

Bestimmung von Ortspositionen unter Nutzung von freien globalen Daten

THOMAS BRINKHOFF¹

Zusammenfassung: Die Positionierung von Orten in webbasierten Karten ist oftmals unbefriedigend. Ursachen hierfür sind u.a. qualitativ unzureichende offene globale Datenbasen und vereinfachte Ansätze zur Ableitung der Position aus Flächendaten. Daraus leitet sich die Fragestellung ab, wie man unter Nutzung von freien, möglichst global vorliegenden Daten eine „gute“ Ortsposition bestimmen kann. Ausgangspunkt sind einerseits Flächenbeschreibungen der Orte und andererseits Informationen über Siedlungsflächen, die aus OpenStreetMap-Daten oder dem „Global Urban Footprint“ des DLR gewonnen werden können. Neben der Verschneidung und der geeigneten Bestimmung eines Ortszentrums ist dabei auch die Behandlung von Sonderfällen zu beachten, die sich aus den Eigenschaften der genutzten Daten ergeben.

1 Einleitung

Webbasierte Kartenanwendungen sind eine etablierte Technologie zur Visualisierung, Analyse und Bearbeitung von raumbezogenen Daten. Grundvoraussetzungen für solche Applikationen sind (a) geeignete Programmbibliotheken und (b) im Internet publizierbare Geodaten. In den letzten Jahren hat sich eine Reihe von JavaScript-basierten Application Programming Interfaces (APIs) etabliert, die clientseitig in Web Browsern genutzt werden können. Beispiele sind OpenLayers (<http://openlayers.org/>), Leaflet (<http://leafletjs.com/>), Google Maps JavaScript API (<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/reference>) oder ArcGIS API for JavaScript (<https://developers.arcgis.com/javascript/>). Solche Programmbibliotheken erlauben neben dem Einblenden von raster- oder SVG-basierten Hintergrunddaten insbesondere das Hinzufügen von anwendungsspezifischen, meist vektorbasierten Geodaten und die Programmierung spezifischer Visualisierungs-, Analyse- und Bearbeitungsfunktionalität (ROTH et al. 2014).

Die Hintergrundkarten werden oftmals über Webdienste in die Webanwendungen eingebunden. Diese Dienste sind entweder eng mit der API gekoppelt (z.B. bei Google Maps) oder werden über standardisierte Schnittstellen aufgerufen (z.B. WMS oder WMTS). Das wesentliche Alleinstellungsmerkmal einer webbasierten Kartenanwendung sind aber in der Regel die anwendungsspezifischen Geodaten und die darauf anwendbare Funktionalität. Von daher sind gerade für diese Daten die Qualitätsansprüche hinsichtlich Korrektheit und Visualisierungsqualität in der Regel hoch. Der zweite Aspekt kann beispielsweise die Beschriftung der Kartenobjekte betreffen, die durch die genannten Programmbibliotheken eher mangelhaft unterstützt wird, so dass ggf. eigene Lösungsansätze erforderlich sind (BRINKHOFF 2017). Der Fokus dieses Beitrags liegt auf dem erstgenannten Aspekt: Webbasierte Kartenanwendungen können Punkt-, Linien- und Flächengeometrien aufnehmen. Im Fall von komplexeren Geometrien kann die geeignete Generalisierung

¹ Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16/19, D-26121 Oldenburg, E-Mail: thomas.brinkhoff@jade-hs.de

eine wichtige Anforderung sein, um einerseits eine ansprechende Visualisierung und andererseits eine hinreichende Komprimierung der Daten zu erzielen. Bei Punktsymbolen stellen maßstabsabhängige Sichtbarkeit (BRINKHOFF 2017) und die Positionierung wichtige Kriterien dar. Punktsymbole repräsentieren oftmals flächenhafte Objekte der realen Welt. Dann muss festgelegt werden, wo der Punkt platziert wird. Im vorliegenden Beitrag wird dies für Orte wie Städte und Gemeinden betrachtet. Eine schlechte Platzierung ist für den Benutzer oftmals leicht erkennbar, sobald eine Satelliten- oder Luftbildkarte im Hintergrund verwendet wird und das Ortssymbol beispielsweise über unbesiedelten Gebiet oder über Wasserflächen eingeblendet wird. Die genannte Problematik ist sicherlich für einzelne Staaten, die qualitativ hochwertige amtliche Daten frei zur Verfügung stellen, leicht lösbar. Ein Blick in Google Earth zeigt aber, dass diese Aussage nicht im globalen Maßstab gilt: Bei vielen indischen Dörfern oder chinesischen Gemeinden (Townships) liegt das Ortssymbol oftmals über unbesiedelten Gebieten; Abbildung 1 illustriert die fehlende Korrespondenz.

