

Räumliche Modellierung der Tagesbevölkerung in Wien

Rudolf Churanek, Klaus Steinnocher

(Rudolf Churanek, Universität Wien, 1010 Wien, rudolf.churanek@gmail.com)

(Dr. Klaus Steinnocher, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, 1220 Wien, klaus.steinnocher@ait.ac.at)

1 EINLEITUNG

Mit fortschreitender Urbanisierung weltweit kommt es zu einer immer stärkeren Konzentration der Bevölkerung in Städten. Im Jahr 2014 lebten bereits mehr als die Hälfte (54%) der Menschen in urbanen Räumen. Hochrechnungen zufolge wird sich dieser Anteil bis zum Jahr 2050 auf 66% erhöhen. Mega-Cities mit mehr als 10 Millionen Einwohnern werden häufiger, während kleinere Städte schnell wachsen (United Nations 2014). Somit ist es für Anwendungsgebiete wie Stadtplanung und Risikomanagement immer wichtiger, genaue und aktuelle Daten über die kleinräumige Verteilung der Bevölkerung in urbanen Räumen zur Verfügung zu haben. Diese sind allerdings, sofern überhaupt verfügbar, in der Regel veraltet oder in zu geringer Auflösung vorhanden. Im Falle einer Katastrophe, wie beispielsweise einem Erdbeben, ist es für Behörden und Hilfsorganisationen aber von großer Bedeutung, die Zahl der potentiell Betroffenen abschätzen zu können. Die Anzahl der Personen ist dabei nicht nur abhängig von der Bebauungsdichte des Gebietes sondern auch von der Tageszeit. So wird sich nachts der Großteil der Bevölkerung zu Hause, also in Wohngebäuden aufhalten, während sie sich tagsüber am Arbeitsplatz befindet.

Ziel dieser Studie ist die Entwicklung einer konsistenten und nachvollziehbaren Methode zur Abschätzung der Tagesbevölkerung in einem Stadtgebiet und die Anwendung dieser Methode zur Modellierung der Tagesbevölkerung von Wien.

Keywords: Vienna, daytime population, spatial disaggregation, population modelling, urbanisation

2 AKTUELLER STAND DER BEVÖLKERUNGSMODELLIERUNG

Es gibt bereits zahlreiche Studien, die sich mit der Bevölkerungsmodellierung beschäftigen und dazu auf unterschiedliche Methoden sowie Datensätze zurückgreifen. Neben statistisch erhobenen Daten über die Bevölkerung – Zensus, Pendlerdaten – sind hier vor allem Daten zu nennen, die Informationen zur Landnutzung, Bebauungsdichte sowie zu einzelnen Gebäuden und Gebäudehöhen liefern. Solche Datensätze werden zumeist aus Fernerkundungsbildern abgeleitet und stehen vor allem auf Europäischer Ebene frei zur Verfügung. Beispiele dafür sind CORINE Landcover, Urban Atlas, der Imperviousness Layer des Copernicus Land Cover Services oder im Fall der Stadt Wien die Realnutzungskartierung. Neben Fernerkundungsdaten können auch Hilfsdaten wie Adresspunkte oder sozioökonomische Daten in die Modellierung einfließen.

Ein Ansatz von Aubrecht et al. (2009) beschreibt eine objekt-basierte Analyse von verschiedenen Fernerkundungsdaten zur Modellierung von Bodenbedeckung und urbanen Strukturen, wobei letztere in einem semi-automatischen Prozess generalisiert werden. Anschließend wird die Verteilung der Wohnbevölkerung berechnet mittels Disaggregation auf die Gebäude gewichtet nach deren Volumen. Die Gebäude werden dabei nach ihrer Nutzung bewertet, die durch Geokodierung von Firmendaten modelliert wird.

Unter Bevölkerungsdisaggregation versteht man dabei das Verteilen der Bevölkerung, die meist auf einer größeren Raumeinheit (z.B. pro Bezirk oder Zählbezirk) vorliegt, auf eine höher aufgelöste Einheit wie Rasterzellen oder Gebäude, wobei die Verteilung auf einem Gewichtungsfaktor basiert. Dieser kann z.B. die Gebäudefläche oder das Volumen sein, sofern Höhendaten verfügbar sind. Danach erhalten also größere Gebäude anteilmäßig mehr Bevölkerung als kleinere Gebäude.

Eine andere Methode wählten Steinnocher et al. (2015), die die Bevölkerung auf europäischer Ebene disaggregierten basierend auf der Bebauungsdichte. Die Bevölkerungszahlen lagen auf NUTS-3-Ebene vor, die Bebauungsdichte wurde vom Versiegelungsgrad (Copernicus Imperviousness Layer) abgeleitet. Dies geschah unter Ausmaskierung all jener versiegelter Flächen, die keine Wohngebäude enthielten, wie Straßen oder Industriegebäude. Identifiziert wurden diese Flächen mithilfe von CORINE-Landcover-Daten. Zieleinheit der Disaggregation waren 500-m-Rasterzellen.

Martin et al. (2014) schlägt eine raum-zeitliche Bevölkerungsmodellierung vor, welche die Bevölkerung zu vier verschiedenen Zeitpunkten über einen typischen Arbeitstag verteilt berechnet. Zieleinheit der

Disaggregation sind 200m Rasterzellen. Die Einteilung der Bevölkerung erfolgt in drei Kategorien: Wohnbevölkerung, Nicht-Wohnbevölkerung und Pendler. Diese Gruppen können weiter unterteilt werden in Untergruppen je nach Alter oder ökonomischer Aktivität, wobei sich die Subgruppen über die Zeit in konstanter Bewegung zwischen den drei Hauptgruppen und verschiedenen Orten befinden. Die zeitliche Modellierung basiert auf Zeit-Profilen, welche für verschiedene Orte (z.B. Schulen) vorliegen und die Aktivitätsmuster der Bevölkerung repräsentieren. Diese können ausgewechselt werden um etwa Feiertage zu simulieren.

