst mit deutschlandweiter Abdeckung vorliegen, um den Lösungsansatz entsprechend für das Zielgebiet Deutschland anwenden zu können. Eine zentrale Bezugsquelle der Daten erspart dem Anwender die Arbeit des Zusammenführens der Einzeldaten aus allen Bundesländern.

## **3.2 Geobasisdaten**

### **3.2.1 Zeitbezug allgemein von Geobasisdaten**

Für Geobasisdaten wird von der amtlichen Vermessung derzeit regulär keine Historie der Datenfortschreibung standardmäßig angeboten. Das hat zur Folge, dass Geobasisdaten in der Regel nicht zu einem frei wählbaren in der Vergangenheit liegenden Referenzdatum bezogen werden können. Sie sind ausschließlich zum Fortschreibungsstand der Datenanfrage erhältlich. Im Zusammenhang mit statistischen Daten stellt das ein grundsätzliches Problem dar. Die amtliche Statistik bietet alle Daten mit einem definiertem Referenzdatum an. Diese Situation bedeutet grundsätzlich, dass inkonsistente Datenbestände durch die Verknüpfung beider Quellen erstellt und ausgewertet werden.

### **3.2.2 Hauskoordinaten (Hausnummern)**

Seit Januar 2006 gehören alle Bundesländer der Gemeinschaft zur Verbreitung von Hauskoordinaten (GVHK) an. Das Land Nordrhein-Westfalen vertreten durch GEObasis NRW ist zentrale Vertriebsstelle für die Hauskoordinaten der Länder.

Eine Hauskoordinate definiert die genaue Position einer Hausadresse. Erfasst werden in der Regel am Gebäude angebrachten Hausnummern durch Vermessung vor Ort. Diese werden mit dem Liegenschaftskataster, das die Flurstücke und Gebäude amtlich führt, abgeglichen. (SCHMIDTKE 2008)

Die Hauskoordinaten werden von den Ländern aus der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) abgeleitet. GEObasis NRW gibt sie im ASCII-Format ab. Neben der Datei der Hauskoordinaten wird einer Datenlieferung standardmäßig eine Entschlüsselungsdatei zugefügt. Eine Hausnummer im angebotenen Datensatz besitzt die Merkmale: Gemeinde, Straße, Straßenschlüssel und Hausnummer, weiterhin auch einen Schlüssel der administrativen Gliederung in Deutschland. (vgl. GEOBASIS NRW 2008a)

### 3.2.3 Hausumringe

Die Hausumringe der Länder werden wie die Hauskoordinaten durch die zentrale Vertriebsstelle GEObasis NRW im Shape-Format angeboten. Die Hausumringe der Länder Sachsen, Berlin und Bremen werden in diesem Rahmen nicht angeboten.

Der sogenannte Hausumring repräsentiert einen Gebäudegrundriss. Die Hausumringe werden wie die Hauskoordinaten aus der ALK abgeleitet. Abweichend erfolgt die Erstellung in Bayern aus der Digitalen Flurkarte (DFK). Die Hausumringe basieren auf einer individuellen Vermessung vor Ort und werden durch die Katasterbehörden kontinuierlich aktualisiert. Sie besitzen im angebotenen Datensatz keine Merkmale über Gebäudekennzeichen, Gebäudefunktion, Gebäudenamen, Gebäudehöhen o.ä. (vgl. GEOBASIS NRW 2008b). Grundsätzlich fehlt für eine einheitliche Attributierung der Hausumringe ein standardisierter Objektartenkatalog der Länder im Rahmen des ALK-Konzeptes.

### 3.2.4 Flächennutzung im ATKIS Basis-DLM

Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) basiert auf dem digitalen Landschaftsmodell (Basis-DLM) mit einem Zielmaßstab von 1:5000 bis 1:25.000. ATKIS nutzt dasselbe Konzept wie die ALK und ist aus thematisch verschiedenen Folien zusammengesetzt: u.a. Siedlung, Verkehr, Vegetation, Gewässer. Der ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK) ist zwischen allen Bundesländern abgestimmt (vgl. AdV 2003). Länderspezifische Abweichungen vom ATKIS-OK bestehen im Detail aber auch. Daher empfiehlt sich die regionale Prüfung der ATKIS-Daten für die konkrete Fragestellung.

Voraussichtlich bis Ende 2009 wird die dritte Ausbaustufe des Basis-DLM deutschlandweit abgeschlossen sein, womit Verbesserungen der Qualität und Aktualität und eine inhaltliche Erweiterung erreicht sein werden. (vgl. MEINEL/KNOP 2008; S. 572)

Das ATKIS-Modell differenziert innerhalb des Objektbereiches „Siedlung (2000)“ in der Objektgruppe „baulich geprägte Fläche (2100)“ verschiedene Flächennutzungen: u.a. „Wohnbauflächen“, „Flächen gemischter Nutzung“, „Industrie- und Gewerbefläche“ und „Flächen besonderer funktionaler Prägung“. Diese Daten liegen mit deutschlandweiter Abdeckung vor. Jedoch stellen MEINEL/KNOP (2008) fest, dass in der Vergabe der Objektart innerhalb der baulich geprägten Fläche in den Ländern subjektiv verschieden ver-

fahren wird. Sichtbar wird das am länderspezifischen Verhältnis der Klassen „Wohnbaufläche“ und „Flächen gemischter Nutzung“:

	<b>Relativzahl der ATKIS-Objektarten „Wohnbaufläche“ zu „Flächen gemischter Nutzung“</b>
<b>Sachsen</b>	0,04
<b>Bundesdurchschnitt</b>	0,93
<b>Saarland</b>	7,91

*Tabelle 1: Vergleich der Häufigkeiten der ATKIS-Objektarten "Wohnbaufläche" und „Fläche gemischter Nutzung“ in den Ländern (vgl. MEINEL/KNOP 2008, S. 573)*

Demnach wurde in Sachsen die Objektart „Fläche gemischter Nutzung“ relativ häufig und im Saarland relativ selten vergeben.

Für Deutschland zentral ist das ATKIS Basis-DLM vom Geodatenzentrum, angesiedelt im Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), zu beziehen. Der bundeseinheitliche Vertrieb der ATKIS-Daten setzt jedoch eine Harmonisierung hinsichtlich Lagebezugssystem, Blattschnitt und Topologie an den Ländergrenzen voraus. Daraus ergibt sich eine zeitliche Verzögerung der Datenabgabe, die sich auf die verfügbare Datenaktualität auswirkt.

### **3.2.5 Gemeindegrenzen**

Für Deutschland zentral sind die Gemeindegrenzen als einzelner Datensatz vom Geodatenzentrum, angesiedelt im Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), zu beziehen. Alternativ sind sie auch in den ATKIS-Daten innerhalb des Objektbereiches „Gebiete (7000)“ in der Objektgruppe „Verwaltungsgebiete (7100)“ als Objektart „Verwaltungseinheit“ enthalten.

## **3.3 Statistik**

### **3.3.1 Bevölkerungsdaten**

Grundsätzlich existieren zwei amtliche Quellen für Bevölkerungsdaten: die dezentral geführten Einwohnermelderegister der Gemeinden und die amtliche Bund-Länder-Statistik „Fortschreibung des Bevölkerungsstandes“, im weiteren Text Bevölkerungsfortschreibung

(BEFO) genannt. Allgemein verfügbar sind Bevölkerungszahlen je Gemeinde aus der BEFO.

Aufgrund des Bevölkerungsstatistikgesetzes (BevStatG) werden die Einwohner je Gemeinde nach Geschlecht und Altersgruppe geführt. In der BEFO sind alle Einwohner erfasst, die in Deutschland ihren (ständigen) Wohnsitz haben, einschließlich der gemeldeten Ausländerinnen und Ausländer sowie der Staatenlosen. Die Bevölkerung wird am Ort der alleinigen bzw. Hauptwohnung gezählt (vgl. DESTATIS 2007a; S. 5). Nicht erfasst in der Bevölkerungsfortschreibung sind die Angehörigen der ausländischen Stationierungstreitkräfte sowie der ausländischen diplomatischen und konsularischen Vertretungen mit ihren Familienangehörigen.

Gegenwärtig basiert die BEFO auf den Ergebnissen der Volkszählung des Jahres 1987 (VZ87). Die jährliche Fortschreibung erfolgt unter Zuhilfenahme von Angaben über die natürliche und die räumliche Bevölkerungsbewegung aus den dezentral organisierten Einwohnermelderegistern der Gemeinden. Diese unterliegen den gesetzlichen Bestimmungen des Einwohnermeldewesens, wodurch die amtliche Bund-Länder-Statistik und auch sonstige (öffentliche) Institutionen keinen direkten Zugriff haben. Die Weitergabe an die amtliche Länder-Statistik erfolgt durch die einzelnen Gemeinden eines Bundeslandes im Rahmen der Gesetzgebung der Bevölkerungsfortschreibung. Die Basiszahlen der BEFO werden mit dem kommenden Zensus, voraussichtlich im Jahr 2011, aktualisiert.

Die BEFO führt mit Zunahme des zeitlichen Abstandes zur VZ87 einen wachsenden Fehler. Die Bevölkerungszahlen aus der BEFO und dem Melderegister für eine Gemeinde stimmen in der Regel nicht überein (vgl. DESTATIS 2007a).

Als Bevölkerungs-Datengrundlage im Rahmen dieser Arbeit liegen die BEFO für Hamburg und Schleswig-Holstein und das georeferenzierte Einwohnermelderegister für Hamburg jeweils mit dem Stand 31.12.2007 vor. Die BEFO enthält die Gesamtbevölkerung je Gemeinde. Die Daten des Einwohnermelderegisters enthalten neben der georeferenzierten Adresse die zugehörige Anzahl der Einwohner nach Haupt- oder alleinigem Wohnsitz und nach Nebenwohnsitz. Das georeferenzierte Einwohnermelderegister für Hamburg dient als Referenzdatensatz zur Ermittlung eines Schätzfehlers für den Modellansatz.

### 3.3.2 Gebäude- und Wohnungsstatistik

Das Programm der Bund-Länder-Statistik führt zu Zwecken der Erfassung der Wohnsituation in Deutschland u.a. die „Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes“, im weiteren Text Wohnungsfortschreibung (WOFO) genannt.

Die Basis der WOFO bildet die Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ), die zuletzt im Rahmen der VZ87 als Vollerhebung durchgeführt wurde. Die WOFO erfolgt jährlich mit den Zu- und Abgängen an Gebäuden und deren wohnrelevanten Merkmalen, die durch die „Bautätigkeitsstatistik“ erfasst werden. Die Fachstatistik geht mit zunehmendem zeitlichem Abstand von der letzten Vollerhebung von einer wachsenden Fehlerquote der Statistik aus (vgl. DESTATIS 2000; S. 16). Die Basiszahlen der WOFO werden mit dem kommenden Zensus, voraussichtlich im Jahr 2011, aktualisiert.

Die WOFO liefert Merkmale für alle Gebäude mit Wohnnutzung (Wohngebäude und Nichtwohngebäude) einer Gemeinde. Dabei dienen Wohngebäude zu mindestens 50 % Wohnzwecken, gemessen an der Gesamtnutzfläche des Gebäudes. Nichtwohngebäude besitzen einen Wohnnutzungsanteil von weniger als 50 % gemessen an der Nutzfläche des Gebäudes und mindestens eine zu Wohnzwecken genutzte Wohnung. (vgl. DESTATIS 2000; S. 15)

Die relevanten Merkmale sind die Wohnfläche insgesamt in m<sup>2</sup>, darunter Wohnfläche in Wohngebäuden und Wohnfläche in Nichtwohngebäuden. Die Wohnfläche in Wohngebäuden ist außerdem tiefer gegliedert. Es wird Wohnfläche in Einfamilien-, Doppel-, und Mehrfamilienhäusern angegeben.

### 3.4 Zusammenfassender Überblick der Datengrundlage

	<i>Kapitel</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Bezugsquelle</i>	
<b>Geobasisdaten</b>	3.2.2	Hauskoordinaten	GEObasis.nrw, Land NRW	z
	3.2.3	Hausumringe	GEObasis.nrw, Land NRW	z
	3.2.4	ATKIS-Basis DLM	Geodatenzentrum, BKG	z
	3.2.5	Gemeindegrenzen	Geodatenzentrum, BKG	z
<b>Statistik</b>	3.3.1	Bevölkerungsfortschreibung	Stat. Bundesamt Deutschland	z
	3.3.2	Wohnungsfortschreibung	Stat. Bundesamt Deutschland	z

z = zentral für Deutschland verfügbar

Tabelle 2: Datengrundlage des Lösungsansatzes

## 4 Grundlagen der methodischen Vorgehensweise

### 4.1 Theoretische Einführung

#### 4.1.1 Bevölkerung in Gemeinden

Als Bevölkerung wird allgemein die Summe der Einwohner eines definierten Gebietes zu einem genauen Zeitpunkt bezeichnet. Dabei kann die Definition eines Einwohners in Abhängigkeit der Datenquelle verschieden gefasst werden, z.B. bedeuten:

Wohnberechtigte Bevölkerung: alle Einwohner, die mit Haupt- oder mit Nebenwohnsitz am maßgebenden Ort gemeldet sind; oder

Bevölkerung am Ort der Hauptwohnung: alle Einwohner, die mit Haupt- oder alleinigen Wohnsitz am maßgebenden Ort gemeldet sind. (vgl. BÄHR 2004, S. 27)

Daraus können sich differierende Bevölkerungsangaben für dieselbe Gemeinde ergeben. Es wird deutlich, dass zur Bestimmung des Bevölkerungsbegriffes die Definition der hier herangezogenen Datenquelle übernommen werden muss.

Dieser Arbeit wird die amtliche Bevölkerungsstatistik nach Gemeinden zu Grunde gelegt: zur Bevölkerung gehören alle Personen, die in Deutschland ihren (ständigen) Wohnsitz haben, einschließlich der gemeldeten Ausländerrinnen und Ausländer sowie die Staatenlosen. Die Bevölkerung wird am Ort der alleinigen bzw. Hauptwohnung gezählt (vgl. DESTATIS 2007a, S. 5). Die Details zur Datenquelle finden sich in Kapitel 3.3.1.

Die Gemeinden in Deutschland sind Gebietskörperschaften des öffentlichen Rechts. Sie bilden die kleinste politisch-administrative Einheit. Hinsichtlich der amtlichen Bevölkerungsstatistik in Deutschland stellt die Gemeinde die kleinste Raumbezugsebene dar, mit der die Bevölkerungszahlen erhoben werden.

### 4.1.2 Räumliche Bevölkerungsverteilung und Bevölkerungsdichte

Die Begriffe Bevölkerungsverteilung und Bevölkerungsdichte sind verschiedene Merkmale von Bevölkerung im Raum und als solche eng miteinander verflochten. Während die Bevölkerungsverteilung allgemein die horizontale Streuung von Bevölkerung in der Fläche betrachtet, befasst sich die Dichte mit der Relation der Anzahl von Menschen auf einer definierten Fläche. BOUSTEDT (1975a) sprach auch von der vertikalen „Belastung“ des Raumes durch die Zahl der in ihm wohnhaften Menschen.

Die Bevölkerungsverteilung umfasst zwei Aspekte: einmal visualisiert sie, wo innerhalb eines Untersuchungsgebietes Bevölkerung vorhanden ist bzw. die Abgrenzung ihrer Verteilung. Dabei ergeben sich räumliche Muster der Streuung von Bevölkerung. BÄHR (2004) nennt vier Grundformen räumlicher Bevölkerungsverteilungen:

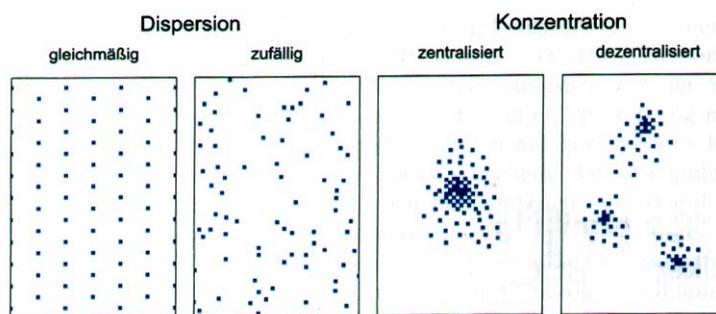


Abbildung 3: Grundformen räumlicher Bevölkerungsverteilung (Quelle: BÄHR 2004; S. 28)

Die Messpunkte repräsentieren absolute Bevölkerungseinheiten. Die Bevölkerung ist meist nicht gleichmäßig im Raum verteilt. Die Ausprägungen der Verteilungsmuster sind der zweite Aspekt der Bevölkerungsverteilung. Sie können hinsichtlich Distanz und Stärke der Dispersion oder Konzentration mittels spezifischer Kennzahlen beschrieben werden (vgl. BOUSTEDT 1975a, S. 73 f.). Diese sollen hier in ihrer Definition nicht behandelt werden, weil die Ausprägungen der Verteilungsmuster keine Relevanz für den gewählten Lösungsansatz besitzen. Die Bevölkerungsverteilung als Begriff im Rahmen dieser Arbeit umfasst also die Verteilung der Gesamtbevölkerung einer Gemeinde auf ihre Teilräume.

Neben dem 'Wo' der Bevölkerung innerhalb von Gemeindegrenzen ist ein vergleichendes Maß zur Dichte der Bevölkerung erforderlich. Hierfür soll die Bevölkerungsdichte als arithmetische Dichte herangezogen werden. Sie ist ein Relativmaß und gibt die Anzahl der Einwohner pro Flächeneinheit an:

$$\text{arithmetische Dichte}(d) = \frac{\text{Bevölkerung}(B)}{\text{Fläche}(F)}. \quad (1)$$

In diesem Zusammenhang muss geklärt werden, welche räumliche Einheit als Bezugsfläche der geschätzten Bevölkerung im Lösungsansatz dienen soll (vgl. Bähr 2004, S. 28). Siehe dazu Kapitel 6.7.1, in dem diese Frage problembezogen behandelt wird. Allgemein wenig aussagekräftig ist die Angabe zur Bevölkerungsdichte, wenn sie sich auf die gesamte Gemeindefläche bezieht, weil diese tatsächlich nicht zu 100 Prozent besiedelt ist. Diese Relation verfälscht den Dichtewert in seiner absoluten Aussage besonders dann, wenn große Teile der Gemeinde nicht besiedelt sind, z.B. aufgrund naturräumlicher Gegebenheiten. Der Dichtebegriff kann präzisiert werden, indem ein Bezugsraum gewählt wird, der unmittelbar zur Bevölkerung in Relation steht (vgl. BOUSTEDT 1975a). KNAUS (1981) spricht auch von der Zunahme des Homogenitätsgrades des Raumbegriffes, z.B. ausgehend von der besiedelten Fläche hin zur Wohnfläche.

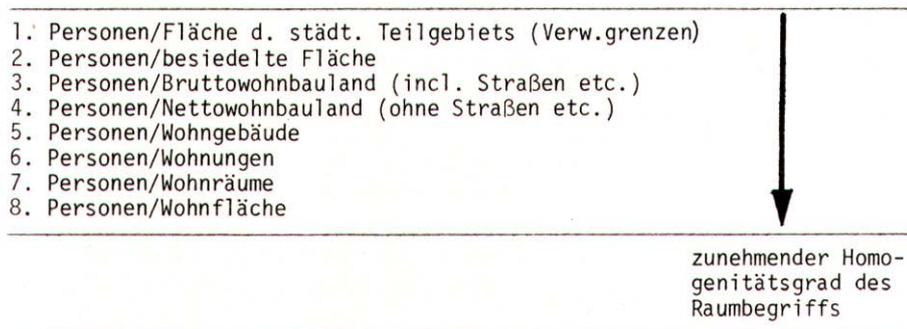


Abbildung 4: Raumbegriff und Bevölkerungsdichte von Siedlungsteilflächen

Die Bevölkerungsdichte ist als arithmetische Dichte ein wichtiges Strukturmerkmal zur Kennzeichnung von Wirtschaftsräumen oder Siedlungsgebieten. Als Relativmaß ermöglicht sie den direkten Vergleich verschiedener Teilräume. (vgl. KULS/KEMPER 2002; S. 53.)

### 4.1.3 Siedlungsstruktur: räumliche Organisation der Gesellschaft

Die Siedlungsstrukturen bilden die räumliche Organisation einer Gesellschaft ab. Sie entstanden und entwickeln sich fort durch die geographisch herrschenden ökonomischen, politischen und gesellschaftlichen Verhältnisse. Wie die folgende Grafik verdeutlicht, besteht eine Interdependenz zwischen der menschlichen Aktivität im Raum und den bestehenden Siedlungsstrukturen.

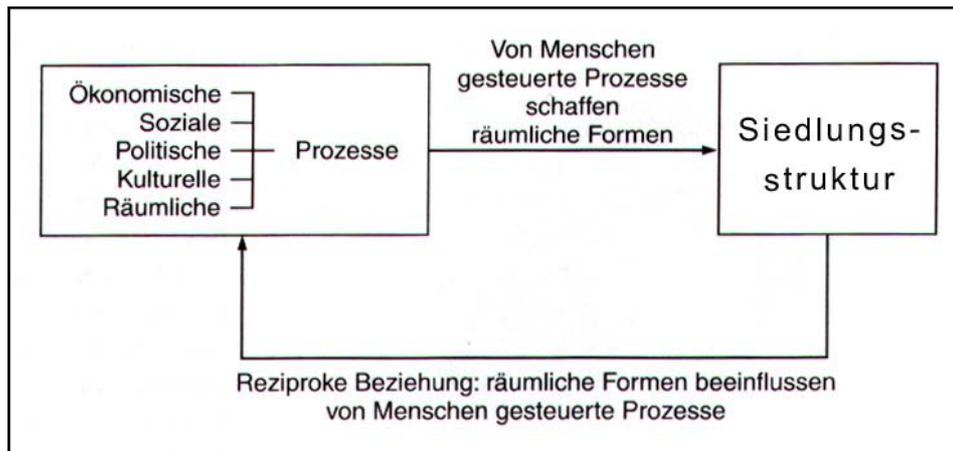


Abbildung 5: Interdependenz von Mensch und Siedlungsstruktur, Quelle: vgl. DICKEN/LLOYD (1990); S. 17, eigene Bearbeitung

Die räumliche Organisation einer Gesellschaft dient ursprünglich der Befriedigung der Daseinsgrundfunktionen der Bevölkerung (vgl. BOUSTEDT 1975b, S. 17). Das schließt die Siedlung als Ort des Wohnens und des Arbeitens sowie weiterer sozialer Daseinsgrundfunktionen ein (vgl. PARTSCH 1970). In der Vergangenheit haben sich dadurch charakteristische Formen von Siedlungsstrukturen herausgebildet: urbane und ländliche Räume. KULS/KEMPER (2002) stellen fest, dass im Zuge der Industrialisierung für die überwiegende Mehrzahl aller Menschen ihre räumliche Verteilung in enger Beziehung zur räumlichen Verteilung der verfügbaren Unterhaltsquellen steht. Aufgrund der anhaltenden Differenzierung und Spezialisierung wirtschaftlicher Tätigkeiten in Industrieländern wird dabei eine ausgeprägte Tendenz zur Konzentration von immer größeren Bevölkerungssteilen eines Landes beobachtet. Der Gegensatz zwischen Gebieten hoher Bevölkerungsverdichtung und relativ dünn besiedelten Räumen hat sich in den letzten 100 Jahren deutlich verstärkt. Die Konzentration endet jedoch nicht an politischen Stadtgrenzen. Vielmehr entwickeln sich Agglomerationsräume in denen ursprünglich stadtfunktionale Flächennutzungen (z.B. Handwerk, Wohnen) vor die Stadtgrenzen verlagert werden und das Umland urbanisieren. Räumlich entsteht so das Stadt-Land-Kontinuum, das in den Industrieländern weitgehend den vormals gegebenen Stadt-Land-Gegensatz abgelöst hat (vgl. PAHL 1966).

Im folgenden Kapitel werden hinsichtlich der Problemstellung geeignete Ansätze zur Klassifizierung der Siedlungsstruktur einer Gemeinde dargestellt.

#### 4.1.4 Siedlungsstrukturelle Gemeindeklassifikation

Die Identifizierung von städtischen und ländlichen Strukturen ist ein erster Indikator für die Erfassung der jeweils spezifischen Charakteristik der (Wohn-)Bebauung und deren Nutzung für die Bewertung und Gewichtung der kleinräumigen Bevölkerungsdichte.

Eine Differenzierung und Bestimmung urbaner und ländlicher Siedlungsformen kann durch unterschiedliche Aspekte erfolgen, z.B. durch die Einwohneranzahl, oder anhand der Funktionen einer Siedlung im System der zentralen Orte, gemessen an seiner infrastrukturellen Ausstattung und den Beziehungen zu benachbarten Siedlungsräumen. (vgl. KULS/KEMPER 2002; S. 101)

Die amtliche Statistik zieht zur Abgrenzung der „Stadt“ gegen den „ländlichen Raum“ das Kriterium der Einwohnerzahl für definierte Gemeindegrößenklassen heran. Nach der verbalen Klassifikation wird als Stadt eine Gemeinde mit mindestens 2000 Einwohnern bezeichnet.

<b>Bezeichnung der Siedlungseinheit</b>	<b>Größenklasse der Einwohnerzahl</b>
<b>Großstädte</b>	über 100000
<b>Mittelstädte</b>	20000 bis unter 100000
<b>Kleinstadt</b>	10000 bis unter 20000
<b>Ländliche Kleinstadt</b>	5000 bis unter 10000
<b>Landstadt</b>	2000 bis unter 5000
<b>Landgemeinde</b>	unter 2000

Tabelle 3: Siedlungskategorien der amtlichen Statistik nach Einwohnerzahl,  
(ESENWEIN-ROTHE/HESS 1972; S. 97)

Setzt man die Klassifikation aus Tabelle 3 in Beziehung zur Aussage von PAHL (1966) (vgl. Kapitel 4.1.3) über das Stadt-Land-Kontinuum, kann die Siedlungseinheit „Kleinstadt“ als kleinster Gemeindeverband mit urbaner Charakteristik (ein höheres Maß an Bedeutungsüberschuss für das Umland) bezeichnet werden.

Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) hat eine gemeindebezogene Klassifizierung aufgestellt, die auf der Bevölkerungsdichte und der Gemeindegröße bzw. der

zentralörtlichen Funktion der Kerne von Regionen basiert (vgl. BBR 2007). Die differenzierten Gemeindetypen sind als folgende Regionsgrundtypen zusammengefasst:

- „Agglomerationsräume“
- „verstädterte Räume“
- „ländliche Räume“



Abbildung 6: Siedlungsstrukturelle Gebietstypen (BBR 2007)

Hinsichtlich der Problemstellung dienen die vorgestellten Gemeindeglassifikationen allgemein dazu, Gemeinden nach definierten Kriterien zu gruppieren, um für diese Klassen abstrahierende Modellprämissen aufzustellen.

Die Regionsgrundtypen liegen auf der Basis des amtlichen Gemeindeglassifiers (AGS) als Tabelle vor und können somit direkt auf die Gemeindegdaten der Datengrundlage übertragen werden (vgl. BBR 2007).

#### 4.1.5 Flächennutzung: funktionale Differenzierung des Raumes

Ein Gemeindegebiet ist in Teilflächen mit jeweils bestimmter Nutzung aufgeteilt. Das Vorhandensein von Bevölkerung auf einigen dieser Teilflächen setzt die Wohnnutzung voraus. Dabei kann auf einer Teilfläche nur die Nutzungsart Wohnen gegeben sein, häufig

ist sie aber auch mit anderen Nutzungen, z.B. Handel oder Gewerbe gemischt. Die Allokation von wirtschaftlichen Nutzungen an bestimmten Standorten wird von dem Resultat der konkurrierenden Nutzungsprüche an eine Grundstücksfläche bestimmt, das sich temporal immer wieder ändern kann. In der Regel wird sich an einem Standort die Nutzungsart durchsetzen, mit der auf der Fläche die höchste Grundrente erzielt wird. Dieses Marktprinzip wird als Grundrentenmechanismus bezeichnet (vgl. AREND 1981).

Die kommunalen Bauämter verfügen über die Instrumente Flächennutzungs- und Bauleitplan, um dieses Marktprinzip im Sinne der Leitvorstellungen der städtebaulichen Entwicklung zu lenken.

Der Grundrentenmechanismus führt prinzipiell zur Spezialisierung des Raumes und kann homogene Areale einer Nutzung hervorbringen. In Großstädten ist dadurch meist im Stadtzentrum ein „Bevölkerungskrater“ zu beobachten, der durch die Verdrängung der Wohnung zu Gunsten von Handel und Dienstleistung entsteht. (vgl. AREND 1981)

Grundsätzlich ist die lokale Flächennutzung ein wichtiger Indikator, um zu entscheiden, auf welchen Teilflächen einer Gemeinde Bevölkerung im Prozess der Disaggregation verortet wird. Eine entsprechende Datengrundlage in der Abdeckung von Deutschland besteht durch das ATKIS der amtlichen Vermessung, das Informationen zur Flächennutzung speichert (vgl. Kapitel 3.2.4).

#### **4.1.6 Städtebauliche Dichte**

Die städtebauliche Dichte wirkt sich maßgeblich auf die standörtliche Bevölkerungsdichte aus. Im Prozess der Bauleitplanung als amtliches Planungswerkzeug des Baugesetzbuches (BauGB) wird u.a. die Intensität bzw. das Maß der baulichen Nutzung für verschiedene Typen von Baugebieten festgelegt (siehe Tabelle 4). Dazu existieren Dichte-Kenngrößen, die in der Baunutzungsverordnung (BauNVO) des BauGB zur Anwendung kommen. Sie besitzen je nach Baugebietstyp rechtlich zulässige Wertebereiche der horizontalen und vertikalen Überbauungsdichte bezogen auf das Bebauungsgrundstück (siehe Tabelle 4).

Aus dem realisierten Maß der baulichen Nutzung können Informationen über die kleinräumige Siedlungsstruktur einer Gemeinde gewonnen werden. Deshalb sollen die folgenden Kenngrößen der Bauleitplanung in den Lösungsansatz Eingang finden:

Die Grundflächendichte gibt an, wie viel Quadratmeter je Quadratmeter Grundstücksfläche überbaut sind. Die Grundflächenzahl (GRZ) setzt die Obergrenze der Grundflächendichte in der BauNVO fest.

Die Geschossflächendichte gibt an, wie viel Quadratmeter Geschossfläche je Quadratmeter Grundstücksfläche vorhanden sind. Die Geschossflächenzahl (GFZ) setzt die Obergrenze in der BauNVO der Geschossflächendichte fest.

Ein Grundstück, auf welches sich die Dichtekennzahlen GRZ und GFZ beziehen, ist als das Netto(-wohn)bauland (NBL) aufzufassen. Das Brutto(-wohn)bauland (BBL) enthält auch die Flächen, die der infrastrukturellen Versorgung des Nettobaulandes und generell des Gemeinwesens dienen. Um von dem Bruttobauland auf das Netto(wohn)bauland schließen zu können, wird ein Umrechnungsfaktor benötigt. Dieser hängt im Einzelnen von der Einwohnerzahl und der Bebauungsweise im Plangebiet ab (vgl. ENGELKE 2007; S. 17). Für eine mögliche Verallgemeinerung wiederholen sich in der Literatur der Fachpraxis folgende Umrechnungsfaktoren (vgl. HEBERLING 2008):

$$NBL_{Stadt} = 0,75 * BBL \quad (2)$$

$$NBL_{Land} = 0,80 * BBL \quad (3)$$

Tabelle 4 lässt erkennen, dass die Festsetzung des Maßes der baulichen Nutzung der städtebaulichen Entwicklung von Baugebietstypen mit unterschiedlicher Nutzung dient. Hinsichtlich der Wohnnutzung bestehen reine Wohnbauflächen und Gemischte Bauflächen. Zu den reinen Wohnbauflächen zählen das Kleinsiedlungsgebiet (WS), das reine Wohngebiet (WR), das allgemeine Wohngebiet (WA) und das besondere Wohngebiete (WB). Zu den Bauflächen gemischter Nutzung gehören das Dorfgebiet (MD), das Mischgebiet (MI) und das Kerngebiet (MK).

<b>Typ Baugebiet</b>	<b>GRZ max.</b>	<b>GFZ max.</b>	<b>zulässige Nutzung nach BauNVO*</b>
<b>Kleinsiedlungsgebiet (WS)</b>	0,2	0,4	Wohnnutzung: mit Nutzgärten und landwirtschaftlichen Nebenerwerbsstellen Versorgungsfunktion: Läden, Gastronomie und nicht störenden Handwerksbetriebe
<b>Reines Wohngebiet (WR)</b>	0,4	1,2	Hauptsächlich Wohnnutzung
<b>Allgemeines Wohngebiet (WA)</b> <b>Besonderes Wohngebiet (WB)</b>	0,6	1,6	Wohnnutzung Versorgungsfunktion: Läden, Gastronomie und nicht störenden Handwerksbetriebe, Kultur, Gesundheit, Sport
<b>Dorfgebiet (MD)</b>	0,6	1,2	Kleinsiedlungen, sonstige Wohnnutzung, Wirtschaftsstellen land- und forstwirtschaftlicher Betriebe, nicht störende Gewerbebetriebe Versorgungsfunktion: Läden, Gastronomie und nicht störenden Handwerksbetriebe, Kultur, Gesundheit, Sport
<b>Mischgebiet (MI)</b>	0,6	1,2	Wohnnutzung, Versorgungsfunktion: Läden, Gastronomie und nicht störenden Handwerksbetriebe, Kultur, Gesundheit, Sport, Gewerbebetriebe
<b>Kerngebiet (MK)</b>	1,0	3,0	Hauptsächlich zentrale Versorgungsfunktion, Wohnnutzung im geringen Umfang
<b>Gewerbegebiet (GE)</b>	0,8	2,4	Generell keine Wohnnutzung
<b>Industriegebiet (GI)</b>		2,4	Generell keine Wohnnutzung

Tabelle 4: Obergrenzen des Maßes der baulichen Nutzung nach Baugebietstypen (BauNVO §17), \*ausnahmsweise zulässige Nutzungen sind nicht aufgeführt

Die folgende Abbildung 7 visualisiert beispielhaft die Baugebietstypen aus Tabelle 4.

