

# Modellierung raum-zeitlicher Bevölkerungsverteilungsmuster im Katastrophenmanagementkontext

*Klaus Steinnocher, Christoph Aubrecht, Heinrich Humer, Hermann Huber*

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

(Dr. Christoph Aubrecht, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, 1220 Wien, christoph.aubrecht.fl@ait.ac.at)

(DI Heinrich Humer, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, 1220 Wien, heinrich.humer@ait.ac.at)

(DI Hermann Huber, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, 1220 Wien, hermann.huber@ait.ac.at)

## 1 EINLEITUNG

Effektives Katastrophenmanagement erfordert möglichst genaue raum-zeitliche Informationen sowohl über Strukturen als auch über betroffene Personen. Während physische Strukturen sich in der Regel nur langsam verändern und daher auf kurze Sicht weniger zeitkritisch in der Erfassung sind, ist die räumliche Verteilung der Bevölkerung hochgradig variabel über die Zeit (Freire und Aubrecht 2012). Die direkte Erfassung potentiell betroffener Personen bei Katastrophen ist nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich, daher wird bei der Planung vorbeugender Maßnahmen und der Abschätzung des Gefahrenpotentials die Bevölkerungsverteilung modelliert.

Zensusdaten stellen dabei eine standardisierte Datengrundlage dar, die aber in zweierlei Hinsicht limitiert ist. Zum einen ist die räumliche Ausdehnung der Zählsprenkel meist zu groß und unregelmäßig um auf lokaler Ebene ausreichend genaue Aussagen über die betroffenen Personen machen zu können, zum anderen repräsentiert der Zensus die Verteilung der Wohnbevölkerung, also den Ort, wo sich die Personen in der Regel in der Nacht aufhalten. Naturgefahren (und deren Auswirkungen) können räumlich sehr fein differenziert, sowie teils ohne Vorwarnung zu einem beliebigen Zeitpunkt auftreten. Es besteht daher die Notwendigkeit, Information zur Bevölkerungsverteilung sowohl in einem räumlichen Kontext zu verfeinern als auch die zeitliche Komponente mitzuberücksichtigen (Aubrecht et al. 2012).

## 2 MODELLIERUNG

Um die räumliche Repräsentation zu standardisieren wird zumeist ein regelmäßiges Raster als Referenz herangezogen. Die Umverteilung der Bevölkerung von administrativen Einheiten auf dieses Raster erfolgt dabei mittels Methoden der räumlichen Disaggregation (Eicher und Brewer 2001). Für die Zuordnung der Bevölkerung auf die Rasterzellen wird in der Regel Landnutzungsinformation verwendet (Aubrecht und Steinnocher 2007). Ergebnis dieser Disaggregation ist eine räumlich differenzierte Verteilung der Bevölkerung, die sich allerdings auf die zeitliche Dimension der Eingangsdaten beschränkt.

Die Modellierung der Bevölkerung über einen Zeitraum – etwa einen Tag – erfordert eine zusätzliche Differenzierung der Eingangsdaten. Zensusdaten alleine geben dabei keine Auskunft über die raum-zeitliche Variation der Bevölkerung. Benötigt wird vielmehr eine Aufschlüsselung der Bevölkerung nach Erwerbstätigen und nicht-Erwerbstätigen, Pendlern, Schülern, etc. sowie Aktivitätsmuster dieser Gruppen über den Tagesverlauf (Bhaduri 2008). Dazu gehört etwa, dass Pendler vor allem zu den Tagesrandzeiten auftreten, Erwerbstätige untertags im Büro sind, etc. Diese Aktivitätsmuster können in Form von Funktionen definiert werden und dann in das Modell einfließen. Die Granularität des zeitlichen Modells ist theoretisch beliebig (Aubrecht 2013), in der vorliegenden Studie wird im Stundentakt modelliert. Die Disaggregation erfolgt dabei pro Zeiteinheit, wobei die Bevölkerungsgruppen gemäß ihrer Aktivitätsmuster auf unterschiedliche Landnutzungseinheiten verteilt werden.