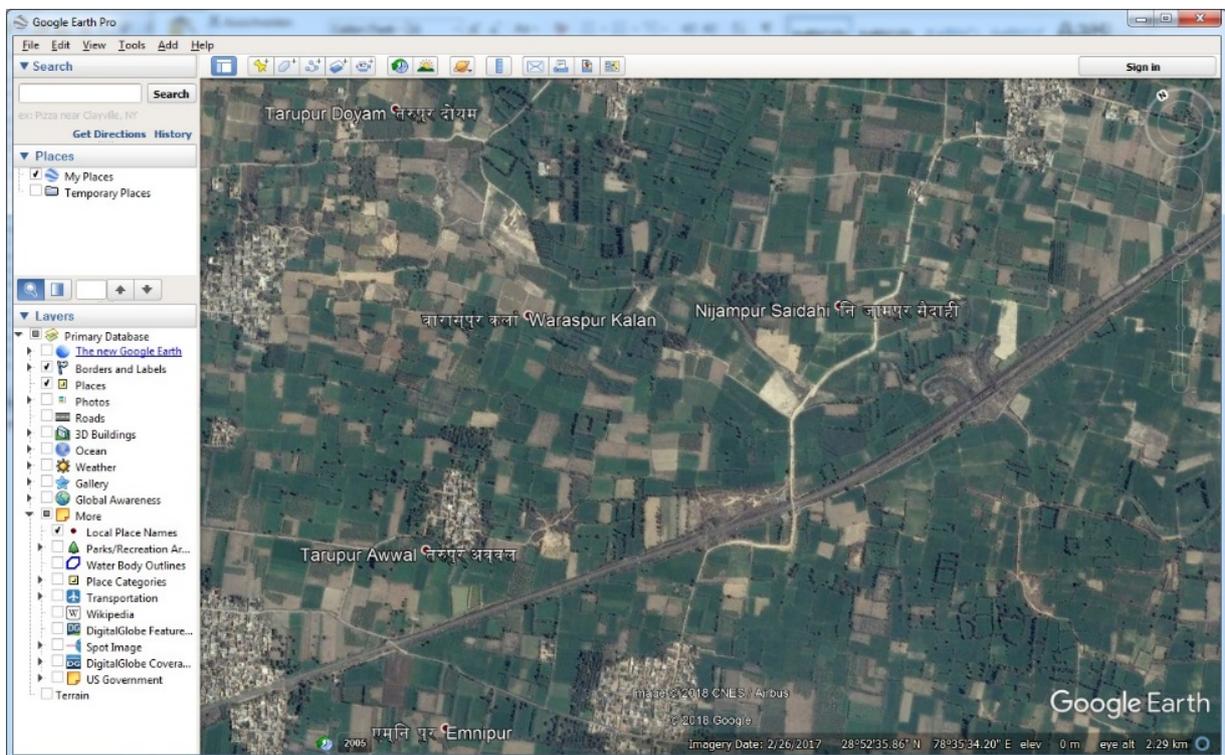


Abb. 1: Positionierung von Symbolen für indische Orte in Google Earth (© CNES/Airbus, Google)

Für die Nutzung von Geodaten in globalen Webanwendungen sind zudem rechtliche, organisatorische und finanzielle Nebenbedingungen zu beachten: Der kostenpflichtige Bezug hochwertiger Daten einzelner Staaten unter ggf. eingeschränkten Nutzungsbedingungen ist hierbei meist nicht zielführend. Daher werden nachfolgend nur Daten aus Quellen betrachtet, die unter den geltenden Lizenzbedingungen frei beziehbar und im Web publizierbar sind.

Damit kann die hier betrachtete Forschungsfrage wie folgt zusammengefasst werden: Wie kann über freie, global vorliegende Daten eine Ortsposition bestimmt werden, die möglichst gut den Ort repräsentiert? Dazu wird im nächsten Kapitel ein Überblick über freie punkt- und flächenhaf-

te Ortsdaten gegeben. Kapitel 3 behandelt Siedlungsflächen, die aus OpenStreetMap-Daten gewonnen wurden, bzw. den aus Radardaten abgeleiteten „Global Urban Footprint“ (GUF) des DLR. Das vierte Kapitel beschreibt die Bestimmung von Ortspositionen auf Basis von (durchaus ungenauen) Flächenbeschreibungen der Orte und den Siedlungsflächen. Neben der Verschneidung und der geeigneten Bestimmung eines Ortszentrums wird dabei auch auf die Behandlung von Sonderfällen eingegangen, die sich aus den besonderen Eigenschaften der genutzten Daten ergeben. Der Beitrag endet mit einem kurzen Fazit und Ausblick auf zukünftige Weiterentwicklungen.

2 Freie Geodaten für Ortspositionen

2.1 Punktdaten

In (BRINKHOFF 2015) werden vier wesentliche Quellen für freie globale Daten über Ortspositionen genannt: GeoNames, OpenStreetMap, Wikipedia und freie amtliche Daten. GeoNames (<http://www.geonames.org/>) stellt (Stand Januar 2018) für rund 11,5 Millionen geographische Objekte Punktkoordinaten in WGS84-Koordinaten zur Verfügung. Als Defizite sind fehlende nationale Schlüssel, unvollständige administrative Informationen und fehlende Qualitätsindikatoren für die Lageinformation zu nennen. Die Qualität von Ortspositionen ist nach Erfahrungen des Autors oftmals schlecht.

OpenStreetMap (OSM; <http://www.openstreetmap.org>) enthält – neben vielen anderen Informationen – auch Ortspositionen. Dabei handelt es sich um Knotenelemente (node), die über das Tag „place“ gekennzeichnet sind (4,0 Millionen, Stand Januar 2018). Neben den WGS84-Koordinaten können solche Elemente Informationen über die administrative Ebene und den amtlichen Schlüssel besitzen. Quantitative Qualitätsindikatoren für die Lageinformation fehlen. Auch variiert die tatsächliche Belegung der genannten Attribute. Die Qualität von Ortspositionen variiert.

Wikipedia stellt für viele Artikel eine meist punktbezogene Georeferenzierung zur Verfügung, die über unterschiedliche Werkzeuge abrufbar ist. Praktikabler ist allerdings oftmals inzwischen die Nutzung von WikiData (<https://www.wikidata.org/>). Falls die entsprechende Information in WikiData hinterlegt ist, kann mit Hilfe einer SPARQL-Anfrage die Zuordnung der nationalen Schlüssel zu WikiData-Schlüssel bestimmt werden;

```
SELECT ?wd ?key WHERE { ?wd wdt:P1116 ?key . }
```

führt dies exemplarisch für griechische Verwaltungseinheiten durch. Mit Hilfe des WikiData-Schlüssels können dann die Koordinaten abgerufen werden. Ursprüngliche Herkunft und Qualität lassen sich allerdings nicht nachvollziehen. In (BRINKHOFF 2015) wird ein Werkzeug vorgestellt, das die Abweichungen zu amtlichen Daten klassifiziert. Zudem treten (in geringen Maße) Fehler bei der Zuordnung der amtlichen Schlüssel auf.

