

Erstellung einer Geodatenbank aller Brücken und Straßen Deutschlands in kommunaler Baulast auf Basis von Open-Street-Map-Daten

Dokumentation der Arbeitsschritte und Beschreibung
des Ergebnisses



Wulf-Holger Arndt
Norman Döge
Arman Fathejalali
René Kämpfer



Deutsches Institut für Urbanistik

 **Sonder-
veröffentlichung**

Wulf-Holger Arndt

Norman Döge

Arman Fathejalali

René Kämpfer

Erstellung einer Geodatenbank aller Brücken und Straßen Deutschlands in kommunaler Baulast auf Basis von Open-Street-Map- Daten

Dokumentation der Arbeitsschritte und Beschreibung des Ergebnisses

Impressum

Autoren:

Dr.-Ing. Wulf-Holger Arndt (Deutsches Institut für Urbanistik)

Dipl.-Geogr. Norman Döge

Arman Fathejalali M.Sc.

Dipl.-Geogr. René Kämpfer

Grafik und Layout:

Steffi Greiner

Diese Studie wurde im Rahmen eines Auftrages zur Analyse des Ersatzneubaus von kommunalen Straßenbrücken im Auftrag des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie e.V. im Jahr 2013 erstellt.

Danksagung der Autoren an das Open-Street-Map-Projekt

An dieser Stelle möchten sich die Autoren dieses Werkes bei allen freiwillig und unentgeltlich arbeitenden Aktiven des Open-Street-Map-Projektes bedanken. Ohne die detaillierte Erfassung und Aufbereitung der in dieser Studie verwendeten Daten hätte die wissenschaftliche Analyse im Sinne der Gesamtfragestellung nur mit einem erheblich höheren Aufwand oder wie in diesem Fall gar nicht bewältigt werden können. Die Autoren hoffen zudem, über die Verwendung der Daten für die Analyse und die teilweise erfolgte Validitätsprüfung der OSM-Daten, die ein sehr positives Ergebnis aufwies, dem OSM zu einem höheren Bekanntheitsgrad verhelfen und die Eignung der Daten für wissenschaftliche Analysezwecke teilweise nachgewiesen zu haben. In diesem Sinne hoffen wir, dass diese Datenanalyse auch in der OSM-Community und darüber hinaus als Unterstützung und Würdigung ihrer Arbeit wahrgenommen wird, sodass ihr beeindruckender Datenbestand auch in der Zukunft für weitere wissenschaftliche Analysen herangezogen wird.

ISBN 978-3-88118-539-4

© Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH, Berlin 2015

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH
Zimmerstraße 13-15
D-10969 Berlin

Telefon: +49 30 39001-0
E-Mail: difu@difu.de
Internet: www.difu.de

Inhalt

1.	AUFGABENSTELLUNG	7
2.	DOKUMENTATION DER ARBEITSSCHRITTE	8
2.1	DATENBESCHAFFUNG.....	8
2.1.1	GEOBASISDATEN	8
2.1.2	DATEN ZUR ADMINISTRATIVEN GLIEDERUNG (GEMEINDEDATEN)	10
2.1.3	BEVÖLKERUNGSDATEN – GEMEINDEDATENBANK.....	11
2.1.4	RECHTLICHE REGELUNGEN ZUR BAULASTTRÄGERSCHAFT IN DEN EINZELNEN BUNDESLÄNDERN	11
2.1.5	BAUTECHNISCHE REGELUNGEN/HINWEISE FÜR BRÜCKENKONSTRUKTIONEN ALS BASIS FÜR DIE FLÄCHENBERECHNUNG	12
2.2	EINGESETZTE BEARBEITUNGS- UND ANALYSESYSTEME	15
2.3	DATENAUFBEREITUNG.....	16
2.3.1	AUFBEREITUNG DER GEMEINDEDATEN	16
2.3.2	AUFBEREITUNG DER GEBÄUDEDATEN ZU ORTSGRENZEN ZUR ERMITTLUNG DER BEREICHE MIT ORTSDURCHFÄHRTEN	20
2.3.3	AUFBEREITUNG STRÄßENSHAPEFILE	23
2.3.4	TESTVERFAHREN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER DATEN AUF VOLLSTÄNDIGKEIT	30
	AUSWAHLREGEL FÜR GEMEINDESTRÄßEN	33
	AUSWAHLREGEL FÜR LANDES-, KREIS- UND BUNDESSTRÄßEN	34
2.4	DATENANALYSE.....	48
2.4.1	BERECHNUNG DER STRÄßEN UND BRÜCKEN IN KOMMUNALER BAULAST – ERGEBNISSE.....	48
2.4.2	BERECHNUNG DER VERKEHRSFLÄCHEN – ERGEBNISSE	54
2.4.3	FEHLERQUELLEN UND MÖGLICHKEITEN DER VERMEIDUNG BZW. VERRINGERUNG	64
3.	WEITERE VERWENDUNG UND NUTZUNG DER GEODATEN	69
3.1	WEITERE ANALYSE UND MÖGLICHKEITEN DER ATTRIBUTIERUNG	69
3.1.1	ANALYSE VON RAD- UND FUßWEGENETZ	69
3.1.2	NETZWERKANALYSEN UND ROUTING	70
3.1.3	ANALYSE VON SCHNITTSTELLEN MIT DEM ÖPNV	70
3.2	HINWEISE ZUR NUTZUNG IN ANDEREN PROGRAMMEN	70
3.2.1	EINSATZ MIT OPENSOURCE GIS-SYSTEMEN	70
3.2.2	EINSATZ VON ÄLTEREN ARCGIS-VERSIONEN.....	71
3.2.3	KOSTENFREIE VISUALISIERUNG MIT DEN ARCREADER.....	71
	ANHANG.....	72
	LITERATUR	91

