

Hans-Christoph Hobohm (Hrsg.)

Informationswissenschaft zwischen virtueller Infrastruktur und materiellen Lebenswelten

**Information Science between
Virtual Infrastructure and Material Lifeworlds**

Unter Mitarbeit von Judith Pfeffing

Proceedings des 13. Internationalen Symposiums
für Informationswissenschaft (ISI 2013)

Potsdam, 19. bis 22. März 2013

vwh

Verlag Werner Hülsbusch
Fachverlag für Medientechnik und -wirtschaft

Vermessungsdaten – OpenStreetMap – In-situ-Experimente

Die Datengrundlage von URWalking

*Markus Kattenbeck, Martin Brockelmann, Rainer
Hammwöhner, Robert Jackermeier, Bernd Ludwig*

Universität Regensburg, Lehrstuhl für Informationswissenschaft
Universitätsstraße 31, D-93053 Regensburg
{markus.kattenbeck|martin.brockelmann|reiner.hammwoehner|
robert.jackermeier|bernd.ludwig}@ur.de

Zusammenfassung

Fußgängernavigationssysteme benutzen für die Zielführung idealerweise auffällige Objekte (Landmarken). Die Nachteile bisheriger Verfahren zur Gewinnung dieser Objekte können durch die Erfassung in alltäglichen Navigationssituationen mithilfe einer Smartphone-Applikation umgangen werden. Im Folgenden werden nötige Vorarbeiten zur Umsetzung einer solchen Anwendung beschrieben: Zunächst müssen verschiedene Datenbestände auf ihre Eignung hin geprüft werden. Anschließend müssen diese Daten integriert und deren Heterogenität auf verschiedenen Ebenen überwunden werden.

Abstract

Based on the shortcomings of current techniques used to identify landmarks in pedestrian navigation systems, this paper adopts a collaborative method. In order to enable this approach, different sources of information must be integrated to function as a database which can be queried by smartphone applications. Creating the database is a matter of selection, integration and overcoming heterogeneity.

In: H.-C. Hobohm (Hrsg.). Informationswissenschaft zwischen virtueller Infrastruktur und materiellen Lebenswelten. Tagungsband des 13. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaft (ISI 2013), Potsdam, 19.–22. März 2013. Glückstadt: Verlag Werner Hülsbusch, 372–383.

1 Motivation

Die Verfügbarkeit mobiler, leistungsfähiger Hardware ermöglicht die Benutzung von Smartphones, Tablet-PCs etc. zur Unterstützung der Navigation von Personen. Jenseits der gut etablierten Navigation in Automobilen entstehen dadurch neue Fragestellungen für Informationssysteme, die von Fußgängern verwendet werden können. Besonders die Frage nach der Adaption menschlicher Routenkommunikation ist hier von entscheidender Bedeutung: Im Gegensatz zu reinen Entfernungsangaben, kommunizieren Personen Routen hauptsächlich unter Rekurs auf auffällige Objekte (vgl. u. a. Tom/Denis 2004). Dieses gewohnte Verhalten kann nur dann in einem Informationssystem abgebildet werden, wenn neben Informationen zu Gebäudebeständen auch deren Verwendungszweck etc. bekannt bzw. weitere Objekte in Straßenzügen o.Ä. verfügbar sind. Besonderes Augenmerk ist daher auf die ortsunabhängige Handhabbarkeit der Datenerschließung zu richten. Dies gilt umso mehr, wenn das Fußgängernavigationssystem auch im Innenbereich zum Einsatz kommen soll. Ausgehend von einer Beschreibung der Eigenschaften des Fußgängernavigationssystems URWalking wird zunächst der gewählte Crowd-Sourcing-Ansatz zur Datengenerierung motiviert. Anschließend werden die Datenquellen, die zur Erweiterung und schematischen dreidimensionalen Darstellung von Innen- und Außenbereichen nötig sind, erläutert und bewertet. Schließlich wird auf die Anzeige dieser Daten und den daraus resultierenden realweltlichen Einsatz näher eingegangen.