Eine weitere Methode zur dynamischen Kartierung der Bevölkerung kommt von Deville et al. (2014), die Daten von Mobiltelefonen heranziehen, um Bevölkerungsdichten zu berechnen. Dies ist nicht nur sinnvoll, um im Falle von Katastrophen kurzfristige Bevölkerungsschätzungen bereitzustellen, sondern erleichtert auch Berechnungen für ärmere Länder, wo oftmals keine genauen Zensusdaten existieren, die man für eine Disaggregation benötigt. Weitere Vorteile liegen in der hohen Penetrationsrate von Mobiltelefonen weltweit, die Bevölkerungsmodellierungen über Ländergrenzen hinweg ermöglichen, sowie in der Kosteneffizienz der Methode. Analysiert wurden mehr als 1 Milliarde Aufzeichnungen über getätigte Anrufe aus Portugal und Frankreich, die von Mobilfunkanbietern anonymisiert bereitgestellt wurden. Die Lokalisierung erfolgte über die Bestimmung der geographischen Koordinaten der Mobilfunkmasten und den dazugehörigen Mobiltelefonen. Diese Netzwerk-basierte Methode ist einfach zu implementieren, wobei ihre Genauigkeit von der Netzwerkstruktur abhängt. Je höher die Dichte der Masten, desto höher ist auch die Präzision der Lokalisierung.

3 DATEN

Für die Modellierung der Tagesbevölkerung für Wien wird eine Disaggregation auf Gebäudeebene gewählt. Die Bevölkerungszahlen liegen einerseits pro Zählbezirk vor, andererseits kommen sie aus verschiedenen Registern. Die Verteilung auf die Gebäude erfolgt gewichtet nach Volumen. Insgesamt fließen 24 Datensätze in die Berechnungen ein, die gruppiert werden können in Landnutzungsdaten, Gebäudedaten, räumliche Daten und sozioökonomische Daten (siehe Tabelle 1).

Das digitale Baukörpermodell ist einer der Hauptbestandteile für die Modellierung, da die Bevölkerung auf die einzelnen Gebäude verteilt werden soll. Der originale Datensatz beinhaltet 200.000 Gebäude und 650.000 Baukörper, wobei ein Gebäude aus mehreren Baukörpern bestehen kann. Jeder Baukörper beinhaltet eine Gebäude-ID sowie seine Höhe. Um die Volumina der Gebäude einfacher berechnen zu können, wird ein generalisiertes Baukörpermodell verwendet (siehe Abb. 1). Dieses wurde mit der Realnutzungskartierung von Wien verschnitten, sodass die einzelnen Gebäude generalisierte Nutzungsinformationen (Wohngebäude, Industrie, soziale Infrastruktur etc.) beinhalten.

Die nächste Gruppe der Input-Datensätze, die räumlichen Daten, bestehen vorwiegend aus geokodierten Adressen von ausgewählten Institutionen (Schulen, Universitäten, Krankenhäuser, Firmen). Diese werden mit dem Gebäudemodell verschnitten und ermöglichen etwa die Verteilung von Schülern auf die einzelnen Schulen. Ein Problem bei den Adresspunkten ist, dass für manche Adressen mehrere Punkte existieren, die in verschiedenen Gebäuden liegen, sodass es bei der Verteilung der Beschäftigten aus dem Firmenregister zu mehrfachen Eintragungen ins Baukörpermodell kommen kann. Eine manuelle Bereinigung der Adresspunkte wäre zu aufwendig, daher wurden die entsprechenden Einträge aus dem Firmenregister entfernt.

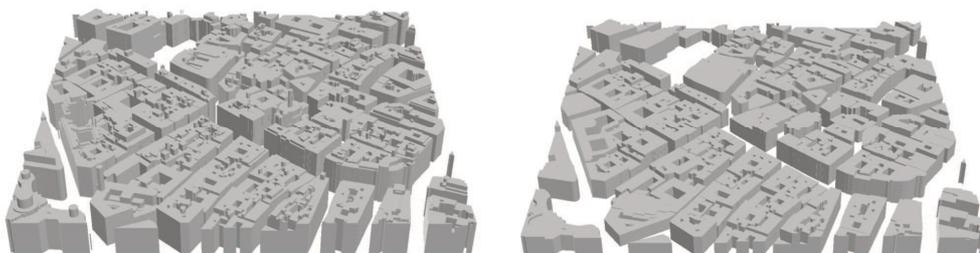


Abb. 1: Digitales Baukörpermodell (Ausschnitt). Links: Original, rechts: generalisiert.

Weiters enthalten manche Gebäude mehrere Punkte mit gleicher Adresse bzw. vor allem Eck-Gebäude mehrere Punkte mit unterschiedlichen Adressen. Dies muss bei der Modellierung berücksichtigt werden, indem die Adresspunkte mit den selben Adressen zusammengeführt werden (dissolve) und jene mit

mehreren unterschiedlichen Adresspunkten so mit dem Gebäudemodell verschnitten werden, dass aus den Beschäftigten unterschiedlicher Firmen die Summe gebildet wird