Amtliche Ortspositionen sind für viele Länder, aber nicht global frei verfügbar. Das Qualitätsversprechen beruht auf der Quelle der Daten, aber in der Regel nicht auf quantitativen Indikatoren. Zudem kann es aufgrund einer (ggf. vor Freigabe) reduzierten Koordinatenauflösung zu Lageabweichungen kommen. Amtliche Schlüsselangaben sind in solchen Datensätzen meist enthalten, können aber ggf. veraltet sein.

2.2 Flächenhafte Daten

Ortsymbole repräsentieren flächenhafte Objekte der realen Welt. Dies können administrative Einheiten (z.B. Gemeinden in Deutschland), statistische Gebiete (z.B. Census-Designated Places in den USA) oder aus Bebauungsinformationen abgeleitete Flächen sein (z.B. Built-up Areas in England und Wales).

OpenStreetMap und amtliche Stellen sind wichtige Quellen für flächenhafte Ortsdaten. Die Aussagen aus dem vorigen Abschnitt gelten in analoger Weise für beide Quellen. Hier betrifft die Lagegenauigkeit den Grenzverlauf. Abbildung 2 zeigt den Grenzverlauf zwischen Bremen und Oytten/Niedersachsen im BKG-Datensatz „Verwaltungsgebiete 1:250 000 - Stand 01.01.2017“ (<http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/>). Die in der Dokumentation angegebene Genauigkeit von 100m wird leider nicht eingehalten, so dass bevölkerungsreiche Gebiete von Bremen-Tenever vermeintlich in Niedersachsen liegen.

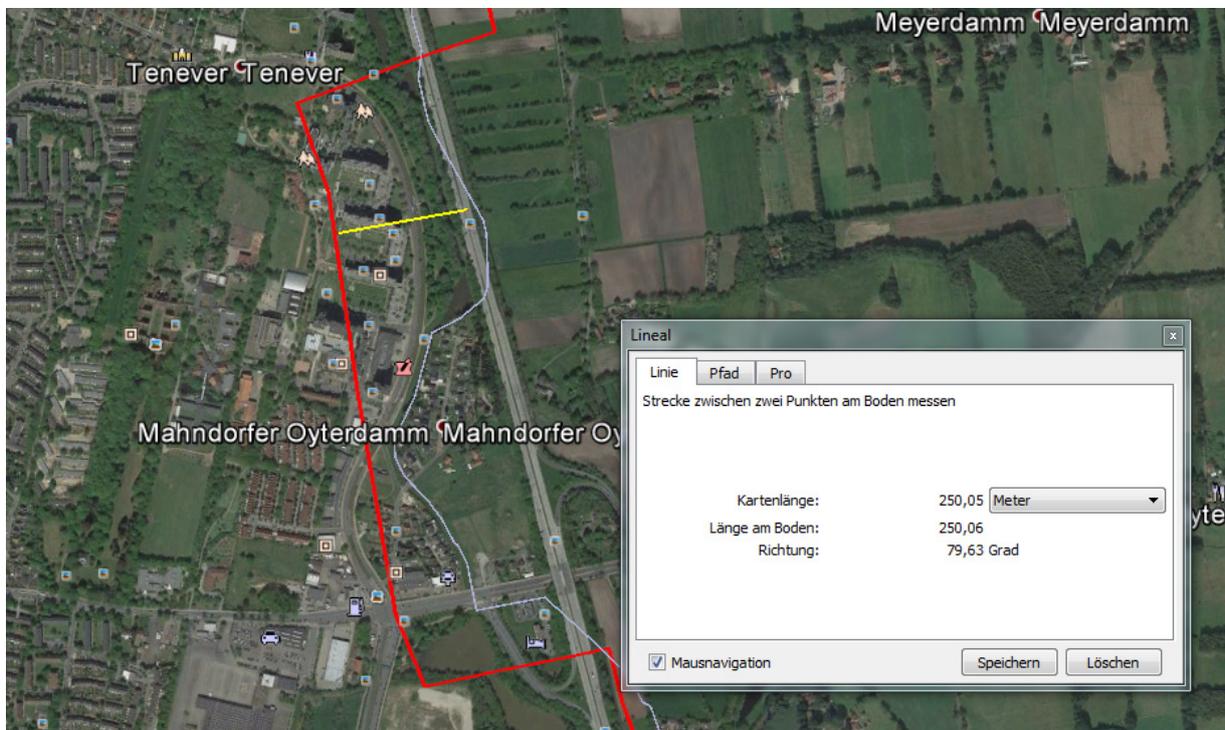


Abb. 2: Abweichung des Grenzverlaufs zwischen Bremen und Oytten/Niedersachsen: rot der Verlauf gemäß den freien BKG-Daten (© GeoBasis-DE / BKG 2018), in hellblau der tatsächliche Verlauf (© Google, GeoBasis-DE / BKG 2009)

Eine weitere Quelle für globale administrative Daten stellt die GADM-Datenbank dar (<http://www.gadm.org/>). Aufgrund oftmals mangelhafter Lagegenauigkeit sollte von einer Nutzung abgesehen werden.

3 Bestimmung von Siedlungsflächen

Die Ausführungen in Kapitel 2 machen deutlich, dass freie Geodaten für Ortspositionen oftmals ohne eine weitere Verarbeitung nicht geeignet sind, qualitativ hochwertig Ortssymbole zu platzieren. In Kapitel 4 wird dargestellt werden, wie dies mit Hilfe von Siedlungsflächen erreicht werden kann. Daher sollen hier zuvor zwei Ansätze vorgestellt werden, wie man solche Siedlungsflächen im globalen Maßstab erhalten kann.

3.1 OSM-Daten

In (BRINKHOFF 2016) wurde ein Verfahren vorgestellt, das erlaubt, aus OpenStreetMap-Daten Siedlungsflächen abzuleiten. Der Ansatz ist mehrstufig: Im ersten Schritt werden die Landnutzungsflächen („landuse“) extrahiert, die die Werte „residential“, „industrial“, „commercial“, „retail“ oder „garages“ aufweisen. Für Staaten wie Deutschland erhält man damit schon sehr gute Informationen über Siedlungsflächen, während bei anderen Ländern kaum Informationen vorliegen. Flächen, deren Ränder eine geringe Dichte an Stützpunkten aufweisen, werden eliminiert, da solche Objekte oftmals fehlerhaft oder nur sehr ungenau sind. Flächen mit geringen Abstand werden miteinander verschmolzen, so dass Schneisen, die beispielsweise durch Straßen in den Daten vorliegen, eliminiert werden (vgl. Abbildung 3).

