

Aufbereitung von OpenStreetMap-Daten für GIS-Modellierungen und Analysen

Martin LOIDL¹, Stefan KRAMPE², Bernhard ZAGEL¹ und Gernot PUCHER²

¹IFFB Geoinformatik, Universität Salzburg · martin.loidl@sbg.ac.at

²TraffiCon GmbH Salzburg

Dieser Beitrag wurde durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.

Zusammenfassung

OpenStreetMap dient in zunehmendem Maße als Datengrundlage diverser Anwendungen und Visualisierungen im Web-GIS-Bereich. Während dabei die Qualität der Daten hinsichtlich ihrer Vollständigkeit oder Lagegenauigkeit, im Vergleich zu behördlichen und kommerziellen Alternativen – vor allem in urbanen Gegenden – als sehr gut bezeichnet werden kann, stellen die attributiven Eigenheiten für Modellierungs- und Analyseaufgaben nach wie vor eine signifikante Herausforderung dar.

Ausgehend von einem konkreten Beispieldatensatz wird in diesem Beitrag auf drei Implikationen für die GIS-Modellierung und darauf aufbauende Analyse eingegangen: attributive Lücken, Fehler und Heterogenität. Neben einer exemplarischen Darstellung werden jeweils praktische Möglichkeiten für den Umgang mit diesen Implikationen aufgezeigt. Dabei wird deutlich, wie durch die explizite Adressierung dieser Eigenheiten in der Modellierung ein Mehrwert für weiterführende Analysen gegenüber dem direkten Zugriff auf die Datenbasis erzielt werden kann. Die hier geschilderten Konzepte ergeben sich zwar teilweise unmittelbar aus den Rahmenbedingungen und dem Datenmodell von OpenStreetMap, lassen sich jedoch auch auf andere Datenbasen übertragen.

1 OSM als Datenbasis

Wie aus der aktuellen, statistischen Auswertung (<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Stats>) des OpenStreetMap Projekts (OSM), zu erkennen ist, wächst dessen Datenbasis nach wie vor. So verschieden dabei die Entwicklungsstände von OSM in unterschiedlichen Gegenden sein mögen, der Trend zu einer steten Verdichtung, d. h. einer steigenden Anzahl an Dateneinträgen ist grundsätzlich auszumachen (CORCORAN & MOONEY 2013). Dies trifft vor allem für urbane Regionen Europas, Australiens und Nordamerikas zu (NEIS et al. 2013). Die große Abdeckung und der wachsende Umfang der Datenbasis machen OSM zu einer immer attraktiveren Alternative in verschiedenen Anwendungs- und Forschungsprojekten.

Durch das einheitliche Datenmodell und die Verwendung eines einzigen, räumlichen Bezugssystems bietet OSM als Datenbasis zudem vor allem in grenzüberschreitenden Projekten bzw. Anwendungen große Vorteile. Während behördliche Datensätze nach wie vor in regional oder national spezifischen Bezugssystemen und unterschiedlichen Datenmodellen

oder Attributstrukturen vorliegen und nur mit erheblichem Aufwand zusammengeführt werden können, spielen administrative Grenzen in OSM keinerlei Rolle.

Ein weiterer Vorteil von OSM ist die kostenfreie Verfügbarkeit aktueller Daten. Durch die Art der Lizenzierung (ODbL) können die Daten uneingeschränkt verwendet, wenn diese entsprechend dem Share-Alike-Prinzip nach der Bearbeitung auch unter derselben Lizenz zur Verfügung gestellt werden. Einen ausführlichen Überblick über die rechtlichen Implikationen bietet SCASSA (2013). Anders als bei vielen behördlichen Daten entfallen bei OSM jegliche Formalien, wie Überlassungserklärungen u. Ä. Zur Qualität der Daten gibt es seit Beginn des OSM-Projekts umfangreiche Untersuchungen; aktuell ist hier beispielsweise die grundlegende Arbeit von BARRON et al. (2014) zu nennen. Vor allem was den geographischen, und bedingt auch attributiven, Detailgrad und die Aktualität der Daten betrifft, steht OSM – besonders in städtischen Regionen – behördlichen und kommerziellen Datenanbietern grundsätzlich nicht nach.