<i>Datensatz</i>	<i>Quelle</i>	<i>Jahr</i>	<i>Typ</i>
Landnutzungsdaten			
Realnutzung Wien	Stadt Wien (OGD)	2012	polygon-shp
Gebäudedaten			
Digitales Baukörpermodell	Stadt Wien (OGD)/AIT	2015	polygon-shp
Räumliche Daten			
Adresspunkte	BEV/AIT	2015	point-shp
Standorte Krankenhäuser	Stadt Wien (OGD)	2017	point-shp
Standorte Schulen	Stadt Wien (OGD)	2017	point-shp
Standorte Universitäten	Stadt Wien (OGD)	2017	point-shp
Standorte Volkshochschulen	Stadt Wien (OGD)	2017	point-shp
Standorte Kindergärten	Stadt Wien (OGD)	2017	point-shp
Standorte Pflegeheime	Stadt Wien (OGD)	2017	point-shp
Öffentliche Verkehrslinien	Stadt Wien (OGD)	2014	line-shp
Sozioökonomische Daten			
Bezirks- und Zählbezirksgrenzen von Wien	Stadt Wien (OGD)	2014	polygon-shp
Wohnbevölkerung von Wien pro Zählbezirk in 5-Jahres-Altersklassen	Wiener Bevölkerungsregister	2013	table
Pendlersaldo	Statistik Austria	2012	table
Beschäftigte pro Krankenhaus (aus Firmenregister)	Bisnode Austria/AIT	2015	table
Beschäftigte pro Universität und VHS (aus Firmenregister)	Bisnode Austria/AIT	2015	table
Firmenregister (Beschäftigte pro Firma)	Bisnode Austria/AIT	2015	table
Beschäftigte Wiener Linien	Wiener Linien	2013	single value
Gesamtzahl der Beschäftigten pro Bezirk	Statistik Austria	2013	table
Gesamtzahl der Arbeitslosen	Job Center Wien	2013	single value
Schüler pro Schultyp	Statistik Austria	2012/13	table
Studenten pro Universität	Statistik Austria	2013/14	table
Rentner in Pflegeheimen (abgeleitet aus dem Anteil der Pflegebedürftigen pro Altersgruppe und dem Anteil jener, die in Pflegeheimen wohnen)	Statistisches Bundesamt (Deutschland)	2013	table
Patientenzahlen (abgeleitet aus der Bettenzahl pro Krankenhaus und der durchschnittlichen Belegungsrate)	Ministerium für Gesundheit und Frauen	2013	table

Tabelle 1: Input-Daten für Wien.

Der Datensatz mit den öffentlichen Verkehrsmitteln bildet eine Ausnahme unter den räumlichen Daten, da dieser keine Punkte sondern Linien enthält. Er wird dazu genutzt, die Beschäftigten der Wiener Linien, die nicht stationär in einem Gebäude arbeiten, auf die Verkehrslinien in der ganzen Stadt zu verteilen.

Die abschließende Gruppe bilden die sozioökonomischen Daten, die Informationen enthalten über administrative Grenzen, die Wohnbevölkerung pro Zählbezirk, Pendler, Beschäftigte, Arbeitslose, Schüler, Studenten, Rentner und Patienten. Beim Firmenregister besteht allerdings das Problem, dass sich die Beschäftigtenzahlen pro Firma nicht immer auf die tatsächliche Adresse beziehen, sondern dass vor allem bei großen und/oder im Ausland tätigen Firmen sämtliche in- und ausländischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Firmensitz in Wien verortet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Raiffeisen-Landesbanken-Holding GmbH, welche 60.356 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an einer Adresse zählt. Zur Vermeidung dieser Fälle wurden alle Einträge mit mehr als 1.000 Mitarbeitern ausgeschlossen. Dieser Schwellwert wurde geschätzt und liefert keine Garantie, dass die Mitarbeiterzahlen der verbleibenden Firmen bezogen auf deren Standort richtig sind.

4 MODELLIERUNG

Zur Berechnung der Tagesbevölkerung wurde ein Python-Skript programmiert, welches vorwiegend ArcPy-Funktionen ausführt. Bei ArcPy handelt es sich um ein Modul der Geoinformations-Software ArcGIS, das mit der Programmiersprache Python arbeitet und eine effiziente Durchführung der Analyse ermöglicht. Das Prinzip der Disaggregation und Aggregation von Bevölkerungsdaten, wie sie in dieser Studie verwendet wurden, zeigt Abbildung 2. Bei der Disaggregation wird eine Bevölkerung, z.B. pro Zählsprenkel, verteilt auf jene Gebäude, die innerhalb dieser Raumeinheit liegen. Die Gewichtung erfolgt über das Volumen, sodass größere Gebäude einen größeren Bevölkerungsanteil als kleinere Gebäude zugewiesen bekommen. Anschließend wird die Bevölkerung von den Gebäuden hochaggregiert auf einen 100x100m Raster, hier gewichtet nach den Flächenanteilen der Gebäude, die innerhalb der Rasterzellen liegen. Die Aggregation auf den Raster ermöglicht einen besseren Vergleich der Ergebnisse sowie eine übersichtlichere Darstellung, da jede Rasterzelle im Gegensatz zu den Gebäuden dieselbe Fläche besitzt.