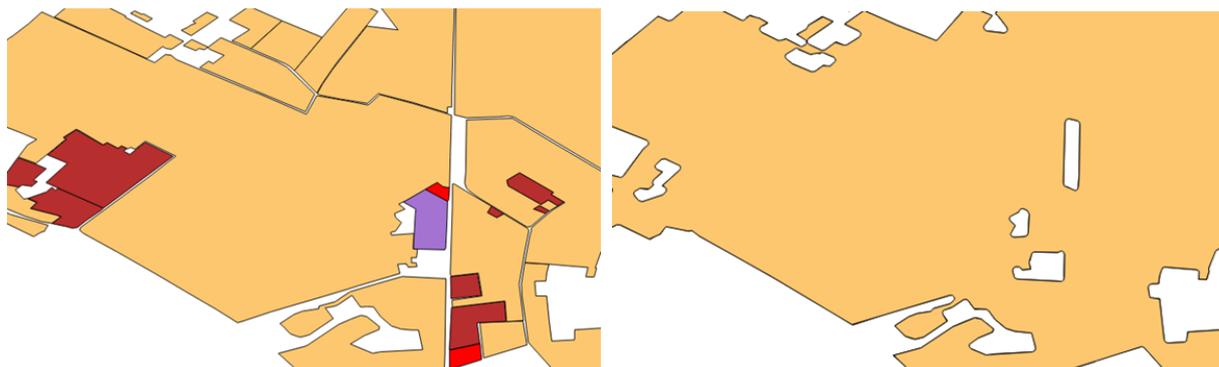


Abb. 3: Verschmelzen von Landnutzungsflächen (links: Flächen vor dem Verschmelzen; Färbung gemäß dem Attributwert von „landuse“; rechts: verschmolzene Flächen)

Im zweiten Schritt werden Gebäudedaten („building“) extrahiert, die nicht bereits vollständig von den im ersten Schritt erzeugten Flächen überdeckt sind. Benachbarte Gebäude werden über eine Pufferbildung zusammengeführt, kleine Löcher entfernt und das Ergebnis generalisiert (vgl. Abbildung 4, links).

Im dritten Schritt werden die Straßen („highway“) verarbeitet, die die Attributwerte „residential“, „living_street“ oder „unclassified“ aufweisen und nach Differenzbildung mit den Ergebnissen aus den ersten beiden Schritten verbleiben. Benachbarte Straßen werden über eine Pufferbildung zusammengeführt, kleine Löcher entfernt und das Ergebnis generalisiert (vgl. Abbildung 4, rechts).



Abb. 4: Selektion von Gebäuden bzw. Straßen (links/rechts; jeweils grün) und deren Verschmelzen nach Pufferbildung (braune Flächen)

Abschließend werden die Ergebnisse zusammengeführt, miteinander verschmolzen, dabei entstandene kleine Löcher entfernt und das Ergebnis – je nach Anwendungszweck – ggf. weiter generalisiert.

Eine vorläufige Evaluation hat gezeigt, dass die resultierenden Siedlungsflächen eine recht gute Qualität aufweisen, allerdings Industrieflächen oftmals fehlen. Letzteres ist allerdings für die hier verfolgte Aufgabe kein Manko, da ein Ortssymbol in der Regel nicht über Industriegebieten positioniert werden sollte.

3.2 Global Urban Footprint

Ein alternativer Ansatz zur Ableitung globaler Siedlungsflächen ist die Nutzung von Fernerkundungsdaten. Beispiele hierfür sind die Nutzung von Daten des Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) (BHATTI & TRIPATHI 2014), von radiometrischen Daten von ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection) (MIYAZAKI et al. 2014) und von Bildern des Landsat TM/ETM+ (ZHANG et al. 2014).

Der in diesem Zusammenhang aktuell relevanteste Datensatz ist der „Global Urban Footprint“ (GUF), der aus Radardaten abgeleitet worden ist (ESCH et al. 2012; ESCH et al. 2013). Dazu wurden insgesamt 180.000 Einzelaufnahmen aus den Jahren 2010 bis 2013 der beiden Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X verarbeitet und analysiert. Die Erdoberfläche wird in besiedelte und unbesiedelte Bereiche untergliedert. Die resultierenden Datensätze wurden Anfang 2017 von dem DLR in zwei Auflösungen (12m und 84m) für die wissenschaftliche bzw. nicht-kommerzielle Nutzung endgeldfrei zur Verfügung gestellt (<http://www.dlr.de/guf/>). Abbildung 5 zeigt die Siedlungsflächen mit der Auflösung 12m im Bereich der Innenstadt von Bremen.

3.3 Vergleich

Ein systematischer Vergleich der beiden vorgestellten Datensätze steht noch aus. Erste Untersuchungen zeigen, dass in entwickelten Staaten beide Ansätze ähnliche Siedlungsflächen erkennen. Abbildung 6 illustriert dies für die Stadt Oldenburg mit Umgebung.