Wie im Folgenden gezeigt werden soll, sind die hier angeführten Eigenschaften – nämlich das einheitliche Datenmodell und räumliche Bezugssystem, die Verfügbarkeit, die Lizenzbedingungen und die Qualität – von besonderem Vorteil für grenzüberschreitende (vor allem transnationale) Arbeiten. Allerdings ergeben sich bei einer auf die OSM-Datenbasis aufbauenden Modellierung und sonstiger Verwertung herausfordernde Implikationen, die bisher noch relativ wenig Beachtung im Diskurs zu OSM fanden.

2 Implikationen der Modellierung auf OSM-Basis

Nur in wenigen Fällen wird bei Anwendungen direkt auf den Rohdatenbestand zurückgegriffen – und wenn, dann ist das Ergebnis häufig nur bedingt zufriedenstellend¹. Viel eher stehen zwischen der Datenbasis und der fertigen Anwendung Schritte der Harmonisierung, Modellierung, Analyse, Manipulation oder Selektion.

Im Beispiel, auf das sich die folgenden Ausführungen beziehen, wurden Daten aus OSM (Stand der Datenbasis: August 2013) benutzt, um Aussagen über die Eignung von Straßenabschnitte für den sicheren Radverkehr ableiten zu können (vgl. LOIDL & ZAGEL 2010; LOIDL & ZAGEL 2013). Durch die Verarbeitung der Ausgangsdaten in einem GIS-basierten Modell konnten neue Informationen generiert werden, die anschließend für Analysezwecke verwendet wurden. Als Anwendungsgebiet diente der Bayrisch-Österreichische Grenzraum, mit den Gemeinden Wals-Siezenheim auf Österreichischer und Ainring, Freilassing, Piding und Saaldorf-Surheim auf bayerischer Seite. Der Fokus der Arbeit lag auf straßenbezogenen Informationen, die für die Radverkehrssicherheit von Relevanz sind.

In Anbetracht der zahlreichen Arbeiten über OSM an sich (beginnend bei HAKLAY & WEBER (2008)), werden die Grundlagen des OSM-Datenmodells hier lediglich in aller Kürze dargestellt. Außerdem beschränken sich die Ausführungen auf die Attributebene. Geometrische Operationen werden hier nicht berücksichtigt.

¹ Die an und für sich hervorragende Seite *Velo Access Map* greift beispielsweise auf unprozessierte OSM-Daten zurück. Dadurch entstehen beispielsweise innerhalb des Stadtgebiets von Salzburg (s. St.-Julien-Straße), wo durchgehend ein Radstreifen vorhanden ist, Lücken und inkonsistente Symbolisierungen [<http://osm.t-i.ch/bicycle/map/?zoom=15&lat=47.80963&lon=13.03807>; 10.01.2014]

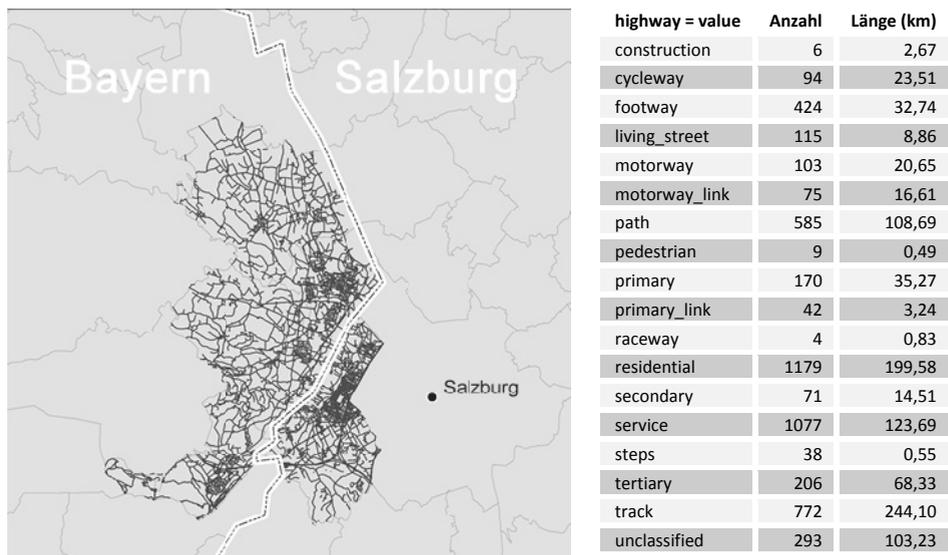


Abb. 1: Ausschnitt aus OSM-Netz im bayerisch-österreichischen Grenzraum (links). Werte für *highway* = * *Tag* samt Kennzahlen (rechts). Gesamtlänge des Wegenetzes = 1.007,56 km, Anzahl der Segmente (*ways*) = 5.236