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Attributtabelle der OSM-Stammdaten am Beispiel von Brandenburg	10
Abbildung 2 Beispiele für die Ausbildung von Regelquerschnitten im Bereich von Bauwerken ...	13
Abbildung 3: ArcInfo Anwenderoberfläche mit geladenen OSM-Daten für das Land Brandenburg.....	16
Abbildung 4: Abbildung der im Rahmen dieses Projektes erzeugten Geodatenbank	17
Abbildung 5: In ArcInfo geladener Gemeindedatensatz des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie mit geöffneter Attributtabelle	18
Abbildung 6: Neu erzeugte Spalten zur Festsetzung der Baulastträgerschaften	19
Abbildung 7: Gebäudestrukturen innerhalb der Gemeindegrenzen von Kaiserslautern	21
Abbildung 8: Eingabemaske der "Aggregate Polygons" Funktion	22
Abbildung 9: Resultierende Ortsgrenzen im Gemeindegebiet von Kaiserslautern.....	22
Abbildung 10: Straßensegmente und Bundesländergrenze vor dem Zuschnitt.....	23
Abbildung 11: Straßensegmente und Bundesländergrenze nach dem Zuschnitt	24
Abbildung 12: Straßensegment vor der Teilung an der Gemeindegrenze	24
Abbildung 13: Straßensegmente nach der Teilung an der Gemeindegrenze	25
Abbildung 14 Attribute der Ausgangsdatei	25
Abbildung 15 Neu erstellte Attribute	25
Abbildung 16: Verfahrensschritte zur Aufbereitung der OSM-Daten und Isolation von Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen	29
Abbildung 17: Testverfahren zur Kontrolle der Abbildungsgenauigkeit der OSM-Daten.....	31
Abbildung 18: Übersicht der zu testenden Shapefiles am Beispiel Mecklenburg Vorpommerns...	32
Abbildung 19: Prüfraster "Fishnet" am Beispiel Mecklenburg Vorpommerns	33
Abbildung 20: Auswahl der Prü fzellen in ArcGIS und Straßennetz im Hintergrund.....	34
Abbildung 21: Gemeinden in Mecklenburg Vorpommern mit kommunaler Baulastträgerschaft für Bundes-, Landes- und Kreisstraßen (hervorgehobene Elemente)	35
Abbildung 22: Selektion von Bundesstraßen in kommunaler Baulast (hervorgehobene Elemente) 35	
Abbildung 23: Ausgewählte Bundesstraßen (gelb) und ausgewählte Landes- und Kreisstraßen (grüne) am Beispiel von Mecklenburg Vorpommern	36
Abbildung 24: Übersicht über die geprüften Brücken auf Basis des Rasters am Beispiel von Mecklenburg-Vorpommern mit Bundesstraßen (grün), Landes- und Kreisstraßen (rot) und Gemeindestraßen (blau)	37
Abbildung 25: KMZ Export der selektierten Segmente zur Benutzung in Google Earth.....	38
Abbildung 26: Google Earth Abgleich einer Brücke in Mecklenburg-Vorpommern	39
Abbildung 27: Erfassung der Testergebnisse in einer Tabelle.....	39
Abbildung 28: Prüfraster Stadtstaaten am Beispiel von Bremen	41
Abbildung 29: Ausgewählte Netzsegmente am Beispiel von Bremen [hier ohne Bremerhaven] mit Bundesstraßen (grün) und Gemeindestraßen (blau)	42
Abbildung 30: Ergebnisse des Satellitenbildabgleiches der OSM-Straßendaten	46
Abbildung 31: Ergebnisse des Satellitenbildabgleiches der OSM-Brückendaten	47
Abbildung 32: Dateien in der Geodatabase am Ende des Aufbereitungsprozesses	48
Abbildung 33: Kaiserslautern mit Ortsgrenzen und Landes- und Kreisstraßen	49
Abbildung 34: Ergebnis des Selektionsprozesses	49
Abbildung 35: Finale Auswahl von Landes- und Kreisstraßen in kommunaler Baulast	50
Abbildung 36: Längenberechnung mit X Tools.....	50
Abbildung 37: Anzahl der Brücken pro Bundesland nach Kategorien in Flächenländern	53
Abbildung 38: Anzahl der Brücken pro Bundesland nach Kategorien in Stadtstaaten.....	53
Abbildung 39: OSM-Satellitenbildabgleich (Flächenländer)	55
Abbildung 40: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Gemeindestraßen (Flächenländer)	55

