Vertiefungsartikel Open Data Vorlesung 2020

Qualität von OpenStreetMap-Daten

Einführung und Arten der Qualitätsbeurteilung

eingereicht an der
Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

Institut für Wirtschaftsinformatik
Dozentur Digitale Nachhaltigkeit

beim Dozent
Dr. Matthias Stürmer

eingereicht von
Damian Josi
von Frutigen, BE
im 10. Semester
Matrikelnummer: 14-111-652

Studienadresse
Oberer Aareweg 12
3250 Lyss
079 568 10 94
damian.josi@gmail.com

Bern, 30.06.2020

1 Einleitung

Die Nutzung des Internets hat sich in den vergangenen Jahren gewandelt (O'Reilly 2005). Nutzer sind nicht länger nur einfache Konsumenten von Inhalten, sondern gestalten Inhalte auch aktiv mit. Die Enzyklopädie Wikipedia und die Videoplattform Youtube sind hierfür nur einige Beispiele. Auf diesen Plattformen wird sogenannter „user-generated content" geteilt (Brando & Bucher, 2010). Ein Spezialfall von „user-generated content" stellt „Volunteered Geographic Information" (VGI) dar (Goodchild 2007, S. 212). VGI wird oftmals auch als «crowd-sourced geodata» bezeichnet (Barron, Neis, & Zipf 2014, S. 877). VGI sind Geodaten, welche durch eine kollaborative Zusammenarbeit von Menschen rund um den Globus gesammelt und erfasst werden. Dabei kann sich jedermann beteiligen, egal ob Profi oder Amateur.

OpenStreetMap hat sich in den vergangenen Jahren zum grössten VGI-Projekt entwickelt und wird mittlerweile von vielen Applikationen und diversen Geoinformationssystemen verwendet (Goodchild & Li 2012; Goetz & Zipf 2013). Aus diesem Grund, sowie der erwähnten Tatsache, dass grundsätzlich jedermann für OpenStreetMap Daten auf freiwilliger Basis erheben kann, stellt sich berechtigterweise die Frage nach der Qualität der OpenStreetMap-Daten. Doch wie lässt sich die Qualität von OpenStreetMap-Daten überhaupt beurteilen und wie fällt diese Beurteilung in der Forschung aus?

Der vorliegende Artikel ist folgendermassen aufgebaut: Nach einer Einführung in die computerbasierte Kartennutzung wird der Begriff Geodaten und seine verschiedenen Formen vorgestellt. Anschliessend wird in Kapitel 3 das Konzept der „Volunteered Geographic Information" (VGI) erläutert und mit OpenStreetMap das populärste VGI-Projekt präsentiert. In Kapitel 4 werden die verschiedenen Arten der Qualitätsbeurteilung sowie Erkenntnisse aus der Forschung zur Qualität von OpenStreetMap-Daten aufgezeigt. In Kapitel 5 werden die Hauptpunkte des Artikels noch einmal zusammengefasst.

2 Geoinformatik und Geodaten

Die Geoinformatik als eigenes Teilgebiet der Informatik hat in den Jahren um die Jahrtausendwende einen erheblichen Wandel durchlaufen (Teege, 2001, S. 193). Obwohl bereits in den 1970er-Jahren mit Computerunterstützung Karten erstellt und bearbeitet wurden, war die Internetpräsenz von Landkarten, verglichen mit anderen Inhalten, im Internet für lange Zeit nur gering. Um die Jahrtausendwende und der flächendeckenden Verbreitung des Internets hat sich dies jedoch geändert. Landkarten wurden nun beispielsweise für verschiedenste Webanwendungen nutzbar. In der einfachsten Nutzungsform werden Karten auf dem Bildschirm angezeigt und dienen dabei, ähnlich der klassischen Nutzung von papierförmigen Karten, der Orientierung und Information. Die digitale Anzeige von Karten ermöglicht aber Funktionalitäten, welche in normaler Papierform nicht möglich wären. Beispielsweise können bestimmte Aspekte wie Strassen hervorgehoben oder Flächen eines bestimmten Typs (zum Beispiel Land- oder Wasserflächen) farbig gekennzeichnet werden. Ein weiteres Beispiel ist die gezielte Suche mit textuellen Anfragen (wie etwa nach einer bestimmten Adresse).