2.1 Datenmodell OSM

Das Datenmodell von OSM ist in seiner Konzeption sehr einfach. Es setzt sich aus *Nodes* (die einzigen Objekte mit direktem Raumbezug), *Ways* (inkl. dem Sonderfall einer geschlossenen Linie, die als Fläche interpretiert wird) und *Relations* zusammen. Jedes dieser drei Elemente wird mit sogenannten *Tags* attribuiert. Ein *Tag* wird durch die Logik *Key* = *Value* aufgebaut, wobei jeder *Tag* nur aus einem *Key* bestehen kann. Der *Key* entspricht einem Attribut und der *Value* legt dessen Ausprägung fest (z. B. *highway* = *cycleway*). Bei *Key* und *Value* handelt es sich um Textfreifelder, die prinzipiell vom Nutzer festgelegt werden können. Allerdings haben sich innerhalb der Community gewisse Konventionen etabliert, die in den entsprechenden Wikis auch festgehalten und empfohlen werden (z. B. http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features). Je mehr *Tags* einem Element angefügt werden, umso detaillierter ist die Beschreibung des zugrunde liegenden Objekts.

Je nachdem welcher Editor für das Erfassen von Objekten verwendet wird, ist es in der Regel zwingend notwendig einem Element zumindest einen *Tag* anzufügen. Für den Fall eines Straßennetzwerks wäre dies der *Tag highway* = *. Dadurch wird klar, dass es sich bei einem Linienelement (*Way*) um eine Straße und nicht z. B. um einen Fluss oder einen Grenzverlauf handelt. Um einen möglichst aussagekräftigen Datensatz zu erhalten, ist es vorteilhaft, wenn relevante Informationen, die über den Straßentyp hinausgehen bzw. diesen spezifizieren, hinterlegt werden.

Genau an dieser Stelle treten allerdings Implikationen auf, die für folgende Modellierungsschritte mitunter Schwierigkeiten darstellen. Da prinzipiell kein oder nur ein *Tag* an einen *Way* angefügt werden muss, ist der Datensatz in einem geographischen Ausschnitt oft lü-

ckenhaft. Umgekehrt kann es passieren, dass bei mehreren *Tags* inkonsistente Attribuierungen zutage treten, sprich, widersprüchliche $K = V$ Paare offensichtlich werden. Ein drittes Phänomen betrifft die attributive Heterogenität. Diese tritt vor allem dann auf, wenn ein und derselbe Straßenzug von verschiedenen Personen aufgenommen wurde und diese keiner einheitlichen *Tag*-Logik folgten. Alle drei genannten Implikationen sollen in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben werden, bevor in einem abschließenden Kapitel mögliche Lösungen für diese Herausforderungen präsentiert werden.

2.2 Attributive Lücken

Viele Arbeiten, die sich mit der Qualität von OSM-Daten beschäftigen (für eine sehr grundlegende Auseinandersetzung sei auf SPIELMAN (2014) verwiesen), vergleichen die geometrischen Eigenschaften mit behördlichen oder kommerziellen Datenanbietern (z. B. HAKLAY & ELLUL 2010; HELBICH et al. 2012; JACKSON et al. 2013). Dabei werden die Weglänge des Netzwerks, die Topologie oder die Lagegenauigkeit untersucht. Weniger Autoren (z. B. LUDWIG et al. 2011; GRASER et al. 2013) widmen sich auch der attributiven Qualität bzw. Vollständigkeit der Daten. Diese ist jedoch für Modellierung bzw. die darauf aufbauende Analyse von entscheidender Bedeutung.

Im Rahmen des hier zitierten Anwendungsfalls stellten die mangelnde Vollständigkeit der Attributdaten eine große Herausforderung dar.