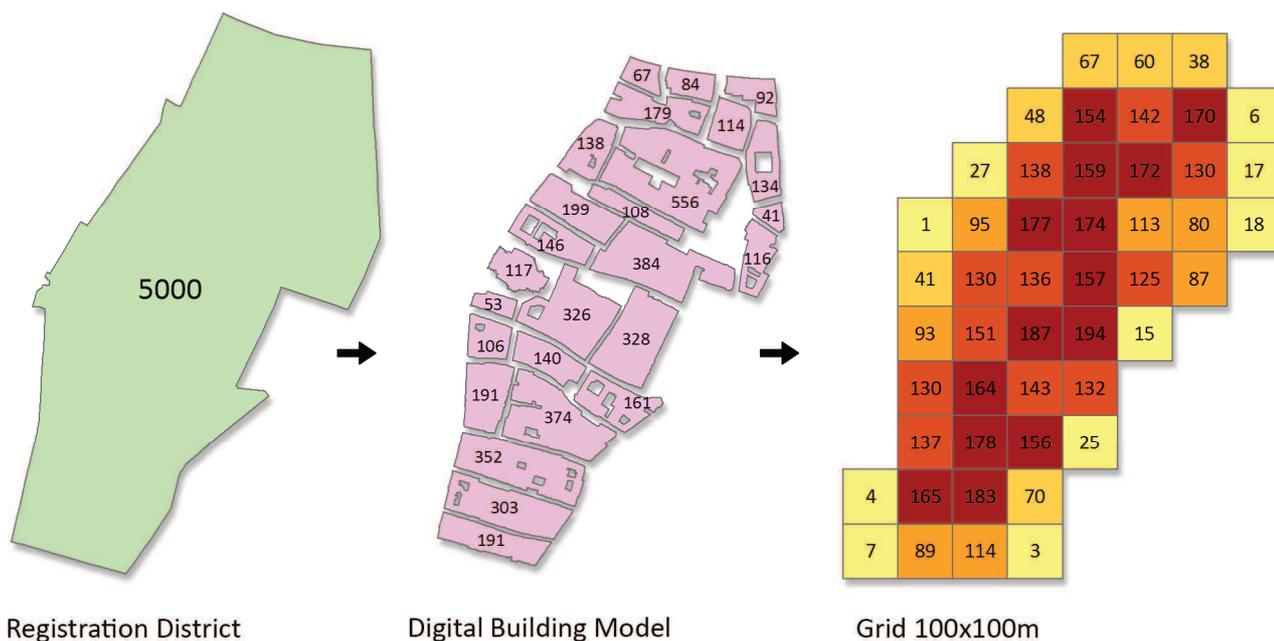


Abb. 2: Disaggregation und Aggregation von Bevölkerungsdaten (Schema).

Insgesamt wurden im Zuge der Studie fünf verschiedene Modelle entwickelt, welche unterschiedliche Genauigkeitsgrade repräsentieren. Modell 01 ist das genaueste – es beinhaltet alle Daten, die zur Verfügung stehen und disaggregiert die Bevölkerung gewichtet nach den Gebäudevolumina. Modell 02 enthält ebenfalls alle Daten, gewichtet aber nur nach Fläche. So soll untersucht werden, wie sich die Ergebnisse verändern, wenn keine Höhendaten von Gebäuden zur Verfügung stehen. Modell 03 schließt das Firmenregister aus und verteilt die arbeitende Bevölkerung auf die Firmengebäude ausschließlich nach Gewichtung und Gebäudevolumen. Modell 04 verwendet keine Hilfsdaten (außer die Pendler, damit die verteilte Gesamtbevölkerung aller Modelle übereinstimmt) und gewichtet die Verteilung nach Volumen. Das letzte Modell (05) verwendet ebenfalls keine Hilfsdaten und verteilt die Bevölkerung statt auf das Gebäudemodell auf den Realnutzungs-Layer, gewichtet nach Fläche, da hier keine Gebäudehöhen mehr existieren. Die Ergebnisse werden am Schluss mit Modell 01 verglichen, um herauszufinden, wie sich die Verteilungen und Genauigkeitsgrade verändern, wenn davon ausgegangen wird, dass Modell 01 das genaueste ist.

Die Verteilung der Bevölkerung in Modell 01 lässt sich anhand der verwendeten Datensätze und den Altersgruppen wie folgt zusammenfassen:

- *Kleinkinder (0-4J.):* diese liegen pro Zählbezirk vor. 50% der Kleinkinder werden verteilt auf die Kindergärten pro Bezirk (wenn davon ausgegangen wird, dass Kinder nicht zwangsläufig im selben Zählbezirk in den Kindergarten gehen), gewichtet nach deren Volumina. Die andere Hälfte wird verteilt auf die Wohngebäude pro Zählbezirk, da diese Altersgruppe auch Kleinkinder enthält, die zu Hause sind.

- *Schüler (5-19J.):* die Schülerzahlen existieren pro Schultyp. Diese lassen sich einteilen in Pflichtschule, Gymnasium, andere höhere Schule und Berufsschule. So lassen sich die jeweiligen Schülerzahlen pro Schultyp über ganz Wien auf die jeweiligen Schulgebäude verteilen. Berufsschüler werden aufgrund ihrer Ausbildung aufgeteilt, wobei 20% in der Berufsschule erwartet werden und 80% im Betrieb (WKO 2006).
- *Studenten (20-29J.):* die Studenten pro Universität werden zu 50% auf Wohngebäude verteilt (nachdem vor allem höhere Semester nicht ganztags an der Universität sind) und zu 50% auf die Universitäten (Anteile geschätzt). Diese haben im Gegensatz zu Schulen oder Kindergärten mehrere Institute, die Verteilung wird somit gewichtet nach dem Volumen der Institutsgebäude einer Universität.
- *Beschäftigte Universitäten & VHS (15-64J.):* diese werden wie die Studenten auf die Universitätsinstitute bzw. auf die Volkshochschulen über ganz Wien verteilt.
- *Beschäftigte Krankenhäuser (15-64J.):* Verteilung zu 50% auf Krankenhäuser (wie Universitäten meist mehrere Gebäude pro Krankenhaus) und zu 50% auf Wohngebäude (aufgrund des Schichtbetriebes).
- *Beschäftigte Wiener Linien (15-64J.):* Verteilung zu 50% auf öffentliche Verkehrslinien und zu 50% auf Wohngebäude (Schichtbetrieb).
- *Beschäftigte aus Firmenregister (15-64J.):* Verteilung pro Firma, wo eine Übereinstimmung mit den Adresspunkten gefunden wird. Diese wird nicht gewichtet, da sich die Beschäftigtenzahlen bereits auf das jeweilige Gebäude beziehen.
- *Gesamtzahl der Beschäftigten (15-64J.):* liegt pro Bezirk vor. Diese Werte werden benötigt, da das Firmenregister nicht alle Beschäftigten in Wien enthält. Somit wird die bereits verteilte arbeitende Bevölkerung pro Bezirk subtrahiert von der Gesamtzahl der Beschäftigten und die Differenz auf alle Firmengebäude und Krankenhäuser verteilt (wo noch keine Beschäftigten verteilt wurden), ebenfalls nach Volumengewichtung.
- *Arbeitslose (15-64J.):* Verteilung auf die Wohngebäude über ganz Wien.
- *Rentner (65+):* Rentner werden sowohl auf Wohngebäude als auch auf Pflegeheime verteilt. Die Anteile errechnen sich aus dem Anteil der Pflegebedürftigen (zusätzlich unterteilt in 6 Altersklassen der über 65-Jährigen) multipliziert mit dem Anteil der Pflegebedürftigen, die in Pflegeheimen wohnen (im Gegensatz zu jenen, die zu Hause gepflegt werden).
- *Restbevölkerung (alle Altersklassen):* Ähnlich wie bei den Beschäftigten enthalten die bisher besprochenen Datensätze nicht alle Personen, die sich in Wien aufhalten (so erfasst z.B. die Arbeitslosenstatistik nicht alle Arbeitslosen). Deshalb muss die Summe der Tagesbevölkerung aus der Wohnbevölkerung von Wien (1.758.888) und dem Pendlersaldo (207.662) errechnet werden. Von dieser wird die bereits verteilte Bevölkerung abgezogen und der Rest auf die Wohngebäude verteilt.
- *Patienten (alle Altersklassen):* Abschließend werden die Patienten pro Krankenhaus über ganz Wien verteilt. Die Zahlen errechnen sich aus der Bettenzahl pro Krankenhaus multipliziert mit der durchschnittlichen Belegungsrate. Da sich die Patienten der Krankenhäuser aus allen Bevölkerungsgruppen von Wien zusammensetzen und diese somit an ihrem „Ursprungsort“ fehlen, müssen diese von dort in einem letzten Schritt abgezogen werden. Dies erfolgt über alle Gebäude gewichtet nach deren Bevölkerungszahl, sodass von Gebäuden mit vielen Einwohnern mehr Personen abgezogen werden als von Gebäuden mit weniger Einwohnern. Zusätzlich werden auf diese Weise negative Einwohnerzahlen vermieden.