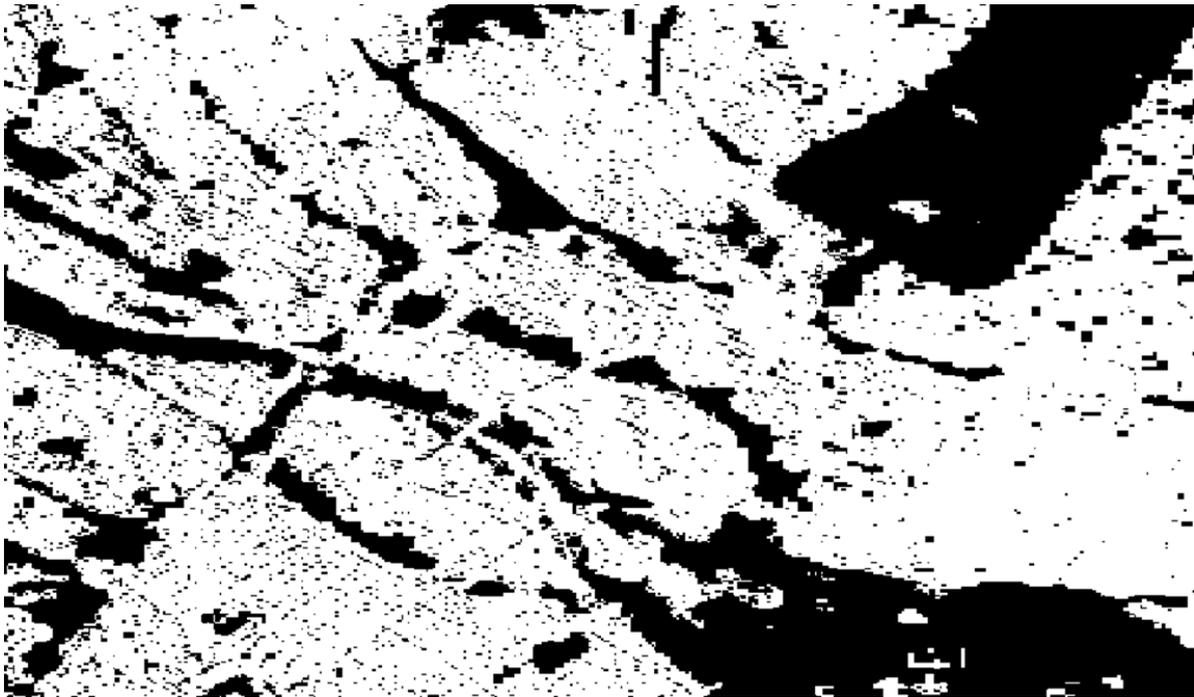


Abb. 5: Ausschnitt aus dem Global Urban Footprint (GUF) im Bereich Bremen-Innenstadt in Auflösung 12m: weiße Pixel entsprechen Siedlungsflächen (© DLR 2016)

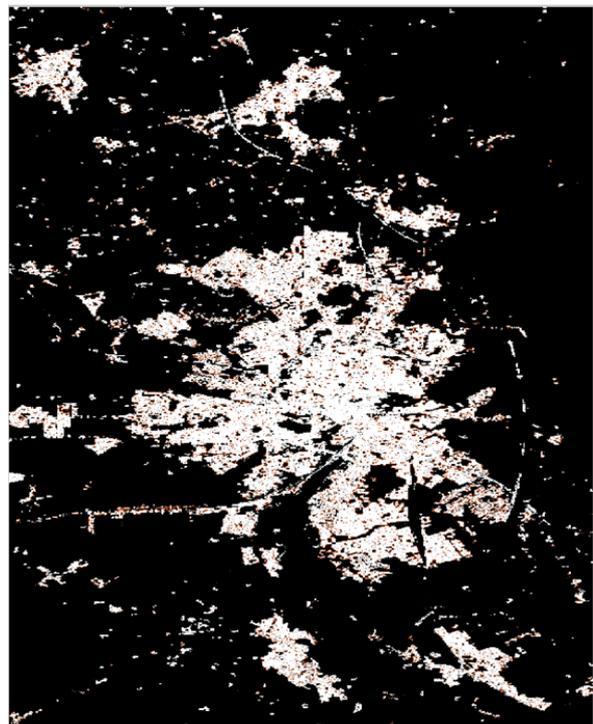


Abb. 6: Vergleich der Siedlungsflächen aus OSM-Daten (links) und GUF-Daten (rechts) im Bereich Stadt Oldenburg und Umgebung

In Entwicklungsländern werden im GUF deutlich mehr Siedlungsflächen erkannt. Abbildung 7 macht dies für den Großraum Lagos deutlich.