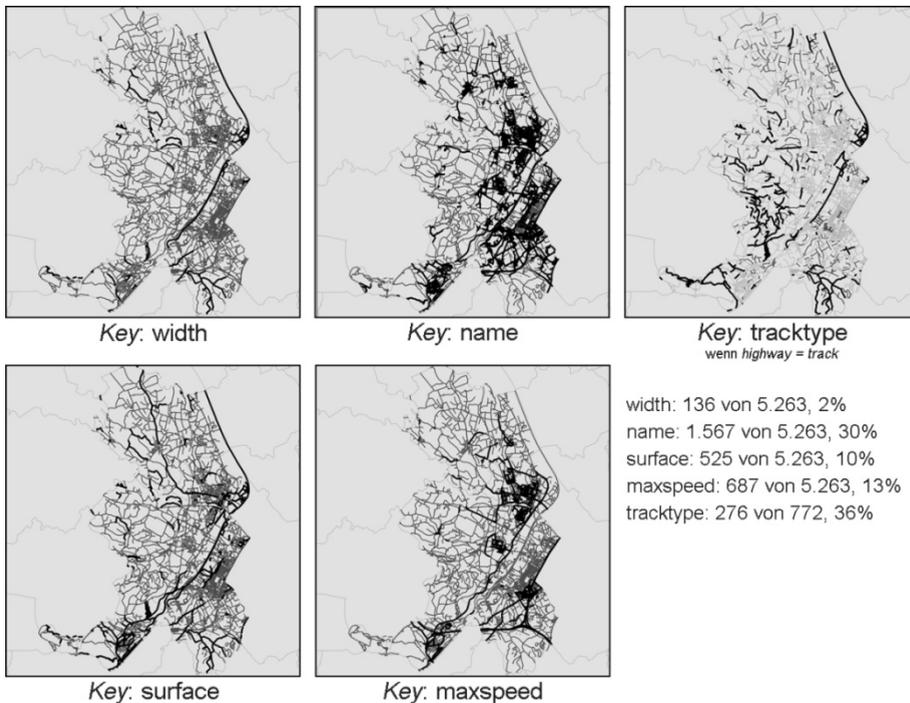


Abb. 2: Vollständigkeit ausgewählter *Tags*. In Hellgrau ist die Grundgesamtheit des Netzes, in Dunkelgrau die Segmente (*Ways*) mit vorhandenem Attributeintrag (*Value*).

Wie sehr sich die mangelnde attributive Vollständigkeit auf das Resultat auswirkt, hängt in erster Linie von der Datenverwendung ab. Für das Rendern von topographischen Übersichtskarten genügen tendenziell weniger Attribute (z. B. Straßenkategorien). Je spezieller eine Anwendung ist, umso eher kommt es zu attributiven Lücken, die das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Für das Ableiten von Aussagen zur Verkehrssicherheit ist beispielsweise die Breite der Infrastruktur ein entscheidender Parameter. Diese Information ist allerdings – wie in Abbildung 2 zu sehen ist – nur für sehr wenige *Ways* hinterlegt. Unter diesem Gesichtspunkt gibt es also, trotz der immensen Datendichte, noch erhebliche weiße Flecken auf der digitalen Landkarte (vgl. Abbildung 2). Durch die Bereitstellung von innovativen Erhebungswerkzeugen, wie beispielsweise KORT (HUNZIKER & ODERBOLZ 2012), sind in dieser Hinsicht zukünftig Verbesserungen zu erwarten.

2.3 Attributive Fehler

Abgesehen von der attributiven Vollständigkeit, wird das Modellierungs- und in weiterer Folge das Analyseergebnis maßgeblich von der Korrektheit bzw. Konsistenz der Attributwerte beeinflusst. Wie in allen anderen Datensätzen auch kann es bei der Parametrisierung der *Tags* zu Fehlern bzw. Inkonsistenzen kommen. Neben einer Überprüfung der Daten vor Ort und/oder mit Experten können Fehler, bei Vorhandensein einer ausreichenden Anzahl an *Tags*, durch eine systematische Konsistenzprüfung sichtbar gemacht werden.