1.1 Charakteristika des Fußgängernavigationssystems URWalking

Die im Kontext universitärer Forschungsseminare seit dem WS 2011/2012 entstandene Android-Applikation URWalking ermöglicht die Berechnung von Fußgängerrouen zwischen herausragenden Punkten auf dem Campus der Universität Regensburg. Die Anwendung greift für die Zielführung der Nutzer auf Online-Routenanweisungen zurück, die mithilfe von auffälligen Objekten (Landmarken) formuliert werden. Dies steht im Kontrast zur weitverbreiteten Navigation mithilfe metrischer Angaben. Hauptkennzeichen des Systems ist dabei der nahtlose Übergang zwischen Innen- und Außenbereich. Hinzu kommt die Möglichkeit der Berücksichtigung persönlicher Präferenzen (z. B. die Vermeidung von Stufen) und situativer Randbedingungen (z. B.

Regen). Eine erste prototypische Umsetzung des Systems konnte auf der CeBit 2012 präsentiert werden und wird seither kontinuierlich fortentwickelt.

1.2 Bisherige Ansätze der Erhebung von Landmarken

Bisherige Ansätze zur Gewinnung von Landmarken¹ zeichnen sich durch die Kontrolle der Experimentalsituation aus. Dies gilt für In-Situ-Experimente (vgl. u.a. Ishikawa/Nakamura 2012) und Cognitive-Mapping-Experimente (vgl. u.a. Daniel et al. 2009) gleichermaßen. Für Laborstudien zur Identifikation von Landmarken finden Fotos (vgl. u.a. Schroder/Mackanass/Gittings 2011) ebenso Verwendung wie virtuelle Räume (vgl. u.a. Brunyè et al. 2012). Auch automatische Ansätze zur Merkmalsextraktion aus Katasteramtsdaten (vgl. u.a. Elias/Sester 2006) oder mithilfe von Mustererkennungsalgorithmen (vgl. u.a. Adán et al. 2009) wurden bereits gewählt. Allen Ansätzen ist gemein, dass die Übertragbarkeit der daraus entwickelten Kerneigenschaften von Landmarken auf realweltliche Situationen bisher ungeklärt ist. Sie steht vor allem aufgrund der Unmöglichkeit, die Vielzahl von Kontextfaktoren systematisch zu kontrollieren, in Frage. Empirisch belegbare Unterschiede zwischen Encoding durch Wahrnehmung physischer Eigenschaften und Retrieval von Landmarken aufgrund erinnerter Merkmale (u.a. Röser/Hamburger/Knauff 2011) tragen hierzu wesentlich bei. Hinzu kommt, dass unterschiedlichste Objekte – Gebäude ebenso wie Packstationen oder Briefkästen – zur Orientierung benutzt werden können. Dies erschwert die Generierung eines universell anwendbaren Kriterienkatalogs zusätzlich. Einzige erkennbare Universalie für Landmarken ist deren relative Verortung, d.h. dass Objekten stets im Vergleich zu anderen Objekten Auffälligkeit zugeschrieben wird.

1.3 Collaborative Landmark Mining

Statt der Beschränkung auf naturgemäß sehr geringe Datenmengen aus Experimenten soll daher Crowdsourcing zur Gewinnung und Bewertung von Landmarken benutzt werden. Dadurch ist es möglich, in der Vergangenheit für verschiedene Szenarien erfolgreich eingesetzte Collaborativ-Filtering-

¹ Ursprünglich im Bereich der Stadtarchitektur definiert (u.a. Lynch 1960), wird dieser Begriff inzwischen als Synonym für auffällige Objekte allgemein gebraucht.

Methoden (u.a. Koren/Bell 2011) zu verwenden. Somit wird der Versuch unternommen, durch das Sammeln vieler Belege für verschiedene Umgebungen in realweltlichen Situationen, weitere übertragbare Kriterien für die Eignung von Objekten als Landmarken zu extrahieren. Um diese Kriterien auch außerhalb von Experimenten sinnvoll einsetzen zu können, ist die Verfügbarkeit einer Applikation, die auf mobilen Endgeräten lauffähig ist, aus unserer Sicht zweckmäßig. Nur so kann gewährleistet werden, dass Personen auffällige Objekte ohne zeitliche oder räumliche Verschiebung identifizieren. Zentrale Anforderung ist außerdem, eine Methodik zu entwickeln, die im Innen- und Außenbereich gleichermaßen anwendbar ist, sodass ein Beitrag zu aktuellen Forschungsbestrebungen zur kohärenten Modellierung von Innen- und Außenbereich (u.a. Giudice/Walton/Worboys 2010) ebenso wie des Innenbereichs an sich (u.a. Winter 2012) geleistet werden kann.