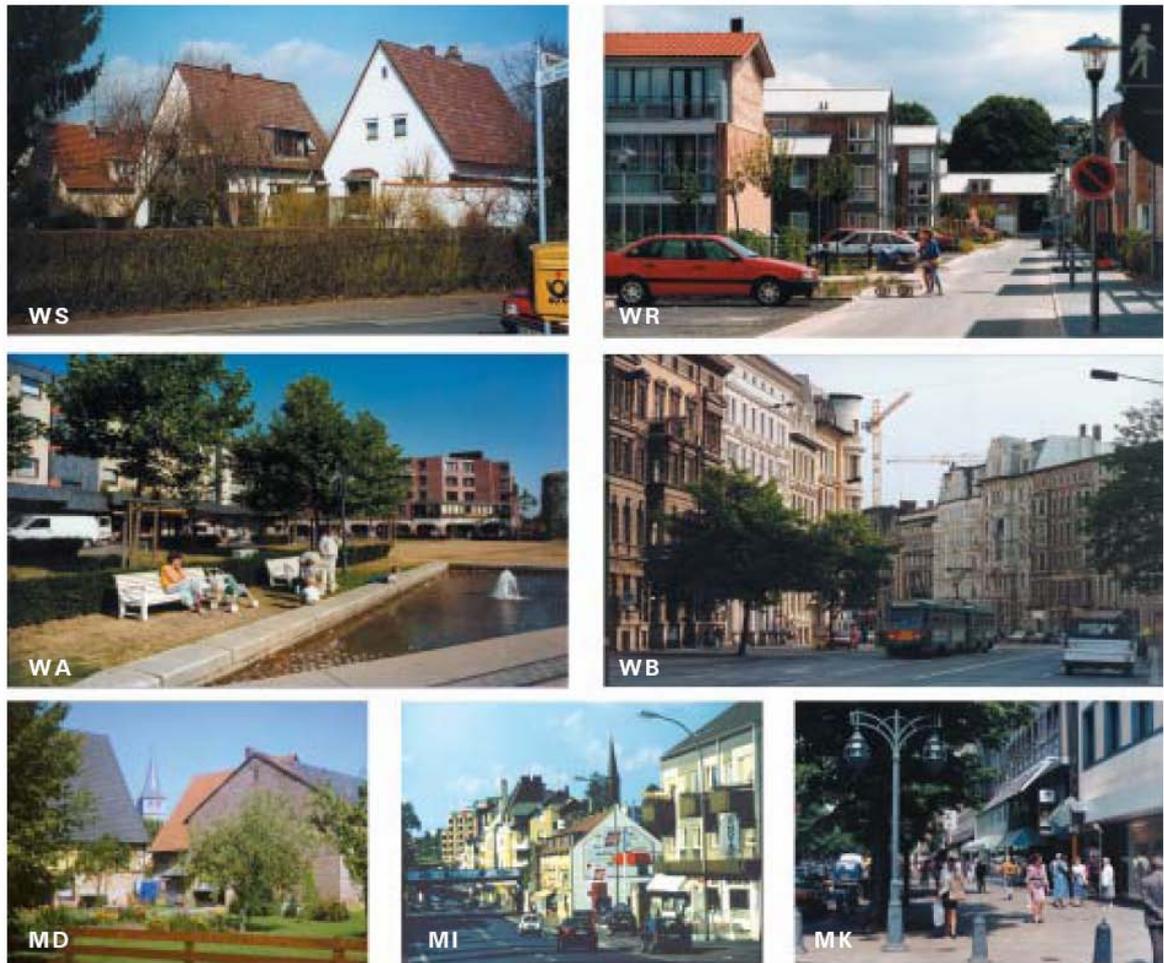


Abbildung 7: beispielhafte Bebauung der Baugebietstypen aus der BauNVO (BBR 2000, S.29)

#### 4.1.7 Clarks Modell der städtischen Bevölkerungsdichte

Innerstädtische Bevölkerungsdichten folgen einem stadtspezifischen Kern-Rand-Gefälle. In den zentral gelegenen Stadtteilen am Rande des Stadtzentrums erreicht die Bevölkerungsdichte Höchstwerte. In Richtung des Stadtrandes verläuft die Dichtekurve in Abhängigkeit der Stadtgröße mehr oder weniger steil abwärts. CLARK (1951) hat nach der Untersuchung von 36 Städten die Bevölkerungsdichte als negativ exponentielle Funktion der Distanz zum Stadtzentrum beschrieben:

$$d_x = d_0 \cdot e^{-bx} \quad (4)$$

wobei:  $d_x$  = Bevölkerungsdichte in der Distanz  $x$  vom Stadtzentrum

$d_0$  = (unbekannte extrapolierte) Bevölkerungsdichte im Stadtzentrum

$b$  = Dichtegradient

$e$  = Eulersche Zahl (Basis des natürlichen Logarithmus)

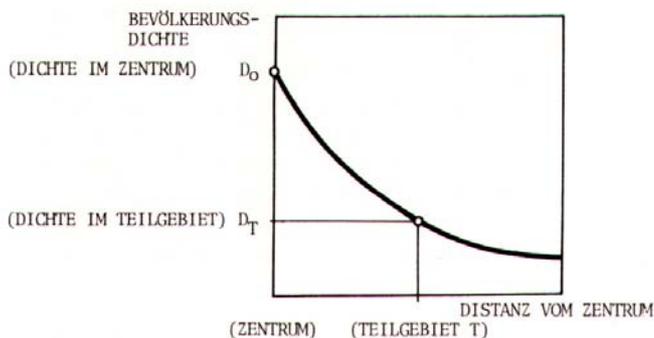


Abbildung 8: Dichtegradient der städtischen Bevölkerung (KNAUS (1981); S. 37)

#### 4.1.8 Beschreibung und Messung der städtebaulichen Gebäudetypologie

##### Bebauungsformen und -dichte von Wohngebäuden

Hinsichtlich der Problemstellung ist die jeweilige Bebauungsform eines (Wohn-)Gebäudes ein wichtiger Indikator zur Quantifizierung der Wohnfläche. Bebauungsformen von Wohngebäuden wurden für Deutschland in verschiedenen Systematiken typisiert (z.B. BMVBS/BBR (2006) oder IWU (2003)). Im Hinblick auf die Problemstellung eignet sich die Systematik von UBA (2004). Darin werden differenziert nach städtebaulicher Dichte sieben idealtypische Bebauungsformen (Bebauungsleittypen) identifiziert (vgl. Abbildung 9).

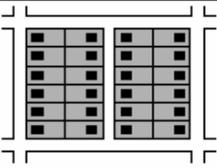
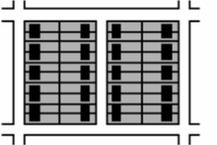
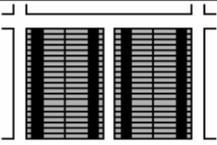
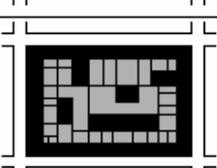
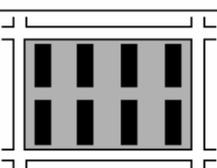
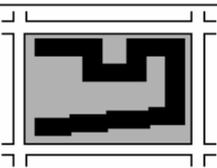
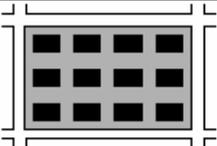
Leittyp der Bebauung	Abk.	Erscheinungsform
Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser	EFB-1	
Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhäuser	EFB-2	
Ein- und Zweifamilienhäuser in Reihenhaus- und Gartenhofbauweise	EFB-3	
Verdichtete Blockstrukturen	MFB-1	
Zeilenstrukturen	MFB-2	
Geschosswohnungsbau in offener Baustruktur	MFB-3	
Aufgelockerte Blockstrukturen	MFB-4	

Abbildung 9: Bebauungsformen der Wohnbebauung in Deutschland,  
Quelle: UBA (2004), S. 26, verändert

Der regionale bauliche Nutzungsdruck ist sehr unterschiedlich und abhängig von der konkreten Lage im System der zentralen Orte. Dieser Aspekt wurde in Kapitel 4.1.4 beleuchtet. Vor diesem Hintergrund haben die Autoren in UBA (2004) auf der Basis von mittleren Wohnungsdichten je Landkreis, aus Literaturangaben und aus eigener Fachkompetenz differenzierte Kennwerte für Geschossflächendichte aufgestellt mit einem Gültigkeitsbereich für das Gebiet Deutschland. Diese ergeben sich aus einer Matrix des BBR-Regionsgrundtypen (vgl. Kapitel 4.1.4) und den Bebauungsleittypen (vgl. Tabelle 5).

Raumtypen (Kürzel)	Geschossflächendichte der Bebauungsleittypen						
	EFB-1	EFB-2	EFB-3	MFB-1	MFB-2	MFB-3	MFB-4
Kernstädte (I)	0,30	0,50	0,70	2,50	1,30	1,50	1,20
Erweiterter suburbaner Raum (II)	0,20	0,30	0,50	1,70	1,10	1,20	0,70
Ländlicher Raum (III)	0,15	0,30	0,40	1,20	0,60	0,80	0,50

Tabelle 5: Geschossflächendichte und regionale Dichtegefälle (UBA (2004))

### Kennwerte der Grundfläche von Wohngebäuden

Im Zusammenhang mit der Ermittlung des Energiesparpotentials durch Wärmeschutzmaßnahmen hat das Institut Wohnen und Umwelt (IWU) in Darmstadt den deutschen Gebäudebestand nach Baualter und Gebäudegröße bzw. Gebäudetyp in 44 Klassen eingeteilt (vgl. IWU 2003). Jede Klasse wird durch diverse energierelevante Kenngrößen beschrieben. Im Hinblick auf die Problemstellung ist in diesem Standardwerk für Gebäudeenergieberater die Netto-Gebäudegrundfläche von Interesse. Die Werte basieren auf Stichprobenerhebungen und deren Hochrechnungen unter Auswertung der amtlichen Statistik zum Wohngebäudebestand (vgl. IWU 2008).

Die Grundflächen je Gebäudetypen nach IWU, die Baualtersklassen wurden entsprechend zusammengefasst, weisen deutlich eine Charakteristik auf, wie folgende Grafik veranschaulicht.

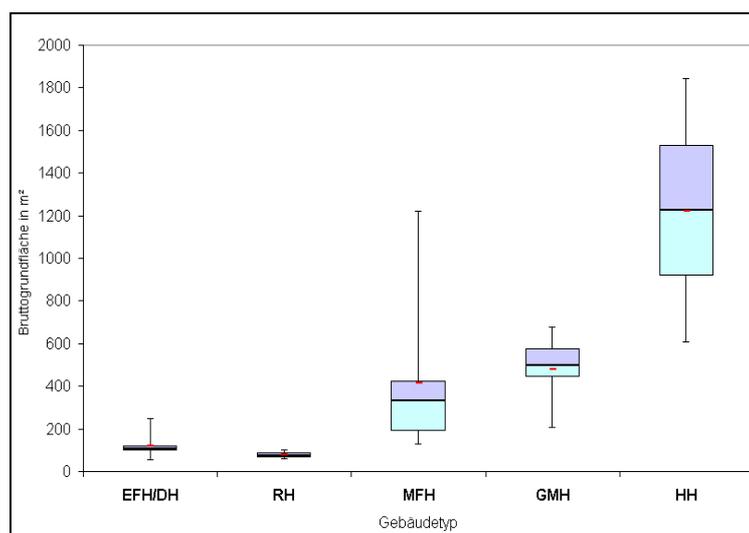


Abbildung 10: Bruttogrundfläche deutscher Wohngebäude nach Gebäudetyp  
 Datenquelle: IWU (2003), Umrechnung in Bruttogrundfläche:  
 Faktor=1,25 (vgl. MÜLLER/KORDA 1999, S. 117)

## **4.2 Methodische Aspekte des Lösungsansatzes**

### **4.2.1 Modellentwicklung**

Die Modellentwicklung hat die Abstraktion und Beschreibung der realen Welt oder eines Teiles davon zum Ziel. Real komplexe Wirkungsgefüge werden reduziert. Dabei sind die wesentlichen Modellparameter zu identifizieren.

Die Modellentwicklung wird schrittweise vollzogen. In Abhängigkeit von der Zielsetzung werden messbare Parameter des Systems identifiziert, die geeignet sind, die Bevölkerungsdichte kleinräumig zu beschreiben. Das setzt ein Mindestmaß an Kenntnissen über die Wirkungszusammenhänge voraus. Darauf aufbauend können die identifizierten Modellparameter in einen funktionalen Zusammenhang gesetzt werden, der genutzt wird, die Bevölkerungsdichte kleinräumig zu modellieren. (vgl. KASTENS/KLEINE BÜNING 2008, S. 16 ff.)

### **4.2.2 Disaggregation**

Die Methodik der Disaggregation kann prinzipiell als Umkehrprozess der Aggregation von raumbezogenen Daten angesehen werden. Dabei sollen regionalisierte aggregierte Daten unter Einsatz definierter funktionaler Zusammenhänge zwischen der räumlich zu differenzierenden Größe, hier Bevölkerungsdaten, und verfügbaren Hilfsdaten, die räumlich in der gewünschten oder verwertbaren Raumbezugsebene vorliegen, innerhalb einer Fläche oder auf Standorte verteilt werden (vgl. STEINNOCHER et al. 2005).

Die Methode der Disaggregation kommt zum Einsatz, wenn ein Datensatz räumlich zu gering aufgelöst ist, oder wenn Daten mit unterschiedlichen Raumeinteilungen überlagert werden, wobei das Ergebnis der Disaggregation dann erlaubt, die Werte der unterschiedlichen Raumeinteilungen direkt zueinander in Beziehung zu setzen.

### **4.2.3 Statistische Datenanalyse**

Die statistische Datenanalyse im Rahmen dieser Arbeit umfasst deskriptive und explorative Methoden. Für die Durchführung werden die Programme SciDAVis und ArcInfo eingesetzt (vgl. Kapitel 4.3).

Die Methoden der deskriptiven Statistik dienen allgemein der Strukturierung und Beschreibung von Einzeldatenmaterial. Durch geeignete statistische Kenngrößen und graphi-

sche Darstellungen wird versucht, die Grundgesamtheit eines Datenbestandes im Hinblick auf die Problemstellung aussagekräftig zu charakterisieren. Dabei wird ein Verlust an Einzelinformation in Kauf genommen.

In der Arbeit kommt mehrfach der Boxplot zum Einsatz. Er visualisiert die Häufigkeitsverteilung und damit auch wichtige statistische Kenngrößen einer Datenreihe (vgl. BANKHOVER/VOGEL 2008, S. 37).

In der explorativen Datenanalyse besteht die Zielstellung in dem Auffinden von (räumlichen) Mustern und Zusammenhängen der vorliegenden Daten. Diese können der Formulierung von Modelprämissen dienlich sein (vgl. BANKHOVER/VOGEL 2008, S. 255).

Zum Einsatz kommen die Korrelationsanalyse, die Klassifikation von Einzeldaten und deren räumliche Visualisierung sowie die räumliche Trendanalyse.

#### **4.2.4 Räumliche Datenanalyse**

Die räumliche Datenanalyse umfasst Methoden zur Auswertung des Raumbezuges der zu untersuchenden Daten. Für die Durchführung wird das Programm ArcInfo eingesetzt (vgl. Kapitel 4.3).

Die Bearbeitung der Problemstellung erfolgt vor allem unter Anwendung von Overlay-Techniken. Die Voraussetzung hierfür ist die grundsätzliche Anwendung des Layer-Konzepts in Geographischen Informationssystemen (GIS), das die Geoobjekte strikt thematisch klassiert und in getrennten Layern speichert. In Overlay-Techniken werden raumbezogene Datensätze mit dem Ziel überlagert und verschnitten, die relevanten Merkmale kleinräumig differenziert zu messen, zu analysieren und auszuwerten. Dies erfolgt unter Ausnutzung der topologischen Beziehungen von Geoobjekten. Overlay-Techniken schließen in Abhängigkeit von ihrer genauen Definition räumliche Filtermethoden ein (z.B. Funktion INTERSECT in ArcInfo), indem die überlagerten Objekte unterschiedlicher Layer nicht flächendeckend präsent sind. (vgl. BARTELME 2005, S. 89ff)

Das Messen von Distanzen im GIS ist mit Hilfe des Euklidischen Abstands möglich. Er ist eine Metrik für zwei Punkte in der Ebene oder im Raum (vgl. BARTELME 2005, S. 92).

## 4.2.5 Rasteraggregation

Für die Erstellung des Bevölkerungsrasters wird die Methode der Rasteraggregation eingesetzt. Sie setzt ein geographisches Raster zur räumlichen Einteilung des Modellgebietes voraus (vgl. Kapitel 5.5) Die zu aggregierenden Daten sind räumlich durch eine Punktgeometrie repräsentiert. Durch die bestehende topologische Beziehung von Punkten zu einer Rasterzelle kann das zu aggregierende Merkmal summiert und im Ergebnis als Merkmalswert der Rasterzelle gespeichert werden (vgl. Abbildung 11).

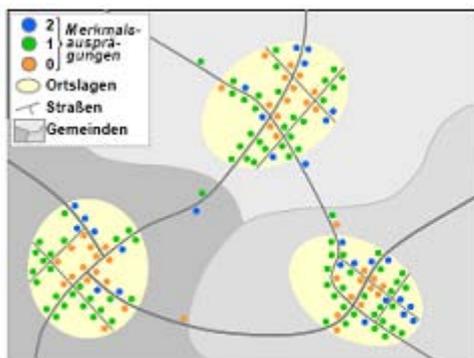


Abb. 1a: Merkmalsausprägungen von Erhebungseinheiten in einem fiktiven Landschaftsausschnitt.

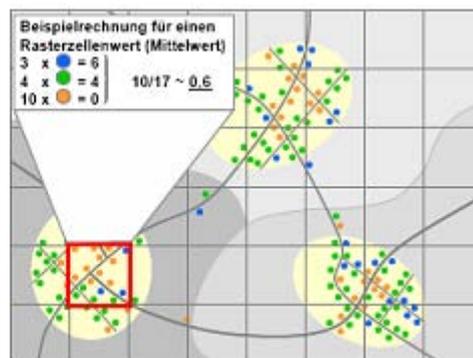


Abb. 1b: Aggregation der Merkmalsausprägungen von Erhebungseinheiten in Rasterzellen.

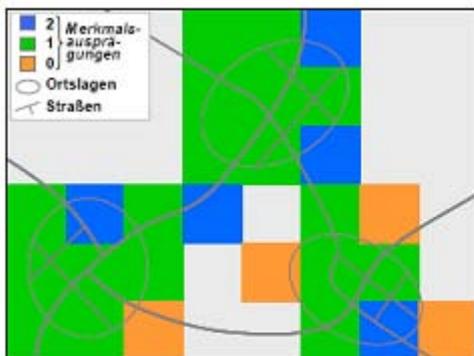


Abb. 1c: Gerundete Mittelwerte von Merkmalsausprägungen in Rasterzellen.

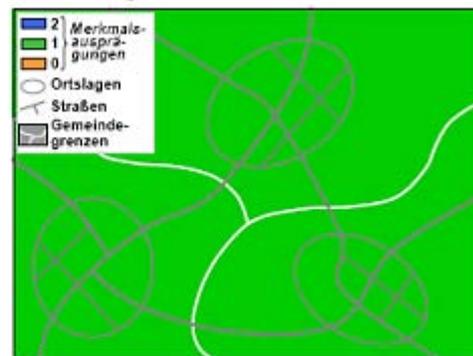


Abb. 1d: Gerundete Mittelwerte von Merkmalsausprägungen in Gemeinden.

Abbildung 11: Schematische Darstellung der Methodik der Rasteraggregation (SZIBALSKI 2006)

Die Rasteraggregation schließt die sogenannte MAUP-Problematik („Modifiable Areal Units Problem“, vgl. FORTHERINGHAM et al. 2000) ein, welche die Einflüsse der räumlichen Aggregation von Teilgebieten auf das Endergebnis umfasst (vgl. WONKA 2006, S. 66). Im Rahmen der Arbeit ist speziell der Skalierungseffekt von Bedeutung. Auf seiner theoretischen Grundlage wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, mit dem Ziel, die Rasterweite des geographischen Rasters in Abhängigkeit des Schätzfehlers und der räumlichen Auflösung der Bevölkerungsdichte festzulegen (vgl. Kapitel 7.5.1).

## **4.3 Werkzeuge**

### **4.3.1 ArcInfo und ModelBuilder**

ArcInfo, Version 9.2 ist ein Softwareprodukt der Firma ESRI und gehört zur Produktfamilie ArcGIS Desktop. Es dient allgemein der digitalen Erfassung, Speicherung, Bearbeitung, Analyse und kartographischen Präsentation. Damit ist ArcInfo 9.2 ein Vertreter der Software für Geographische Informationssysteme. Im Speziellen stellt es im Vergleich zu den anderen ArcGIS Desktop-Produkten eine maximale Anzahl räumlicher Verarbeitungswerkzeuge bereit, die alternativ in ArcEditor und ArcView teilweise durch Scripting oder Programmierung vom Nutzer erstellt werden müssen. (vgl. ESRI 2009)

ArcInfo 9.2 ist hinsichtlich des Lösungsansatzes die Software zur räumlichen Verarbeitung der Daten. Es wurden ArcInfo-spezifische Werkzeuge aufgegriffen, wodurch die Autorin auf zusätzliche Zeitaufwände für Scripting in vielen Fällen verzichten konnte. Die Verarbeitungsprozesse der einzelnen Teilmodelle wurde fast vollständig mit dem ModelBuilder implementiert.

### **4.3.2 SciDAVis**

SciDAVis, Version 0.1.3 ist eine frei lizenzierte (Open Source Lizenz: GPL) Software zur wissenschaftlichen Analyse und Präsentation von Daten. Die Benutzeroberfläche und die Organisation der Funktionalität entspricht der des kommerziellen Statistikprogramms Statistica (vgl. SciDAVis 2007). Der funktionale Umfang ist derzeit jedoch deutlich geringer.

Das Programm SciDAVis wurde zur Erstellung der Datenanalyse in Kapitel 6.3 und zur Analyse der Modellergebnisse in Kapitel 7 eingesetzt. Dies ist erforderlich, weil das GIS-Programm ArcInfo hierzu und für die graphische Präsentation lediglich Basisfunktionen bereitstellt.

## **5 Modellkonzept**

### **5.1 Modellgebiet und Betrachtungsmaßstab der Arbeit**

Als zentraler Begriff der Arbeit fungiert die „kleinräumige Bevölkerungsdichte“. Die Bevölkerungsdichte als räumliches Phänomen kann allgemein auf verschiedenen räumlichen Maßstabsskalen betrachtet werden: makroskalig, mesoskalig, mikroskalig (vgl. BOUSTEDT 1975c, S. 144 ff.). Diese beeinflussen die Lagegenauigkeit der geschätzten Bevölkerungszahlen respektive ihre räumliche Auflösung. Die räumliche Betrachtungsebene behandelt die Frage, für welchen Flächenbezug die Bevölkerungszahl angegeben wird. Da die Zielstellung der Arbeit darin besteht, gegebene Bevölkerungszahlen je Gemeinde innerhalb ihrer Grenzen als Bevölkerungsanteile zu georeferenzieren, bewegt sich die Arbeit auf der meso- bis mikroskaligen Betrachtungsebene. Bezogen auf reale Umweltobjekte bedeutet das, die Bevölkerungszahlen beispielsweise für intrakommunal abgegrenzte Flächen (z.B. nach ihrer Nutzungsart) oder für Gebäudegrundflächen zu berechnen (vgl. Kapitel 4.1.2).

Das Modellgebiet des vorliegenden Lösungsansatzes umfasst Deutschland. Damit sind die meso- bis mikroskaligen Dichteverhältnisse der Bevölkerung in Deutschland von Interesse.

### **5.2 Testgebiet der Modellentwicklung und -anwendung**

Als Testgebiete dienen die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg. Die Methode soll als Lösungsansatz auf alle Bundesländer prinzipiell übertragbar sein.

Die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg als räumliche Testumgebung eignen sich sehr gut, um die regional stark schwankenden Bevölkerungsdichten in Deutschland zu repräsentieren. Während Hamburg ein typischer Vertreter von Kerngebieten ist, umfasst Schleswig-Holstein als Flächenland alle weiteren charakteristischen Regionen wie sie vom BBR als Regionsgrundtypen beschrieben wurden (vgl. Kapitel 4.1.4).

### **5.3 Untersuchungsobjekt und Auswahl der Hilfsdaten**

Die kleinräumige Bevölkerungsdichte ist das sich permanent ändernde Resultat komplexer sozioökonomischer Prozesse, die von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Der Anspruch dieser Arbeit ist nicht, die Determinanten der kleinräumigen Bevölkerungsdichte

umfassend darzustellen. Damit haben sich beispielsweise AREND (1981) und KNAUS (1981) intensiv befasst.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Modellierung der kleinräumigen Bevölkerungsdichte mit statischem Zeitbezug. Es soll ein Lösungsansatz geschaffen werden, der in Annäherung an die realen Verhältnisse das Phänomen kleinräumig abbildet. Der Lösungsansatz bietet damit eine Möglichkeit, die Datenlücke der kleinräumigen Bevölkerungsdichte in Deutschland mittels Schätzung zu schließen.

Die Herangehensweise an die Auswahl der berücksichtigten Einflussfaktoren, repräsentiert durch die Hilfsdaten, ist von dem Ziel der Arbeit bestimmt, einen Lösungsansatz für Deutschland zu schaffen. Es ist eine entsprechende Datenverfügbarkeit vorausgesetzt, um den Lösungsansatz vom Testgebiet der Arbeit (die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg) in der Praxis auf das Gebiet von Deutschland übertragen zu können. Mit Blick auf die verfügbare amtliche Datengrundlage aus Kapitel 3 und auf die Zielstellung der Arbeit kann das Untersuchungsobjekt Bevölkerungsdichte vor allem hinsichtlich seiner intrakommunalen Verteilung räumlich abgegrenzt werden. Die unterschiedlichen Dichteverhältnisse schlagen sich vor allem in der Siedlungsstruktur und der Bebauungsdichte der Gemeinden nieder. Die Berücksichtigung sozioökonomischer Merkmale ist im Hinblick auf die Determinanten der intrakommunalen Bevölkerungsdichte wünschenswert. Eine entsprechende amtliche Datengrundlage in der Abdeckung von Deutschland ist jedoch nicht verfügbar.

Als Grundlage für die quantitative Abschätzung der Bevölkerung respektive der Disaggregation von Bevölkerungsdaten werden amtliche verfügbare Gemeindezahlen eingesetzt.

#### **5.4 Modellierungsansatz**

Das Lösen der Problemstellung der Modellierung der kleinräumigen Bevölkerungsdichte besteht abstrakt aus dem Beantworten der Fragen: Wo innerhalb einer Gemeinde wird grundsätzlich Bevölkerung verortet? Durch welchen funktionalen Zusammenhang kann die Bevölkerung quantitativ am Standort beschrieben bzw. geschätzt werden? Und schließlich auf welchen Raum- bzw. Flächenbezug soll die geschätzte Bevölkerungszahl bezogen werden, um den gewünschten Wert der Bevölkerungsdichte zu erhalten.

Für die Ermittlung der bevölkerten Teilräume einer Gemeinde wird methodisch der Ansatz „Binary Method“ von Eicher/Brewer (2001) aufgegriffen, der grundsätzlich in Gemeindeteilflächen mit und ohne Bevölkerung, abgegrenzt durch die Flächennutzung (hier ATKIS-Daten), differenziert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit gehören auch die Hauskoordinaten zur Datengrundlage, wodurch die „Binary Method“ von Eicher/Brewer (2001) hinsichtlich der räumlichen Auflösung der Information über einen potentiellen Bevölkerungsstandort modifiziert wird.

Für die Ermittlung von Einwohnerzahlen wird allgemein das dichtemessende Verfahren (dasymetric mapping) als eine Methodik der Disaggregation eingesetzt. Es benötigt Hilfsdaten für die Abschätzung von unterschiedlichen lokalen Dichteverhältnissen der Bevölkerung. Dafür wird ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Bevölkerungszahl und den Hilfsdaten der Disaggregation aufgestellt. Die Funktions-Parameter ergeben sich aus der Datengrundlage (Hilfs- und Referenzdaten). Ihr Einfluss auf die lokale Bevölkerungszahl soll in Form einer Datenanalyse exploriert werden (vgl. Kapitel 6.3). Von den Einzelergebnissen der Datenanalyse wird abstrahiert, um verallgemeinerte Kennwerte für die Modellierung zu gewinnen. Dieser gesamte Modellierungsprozess stützt sich auf das Testgebiet (die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg) oder auch nur auf Teile des Testgebietes. Mangels einer Referenzdatengrundlage für Deutschland müssen die dargestellten Zusammenhänge als Prämissen für das gesamte Modellgebiet Deutschland bzw. für das gesamte Testgebiet unterstellt werden.

Die eingesetzten Parameter werden ergänzt durch Kennzahlen der Geschossflächendichte, die als globale Mittelwerte von Deutschland differenziert nach Wohngebäude- und Raumtyp vorliegen (vgl. UBA 2004 und Kapitel 4.1.8).

Als räumliche Schätzebene soll das Gebäudeobjekt fungieren, da die Kennzahlen der Geschossflächendichte auf eine Wohngebäudesystematik aufbaut. Die Hausumringe müssen deshalb vor der Schätzung der Bevölkerungszahl in die erforderlichen Bebauungsleittypen klassifiziert werden. Hierfür baut der Lösungsansatz prinzipiell auf der regelbasierten Klassifikation von Meinel et al. in BMVBS/BBR (2008) auf. Es handelt sich um ein sehr komplexes Regelwerk, dass für diesen Lösungsansatz wesentlich reduziert und modifiziert wurde.

## **5.5 Konzepte der Raumeinteilung: Vektor- und Rastermodell**

Das Modellergebnis liegt unmittelbar nach der Berechnung der Bevölkerung durch Disaggregat je Gebäude vor. Diese elementare Datenstruktur soll in eine flächenbezogene aggregierte Datenbasis überführt werden. In der Praxis werden selten Einzeldaten benötigt, sondern aggregierte Datenstrukturen, diese aber in möglichst hoher räumlicher Auflösung. Theoretisch stehen das Vektor- und das Rasterformat zur Auswahl. Weshalb im Hinblick auf die Problemstellung das Rasterformat zu favorisieren ist, soll in diesem Kapitel in den Grundzügen hergeleitet werden.

Deutschland ist politisch in Verwaltungseinheiten vom Bundesland bis zur Gemeinde eingeteilt. Die kleinste politische Verwaltungseinheit ist die Gemeinde. Unterhalb der Gemeindeebene können weitere (kommunale) Gliederungen bis zur Baublockebene vorliegen, die vor allem aus der Tätigkeit und den Aufgaben der kommunalen Statistik und Stadtplanung resultieren. Diese politischen und fachlichen Gebietsgliederungen werden durch Geodaten im Vektormodell dokumentiert. Bevölkerungsdaten liegen regulär bis auf Gemeindeebene vor. Intrakommunale Verwaltungs-Gebietsgliederungen, z.B. Zählsprenkel, liegen nicht flächendeckend für Deutschland vor. Vor allem kleinere Gemeinden verfügen nicht über eine tiefe innere Gliederung. (vgl. BOUSTEDT 1975c, S. 316 ff.)

Ein Rastermodell kann Deutschland in regelmäßige oder unregelmäßige Rasterzellen gliedern. Die Gebietseinteilung im Raster ist unabhängig von Verwaltungsgrenzen. Grundsätzlicher Aspekt der Rastereinteilung ist die Wahl zwischen einem festen bzw. standardisierten Bezugspunkt oder ein unabhängiger selbstdefinierter Lagebezug hinsichtlich der definierten Raumabgrenzung durch die Rasterzelle. Als Beispiel für ein standardisiertes Raster kann hier das ETRS-LAEA Raster der Europäischen Union (EU) für Landnutzungsdaten genannt werden. Er bietet europaweit die Möglichkeit, statistische Daten mit Landnutzungsdaten aus Satellitenbilddauswertungen zu überlagern. (vgl. WONKA 2006, S. 30ff.)

Das Rasterkonzept trägt allgemein die Vorteile, dass die Abgrenzung der Rasterzellen einmalig festgelegt wird und zeitlich unverändert bleibt im Gegensatz zu Baublöcken oder Zählsprenkel. Sie sind als regelmäßige Raster sofort untereinander und allgemein in Zeitreihen vergleichbar.

Hinsichtlich der Durchführbarkeit der Methodik ist der Aspekt eines standardisierten Rasters nicht von primärem Interesse, da von den punktuellen Ergebnisdaten der Bevölkerungsschätzung auf jede gewünschte (standardisierte) Rastereinteilung aggregiert werden

kann. Für die Durchführung wird daher ein selbstdefinierter Bezug gewählt. Der grundsätzliche Aspekt der Berücksichtigung standardisierter Raster sollte aber für die Praxis im Rahmen der Methodik erwähnt werden.

## 6 Modellierung der kleinräumigen Bevölkerungsdichte

### 6.1 Ausgangssituation: Wohnen in Deutschland

#### 6.1.1 Einwohnerzahlen nach Gemeindestruktur

Die regionale Verteilung der Bevölkerung in Deutschland ist sehr ungleichmäßig. Ca. 80% der deutschen Bevölkerung leben in den alten Ländern und 20% der Bevölkerung in den neuen Ländern (vgl. Abbildung 12).

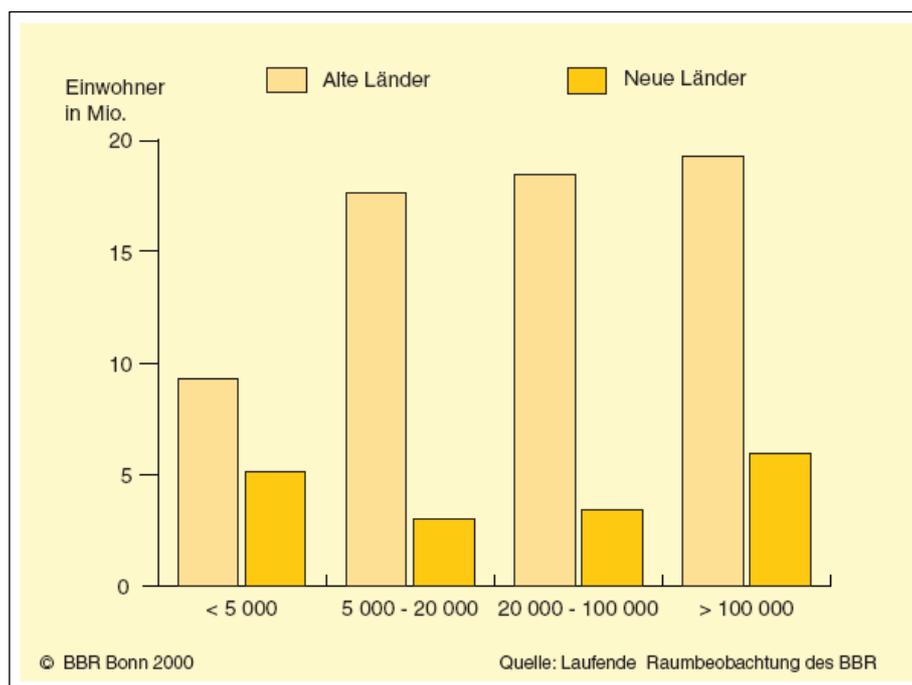


Abbildung 12: Einwohnerzahlen nach Gemeindestruktur in den alten und den neuen Ländern (BBR 2000, S. 8)

Im Vergleich hinsichtlich der Gemeindegrößenstruktur zwischen den alten und den neuen Ländern besteht ein deutlicher Unterschied. Der größte Anteil der Bevölkerung in den alten Ländern lebt in kleinen und großen Städten mit einer Einwohnerzahl von 5.000 bis 100.000 Einwohnern. In den neuen Ländern ist dieser Anteil an der Gesamtbevölkerung

am kleinsten. Hier leben die meisten Menschen in Gemeinden mit weniger als 5.000 Einwohnern und in Großstädten mit mehr als 100.000 Einwohnern (vgl. Abbildung 12).