Gemäss Teege (2001, S. 193) spricht man in der Geoinformatik nicht von elektronischen Karten, sondern allgemeiner von Geodaten oder Geoinformationen. Geodaten weisen nach Bollman (2001, S. 289) einen Raumbezug auf und werden über den Lagebezug zur Erdoberfläche hergestellt. Paderta (2012, S. 8) beschreibt Geodaten wie folgt:

> Sie werden in computergeeigneter, transportabler Form aufbereitet und können rechtliche, ökonomische, ökologische, geowissenschaftliche Umstände sowie technische oder administrative Einrichtungen beschreiben. Sie können als Grundlagen für Abfragen, Analysen und Auswertungen spezifischer Fragestellungen dienen. Geodaten beschreiben Objekte, welche durch ihre direkte Position anhand von Koordinaten oder durch Beziehung zu anderen referenzierbar sind.

Laut De Lange (2006, S. 228) lassen sich Geodaten in naturbeschreibende und artefaktbeschreibende Geodaten unterteilen. Paderta (2012, S. 8) führt aus: „Unter Erste-

ren kann man die Beschreibung und Bewertung von natürlichen Zuständen und Prozessen, wie zum Beispiel hydrologische, hydrogeologische, bodenkundliche, atmosphärische, geologische und Bodendaten auf der Erdoberfläche verstehen, unter artefaktbeschreibenden Geodaten fallen Resultate menschlichen Planens und Wirkens auf der Erdoberfläche“.

3 Volunteered Geographic Information

Über viele Jahre hinweg wurde das Kartographieren der Welt ausschliesslich von speziell ausgebildeten und professionell ausgerüsteten Personen wie beispielsweise Landvermessern oder Geographen durchgeführt (Haklay & Weber, 2008, S. 12). Fast jedes Land verfügt über ein Amt, welches sich speziell um die Aktualität und Genauigkeit seiner nationalen Karten kümmert. Beispiele sind swisstopo in der Schweiz oder die US Geological Survey in den USA. Das Erstellen von Landkarten durch Laien war für lange Zeit etwas kaum Vorstellbares.

Während zu Beginn des Jahrtausends das Internet von den Anwendern primär zum Konsum von Information genutzt wurde, kam in den folgenden Jahren eine neue Nutzungsform mit einem höheren Grad an Interaktivität auf (De Lange, 2020, S. 48). In dieser von O’Reilly (2005) Web 2.0 genannten Generation des Internets spielt der Nutzer eine immer grössere Rolle: Er konsumiert nicht nur, sondern erzeugt, modifiziert und präsentiert Inhalte beziehungsweise Informationen. Dies ermöglicht auch Nicht-Fachleuten, sogenannten „user-created content“ zu erzeugen und für andere verfügbar zu machen (Brando & Bucher, 2010). Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Videoplattform Youtube, auf welcher Filme sowohl von professionellen Filmemachern wie auch von Laien erstellt und ins Netz gestellt werden können. Anschliessend sind diese Videos von allen anderen Besuchern der Plattform such- und abspielbar.

Der Begriff „Volunteered Geographic Information“ (VGI) geht auf Goodchill (2007) zurück. Er beschreibt damit eine Sonderform des allgemeiner zu verstehenden „user-created content“. Bei VGI geht es gemäss De Lange (2020, S. 233) um das „Erstellen, Sammeln und Verteilen von geographischen Informationen, die freiwillig im World Wide Web von zumeist privaten Personen bereitgestellt werden“. Es geht also bei VGI um die in Kapitel 2 beschriebenen Geodaten. Ermöglicht wird dies durch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien, welche die Transaktionskosten für

eine Teilnahme an solchen Projekten stark verringert haben (Hill, 2011, S. 60). Geodaten können beispielsweise dank modernen Smartphones nicht mehr nur gelesen, sondern durch diese auch erstellt, gespeichert und geteilt werden. Goodchild (2007, S.212) spricht in diesem Zusammenhang von einem Netzwerk aus über 6 Milliarden Sensoren. Die Sensoren sind dabei die Menschen selbst, welche nun dank den Möglichkeiten im Web 2.0 und durch moderne Technologien befähigt sind, aktiv ein Teil von VGI-Projekten zu sein.