Ziel ist daher durch die Verbreitung einer Smartphone-Applikation, die Identifikation von Landmarken an viele Personen zu delegieren, sodass Nutzer je nach ihrer eigenen Wahrnehmung, Objekte als auffällig markieren und mit Metainformationen anreichern können. Auf Basis dieser Daten, sollen dann geeignete Merkmale zur Einschätzung der Auffälligkeit von Objekten extrahiert werden. Um die Annotation zu ermöglichen, ist zumindest die schematische Darstellung des Bereichs, in dem sich eine Person aktuell befindet, nötig. Dabei steht für die Schaffung der Datengrundlage die Übertragbarkeit auf beliebige räumliche Situationen (im Gegensatz zum engen Kontext einer experimentellen Erhebung) an oberster Stelle. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Datenbestände, die auf ihre Eignung hin untersucht wurden:

Die Heterogenität der geeigneten Datenquellen macht die Entwicklung eines integrativen Datenbankmodells für Indoor- und Outdoor-Daten nötig. Nur so kann die gewählte Client-Server-Architektur der Applikation umgesetzt werden. Aus dem Gesamtbestand muss diejenige Teilmenge der Daten in Echtzeit extrahiert werden, die in der aktuellen Navigationssituation relevant sind.

Tab. 1: Eignung verschiedener Datenbestände

Quelle	erfasster Bereich	enthaltene Information	Übertragbarkeit
Bayerische Vermessungsverwaltung (LVV)	Verwaltungsgrenze von Regensburg	sehr genaue Dokumentation der Grundrissgestalt von Gebäuden sowie deren Höhen	sehr gut; Vermessungsdaten liegen zumindest bayernweit in gleicher Form vor
OpenStreetMap (OSM) ²	Verwaltungsgrenze von Regensburg	semantische Information über Gebäude u. Straßen	sehr gut; weltweites Projekt mit kollaborativer Erstellung
Wikipedia	Liste der Baudenkmäler in Regensburg	Beschreibung markanter architektonischer Merkmale	schlecht; nur für Bereiche mit geschützten Objekten verfügbar.
Staatliches Bauamt Regensburg	einzelne Gebäude der Universität	Gebäudepläne	sehr schlecht; Gebäudepläne sind bei privaten Eigentümern
selbst erstellte Blendermodelle	einzelne Gebäude	nötiger Detaillierungsgrad für Innenräume Gegenstand aktueller Forschungsarbeit	sehr gut; Ersetzen fehlender Gebäudepläne u. zugleich neue Visualisierungen erschließen

1.4 Informationsintegration von Geospatial Data

Informationsintegration gilt als beständiges, grundsätzliches Problem der Datenbankforschung und ist als solches Gegenstand zahlreicher Forschungsaktivitäten (Leser/Naumann 2007: 4). Als Hauptprobleme bei der Informationsintegration treten Fragen der physischen Verteilung, der Datenautonomie und der Heterogenität zwischen den Datenquellen sowie im Vergleich zum entstehenden Integrationssystem auf. Vor allem die Überwindung der verschiedenen Subformen von Heterogenität – technisch, syntaktisch, modellbezogen, strukturell, schematisch und semantisch (ebd.: 60–78) – gilt als

² 2004 mit dem Ziel der Sammlung lizenzfreier geografischer Daten ins Leben gerufen, verzeichnet OSM inzwischen ca. 900.000 Benutzende, die bisher insgesamt 3,1*10⁹ GPS-Koordinaten beitrugen (u.a. http://www.openstreetmap.org/stats/data_stats.html <06.11.2012>).

zentral. Im Fall geografischer Informationssysteme wurde in der Vergangenheit vor allem das Problem semantischer Heterogenität behandelt. Torres et al. (2009) versuchen mithilfe einer Ontologie semantische Eigenschaften von Objekten zu annotieren und semantische Beziehungen zwischen diesen Einzelobjekten herzustellen. Die Zusammenführung von Straßenkarten aus offiziellen Vermessungsdaten und OSM-Daten sei als weiteres Beispiel genannt. Du et al. (2012) erstellen zunächst aus beiden Datenquellen je eine Ontologie und entwickeln dann Algorithmen für die Zusammenführung in eine dritte Ontologie.