Die dazugehörigen Flächenanteile führen in den alten Ländern zu einer fast flächendeckend durchschnittlichen Bevölkerungsdichte und regional in den Umlandgebieten von Kernstädten sowie in diesen zu überdurchschnittlichen Bevölkerungsdichten. Herausragende Ballungszentren sind das Ruhrgebiet und Frankfurt/Main. Weitere wichtige Agglomerationsräume München, Hamburg und Stuttgart.

Eine unterdurchschnittliche Bevölkerungsdichte besteht großflächig in den neuen Ländern. Die Region Berlin/Potsdam ist als ostdeutsche Agglomeration am dichtesten in Ostdeutschland besiedelt, die Länder Thüringen und Sachsen sowie der Süden von Sachsen-Anhalt erreichen durchschnittliche Dichtewerte (vgl. Abbildung 13).

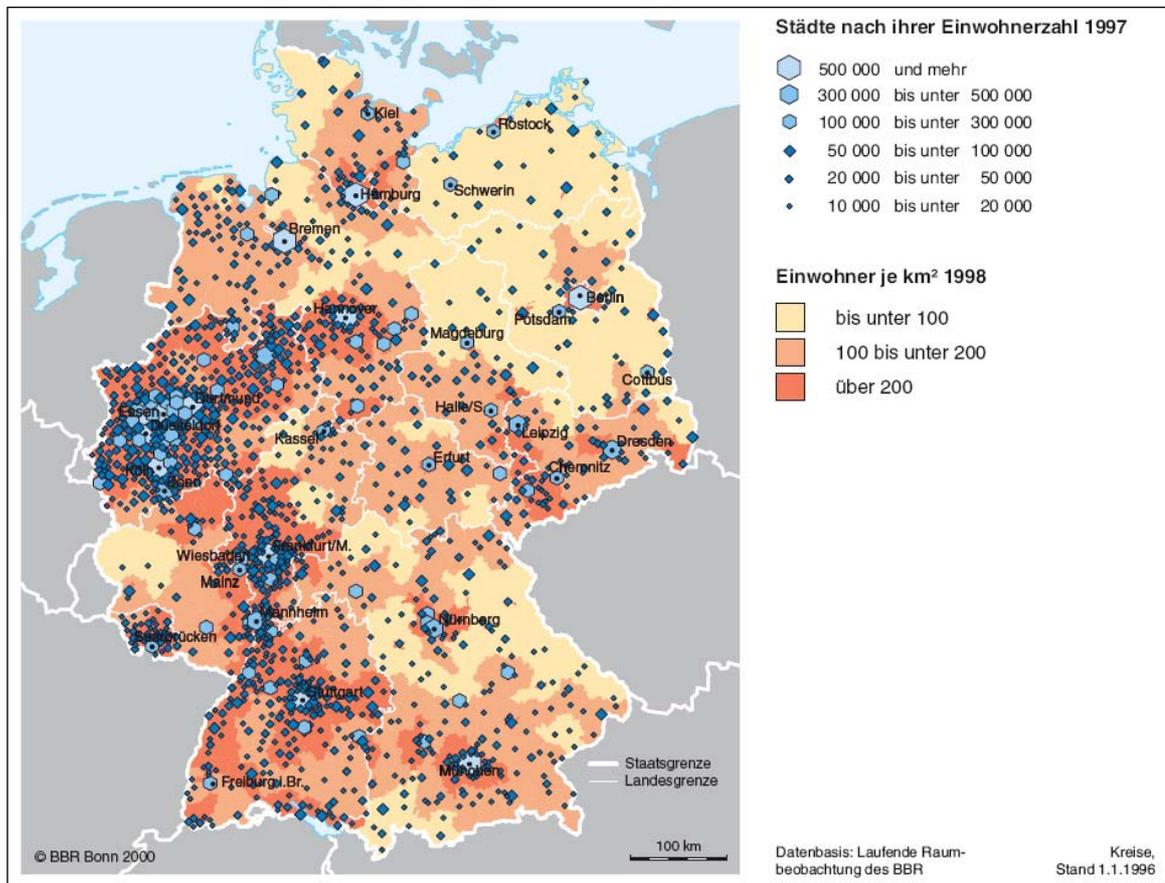


Abbildung 13: Karte der Bevölkerungsdichte des Modell-Zielgebietes (BBR 2000, S. 7)

## 6.1.2 Situation der Wohnbebauung

Die Statistik über den Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen (vgl. Kapitel 3.3.2, WOFO genannt) spiegelt die Situation der Anteile der Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhausbebauung in den einzelnen Bundesländern wieder (vgl. Tabelle 6).

<i>Land</i>	<i>Wohngebäude <sup>1)</sup></i>						
	<i>zusammen</i>	<i>davon</i>					
		<i>mit 1 Wohnung</i>		<i>mit 2 Wohnungen</i>		<i>mit 3 oder mehr Wohnungen</i>	
	<i>Anzahl</i>	<i>Prozent</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Prozent</i>		<i>Prozent</i>	
<b>Baden-Württemberg</b>	2 296 948	1 335 630	58,1	559 823	24,4	401 495	17,5
<b>Bayern</b>	2 883 439	1 904 730	66,1	601 117	20,8	377 592	13,1
<b>Berlin</b>	311 896	147 885	47,4	21 625	6,9	142 386	45,7
<b>Brandenburg</b>	608 293	438 035	72,0	81 547	13,4	88 711	14,6
<b>Bremen</b>	133 507	79 130	59,3	20 685	15,5	33 692	25,2
<b>Hamburg <sup>2)</sup></b>	235 623	131 628	55,9	26 502	11,2	77 493	32,9
<b>Hessen</b>	1 311 846	772 559	58,9	325 508	24,8	213 779	16,3
<b>Mecklenburg-Vorpommern</b>	366 955	252 737	68,9	45 865	12,5	68 353	18,6
<b>Niedersachsen</b>	2 062 511	1 444 523	70,0	375 240	18,2	242 748	11,8
<b>Nordrhein-Westfalen</b>	3 636 275	2 114 872	58,2	742 012	20,4	779 391	21,4
<b>Rheinland-Pfalz</b>	1 115 298	768 961	68,9	228 536	20,5	117 801	10,6
<b>Saarland</b>	297 767	186 993	62,8	81 988	27,5	28 786	9,7
<b>Sachsen</b>	781 914	413 073	52,8	158 569	20,3	210 272	26,9
<b>Sachsen-Anhalt</b>	565 469	374 632	66,3	87 831	15,5	103 006	18,2
<b>Schleswig-Holstein <sup>2)</sup></b>	736 058	555 584	75,5	94 512	12,8	85 962	11,7
<b>Thüringen</b>	515 313	313 236	60,8	114 468	22,2	87 609	17,0
<b>Deutschland</b>	17 859 112	11 234 208	62,9	3 565 828	20,0	3 059 076	17,1

<sup>1)</sup> Ohne Wohnheime.

<sup>2)</sup> Testgebiet Lösungsansatz

Tabelle 6: Bestand der Wohngebäude differenziert nach Wohnungsanzahl und Bundesland, Stand: 31.12.2007, (vgl. DESTATIS 2008, S. 10)

Global für Deutschland ist erkennbar, dass die Wohngebäude mit ein bis zwei Wohnungen, die als typische Eigenheimbebauung bezeichnet werden kann, dominiert. Charakteristisch für die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen ist offensichtlich ein hoher Anteil an Mehrfamilienhauswohnungen (vgl. Tabelle 6). Allgemein wirkt sich die konkrete Form der Wohnbebauung auf die Besetzungsdichte der Einwohner im Gebäude aus.

Hinsichtlich schrumpfender Regionen ist grundsätzlich ein lokaler Leerstand von Wohnfläche als Phänomen zu berücksichtigen. Die laufenden und abgeschlossenen Projekte von Wohnungsrückbau, der sich folglich in der Datengrundlage niederschlägt, verringert den Leerstand, macht seine Berücksichtigung aber nicht überflüssig. Daneben besteht eine Tendenz des Anstiegs der Anzahl der Haushalte, in denen sich im Vergleich zur Vergangenheit die mittlere Personenzahl im Haushalt absenkt. Dies steigert die Nachfrage nach Wohnraum (vgl. DESTATIS 2007b, S. 46).

## **6.2 Vorbemerkungen zur Modellentwicklung**

Die Entwicklung des Modells erfolgt auf der Basis der Bevölkerungszahlen aus dem Melderegister Hamburg, Stand 31.12.2007. Diese adressgenauen Einwohnerdaten liegen als Referenzdaten vor, mit deren Hilfe der Schätzfehler des Modells errechnet wird. Die Anwendung des Modells auf das Testgebiet, bestehend aus den Ländern Schleswig-Holstein und Hamburg, erfolgt mit den Bevölkerungszahlen aus der amtlichen Statistik der Fortschreibung des Bevölkerungsstandes, Stand 31.12.2007 (vgl. Kapitel 3.3.1).

Aufgrund der bis hier dargestellten Komplexität des zu entwickelnden Ansatzes zur Modellierung der kleinräumigen Bevölkerungsdichte, wird das Modell in einzelne Komponenten zerlegt. Diese werden schrittweise aufgebaut. Im Weiteren werden die Komponenten als Teilmodelle bezeichnet.

Die Modellierung beginnt mit einer empirischen Datenanalyse, um im Vorfeld die Zusammenhänge zwischen Bevölkerungsanzahl und den Hilfsdaten aufzudecken und um daraus begründete Modellparameter ableiten und Modellprämissen aufstellen zu können.

## 6.3 Deskription und explorative Analyse der Referenzdaten

### 6.3.1 Referenzdatengrundlage

Die Referenzdaten erweitern im Rahmen der Arbeit die Datengrundlage aus Kapitel 3.

Ihre Analyse in Kapitel 6.3 soll die Identifikation von Modellparametern und Kennwerten unterstützen. Alle folgenden Referenzdaten sind in der Abdeckung von Deutschland nicht allgemein (Melderegister) oder einheitlich (ALK) verfügbar.

<i>Beschreibung</i>	<i>Datenquelle</i>
Gebäudenutzung nach Objektschlüsselkatalog (OSKA) des Landes Schleswig-Holstein als Merkmal der Hausumringe aus der Amtlichen Liegenschaftskarte (ALK), Stand: 21.07.2008	Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein
Gebäudenutzung nach Objektschlüsselkatalog (OSKA) HH als Merkmal der Hausumringe aus der Digitalen Stadtgrundkarte (DSGK), Stand: 29.06.2008	Landesbetrieb für Geoinformation und Vermessung Hamburg
Melderegister Hamburg: Einwohneranzahl mit Haupt- oder alleinigem Wohnsitz als Merkmal der Adresse, Stand: 31.12.2007	Statistikamt Nord
Melderegister Flossenbürg: Einwohneranzahl mit Haupt- oder alleinigem Wohnsitz als Merkmal der Adresse, Stand: 27.08.2007	Gemeinde Flossenbürg

*Tabelle 7: Übersicht Referenzdatengrundlage*

### 6.3.2 Urbane und ländliche Bevölkerungsdichte im intrakommunal-globalen Trend

Es soll beispielhaft die Theorie aus Kapitel 4.1.7 zum Dichtegradient städtischer Bevölkerung angewandt werden. Dazu stehen zwei Referenzdatensätze zur Verfügung: die anonymisierten Melderegister der Gemeinden Hamburg und Flossenbürg. Das Ziel ist die Visualisierung der grundsätzlichen Unterschiede der intrakommunalen Bevölkerungsdichte zwischen städtischen und ländlichen Gemeinden am Fallbeispiel.

Mit dem „Trend Analysis Tool“ des „Geostatistical Analyst“ in ArcGIS lassen sich Datenpunkte dreidimensional visualisieren. Dabei geben die Achsen x und y den Standort der Messung und die z-Achse den Höhenwert bzw. die Bevölkerungsdichte, wieder (vgl. Abbildung 14 und 14).

Die grüne Trendlinie verläuft durch den West – Ost – Raum, die blaue Trendlinie durch den Nord – Süd – Raum der projizierten Bevölkerungsdichtewerte (blaue und grüne Datenpunkte). Auf diese Weise können räumlich-globale Trends herausgestellt werden.

Für Hamburg wurden die Werte der Datenpunkte durch Summierung der Bevölkerung in einem 250x250 m Raster und durch die Umwandlung der einzelnen Rasterzellen in Centroide gewonnen (vgl. Abbildung 14). Die Datenpunkte und deren Trendlinien lassen einen deutlichen Anstieg von allen Richtungen zum Zentrum hin erkennen. Im Nord – Süd – Raum besteht eine sichtbare Depression der Anzahl der Messpunkte und deren Bevölkerungsdichte. Das bedeutet, die Anzahl der Standorte von Wohnnutzung ist entsprechend gering und an den vorhandenen Standorten leben vergleichsweise weniger Personen. Diese Depression kann auf den Flusslauf der Elbe in diesem Raum zurückgeführt werden.

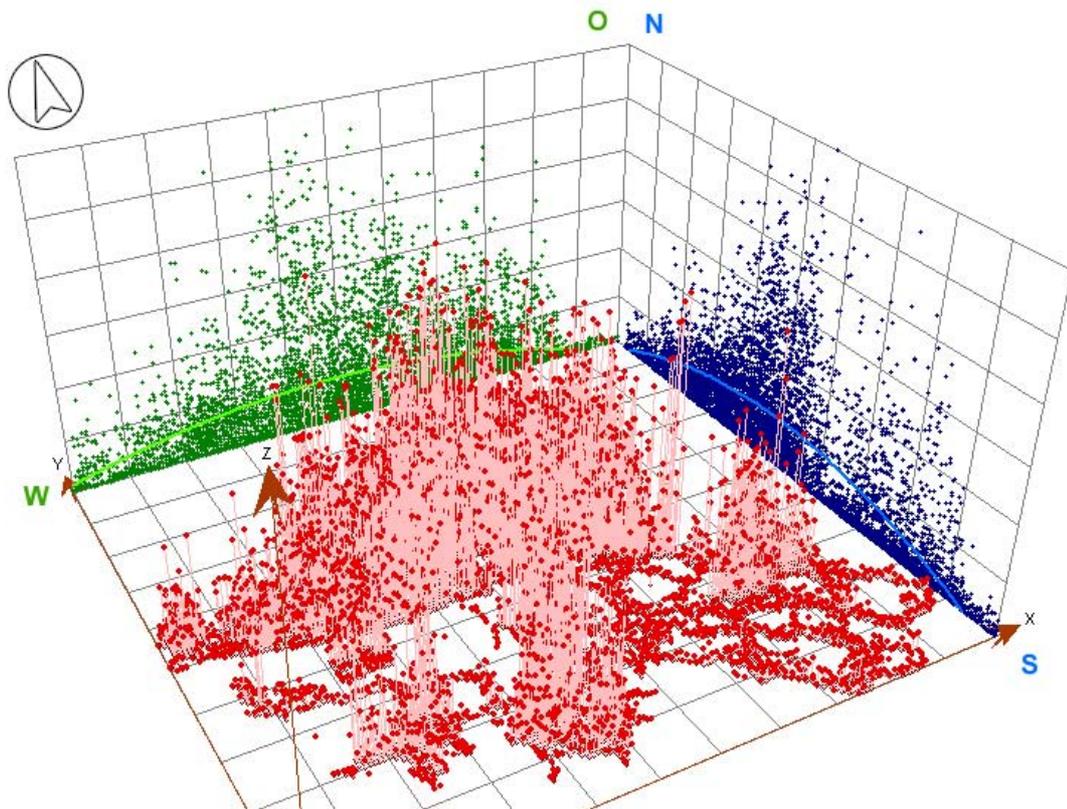


Abbildung 14: Bevölkerungsdichte Hamburgs im intrakommunalen Trend  
Datengrundlage: georeferenziertes Melderegister (anonymisiert, 250X250m Raster), Stand 31.12.2007

Als Vergleich zu der dargestellten Bevölkerungsdichte Hamburgs folgt eine mit derselben Methode (hier 100 x 100 m Raster) erstellte Visualisierung der Bevölkerungsdichte der bayrischen Gemeinde Flossenburg (Einwohner: 1720, Stand 27.08.2007).

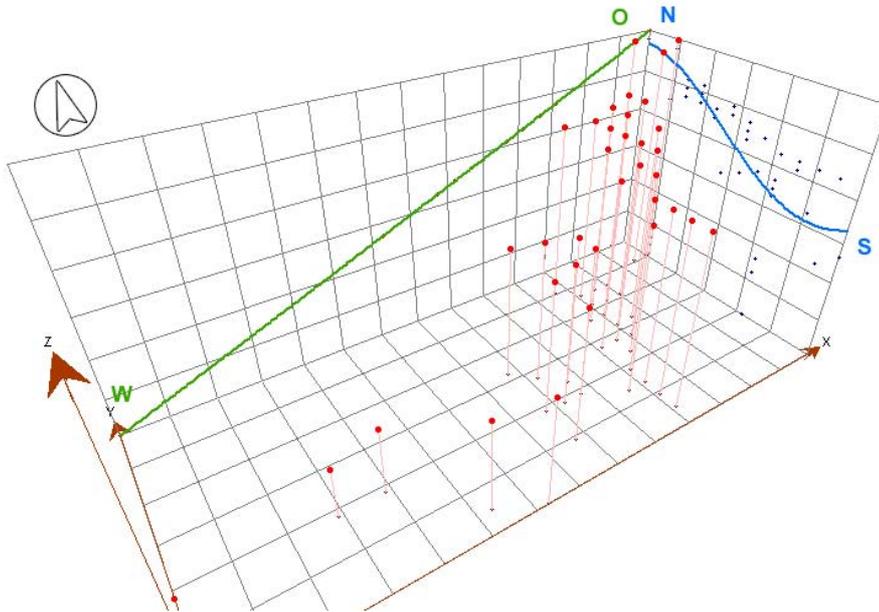


Abbildung 15: Bevölkerungsdichte der Gemeinde Flossenbürg im intrakommunalen Trend  
 Datengrundlage: georeferenziertes Melderegister (anonymisiert, , 100X100m Raster), Stand 27.08.2007

Das Maximum der Bevölkerungsdichte in Flossenbürg besteht nicht im Ortskern, sondern ist im Nordosten der Gemeinde zu lokalisieren (vgl. Abbildung 15). Dieser Raum lässt sich durch relativ dichte Einfamilienhausbebauung und die einzig hier existierenden Mehrfamilienhäuser charakterisieren. Im Übrigen ist Flossenbürg hinsichtlich der Wohnbebauung überwiegend homogen mit Einfamilienhäusern bebaut. Der Ortskern ist der Standort des örtlichen Handels und der Dienstleistungen. Das Angebot ist entsprechend der Einwohnergröße gering, so dass keine große gewerbliche Bodennachfrage besteht, welche die Verdrängung der Wohnnutzung vom Ortskern an den Rand des Zentrums oder den Ortsrand verursacht. Auch für die Wahl des Wohnstandortes innerhalb der Gemeinde ist die Erreichbarkeit des Ortszentrums kein Entscheidungskriterium, was jedoch in Städten wie Hamburg zu den maximalen Bevölkerungsdichten in Zentrumsnähe führt.

Als Ursache für die verstärkte Wohnnutzung im Nordosten ist die Höhenlage denkbar. Sie ist hier am höchsten und bietet landschaftlich einen attraktiven Wohnstandort.

### 6.3.3 Bebauungsdichte Hamburgs in Abhängigkeit der Geschoszahl

Die Berechnung der Bebauungsdichte erfolgt als Grundflächendichte (vgl. Kapitel. 4.1.6):

$$GFD = \frac{\sum_{i=1}^n BGF}{ATKIS \times 0,75} \quad (5)$$

$GFD$  = Grundflächendichte  
 $BGF$  = Bruttogrundfläche aller Gebäude in ATKIS-Fläche  
 $ATKIS$  = Fläche des ATKIS-Polygon  
 0,75 = Umrechnungsfaktor Stadt  
 von der Brutto- zur Nettobaufäche

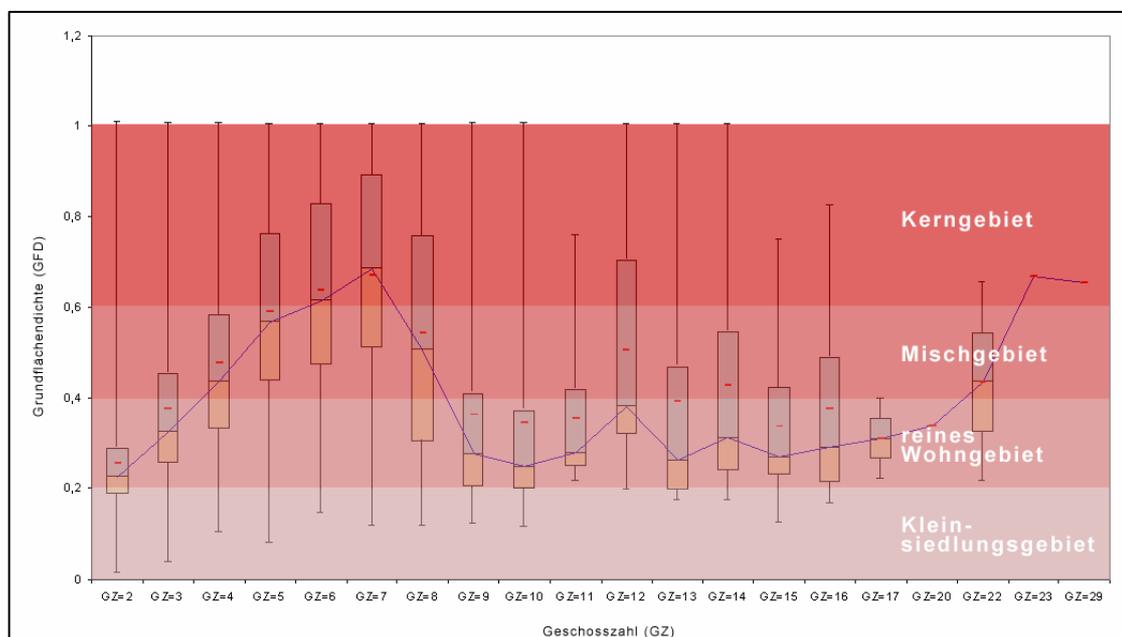


Abbildung 16: Grundflächendichte in Abhängigkeit der Wohngebäude-Geschoszahl

Abbildung 16 zeigt eine Verteilung mit mehrfach ansteigenden Spitzenwerten der Grundflächendichte (Verhältnis von Gebäudegrundfläche zum Grundstück, y-Achse) in Abhängigkeit der Geschoszahl (x-Achse). Die Hamburger Daten zeigen, dass bei gleichem Baugebietstyp nach BauNVO (Klassifizierung der Grundflächendichte auf der y-Achse), der ähnliche Bebauungsdichtewerte repräsentiert, sehr variable Geschoszahlen auftreten, was sich auf die Summe der Geschossfläche im Gebäude auswirkt. Besonders deutlich wird das für den Baugebietstyp „reines Wohngebiet“.

Die urban-heterogenen Dichteverhältnisse treten am Beispiel von Hamburg deutlich in Erscheinung. Aufgrund fehlender weiterer Vergleichsdaten wird für die Modellbildung

angenommen, dass in (groß-)städtischen Arealen bei ähnlichen Grundflächendichten bzw. Bebauungsdichten mit (sehr) variablen Geschosshöhen zu rechnen ist. Es ist daher ein Indikator zur Ableitung der Wohnfläche respektive der Schätzung der Einwohner zu wählen, der mikroskalig die Geschossfläche quantifiziert bzw. berücksichtigt.

### 6.3.4 Einwohneranteile der ATKIS-Flächennutzungen

Ausgehend von dem Wissen, dass nicht alle Gemeindeflächen entsprechend ihrer Nutzung bewohnt sind (vgl. EICHER/BREWER 2001), sollen die Einwohneranteile in den verschiedenen ATKIS-Flächennutzungen ermittelt werden, um zu eruieren, welche Flächennutzungen im Modell berücksichtigt werden müssen. Die Autoren in BMVBS/BBR (2008) haben für die Stadt Dresden in dieser Frage bereits Zahlen vorgelegt, mit denen die folgenden Ergebnisse der Stadt Hamburg verglichen werden können.

Das georeferenzierte Melderegister Hamburgs wurde mit den ATKIS-Flächen durch die ArcGIS-Funktion INTERSECT verschnitten und eine entsprechende Summenstatistik der Einwohnerzahlen nach ATKIS-Objektart erstellt. Die Autoren von BMVBS/BBR (2008) kommen hinsichtlich der Verteilung der Bevölkerung in den unterschiedlichen ATKIS-Objektarten in Dresden zu teilweise deutlich abweichenden Ergebnissen zu denen von Hamburg (vgl. Tabelle 8): in der ATKIS-Objektart "Wohnbaufläche" wohnen 87 % der Hamburger, in Dresden sind es 33,4 %. In den "Flächen gemischter Nutzung" (2113) leben 10 % der Hamburger, in Dresden sind es 59,9 %.

ATKIS-Objektart (Schlüssel)	Bevölkerung mit Hauptwohnsitz Anzahl		Bevölkerung mit Hauptwohnsitz in Prozent	
	Hamburg <sup>1</sup>	Dresden <sup>2</sup>	Hamburg	Dresden
<b>Wohnbaufläche (2111)</b>	1.496.143	156.459	87,0	33,4
<b>Industrie- und Gewerbefläche (2112)</b>	15.970	15.991	1,0	3,4
<b>Fläche gemischter Nutzung (2113)</b>	180.035	280.443	10,0	59,9
<b>Fläche besonderer funktionaler Prägung (2114)</b>	28.791	15.383	2,0	3,3
<b>gesamt</b>	1.720.939 <sup>1</sup>	468.276	100,0	100,0

Tabelle 8: Bevölkerungsanteile in den ATKIS-Objektarten

<sup>1</sup>Quelle: Melderegister, anonymisiert, Stand 31.12.2007, Differenzen ergeben sich aus nicht georeferenzierten Bevölkerungsanteilen, <sup>2</sup> Quelle: BMVBS/BBR (2008); S. 52

Diese Abweichungen könnten durch große Unterschiede in der erfassten Flächennutzungsstruktur respektive der Gebäudenutzung erklärt werden. Die Erfassung der Flächennutzungsstruktur in der vorliegenden ATKIS-Datengrundlage erfolgt durch die Landesvermessungen. Bei Vergleichen wie in Tabelle 8 ist eine gleiche Methodik in der Vergabe der ATKIS-Objektarten in den Ländern vorausgesetzt, was MEINEL/KNOP (2008) anzweifeln (vgl. Tabelle 1, S. 17). In Dresden fällt de facto der Großteil der Gebäudegrundfläche unter die „Fläche gemischte Nutzung“. Dabei ist auffällig, dass darin der Wohnnutzungsanteil an der Gebäudegrundfläche über 80 % beträgt. Das zieht die Frage nach sich, warum die betreffenden Teilflächen als „Fläche gemischter Nutzung“ klassifiziert wurden. Die Zahlen von Dresden basieren auf einer Auswertung der Kennzeichnung von Gebäuden als Wohngebäude in der DTK25. (vgl. Tabelle 9)

In Hamburg zählt der Großteil der Gebäudegrundfläche zur Wohnbaufläche (vgl. Tabelle 9). Die Hamburger Zahlen wurden durch räumliches Verschneiden (INTERSECT) der Hausumringe mit den ATKIS-Flächen und mit Hilfe einer entsprechenden Summenstatistik der Gebäudegrundfläche nach ATKIS-Objektart (wie für die Ergebnisse Dresden) ermittelt. Es konnten die vorliegenden Referenzdaten der Gebäudenutzung, gegeben als ALK-Attribut „Gebäudenutzung“ der Hausumringe, ausgewertet werden konnten. Tabelle 15 stellt dar, welche Gebäudenutzung der Wohnnutzung zugeordnet wurde. In Schleswig-Holstein existieren 296 und in Hamburg 128 verschiedene ALK-Gebäudenutzungen, aus denen die Auswahl der Wohnnutzung getroffen wurde.

ATKIS-Objektart (Schlüssel)	Gebäudegrundfläche in Mio. m <sup>2</sup>					
	Hamburg			Dresden*		
	insgesamt	darunter Wohnnutzung	Prozent	insgesamt	darunter Wohnnutzung	Prozent
<b>Wohnbaufläche (2111)</b>	36,2	28,9	79,8	2,1	1,9	89,4
<b>Fläche gemischter Nutzung (2113)</b>	10,9	3,2	29,4	10,5	8,5	80,8

Tabelle 9: Gebäudegrundfläche in ausgewählten ATKIS-Objektarten

\* vgl. BMVBS/BBR (2008); S. 52

Die identifizierten wohnnutzungsrelevanten ATKIS-Objektarten für Hamburg stimmen mit denen aus der Untersuchung für Dresden in BMVBS/BBR (2008) überein (vgl. Tabelle 8). Wobei ersichtlich ist, dass die ATKIS-Objektarten „Wohnbaufläche“ und „Fläche gemischter Nutzung“ zusammen einen sehr hohen Einwohneranteil aufweisen: für Hamburg und für Dresden sind es jeweils über 90 % der Bevölkerung.

Aufgrund fehlender weiterer Vergleichsdaten wird dieses Ergebnis für die Gesamtfläche von Deutschland unterstellt. Gleichzeitig sind zwischen den beiden Flächennutzungen „Wohnbaufläche“ und „Fläche gemischter Nutzung“ regional deutliche Unterschiede in der Anteilsverteilung wahrscheinlich.

Mit dem jetzigen Wissensstand und der verfügbaren Datengrundlage in der Abdeckung von Deutschland (vgl. Kapitel 3.4) ist jedoch nicht bekannt, welcher Anteil der Fläche der übrigen ATKIS-Objektarten „Industrie- und Gewerbefläche“, „Flächen besonderer funktionaler Prägung“ und ggf. weitere Nutzungsarten in einer Gemeinde mit wie vielen Einwohnern bewohnt ist. Ein lediglich geringer Bevölkerungsanteil müsste auf ungesichert ausgewählten Gebäuden in diesen Flächennutzungen verteilt werden. Aus diesem Grund wird für die weitere Problemlösung festgelegt, nur die ATKIS-Objektarten „Wohnbauflächen“ (2111) und „Flächen gemischter Nutzung“ (2113) in die Modellierung der Bevölkerungsdichte einzubeziehen. Es wird angenommen, dass damit mehr als 90 % der Bevölkerung berücksichtigt sind (vgl. Tabelle 8).

Ein weiteres Problem ist der Wohnnutzungsanteil in den beiden ATKIS-Objektarten respektive der Gebäude. Er dient dem Lösungsansatz als wichtiger Kennwert für eine realistische Standortgewichtung der Bevölkerungsanteile.

### **6.3.5 Analyse des Wohnnutzungsanteils der Gebäude**

Die Autoren in BMVBS/BBR (2008) und Tabelle 9 weisen darauf hin, dass in allen wohnnutzungsrelevanten ATKIS-Objektarten mit einem Anteil von Nichtwohnnutzung gerechnet werden muss.

Für die Hausumringe in der Abdeckung Deutschland existiert kein Attribut der Gebäudenutzung. Jedoch liegt die ATKIS-Flächennutzung vor.

Es ist deshalb möglich einen Gewichtungsfaktor in die Modellierung einfließen zu lassen, der in Abhängigkeit der ATKIS-Flächennutzung für verschiedenen Gemeindetypen den Wohnnutzungsanteil abstrakt festlegt. Auf der Basis der Gebäude-Referenzdaten des Testgebietes soll deshalb versucht werden, Kennzahlen zu extrahieren, die als Gewichtungsfaktoren eingesetzt werden.

Die Wohnnutzungsanteile in Tabelle 9 beziehen sich auf den gesamten Gebäudebestand in der jeweiligen ATKIS-Objektart, darunter sind auch Nebengebäude, Garagen u.s.w. Im Hinblick auf die verfügbare Datengrundlage für Deutschland (vgl. Kapitel 3.4) können für die kleinräumige Modellierung der Bevölkerungsdichte die Hausnummern einbezogen werden. Diese sind regulär eine Voraussetzung zur Anmeldung eines Wohnsitzes, daher eignen sie sich dazu, eine Vorauswahl des Gebäudebestandes zur Verortung von Bevölkerungsanteilen zu treffen. Jedoch können auch Gebäude Hausnummern besitzen, die nicht oder nur teilweise zu Wohnzwecken genutzt werden.

In der folgenden Untersuchung wird analysiert, mit welchem Anteil die Wohnnutzung bei Gebäuden mit Hausnummern vertreten ist.

Die Referenzdatenlage erlaubte eine Untersuchung der ALK-Nutzungsattributierung der Hausumringe für das gesamte Testgebiet des Modells: die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg. Dazu wurden die Geobjektklassen Gebäude, Hausnummern, ATKIS-Flächennutzung mit der INTERSECT – Funktion überlagert. Das Ergebnis enthält für alle Gebäude mit Hausnummer die ALK-Gebäudenutzung sowie die erfasste ATKIS-Flächennutzung. Die Gebäudegrundfläche mit Hausnummer wurde nach:

- den wohnnutzungsrelevanten ALK-Nutzungen der Gebäude
- den ATKIS-Flächennutzungen („Wohnbauflächen“, „Flächen gemischter Nutzung“)
- der Gemeinde

zusammengefasst. Der Anteil der Gebäudegrundfläche mit Wohnnutzung am Gesamtbestand der Gebäudegrundfläche mit Hausnummer in der jeweiligen ATKIS-Flächennutzung wurde berechnet.