Doch warum nehmen Menschen überhaupt an solchen Projekten Teil? Immerhin ist die Teilnahme auf freiwilliger Basis und ohne jegliche monetäre Entschädigung. Dazu kommt, dass die Erfassung von Geodaten mit einem hohen Zeitaufwand verbunden ist (Paderta, 2012, S. 8). Gemäss Goodchild (2007, S. 219) ist im Allgemeinen die Selbstdarstellung ein wichtiger Motivator für Internetaktivitäten. Dieser Faktor kann bei VGI-Projekten jedoch keine Rolle spielen, da solche Projekte meist anonym sind. Vielmehr könnten Mitwirkende von VGI-Projekten Gefallen daran finden, mit dem eigenen Beitrag Teil von etwas Grossem zu sein, das im Zeitverlauf zunehmend an Vollständigkeit und Detaillierungsgrad gewinnt.

3.1 Das OpenStreetMap-Projekt

In den letzten Jahren hat sich das OpenStreetMap-Projekt zum bedeutendsten und grössten VGI-Projekt und zu einem der grössten Open-Data-Projekte überhaupt entwickelt (De Lange, 2020, S. 233; Goodchild & Li, 2012, S. 11; Ramthun, 2012, S.159). Das Projekt sammelt und stellt für jeden frei nutzbare Geodaten bereit. Es wurde im Juli 2004 in Grossbritannien durch Steve Coast ins Leben gerufen und erfreut sich seither einer stetig ansteigenden Anzahl an Benutzern. Aktuell zählt OpenStreetMap 6‘498‘155 Benutzer (OpenStreetMap, 2020). Zwei Drittel der Benutzer kommen dabei aus Europa (Poole, 2015). Betrachtet man die einzelnen Länder, so kommen die meisten Benutzer aus Deutschland, den USA und Frankreich.

Ruft man die OpenStreetMap-Website auf, so erscheint eine Online-Landkarte, wie man sie auch von anderen Anbietern (wie etwa Google Maps) kennt. Es ist eine Such- sowie eine Routenberechnungsfunktion vorhanden. Laut Ramthun (2012, S. 159) ist die angezeigte Darstellung der Karte jedoch nur ein mögliches Endprodukt der OpenStreetMap-Geodatensammlung. Neben verschiedenen Arten von Onlinekarten

wurden die OpenStreetMap-Daten auch schon für Navigationssysteme, Papierkarten, fühlbare Karten für Sehbehindere, Empfehlungs-Apps für Smartphones und viele weitere Anwendungen verwendet (Goetz & Zipf, 2013).

Jeder Interessent kann sich auf der Website von OpenStreetMap registrieren und anschliessend Informationen beitragen (Ramthun, 2012, S. 159). Die dazu nötigen technischen Anforderungen für den jeweiligen Benutzer sind niedrig. Es wird lediglich ein GPS-fähiges Gerät (zum Beispiel ein Smartphone, GPS-Handgerät oder ein Laptop mit GPS-Empfänger) sowie Zugriff auf das Internet benötigt, um die per GPS gesammelten Daten nach der Aufnahme auch hochladen zu können (Ramthun, 2012, S. 164). Zusätzlich können auch bereits vorhandene Satellitenbilder, digitalisierte Papierkarten oder Vor-Ort-Kenntnisse der Benutzer als Datenquelle dienen. Die erfassten Rohdaten werden in einem weiteren Schritt editiert (De Lange, 2020, S. 234). OpenStreetMap stellt hierzu verschiedene Möglichkeiten beziehungsweise Programme zur Verfügung. Auf dem PC ist die Nachbearbeitung beispielsweise mit dem Offline-Editor JOSM (JavaOpenStreetMap-Editor) möglich, auf Smartphones mit den Apps „Vespucci – an OSM Editor“ und „Go Mapp!!“ für Android beziehungsweise iOS (De Lange, 2020, S. 234; Haklay & Weber, 2008, S. 14). Es ist an dieser Stelle festzuhalten, dass OpenStreetMap zwar wie bereits erwähnt über sechs Millionen Benutzer aufweist, jedoch nur 38% dieser Benutzer mindestens einmal und gar nur 5% in einem grösseren Umfang mitwirken (Barron et al., 2014, S.881).