1.4.1 Heterogenität der Datenquellen im Außenbereich – Ist-Zustand

Technische Heterogenität / Datenmodellheterogenität

Datenmodellheterogenitäten treten vor allem bei der Repräsentation der Koordinaten auf. Während im Innenbereich die Ortung durch WLAN erfolgt, liegen die LVV-Daten in der Projektion EPSG:31468, die OpenStreetMap- (OSM-) Daten hingegen in EPSG:4326 vor.³ Diese syntaktische Heterogenität kann dadurch überwunden werden, dass die OSM-Daten in die Zielprojektion EPSG:31468 überführt werden. Lokalisierungen im Innenbereich können mithilfe von Funktionalitäten der Software WiFiSLAM in GPS-Koordinaten umgerechnet werden. Diese wiederum werden dann durch Projektion in das Zielsystem überführt.

Syntaktische Heterogenität

Heterogenitäten im Datenmodell ergaben sich durch die verschiedenen Datenformate; während die Daten der LVV als ESRI Shapefiles vorlagen, verwendet OSM das Datenformat XML für Exporte. Diese technische Heterogenität wurde durch Inkaufnahme der ohnehin unumgänglichen Heterogenität zwischen den Datenquellen und dem Integrationssystem überwunden: Sowohl LVV als auch OSM-Daten werden in der objektrelationalen Datenbank PostgreSQL verwaltet. Die Prüfung der Tragfähigkeit dieses Ansatzes für Blender-Daten wird im Augenblick untersucht.

³ Die Projektion EPSG:4326 ist für die gesamte Weltkugel gültig. Demgegenüber steht die größere Genauigkeit von EPSG:31468, die eine spezielle Umrechnung für Koordinaten zwischen 10,5° und 13,5° östlicher Länge bietet.

Strukturelle Heterogenität / Schematische Heterogenität

Die Schemata, die beim Import von LVV- und OSM-Daten erzeugt wurden, unterscheiden sich strukturell sehr stark.⁴ Während die OSM-Daten aufgrund der Tag-Zuordnung stark denormalisiert sind, enthalten die Gebäude-Daten des LVV kaum redundante Information. Ein weiterer Unterschied ergibt sich durch die Zusammenführung von POIs in OSM mit Gebäudepolygonen. Um gleichartige Abfragen zu ermöglichen, wurden daher für LVV- und OSM-Polygonzüge jeweils Schwerpunkte errechnet. Dadurch wird eine einheitliche Umkreissuche mithilfe von PostGIS-Funktionen für die Auswahl darzustellender Objekte möglich.

Semantische Heterogenität

Semantische Heterogenität tritt im Fall der verwendeten Datenquellen vor allem innerhalb der OSM-Daten auf. Aufgrund der Vielzahl der Nutzer werden Tags inkonsistent verwendet, sodass die Semantik der vergebenen Werte teilweise erheblich leidet. Die Auswirkungen auf die Brauchbarkeit dieser Tags für die Nutzerführung werden im Moment untersucht.