Das entwickelte Modell basiert im ersten Schritt auf drei Bevölkerungsgruppen:

- *Work (W)*: repräsentiert die werktätige Bevölkerung
- *Commuters (C)*: repräsentiert die Pendler zum Zeitpunkt des Ein- und Auspendelns
- *Home (H)*: repräsentiert die restliche Bevölkerung

Obwohl diese Einteilung eine starke Vereinfachung darstellt, ist sie deutlich differenzierter als die Verortung der Bevölkerung nur über Wohnorte. In diesem Zusammenhang benötigt die Gruppe der Pendler spezielle Beachtung, weil sie keine eigenständige Menge der Gesamtbevölkerung, sondern eine Untergruppe aller Werktätigen ist; d.h. Pendler sind Werkstätige auf dem Weg zur oder von der Arbeit.

Um die Bevölkerungsgruppen räumlich verteilen zu können, bedarf es korrespondierender Landnutzungseinheiten. Diese umfassen Büro-, Gewerbe- und Industriegebiete für die werktätige

Bevölkerung, Straßen- und Bahnnetzwerke für die Pendler und Wohngebiete für die restliche Bevölkerung. Die räumliche Zuordnung erfolgt über regelmäßige Raster, die die angesprochenen Nutzungseinheiten prozentuell repräsentieren. Eine Zelle kann daher auch mehrere Nutzungsarten umfassen, wobei die Gesamtnutzung 100% nicht überschreiten sollte.

### 3 IMPLEMENTIERUNG

Im Rahmen des EU-FP7 Projektes CRISMA ([www.crismaproject.eu](http://www.crismaproject.eu)) wird ein solches raum-zeitliches Bevölkerungsmodell entwickelt, wobei auch Schnittstellen mit anderen zusammenhängenden Modellen (z. B. Evakuierungsmodellen) berücksichtigt werden (Aubrecht et al. 2014). Die Implementierung erfolgt auf Basis von *emikat.at*, einem von AIT entwickelten Datenmanagementsystem.

*emikat.at* ist ein internetfähiges Client-Server System und erlaubt es verteilt agierenden Expertenteams, die für die Modellierung benötigten Daten dokumentiert und historisch nachvollziehbar in Versionen zu sammeln und zu verwalten. Aufbauend auf diesen Modelldaten unterstützt *emikat.at* die Erstellung von umfangreichen Modellen zur Berechnung von Schlüsselfaktoren auf räumlicher und zeitlicher Basis. Ergebnisse der Modellberechnung können wiederum über verschiedene Auswertungsmodelle nach unterschiedlichen Fragestellungen als Tabellen und Grafiken präsentiert und über offene Schnittstellen (OGC-WFS, OGC-WMS, OGC-WCS) für andere Anwendungen verfügbar gemacht werden.

Ein wesentliches Element von *emikat.at* ist auch der integrierte Szenario-Manager, der es erlaubt, verschiedene Zeitpunkte und Versionen gegenüberzustellen, um damit den Entscheidungsträgern "Was-wäre-wenn-Analysen" zu ermöglichen. *emikat.at* wurde ursprünglich für die Emissionskataster-Berechnung von österreichischen Bundesländern entwickelt. Derzeit erfolgt eine Erweiterung auf andere Anwendungsbereiche, wie beispielsweise hier für den Bereich Krisenmanagement.

### 4 ANWENDUNG

Die ersten Anwendungen basieren auf Testdaten des Bezirks Baden in NÖ und modellieren Erwerbstätige, nicht-Erwerbstätige und Pendler im Tagesablauf. Als Grundlage für die Bevölkerungsgruppen wurde auf Daten aus Bezirks- und Gemeindestatistiken zurückgegriffen. Die Wohnbevölkerung und die Beschäftigten stehen auf Gemeindeebene zur Verfügung, Informationen über Pendler liegen nur auf Bezirksebene vor. Da die Informationen jedoch alle auf Gemeindeebene benötigt werden, wurden die Ein- und Auspendler für die einzelnen Gemeinden geschätzt.