Die so erhobenen Daten werden in einer Datenbank gespeichert, welche als Gesamtwerk unter der offenen Open Database License (ODbL) 1.0 veröffentlicht wird (De Lange, 2020, S. 233). Abgeleitete Datenbanken müssen unter derselben Lizenz stehen, da die OBbL eine Share-Alike-Klausel besitzt. OpenStreetMap nutzt das eigene, XML-basierte Datenformat OSM-XLM, welches sich bei Bedarf in andere Formate wie GML konvertieren lässt (Ramthun, 2012, S. 172).

4 Qualität von OpenStreetMap-Daten

Bei der in Kapitel 3.1 beschriebenen Vorgehensweise zur Datenerhebung ist es naheliegend, die Qualität der Daten in Frage zu stellen. Von öffentlichen Ämtern erhobene Geodaten zeichnen sich gemäss De Lange (2020, S. 235) „durch eine präzise, flächendeckende und wertneutrale Erhebung in einer klaren, festgelegten Verantwortlichkeit aus. Die Daten besitzen eine einheitliche Aufnahmequalität, die auf Grundlage des amtlichen Vermessungswesens basieren“. Diese Kriterien sind im Falle von OpenStreetMap nicht gegeben. Es gibt keine übergeordnete Instanz, welche die durch die Nutzer in OpenStreetMap eingepflegten Daten prüft (Flanagin & Metzger, 2008). Sind Laien mit ihren eigenen Erfassungsgeräten überhaupt dazu in der Lage, qualitativ hochwertige Geodaten zu sammeln?

Der OpenStreetMap-Community bieten sich verschiedene Möglichkeiten, die Qualität der Geodaten sicherzustellen (Ramathun, 2012, S. 176). So wird jede Änderung/Ergänzung an den Daten in einer für jedermann einsehbaren Chronik nachgeführt. Auf diese Weise ist jede Änderung/Ergänzung mit dem Namen des ändernden Benutzers verknüpft und nachvollziehbar. Erkennt ein anderer Benutzer qualitativ mangelhafte Daten oder Fehler, so kann er den Ersteller kontaktieren und dabei Verbesserungsvorschläge formulieren. Es ist ausserdem möglich, geographische Räume (wie etwa das eigene Dorf) auf Änderungen/Ergänzungen zu überwachen. Geschieht eine Änderung/Ergänzung, dann wird diese angezeigt und kann durch den jeweiligen Benutzer kontrolliert werden. Es sind aber nicht nur die aktiv Mitwirkenden, welche zur Qualitätssicherung beitragen. Auch den reinen Nutzern von OpenStreetMap-Daten bieten sich verschieden Möglichkeiten, bei Bedarf auf mangelnde Qualität oder Fehler zu reagieren. Es gibt eine Reihe von Bug-Reporting-Tools, mit denen fehlerhafte Daten gemeldet werden können. Die Meldungen können anschliessend von der OpenStreetMap-Community verarbeitet werden.

Nichtsdestotrotz ist laut De Lange (2020, S. 235) die Qualität der OpenStreetMap-Daten (und ganz allgemein von VGI) nicht gleichmässig. De Lange (2020, S. 235) merkt an, dass „grosse Unterschiede zwischen einerseits Großstädten und touristisch gut erschlossenen Gebieten sowie andererseits ländlichen Räumen“ bestehen. Es stellt

sich nun die Frage, welche Arten der Qualitätsbeurteilung konkret in der Forschung angewendet werden.