Das linke Beispiel in Abbildung 3 zeigt ein Liniensegment mit folgenden Tags: *highway = track*, *tracktype = grade5* und *surface = gravel*. Hier widersprechen sich die Angaben zur Art des Weges (*grade5* ist die niedrigste Wegekategorie und umfasst unbefestigte Wege) und zum Straßenbelag. Eine derartige Inkonsistenz auf Attributebene kann durch kombinierte Abfragen festgestellt und, so wie in diesem Fall durch die Überprüfung im Orthophoto, behoben werden. Im Gegensatz dazu gestaltet sich die Fehlerdetektion im Beispiel rechts (Abbildung 3) ungleich schwieriger. Die einzige attributive Information zum gezeigten Segment ist *highway = cycleway*. Um diese Fehlklassifikation zu entdecken, ist es notwendig Ortskenntnisse zu besitzen oder durch Zufall den tatsächlichen Zustand im Orthophoto zu erkennen: Hier handelt es sich um ein Segment, das als *highway = track* klassifiziert werden müsste.

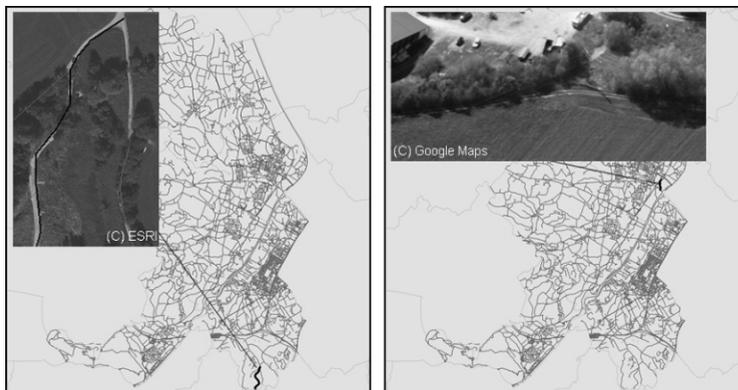


Abb. 3: Durch Konsistenzprüfung detektierter (links) und nur durch Personen mit Ortskenntnis feststellbarer Fehler (rechts). Die Fallbeschreibung wird im Fließtext erläutert.

2.4 Attributive Heterogenität

Das Problem der attributiven Heterogenität entsteht mitunter durch die große Freiheit, die dem „Mapper“ bei der Verwendung und Parametrisierung der *Tags* eingeräumt wird. So kann grundsätzlich ein und dieselbe realweltliche Entität unterschiedlich in OSM abgebildet werden. Dies führt potenziell zu unterschiedlichen digitalen Abbildungen des gleichen Objekttyps.

Im Kontext der Erhebung der Radinfrastruktur wurde dieses Phänomen mehrfach festgestellt. Ein typisches Beispiel sind die baulich getrennten, gemischten Geh- und Radwege entlang von Bundesstraßen. Diese werden – und alle genannten Varianten sind uneingeschränkt richtig – entweder als *highway = cycleway* und *foot = designated* oder als *highway = footway* und *bicycle = designated* oder als *highway = path* und *bicycle = designated* und *foot = designated* abgebildet. Berücksichtigt man in solchen Fällen, beispielsweise für die Visualisierung, nur eine Version, können innerhalb eines Straßenzuges unbegründete Lücken auftreten. Analog dazu ergeben sich bei der Modellierung entsprechende Mehrdeutigkeiten.



Abb. 4:

Beispiel für attributive Heterogenität: baulich getrennter Radweg wird auf Attributebene unterschiedlich abgebildet.

Diese Form der attributiven Heterogenität ist aufgrund der Konzeption des OSM-Projekts praktisch nicht zu vermeiden. Zwar bieten die entsprechenden Wikis sehr ausführliche Anhaltspunkte, jedoch decken auch diese nicht jede mögliche realweltliche Situation ab und sie sind für die Beitragenden auch nicht zwingend bindend. So spiegeln die verschiedenen Attribuierungen auch ein Stück weit die individuelle Sicht bzw. Präferenz des „Mappers“ wider. Im obigen Beispiel werden fahrradaffine Mapper gemischte Verkehrsanlagen eher als *highway = cycleway* mit den entsprechenden *Tag*-Ergänzungen festhalten, als passionierte Fußgänger usw.

Um eine flächendeckende Analyse trotz der attributiven Heterogenität konsistent gestalten zu können, muss in einem vorangestellten Modellierungsschritt dieser Umstand explizit berücksichtigt werden.