Abbildung 17 vermittelt eine statistisch-deskriptive und geographische Sicht auf das Ergebnis für den Wohnnutzungsanteil in ATKIS-„Wohnbauflächen“ je Gemeinde.

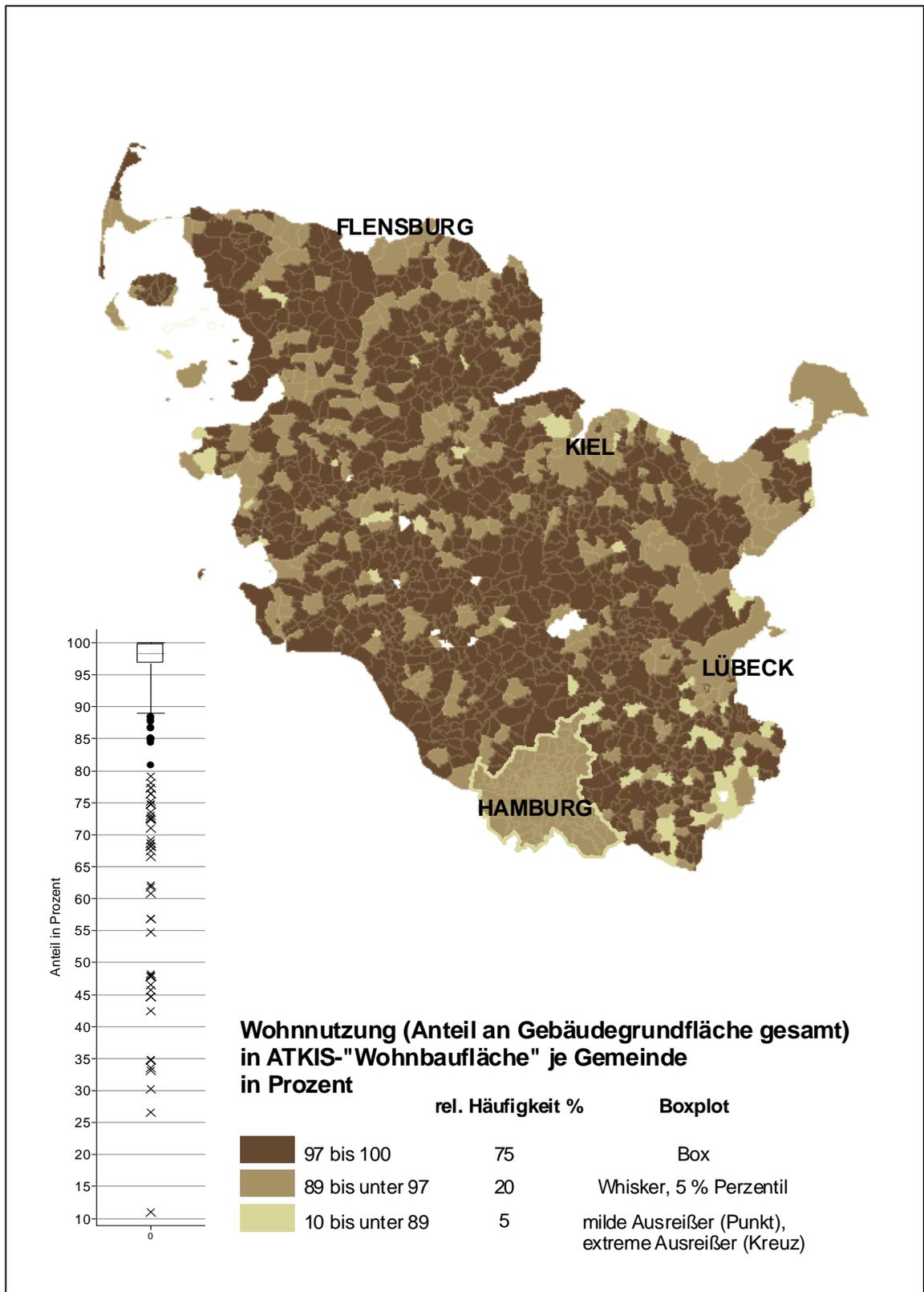


Abbildung 17: Wohnnutzungsanteil in der ATKIS-Objektart "Wohnbaufläche"

In Abbildung 17 zeigt die geringe Höhe der Box im Boxplot die geringe Streuung der Werte an. 75 % der Werte weisen einen Wohnnutzungsanteil von 97 % und mehr auf. Die beschrifteten Großstädte sind in dieser Klasse nicht vertreten. Wie die Karte zeigt, liegen diese in der mittleren Klasse mit einem Wohnnutzungsanteil von 89 bis unter 97 %. Die potentiellen Ausreißer der Datenreihe mit einem relativ geringen Wohnnutzungsanteil bilden Schwerpunkte im Osten und im Küstenbereich von Schleswig-Holstein.

Besonders in den flächenmäßig kleinen Gemeinden im Landesinneren von Schleswig-Holstein erscheint der Anteil der Wohnnutzung am höchsten. Der existierende Tourismus in Küstennähe und im Osten Schleswig-Holsteins sowie allgemein kommerzielle Flächennutzungen in Großstädten, welche die Wohnnutzung bereits verdrängt haben, könnten einen Erklärungsansatz liefern. Das soll aber mit Blick auf die Problemstellung der Arbeit nicht weiter verfolgt werden.

Die Einwohnergröße der Gemeinde scheint, wie oben diskutiert, Einfluss auf die Anteilsverteilung der Wohnnutzung zu haben. Es folgt daher eine Übersicht der Anteile der Wohnnutzung nach Einwohnergrößenklasse (vgl. Tabelle 10).

<b>Bezeichnung Siedlungseinheit</b>	<b>Einwohneranzahl</b>	<b>Anzahl Gemeinden Testgebiet</b>	<b>Anteil der Wohnnutzung an der Gebäudegrundfläche je Gemeinde in Prozent</b>	
			<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
Großstadt	über 100.000	3	96,7	0,57
Mittelstadt	20.000 bis unter 100.000	22	96,1	2,56
Kleinstadt	10.000 bis unter 20.000	38	97,0	1,66
Ländliche Kleinstadt	5.000 bis unter 10.000	57	95,5	7,36
Landstadt	2.000 bis unter 5.000	151	97,2	2,87
Landgemeinde	unter 2.000	1056	96,6	9,06

Tabelle 10: Wohnnutzungsanteil nach Einwohnergrößenklassen in ATKIS-„Wohnbauflächen“

Tabelle 10 verdeutlicht, dass im Mittel über alle Einwohnergrößenklassen hinweg der Anteil der Wohnnutzung über 95 % liegt. Die Werte je Einwohnergrößenklasse sind sich untereinander relativ ähnlich. Relativ geringe Streuungen weisen die Wohnnutzungsanteile der Gemeinden in den Klassen Großstadt, Mittelstadt, Kleinstadt und Landstadt im Testgebiet auf. Relativ variable Werte treten in Gemeinden der Klassen Ländlichen Kleinstadt und Landgemeinde auf. Die Klassenbelegung nimmt jedoch auch Einfluss auf die Standardabweichung.

Die Wohnnutzungsanteile der Gebäudegrundfläche in der ATKIS-Objektart „Flächen gemischter Nutzung“ wurden auf die gleiche Weise untersucht (vgl. Abbildung 18).

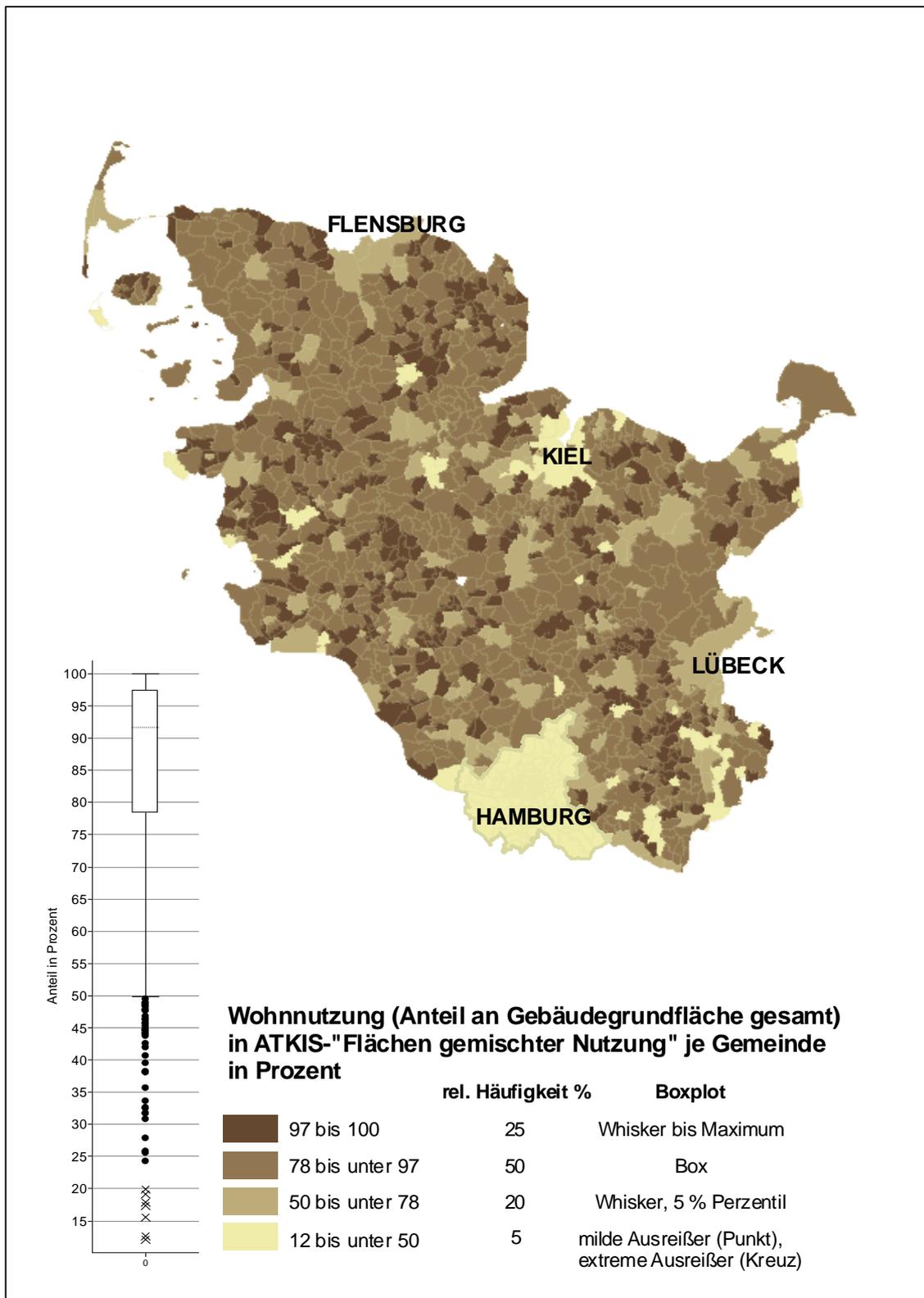


Abbildung 18: Wohnnutzungsanteil in der ATKIS-Objektart "Fläche gemischter Nutzung"

Abbildung 18 zeigt eine deutlich höhere Streuung der Werteverteilung für den Wohnnutzungsanteil in ATKIS-„Flächen gemischter Nutzung“. 75 % der Daten weisen einen Wohnnutzungsanteil von 78 bis 100 % auf. Der Median liegt bei 91,7 %.

Wie für die Abbildung 17 wurde die Grenze für die kleinste Klasse bei 5 % der Werte gezogen. Alle anderen Klassen zusammen umfassen somit 95 % der Werte. Auffällig ist in der ATKIS-Objektart "Fläche gemischter Nutzung", dass die beiden größten Städte Hamburg und Kiel in die kleinste Klasse mit weniger als 50 % Wohnnutzung fallen. Hier kann damit nicht von Ausreißerwerten gesprochen werden. Es ist festzustellen, dass in Großstädten der Wohnnutzungsanteil in ATKIS-„Flächen gemischter Nutzung“ sehr vom Durchschnitt aller Gemeinden abweichen kann.

Die Tabelle 11 gruppiert die Mittelwerte der Wohnnutzung je Gemeinde aus Abbildung 18 nach Einwohnergrößenklasse (analog zur Erstellung der Tabelle 10). Es wird ersichtlich, dass mit abnehmender Einwohnerzahl tendenziell der Wohnnutzungsanteil in den „Flächen gemischter Nutzung“ ansteigt. Die ländliche Kleinstadt bricht diesen Trend bei relativ hoher Standardabweichung. Auffällig ist bei allen Einwohnergrößenklassen eine deutlich höhere Standardabweichung als in der ATKIS-Objektart „Wohnbauflächen“. Die Verhältnisse der Großstädte scheinen sich stark zu gleichen (sehr geringe Standardabweichung). Zu beachten ist hier aber die kleine Klassenbesetzung.

<b>Bezeichnung</b> <b>Siedlungseinheit</b>	<b>Einwohneranzahl</b>	<b>Anzahl</b> <b>Gemeinden</b> <b>Testgebiet</b>	<b>Anteil der Wohnnutzung an der Gebäude-</b> <b>grundfläche je Gemeinde in Prozent</b>	
			<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
Großstadt	über 100.000	3	49,9	1,4
Mittelstadt	20.000 bis unter 100.000	22	66,8	16,5
Kleinstadt	10.000 bis unter 20.000	38	72,8	17,1
Ländliche Kleinstadt	5.000 bis unter 10.000	57	66,9	19,6
Landstadt	2.000 bis unter 5.000	151	82,7	12,9
Landgemeinde	unter 2.000	1056	92,0	11,73

*Tabelle 11: Wohnnutzungsanteil an der Gebäudegrundfläche je Gemeinde in der ATKIS-Objektart "Fläche gemischter Nutzung" je Gemeinde, analysiert wurden Gebäude mit Hausnummer*

Ein Zusammenhang des Anteils der Wohnnutzung in der ATKIS-Objektart „Flächen gemischter Nutzung“ mit der Siedlungsgröße und damit auch -verdichtung scheint gegeben (vgl. Tabelle 11). Für eine Verringerung der Anzahl der Kennwerte im Sinne der Modellvereinfachung werden die Kennwerte nach den Regionsgrundtypen des BBR (vgl. Kapitel 4.1.4) zusammengefasst. Daraus ergeben sich:

- für Agglomerationsräume ein Wohnnutzungsanteil von 75 %
- für verstädterte Räume ein Wohnnutzungsanteil von 85 %
- für ländliche Räume ein Wohnnutzungsanteil von 90 %

### **6.3.6 Zusammenfassung modellrelevanter Schlussfolgerungen**

Die regionale Verteilung der Bevölkerung in Deutschland ist sehr ungleichmäßig. Ca. 80% der deutschen Bevölkerung leben in den alten Ländern und rund 20% der Bevölkerung in den neuen Ländern (vgl. Abbildung 12). Allein aus der lokalen Bebauung können die Ungleichgewichte nicht abgeleitet werden. Hinsichtlich schrumpfender Regionen ist grundsätzlich ein lokaler Leerstand von Wohnfläche als Phänomen zu berücksichtigen.

Zwischen ländlichen und städtischen Siedlungsstrukturen bestehen große Unterschiede im Hinblick auf die Homogenität der Bebauung. Diese kann eher in ländlichen Gemeinden vorausgesetzt werden. Für die Modellierung ist deshalb ein Indikator erforderlich, der die lokale Bebauungsdichte kleinräumig abschätzt. Diese wirkt sich auf die vorhandene Geschoss- bzw. Wohnfläche im Gebäude aus und damit auch auf die Einwohnerzahl (vgl. Abbildung 14 und Abbildung 15).

Die Grundflächendichte und die Geschossflächendichte sind dichtemessende Indikatoren (vgl. Kapitel 4.1.6). Die Grundflächendichte ist auf mikroskaliger Betrachtungsebene keine ausreichend messende Größe (vgl. Kapitel 6.3.3), weil sie die zweidimensionale Dichte der Bebauung erfasst. Die Geschossflächendichte erfasst dagegen das Verhältnis von Geschossfläche zur Grundstücksfläche und ist damit besser als Indikator geeignet. Im Modellkonzept hat die Autorin auf der Basis der Literaturrecherche bereits festgelegt, die Kennzahlen der Geschossflächendichte differenziert nach Wohngebäude- und Raumtyp

aus UBA (2004) für die Modellierung einzusetzen. Diese Kennzahlen der Geschossflächendichte repräsentieren Mittelwerte für Deutschland (vgl. Kapitel 4.1.8).

Es wurden für Hamburg die Einwohneranteile in den verschiedenen ATKIS-Flächennutzungen analysiert. Diese wurden die Ergebnisse aus BMVBS/BBR (2008) für Dresden gegenübergestellt. In beiden Städten konnten 95% der Bevölkerung in den Flächennutzungen „Wohnbaufläche“ und „Flächen gemischter Nutzung“ festgestellt werden. Jedoch variiert die Anteilsverteilung zwischen diesen beiden Nutzungsarten und Städten erheblich (vgl. Tabelle 8).

In den übrigen Flächennutzungen, z.B. Industrieflächen, sind die Bevölkerungsanteile erwartungsgemäß sehr gering. Die ALK-Hausumringe für Deutschland verfügen nicht über ein Merkmal zur Gebäudenutzung, weshalb die wenigen wohngenutzten Gebäude nicht festgestellt werden können.

Für die Modellierung werden deshalb ausschließlich die ATKIS-Flächennutzungen „Wohnbaufläche“ und „Flächen gemischter Nutzung“ berücksichtigt.

Dargestellt wurde auch, dass in allen ATKIS- Flächennutzungen mit einem Anteil an Nichtwohnnutzung zu rechnen ist. Es wurden die Referenzdaten in der Abdeckung von Schleswig-Holstein und Hamburg untersucht.

Der Wohnnutzungsanteil in der ATKIS-Objektart „Wohnbauflächen“ kann vereinfachend mit 100% angenommen werden (vgl. Tabelle 10).

Der Wohnnutzungsanteil in der ATKIS-Objektart „Flächen gemischter Nutzung“ kann begründet und zur Vereinfachung des Modells mit folgenden Anteilen angenommen werden (vgl. Tabelle 11):

- für Agglomerationsräume ein Wohnnutzungsanteil von 75 %
- für verstädterte Räume ein Wohnnutzungsanteil von 85 %
- für ländliche Räume ein Wohnnutzungsanteil von 90 %

Die Analyse der Referenzdaten konnte meist vollständig auf das gesamte Testgebiet bezogen werden. Über die Gültigkeit für das gesamte Gebiet von Deutschland können ohne weitere Referenzdaten keine Aussagen getroffen werden. Mangels einer umfassenden Referenzdatengrundlage werden die oben vorgestellten Modellprämissen im Rahmen des Lösungsansatzes für das Gebiet von Deutschland übernommen.

### 6.3.7 Erkenntnisse zur Datenqualität

Allgemeine Aspekte zu den Anforderungen an die Datengrundlage finden sich in Kapitel 3.1. Dieses Kapitel stellt die wichtigsten Erkenntnisse aus der praktischen Arbeit mit den Geobasisdaten dar.

Es gibt topologisch inkonsistente Grenzabschnitte der Ländergrenze zwischen Schleswig-Holstein und Hamburg. Es bestand die Situation, dass nicht alle Hauskoordinaten in der korrekten Landes- bzw. Gemeindeflächen lagen. Das ergab eine Prüfung speziell in den Grenzbereichen.

Es werden im Lösungsansatz Geobasisdaten verschiedener Quellen überlagert: ATKIS-Flächennutzung, ALK-Hausumrinn und –Hauskoordinaten. Unter objektrelationaler Sicht traten dabei abhängige Objekte auf ohne das Objekt, von dem sie abhängen, z.B. eine Hauskoordinate ohne einen Hausumring (vgl. Abbildung 19). Es lagen vereinzelt auch Hauskoordinaten außerhalb des zugehörigen Hausumrings.

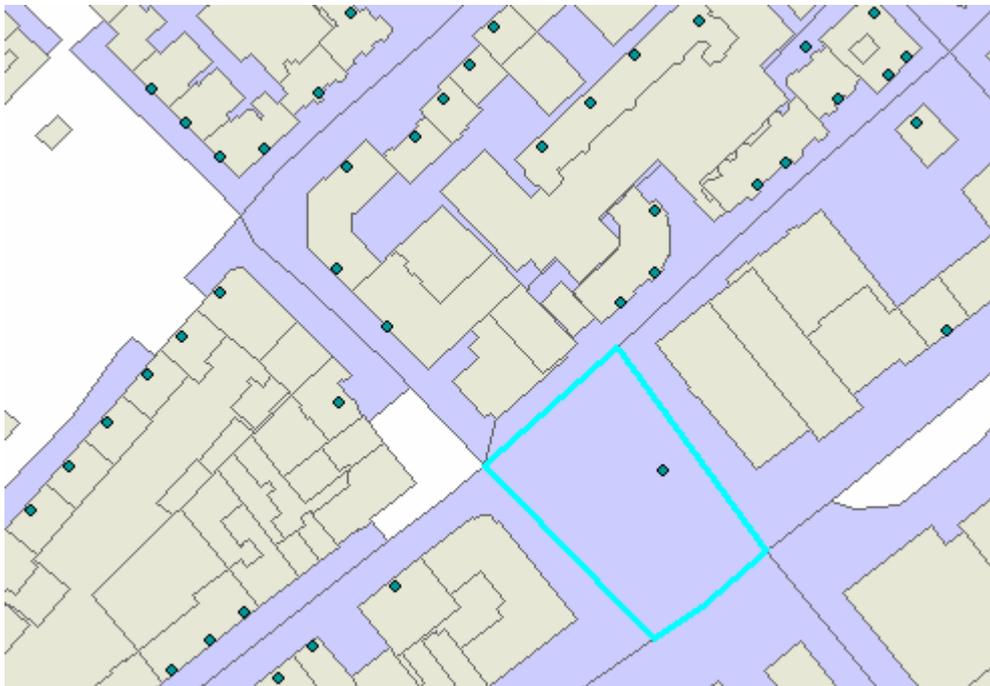


Abbildung 19: Beispiel Dateninkonsistenz: Hauskoordinate ohne -umring

Eine weitere Form der Dateninkonsistenz bestand bei der Verknüpfung der Geobasisdaten mit den Sachdaten aus der Statistik. Im Fall von Hamburg existierte in einigen Ortsteilen

statistisch erfasste Wohnfläche, für die in den Geobasisdaten der Datengrundlage keine Gebäude mit Hausnummern vorhanden waren. Analog wird in der BEFO Bevölkerung in den selben Ortsteilen geführt, die wegen fehlender Gebäude mit Hausnummern nicht georeferenziert werden konnte. Hier kann es sich um den benannten wachsenden Fehler im Konzept der Fortschreibung auf der Basis der VZ87 handeln (vgl. Kapitel 3.3) oder auch um Inkonsistenzen, die aus einem nicht identischem Zeitbezug beider Datenquellen resultieren.

Vergleichbare Gebäudebebauungsformen, z.B. geschlossene Blockbebauung, wurden nach verschiedenen Modellen digitalisiert, mal einzeln, mal zusammenhängend, so dass Bruttogrundflächen für Gebäude unterschiedlich groß gebildet werden. Als Beispiel kann hier die innerstädtische Blockbebauung von Hamburg und Kiel genannt werden. Das erschwert die Durchführung der Klassifikation der Hausumringe in Bebauungsleittypen.

Innerhalb der Hamburger Daten bestand bei der innerstädtischen Blockbebauung die Situation, dass Innenhofflächen mal digitalisiert wurden (in diesen Fällen: Geschosszahl=0) und mal die Fläche nicht erfasst wurde.

Nach Fehlermeldungen bei der Ausführung von Funktionen in der ArcGIS-Toolbox wurden die Hausumringe von Schleswig-Holstein mit der Toolbox-Funktion REPAIR GEOMETRY korrigiert. Dabei wurden mehrere Hundert innere Kreuzungen (self intersection) von Polygonen entfernt.

Es gab mehrfach sich überlagernde Polygone, die identische Gebäude darstellten und offensichtlich Fehler waren. Durch Prüfung der Daten über die ArcGIS-Tabellenfunktion Summenstatistik für das ID-Merkmal konnte dies festgestellt werden. Die Korrektur ist erforderlich, weil es sonst zu einer kleinräumigen Überschätzung der Bevölkerung kommt.

## **6.4 Teilmodell Ableitung der Bebauungsform von (Wohn-) Gebäuden**

### **6.4.1 Vorüberlegungen**

Die gebäudebezogene Schätzung der Einwohner soll anhand der Wohnfläche des Gebäudes erfolgen. Die Wohnfläche ist ein Anteil oder die gesamte Geschossfläche eines Gebäudes. Die Hausumringe in der Abdeckung von Deutschland als Teil der Datengrundlage des Lösungsansatzes besitzen keine Information über die Geschosszahl oder die Geschossfläche (vgl. Kapitel 3.2.2). Das macht die Schätzung der Geschossfläche erforderlich. Die Voraussetzung zur Berechnung der Geschossfläche ist die Ableitung der Bebauungsform des (Wohn-)Gebäudes. Dazu wurden in Kapitel 4.1.8 einige Grundlagen geschaffen.

Das Teilmodell wird als regelbasierte Klassifikation implementiert. Die Methode wird prinzipiell von den Autoren der Anwendung SEMENTA in BMVBS/BBR (2008) übernommen. Ziel ist die Klassifikation der Hausumringe in die Bebauungsleittypen nach UBA (2004). Für die Durchführung werden Kennwerte der Wohnbebauung nach IWU (2003) und eigene räumliche Analysen eingesetzt. (vgl. Kapitel 4.1.8)

Vor dem Hintergrund des zeitlichen Rahmens zur Entwicklung des Lösungsansatzes soll die regelbasierte Klassifikation mit den Standard-Werkzeugen der Toolbox in ArcInfo 9.2 auskommen. Das Regelwerk selbst kann dadurch ohne großen Programmieraufwand in der Praxis eingesetzt werden. Die Entwicklung der Anwendung SEMENTA in BMVBS/BBR (2008) basiert auf einer komplexeren Zusammenstellung von Kennwerten, die durch Programmierung in ArcGIS Desktop implementiert wurden.

### **6.4.2 Ermittlung von bebauungsspezifischen Kennwerten der Hausumringe**

Wie Abbildung 9, S. 31 deutlich wird, können die verschiedenen Bebauungsleittypen annähernd von geometrischen Formen der Bebauung und topologischen Beziehungen der Hausumringe abgeleitet werden. Im Hinblick auf die strukturelle Erfassung der Hausumringe durch die Landesvermessung kann die Ableitung der Bebauungsleittypen durch eine vorangestellte Bildung von Gebäudeverbänden besser abgesichert werden (vgl. Abbildung 20). Dieser erfolgt unter der Prämisse, dass Nebengebäude kleiner 45 m<sup>2</sup> sind. Sie werden von der Bildung der Gebäudeverbände ausgeschlossen. Es wird damit erreicht, dass z.B.

Garagen oder andere geometrisch separat erfasste Bauteile eines Gebäudes nicht in die spätere Ermittlung der Geschossfläche einfließen. Durch die weitere (räumliche) Analyse der resultierenden Gebäudeverbände und sonstigen Eingangsdaten werden zusätzlich eine Reihe von Information gewonnen:

- Bruttogrundfläche des Gebäude(-verbandes)
- Anzahl der Hausnummern je Gebäudeverband
- Centroid des Gebäudeverbandes innerhalb oder außerhalb des Polygons
- Lage des Gebäudeverbandes ist innenstadtnah oder innenstadtfern (Geoprozessing der räumlichen Ableitung siehe Anhang).

Aus der Struktur eines Gebäudeverbandes können speziell die Bebauungsleittypen in Block- und Reihenbebauung relativ sicher identifiziert werden.

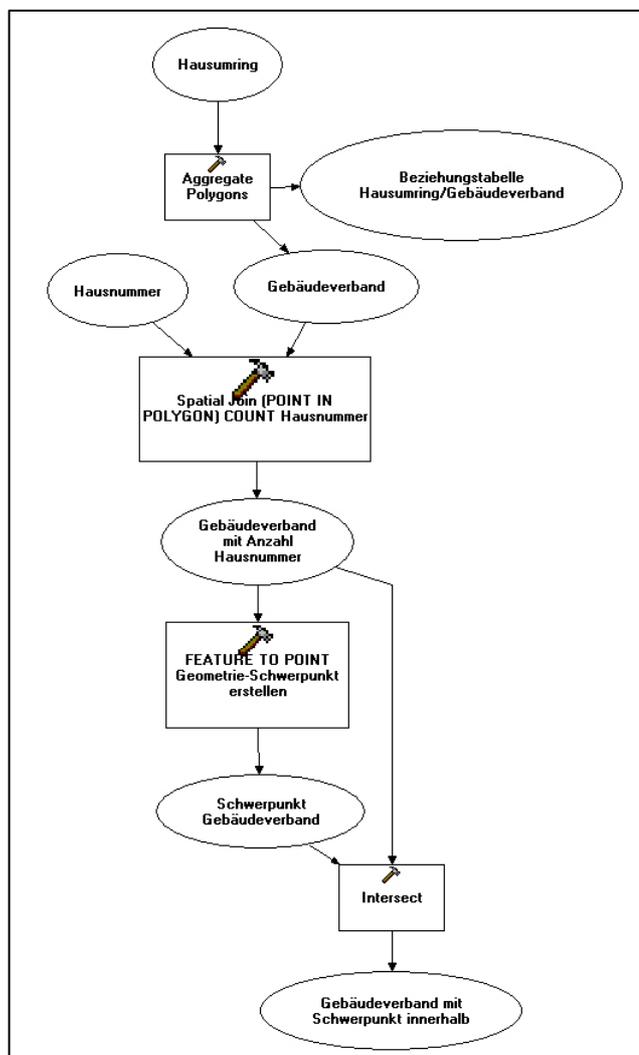


Abbildung 20: Geoprozessierung der Erstellung und Analyse der Gebäudeverbände

### 6.4.3 Regelbasierte Klassifikation der Hausumringe zu Bebauungsleit- typen

Die Kennwerte der zu charakteristischen Gebäudegrundflächen aus IWU (2003) (vgl. Kapitel 4.1.8) und die gewonnenen Informationen der Geometrie und Topologie der Hausumringe (vgl. Kapitel 6.4.2) können im folgenden dargestellten Regelwerk genutzt werden, um den Bebauungsleittyp (vgl. Abbildung 9, S. 31) eines Gebäudeverbandes zu ermitteln. Es handelt sich hierbei um einen vereinfachten Ansatz auf der methodischen Basis von Meinel et al. in BMVBS/BBR (2008).

Code	Name Bebauungsleit- typ	Prämisse	Implementation <sup>1</sup>
EFB_1	Freistehendes Einfamilienhaus	freistehendes Einfamilienhaus besitzt nach Bildung der Gebäudeverbände eine Hausnummer und Grundfläche kleiner/gleich 200 m <sup>2</sup>	[AnzahlHNr] =1 AND [Shape_Area] <=200
EFB_2	Doppelhaus	Doppelhaus besitzt zwei Hausnummern und Grundfläche kleiner/gleich 300 m <sup>2</sup>	[AnzahlHNr] =2 AND [Shape_Area] <=400
EFB_3	Reihenhaus	Reihenhaus hat mind. zwei Hausnummern und im Mittel ist Grundfläche je Hausnummer bis 100 m <sup>2</sup>	[AnzahlHNr] >=2 AND [MEAN_AREA] <=100
MFB_1	Blockbebauung (verdichtete Blockbebauung aus der Gründerzeit um die Jahrhundertwende oder ähnlich)	Blockbebauung nur in Gemeinden mit mind. 10000 Einwohnern und Gebäudeverband besitzt mind. eine Hausnummer und Centroid liegt außerhalb der Gebäudegrundfläche und Ist Innenstadtnah  Innenstadt: örtlich größtes zusammenhängendes Gebiet mit höchster Grundflächendichte, innenstadtnah: Umkreis des Centroides der Innenstadt mit halben Radius des Kreises mit selber Fläche wie Gemeinde (vgl. Anhang A)	[Stadt] =1 AND  [Anzahl_HNr] <> 0 AND  [Centroid_INSIDE] = -1 AND [Innenstadt]=1
MFB_2	Zeilenstruktur	Alle übrigen noch nicht klassifizierten Gebäudekomplexe mit einer Anzahl Hausnummern größer 0 und einer Grundfläche größer 200 m <sup>2</sup>	[Centroid_INSIDE] =1 AND [Shape_Area] > 200 [Anzahl_HNr] <> 0
MFB_3	Geschosswohnungsbau in offener Baustruktur	Stadt und suburbanen Raum Ist innenstadtfrem und Centroid liegt außerhalb der Gebäudegrundfläche und Gebäudeverband besitzt mind. eine Hausnummer und Gebäudegrundfläche größer 500 m <sup>2</sup>	[Innenstadt] = -1 AND  [Centroid_INSIDE] =-1 AND  [Anzahl_HNr] <> 0 AND [Shape_Area] >500
MFB_4	Aufgelockerte Blockstrukturen	ländliche/suburbane Mehrfamilienhäuser: Gebäudeverband besitzt mind. eine Hausnummer Gebäudegrundfläche von 200 und bis 500 m <sup>2</sup>	[Anzahl_HNr] <> 0 AND  [Shape_Area] >200 AND [Shape_Area] <=500

Tabella 12: Regelwerk der Klassifikation der Hausumringe in Bebauungsleittypen nach UBA (2004), <sup>1</sup>vgl. Anhang A und B

Hochhäuser, mit einem Anteil von ca. 1 % der Gesamtwohnfläche in Deutschland (vgl. IWU 2003), sind in diesem Lösungsansatz nicht berücksichtigt. Die Autoren in

BMVBS/BBR (2008) konnten Hochhäuser durch eine entsprechende Symbolisierung in der eingesetzten Rasterdatengrundlage „Digitalen Topographische Karte 1:25.000“ (DTK25-V) identifizieren.