4.1 Qualitätskriterien gemäss ISO-Standard 19113

Gemäss Ramathun (2012) und Barron, Neis und Zipf (2014) können die Qualitätskriterien des ISO-Standards 19113 auch für OpenStreetMap-Daten herangezogen werden. Der Standard definiert die folgenden 5 Prinzipien zur Bewertung der Qualität von Geoinformationen (Barron et al., 2014, S. 879):

- Vollständigkeit (Completeness): Präsenz oder Fehlen von Objekten, einzelner Attribute oder Beziehungen
- Logische Konsistenz: Widerspruchsfreiheit der konzeptionellen, logischen und physikalischen Datenstruktur
- Positionsgenauigkeit (Positional Accuracy): durchschnittliche Positionsgenauigkeit der einzelnen Objekte
- Zeitliche Genauigkeit (Temporal Accuracy): Korrektheit der Zeitangaben und zeitlichen Beziehungen
- Thematische Genauigkeit (Thematic Accuracy): Korrektheit der Attribute

Ramthun (2012, S. 175) stellt fest, dass OpenStreetMap bei der logischen Konsistenz und der thematischen Genauigkeit zwar Kompromisse zu Gunsten der einfachen Erlernbarkeit und Flexibilität eingeht, insgesamt aber über eine überraschend hohe Qualität verfügt. Die von De Lange (2020, S. 235) beschriebenen Unterschiede zwischen ländlichen und urbanen Gebieten beziehen sich auf die Vollständigkeit und Positionsgenauigkeit der Daten, wobei die ländlichen Räume in diesen Kriterien oft abfallen. Allerding merken Barron et al. (2014, S. 879) an, dass die Qualität von OpenStreetMap-Daten stark vom Verwendungszweck der Daten abhängt und daher die Qualitätsbewertung nur anhand des ISO-Standards 19113 nicht genügt. Diese Meinung vertritt auch De Lange (2020, S. 235), welcher dies wie folgt formuliert: „Allerdings gilt auch hier grundsätzlich, dass die Qualität von Geodaten nutzungsspezifisch zu beurteilen ist“. Qualität kann also auch je nach Anwendungszweck gemessen werden, was De Lange (2020, S. 267) mit dem Ausdruck „fitness for use“ beschreibt. Doch wie lässt sich die Qualität nutzungsspezifisch beurteilen?

4.2 Das iOSMAnalyzer-Framework

Barron et al. (2014) stellen in ihrer Studie „A Comprehensive Framework for Intrinsic OpenStreetMap Quality Analysis“ fest, dass in einem erheblicher Teil der vorangegangenen Forschung zur Qualität von OpenStreetMap-Daten ein Vergleich zu amtlich erhobenen Geodaten durchgeführt wird und nur ein kleiner Teil der veröffentlichten Studien ohne Referenzdaten auskommt. Ihr neu entwickeltes iOSMAnalyzer-Framework kommt ohne Referenzdaten aus und folgt dabei dem „fitness for purpose“-Ansatz (mit einem Fokus auf die Qualitätsbeurteilung für verschiedene Anwendungen von standortbezogenen Diensten). Die Resultate des Frameworks sollen daher die Entscheidung unterstützen können, ob OpenStreetMap-Daten für einen bestimmten Anwendungsfall (von vielen möglichen) geeignet sind.

Insgesamt beinhaltet das holistische Framework über 25 verschiedene Qualitätsindikatoren. Die Anzahl an aktiven Mitwirkenden innerhalb eines Gebiets, die Charakteristika der einzelnen Mitwirkenden, die Aktualität der Daten und der Komplettierungsgrad des OpenStreetMap-Strassennetzes sind nur einige davon. Beispielsweise wird beim Indikator „Komplettierungsgrad des OpenStreetMap-Strassennetzes“ die zeitliche Entwicklung des Strassennetzes begutachtet. Geht die Zunahme der Länge einer bestimmten Strassenart (zum Beispiel der Autobahn) über mehrere Monate gegen Null, so kann von einem hohen Komplettierungsgrad dieser Strassenart in einem bestimmten Gebiet ausgegangen werden. Barron et al. (2014) wenden diesen Qualitätsindikator zur Veranschaulichung auf die Städte San Francisco (USA), Madrid (Spanien) und Jaunde (Kamerun) an. Die Resultate zeigen, dass das Strassennetz von San Francisco und Madrid für verschiedene Strassenarten schon nahe der Komplettierung steht, wohingegen bei Jaunde ohne Referenzdatensatz keine Aussage zur Vollständigkeit gemacht werden kann.