Die Nachtbevölkerung wurde im Zuge der Studie ebenfalls berechnet, indem die Wohnbevölkerung auf die Wohngebäude verteilt wurde, mit Ausnahme der Beschäftigten der Krankenhäuser und der Rentner, die sich in Pflegeheimen aufhalten.

5 ERGEBNISSE

Ergebnis der Studie ist die Tagesbevölkerung von Wien für das Jahr 2013 auf Gebäudeebene (siehe Abb. 3) sowie pro 100m Rasterzelle (siehe Abb. 4). In Abbildung 3 treten deutlich die in der Innenstadt zahlreichen Gewerbegebäude hervor, die eine größere Bevölkerung aufweisen (orange), im Gegensatz zu den Wohngebäuden, in denen sich zumeist nur wenige Personen aufhalten (dunkelgrün/hellgrün). So sind auch Einkaufsstraßen wie die Mariahilfer Straße oder Kärntnerstraße deutlich zu erkennen. Besonders hohe Einwohnerzahlen von über 3.000 haben etwa das Hauptgebäude der Universität Wien (5.597), das Hauptgebäude der TU Wien (3.544) oder das AKH (12.138), was auf die großen Volumina relativ zur Verteilungsgruppe der jeweiligen Gebäudetypen zurückzuführen ist. Beim AKH kommt hinzu, dass nicht nur Beschäftigte und Patienten verteilt werden, sondern auch Studenten, da die Medizinische Universität Wien auch im AKH Räumlichkeiten besitzt. Der Gebäudekomplex mit der höchsten Einwohnerzahl (21.189) beinhaltet sowohl die WU Wien als auch das Biozentrum Althahnstraße der Universität Wien (nicht zu sehen in Abb. 3). Dies ergibt sich ebenfalls aus dem hohen Volumen im Vergleich zu den anderen Gebäuden in der Verteilungsgruppe und aus der großen Studentenzahl, die verteilt wird. Wie Tabelle 2 jedoch zeigt, sind diese Extremfälle selten – nur 0.2% haben eine Belegung von über 1.000 Personen, während 83.4% der Gebäude zwischen einem und 25 Einwohner haben. Abbildung 4 zeigt den aggregierten Bevölkerungsraster von Wien sowohl für die Tages- als auch für die Nachtbevölkerung. Besonders gut zu erkennen ist tagsüber die hohe Dichte in der Innenstadt mit vielen Spitzen während die Nachtbevölkerung eher gleichmäßig auf die Wohngebäude verteilt ist.