Die Anwendung der Abfrageausdrücke der Implementation (vgl. Tabelle 12) erfolgt im entsprechenden Teilmodell, das unter ArcInfo 9.2 mit dem Modelbuilder erstellt wurde. (vgl. Anhang A)

## **6.5 Teilmodell Identifikation potentieller Wohnstandorte**

Wohnstandorte bzw. (Wohn-)Gebäude sind eine Teilmenge des Gebäudebestandes einer Gemeinde. Sie sind in Reinform oder gemischt mit anderen Nutzungen zu Wohnzwecken genutzt. Die Wohngebäude repräsentieren im Rahmen dieses Lösungsansatzes die räumliche Schätzebene. Die zu schätzenden Einwohnerzahlen werden auf die vorliegenden Hausumringe bezogen. Dieser Prozess modelliert die Bevölkerungsverteilung.

Problematisch ist jedoch, dass die Wohngebäude nach der verfügbaren Geodatengrundlage im Einzelnen nicht bekannt sind, weil den Hausumringen in der Abdeckung für Deutschland ein geeignetes Merkmal zur Differenzierung der Gebäudenutzung fehlt (vgl. Kapitel 3.2). Sie müssen daher bestmöglich identifiziert werden.

Durch die räumliche Schätzebene Gebäude kann gegenüber anderen Lösungsansätzen, die auf Landnutzungsflächen (z.B. ATKIS, CORINE) als räumliche Schätzebene basieren, ein differenzierteres Bild der Bevölkerungsinformation hinsichtlich der räumlichen Lage modelliert werden.

Um die Nutzung der einzelnen Gebäude abschätzen zu können, werden als Hilfsdaten die ATKIS-Nutzung und die Hausnummern eingesetzt. Die ATKIS-Nutzung grenzt flächenhaft die dominierende Nutzungsart im ATKIS-Umring ab. So können beispielsweise Gebäude in der ATKIS-Objektart „Bildung und Forschung“ als Wohngebäude mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Wie in Kapitel 6.3.4 hergeleitet, werden die Gebäude innerhalb der ATKIS-Objektarten „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“ berücksichtigt. Der Hausnummernbestand in diesen beiden ATKIS-Objektarten

grenzt die potentiellen Wohngebäude weiter ein (vgl. Abbildung 21). Die resultierende Auswahl der Hausumringe legt fest, für welche Gebäude die Bevölkerung geschätzt werden soll.

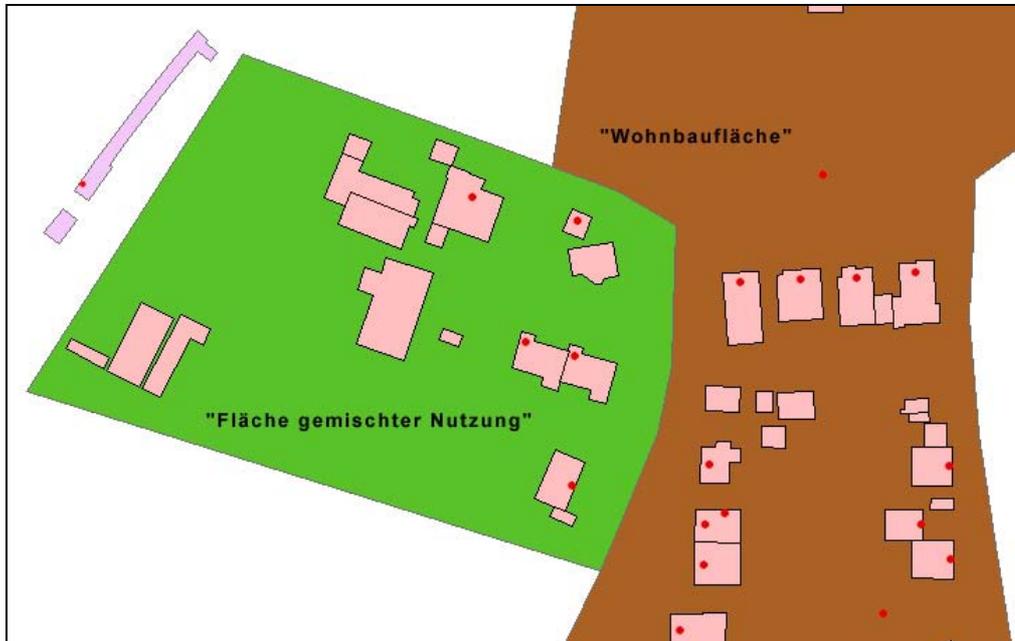


Abbildung 21: räumliche Datensicht der Identifikation potentieller Wohngebäude

Methodisch wird der Ansatz „Binary Method“ von EICHER/BREWER (2001) aufgegriffen, der grundsätzlich in Gemeindeflächen mit und ohne Bevölkerung in Abhängigkeit der Flächennutzung differenziert. Dieser wurde modifiziert hinsichtlich der resultierenden räumlichen Auflösung der Bevölkerungsdichteinformation bis auf Gebäudeebene.

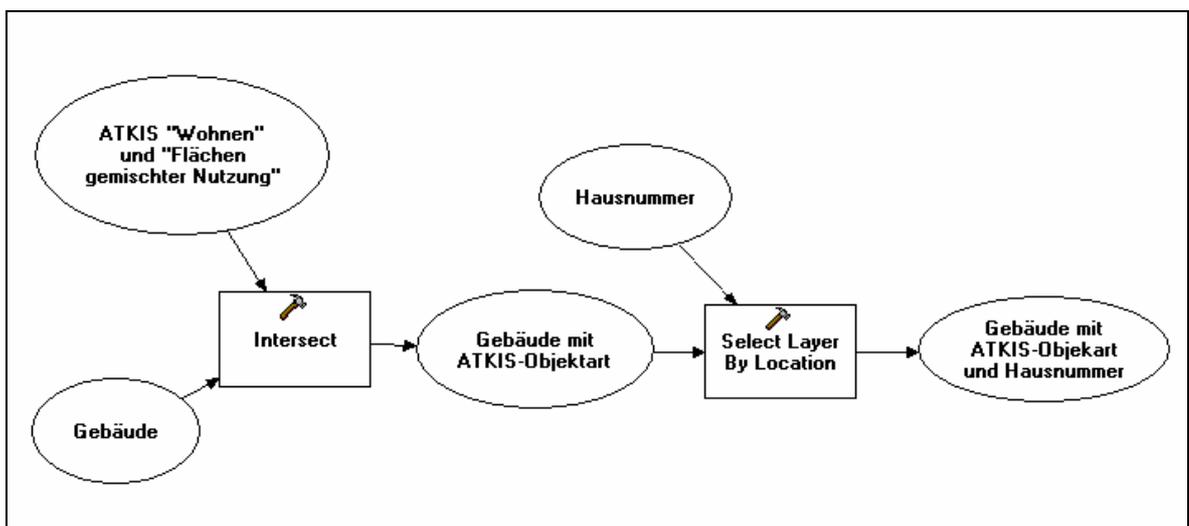


Abbildung 22: Geoprozessierung des Teilmodells: Identifizieren von potentiellen Wohngebäuden

## **6.6 Teilmodell: Schätzfunktion zur Ermittlung der Einwohneranzahl**

### **6.6.1 Vorüberlegungen**

Zwischen den Bevölkerungszahlen je Gemeinde aus den beiden Datenquellen Bevölkerungsfortschreibung und Einwohnermelderegister bestehen deutschlandweit bekannte Differenzen (vgl. Kapitel 3.3.1). Dies wirkt sich auf die methodische Vorgehensweise der Modellentwicklung aus. Das Einwohnermelderegister soll als kleinräumiger Referenzdatensatz zur Ermittlung des Schätzfehlers der Modellfunktion eingesetzt werden. Demnach muss das Teilmodell zur Ermittlung der Einwohneranzahl mit den Gemeinde-Summen der Melderegister-Adressdaten entwickelt und evaluiert werden. Damit wird die benannte Differenz beider Datenquellen aus der Fehlerbetrachtung ausgeschlossen und der Schätzfehler der Bevölkerungszahlen kann ausschließlich auf die Berechnungsmethode bezogen werden. Für die Praxis der Modellanwendung unter Einsatz der Daten aus der Bevölkerungsfortschreibung ist mit einer zusätzlichen Differenz der kleinräumigen Einwohnerzahlen zu rechnen. Das Melderegister gilt in der amtlichen Statistik als die genauere Datenquelle hinsichtlich der realen Bevölkerungszahlen.

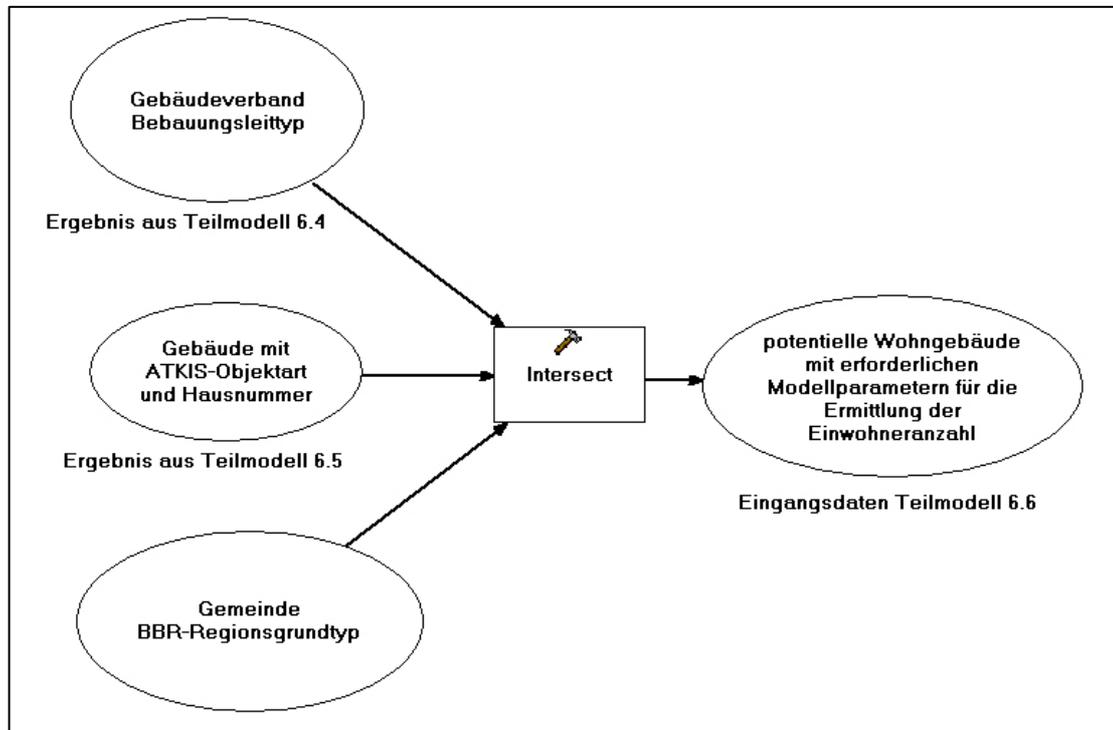
### **6.6.2 Berechnung der geschätzten Wohnfläche je Gebäude**

Die Wohnfläche wird auf der Grundlage der Geschossfläche berechnet. Die berechnete Wohnfläche dient im nächsten Teilschritt der Gewichtung bzw. der Disaggregation der amtlichen Wohnflächen der Gemeinde.

Die Ermittlung der Geschossfläche basiert methodisch auf dem funktionalen Zusammenhang zwischen Grundstücksfläche und Geschossflächenzahl (vgl. Kapitel 4.1.6). Die Größe des Grundstückes eines Gebäudes wird als proportional zum Verhältnis des Anteils der Gebäudegrundfläche an der Summe aller Gebäudegrundflächen in einer ATKIS-Fläche angenommen und berechnet. In ihrer Originalgröße repräsentiert eine ATKIS-Fläche das Bruttobauland. Es wird durch definierte Umrechnungsfaktoren in Nettobauland überführt (vgl. Kapitel 4.1.6). Die Geschossflächenzahl ist differenziert nach baulicher Dichte bzw. Raumtyp und Bebauungsleittyp des Gebäudes durch die Kennwerte von UBA (2004) (vgl. Kapitel 4.1.8) gegeben.

Abbildung 23 zeigt, wie die Zwischenergebnisse voran gegangener Teilmodelle zusammengeführt werden, um die Eingangsdaten für den aktuellen Teilprozess zu gewinnen.

Abbildung 23: Übersicht Eingangsdaten zur Ermittlung der Einwohneranzahl



Der resultierende Eingangsdatensatz aus Abbildung 23 wird mit den Hausnummern verschritten. Da sie in jedem Fall innerhalb eines Hausumrings liegen und als Daten bereits vorhanden sind, sollen sie als Träger der Berechnung der Einwohnerzahl fungieren. Hausumringe können mehr als eine Hausnummer beinhalten, deshalb wird das Ergebnis der Verschneidung nach der Gebäude-ID zusammengefasst (DISSOLVE), wodurch hinsichtlich der Datenstruktur ein multipoint-Datensatz entsteht. Praktisch liegt ein Datensatz je Hausumring vor, der graphisch mehrere Hausnummern repräsentieren kann.

Mit diesem multipoint-Datensatz wird folgender Berechnungsprozess durchgeführt, um die Einwohnerzahl schätzen zu können:

Prozess	Funktion
<p><b>Umrechnung Bruttobauland in Nettobauland</b></p> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">1</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	$NBL_{Stadt} = 0,75 * BBL \quad (2)$ $NBL_{Land} = 0,80 * BBL \quad (3)$ <p><i>BBL</i> = Bruttobauland (ATKIS)  <i>NBL</i> = Nettobauland  Raumtypen (vgl. Tabelle 5 und Anhang C):  I und II = Stadt; III = Land</p>
<p><b>Berechnung der Grundstücksfläche</b>  (Annahme: Grundstück proportional dem Anteil der Gebäudegrundfläche an der Summe der Gebäudegrundfläche in der ATKIS-Fläche)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">2</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	$GS = \frac{GF}{\sum_{i\_ATKIS} GF_{i\_ATKIS}} * NBL \quad (6)$ <p><i>GS</i> = Grundstücksfläche  <i>GF</i> = Gebäudegrundfläche Hausumring</p>
<p><b>Berechnung der Geschossfläche</b></p> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">3</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	$GFl = GFZ * GS \quad (7)$ <p><i>GFl</i> = Geschossfläche (siehe auch Anhang)  <i>GFZ</i> = Geschossflächenzahlen aus Tabelle 5;</p>
<p><b>Berechnung der Geschoszahl</b></p> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">4</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	$GZ = \frac{GFl}{GF} \quad (8)$ <p><i>GZ</i> = Geschoszahl</p>
<p><b>Berechnung der geschätzte Wohnfläche</b>  (für spätere Disaggregation der amtlichen Wohnfläche funktional der Gewichtungsfaktor)</p>	$WFl = GFl * 0,8 * NF \quad (9)$ <p><i>WFl</i> = geschätzte Wohnfläche  <i>NF</i> = Wohnnutzungsanteil (vgl. Kapitel 6.3.5)  0,8 = Umrechnungsfaktor von Brutto-GFl in Netto-GFl (vgl. BMU 2007)</p>

### 6.6.3 Disaggregation der amtlichen Wohnfläche

Das Ergebnis der Berechnung der geschätzten Wohnfläche je Gebäude aus Kapitel 6.6.2 kann in diesem Schritt als gebäudebezogener Gewichtungsfaktor für die Disaggregation der amtlichen Wohnfläche eingesetzt werden. Die amtlich-statistisch erfasste Wohnfläche je Gemeinde wird auf die potentiellen Wohngebäude verteilt.

Für die Disaggregation wird funktional ein proportionaler Zusammenhang zwischen geschätzter und amtlicher Wohnfläche angenommen: der Anteil der geschätzten Wohnfläche eines Gebäudes an der Summe der geschätzten Wohnfläche einer Gemeinde wird auf die Summe der amtlichen Wohnfläche einer Gemeinde übertragen und für ein Gebäude als amtliche Wohnfläche angenommen.

5

$$GWFla = \frac{WFls}{\sum_i WFlsi} * WFla \quad (10)$$

$GWFla$  = amtliche Wohnfläche je Gebäude (disaggregiert)  
 $\frac{WFls}{\sum_i WFlsi}$  = Anteil der geschätzten Wohnfläche an der Summe in der Gemeinde (Gewichtungsfaktor)  
 $WFla$  = amtliche Wohnfläche in der Gemeinde

### 6.6.4 Berechnung der Einwohner

Die Berechnung der geschätzten Einwohner je Gebäude erfolgt durch Multiplikation der disaggregierten amtlichen Wohnfläche je Gebäude mit dem Indikator mittlere Wohnfläche je Einwohner. Dieser wurde zuvor aus den Werten der amtlichen Wohnungsfortschreibung und Bevölkerungsfortschreibung gebildet.

6

$$WFljeEW = \frac{WFla}{Beva} \quad (11)$$

$WFljeEW$  = mittlere Wohnfläche je Einwohner in der Gemeinde

$$EWs = \frac{GWFla}{WFljeEW} \quad (12)$$

$EWs$  = geschätzte Einwohner je Gebäude

Im Hinblick auf Kapitel 6.6.1 bedeutet die Berechnung Nr.6 oben für die Modellentwicklung im Gebiet Hamburg praktisch, dass die Einwohner mit Hauptwohnsitz des Melderegisters auf Ortsteilebene aggregiert werden müssen. Es bleibt die definierte Systematik der Bevölkerungsstatistik gewahrt, die die Einwohner am Ort der Hauptwohnung zählt (vgl. Kapitel 3.3.1).

## **6.7 Teilmodell Rasteraggregation**

### **6.7.1 Modellskalierung und Wahl des Raumbezugs**

Der Prozess der Rasteraggregation generiert das gewünschte Ergebnisraster der Bevölkerung aus den Einzeldatensätzen der Schätzung je Gebäude.

Modellrelevante Aspekte sind dabei die Standardisierung des Rasters und die Rasterweite bzw. die Flächengröße jeder Zelle, auf welche die geschätzte Bevölkerung bezogen wird.

Hinsichtlich der Durchführbarkeit der Methodik ist der Aspekt eines standardisierten Rasters nicht von primärem Interesse, da von den punktuellen Ergebnisdaten der Bevölkerungsschätzung auf jedes gewünschte Raster aggregiert werden kann. Für die Durchführung wird daher ein selbstdefinierter Bezug gewählt (vgl. Kapitel 5.5).

Auf der Basis des Einflusses der sogenannten MAUP-Problematik (vgl. Kapitel 4.2.5) wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, mit dem Ziel, die Rasterweite des geographischen Rasters in Abhängigkeit des Schätzfehlers und der räumlichen Auflösung der Bevölkerungsdichte festzulegen. Die Sensitivitätsanalyse benötigt das Modellergebnis aus der Einwohnerschätzung je Gebäude (vgl. Kapitel 7.4). Sie wird in Kapitel 7.5.1 durchgeführt. Mit dem geographischen Raster werden die Einwohnerzahlen mit Hilfe der topologischen Beziehung Gebäudemittelpunkt in der Rasterzelle summiert. Das Raster in der jeweiligen Rasterweite wird mit Hilfe der ArcGIS-Funktion CREATE FISHNET erstellt.

## 6.8 Zusammenschau des entwickelten Modells

### 6.8.1 Modellprämissen und -parameter

<b>Modellprämissen</b>	
Gemeindeklassifikation	1) Regionsgrundtypen (BBR 2007) 2) Statistisches Bundesamt: einwohnergrößen-abhängige Gemeindeklassifizierung Stadt/Land (ESENWEIN-ROTHE/HESS 1972, S.97)
Bewohnte Flächennutzungen nach ATKIS	„Wohnbauflächen“ „Flächen gemischter Nutzung“
Grundstücksgröße	Grundstück proportional dem Anteil der Gebäudegrundfläche an der Summe der Gebäudegrundfläche in der ATKIS-Fläche
Gebäudeklassifikation	Bebauungsleittypen nach UBA (2004)
Erkenntnisse aus Datenanalyse für Testgebiet	werden für das Gebiet Deutschland angenommen

<b>Parameter</b>	<b>Kennwerte</b>	<b>Quelle</b>
Umrechnungsfaktor Brutto- in Nettobauland	0,75 – Land 0,80 – Stadt/suburban	HEBERLING (2008)
Geschossflächenkennzahlen	differenziert nach Bebauungsleittyp und Regionsgrundtyp	UBA (2004)
Anteil Wohnnutzung an der Geschossfläche:  „Wohnbauflächen“  „Flächen gemischter Nutzung“:	100 %  75 % in ländlichen Regionen 85 % in suburbanen R. 90 % in Kerngebieten	eigene Datenanalyse auf räumlicher Basis der Länder Schleswig-Holstein und Hamburg
Umrechnungsfaktor Brutto-Geschossfläche in Netto-Geschossfläche	0,8	BMU (2007)
Wohnfläche je Einwohner	Mittelwert je Gemeinde, für Hamburg je Ortsteil	eigene Berechnung mit amtlicher Statistik WOFO und BEFO
Rasteraggregation: Rasterzellenweite	1000 x 1000 m	eigene Sensitivitätsanalyse des Modellfehlers

Tabelle 13: Modellprämissen und -parameter im Überblick

## 6.8.2 Modellprozesse im Flussdiagramm

Das folgende Flussdiagramm (vgl. Abbildung 24) visualisiert abstrakt den Modellierungsprozess der kleinräumigen Bevölkerungsdichte für Deutschland. Die jeweiligen Kapitelnummern, in denen der Teilprozess entwickelt wurde, sind voran gestellt.

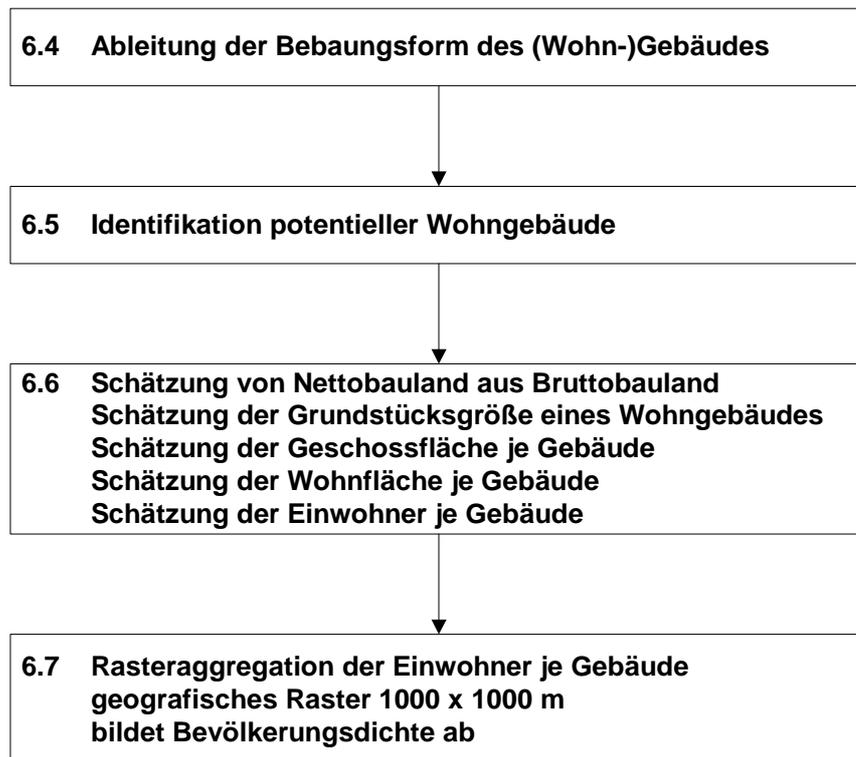


Abbildung 24: Modellprozesse im Überblick

### 6.8.3 UML-Klassendiagramm der Datengrundlage

Das UML-Klassendiagramm der Datengrundlage soll hier für eine bestmögliche Transparenz des Modells und der verwendeten Daten eingesetzt werden. Die Objektklassen sind durch ihre relevanten Attribute und die Art ihrer Beziehung untereinander beschrieben. Das Verständnis der Geoverarbeitung der Objekte soll dadurch gestützt werden.

An den graphischen Verbindungen (Assoziation) zwischen den Objektklassen sind die Multiplizitäten abgebildet. Sie drücken die mengenmäßige Beziehung aus, z.B. ein Wohngebäude verfügt über mindestens eine bis viele Hauskoordinaten. Wenn zusätzlich ein Symbol an der graphischen Verbindung abgebildet ist, handelt es sich um eine gerichtete Beziehung (Generalisierung).

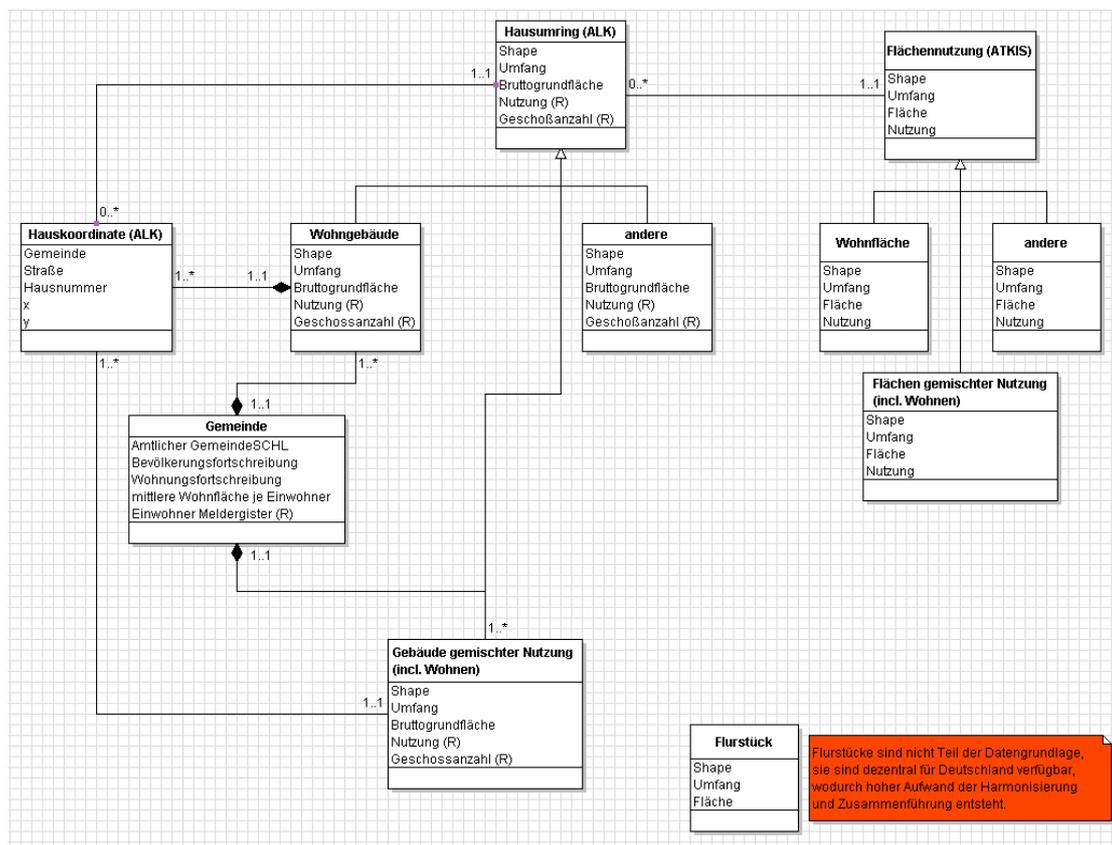


Abbildung 25: Objektrelationales Datenmodell der Hilfsdaten

- Spezialisierung/Ableitung
- Komposition/Abhängigkeit
- (R) Attribut aus Referenzdaten

## 7 Ergebnisse

### 7.1 Ableitung der Bebauungsform von (Wohn-) Gebäuden

#### 7.1.1 Ergebnisdarstellung

Das Regelwerk aus Kapitel 6.4.3 klassifizierte jeden Gebäudeverband bzw. jedes Gebäude mit Hausnummer in den entsprechenden durch Kennwerte charakterisierten Bebauungsleittyp. Die folgende Tabelle zeigt die Häufigkeiten der vergebenen Kategorien insgesamt und differenziert nach den Ländern des Testgebietes.

<i>Kategorie Bebauungsleittyp</i>	<i>Häufigkeit Bebauungsleittyp des Gebäudes</i>					
	<i>insgesamt Testgebiet</i>		<i>davon</i>			
			<i>Schleswig-Holstein</i>		<i>Hamburg</i>	
	<i>Anzahl</i>	<i>Prozent</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Prozent</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Prozent</i>
Gebäude insgesamt:	2.353.324					
darunter:						
Einzel EFB_1	539.632	55,4	470.657	60,2	68.975	35,8
Doppel EFB_2	138.714	14,2	107.915	13,8	30.799	16,0
Reihe EFB_3	124.030	12,7	90.031	11,5	33.999	17,7
<b>EFB gesamt</b>	<b>802.376</b>	<b>82,3</b>	<b>668.603</b>	<b>85,5</b>	<b>133.773</b>	<b>69,5</b>
Block verdichtet MFB_1	11.067	1,1	2.220	0,3	8.847	4,6
Zeile MFB_2	153.778	15,8	108.072	13,8	45.706	23,7
Geschoss MFB_3	4.764	0,5	914	0,1	3.850	2,0
Block locker MFB_4	2.871	0,3	2.424	0,3	447	0,2
<b>MFB gesamt</b>	<b>172.480</b>	<b>17,7</b>	<b>113.630</b>	<b>14,5</b>	<b>58.850</b>	<b>30,5</b>
<b>Gebäude mit Hausnummern gesamt</b>	<b>974.856</b>	<b>100,0</b>	<b>782.233</b>	<b>100,0</b>	<b>192.623</b>	<b>100,0</b>

*Tabelle 14: Klassifikationsergebnis Bebauungsleittypen der Gebäude*

Als visuelles Beispiel der Gebäudeklassifikation folgt ein Gebietsausschnitt der Stadt Eutin in Schleswig-Holstein (Stand Bevölkerungsfortschreibung am 31.12.2007: 17.355 Einwohner). Er enthält im Süden einen Teil des Stadtzentrums, die schematische Abgrenzung der Innenstadt des Regelwerks (vgl. Anhang A) und einen Bereich im Norden, der außerhalb der Innenstadt liegt.

Je nach Bauweise nimmt die Geschossflächendichte der Einzel- und Mehrfamilienhausbebauung nach UBA (2004) zu, was durch den Farbverlauf der Symbolik von hell nach dunkel nachvollzogen werden kann. Das Stadtzentrum Eutin im Süden des Bildausschnitts hebt sich als zusammenhängendes Gebiet mit relativ hoher Geschossflächendichte in dichter Bebauung deutlich ab.

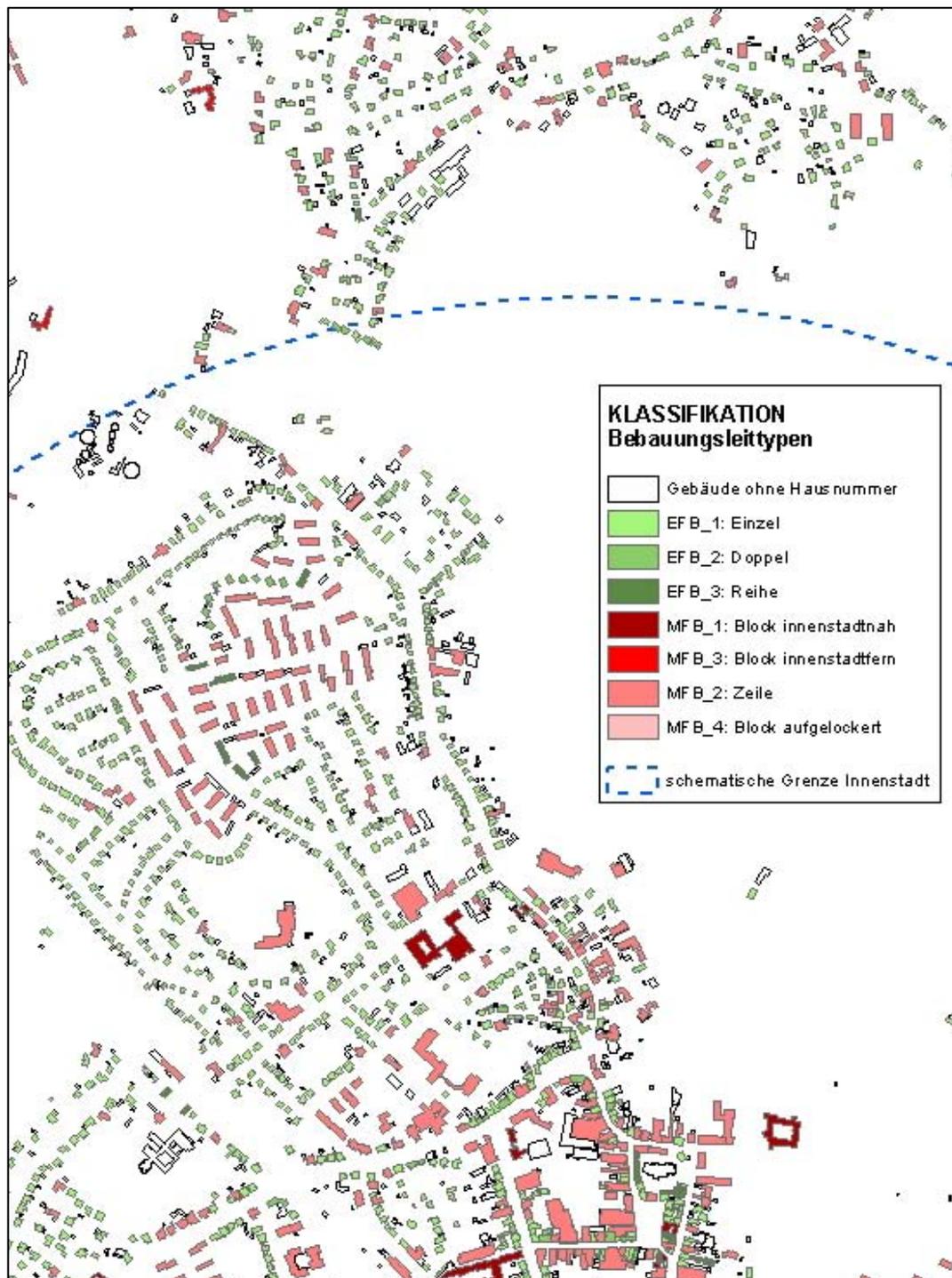


Abbildung 26: Ergebnisvisualisierung der Gebäudeklassifikation

### 7.1.2 Grundlage der Ergebnisbewertung

Für die Ergebnisbewertung liegen keine direkt vergleichbaren Referenzdaten der Bebauungsleittypen nach UBA (2004) vor.