Der Output des Frameworks ist ein generiertes PDF-Dokument, welches verschiedene Statistiken, Tabellen, Diagramme und Karten der verschiedenen Qualitätsindikatoren zu einem frei wählbaren Gebiet enthält und dadurch Aufschluss über die Qualität der Daten für dieses Gebiet gibt. Die Autoren räumen jedoch ein, dass eine absolute Aussage zur Datenqualität nur mit einem hochwertigen Referenzdatensatz als Vergleichsbasis realisierbar ist.

4.3 Qualitätsbeurteilung durch Vergleich mit anderen Datensätzen

Ein Beispiel für einen Vergleich zwischen OpenStreetMap-Daten und anderen Datensätzen ist die Studie von Helbich, Amelunxen, Neis und Zipf (2012). Sie fokussieren sich bei ihrer Analyse auf das Qualitätsmerkmal Positionsgenauigkeit von bestimmten Objekten und vergleichen dabei OpenStreetMap-Daten mit proprietären Daten der Firma TomTom sowie amtlichen Daten. Der amtliche Datensatz dient dabei als Referenzdatensatz, da er auf präzisen Erhebungstechniken (wie etwa Triangulation) basiert. Die Resultate für eine beispielhafte Stadt in Deutschland zeigen, dass sowohl die OpenStreetMap-Daten als auch die proprietären TomTom-Daten allgemein eine hohe Positionsgenauigkeit aufweisen. Es zeigt sich aber auch, dass OpenStreetMap die höchste Genauigkeit primär im urbanen Zentrum erreicht. Dies deutet laut Helbich et al. (2012, S. 31) darauf hin, dass Fehler in diesen Gebieten dank einer höheren Community-Aktivität schneller behoben werden als in ländlicheren Gebieten. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Aussage von De Lange (2020, S. 235), wonach die Positionsgenauigkeit von OpenStreetMap-Daten nicht überall einheitlich ist.

5 Konklusion

OpenStreetMap hat sich in den letzten Jahren ohne Zweifel zum bedeutendsten VGI-Projekt mit einer beeindruckenden Zahl an Benutzern entwickelt, welche rund um den Globus auf freiwilliger Basis ihren Teil am Gesamtwerk beisteuern. Die Qualität der Daten lässt sich dabei nutzungsspezifisch mit eigens entwickelten Frameworks oder auch im Vergleich mit anderen Datensätzen anhand von verschiedenen Qualitätskriterien (beispielsweise aus dem ISO-Standard 19113) beurteilen.

Die Frage der Vollständigkeit und Positionsgenauigkeit von OpenStreetMap im Vergleich zu anderen (oft amtlichen) Geodaten wird in der Forschung intensiv diskutiert. Mehrere Autoren weisen bei OpenStreetMap auf die vorhandenen Unterschiede zwischen urbanen Zentren und ländlichen, weniger besuchten Gebieten hin. Stellenweise, beispielsweise in grösseren Städten, kann OpenStreetMap aber auch eine höhere Positionsgenauigkeit als alle anderen Anbieter aufweisen (Ramathun, 2012, S. 175). In Anbetracht der Vielzahl an Apps, Touristenportalen und Routing-Systemen, welche heute mit OpenStreetMap-Daten arbeiten, kann von einer völlig ausreichenden Datenqualität für diese Anwendungsfälle ausgegangen werden. Dieser Meinung ist auch De

Lange (2020, S. 235), welcher in OpenStreetMap für derartige Zwecke einen ernstzunehmenden Konkurrenten zu amtlichen Geodaten sieht (nicht zuletzt dank der kostenfreien Beziehbarkeit der Daten). Es wird in den nächsten Jahren spannend zu beobachten sein, wie sich das OpenStreetMap-Projekt, seine Benutzerzahlen und die Nutzungsarten der Daten durch Dritte weiterentwickeln werden.