Die Gesamtbevölkerung wird zunächst in Erwerbstätige und Nicht-Erwerbstätige geteilt, wobei die Erwerbstätigen zum Teil in der Gemeinde, zum Teil außerhalb der Gemeinde arbeiten. Diese Anteile werden über die Ein- und Auspendlerzahlen sowie über die Anzahl der Beschäftigten pro Gemeinde geschätzt. Daraus ergeben sich die drei Parameter werktätige Bevölkerung ( $W$ ), Bevölkerung zu Hause ( $H$ ) und Pendler ( $C$ ). Die Verteilung dieser Gruppen über den Tag wird über Aktivitätsfunktionen festgelegt. In der Nacht befindet sich die gesamte Bevölkerung zu Hause, im Laufe des Morgens sinkt der Anteil dieser Gruppe auf den Wert ( $H$ ), im gleichen Masse steigt der Anteil der Gruppe der arbeitenden Bevölkerung auf den Wert ( $W$ ). Am Abend kehrt sich dieser Prozess um. Problematischer ist der Umgang mit den Pendlern, da diese nur temporär am Morgen und am Abend auftreten.

Abb. 1 zeigt eine solche Aktivitätsfunktion einer Gemeinde für einen Wochentag im Stundentakt. Das Absinken der Absolutzahl der Gesamtbevölkerung im Laufe des Tages deutet an, dass es sich um eine Auspendlergemeinde handelt. Die Anzahl der Beschäftigten in der Gemeinde ( $W$ ) ist gering. Die Pendlerzahlen ergeben sich aus der Differenz von Nacht- und Tagbevölkerung und werden auf einen Zeitraum von 6:00 bis 9:00 Uhr sowie 17:00 bis 20:00 Uhr verteilt.