3 Möglichkeiten der Modellierung

Viele Modellierungs- und Analyseverfahren sind von der Vollständigkeit der Daten fundamental abhängig; beispielsweise sei auf die Konsequenzen einer lückenhaften Datengrundlage für Navigationssysteme verwiesen. Um *crowd sourced* Daten für die operative Ver-

wendung zu vervollständigen, oder zu korrigieren, werden verschiedene Methoden im Vorfeld angewandt. Sind Referenzdaten – meist kommerzieller oder behördlicher Anbieter – vorhanden, kann die Qualität von Daten durch ein Zusammenführen (*data matching*, *data fusion*) erstens ermittelt und zweitens verbessert werden (KOUKOLETOS et al. 2012). Ein derartiger Vorgang ist allerdings nicht immer möglich. Sei es aus lizenzrechtlichen Gründen, die gegen ein Verschmelzen der Daten sprechen, oder schlicht das Fehlen geeigneter Referenzdaten.

Um trotz der oben beschriebenen Implikationen geeignete Modelle aufbauen und belastbare Analyse durchführen zu können, ist es notwendig diese Eigenheiten – seien es Lücken, Fehler oder heterogene Attribute – der Daten in der Modellierung explizit zu berücksichtigen.

3.1 Berücksichtigung von Attributlücken

Lücken in den Attributdaten können im Idealfall durch Nacherhebungen durch die Community (z. B. im Rahmen von thematischen „Mapping Parties“) geschlossen werden. Dies erfordert jedoch viel Aufwand und ist keine Garantie für eine daraus resultierende Vollständigkeit. Für flächendeckende Modellierungsansätze reicht es häufig aus, fehlende Attribute zu schätzen. Dies ist vor allem dann möglich, wenn andere Attribute unmittelbar mit dem betroffenen verbunden sind, d. h. wenn funktionale Abhängigkeiten bestehen.

Im gegenständlichen Beispielfall wurden die fehlenden Werte für den *Key maxspeed* auf Grundlage der Straßenkategorie und zusätzlichen Parametern geschätzt. Dabei kam folgende Heuristik (Auszug aus Python-Skript) zur Anwendung:

```
def function(maxspeed, access, bicycle, foot, highway, motorcar, ref, tracktype, Speed):

    if (highway == "residential" or highway == "living_street" or highway == "tertiary") and (access
    == " " or access == "designated" or access == "destination" or access == "yes"):
        return 50

    elif highway == "cycleway" or highway == "footway" or bicycle == "yes" or bicycle == "designated"
    or foot == "yes" or foot == "designated" or foot == "official" or foot == "permissive":
        return 0

    elif (highway == "track" or highway == "path" or highway == "unclassified") and bicycle != "no"
    and foot != "no" and motorcar != "yes" and (tracktype == "grade3" or tracktype == "grade4" or
    tracktype == "grade5"):
        return 0

    elif highway == "motorway":
        return 130

    elif highway == "motorway_link":
        return 100

    elif highway == "primary_link":
        return 80

    elif access == "no" or motorcar == "no" or highway == "steps":
        return 0

    elif motorcar == "agricultural" or highway == "path" or (highway == "track" and access != "no"):
        return 10

    elif highway == "living_street" or (highway == "service" and access == "private") or (highway ==
    "residential" and access == "private") or (highway == "construction" and tracktype != None):
        return 20

    elif highway == "service":
        return 30

    usw.
```

Naturgemäß müssen bei einem derartigen Vorgehen Fehler in Kauf genommen werden. Für viele Analyseverfahren, ist eine solche Näherung jedoch ausreichend – beispielsweise für die Reisezeitberechnung in Routinganwendungen. Dies gilt vor allem in Anbetracht der ungleich aufwendigeren Alternativen.

3.2 Berücksichtigung von Attributfehlern

Im Zuge der oben beschriebenen Konsistenzprüfung ist es – bei ausreichender attributiver Information – möglich, die Inkonsistenzen zu beseitigen. Allerdings muss aus den Attributdaten klar ersichtlich sein, welches Attribut falsch ist. So wäre zwar der Fall bestehend aus den beiden Tags *highway = residential* und *maxspeed = 130* offensichtlich falsch, allerdings kann ausschließlich auf Attributebene nicht festgestellt werden ob die Straßenkategorie oder die Höchstgeschwindigkeit falsch attribuiert wurde. Hier kann lediglich, unter Berücksichtigung einer gewissen Fehlerwahrscheinlichkeit, von den angrenzenden Segmenten oder auf Basis weiterer Attribute auf den Fehler geschlossen werden. Das heißt, ist das Segment vor und nach dem betroffenen Segment mit *highway = motorway* attribuiert oder deuten weitere Tags in eine diametrale Richtung (z. B. *width = 10*), kann davon ausgegangen werden, dass die Straßenkategorie falsch zugeteilt wurde.