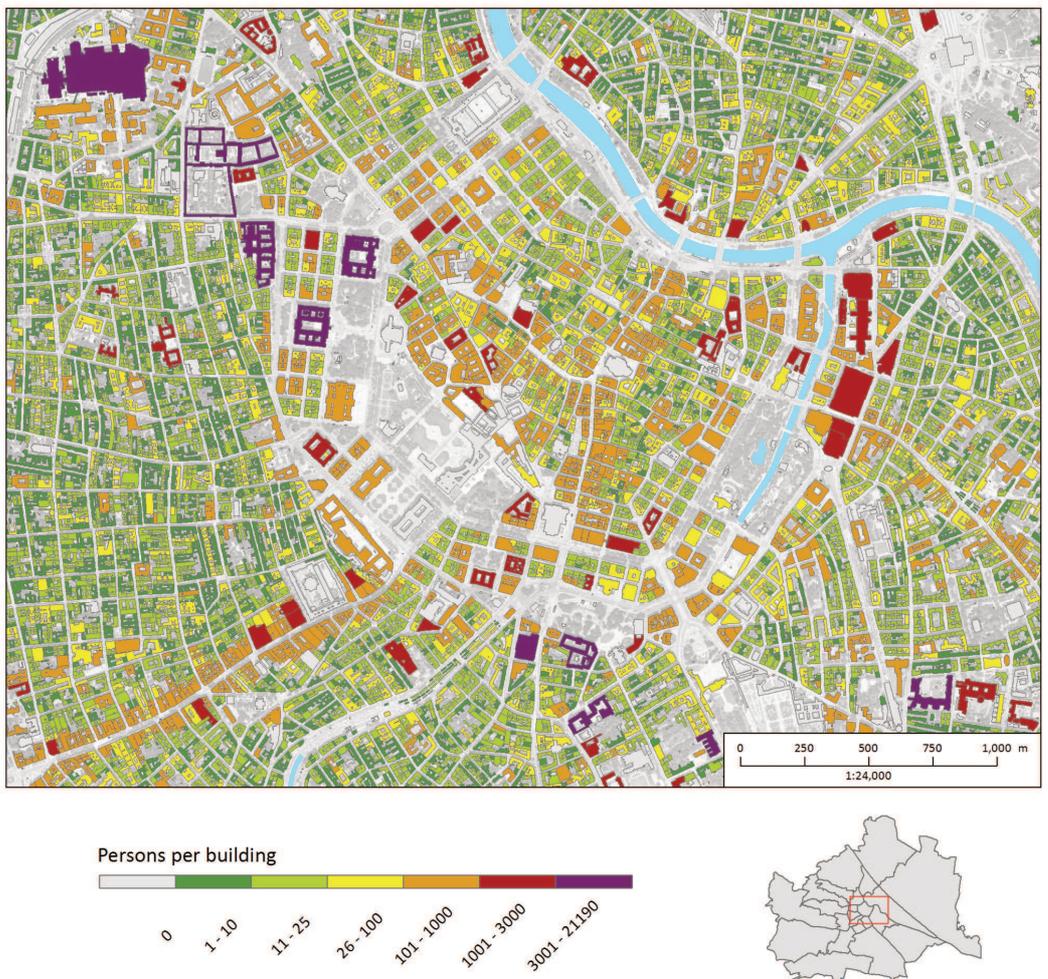


Abb. 3: Tagesbevölkerung Wien 2013, Digitales Baukörpermodell. Ausschnitt aus der Innenstadt.

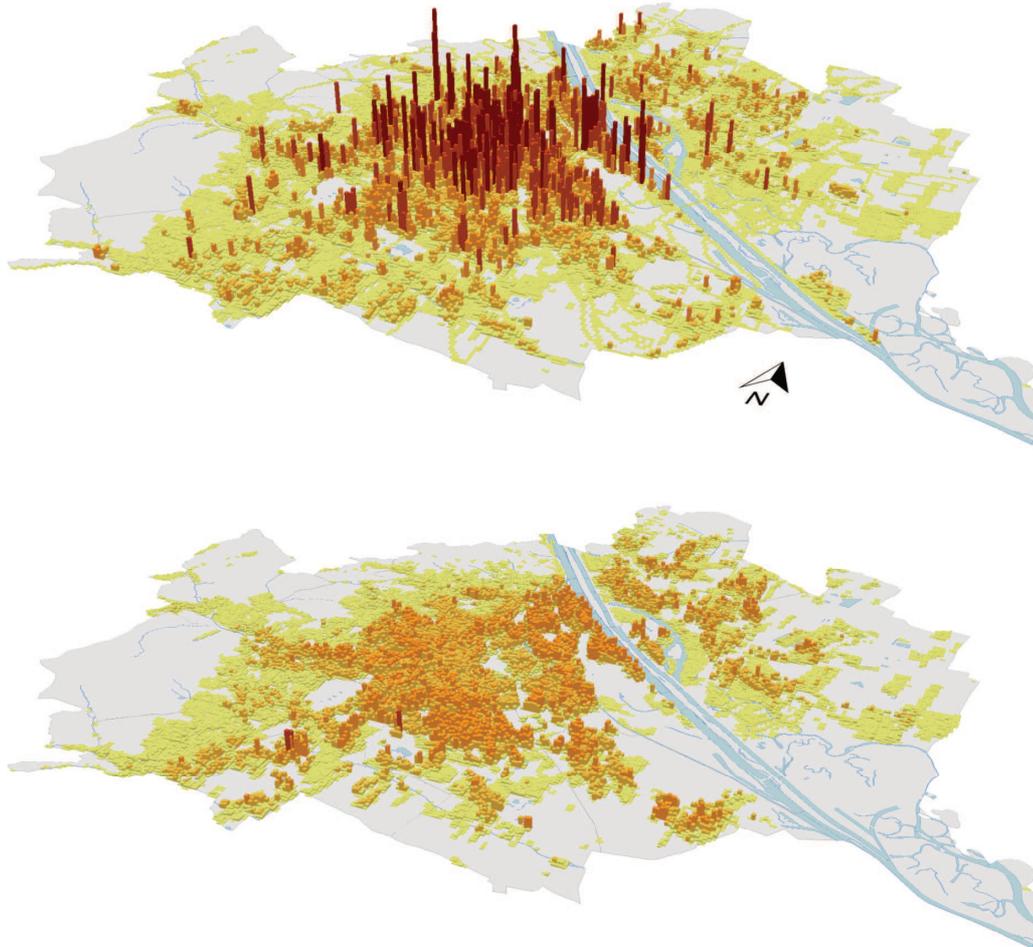


Abb. 4: Tages- und Nachtbevölkerung Wien 2013, 100m Raster. Oben: Tag. unten: Nacht.

Um die Ergebnisse der Modelle miteinander vergleichen und eine Aussage über die relative Genauigkeit im Vergleich zu Modell 01 treffen zu können, wurden die Abweichungen zwischen den Rastern berechnet (siehe Abb. 5). Dies geschah jeweils durch Subtraktion der Bevölkerungszahl pro Rasterzelle (Modell 02-05) von jener aus Modell 01. Negative Werte (blau) bedeuten, dass das jeweilige Modell im Vergleich zu Modell 01 weniger Bevölkerung aufweist, positive Werte (rot) bedeuten mehr Bevölkerung. Die gelbe Farbgebung weist auf eine sehr geringe Abweichung von +/- 20 Einwohnern hin.