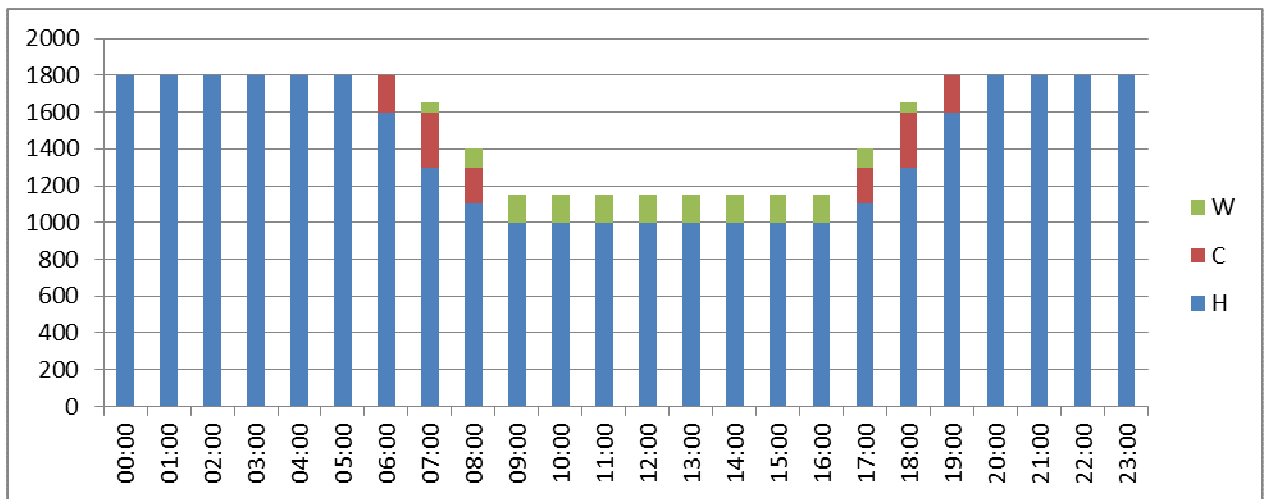


Abb. 1: Aktivitätsfunktion der Bevölkerung einer Gemeinde

Die solcherart für die Gemeinde errechneten Bevölkerungsmuster werden auf die korrespondierenden Landnutzungseinheiten disaggregiert. Als Grundlage wurde ein Rasterlayer herangezogen, der den Grad der Versiegelung repräsentiert (Steinnocher et al. 2011). Büro-, Gewerbe- und Industriegebiete wurden einerseits über CORINE land cover (CLC 2006) ausmaskiert und zusätzlich über Firmenstandorte definiert. Dadurch konnten auch kleinere Gebiete als teilweise betrieblich genutzt ausgewiesen werden. Letztlich wurden Verkehrsnetzwerke höherer Ordnung mit den Daten verschnitten. Das Ergebnis ist in Abb. 2. dargestellt.

Die Disaggregation der Bevölkerungsgruppen erfolgt pro Stunde, es werden daher 24 Rasterlayer mit unterschiedlicher Bevölkerungsverteilung pro Tag erzeugt. Abb. 3 und 4 zeigen zwei dieser Bevölkerungslayer, einen für drei Uhr nachts und einen für drei Uhr nachmittags. Deutlich zu sehen sind die Unterschiede in den Ortszentren, die als Büro- und Gewerbegebiete untertags mehr Bevölkerung aufweisen als in der Nacht. Auch das unterschiedliche Verkehrsaufkommen dokumentiert sich in der stärkeren Auslastung der Straßen untertags.

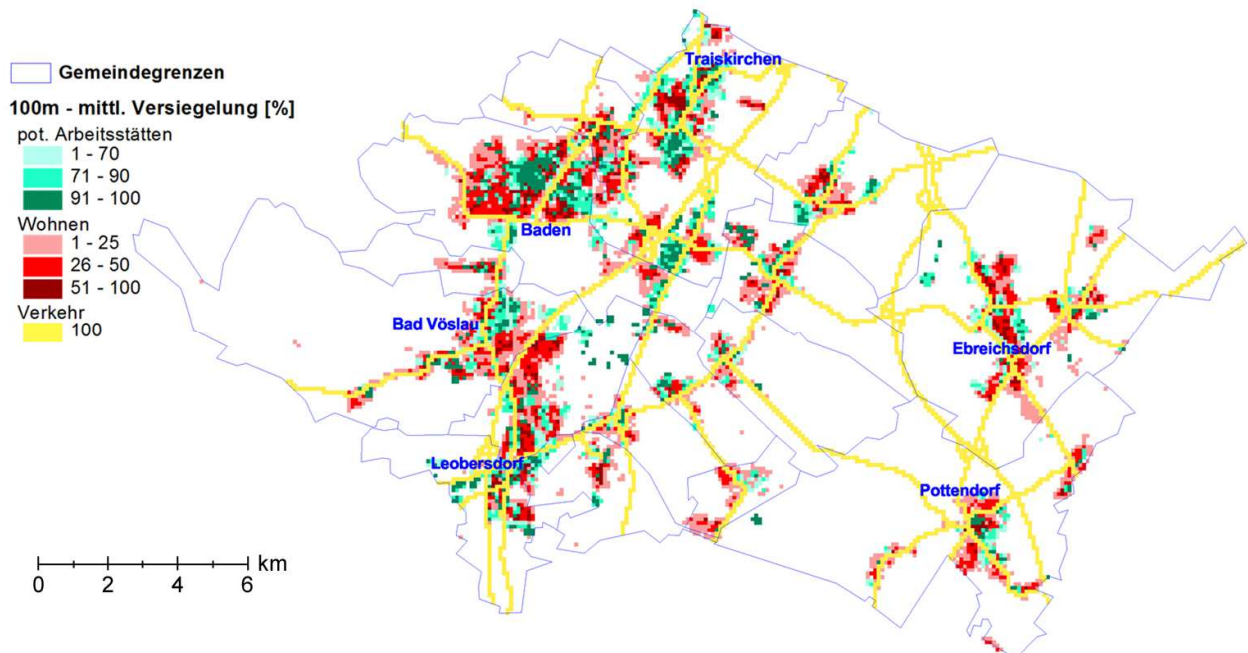


Abb. 2: Rasterlayer mit den drei Landnutzungseinheiten: Wohnen (rot), Arbeiten (grün), Verkehr (gelb)