Wichtigste Referenzquelle ist die ALK-Attributierung der Hausumringe (vgl. Kapitel 6.3.1). Die ALK-Attributierung der Hausumringe enthält u.a. das Merkmal Gebäudenutzung. Eine visuelle Prüfung der einzelnen Objektarten der ALK-Gebäudenutzung ergab, dass inhaltlich teilweise daraus Rückschlüsse auf die Bauweisen nach der Systematik der Bebauungsleittypen möglich sind.

Zur Durchführung der Evaluation der Klassifikation der Hausumringe in die Bebauungsleittypen müssen die Objektschlüssel der ALK-Gebäudenutzung reklassifiziert werden. Damit wird eine Zuordnung der einzelnen Objektschlüssel zu den Bebauungsleittypen nach UBA (2004) erreicht (vgl. Tabelle 15). Die Objektschlüssel der ALK-Gebäudenutzung in Schleswig-Holstein und in Hamburg sind nicht identisch. Der Hamburger Schlüssel umfasst deutlich weniger Objektarten als der Schlüssel von Schleswig-Holstein. Dabei sind die Hamburger Objektarten der Gebäudenutzung im Wesentlichen deckungsgleich mit denen von Schleswig-Holstein (vgl. Tabelle 15).

Einschränkend wirkt sich generell aus, dass nicht alle ALK-Gebäudenutzungen kategorisch eindeutig in einen Bebauungsleittyp übersetzt werden können. Ein sehr großer Anteil von ca. 80 % an den Gebäuden mit Hausnummer im Testgebiet ist mit der Gebäudenutzung „Wohnhaus allgemein“ (Objektschlüssel 1301) attribuiert (vgl. Tabelle 16). Darin sind Wohngebäude unterschiedlicher Bauweisen zusammengefasst. Gebäude mit diesem Objektschlüssel können nicht als Referenzobjekt für die Evaluation verwendet werden. Weiterhin lässt sich die Mehrfamilienhausbebauung der Bebauungsleittypen nicht in gleicher baudichtespezifischer Differenzierung auf die wohnrelevanten ALK-Gebäudenutzungen übertragen. Es wird in diesen Fällen nur in die Kategorie „MFB“ reklassifiziert. Die Bewertung der regelbasierten Klassifikation der Bebauungsleittypen erfolgt somit nur sehr eingeschränkt.

Zusätzlich zu der Referenzquelle der reklassifizierten ALK-Gebäudenutzung der Hausumringe kann die amtliche Statistik des Wohngebäudebestandes nach Wohnungsanzahl und Bundesland (vgl. Tabelle 6, S. 43) hinzugezogen werden.

<b>ALK-Objekt- schlüssel</b>	<b>Volltext der ALK-Objektschlüssel</b>	<b>Schleswig- Holstein</b>	<b>Hamburg</b>	<b>Reklassifizierung Bebauungsleittyp</b>
1003	Wohn- oder oeffentliches Gebaeude(allgem.)	x		MFB
1211	Wohnhaus in Reihe	x		EFB_3
1221	Freistehender Wohnblock	x		MFB
1231	Wohnblock in geschlossener Bauweise	x		MFB
1301	Wohnhaus (allgemein)	x	x	nicht möglich <sup>1</sup>
1311	Einzelhaus	x	x	EFB_1
1321	Doppelhaus	x	x	EFB_2
1331	Reihenhaus	x	x	EFB_3
1361	Hochhaus	x	x	MFB
1371	Kinderheim	x	x <sup>2</sup>	MFB
1372	Seniorenheim, Seniorenwohnhaus, Seniorenheim	x		MFB
1373	Arbeitnehmer-,Schwesternwohnheim	x		MFB
1374	Studentenwohnheim,Schuelerwohnheim	x		MFB
1378	Wohnheim (allgemein)	x		MFB
1379	Wohnheim	x		MFB
1381	Behelfsmaessiges Wohngebaeude	x	x	EFB_1
1399	Wohngebaeude (nicht 1311-1398)	x		MFB
2101	Gemischt genutztes Gbd. mit Wohnungen (allg.)	x		MFB
2121	Wohngebaeude mit Handel u. Dienstleistungen	x		MFB
2131	Wohngebaeude mit Gewerbe u. Industrie	x		MFB
2141	Oeffentl. Gebaeude mit Wohnungen	x		MFB
2199	Gemischt genutztes Gbd. mit Wohnungen	x		MFB
2711	Landwirtschaftliches Wohngebaeude	x	x	EFB_1
2731	Landwirtschaftl. Wohn- u. Betriebsgebaeude	x	x	EFB_1
2738	Landw. Wohn- u. Betriebsgeb. (allg.)	x		EFB_1

<sup>1</sup> "Wohnhaus allgemein" kann nicht umgeschlüsselt werden, weil es hinsichtlich der Bauweise unspezifisch ist und nur Aussage über die Gebäudenutzung trifft.

<sup>2</sup> mit 1371 wird in Hamburg Wohnheim incl. Kinderheim verschlüsselt, Kinderheim separat existiert nicht

*Tabelle 15: Reklassifizierung des ALK-Merkmals Gebäudenutzung in Bebauungsleittypen nach UBA (2004)*

### 7.1.3 Ergebnisbewertung

Für die Ergebnisbewertung der regelbasierten Klassifikation der Gebäudeverbände bzw. Gebäude liegen keine direkt vergleichbaren Referenzdaten der Bebauungsleittypen nach UBA (2004) vor. Es wurde deshalb eine Referenzdatengrundlage in Kapitel 7.1.2 kon-

<b>ALK-Gebäudenutzung</b>			<b>Bebauungsleittyp</b>	
<b>Gebäudenutzung zu Wohnzwecken<sup>1</sup></b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>	<b>Code</b>	<b>Trefferquote</b>
				<b>Prozent</b>
Wohnhaus (allgemein)	738196	82,5966	ohne Auswertung <sup>2</sup>	
Einzelhaus	77687	8,6924	EFB_1	82,9
Reihenhaus	41231	4,6133	EFB_3	88,6
Doppelhaus	25198	2,8194	EFB_2	88,1
Wohngebäude mit Handel u. Dienstleistungen	2859	0,3199	MFB	54,9
Wohngebäude (nicht 1311-1398)	1744	0,1951	MFB	52,5
Wohngebäude mit Gewerbe u. Industrie	1269	0,1420	MFB	60,0
Freistehender Wohnblock	1014	0,1135	MFB	54,9
Landwirtschaftliches Wohngebäude	902	0,1009	EFB_1	46,6
Hochhaus	873	0,0977	MFB	99,3
Landwirtschaftl. Wohn- u. Betriebsgebäude	701	0,0784	EFB_1	23,0
Gemischt genutztes Gbd. mit Wohnungen (allg.)	687	0,0769	MFB	37,7
Seniorenwohnhaus, Seniorenheim	467	0,0523	MFB	73,4
Kinderheim	441	0,0493	MFB	88,4
Behelfsmaessiges Wohngebäude	102	0,0114	EFB_1	90,2
Wohn- oder oeffentliches Gebäude(allgem.)	92	0,0103	MFB	39,1
Wohnheim	63	0,0070	MFB	85,7
Landw. Wohn- u. Betriebsgeb. (allg.)	53	0,0059	EFB_1	41,5
Wohnhaus in Reihe	45	0,0050	EFB_3	95,6
Gemischt genutztes Gbd. mit Wohnungen	35	0,0039	MFB	57,1
Wohnblock in geschlossener Bauweise	24	0,0027	MFB	37,5
Studentenwohnheim, Schuelerwohnheim	22	0,0025	MFB	72,7
Wohnheim (allgemein)	19	0,0021	MFB	94,7
Oeffentl. Gebäude mit Wohnungen	12	0,0013	MFB	58,3
Arbeitnehmer-,Schwesternwohnheim	1	0,0001	MFB	100,0
Gebäude mit Hausnummern und Wohnnutzung nach ALK gesamt:	893737	100,0000		

Tabelle 16: ALK-basierte Ergebnisbewertung der Gebäudeklassifikation

<sup>2</sup> eigene Festlegung, <sup>1</sup>vgl. Kapitel 7.1.2

struiert, die auf einer Reklassifizierung der ALK-Gebäudenutzung in die Bebauungsleittypen basiert.

Tabelle 16 zeigt alle ALK-Gebäudenutzungen im Testgebiet, die als Wohnnutzung berücksichtigt sind. Jeder Wohnnutzung ist ein Bebauungsleittyp zugeordnet, um die Ergebnisse der Gebäudeklassifikation evaluieren zu können. Einschränkend können nur ca. 16,5 % aller Gebäude mit Hausnummer(n) und ALK-Wohnnutzung betrachtet werden, da der Großteil der Gebäude unter der ALK-Gebäudenutzung „Wohnen allgemein“ zusammengefasst ist. In Kapitel 7.1.2 wurde dargestellt, dass diese Objektart sehr unterschiedliche Bauweisen nach der Systematik der Bebauungsleittypen vereint, weshalb für die betroffenen Gebäude keine Referenzdaten durch Reklassifizierung erstellt werden konnten.

Hohe Trefferquoten erzielen die klassischen Vertreter der Einfamilienhausbebauung in Einzel-, Doppel-, und Reihenbauweise. Deutlich geringer ist die Trefferquote des landwirtschaftlichen Wohn- und Betriebsgebäudes. Vor diesem Hintergrund erscheint diese Objektart mit seiner Reklassifizierung in den Bebauungsleittyp „EFB\_1“ als wenig ausreichend erfasst bzw. beschrieben. Neben dem Charakter der Einfamilienhausbebauung (EFB\_1) treten vermutlich deutlich größere Gebäudegrundflächen über 200 m<sup>2</sup> auf (vgl. Kapitel 6.4.3). Diese Problematik ist verallgemeinerbar und kann auf alle ALK-Gebäudenutzungen mit relativ geringer Trefferquote in Tabelle 16 übertragen werden.

Fasst man die Auswertung der Trefferquote nach den möglichen Bebauungsleittypen in Tabelle 16 zusammen, ergibt sich folgendes Bild.

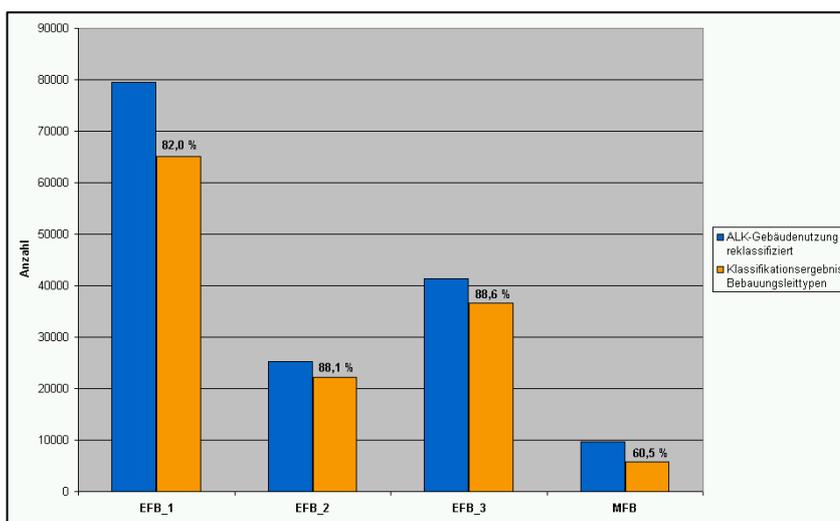


Abbildung 27: Trefferquoten der regelbasierten Klassifikation nach Bebauungsleittyp

Abbildung 27 spiegelt insgesamt einen Anteil von ca. 16,5 % aller klassifizierten Gebäude im Testgebiet wider. Bei dem sichtbar geringen Anteil der MFB-Kategorie an den evaluierten Gebäuden kann angenommen werden, dass ein Großteil der nicht evaluierten Gebäude, die in der ALK mit der Objektart „Wohnen allgemein“ attribuiert sind, zur Mehrfamilienhausbebauung gehört.

Weitere Vergleichsmöglichkeiten bestehen mit der amtlichen Statistik des Wohngebäudebestandes nach Bundesland (vgl. Tabelle 6, S. 43). Diese differenziert in Wohngebäude mit ein, zwei und drei oder mehr Wohnungen.

Als Wohngebäude mit ein oder zwei Wohnungen können prinzipiell alle Bebauungsleittyphen der EFB-Bauweise zusammengefasst werden. Wohngebäude mit drei oder mehr Wohnungen umfassen alle MFB-Bauweisen. Daraus ergibt sich die folgende tabellarische Gegenüberstellung des Ergebnisses der Gebäudeklassifikation zur amtlichen Statistik des Wohngebäudebestandes.

<i>Bauweise</i>	<i>Schleswig-Holstein</i>		<i>Hamburg</i>	
	<i>Ergebnis Gebäudeklassifikation</i>	<i>Amtl. Statistik Wohngebäudebestand</i>	<i>Ergebnis Gebäudeklassifikation</i>	<i>Amtl. Statistik Wohngebäudebestand</i>
	<i>Prozent</i>	<i>Prozent</i>	<i>Prozent</i>	<i>Prozent</i>
<b>EFB</b>	85,5	88,3	69,5	67,1
<b>MFB</b>	14,5	11,7	30,5	32,9

Tabelle 17: Ergebnisbewertung der Gebäudeklassifikation mit amtlicher Statistik

Die modellierten Anteile kommen der amtlichen Statistik global betrachtet relativ nah. Auch die deutlichen Anteilsunterschiede zwischen EFB- und MFB-Bauweise in Schleswig-Holstein und Hamburg in der amtlichen Statistik werden durch die Gebäudeklassifikation beibehalten.

Das Teilmodell des Lösungsansatzes kann verwendet werden, um im methodisch nächsten Schritt die Geschoss- bzw. Wohnflächen zu errechnen.

#### 7.1.4 Fehlerdiskussion

Ganz allgemein hängt die Güte der Gebäudeklassifikation maßgeblich von der möglichst genauen Beschreibung der einzelnen Bebauungsleittyphen durch die eingesetzten Kennwerte im konstruierten Regelwerk ab, wie es in dem Kapitel 6.4.3 aufgestellt wurde. Hinzu kommt, dass auch ein sehr komplexes Regelwerk nicht alle Gebäude fehlerfrei klassifizie-

ren wird, weil einzelne Gebäudevertreter eines Bebauungsleittyps sehr stark von der abstrakten Beschreibungen mit Kennwerte abweichen (vgl. BMVBS/BBR 2008).

Verdeutlicht werden soll diese allgemeine Problematik am Beispiel der Hamburger Villen im Treppenviertel des Stadtteils Blankenese (vgl. Abbildung 28). Bei diesen Wohngebäuden sind Gebäudegrundflächen realisiert, die in der Regel einer Mehrfamilienhausbebauung entsprechen. Die rote Symbolik entspricht dem Modellergebnis Mehrfamilienhausbebauung, die grüne Symbolik bedeutet Einfamilienhausbebauung.



Abbildung 28: Fehlerdiskussion am Beispiel Hamburger Villen

Als solche sind die Villen durch das Teilmodell auch klassifiziert worden. Um speziell diese Ausnahme identifizieren zu können, schätzt die Autorin ein, dass weitere Hilfsdaten notwendig sind. Denkbar ist der Einsatz von sozioökonomischen Daten (z.B. Grundstückspreise, jährliches Einkommen je Einwohner) und umgebender Freiraum bzw. Grundstückgröße, die gemeinsam betrachtet und ausgewertet werden müssen. Leider sind solche Daten in der erforderlichen räumlichen Auflösung für Deutschland nicht verfügbar. In der Modellanwendung werden für diese Gebäude MFB-Geschossflächendichten zum Einsatz kommen, wodurch folglich eine relativ hohe Überschätzung der Einwohner des Gebäudes produziert werden wird.

## 7.2 Identifikation potentieller Wohnstandorte

### 7.2.1 Ergebnisdarstellung

Wie in Kapitel 6.5 dargestellt, wird die Methodik zur Identifikation potentieller Wohnstandorte angewandt. Dieser räumliche Filter liefert die folgende Reduktion des Gebäudebestandes, für den im Anschluss die Bevölkerung geschätzt wird.

	<b>Testgebiet</b>					
	<b>insgesamt</b>		<b>davon</b>			
	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>	<b>Schleswig-Holstein</b>		<b>Hamburg</b>	
			<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>
<b>Gebäude insgesamt:</b>	2.353.324	100,0	2.016.407	85,7	336.917	14,3
darunter:						
mit relevanter ATKIS-Flächennutzung	2.227.437	94,7	1.921.896	81,7	305.541	13,0
und mit Hausnummer	1.081.654	46,0	829.981	35,3	251.673	10,7
in ATKIS- "Wohnbauflächen"	907.944	38,6	680.642	28,9	227.302	9,7
in ATKIS-"Flächen gemischter Nutzung"	173.710	7,4	149.339	6,3	24.371	1,0

Table 18: Ergebnisse der Identifikation potentieller Wohnstandorte im Testgebiet

## 7.3 Abschätzung der Geschossfläche je Gebäude

### 7.3.1 Ergebnisdarstellung und -diskussion

Prinzipiell ist die Wohnfläche je Gebäude von Interesse. Im Hinblick auf die mögliche gemischte Nutzung, bei der nur ein gewisser Anteil der Geschossfläche als Wohnfläche genutzt wird, soll als Beurteilungsgrundlage für das Modellergebnis die Geschossfläche bzw. die Geschosshöhe heran gezogen werden. Sie lässt sich bezogen auf den Bebauungstyp besser plausibilisieren.

Für eine umfassendere Betrachtung steht Tabelle 14, S. 74 zur Verfügung. Sie ermöglicht die Einbeziehung der globalen Häufigkeiten der einzelnen Bebauungsleittypen im Testgebiet.

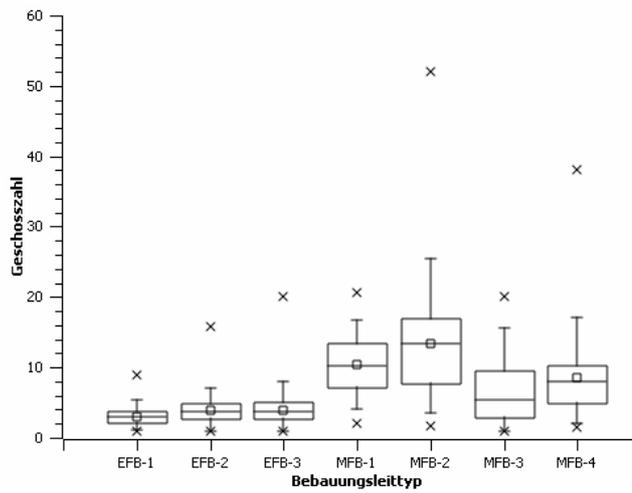
Abbildung 29 lässt eine deutliche Differenzierung der baulichen Verdichtung in Abhängigkeit des Raumtyps erkennen. Das „Kerngebiet“ weist bei der MFB die höchsten Geschosshöhen auf, die geringste Verdichtung ist im „ländlichen Raum“ gegeben. Insofern erscheinen die Kennzahlen aus UBA (2004) und die geschätzten Grundstücksgrößen plausibel.

Insgesamt fällt bei den Raumtypen „Kerngebiet“ und „suburbaner Raum“ ein hohes Niveau der Geschosshöhen auf, das besonders am Bebauungsleittyp EFB erkennbar ist. Bei einer EFB sind Geschosshöhen von mehr als zwei sehr unwahrscheinlich.

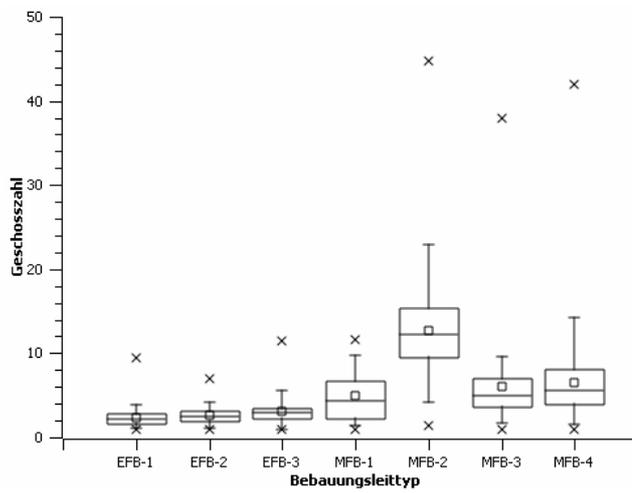
Weiterhin sind hohe bis sehr hohe Extremwerte erkennbar, z.B. innerhalb des Kerngebietes für den Bebauungsleittyp MFB-2 eine Geschosshöhe von 55. Hier handelt es sich hinsichtlich der Datengrundlage meist um Bebauung mit großen Freiflächen. Möglich sind Fälle, in denen eine ATKIS-Fläche mit nur ein oder zwei Gebäuden bestanden ist (vgl. Funktionen Nr.2 und 3 in Kapitel 6.6.2). Durch das Modell wird die geschätzte lokale Nettobaufläche proportional abhängig von der Gebäudegrundfläche auf die Gebäude als Grundstücksfläche verteilt. Real sind besonders bei der MFB zusätzliche andere Nutzungen, z.B. Grünflächen, denkbar, die aufgrund der Datengrundlage nicht aus der Ermittlung der Größe der Grundstücksfläche ausgeschlossen werden können.

Die modellierten Geschosshöhen bzw. die Geschossfläche werden als Gewichtungsfaktoren zur Disaggregation der amtlichen Wohnfläche je Gemeinde benötigt. Es ist daher das Verhältnis der Unterschiede zwischen den Bebauungsleittypen und den Raumtypen maßgeblich und nicht die absoluten Werte der Geschosse je Bebauungsleittyp. Eine Sensitivitätsanalyse und Korrektur der Geschosshöhen kann nicht erfolgen, weil erforderliche Referenzdaten zu Grundstücksgrößen fehlen.

### Kerngebiet



### Erweiterter suburbaner Raum



### Ländlicher Raum

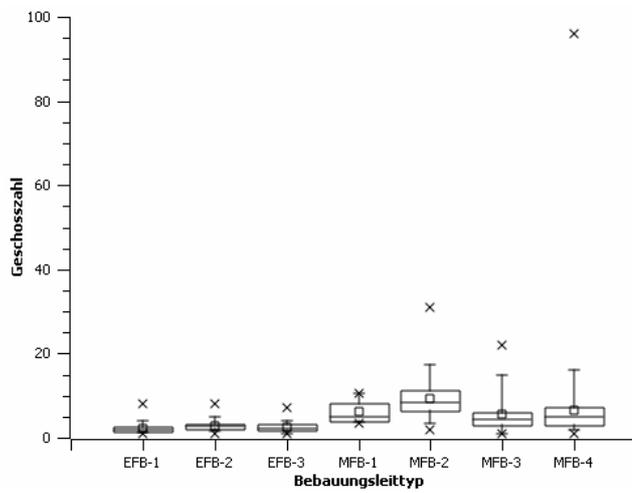


Abbildung 29: Modellerte Geschosshöhen nach Bauungsleittyp und Verdichtungsraum

### 7.3.2 Korrektur unplausibler Geschosszahlen

Eine Korrektur der modellierten Geschosszahlen wird jedoch für die sehr hohen und offensichtlich falschen Extremwerte vorgenommen, um kleinräumig sehr hohe Überschätzungen der amtlichen Wohnfläche respektive der Einwohnerzahlen zu vermeiden (vgl. Abbildung 29). Sie erfolgt auf der Basis von Kennwerten aus IWU (2003):

<b><i>Korrektur des Bebauungsleittyps im Raumtyp</i></b>	<b><i>Anteil an gesamt in Prozent</i></b>	<b><i>Korrekturauswahl Geschosszahl &gt;</i></b>	<b><i>Korrekturwert Geschosszahl=</i></b>
EFB in allen Raumtypen	19	2	2
MFB Kern und suburban	10	20	4
MFB ländlich	0,3	15	3

Abschließend wird auf der Basis der korrigierten Geschosszahlen die Geschossfläche im Gebäude neu berechnet (vgl. Funktion 4 in Kapitel 6.6.2, S. 66).

## 7.4 Ermittlung der Einwohneranzahl

### 7.4.1 Ergebnisdarstellung

Das Ergebnis des Teilmodells enthält die geschätzte Einwohnerzahl je Gebäude in den Gemeinden der Länder Schleswig-Holstein und Hamburg. Im Hinblick auf die Methodik des Lösungsansatzes bildet es die Aggregationsbasis für den zu erstellenden geographischen Raster.

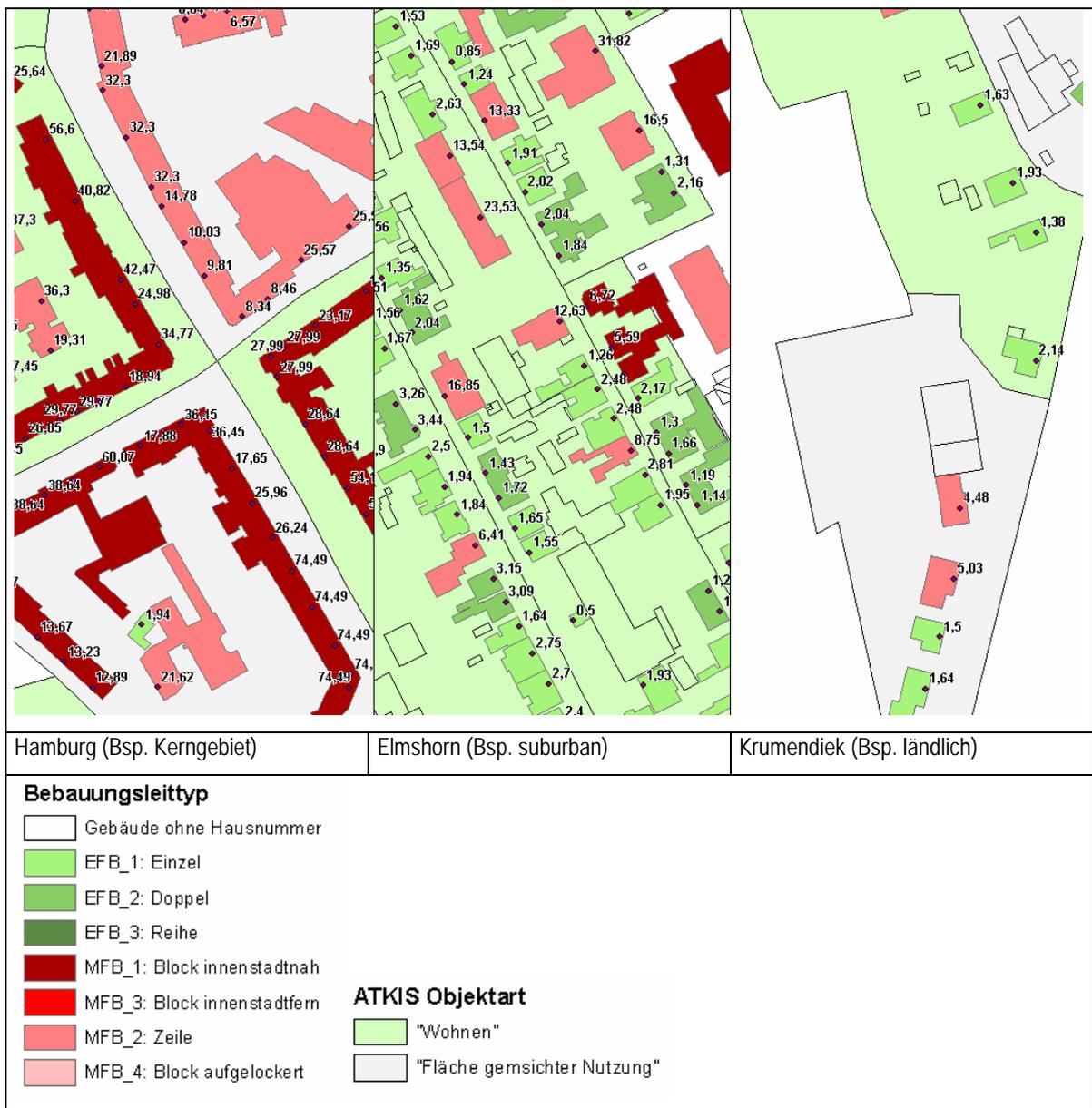


Abbildung 30: Modellergebnis Einwohner je Gebäude

## 7.4.2 Ergebnisbewertung

Als Grundlage für die Ergebnisbewertung sollen die geschätzten Einwohnerzahlen auf Gebietseinheiten aggregiert werden, für welche Referenzdaten vorliegen.

Für die Fläche von Hamburg kann das Modellergebnis mit Einwohnerzahlen aus dem Melderegister, die auf Adressbasis vorliegen, validiert werden. Im Kapitel 6.6.1 wurde dargestellt, dass die Disaggregation der Bevölkerungsdaten für das Gebiet von Hamburg mit den auf Ortsteilebene aggregierten Einwohnerzahlen des Melderegisters erfolgt, damit die Vergleichbarkeit der Einwohnerdaten gegeben ist und der Schätzfehler auf die Methodik bezogen werden kann.

Als Raumbezugsebene für die Modellvalidierung in Hamburg wird die ATKIS-Einteilung eingesetzt. Diese gewährleistet die Ermittlung des Schätzfehlers für einen mikro- bis mesoskaligen Maßstabsbereich. Die ATKIS-Raumeinteilung impliziert örtliche Siedlungsstrukturen, wodurch die Zuordnung relativ hoher oder niedriger Fehlerquoten zu den eingesetzten Bebauungsleittypen im ATKIS-Umring besser möglich ist, als mit einer Rasterstruktur.

Die geschätzten Einwohnerzahlen je Gebäude (193.0327 Datensätze für Hamburg) werden auf die Raumbezugsebene ATKIS aggregiert (12.385 Datensätze mit ATKIS-Objektart „Wohnen“ oder „Fläche gemischter Nutzung“) und mit den ebenfalls auf ATKIS-Einteilung aggregierten Einwohnern mit Hauptwohnsitz aus dem Melderegister verglichen (vgl. Kapitel 6.6.1). Die Aggregation der Einwohner aus der Schätzung und dem Melderegister erfolgt über die ArcGIS-Funktion SPATIAL JOIN.

Die resultierende Datengrundlage der Modellvalidierung enthält 370 ATKIS-Flächen, die nach dem Melderegister nicht bewohnt sind. In Abhängigkeit der aufgestellten Modellprämissen wurden für die Gebäude der betreffenden Flächen insgesamt ca. 19.000 Einwohner berechnet. Es handelt sich um ATKIS-Flächen mit der Objektart „Wohnen“ oder „Fläche gemischter Nutzung“, die Gebäude mit einer Hausnummer enthalten. Für diese Situation eine weitere Modellprämisse zu erstellen, die diesen Fehler ausschließt, ist nach Einschätzung der Autorin mit Blick auf die verfügbaren Daten nicht möglich.

Diese Fehler sind in die Modellvalidierung nicht eingeflossen, weil sie quantitativ nicht bestimmt werden können.

In diesem Kapitel wird der Schätzfehler der Bevölkerungszahl differenziert nach den Bebauungsleittypen und nach den berücksichtigten ATKIS-Objektarten betrachtet. Dargestellt wird die Teilmenge der ATKIS-Flächen (Aggregat des Modellergebnisses am Gebäudecentroid (inside) auf ATKIS-Ebene), die jeweils zu 100% von einem der Bebauungsleittypen bestanden sind.

### ATKIS-Objektart „Wohnbauflächen“, Hamburg

	<i>EFB_1</i>	<i>EFB_2</i>	<i>EFB_3</i>	<i>MFB_1</i>	<i>MFB_2</i>	<i>MFB_3</i>	<i>MFB_4</i>
<b>Anzahl der ATKIS-Umringe</b>	895	136	348	261	1676	108	6
<b>Fehlersumme</b>	35693	2818	3903	5740	75381	2022	605
<b>arithmetisches Mittel</b>	39,9	20,7	11,2	22,0	45,0	18,7	100,8
<b>Standardabweichung</b>	208,5	78,7	103,0	110,7	221,8	75,0	130,4
<b>Spannweite</b>	5673	551,0	1557	1634	5282	542,1	338,0
<b>Maximum</b>	5578	468,3	1472	1561	5184	449,4	294,5
<b>95% Perzentil</b>	205,7	168,7	127,9	125,3	205,9	152,7	276,0
<b>oberes Quartil</b>	53,4	40,0	21,7	32,5	45,8	32,0	183,2
<b>Median</b>	10,8	2,806	-6,2	3,9	5,6	-1,1	66,0
<b>unteres Quartil</b>	-17,6	-26,6	-27,1	-17,7	-19,9	-23,6	16,0
<b>Minimum</b>	-95,1	-82,7	-84,3	-73,5	-97,2	-92,7	-43,4

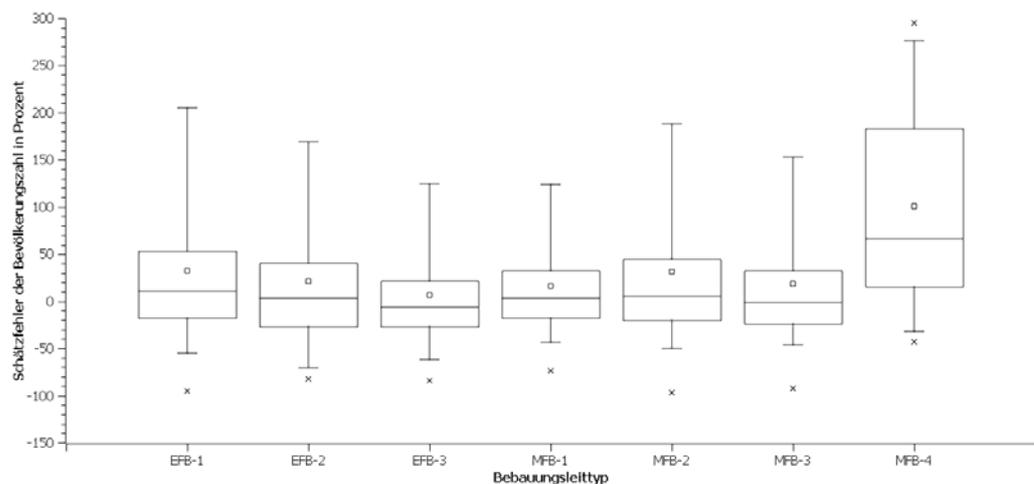


Abbildung 31: Schätzfehler Bevölkerung von homogen bebauten ATKIS-Wohnbauflächen

**ATKIS-Objektart „Fläche gemischter Nutzung“, Hamburg**

	<i>EFB_1</i>	<i>EFB_2</i>	<i>EFB_3</i>	<i>MFB_1</i>	<i>MFB_2</i>	<i>MFB_3</i>	<i>MFB_4</i>
Anzahl der							
ATKIS-Umringe	214	28	46	53	413	26	2
Fehlersumme	127039	1147	16881	14150	269431	7934	148,7
arithmetisches Mittel	593,6	40,96	367,0	267,0	652,4	305,2	74,37
Standardabweichung	4545	114,4	1436	633,9	2941	871,2	9,381
Spannweite	58514	443,0	8666	3351	41091	4497	13,27
Maximum	58436	376,7	8588	3255	40994	4444	81,0
95% Perzentil	1273	252,2	1499	1495	2701	710,6	80,34
oberes Quartil	84,65	69,31	95,25	109,8	230,7	243,3	77,69
Median	1,596	-0,5615	14,59	20,01	56,8	75,72	74,37
unteres Quartil	-34,99	-33,44	-27,73	-26,63	-8,961	-23,36	71,05
Minimum	-78,67	-66,28	-78,21	-96,1	-96,25	-53,33	67,74

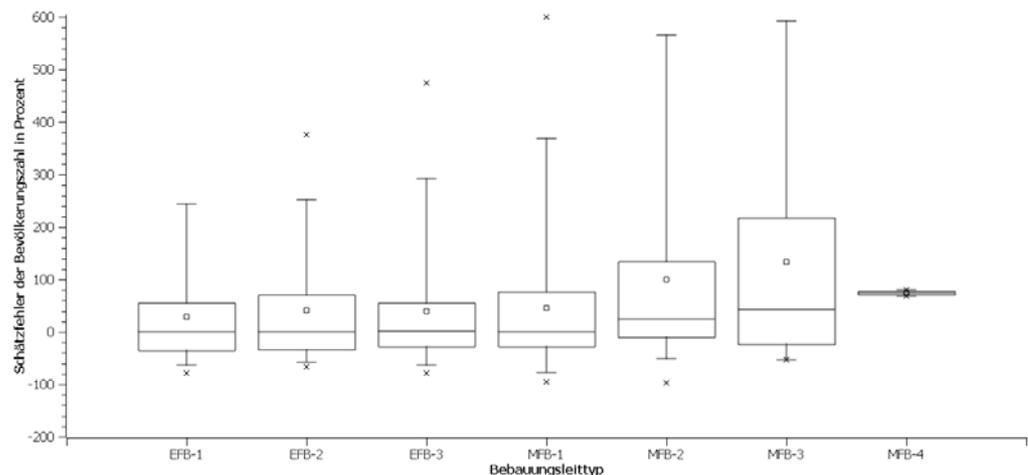


Abbildung 32: Schätzfehler Bevölkerung von homogen bebauten ATKIS-Flächen gemischter Nutzung

Die geschätzten Einwohner ergeben sich maßgeblich aus der geschätzten Wohnfläche eines Gebäudes und deren Division durch den Indikator Wohnfläche je Einwohner. Dieser liegt in Hamburg auf Ortsteilebene vor, also räumlich zusätzlich differenziert.