<i>Einwohner</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Prozent</i>	<i>Kumulierte Häufigkeit</i>
0	5747	6.8	6.8
1 - 10	55275	65.9	72.7
11 - 25	14705	17.5	90.2
26 - 100	5432	6.5	96.7
101 - 1000	2561	3.1	99.7
1001 - 3000	182	.2	100.0
3001 - 21190	31	.0	100.0
Total	83933	100.0	

Tabelle 2: Einwohner pro Gebäude - Tagesbevölkerung. Die Häufigkeit repräsentiert die Anzahl der Gebäude. Ausgeschlossen wurden alle Baukörper mit einer Höhe $\leq 5\text{m}$ und einer Fläche $\leq 30\text{m}^2$, da diese höchstwahrscheinlich keine Bevölkerung beinhalten.

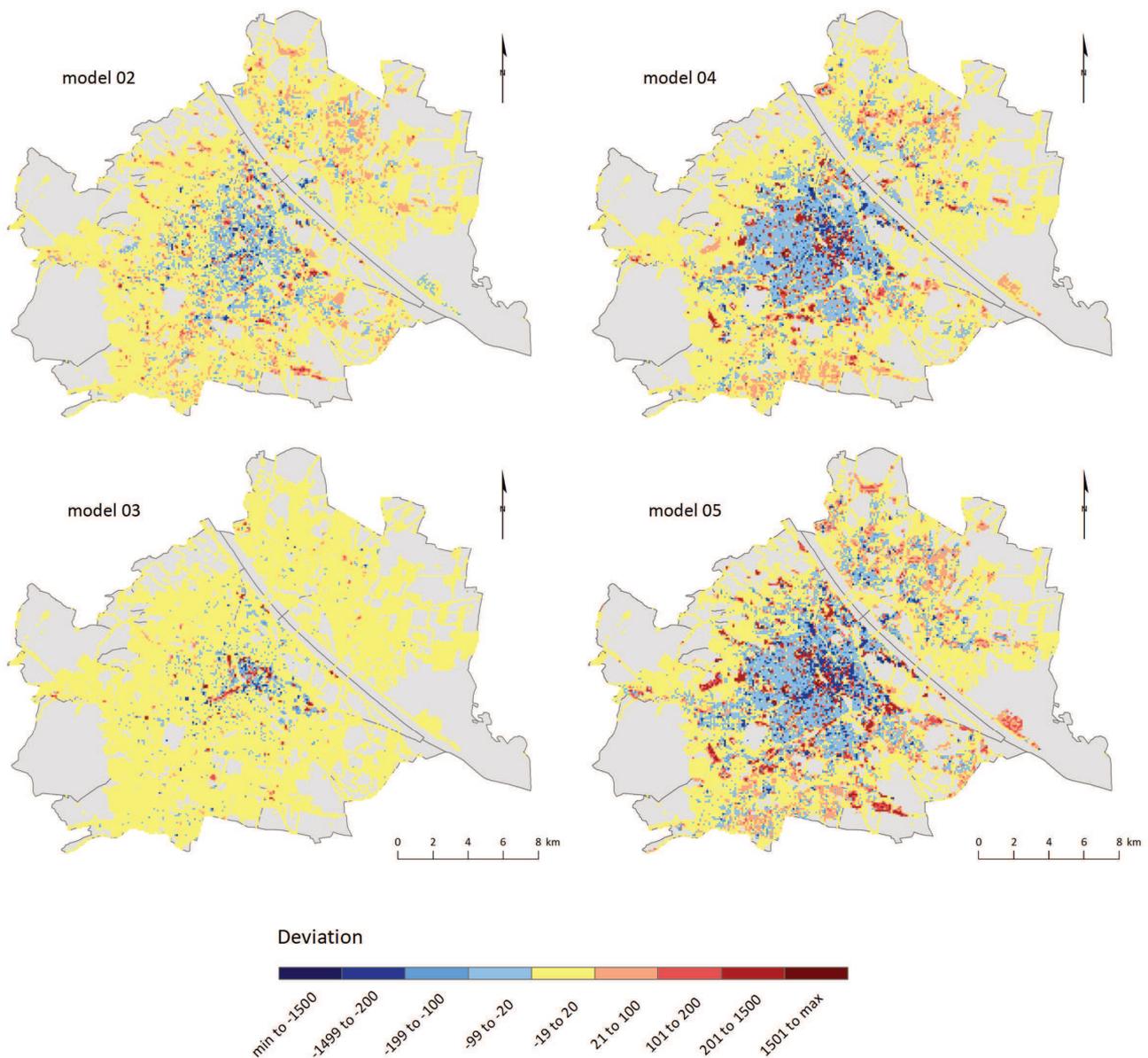


Abb. 5: Abweichungen der Modelle 02-05 von Modell 01.

Bei Betrachtung von Modell 02 (alle Hilfsdaten, Gewichtung nach Fläche) zeigt sich, dass negative Abweichungen vor allem um das Stadtzentrum auftreten, wo auch die durchschnittliche Gebäudehöhe am höchsten ist. Positive Abweichungen liegen hingegen verstreut über die gesamte Stadt. Das bedeutet starke Unterschätzung in den Bereichen mit hohen Gebäuden (Stadtzentrum) und Kompensation dieser Abweichung in allen anderen Bereichen.

Bei Modell 03 ist zu sehen, dass die Bevölkerungszahl von Firmengebäuden (Nutzungsklasse Industrie + Betriebsgebäude) ohne Zuhilfenahme eines Firmenregisters eher überschätzt wird. Besonders deutlich in Abbildung 5 zu erkennen sind die Mariahilfer Straße und der 1. Bezirk, welche besonders viele Geschäftszonen besitzen. Unterschätzt werden dagegen vor allem Wohngebäude. Dies mag daran liegen, dass durch das Firmenregister auch Beschäftigte in Wohngebäuden verteilt werden (diese Nutzungskategorie ist definiert als Wohn- und Mischnutzung mit Schwerpunkt Wohnen und kann ebenfalls Geschäfte beinhalten). Insgesamt sind die Abweichungen zwischen Modell 01 und 03 aber eher gering.