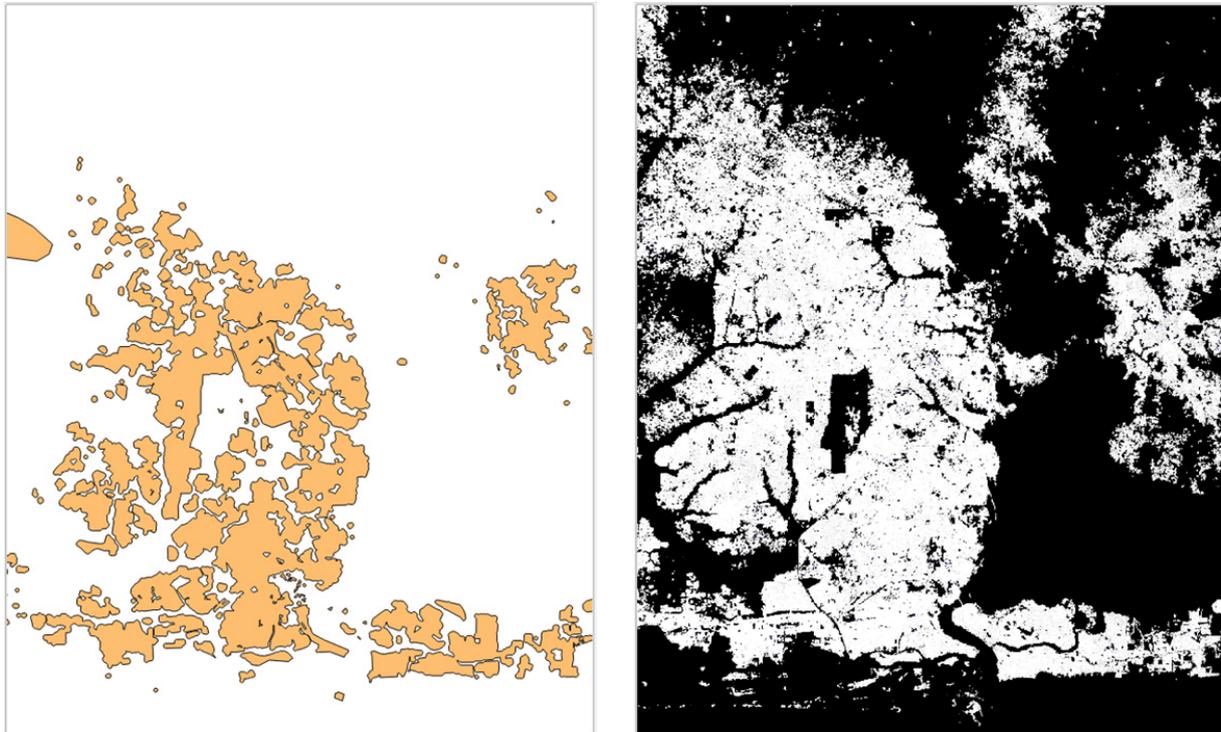


Abb. 7: Vergleich der Siedlungsflächen aus OSM-Daten (links) und GUF-Daten (rechts) im Großraum Lagos

4 Bestimmung von Ortspositionen

Ausgangspunkt für die Bestimmung der Ortspositionen sind Ortsflächen (vgl. Abs. 2.2) und Siedlungsflächen (vgl. Abs. 3). Auf deren Basis kann leicht ein Algorithmus skizziert werden, der daraus die Ortspositionen ableitet:

1. Die Ortsflächen werden mit den Siedlungsflächen verschnitten. Hierbei können drei Fälle eintreten: Für eine Ortsfläche entsteht eine Geometry Collection, die (a) kein Polygon, (b) genau ein Polygon oder (c) mehrere Polygone enthält. Im Fall (c) wird das flächenmäßig größte Polygon als Teilergebnis bestimmt.
2. In das Polygon aus Schritt 1, das ggf. Löcher besitzt, wird geeignet zentriert die Ortsposition gelegt.

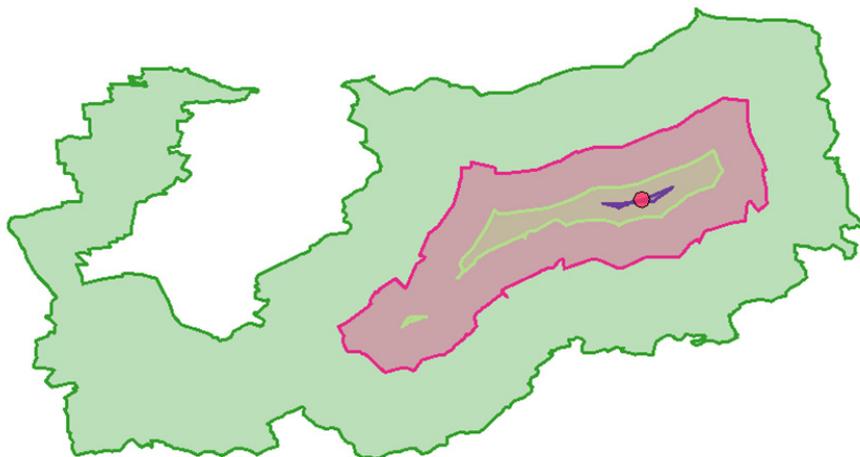
Algorithmische Lösungen für Schritt 2 werden im folgenden Abschnitt behandelt. In der geschilderten Form führt der Algorithmus für reale Daten oftmals zu offenkundig ungeeigneten Ergebnissen, die auf die speziellen Eigenschaften der Eingabedatensätze zurückzuführen sind. Abschnitt 4.2 erörtert dies näher. Erste Ergebnisse werden im dritten Unterabschnitt vorgestellt.

4.1 Positionierung

Falls ein Datensatz mit Ortspositionen zur Verfügung steht, dessen Positionen eine variierende Lagequalität aufweisen (was bei OSM-Daten mitunter der Fall ist), kann folgender Vorverarbeitungsschritt ausgeführt werden: Falls eine Ortsposition aus diesem Datensatz in dem im Schritt 1 berechneten Polygon liegt, ist diese Position das Ergebnis für Schritt 2.

Falls es einen solchen Datensatz nicht gibt oder der Vorverarbeitungsschritt zu einem negativen Ergebnis führt, ist es nun erforderlich, für ein Polygon mit Löchern eine geeignete Position als Zentrum zu bestimmen. Die Berechnung des Polygonschwerpunkts oder des Mittelpunkts des minimal umgebenden Rechtecks sind zwar mit linearem Aufwand auszuführen, führen aber offenkundig zu schlechten Ergebnissen. Für die Bestimmung der Ortsposition existieren in der Literatur verschiedene Ansätze, die exakt oder approximativ das „visuelle Zentrum“ eines Polygons bestimmen. Beispiele sind Verfahren, die das Zentrum unter Nutzung von Voronoi-Diagrammen (ASANO & TOUSSAINT 1986), Polygon-Skeletten (POLLACK et al. 1989) oder Quadrees (AGAFONKIN 2016) berechnen. GARCIA-CASTELLANOS & LOMBARDO (2007) entwickelten ein approximatives Verfahren, das ausgehend von einer Küstenlinie (= Polygon) iterativ jeweils verkleinerte Flächen berechnet. Dieser Ansatz lässt sich mit einer GIS-Programmbibliothek leicht über eine inverse Pufferberechnung (d.h. die Berechnung einer Pufferzone mit negativer Distanz) realisieren. Falls nach einem Iterationsschritt keine Fläche verbleibt, muss die absolute Distanz verringert und der Schritt erneut ausgeführt werden. Falls das Ergebnis eines Iterationsschritts ein Multipolygon ist, wird nur das flächenmäßig größte Polygon im nächsten Iterationsschritt verwendet. Falls der Flächeninhalt des resultierenden Polygons kleiner als ein vorgegebener Wert ist (z.B. 1% relativ zum Ausgangspolygon), endet das Verfahren und gibt den Polygonschwerpunkt als Ergebnis zurück. Neben der einfachen Implementierbarkeit kann eine für den hier vorgesehenen Anwendungsfall hinreichende Performanz und Qualität des Resultats konstatiert werden. Abbildung 8 zeigt eine Beispielsberechnung in drei Iterationsschritten.