Mit Blick auf das visualisierte Modellergebnis (vgl. Abbildung 31 und Abbildung 32) besteht für die ATKIS-Wohnbauflächen ein erwartungsgemäß geringerer Fehler als für die

ATKIS-Flächen gemischter Nutzung. Hier besteht die Problematik, dass aufgrund der verfügbaren Datengrundlage nicht bekannt ist, wie groß in den einzelnen Gebäuden der Anteil der Wohnnutzung ist.

Insgesamt überschätzt das Modell lokal die Einwohnerzahl auf den homogen bebauten ATKIS-Flächen. Die Überschätzung allgemein ergibt sich im Fall von zu geringen Werten des Indikators Wohnfläche je Einwohner (vgl. EFB\_1 in Abbildung 31). Die Unterschätzung allgemein kann durch zu gering geschätzte Wohnfläche erklärt werden. Das Modell berücksichtigt in diesem Zusammenhang keine Hochhäuser, woraus punktuell eine starke Unterschätzung zu erwarten ist. Auch der Geschosswohnungsbau in Großsiedlungen, hier in Bebauungsleittyp MFB\_3 berücksichtigt, kann aufgrund sehr variabler realisierter Geschosshöhen zu starker Unterschätzung der Bevölkerung führen.

Es ist zu erwarten, je heterogener die Bebauung ist (städtische Bebauung), um so größer ist die Spannweite der gebäudebezogenen Werte des Indikators Wohnfläche je Einwohner. Da dieser als Modellparameter als Gemeinde-Mittelwert in die Berechnungen einfließt, kann er in diesem Fall schlechter gegenüber homogener Bebauung (ländliche Gebiete) die einwohnerbezogene Wohnflächen abschätzen bzw. angeben.

Für die verdichtete Blockbebauung MFB\_1 in Stadtzentrumnähe (z.B. Gründerzeitarchitektur) in ATKIS-Wohnbauflächen liefert das Modell für Hamburg die besten Ergebnisse mit einem mittleren Schätzfehler von rund 3,9 % (Median) und einer relativ geringen Streuung. Die Autorin begründet dies mit der hier herrschenden bzw. gut zuordenbaren Beziehung von Nettobaufläche und Gebäudegrundfläche als Annahme für die Abschätzung der Grundstücksfläche. Dies ist im Zusammenhang mit einer realistischen Geschossflächenkennzahl aus UBA (2004) eine wichtige Voraussetzung zur realistischen Abschätzung der Wohnfläche im Gebäude.

Der Bebauungsleittyp MFB\_4 ist offensichtlich selten in Reinform in einer ATKIS-Fläche vorhanden. Das Modell überschätzt massiv die Einwohner für diesen Bebauungsleittyp. Die Autorin nimmt an, dass neben den geringen Fallzahlen der Bebauungsleittyp im Regelwerk nicht ausreichend beschrieben und parametrisiert ist.

Weitere Bewertungsmöglichkeiten der geschätzten Einwohner ergeben sich aus dem Vergleich mit veröffentlichten kommunalstatistischen Stadtteileinwohnerzahlen, die jedoch nur für größere Städte vorliegen. Eine Validierung erfolgt beispielhaft für die Stadt Lübeck. Die Stadtteilebene kann im Problemkontext als mesoskalige Betrachtungsebene bezeichnet werden. Da für alle Großstädte im Testgebiet, außer für Hamburg (hier liegt Bevölkerung bis auf Ortsteilebene vor), die Bevölkerungszahl je Gemeinde disaggregiert wird, bietet die Stadtteilebene im Fall der Großstädte eine Möglichkeit der Modellvalidierung ohne über Melderegisterdaten verfügen zu müssen.. Zu beachten ist, dass die Kommunalstatistik Bevölkerungszahlen des Melderegisters veröffentlicht, aber die Quelle der Eingangsdaten der Disaggregation die Bevölkerungsfortschreibung der amtlichen Bundesländer-Statik ist. Hinsichtlich der Bevölkerungszahlen in Lübeck ist die Differenz beider Datenquellen mit 2324 Einwohnern, das ist ca. 1 % bezogen auf die Melderegisterdaten, gering und vernachlässigbar, wenn es um die Beurteilung der Güte des Modellergebnisses geht.

Stadtteile Lübeck	Bevölkerung <sup>1</sup> Melderegister		Bevölkerung Schätzergebnis <sup>2</sup>		Schätzfehler	
	absolut	Prozent	absolut	Prozent	absolut	Prozent
Innenstadt	13.607	6,4	8.953	4,2	-4.654	-34,2
St. Jürgen	41.220	19,3	42.117	19,9	897	2,2
Moisling	11.530	5,4	11.762	5,6	232	2,0
Buntekuh	10.582	4,9	7.804	4,1	-1.911	-18,1
St. Lorenz Süd	15.014	7,0	9.924	4,7	-5.090	-33,9
St. Lorenz Nord	41.915	19,6	36.516	17,3	-5.399	-12,9
St. Gertrud	41.976	19,6	45.712	21,6	3.736	8,9
Schlutup	5.758	2,7	7.720	3,6	1.962	34,1
Kücknitz	18.450	8,6	20.651	9,8	2.201	11,9
Travemünde	13.813	6,5	19.515	9,2	5.702	41,3
<b>gesamt</b>	<b>213.865</b>	<b>100,0</b>	<b>211.541</b>	<b>100,0</b>	<b>Median</b>	<b>2,0</b>

Tabelle 19: Schätzfehler Bevölkerung auf Stadtteilebene in Lübeck

<sup>1</sup> Quelle: LÜBECK (2008)

Der sehr hohe Schätzfehler im Stadtteil Travemünde kann wahrscheinlich auf einen überdurchschnittlich hohen Nichtwohnanteil (sondern hoher Anteil von Zweitwohnsitzen und touristischer Nutzung) zurück geführt werden.

Der Stadtteil Buntekuh ist ein bekanntes Großsiedlungsgebiet mit Geschosswohnungsbau. Möglicherweise wurde hier bestehende Hochhäuser nicht erkannt, weil das Modell den Bebauungstyp Hochhaus nicht berücksichtigt.

## **7.5 Rasteraggregation**

### **7.5.1 Sensitivitätsanalyse**

Die Rasteraggregation ist das abschließende Verfahren, durch das die modellierte Bevölkerungszahl je Gebäude für jede Rasterzelle summiert wird (vgl. Kapitel 4.2.5).

Das Ziel der Sensitivitätsanalyse der Rasteraggregation ist es, die Entwicklung des Schätzfehlers für die Bevölkerungssummen bei variabler Rasterzellenweite zu ermitteln, zu minimieren und gleichzeitig eine meso- bis mikroskalige Auflösung der räumlichen Verteilung des Merkmals zu erhalten.

Die Tabelle 20 zeigt, wie sich die deskriptiven statistischen Größen des Schätzfehlers in den unterschiedlichen Rasterweiten darstellen bzw. verändern. Die Anzahl der Rasterzellen zeigt, dass die räumliche Auflösung der Information der Bevölkerungszahl mit steigender Rasterzellenweite sinkt. Als Mittelwerte sind das arithmetische Mittel und der Median aufgeführt. Beide Kenngrößenwerte liegen extrem weit auseinander. Dabei erscheint das arithmetische Mittel für den Schätzfehler mit Werten zwischen 70 und ca. 400 % extrem hoch. Hier zeigt sich, dass das arithmetische Mittel nicht robust auf Ausreißer reagiert. Aufgrund der relativ großen Streuung der Werte, die auch die Ausreißer umfassen, eignet sich der Median besser zur Darstellung des mittleren Schätzfehlers je Rasterweite.

Schätzfehler in Prozent der Bevölkerung in Hamburg	<i>Rasterweite in m</i>				
	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>
<b>Anzahl der Rasterzellen</b>	26.143	8.806	2.884	911	289
<b>Fehlersumme</b>	1.837.023	705.972	254.560	123.529	118.725
<b>arithmetisches Mittel</b>	70,27	80,17	88,27	135,6	410,8
<b>Standardabweichung</b>	754,9	1228	982,8	2868	3097
<b>Median</b>	1	3	4	5	5
<b>Varianz</b>	48.283	73.900	24.633	86.435	41.492
<b>Minimum</b>	-100	-100	-100	-100	-100
<b>unteres Quartil</b>	-33	-25	-19	-11	-5
<b>oberes Quartil</b>	50	43	36,25	32	26
<b>Maximum</b>	48.183	73.800	24.533	86.335	41.392
<b>95% Perzentil</b>	275	238	194,9	179	307,6

*Tabelle 20: Sensitivitätsanalyse: deskriptive Statistik des Schätzfehlers verschiedener Rasterweiten  
Referenzdatengrundlage: anonymisiertes Melderegister Hamburg, 31.12.2007*

Ausreißer sind erkennbar vorhanden, wenn man die Maximalwerte mit den 95%-Perzentilen vergleicht. Die einzelnen Datenreihen der verschiedenen Raster weisen eine relativ hohe Streuung und deshalb auch eine relativ hohe Standardabweichung auf. Der Median des Schätzfehlers mit Werten von 1 bis 5 % vermittelt als Zentralwert einen robusten mittleren Fehler, der relativ gering ist.

Die Histogramme in Abbildung 33 enthalten gegenüber der Tabelle 20 keine neuen Informationen, jedoch visualisieren sie sehr gut, wie die Streuung des Schätzfehlers für die Mehrzahl der Rasterzellen durch die Erhöhung der Rasterweite minimiert wird. Es sind 95%-Perzentile der Rasterzellen dargestellt. Die Ausreißer sind damit nicht in den Histogrammen berücksichtigt.

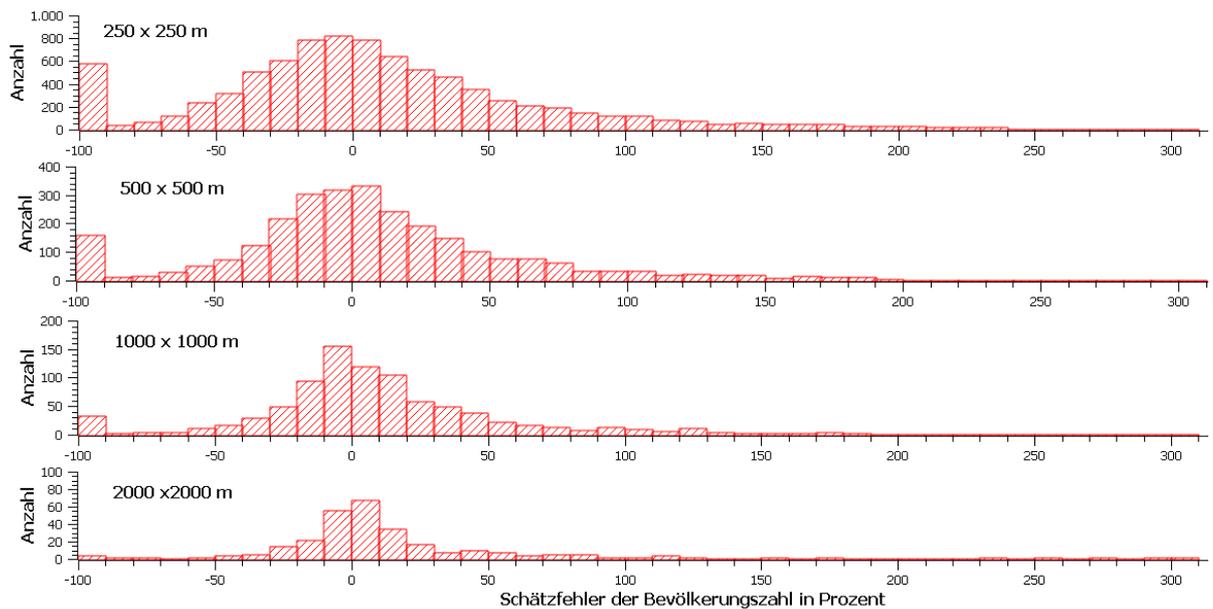


Abbildung 33: Sensitivitätsanalyse: Histogramme des Schätzfehlers verschiedener Rasterweiten

Der Schätzfehler von  $-100\%$  in einer Rasterzelle bedeutet, dass für diese Standorte, die nach dem Melderegister bewohnt sind, durch das Modell keine Bevölkerung berechnet wurde. Die Ursache ist allgemein in der eingesetzten Datengrundlage und in den Modellprämissen zu suchen. Es können fehlende Hausnummern oder örtlich abweichende ATKIS-Flächennutzungen von „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“ in der Daten Grundlage sein. Das Modell verfügt über entsprechende Prämissen (vgl. Kapitel 6.5, S. 64). Man kann hierbei von einem systematischen Modellfehler sprechen, der jedoch bei einer Rasterweite von  $2000 \times 2000 \text{ m}$  kaum einen zusätzlichen Schätzfehler produziert.

In Abbildung 34 wird die räumliche Verteilung des Schätzfehlers im  $2000 \times 2000 \text{ m}$  Raster gezeigt. Diese Rasterweite wurde gewählt, um ein generalisiertes Muster der Fehlerverteilung zu erhalten. Mit Kenntnis des Stadtgebietes kann man erkennen, dass die städtisch dicht besiedelten Bereiche Hamburgs fast ausschließlich über die geringste Fehlerklasse von  $-20$  bis  $20\%$  Schätzfehler verfügen. Auffällig ist die relativ hohe Über- und Unterschätzung der Bevölkerungszahl in den relativ dünn besiedelten Randbereichen (vgl.

Abbildung 35) sowie in stark industriell genutzten Gebieten und der Innenstadt als überörtlich wichtiges Handelszentrum (vgl. Abbildung 36).

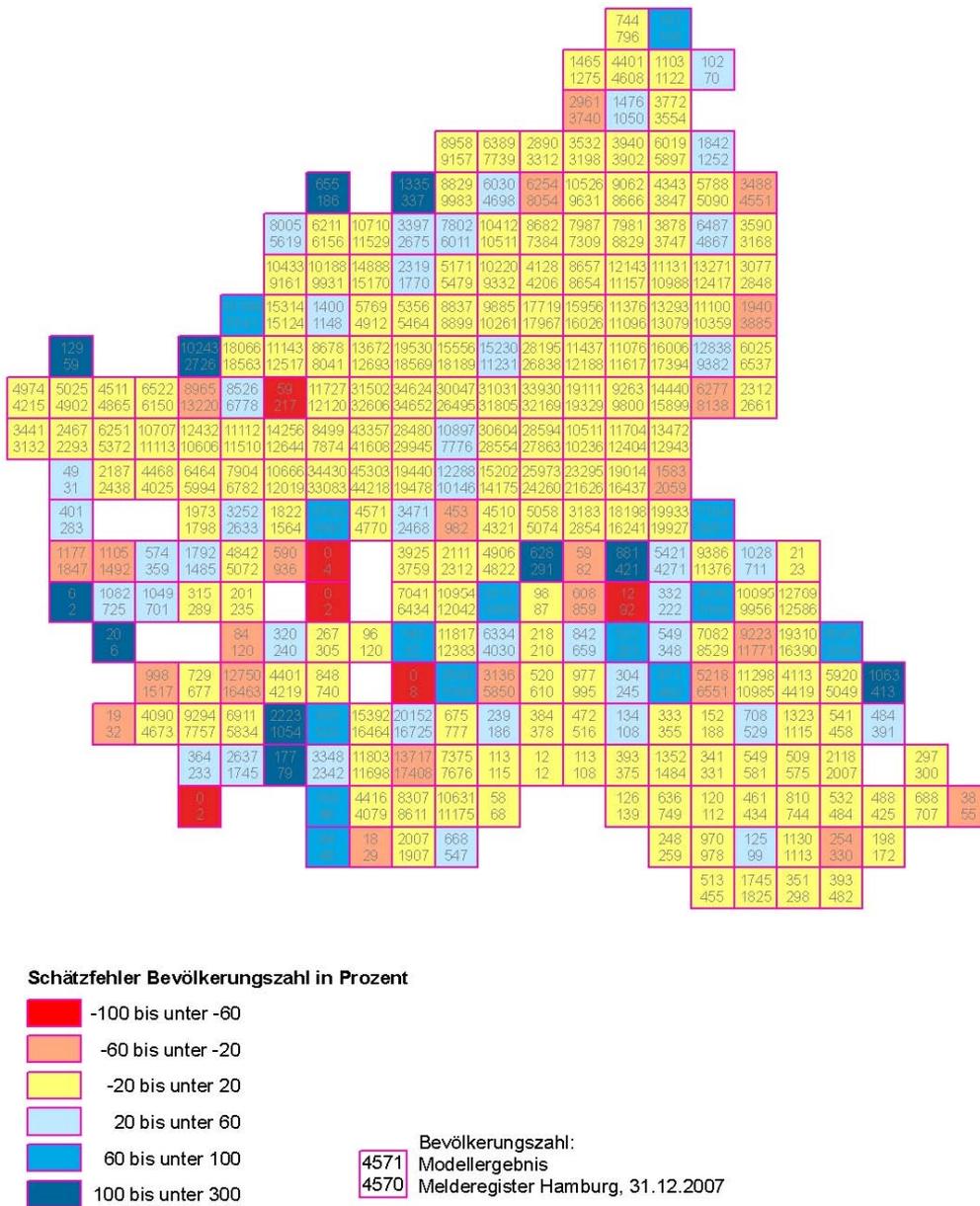


Abbildung 34: Sensitivitätsanalyse: räumliche Verteilung des Schätzfehlers im 2000x2000 m Raster

Das Modell berücksichtigt bisher ausschließlich die Flächennutzungen „Wohnbauflächen“ und „Flächen gemischter Nutzung“ als bewohnte Flächen (vgl. Kapitel 6.5, S. 64). Damit kann der oben beschriebene Fehler erklärt werden.

Die hohe Überschätzung der Bevölkerung in den dünn besiedelten Randbereichen kann auf die Methodik der Schätzung der Grundstücks- und Geschossfläche zurückgeführt werden. In den ATKIS-Umringen mit wenigen Gebäuden wird die geschätzte Nettobaufläche proportional zur Gebäudegrundfläche auf alle Gebäude mit Hausnummer aufgeteilt. Daraus können sich große Grundstücksflächen ergeben, auf deren Basis mit dem Kennwert der Geschossflächendichte die Geschossfläche errechnet wird (vgl. Kapitel 4.1.6 und Funktionen Nr.2 und 3 in Kapitel 6.6.2)

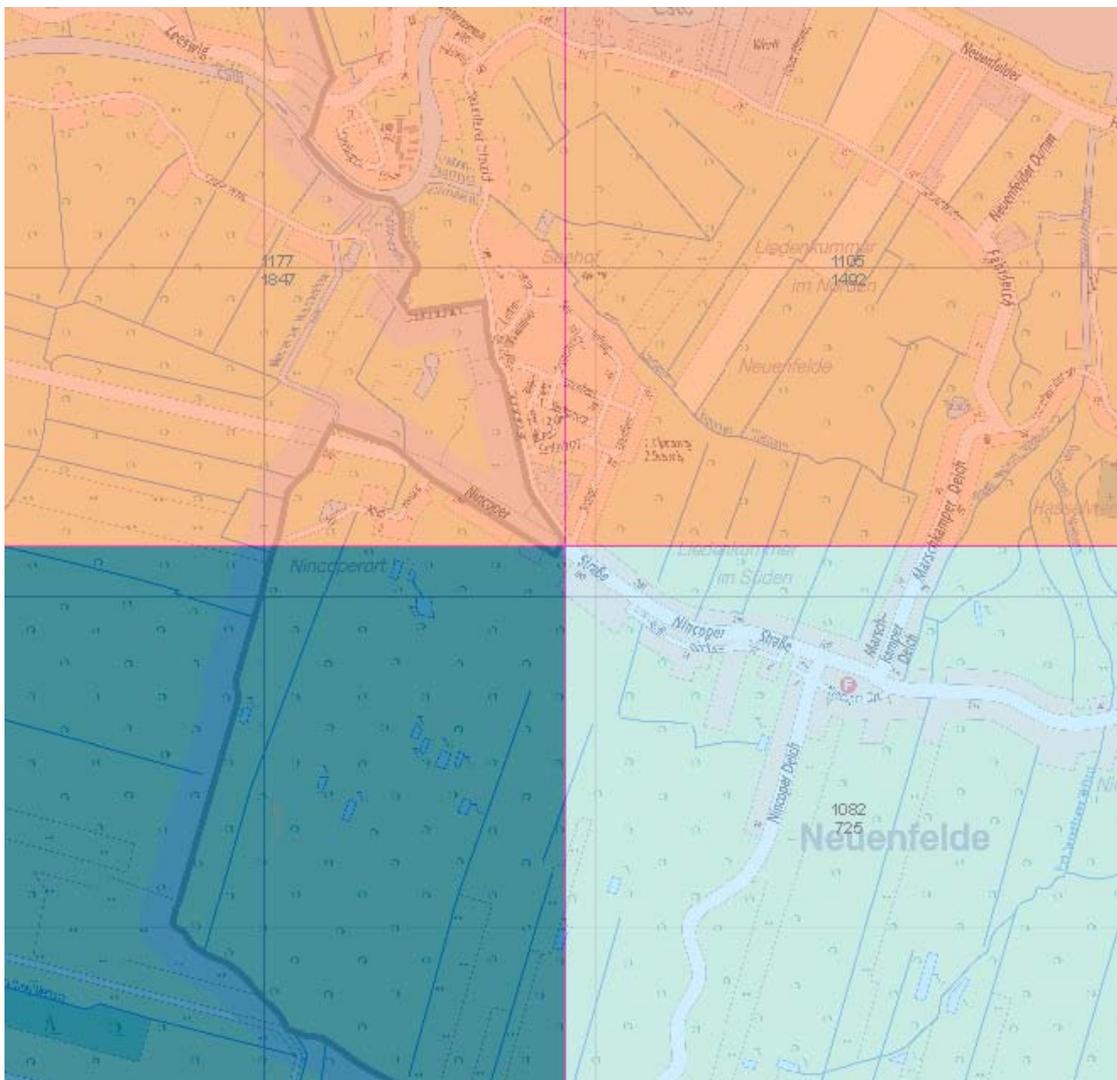


Abbildung 35: Über- und Unterschätzung der Bevölkerung in dünn besiedelten Bereichen  
Klasseneinteilung Raster, siehe Abbildung 34

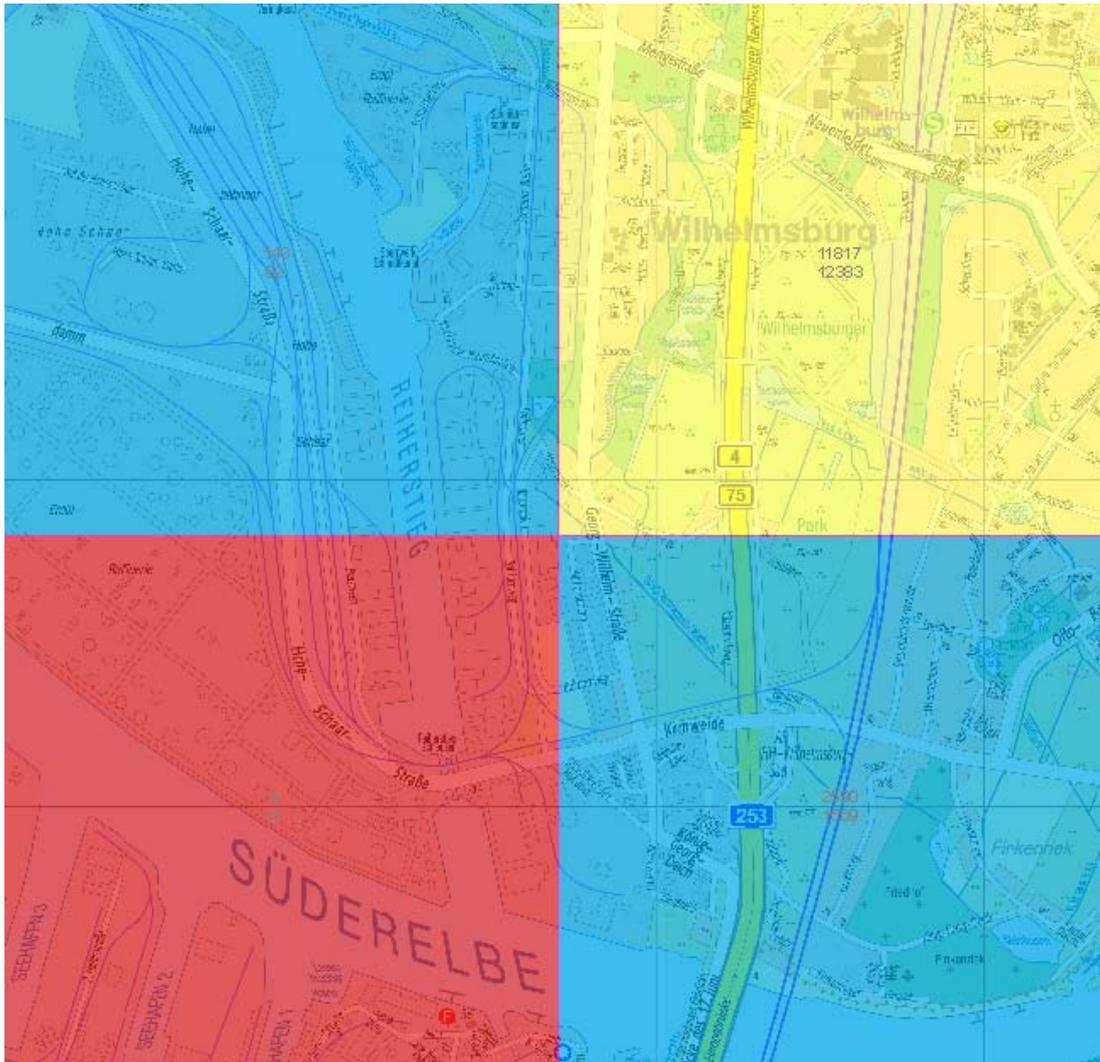


Abbildung 36: Über- und Unterschätzung der Bevölkerung in stark industriell genutzten Bereichen  
Klasseneinteilung Raster, siehe Abbildung 34

### 7.5.2 Wahl der Rasterweite des geographischen Rasters

Auf der Basis der Ergebnisse aus Tabelle 20 und Abbildung 33 wird die Rasterweite 1000 x 1000 m ausgewählt. Wie das obere und untere Quartil zeigen, kann durch die Vergrößerung der Rasterweite von 125 auf 1000 m die Streuung des Schätzfehler reduziert werden. Durch diese Nivellierung des Schätzfehlers steigt der Median von 1 auf 5 % an.

Für die ausgewählte Rasterweite 1000 x 1000 m wird das Ergebnisraster für das gesamt Testgebiet erstellt.

### 7.5.3 Ergebnistraster Testgebiet

Es sind Ausschnitte der kompletten DIN A3 Karte abgebildet, die als gefaltete Karte der gedruckten Version der Arbeit beiliegt.

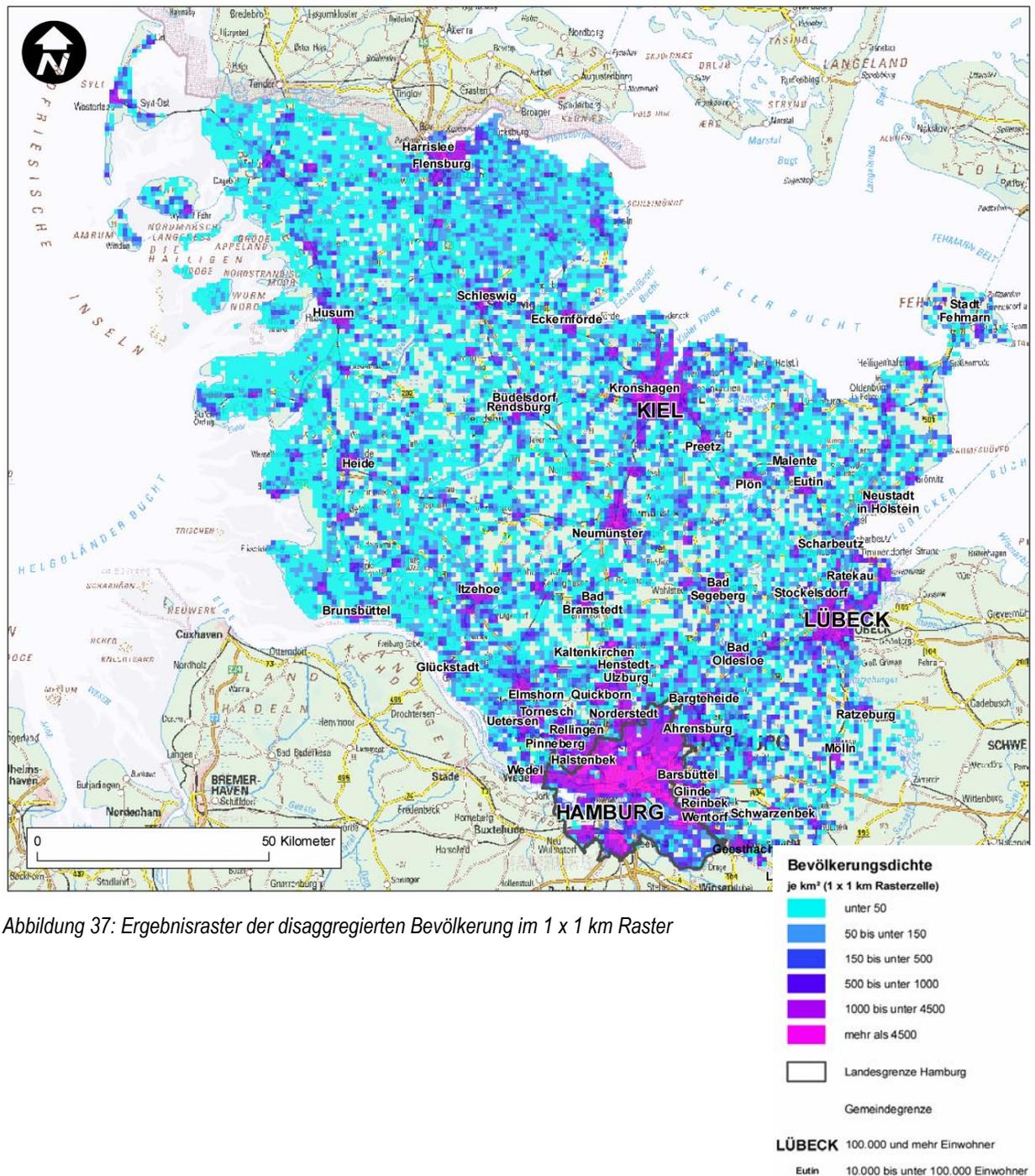


Abbildung 37: Ergebnistraster der disaggregierten Bevölkerung im 1 x 1 km Raster

Der mittlere Schätzfehler des Modells im 1 x 1km Raster wurde für das Gebiet von Hamburg errechnet und beträgt 5 % (Median). 50 % dieser Rasterzellen von Hamburg weisen einen Fehler von -11 bis 32 % auf (vgl. Tabelle 20).

## **7.6 Übertragbarkeit der Methodik auf Deutschland**

Die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg als räumliche Testumgebung eignen sich sehr gut, um die regional stark schwankenden Bevölkerungsdichten in Deutschland zu repräsentieren. Während Hamburg ein typischer Vertreter von Kerngebieten ist, umfasst Schleswig-Holstein als Flächenland alle weiteren charakteristischen Regionen wie sie vom BBR beschrieben wurden (vgl. Kapitel 4.1.4).

Mit der Systematik der Regionsgrundtypen (BBR 2007) ist ein Modell des Dichtegefälles für Deutschland in den Lösungsansatz eingeflossen. Ebenso wurden Kennzahlen der Geschossflächendichte für definierte Bebauungsleittypen (UBA 2004) ausgewählt, die im Mittel den Gebäudebestand von Deutschland repräsentieren.