Im Gegensatz dazu sind die Abweichungen bei Modell 04 stärker ausgeprägt, welches keine Hilfsdaten verwendet und nach Volumen gewichtet. Zu Überschätzungen (positiven Abweichungen) kommt es vor allem bei Gebäuden mit der Nutzungsklasse Soziale Infrastruktur (=Schulen, Universitäten, Krankenhäuser, Theater) sowie Betriebs- und Industriegebäuden, während Wohngebäude fast ausschließlich unterschätzt werden. Die Überschätzung der Industriegebäude bei gleichzeitiger Unterschätzung der Wohngebäude

könnte auf die gleichen Effekte wie in Modell 03 zurückzuführen sein, da auch hier kein Firmenregister verwendet wird. Auffallend ist, dass ein relativ hoher Anteil an Betriebsgebäuden unterschätzt wird. Grund dafür könnte sein, dass in Modell 04 aufgrund der fehlenden Hilfsdaten die Altersgruppe der arbeitenden Bevölkerung um Schüler ab 10 Jahren erweitert werden musste. Diese erweiterte Altersgruppe musste anschließend nicht nur auf Firmengebäude sondern auch auf Gebäude sozialer Infrastruktur (welche auch Schulen beinhaltet) verteilt werden. Damit wird auch ein Teil der arbeitenden Bevölkerung diesen Gebäuden zugewiesen und fehlt somit in den Firmengebäuden. Der Grund, warum dies vor allem Betriebsgebäude und nicht Industriegebäude betrifft ist, dass die Verteilung pro Bezirk erfolgt und die Industriegebäude eher am Rand von Wien lokalisiert sind, wo weniger Gebäude sozialer Infrastruktur vorhanden sind. Die Betriebsgebäude hingegen sind oft in den inneren Bezirken konzentriert, wo auch die Dichte der sozialen Infrastrukturgebäude höher ist. Diese haben zusätzlich meist ein höheres Volumen als Betriebsgebäude und bekommen somit einen größeren Bevölkerungsanteil zugewiesen. Damit erklärt sich auch, warum Gebäude sozialer Infrastruktur in Modell 04 stark überschätzt werden – sie erhalten nicht nur zusätzliche Bevölkerung von den Beschäftigten sondern diese Bevölkerung wird auch aufgrund der fehlenden Standortdaten auf alle Gebäude mit sozialer Infrastruktur verteilt. Im Gegensatz dazu bekommen in Modell 01 nur jene Gebäude sozialer Infrastruktur Einwohner zugewiesen, die mithilfe eines Punktdatensatzes als Schule oder Universität identifiziert werden konnten. Alle anderen (Theater, Opernhäuser, Museen etc.) erhalten keine Bevölkerung, da diese Gebäude in der Regel sehr groß sind und gleichzeitig tagsüber im Vergleich dazu eher wenig Einwohner besitzen.

Modell 05 weist ein ähnliches Verteilungsmuster wie Modell 04 auf, mit dem Unterschied, dass die Abweichungen noch etwas größer sind. Dies liegt daran, dass hier ebenfalls keine Hilfsdaten verwendet wurden und die Bevölkerung statt auf das Gebäudemodell auf die Realnutzungskartierung (welcher die Nutzungsklassen für das Gebäudemodell lieferte) gewichtet nach der Fläche verteilt wird.

6 CONCLUSIO

Die Studie konnte eine Methode aufzeigen, wie die Tagesbevölkerung einer Stadt modelliert werden kann. Durch die Implementierung der Modellierung in einem Python-Skript konnte zudem die Durchführung der Analyse automatisiert werden, was eine Wiederholung der Berechnung für andere Städte, einen anderen Zeitpunkt oder die Anpassung bestimmter Parameter für eine erneute Berechnung erleichtert. Im Bereich der Raumplanung können die Ergebnisse der kleinräumigen Bevölkerungsmodellierung dazu beitragen, die richtigen Maßnahmen zu ergreifen, um der wachsenden Bevölkerungskonzentration in den Städten zu begegnen während Behörden vor allem in gefährdeten Gebieten auf Basis der Ergebnisse Notfallpläne im Falle einer Katastrophe entwickeln können.

Die Herausforderung in der Bevölkerungsmodellierung liegt vor allem in der Beschaffung und Aufbereitung der Datensätze, die für eine genaue Modellierung notwendig sind. Aussagen über die Genauigkeit der Modellierungsergebnisse zu treffen ist schwierig, da diese nicht mit den realen Bevölkerungszahlen pro Gebäude abgeglichen werden können, denn diese Daten existieren nicht. Vielmehr muss versucht werden, die Ergebnisse mithilfe von anderen Studien oder Behörden zu validieren. Eine weitere Möglichkeit wäre die Abschätzung der Resultate auf Plausibilität sowie stichprobenartige Überprüfungen einzelner Gebäude.

7 LITERATUR

- AUBRECHT C. et al. (2009): Integrating earth observation and GIScience for high resolution spatial and functional modeling of urban land use. – In: *Computers, Environment and Urban Systems* 33, 15-25
- DEVILLE P. et al. (2014): Dynamic population mapping using mobile phone data. – *Proceedings of the National Academy of Sciences*; doi: 10.1073/pnas.1408439111
- MARTIN D. et al. (2014): Developing a flexible framework for spatiotemporal population modeling. – *Annals of the Association of American Geographers*; doi: 10.1080/00045608.2015.1022089
- STEINNOCHER K., KÖSTL M. and WEICHSELBAUM J. (2015): Grid-based population and land take trend indicators. New approaches introduced by the geoland2 Core Information Service for Spatial Planning. – Vienna; https://www.researchgate.net/publication/266285682_Grid-based_population_and_land_take_trend_indicators_-_New_approaches_introduced_by_the_geoland2_Core_Information_Service_for_Spatial_Planning (30.03.2017)
- UNITED NATIONS (2014): World's population increasingly urban with more than half living in urban areas; <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html> (02.09.2016)
- WKO (ed.) (2006): *Ausbilden zahlt sich aus! Moderne Lehrberufe im Dienstleistungsbereich* – Wirtschaftskammer Österreich, Vienna