1.4.2 Überwindung der Heterogenität im Integrationssystem

Die Integration der Daten erfolgt mithilfe des objektrelationalen, Open-Source verfügbaren DBMS PostgreSQL.⁵ Diese technologische Entscheidung wurde stark von der Verbreitung dieses DBMS im Anwendungsbereich geografischer Fragestellungen beeinflusst. Vor allem die Bereitstellung wichtiger, SQL-Syntax-basierter Abfragefunktionalität durch PostGIS (u.a. Strobl 2008) stellt eine erhebliche Vereinfachung gegenüber anderen relationalen DBMS dar. So werden durch diese Erweiterung beispielsweise Distanzabfragen für alle Objekte innerhalb eines bestimmten Umkreises möglich. Ferner existieren vergleichsweise weitreichende Importmechanismen, die beispielsweise den Import von ESRI Shapefiles⁶ ebenso stark vereinfachen wie

⁴ Potenzielle weitere Datenquellen wie z.B. die Denkmallisten der Wikipedia würden dieses Problem noch verschärfen. Gebäude werden hier nur als Punkte repräsentiert, d.h. die genaue Lage dieses Punktes im Vergleich zum Gebäudegrundriss ist unbekannt.

⁵ Konkret befindet sich aktuell die Version 8.4.12 im Einsatz.

⁶ Dieses Datenformat speichert Geometriedaten (*.shp) und Sachdaten (*.dbf) in getrennten Dateien, die durch eine dritte Datei (*.shx) verknüpft werden.

die Übernahme von XML-Daten aus OSM. Gemäß dem Schlagwort des eXtreme Programming: „always do the simplest [sic] thing that could possibly work next“⁷ – erfolgte die Zusammenführung der Daten weitgehend unter Verwendung von Standardfunktionalität. Tabelle 2 gibt einen Überblick über Datenvolumen, Importstrategie und nötige Transformationen der Daten der Bayerischen Vermessungsverwaltung und der OSM-Daten. Ebenso werden dort Vor- und Nachteile der Datenbestände benannt.

Tab. 2: Umfang der importierten Daten, nötige Transformationen sowie Vor- und Nachteile der Datenquellen

Daten	Umfang / Format	Import	Transformation	Bewertung
LVV	Ca. 44500 Gebäude; Formate: ESRI Shapefile; KML; CityGML	Plugin: <i>PostGIS Shapefile and DBF loader 2.0</i>	Importresultat überkomplex: Geometrietyp Multipolygon in Polygon transformiert; Polygone in Einzelpunkte zerlegt, um Rendering zu beschleunigen; Errechnung der Polygonschwerpunkte für Distanzabfragen	<u>Vorteil:</u> hohe Genauigkeit der GPS-Positionierung und Gebäudegrundrisse ⁸ <u>Nachteil:</u> jenseits von Adressangaben keine semantische Information
OSM	Ca. 57.000 Gebäude u. POIs; Format: XML	Kommandozeilenbasiert: <i>osm2pgsql</i> (erlaubt beim Import Auswahl aus größerer Datei)	Importresultat stark denormalisiert (Tabelle mit > 60 Spalten); Zusammenführung der POI-Relation und der Polygonrelation (semantische Annotation vorhanden) und Normalisierung der Tags	<u>Vorteil:</u> kontinuierliche Pflege der Datenquelle durch aktive Community <u>Nachteil:</u> Ungenauigkeit der Grundrisse im Vergleich zu LVV-Daten; fehlende Kontrolle des Tag-Vokabulars

⁷ <http://www.extremeprogramming.org/rules/simple.html> <11.11.2012>

⁸ Im Fall des Regensburger Doms werden 149 Einzelpunkte zur Beschreibung des Grundrisses verwendet.

1.4.3 3D-Modelle von Gebäudeteilen im Innenbereich

Da die einheitliche Modellierung von Innen- und Außenbereich eines der Alleinstellungsmerkmale von URW darstellt, kommt dem Aspekt der Datengewinnung für Innenbereiche große Bedeutung zu. Dies gilt für Lokalisierungsinformationen von auffälligen Objekten wie bauliche Informationen gleichermaßen. Hierfür böten sich grundsätzlich die Planungsdaten der Gebäude an. Die Benutzung dieser Daten ist jedoch aus zwei Gründen kritisch zu betrachten: Erstens ist das Parsing und die nötige Komplexitätsreduktion der AutoCAD-Daten sehr aufwendig. Zweitens kann die Verfügbarkeit solcher Gebäudepläne nicht ortsunabhängig vorausgesetzt werden. Daher wurde alternativ die Entwicklung eigener Gebäudemodelle für den Innenbereich als Möglichkeit der Schaffung einer Datengrundlage gewählt. Zweifelsohne ist hierfür hoher manueller Aufwand nötig. Ebenso unzweifelhaft ist jedoch, dass die Höhe des Aufwands stark mit dem gewählten Detailreichtum des Modells (z.B. Beleuchtung, Textur, modellierte Einrichtungsgegenstände etc.) korreliert. Gegenstand aktueller Untersuchungen ist daher, welcher minimale Detaillierungsgrad nötig ist, damit sich eine Person in einer dreidimensionalen Darstellung der Umgebung orientieren kann. Hierfür werden Top-down- und Bottom-up-Ansätze zur Annäherung an die Umgebungsdarstellung gleichzeitig untersucht.