Hinsichtlich der erforderlichen Datengrundlage war es die Zielstellung der Arbeit, dass diese allgemein zugänglich und für die Abdeckung von Deutschland zentral verfügbar ist. Das Modell ist grundsätzlich direkt auf alle Gemeinden von Deutschland anwendbar. Zu beachten ist jedoch, dass die Kennwerte zum flächennutzungsabhängigen Wohnnutzungsanteil aus der eigenen Datenanalyse auf Daten der Länder Schleswig-Holstein und Hamburg basieren.

Besondere Hinweise müssen für Ostdeutschland und schrumpfende Regionen gegeben werden. Die für Ostdeutschland bestehende besondere Bebauung der industriellen Plattenbauweise ist aufgrund des Testgebietes derzeit noch nicht berücksichtigt. Die Autorin verweist auf BMVBS/BBR (2006). In dieser Veröffentlichung sind spezifische Dichtekennwerten für DDR-Wohnbebauung enthalten sind. Weiterhin, in Bezug auf allgemein schrumpfende Regionen, fehlt aufgrund der aktuellen verfügbaren Datengrundlage ein Lösungsansatz., der intrakommunal den Wohnungsleerstand berücksichtigt.

## **8 Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick**

### **8.1 Zusammenfassung**

Die Frage nach der kleinräumigen Bevölkerungsverteilung und -dichte lässt sich derzeit nicht flächendeckend für Deutschland mit amtlichen Daten beantworten. Vor diesem Hintergrund hat die vorliegende Arbeit folgende Ziele:

- ⇒ Methode für die Erstellung eines Rasterdatensatzes, der die intrakommunale Bevölkerungsdichte in Deutschland modellhaft abbildet.
- ⇒ beispielhafte Anwendung der Methode auf die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg
- ⇒ Modellvalidierung mit bevölkerungs- und gebäudebezogenen Referenzdaten für Schleswig-Holstein und Hamburg und Ausweisung des Modellfehlers für Hamburg
- ⇒ strategisch: Nachweis Mehrwert und Praxis von amtlich erhobenen Geobasisdaten in Verbindung mit amtlicher Statistik

Für die Entwicklung des vorliegenden Lösungsansatzes sind gegenwärtig drei Forschungsarbeiten maßgeblich: UBA (2004), BMVBS/BBR (2006) und BMVBS/BBR (2008). Diese zeigen, wie gering der Spielraum bei der Auswahl einer entsprechenden Datengrundlage für Deutschland aus amtlichen Quellen ist. Vor dem Hintergrund der komplexen Einflüsse auf die intrakommunale Bevölkerungsdichte kommen in allen drei Fällen eine Kombination aus Geobasisdaten der Landesvermessung und Bevölkerungs- und Wohnungsbestandsdaten aus der amtlichen Statistik zum Einsatz. An diesen Ergebnissen orientiert sich die Auswahl der Datengrundlage der vorliegenden Arbeit (vgl. Tabelle 2). Zusätzlich stehen der Autorin Referenzdaten zur Gebäudenutzung aus der ALK und zu adressbasierten Einwohnerzahlen aus dem Melderegister Hamburg zur Verfügung. Diese werden für die Modellvalidierung benötigt.

Als Testgebiet der Modellentwicklung und -anwendung dienen die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg. Während Hamburg ein typischer Vertreter von Kerngebieten ist, umfasst Schleswig-Holstein als Flächenland alle weiteren charakteristischen Regionen wie das BBR diese als Regionsgrundtypen beschreibt (vgl. BBR 2007 und Kapitel 4.1.4). Der Hintergrund ist dabei die Berücksichtigung regional unterschiedlicher Dichtegefälle im System der zentralen Orte.

Für die Schätzung der kleinräumigen Einwohnerzahlen wird allgemein das dichtemessende Verfahren „dasymetric mapping“ als eine Methodik der Disaggregation eingesetzt. Es benötigt Hilfsdaten für die Abschätzung von unterschiedlichen lokalen Dichteverhältnissen der Bevölkerung. Es wird ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Bevölkerungszahl und den Hilfsdaten der Disaggregation aufgestellt. Die Funktions-Parameter ergeben sich aus der Datengrundlage (Hilfs- und Referenzdaten). Ihr Einfluss auf die lokale Bevölke-

rungszahl wird in Form einer Datenanalyse exploriert (vgl. Kapitel 6.3). Dieser gesamte Modellierungsprozess stützt sich auf das Testgebiet (die Länder Schleswig-Holstein und Hamburg) oder auf Teile des Testgebietes. Mangels einer Referenzdatengrundlage für Deutschland müssen die dargestellten Zusammenhänge als Prämissen für das gesamte Modellgebiet Deutschland bzw. für das gesamte Testgebiet unterstellt werden.

Die eingesetzten Parameter werden ergänzt durch Kennzahlen der Geschossflächendichte, die als globale Mittelwerte von Deutschland differenziert nach Wohngebäude- und Raumtyp vorliegen (vgl. UBA 2004 und Kapitel 4.1.8).

Als räumliche Schätzebene der Einwohnerzahlen dient das Gebäudeobjekt, da sich die Kennzahlen der Geschossflächendichte auf eine Wohngebäudesystematik beziehen. Die Hausumringe (Geobasisdaten Gebäude) müssen deshalb vor der Schätzung der Bevölkerung in die erforderlichen Bebauungsleittypen klassifiziert werden. Hierfür baut der Lösungsansatz prinzipiell auf der regelbasierten Klassifikation in BMVBS/BBR (2008) auf. Es handelt sich um ein sehr komplexes Regelwerk, dass für diesen Lösungsansatz wesentlich reduziert und modifiziert wird.

Welche Gebäude können als potentielle Wohngebäude identifiziert werden? Zur Beantwortung dieser Frage wird die „Binary Method“ von EICHER/BREWER (2001) aufgegriffen und modifiziert: Wohngebäude liegen innerhalb der Flächennutzungen „Wohnfläche“ oder „Fläche gemischter Nutzung“ (Geobasisdaten ATKIS) und verfügten über mindestens eine Hausnummer (Geobasisdaten Hauskoordinaten).

Die geschätzten Einwohner je Gebäude liegen als Zwischenergebnis vor und sollen in einem geographischen Raster aggregiert werden. Die Frage nach der Rasterweite und damit nach der Bezugsfläche zur Abbildung der Bevölkerungsdichte wird durch eine Sensitivitätsanalyse beantwortet. Es wird eine Rasterweite von 1000 x 1000m analysiert. Sie stellt einen Kompromiss zwischen der Minimierung des Schätzfehlers bei noch möglichst hoch aufgelöster räumlicher Information der Bevölkerungsdichte dar.

Eine komprimierte Zusammenschau des entwickelten Modells liefert das Kapitel 6.8. Ausführlich wird das Modell schrittweise in den Kapiteln 6.4 bis 6.7 entwickelt und dargestellt.

Die Ergebnisse der Teilmodelle und das Ergebnisraster sind in Kapitel 7 dargestellt und werden bewertet. Der mittlere Schätzfehler des Modells im 1 x 1km Raster liegt für das Gebiet von Hamburg bei 5 % (Median). 50 % dieser Rasterzellen von Hamburg weisen einen Fehler von -11 bis 32 % auf (vgl. Tabelle 20). Der Wertebereich drückt aus, dass für 50 % der Rasterzellen von Hamburg die Bevölkerung in jeder Zelle um 11 % unterschätzt bis zu 32 % überschätzt wurde.

## **8.2 Diskussion und Ausblick**

Das Problem bei der Betrachtung des Ergebnisses der Modellvalidierung ist die große Streuung des Fehlers. Es sind wenige Anwendungsbereiche denkbar, bei denen ein lokaler Schätzfehler von bis zu +/-100 % der realen Bevölkerung unschädlich ist, auch wenn die Häufigkeit dieser großen Fehler gering ist.

Generell schwierig ist für die gesamte Modellentwicklung das starke Abweichen einzelner Objekte von ihrer abstrahierten Beschreibungen mit Kennwerten. Aufgrund des gewählten mikroskaligen Zielmaßstabs steigen die Fehlerhäufigkeit und die -höhe schnell an.

Sehr deutlich wurde das am Beispiel der Hamburger Villen im Treppenviertel des Stadtteils Blankenese (vgl. Abbildung 28). Das Teilmodell der Gebäudeklassifikation hat diese Villen in Mehrfamilienhausbebauung klassifiziert. In der Folge ist eine Überschätzung der Wohnfläche sehr wahrscheinlich. Im Anschluss wird auf der Basis der überschätzten Wohnfläche die Einwohnerzahl überschätzt. Hinzu kommt noch die Überschätzung durch die Verwendung des Indikators „mittlere Wohnfläche je Einwohner“. Das Modell lässt sozioökonomische Zusammenhänge unberücksichtigt, auf deren Basis dieser Mittelwert im Falle der Villen in Blankenese annähernd verdoppelt werden müsste. Wünschenswert ist der zusätzliche Einsatz von sozioökonomischen Daten (z.B. Grundstückspreise, jährliches Einkommen je Einwohner, Leerstand). Solche Daten sind in der erforderlichen räumlichen Auflösung für Deutschland nicht verfügbar.

Der real existierende Gebäudetyp Hochhaus sollte in einem mikroskaligen Zielmaßstab theoretisch nicht unberücksichtigt bleiben, auch wenn er einen sehr geringen Anteil von ca. 1% am Wohngebäudebestand in Deutschland besitzt (vgl. IWU 2003). Auf der Basis der eingesetzten Datengrundlage und der zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeit konnte die Autorin hierfür keinen Lösungsansatz schaffen. Die Autoren in BMVBS/BBR (2008)

konnten Hochhäuser durch eine entsprechende Symbolisierung in der eingesetzten Rasterdatengrundlage „Digitalen Topographische Karte 1:25.000“ (DTK25-V) identifizieren.

Eine mögliche Verbesserung des gesamten Lösungsansatzes ist in der Verwendung der Flurstücke zu sehen. Sie könnten die Hilfsdatengrundlage erweitern, um in Verbindung mit Kennzahlen der bebauungsspezifischen Geschossflächendichte (vgl. UBA 2004) die Geschossfläche eines Wohngebäudes genauer abschätzen zu können. Jedoch sind sie noch nicht zentral verfügbar. Für den Betrachtungsraum Deutschland entstünde ein hoher Aufwand, alle Flurstücke zusammen zu führen.

Die Autorin schätzt ein, dass damit besonders die Überschätzungen der Bevölkerung in dünn besiedelten Randbereichen stark reduziert werden kann. Gegenwärtig wird die Grundstücksgröße innerhalb des Nettobaulandes (ATKIS-Polygon) proportional zur Gebäudegrundfläche angenommen. Wenn sich wenige Gebäude auf einer relativ großen ATKIS-Fläche befinden, kommt es zur Überschätzung der Grundstücksgröße.

Hinsichtlich der strategischen Zielstellung der Arbeit, konnte der Mehrwert von Geobasisdaten in Zusammenhang mit amtlicher Statistik nachgewiesen werden. Dieses Potential ist vor dem Hintergrund des hohen Aggregationsgrades der Bund-Länder-Statistik aus der Sicht der Autorin groß. Wünschenswert wäre jedoch die Option auf einen konsistenten Zeitbezug zwischen den Geobasisdaten und den Daten der amtlichen Statistik. Das neue AAA-Fachschemata der Ländervermessung berücksichtigt und ermöglicht die Versionierung von Geobasisdaten (vgl. ADV 2007). Die wenigsten Bundesländer werden aber davon Gebrauch machen (Eichhorn 2009).

## Anhang

### A. Definition Stadtzentrum

im Regelwerk Klassifikation der Bebauungsleittypen

Prämisse: Blockbebauung (Gründerzeit) in Städten ab 10.000 Einwohner in der Innenstadt

Zentrum der Innenstadt ermitteln:

Auswahl Gemeinden (a)  $\geq 10.000$  Einwohner (52 Gemeinden)

Auswahl (b) der ATKIS-Flächen in diesen Stadt-Gemeinden

Auswahl (c): (b) verringern durch  $GFD \geq 0.6$  (entspricht Kerngebiet, GFD wurde mit Formel Nr. 5; S. 48 ermittelt)

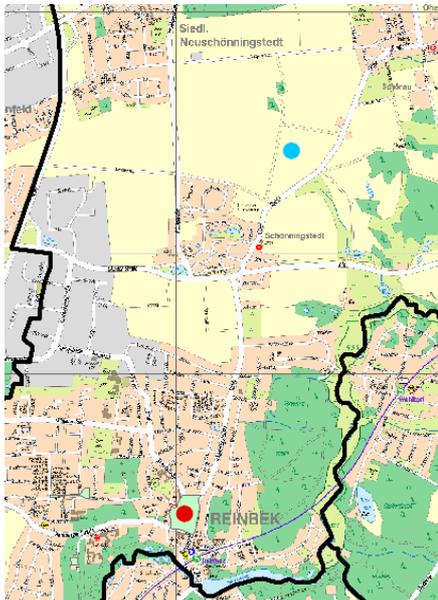
Ergebnis (d): (c) mit ArcGIS-Toolbox AGGREGATE POLYGON: MaxDistance=100m

Ergebnis (e): (d) mit Amtlichen Gemeindenschlüssel (AGS) durch ArcGIS-Funktion INTERSECT attributieren

Ergebnis (f): aus (e): je Gemeinde größte Fläche auswählen: Summentabelle nach AGS, dabei Maximum des Feldes „Shape\_Area“ ermitteln

Ergebnis (g): aus (f) Centroide erstellen mit ArcGIS-Toolbox FEATURE TO POINT

Ideales Ergebnis Stadtzentrum:



Der rote Punkt symbolisiert das nach der GFD analysierte (reale) Stadtzentrum in Reinbek bei Hamburg. Der blaue Punkt zeigt den geometrischen Schwerpunkt der Gemeindefläche.

Schematische Abgrenzung der Innenstadt:

Innenstadt: für Centroid aus (g) Puffer erstellen: ArcGIS-Toolbox BUFFER, Option FIELD, dieses enthält das Ergebnis des halben Radius' des Kreises mit gleicher Fläche wie Gemeindefläche (shapeIndex/Formfaktor),

Feldwertberechnung:  $Buffer\_Radius = \left( \sqrt{\frac{[ATKIS\_Kerngebiete06\_aggregat2.Area1592654]}{2}} \right)$

### Ungelöste Probleme

Wenige Stadt-Gemeinden in Schleswig-Holstein, z.B. Harsislee bei Kiel, haben im realen Stadtzentrum eine GFD unter 0,6 (nach eigener Berechnung). Die gesuchte GFD über 0,6 wird gar nicht oder in Industrie- und Gewerbegebieten erreicht, wodurch das Modell des Stadtzentrums fehl schlug. Hier musste manuell die Lage des Centroides aus (g) korrigiert werden.

Die Gemeinde Hamburg als Großstadt hat diverse Subzentren mit jeweils möglicher Blockbebauung (Eingemeindung ehemals selbständiger Städte), hier liegt ebenfalls Entwicklungspotential des Modells, um diese zu erkennen. Nach jetzigem Stand ist HH zwar in Ortsteile gegliedert, doch kann nicht in jedem Ortsteil, wo  $GFD \geq 0.6$  vorhanden ist von Blockbebauung ausgegangen werden.

## B. Implementation Regelwerk Klassifikation Bebauungsleittypen

Gebäudeklassifikation Feldwertberechnung ArcInfo:

Dim Code as string

if [Anzahl\_HNr]=1 AND [Shape\_Area]<=200 then

Code="EFB\_1"

elseif [Anzahl\_HNr] =2 AND [Shape\_Area] <=400 then

Code="EFB\_2"

elseif [Anzahl\_HNr]>=2 AND [MEAN\_AREA] <=100 then

Code="EFB\_3"

elseif [Centroid\_INSIDE] =-1 AND [Innenstadt] =1 AND [Stadt] =1 AND [Anzahl\_HNr] <> 0 then

Code="MFB\_1"

elseif [Centroid\_INSIDE] =1 AND [Shape\_Area] > 200 AND [Anzahl\_HNr] <> 0 then

Code="MFB\_2"

elseif [Centroid\_INSIDE] =-1 AND [Innenstadt] =-1 AND [Anzahl\_HNr] <> 0 AND [Shape\_Area] >500 then

Code="MFB\_3"

elseif [Centroid\_INSIDE] =-1 AND [Anzahl\_HNr] <> 0 AND [Shape\_Area] >200 AND [Shape\_Area] <=500 then

Code="MFB\_4"

Endif

## C. Berechnung Nettobaupläche

Feldwertberechnung ArcInfo:

Dim NBFL as double

```
if [Gebaeude_Testgebiet_BBR_ATKIS_HNR.BBR_Regionsgrundtyp] <>3 then
```

```
NBFL=0.75* [Gebaeude_Testgebiet_BBR_ATKIS_HNR.AreaATKIS]
```

```
elseif [Gebaeude_Testgebiet_BBR_ATKIS_HNR.BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
```

```
NBFL=0.8* [Gebaeude_Testgebiet_BBR_ATKIS_HNR.AreaATKIS]
```

```
Endif
```

## D. Berechnung Geschossfläche

Feldwertberechnung ArcInfo:

Dim GFL as double

```
if [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_1" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =1 then
```

```
GFL=0.3*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_1" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =2 then
```

```
GFL=0.2*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_1" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
```

```
GFL=0.15*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_2" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =1 then
```

```
GFL=0.5*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_2" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =2 then
```

```
GFL=0.3*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_2" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
```

```
GFL=0.3*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_3" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =1 then
```

```
GFL=0.7*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_3" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =2 then
```

```
GFL=0.5*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="EFB_3" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
```

```
GFL=0.4*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_1" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =1 then
```

```
GFL=2.5*[AREA_Grundstueck]
```

```
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_1" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =2 then
GFL=1.7*[AREA_Grundstueck]
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_1" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
GFL=1.2*[AREA_Grundstueck]

elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_2" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =1 then
GFL=1.3*[AREA_Grundstueck]
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_2" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =2 then
GFL=1.1*[AREA_Grundstueck]
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_2" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
GFL=0.6*[AREA_Grundstueck]

elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_3" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =1 then
GFL=1.5*[AREA_Grundstueck]
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_3" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =2 then
GFL=1.2*[AREA_Grundstueck]
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_3" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
GFL=0.8*[AREA_Grundstueck]

elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_4" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =1 then
GFL=1.2*[AREA_Grundstueck]
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_4" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =2 then
GFL=0.7*[AREA_Grundstueck]
elseif [Code_BEBKLASSIFIKATION] ="MFB_4" AND [BBR_Regionsgrundtyp] =3 then
GFL=0.5*[AREA_Grundstueck]
endif
```

## E. Korrektur Extremwerte modellierter Geschosszahlen

EFB:

```
"Code_BEBKLASSIFIKATION" Like 'E%' AND "r_Geschoss" >2
```

Korrektur mit pauschal Geschoss=2 für 185.985 von 975.255 (ca. 19%)

```
Geschossfläche=Area*r_Grschoss(korrigiert)
```

MFB in BBR-Typ 1 oder 2:

```
"Code_BEBKLASSIFIKATION" Like 'M%' AND "BBR_Regionsgrundtyp" =1 OR "BBR_Regionsgrundtyp" =1 AND
"r_Geschoss" >20
```

Korrektur mit pauschal Geschoss=4 für 94.594 von 975.255 (ca. 10%)

```
Area*r_Grschoss(korrigiert)
```

MFB in BBR-Typ 3:

```
"Code_BEBKLASSIFIKATION" Like 'M%' AND "BBR_Regionsgrundtyp" =3 AND "r_Geschoss" >15
```

Korrektur mit pauschal Geschoss=3 für 2514 von 975.255 (ca. 0,3%)

```
Area*r_Grschoss(korrigiert)
```

## F. Berechnung Nutzfaktor für Anteil Wohnfläche an Geschossfläche

Dim NF as double

```
if [FIRST_OBJART_1] = 2113 AND [FIRST_BBR_Regionsgrundtyp]=1 then
```

```
NF=0.75
```

```
elseif [FIRST_OBJART_1] = 2113 AND [FIRST_BBR_Regionsgrundtyp]=2 then
```

```
NF=0.85
```

```
elseif [FIRST_OBJART_1] = 2113 AND [FIRST_BBR_Regionsgrundtyp]=3 then
```

```
NF=0.9
```

```
elseif [FIRST_OBJART_1] = 2111 then
```

```
NF=1
```

```
Endif
```

## G. Disaggregation der amtlichen Wohnfläche

amtl\_WFL=

```
([Gebaeude_Testgebiet_BBR_ATKIS_HNR_mpoint.Wohnflaeche] / [testgebiet_rWFl.Sum_Wohnfl]) * [Gebaeude_Testgebiet_BBR_ATKIS_HNR_mpoint.amtl_Wohnflaeche_Gemeinde]
```

## Literaturverzeichnis

- ADV (2003) AdV-Arbeitsgruppe ATKIS.  
*ATKIS - Objektartenkatalog, Teil D1, Version 3.2.*  
Arbeitspapier AdV: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, 2003
- ADV (2007) AdV - Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.  
*Adv - Jahresbericht 2006/2007.* www.adv-online.de – Letzer Abruf: 11.09.2007
- AREND (1981) Arend, M.  
*Die Determinanten der Bevölkerungsverteilung im Raum unter besonderer Berücksichtigung der Segregation zwischen Schweizern und Ausländern in Zürich* Universität Zürich, Zürich, 1981
- ARL (1970) ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.).  
*Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung.* Hannover : ARL, 1970
- ARNTZ/WILKE (2007) Arntz,M.; Wilke, R.A.  
An application of cartographic area interpolation to German administrative data. In: *Advances in Statistical Analysis*, 2 (2007), S. 159–180
- BAHRENBERG/GIESE (1975) Bahrenberg, G.; Giese, E.  
*Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie.* Stuttgart : Teubner, 1975
- BANKHOVER/VOGEL (2008) Bankhofer, U.; Vogel, J.  
*Datenanalyse und Statistik.* Wiesbaden : Gabler Verlag, 2008
- BARTELME (2005) Bartelme, N.  
*Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen.* Berlin : Springer Verlag, 2005
- BBR (2000) BBR - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.  
Stadtentwicklung und Städtebau in Deutschland. In: BBR - (Hrsg.): *Berichte, Band 5.* Bonn : BBR, 2000, S. 80
- BBR (2007) BBR - - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.  
*Siedlungsstrukturelle Gebietstypen.*  
[http://www.bbr.bund.de/cln\\_005/nn\\_103086/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Werkzeuge/Raumabgrenzungen/SiedlungsstrukturelleGebietstypen/Regionstypen/Downloadangebote.html](http://www.bbr.bund.de/cln_005/nn_103086/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Werkzeuge/Raumabgrenzungen/SiedlungsstrukturelleGebietstypen/Regionstypen/Downloadangebote.html) – Letzer Abruf: 19.03.2009
- BIELECKA (2005) Bielecka, E.  
A dasymetric population density map of Poland. In: *Cartographic Conference, July 9-15, A Coruna, Spain.* 2005, S.

- BILL/ZEHNER (2008) Bill, R.; Zehner, M.  
*Automatisierte Liegenschaftskarte - Geoinformatik Lexikon.*  
<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=59> –  
Letzer Abruf: 07.07.2008
- BMU (2007) BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.  
*Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belasteten-zahlen durch Umgebungslärm (VBEB).*  
[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/berechnungsmethode\\_umgebungslaerm.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/berechnungsmethode_umgebungslaerm.pdf) – Letzer Abruf: 24.10.2008
- BMVBS/BBR (2006) Siedentop, S.; Schiller, G.; Koziol, M.; Walter, J.; Gutsche, J.-M.  
Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung. In: BMOVBS/BBR - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): *Endbericht Mai 2006.*  
Bonn : BBR, 2006
- BMVBS/BBR (2008) Meinel, Herold, Hecht, Schiller.  
Automatische Ableitung von stadtstrukturellen Grundlagendaten und Integration in einem Geographischen Informationssystem. In: BMOVBS/BBR - Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): *Forschungen, Heft 134.* Bonn : BBR, 2008
- BOUSTEDT (1975a) Boustedt, O.  
*Grundriß der empirischen Regionalforschung Teil II: Bevölkerungsstrukturen.* Hannover : Hermann Schroedel Verlag, 1975
- BOUSTEDT (1975b) Boustedt, O.  
*Grundriß der empirischen Regionalforschung Teil III: Siedlungsstrukturen.* Hannover : Herrmann Schroedel Verlag, 1975
- BOUSTEDT (1975c) Boustedt, O.  
*Grundriß der empirischen Regionalforschung Teil I: Raumstrukturen.* Hannover : Hermann Schroedel Verlag KG, 1975
- BRBS (1992) Wohnbauten in Fertigteilbauweise. In: BRBS - Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.): *Leitfaden für Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise.* Bonn - Bad Godesberg : , 1992, S.
- BÄHR (2004) Bähr, J.  
*Bevölkerungsgeographie.* 4.. Aufl., Stuttgart : UTB, 2004
- CLARK (1951) Clark, C.  
Urban Population Densities. In: *Journal of the Royal Statistical Society*, 114 (1951), S. 375–86
- DESTATIS (2000) DESTATIS - Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.).  
*50 Jahre Wohnen in Deutschland. Ergebnisse aus Gebäude- und Wohnungszählungen, -stichproben, Mikrozensus-Ergänzungserhebungen und Bautätigkeitsstatistiken.* Stuttgart : Metzler-Poeschel, 2000

- DESTATIS (2007a) DESTATIS - Statistisches Bundesamt Deutschland.  
*Qualitätsbericht Bevölkerungsfortschreibung*.  
<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Qualitaetsberichte/Bevoelkerung/Bevoelkerungsfortschreibung.property=file.pdf> – Letzer Abruf: 14.07.2008
- DESTATIS (2007b) DESTATIS - Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.).  
*Statistisches Jahrbuch 2007 für die Bundesrepublik Deutschland*.  
Wiesbaden : DESTATIS, 2007
- DESTATIS (2008) DESTATIS - Statistisches Bundesamt Deutschland.  
*Bautätigkeit und Wohnen, Bestand an Wohnungen, Fachserie 5 Reihe 3*. [https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?CSPCHD=00000001000038zh52aa000000ZSGTLnWqxW5tpYrfA\\$uvGA--&cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1022568](https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?CSPCHD=00000001000038zh52aa000000ZSGTLnWqxW5tpYrfA$uvGA--&cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1022568) – Letzer Abruf: 17.03.2009
- DICKEN/LLOYD (1990) Dicken, P.; Lloyd, P. E.  
*Location in Space: Theoretical Perspectives in Economic Geography*. Third Edition. Aufl., New York : Harper Collins Publishers Inc., 1990
- EICHER/BREWER (2001) Eicher, C.; Brewer, C.  
Dasymetric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation. In: *Cortography and Geographic Information Science*, 28 (2001), S. 125–138
- EICHHORN (2009) Eichhorn, T.  
*Gespräch über Historie Geobasisdaten, "Jour-fixe" zwischen Statistikamt Nord/53 und Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung am 28.04.2009*.
- ENGELKE (2007) Engelke, D.  
*Materialsammlung zur Vorlesung "Raumplanung und Planungsrecht", Universität Karlsruhe*. [www.isl.uni-karlsruhe.de/vrl/raumplanung/sose\\_08/Raumplanung\\_und\\_Planungsrecht.pdf](http://www.isl.uni-karlsruhe.de/vrl/raumplanung/sose_08/Raumplanung_und_Planungsrecht.pdf) – Letzer Abruf: 27.09.2008
- ESENWEIN-ROTHER/HESS (1972) Esenwein-Rothe, I.; Hess, B.  
*Das statistische Instrumentarium für kommunale Entwicklungsplanung*. Wiesbaden : Franz Steiner Verlag, 1972
- ESRI (2009) ESRI Geoinformatik GmbH.  
*Desktop GIS*. <http://www.esri-germany.de/products/arcgis/about/desktop.html> – Letzer Abruf: 16.01.2009
- FORTHERINGHAM et al. (2000) Fotheringham, A.S.; Brunson, C.; Charlton, M.  
*Quantitative Geography. Perspectives on Spatial Data Analysis*. London : Sage, 2000

- GEOBASIS NRW (2008a) GEObasis NRW.  
*Hauskoordinaten der Länder.*  
<http://www.lverma.nrw.de/produkte/liegenschaftsinformation/geb-aeudein-fo/hauskoordinaten/Hauskoordinaten.htm#Produktbeschreibung> – Letzter Abruf: 23.12.2008
- GEOBASIS NRW (2008b) GEObasis NRW.  
*Hausumringe der Länder.*  
<http://www.lverma.nrw.de/produkte/liegenschaftsinformation/geb-aeudeinfo/hausumringe/Hausumringe.htm#> – Letzter Abruf: 23.12.2008
- GOODCHILD/LAM 1980 Goodchild, M.F.; Lam, N.  
Areal interpolation: a variant of the traditional spatial problem. In: *Geoprocessing*, 1 (1980), S. 297–312
- GRIFFITH/WONG (2007) Griffith, D. A.; Wong, D. W.  
Modeling population density across major US cities: a polycentric spatial regression approach. In: *Journal of Geographical Systems*, 9 (2007), S. 53–75
- HEBERLING (2008) Heberling, G.  
*Vorlesungsmaterial: Städtebauliche Berechnungen.*  
[http://www.isl.uni-karlsruhe.de/vrl/staedtebau2/stbl\\_berechnungen/ISL%20-%20Staedtebau%20-%20-%20Berechnungen.pdf](http://www.isl.uni-karlsruhe.de/vrl/staedtebau2/stbl_berechnungen/ISL%20-%20Staedtebau%20-%20-%20Berechnungen.pdf) – Letzter Abruf: 06.08.2008
- HERLYN (1974) Herlyn, U. (Hrsg.).  
*Stadt- und Sozialstruktur.* München : Herlyn, 1974
- IWU (2003) Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU).  
*Deutsche Gebäudetypologie.*  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Gebaeudetypologie\\_Deutschland\\_Dez\\_2003.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland_Dez_2003.pdf) – Letzter Abruf: 15.12.2008
- IWU (2008) Born, R., IWU  
*Telefongespräch am 04. Juni 2008, 11.10 bis 11.25 Uhr.*
- KASTENS/KLEINE BÜNING (2008) Kastens, U.; Kleine Büning, H.  
*Modellierung.* München : Hanser Verlag, 2008
- KNAUS (1981) Knauss, E.  
*Räumliche Strukturen als Bedingung der Bevölkerungsverteilung.* Hamburg : Christians Verlag, 1981
- KULS/KEMPER (2002) Kuls, W.; Kemper, F.J.  
*Bevölkerungsgeographie.* 3.. Aufl., Berlin, Stuttgart : Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung, 2002

- LÜBECK (2008)                    Hansestadt Lübeck - Der Bürgermeister, Bereich Logistik, Statistik und Wahlen.  
*Statistisches Jahrbuch 2007*.  
[http://www.luebeck.de/stadt\\_politik/statistiken/files/PDF/Jb2007.pdf](http://www.luebeck.de/stadt_politik/statistiken/files/PDF/Jb2007.pdf) – Letzer Abruf: 28.03.2009
- MAANTAY et al. (2007)        Maantay, J.A.; Maroko, A.R.; Herrmann, C.  
Mapping population Distribution in the Urban Enviroment: The Cadastral-based Expert Dasymetric System (CEDS). In: *Cartography and Geographic Information Science, Vol. 34, No. 2*, 34 (2007), S. 77–102
- MEINEL/KNOP (2008)         Meinel, G.; Knop, M.  
Geobasisdaten in Deutschland. In: REAL CORP 008 (Hrsg.): *REAL CORP 008 Vienna, May 19 - 21 2008*. 2008, S. 571–581  
[http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2008\\_meinel\\_corp\\_geobasisdaten.pdf](http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2008_meinel_corp_geobasisdaten.pdf)
- MÜLLER/KORDA (1999)        Müller,W.; Korda,M.  
*Städtebau*. Stuttgart : Teubner Verlag, 1999
- PAHL (1966)                    Pahl,R.  
The Rural-Urban-Continuum. In: *Sociologia Ruralis*, 6 (1966), S. 299–329
- PARTSCH (1970)                Partsch, D.  
Daseinsgrundfunktionen. In: ARL-Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung*. Hannover : ARL, 1970, S. 424–430
- SCHMIDTKE (2008)            Schmidtke, C., Landesbetrieb für Geoinformation und Vermessung Hamburg.  
*Auskunft während Arbeitskreis Geoinformationssysteme der Stadt Hamburg*. Dezember 2008
- SCHWARZ (1988)                Schwarz, G.  
*Allgemeine Siedlungsgeographie, Teil 2: Die Städte*. Berlin : De Gruyter, 1988
- SPECKER (2005)                Specker, A.  
*Modellierung von Informationssystemen*. 2.. Aufl., Zürich : vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2005.  
– ISBN 3728129844
- STAHEL (2008)                 Stahel, W. A.  
*Statistische Datenanalyse*. 5.. Aufl., Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2008
- STEINNOCHER et al. (2005)    STEINNOCHER, K.; PETRINI, F.; TÖTZER, T.; WEICHSELBAUM, J.  
Räumliche Disaggregation von sozio-ökonomischen Daten. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2005: Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg*. Aufl., Salzburg : H. Wichmann Verlag, 2005, S. 671–678

- SZIBALSKI (2006) Szibalski, M.  
Karten in der amtlichen Statistik. In: *Wirtschaft und Statistik (Statistisches Bundesamt)*, 3 (2006), S. 205–211  
<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Querschnittsveroeffentlichungen/WirtschaftStatistik/AllgemeinesMethoden/Karten,property=file.pdf>
- SciDAVis (2007) Benkert, T.; Franke, K.; Gadiou, R.  
*SciDAVis*. <http://scidavis.sourceforge.net> – Letzer Abruf: 12.02.2009
- UBA (2004) Buchert, M.; Fritsche, U.; Jenseit, W.; Bausch, L.; Deitmann, C.; Schiller, G.  
Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland. In: UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.): *Forschungsbericht, Texte 01/04*. Berlin : UBA, 2004, S.
- WIRTH (1974) Wirth, L.  
Urbanität als Lebensform. In: Herlyn, U. (Hrsg.): *Stadt- und Sozialstruktur*. München : Herlyn, 1974, S. 42–66
- WONKA (2006) Wonka, E.  
Salzburger Geographische Arbeiten: Regionalstatistik Österreich. Salzburg und Wien : Selbstverlag FB Geographie/Geologie und ZGIS Universität Salzburg, 2006.