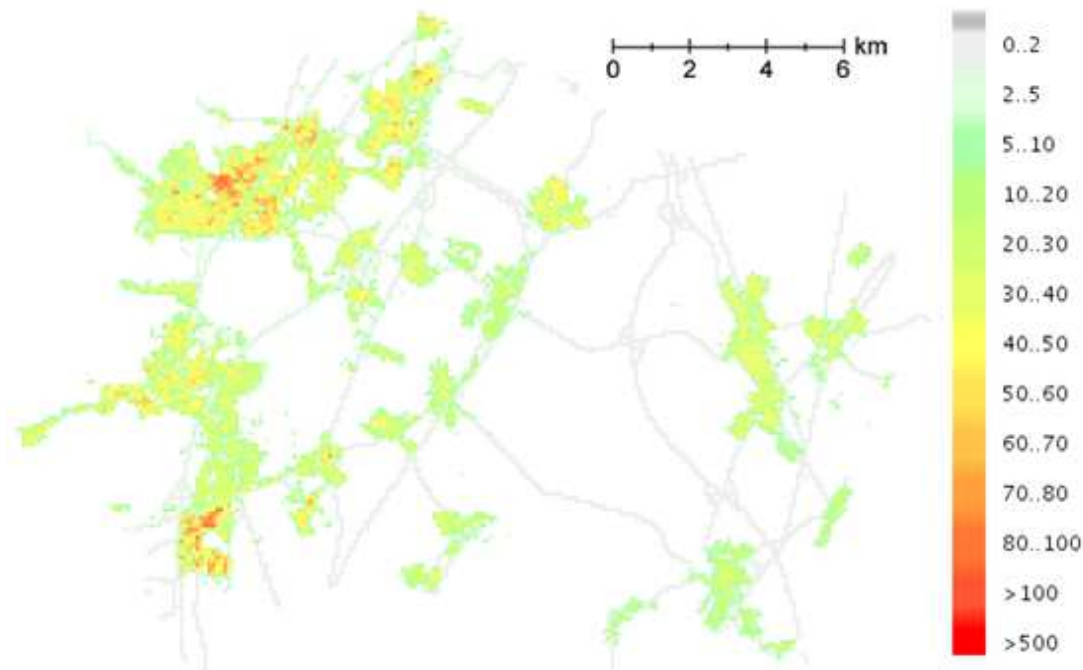


Abb. 3: Bevölkerungsverteilung um 3:00 Uhr

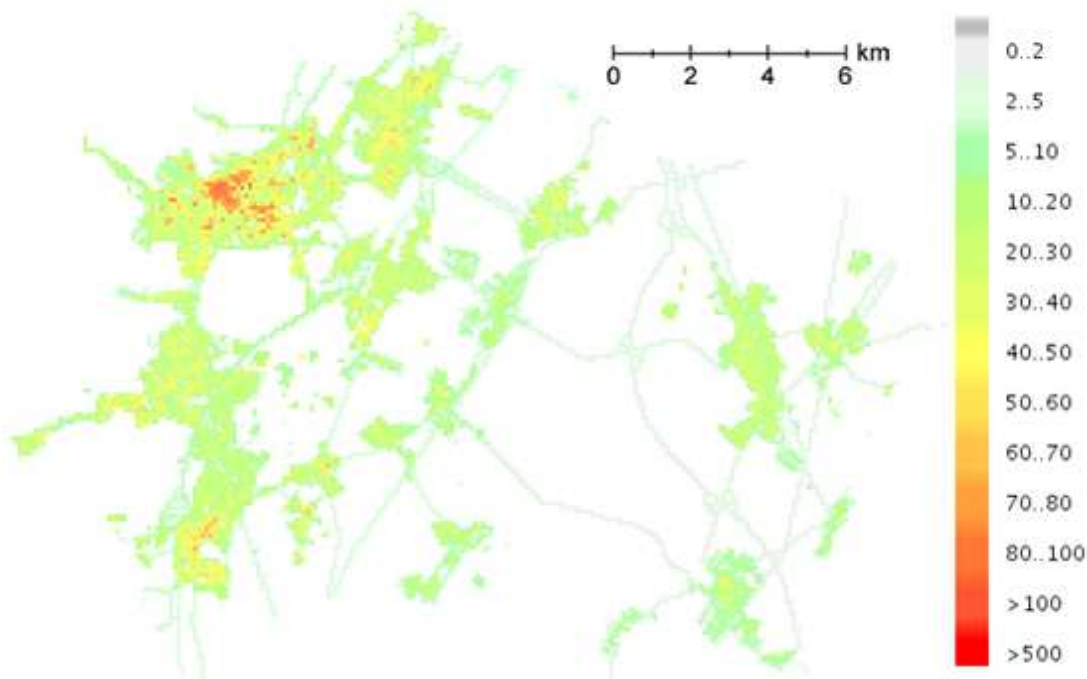


Abb. 4: Bevölkerungsverteilung um 15:00 Uhr

## 5 DISKUSSION UND AUSBLICK

Die vorliegende Studie zeigt die ersten Resultate einer raum-zeitlichen Bevölkerungsmodellierung. In Ergänzung zur räumlichen Verteilung der Bevölkerung, wie sie bei räumlichen Disaggregationsansätzen erreicht wird, berücksichtigt die vorgestellte Methode auch die zeitliche Variation der Bevölkerung innerhalb eines Tagesablaufes. Die Herausforderung liegt in erster Linie – wie meist bei Disaggregationsansätzen – in der Verfügbarkeit der Eingangsdaten.

Um „sauber“ modellieren zu können, benötigt man Beschäftigungs- und Pendlerdaten auf Gemeindeebene. Vor allem letztere stehen in der Regel nicht zur Verfügung und müssen daher geschätzt werden, was natürlich zu Unschärfen in den resultierenden Datensätzen führt. Auch in Bezug auf die räumliche Modellierung könnte die Datenlage besser sein. Während die Bebauungsdichte in Wohngebieten einen guten Schätzwert für die Bevölkerungsverteilung liefert, benötigt man für die Modellierung der Tagesbevölkerung

genaue Angaben über die räumliche Verteilung von Arbeitsplätzen. Das könnte über Firmendatenbanken modelliert werden, sofern diese auch Beschäftigtenzahlen pro Unternehmen ausweisen und geokodiert vorliegen.

Der Modellierungsprozess selbst ist konsistent und einfach umzusetzen. Die derzeit ausgewählten Bevölkerungsgruppen sind jedoch noch nicht ausreichend, um eine plausible Verteilung der Bevölkerung modellieren zu können. Neben den Werktätigen sollten jedenfalls auch Schüler berücksichtigt werden. Als zusätzliche Aktivität müsste auch das Freizeitverhalten modelliert werden, welches aufgrund seines komplexen raum-zeitlichen Musters eine besondere Herausforderung darstellt. Im Rahmen des CRISMA Projekts wird versucht, diesbezüglich innovative Ansätze zu entwickeln.