Fehler, die nicht mittels einer Konsistenzprüfung eruiert werden können, lassen sich praktisch nicht systematisch erfassen. Im hier vorgestellten Fall wurden zur Überprüfung der Datenvalidität Workshops mit lokalen Experten abgehalten. Fehler, die auch hier unentdeckt blieben, wurden vielfach erst bei auffälligen Analyseergebnissen entdeckt und nach einer Überprüfung vor Ort entsprechend behoben.

3.3 Berücksichtigung von Attributheterogenität

Um die unterschiedliche Beschreibung der gleichen Objekte in der Modellierung berücksichtigen zu können, muss in einem ersten Schritt geklärt werden, ob die attributive Beschreibung an sich korrekt ist. Sind mehrere Beschreibungsvarianten möglich und grundsätzlich auch in Übereinstimmung mit den Empfehlungen in den entsprechenden Wikis (z. B. http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features), empfiehlt sich die Einrichtung von abgeleiteten Attributen. Dabei handelt es sich um Attribute, die sich aus mehreren bestehenden Attributen ergeben und die Heterogenität weitgehend beseitigen können.

Für das zuvor genannte Beispiel der unterschiedlichen Abbildung eines baulich getrennten Radwegs mit gemischter Nutzung würde die Logik wie in Abbildung 5 dargestellt lauten:

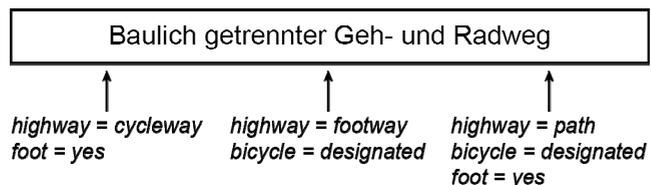


Abb. 5: Durch die Schaffung eines abgeleiteten Attributs können die verschiedenen Möglichkeiten (hier werden drei exemplarisch angeführt) der attributiven Abbildung in der Modellierung geeignet berücksichtigt werden.

Um abgeleitete Attribute, wie oben dargestellt, erstellen zu können ist es notwendig, zum einen die Möglichkeiten der attributiven Abbildung in OSM zu kennen und zum anderen um die verschiedenen Varianten im Datensatz zu wissen. Für Letztgenanntes sind systematische Abfrageroutinen samt visuelle, kartenbasierte Plausibilitätsprüfungen gut geeignet.

4 Resümee

Fehlerhafte Attribuierungen sind kein Spezifikum von OSM-Daten; sie tauchen praktisch in allen analogen und digitalen Datenbeständen auf. Dahingegen sind Lücken in den Attributen und eine heterogene attributive Repräsentanz mitunter durch die Konzeption von OSM bedingt. Diese Implikationen können erhebliche Auswirkungen auf Analyseergebnisse haben, beispielsweise in Navigationslösungen.

Die hier präsentierten Routinen wurden im Zuge der Datenaufbereitung für ein Routenaus-kunftsportal für RadfahrerInnen entwickelt (LOIDL et al. 2013). Grundlage dieser Routing-applikation ist eine GIS-gestützte Bewertung des Straßennetzes hinsichtlich des Gefährdungspotenzials für RadfahrerInnen. Die Aussage dieses Bewertungsmodells ist maßgeblich von der Verfügbarkeit und Konsistenz der zugrunde liegenden Daten abhängig. Durch die Entwicklung und Anwendung der hier vorgestellten Modellierungsansätze konnten – in Bezug auf die spezifische Fragestellung und die damit verbundenen Anforderungen an die Datengrundlage – signifikant bessere (das sind plausiblere) Ergebnisse generiert werden als bei einem direkten Zugriff auf die Datenbasis.