Abb. 8: Berechnung des visuellen Zentrums über inverse Pufferbildung



4.2 Erforderliche Anpassungen

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen, dass beide potenziellen Datensätze für Siedlungsflächen eine große Anzahl kleinerer Löcher und Einbuchtungen aufweisen. Diese gehen durch die Verschneidung nicht verloren, so dass sie auch im Ausgangspolygon für die Bestimmung der Ortsposition enthalten sind und – wie in Abbildung 9 (links) zeigt – die Berechnung beeinflussen. Daher sollten kleinere Löcher (Abb. 9, Mitte) und ggf. auch Einbuchtungen (Abb. 9, rechts) vorher entfernt werden.

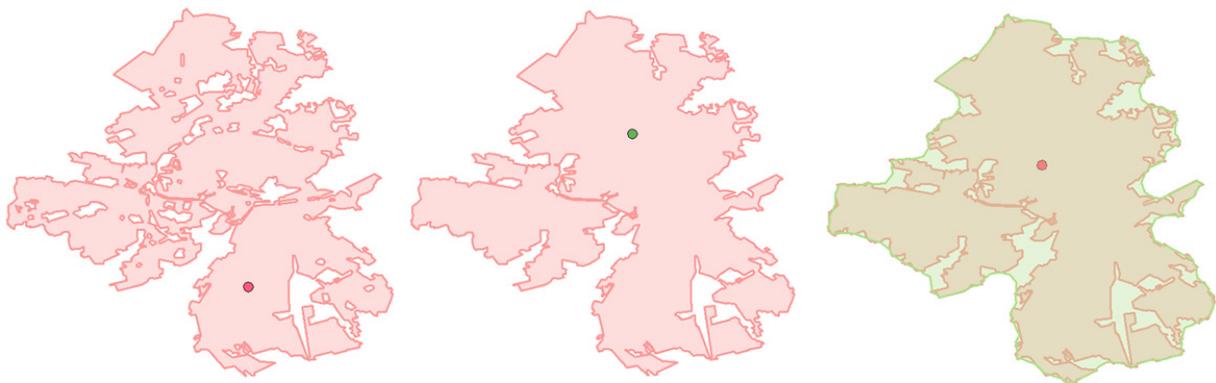


Abb. 9: Die Berechnung des visuellen Zentrums mit den ursprünglichen Siedlungsflächen (links), nach Entfernung von kleineren Löchern (Mitte) und nach Entfernung von kleineren Löchern und Einbuchtungen (rechts) am Beispiel Oldenburg



Abb. 10: Der rote Punkt würde ohne geeignete Vorverarbeitung als Ortsposition für die obere hellblaue Fläche bestimmt werden.

Eine weitere Problematik resultiert daraus, dass sowohl die Siedlungsflächen als auch frei verfügbare administrative Grenzen Lageabweichungen von der tatsächlichen Situation aufweisen. Dadurch kann das Resultat insbesondere bei Orten, deren Siedlungsflächen in den Siedlungsdaten fehlen, und die an einen Ort grenzen, der eine an die Ortsgrenzen reichende Siedlungsfläche

aufweist, verfälscht werden. Abbildung 10 zeigt dies an einem Beispiel. Daher sollten die Ortsflächen vor der Bestimmung der Ortspositionen mindestens mit einem Abstand verkleinert werden, der die Ungenauigkeiten der beteiligten Daten berücksichtigt.

4.3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt soll das Ergebnis zunächst anhand der Großgemeinden (Municipios) in Brasilien erörtert werden. Ausgangsdaten sind Flächengeometrien des Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística für die 5.570 brasilianischen Municipios. Für 1.106 Gemeinden (=20%) konnte eine und für 3.609 Gemeinden (=65%) konnten mehrere Siedlungsflächen aus den OSM-Daten zugeordnet werden. Die Berechnungszeit für die Positionierung aller Orte lag bei etwa 40 Sekunden. Abbildung 11 zeigt, dass der vorgestellte Ansatz bei großflächigen Gemeinden mit geringen Siedlungsanteilen zu ansprechenden Ergebnissen führt.