1.5 Stand der Entwicklung

Die beschriebene Datengrundlage kann nun in doppelter Hinsicht genutzt werden. Sie ermöglicht die Darstellung bereits erfasster auffälliger Objekte vor dem schematischen Hintergrund dreidimensionaler Gebäudedarstellungen. Andererseits kann die Datengrundlage so durch Markieren von auffälligen Objekten auf dem Display der Navigationsapplikation erweitert werden. Abbildung 1 (links) zeigt ein Beispiel für die 3-D-Darstellung im Außenbereich. Hierfür nötige Datenpunkte werden aus der Datenbank mithilfe einer Umkreissuche, bezogen auf den aktuellen Nutzerstandort, ermittelt. Bereits eingetragene POIs werden je nach Kategorie durch Piktogramme symbolisiert. Beim ‚Klick‘ auf ein Gebäude oder auffälliges Objekt werden vorhandene Adress- bzw. Beschreibungsdaten angezeigt. Auch können weitere Informationen hinzugefügt werden. Im rechten Bildteil von Abbildung 1 ist eine beispielhafte, detailreduzierte Darstellung des Innenbereichs gezeigt.

reichs gezeigt. Dieser wird momentan durch eine lokal gespeicherte obj-Datei zur Anzeige gebracht.

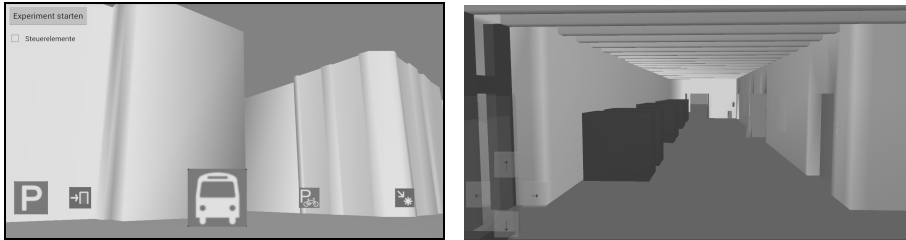


Abb. 1 3-D-Darstellung von Gebäuden und POI-Piktogrammen im Außenbereich (links); 3-D-Darstellung im Innenbereich (rechts).

2 Zusammenschau und Ausblick

Ausgehend von bisher unternommenen Versuchen zur Landmarkenidentifikation wurde die Schaffung einer Datengrundlage skizziert, die es ermöglicht, situationsgerecht Landmarken durch Kollaboration zu erfassen. Die Anreicherung genauer Vermessungsdaten mit semantischer Information aus OpenStreetMap-Daten hat sich als gangbarer Weg zur situativen, in Echtzeit gerenderten 3D-Darstellung auf mobilen Endgeräten erwiesen. Vier große Fragestellungen schließen sich dem oben skizzierten Entwicklungsstand in nächster Zukunft an. Wie bereits erwähnt muss der hinreichende Grad der Detaillierung im Innenbereich empirisch erfasst werden. Zweitens müssen diese Blenderdaten in die Datenbank integriert werden. Bevor die Applikation für den live-Einsatz verteilt werden kann, müssen aus einem literaturbasierten Fragenkatalog geeignete Fragen zur Einschätzung der Auffälligkeit erhoben werden. Dies kann bereits unter Verwendung der beschriebenen Forschungsplattform geschehen. Damit gehen auch Evaluationen der Benutzbarkeit des Systems einher – die Tragfähigkeit sowohl von Interaktion als auch Visualisierung muss sich in Feldversuchen zeigen.