Abschließend sei noch erwähnt, dass die Validierung raum-zeitlicher Bevölkerungsmuster eine eigene Forschungsfrage darstellt. Die Wohnbevölkerung oder auch Arbeitsplätze könnten über diverse Register zumindest näherungsweise bewertet werden, Verkehrsströme mittels punktueller Zählungen. Werden spezielle Zeiträume wie etwa Mittagspausen oder Abendfreizeit in der Modellierung berücksichtigt, wird die Validierung der räumlichen Muster zu einer wahren Herausforderung. Die einzige Referenz, die zurzeit für repräsentative Samples der Bevölkerung zur Verfügung steht, sind anonymisierte, raumbezogene Daten von Mobilfunknutzern. Diese liefern repräsentative Informationen über die Bewegung der Bevölkerung im Raum, allerdings beschränken sich die Samples in der Regel auf einen Provider, sodass nur relative Verteilungsmuster abgeleitet werden können. Des Weiteren wird in letzter Zeit verstärkt versucht raum-zeitliche Aktivitätsmuster aus freiwillig zur Verfügung gestellten Daten (VGI) aus sozialen Netzwerken abzuleiten (Aubrecht et al. 2011). Während der zeitliche und thematische Auflösungsgrad dieser Daten hervorragend sein kann, stellt vor allem die limitierte Repräsentativität durch ungleich verteilte Datengenerierung ein konzeptionelles Problem dar.

## 6 ACKNOWLEDGEMENTS

Diese Arbeit wurde im Rahmen des EU Projektes CRISMA durchgeführt. CRISMA wird gefördert im 7. Rahmenprogramm der Europäischen Union FP7/2007-2013 unter dem Grant Agreement no. 284552 (<http://www.crismaproject.eu/>)

## 7 LITERATUR

- AUBRECHT, C.: A geospatial perspective on population exposure and social vulnerability in disaster risk research - Demonstrating the importance of spatial and temporal scale and thematic context. Dissertation. TU Wien, 204 pp. Oktober 2013.
- AUBRECHT, C., STEINNOCHER, K.: Der Übergang von Bodenbedeckung über urbane Struktur zu urbaner Funktion - Ein integrativer Ansatz von Fernerkundung und GIS. CORP 2007: 12th International Conference on Urban Planning and Regional Development in the Information Society. pp. 667–675. Wien, 2007.
- AUBRECHT, C., UNGAR, J., FREIRE, S.: Exploring the potential of volunteered geographic information for modeling spatio-temporal characteristics of urban population: A case study for Lisbon Metro using foursquare check-in data. In: Pinto, Tenedório, Santos, de Deus (Hrsg.): Proceedings of the 7th International Conference on Virtual Cities and Territories, pp. 57–60. Lissabon, Portugal, 2011.
- AUBRECHT, C., FREIRE, S., NEUHOLD, C., CURTIS, A., STEINNOCHER, K.: Introducing a temporal component in spatial vulnerability analysis. In: Disaster Advances, Vol. 5, Issue 2, pp. 48–53. 2012.
- AUBRECHT, C., STEINNOCHER, K., HUBER, H.: DynaPop – Population distribution dynamics as basis for social impact evaluation in crisis management. In: Hiltz, S.R., Pfaff, M.S., Plotnick, L., Robinson, A.C. (Hrsg.): ISCRAM 2014, 11th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management. University Park, PA, USA, 2014. In Druck.
- BHADURI, B.: Population distribution during the day. In: Shekar, S., Hui, X. (Hrsg.): Encyclopedia of GIS, pp. 880–885. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- EICHER, C.L., BREWER, C.A.: Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation. In: Cartography and Geographic Information Science, Vol. 28, Issue 2, pp. 125–138. 2001.
- FREIRE, S., AUBRECHT, C.: Integrating population dynamics into mapping human exposure to seismic hazard. In: Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 12, Issue 11, pp. 3533–3543. 2012.
- STEINNOCHER, K., KÖSTL, M., WEICHSELBAUM, J.: Grid-based population and land take trend indicators - New approaches introduced by the geoland2 Core Information Service for Spatial Planning. NTTS 2011, Brüssel, Belgien, 2011.