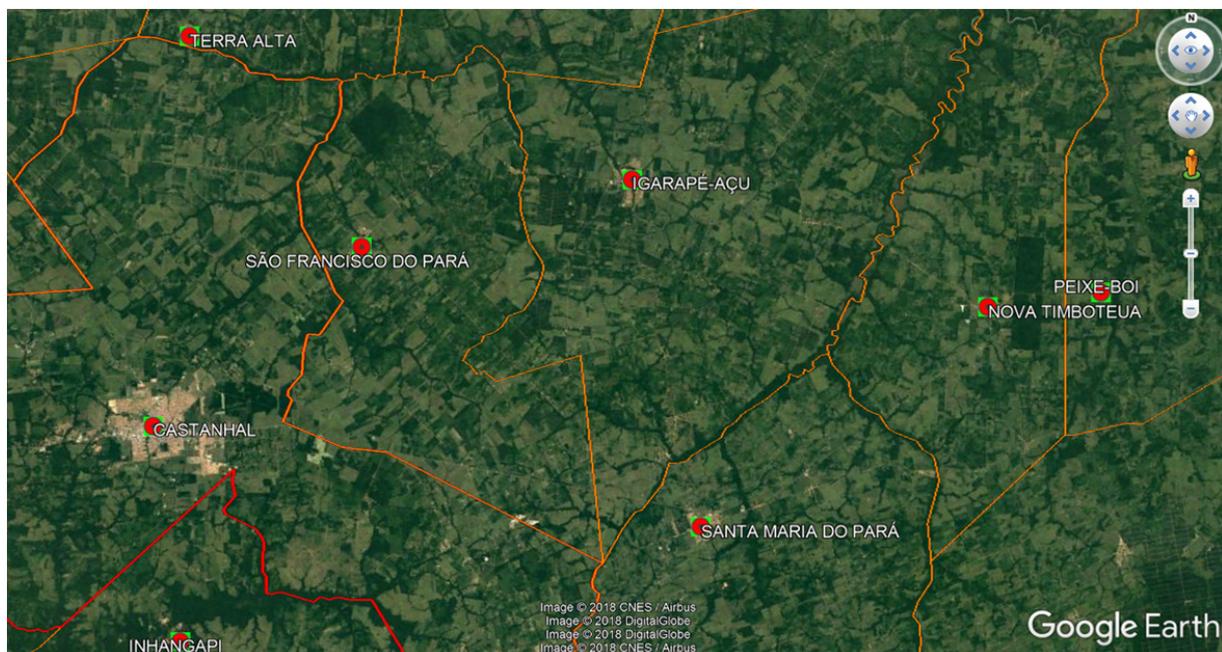


Abb. 11: Ortspositionen für brasilianische Großgemeinden

Für kleinräumigere israelische Ortschaften (Localities) war die Bestimmungsrate deutlich höher: Hier konnten für 1.094 Orte 1.088 Ortspositionen (=99,5%) ermittelt werden. Erste Untersuchungen für indische Dörfer zeigen, dass die Siedlungsflächen aus den OSM-Daten zu unvollständig sind, so dass hierfür der Global Urban Footprint genutzt werden sollte.

5 Fazit & Ausblick

In dem Beitrag wurde ein Ansatz vorgestellt, der die Positionierung von Orten in webbasierten Karten verbessern soll. Ausgangspunkt sind einerseits (durchaus ungenaue) Flächenbeschreibungen der Orte und andererseits Informationen über Siedlungsflächen, die aus OpenStreetMap-Daten oder dem Global Urban Footprint des DLR gewonnen werden können. Neben der Ver-

schneidung und der geeigneten Bestimmung eines Ortszentrums ist dabei auch die Behandlung von Sonderfällen zu beachten, die sich aus den Eigenschaften der Siedlungsflächen und der Ungenauigkeit der Ausgangsdaten ergeben. In ersten Untersuchungen konnte demonstriert werden, dass der Ansatz für einen hohen Anteil von Orten automatisiert eine geeignete Ortsposition bestimmen kann.

Einer der nächsten Schritte ist die Durchführung eines systematischen Vergleichs zwischen den OSM- und GUF-Siedlungsdaten. Zudem stehen noch ausführlichere Untersuchungen hinsichtlich der Nutzung des Global Urban Footprints aus.

6 Literaturverzeichnis

- AGAFONKIN, V., 2016: A new algorithm for finding a visual center of a polygon. <https://blog.mapbox.com/a-new-algorithm-for-finding-a-visual-center-of-a-polygon-7c77e6492fbc>
- ASANO, T. & TOUSSAINT, G.T., 1986: Computing the geodesic center of a simple polygon. *Perspectives in Computing: Discrete Algorithms and Complexity, Proceedings of Japan-US Joint Seminar*, 65-79.
- BHATTI, S.S. & TRIPATHI, N.K., 2014: Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery. *GIScience & Remote Sensing*, **51**(4), 445-467.
- BRINKHOFF, T., 2015: Offene Geodaten: Lage von Orten im Vergleich. Tagungsband FOSSGIS 2015, Münster, 2015, 18-24.
- BRINKHOFF, T., 2016: Open Street Map Data as Source for Built-up and Urban Areas on Global Scale, XXIII Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2016, Prague, Czech Republic. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B4*, 2016, 557-564; doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B4-557-2016
- BRINKHOFF, T., 2017: Supporting Dynamic Labeling in Web Map Applications. *Proceedings 20th AGILE Conference on Geographic Information Science*, Wageningen, the Netherlands.
- ESCH, T.; TAUBENBÖCK, H.; ROTH, A.; HELDENS, W.; FELBIER, A.; THIEL, M.; SCHMIDT, M.; MÜLLER, A. & DECH, S., 2012: TanDEM-X mission-new perspectives for the inventory and monitoring of global settlement patterns. *Journal of Applied Remote Sensing*, **6**(1), 061702; doi:10.1117/1.JRS.6.061702
- ESCH, T.; MARCONCINI, M.; FELBIER, A.; ROTH, A.; HELDENS, W.; HUBER, M.; SCHWINGER, M.; TAUBENBÖCK, H.; MÜLLER, A. & DECH, S., 2013: Urban Footprint Processor – Fully Automated Processing Chain Generating Settlement Masks From Global Data of the TanDEM-X Mission. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **10**(6), 2013, 1617-1621; doi:10.1109/LGRS.2013.2272953
- GARCIA-CASTELLANOS, D. & LOMBARDO U., 2007: Poles of Inaccessibility: A Calculation Algorithm for the Remotest Places on Earth. *Scottish Geographical Journal*, **123**(3), 227-233.
- MIYAZAKI, H., SHAO, X., IWAO, K. & SHIBASAKI, R., 2014: Development of a Global Built-Up Area Map Using ASTER Satellite Images and Existing GIS Data. In: Weng, Q. (ed.), *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation*, CRC Press, 121-142.

- POLLACK, R., SHARIR, M. & ROTE, G., 1989: Computing the Geodesic Center of a Simple Polygon. *Discrete & Computational Geometry*, **4**, 611-626
- ROTH, R.E., DONOHUE, R.G., SACK, C.M., WALLACE, T.R. & BUCKINGHAM, T., 2015. A process for keeping pace with evolving web mapping technologies. *Cartographic Perspectives*, **78**, 25-52; doi:10.14714/CP78.1273
- ZHANG, J., LI, P. & WANG, J., 2014. Urban Built-Up Area Extraction from Landsat TM/ETM+ Images Using Spectral Information and Multivariate Texture. *Remote Sensing*, **6**(8), 7339-7359.