Literaturverzeichnis

Barron, C., Neis, P., & Zipf, A. (2014). A comprehensive framework for intrinsic OpenStreetMap quality analysis. *Transactions in GIS, 18*(6), 877-895.

Bollmann, J. (2001). *Lexikon der Kartographie und Geomatik: in zwei Bänden.* Hei delberg: Spektrum, Akad. Verlag.

Brando, C., & Bucher, B. (2010, April). *Quality in user generated spatial content: A matter of specifications*. Beitrag präsentiert an der 13th AGILE international conference on geographic information science, Guimaraes, Portugal.

De Lange, N. (2006). *Geoinformatik in Theorie und Praxis* (2. Aufl.). Berlin: Springer.

De Lange, N. (2020). *Geoinformatik in Theorie und Praxis* (4., neu bearb. Aufl.). Belin: Springer.

Flanagin, A. J., & Metzger, M. J. (2008). The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal, 72*(3-4), 137-148.

Goetz, M., & Zipf, A. (2013). The evolution of geo-crowdsourcing: bringing volunteered geographic information to the third dimension. In D. Sui, S. El wood, & M. F. Goodchild (Eds.), *Crowdsourcing geographic knowledge* (S. 139-159). Dordrecht: Springer.

Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal, 69*(4), 211-221.

Goodchild, M. F., & Li, L. (2012). Assuring the quality of volunteered geographic information. *Spatial statistics, 1*, 110-120.

Haklay, M., & Weber, P. (2008). Openstreetmap: User-generated street maps. *IEEE Pervasive Computing, 7*(4), 12-18.

Helbich, M., Amelunxen, C., Neis, P., & Zipf, A. (2012). Comparative spatial analysis of positional accuracy of OpenStreetMap and proprietary geodata. *Proceedings of GI_Forum, 4*, 24-33.

Hill, H. (2011). Open Government als Form der Bürgerbeteiligung. In K. Beck, & J. Ziekow (Hrsg.), *Mehr Bürgerbeteiligung wagen* (S. 57-62). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

O'Reilly, T. (2007). What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software. *Communications & strategies, 1*, 17-37.

OpenStreetMap (n.d.). *OpenStreetMap stats report*. Verfügbar unter https://www.o penstreetmap.org/stats/data_stats.html

Paderta, D. (2012). *Open Data-Raumbezogene Daten.* Mannheim: GESIS.

Poole, S. (2015). *How large are our national contributor communities and how are they developing?* Verfügbar unter https://www.openstreetmap.org/user/Simon Poole/diary/36408

Ramthun, R. (2012). Offene Geodaten durch OpenStreetMap. In U. Herb (Hrsg.), *Open Initiatives: Offenheit in der digitalen Welt und Wissenschaft* (S. 159-184). Saarbrücken: universaar.

Teege, G. (2001). Geodaten im Internet Ein Überblick. *Informatik-Spektrum, 24*(4), 193-206.

Selbständigkeitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet. Mir ist bekannt, dass andernfalls der Senat gemäss Artikel 36 Absatz 1 Buchstabe o des Gesetzes vom 5. September 1996 über die Universität zum Entzug des aufgrund dieser Arbeit verliehenen Titels berechtigt ist.“

Bern, 30.06.2020 Damian Josi

Veröffentlichung der Arbeit

I.d.R. werden schriftliche Arbeiten öffentlich zugänglich gemacht.

X Hiermit erlaube ich, meine Arbeit auf der Website der Forschungsstelle Digitale Nachhaltigkeit zu veröffentlichen.

O Ich möchte auf eine Veröffentlichung meiner Arbeit verzichten.

Falls eine Vertraulichkeitserklärung unterschrieben wurde, ist es Sache des Studierenden, das Einverständnis des Praxispartners einzuholen. Es muss der Arbeit eine schriftliche Bestätigung des Praxispartners beigelegt werden.

Die Benotung der Arbeit erfolgt unabhängig davon, ob die Arbeit veröffentlicht werden darf oder nicht.

Bern, 30.06.2020 Damian Josi