Inwieweit diese Ansätze auf weitere Anwendungsdomänen übertragbar sind, muss in weiteren Forschungsarbeiten bzw. Anwendungsfällen evaluiert. Grundsätzlich sind die Modellierungsroutinen aber derart konzipiert, dass sie sich für beliebige Fragestellungen und Datensätze mit lücken-, fehlerhaften und heterogenen Attributdaten eignen.

Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projekts „Grenzüberschreitende Radlkarte“, gefördert mit Mitteln aus dem EU INTERREG Programm und dem Klima- und Energiefond (KLIEN). Die Webanwendung steht unter www.radlkarte.eu kostenfrei zur Verfügung.

Literatur

- BARRON, C., NEIS, P. & ZIPF, A. (2014), A Comprehensive Framework for Intrinsic OpenStreetMap Quality Analysis. *Transactions in GIS*, S. pending.
- CORCORAN, P. & MOONEY, P. (2013), Characterising the metric and topological evolution of OpenStreetMap network representations. *The European Physical Journal Special Topics*, 215 (1), 109-122.
- GRASER, A., STRAUB, M. & DRAGASCHNIG, M. (2013), Ein systematischer Vergleich der Straßennetze von GIP und OpenStreetMap im Großraum Wien *Angewandte Geoinformatik AGIT*. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. & ZAGEL, B. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2013*. Wichmann, Berlin/Offenbach, 424-433.

- HAKLAY, M. & WEBER, P. (2008), OpenStreetMap: User-Generated Street Maps. *IEEE Pervasive Computing*, 7 (4), 12-18.
- HAKLAY, M. & ELLUL, C. (2010), Completeness in volunteered geographical information – the evolution of OpenStreetMap coverage in England (2008-2009). *Journal of Spatial Information Science*.
- HELBICH, M., AMELUNXEN, C., NEIS, P. & ZIPF, A. (2012), Comparative Spatial Analysis of Positional Accuracy of OpenStreetMap and Proprietary Geodata *GI_Forum 2012: Geovisualization, Society and Learning*. In: JEKEL, T., CAR, A., STROBL, J. & GRIESEBNER, G. (Eds.), *GI_Forum 2013*. Wichmann, Berlin/Offenbach, 24-33.
- HUNZIKER, J. & ODERBOLZ, S. (2012), Gamified Mobile App für die Verbesserung von OpenStreetMap. Thesis, Hochschule für Technik, Rapperswil.
- JACKSON, S. P., MULLEN, W., AGOURIS, P., CROOKS, A., CROITORU, A. & STEFANIDIS, A. (2013), Assessing Completeness and Spatial Error of Features in Volunteered Geographic Information. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2 (2), 507-530.
- KOUKOLETOS, T., HAKLAY, M. & ELLUL, C. (2012), Assessing Data Completeness of VGI through an Automated Matching Procedure for Linear Data. *Transactions in GIS*, 16 (4), 477-498.
- LOIDL, M. & ZIGEL, B. (2010), Wie sicher ist sicher? – Innovatives Kostenmodell zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials auf Radwegen. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2010*. Wichmann, Berlin/Offenbach, 394-403.
- LOIDL, M. & ZIGEL, B. (2013), Sicher mit dem Rad. *gis.Business*, 4/2013, 36-39.
- LOIDL, M., ZIGEL, B., KRAMPE, S. & REITHOFER, J. (2013), Radlkarte Salzburg – Das Rad-routingportal für die Stadt Salzburg. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2013*, Wichmann, Berlin/Offenbach, 456-461.
- LUDWIG, I., VOSS, A. & KRAUSE-TRAUDES, M. (2011), A Comparison of the Street Networks of Navteq and OSM in Germany. In: GEERTMAN, S., REINHARDT, W. & TOPPEN, F. (Hrsg.), *Advancing Geoinformation Science for a Changing World*. Springer, Berlin/Heidelberg, 65-84.
- NEIS, P., ZIELSTRA, D. & ZIPF, A. (2013), Comparison of Volunteered Geographic Information Data Contributions and Community Development for Selected World Regions. *Future Internet*, 5 (2), 282-300.
- SCASSA, T. (2013), Legal issues with volunteered geographic information. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 57 (1), 1-10.
- SPIELMAN, S. E. (2014), Spatial collective intelligence? Credibility, accuracy, and volunteered geographic information. *Cartography and Geographic Information Science*, 1-10.