Literaturverzeichnis

- Adán, A.; Martín, A.; Valero, E.; Merchán, P. (2009). Landmark Real-Time Recognition and Positioning for Pedestrian Navigation. In: Bayro-Corrochano, E.; Eklundh, J.-O. (Hrsg.). *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications*. Berlin/Heidelberg: Springer, 21–28.
- Brunyè, T. T.; Gardony, A.; Mahoney, C. R.; Taylor, H. A. (2012). Going to Town: Visualized Perspectives and Navigation through Virtual Environments. In: *Computers in Human Behavior* 28 (1), 257–266.
- Daniel, M.-P.; Przytula, E.; Denis, M. (2009). Spoken versus Written Route Directions. In: *Cognitive Processing* 10, 201–203.
- Du, H.; Anand, S.; Alechina, N.; Morley, J.; Hart, G.; Leibovici, D.; Jackson, M.; Ware, M. (2012). Geospatial Information Integration for Authoritative and Crowd Sourced Road Vector Data. In: *Transactions in GIS* 16 (4), 455–476.
- Elias, B.; Sester, M. (2006). Incorporating Landmarks with Quality Measures in Routing Procedures. In: Raubal, M.; Miller, H. J.; Frank, A.U.; Goodchild, M. F. (Hrsg.). *Proceedings of the 4th International Conference on Geographic Information Science*. Berlin/Heidelberg: Springer, 65–80.
- Giudice, N. A.; Walton, L. A.; Worboys, M. (2010). The Informatics of Indoor and Outdoor Space: A Research Agenda. In: Winter, S. (Hrsg.). *Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*, New York, NY: ACM, 47–53.
- Hammon, L.; Hippner, H. (2012). Crowdsourcing. In: *Wirtschaftsinformatik* 54 (3), 165–168.
- Ishikawa, T.; Nakamura, U. (2012). Landmark Selection in the Environment: Relationships with Object Characteristics and Sense of Direction. In: *Spatial Cognition and Computation* 12 (1), 1–12.
- Koren, Y.; Bell, R. (2011). Advances in Collaborative Filtering. In: Ricci, F.; Rokach, L.; Shapira, B.; Kantor, P. (Hrsg.). *Recommender Systems Handbook*. New York: Springer, 145–186.
- Leser, U.; Naumann, F. (2007). *Informationsintegration. Architekturen und Methoden zur Integration verteilter und heterogener Datenquellen*. Heidelberg: dpunkt.
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. Cambridge, MA; London: M.I.T. Press.
- Röser, F.; Hamburger, K.; Knauff, M. (2011). The Giessen Virtual Environment Laboratory: Human Wayfinding and Landmark Saliency. In: *Cognitive Processing* 12, 209–214.

- Schroder, C.J.; Mackaness, W.A.; Gittings, B.M. (2011). Giving the ‘Right’ Route Directions: The Requirements for Pedestrian Navigation Systems. In: *Transactions in GIS* 15 (3), 419–438.
- Strobl, Ch. (2008). PostGIS. In: Shekhar, S.; Xiong, H. (Hrsg.). *Encyclopedia of GIS*. New York: Springer, 891–898.
- Tom, A.; Denis, M. (2004). Language and Spatial Cognition: Comparing the Roles of Landmarks and Street Names in Route Instructions. In: *Applied Cognitive Psychology* 18 (9), 1213–1230.
- Torres, M.; Quintero, R.; Levachkine, S.; Moreno, M.; Guzmán, G. (2009). Geospatial Information Integration Approach Based on Geographic Context Ontologies. In: Popovich, V.V.; Schrenk, M.; Claramunt, Ch.; Korolenko, K.V. (Hrsg.). *Information Fusion and Geographic Information Systems, Proceedings of the Fourth International Workshop, IF & GIS 2009*. Dordrecht u.a.: Springer, 177–191.
- Winter, S. (2012). Indoor Spatial Information. In: *International Journal of 3-D Information Modeling* 1 (1), 25–42.