Abbildung 41: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Landes- und Kreisstraßen (Flächenländer)	56
Abbildung 42: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Bundesstraßen (Flächenländer).....	56
Abbildung 43 OSM-Satellitenbildabgleich (Stadtstaaten).....	57
Abbildung 44: Absolute und Relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Gemeindestraßen deutscher Stadtstaaten	57
Abbildung 45: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Bundesstraßen deutscher Stadtstaaten	58
Abbildung 46: Der "Field Calculator" in ArcGIS in dem die Berechnung der unteren Brückenfläche zu sehen ist	62

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Liste der vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie bezogenen Geodaten.....	11
Tabelle 2: Adressen der Internetportale zu den Landesgesetzen	12
Tabelle 3: Abgeleitete Mindest- und mögliche Maximalquerschnitte für Brücken der aufgeführten Straßenkategorien	14
Tabelle 4: Mindesteinwohnerzahlen für die Baulastträgerschaft von Landes- und Kreisstraßen	20
Tabelle 5: Kriterien und Ausprägungen zur Bereinigung der OSM-Stammdaten	27
Tabelle 6: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Straßen der Flächenländer	43
Tabelle 7: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Brücken der Flächenländer.....	44
Tabelle 8: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Straßen der Stadtstaaten	44
Tabelle 9: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Brücken der Stadtstaaten	45
Tabelle 10: Brücken in kommunaler und nicht kommunaler Baulast für die Flächenländer	51
Tabelle 11: Brücken in kommunaler und nicht kommunaler Baulast für die Stadtstaaten	51
Tabelle 12: Brückenbestand des gesamten Bundesgebiets.....	52
Tabelle 13: Straßen in kommunaler Baulastträgerschaft (Flächenländer)	54
Tabelle 14: Straßen in kommunaler Baulastträgerschaft in den Stadtstaaten	54
Tabelle 15: Abgeleitete Minimal-, Maximal- und Standardbreiten für die Berechnung der Brückenflächen der Flächenländer	59
Tabelle 16: Abgeleitete Minimal-, Maximal- und Standardbreiten für die Berechnung der Brückenflächen der Stadtstaaten.....	60
Tabelle 17: Abgeleitete Standardbreiten für die Berechnung der Straßenflächen der Flächenländer	60
Tabelle 18: Standardbreiten für die Berechnung der Straßenflächen der Stadtstaaten	61
Tabelle 19: Ergebnisse der Brückenflächenberechnung Flächenländer	63
Tabelle 20: Ergebnisse der Brückenflächenberechnung Stadtstaaten	63
Tabelle 21: Ergebnisse der Straßenflächenberechnung Flächenländer	64
Tabelle 22: Ergebnisse der Straßenflächenberechnung Stadtstaaten.....	64

1. AUFGABENSTELLUNG

Primäres Ziel dieses Projekts ist es, eine Geodatenbank zu erstellen, die alle Brücken und Straßen in kommunaler Baulastträgerschaft beinhaltet. Sekundäres Ziel ist es, auf Basis und innerhalb dieser Geodatenbank Berechnungen zu Verkehrsflächen der einzelnen Brückenbauwerke vorzunehmen. Dies soll die weitere Analyse des Datenbestandes hinsichtlich des in Zukunft entstehenden Investitionsbedarfes der Kommunen für den Bau und Erhalt der Brückeninfrastrukturen ermöglichen (vgl. dazu auch Arndt u.a. 2013).

Erste deskriptive Analysen und die anfängliche Aufbereitung der Ergebnisse in kartographischer Form im Rahmen dieser Teilarbeiten sollen dem Auftraggeber bei seinen weiteren Analysearbeiten unterstützen. Da die geoinformationstechnischen Arbeiten mit dem Computerprogramm ArcGIS 10 der Firma ESRI durchgeführt werden, soll der abschließende Export der Geodaten in einzelne Vektordaten des Formats (Shapefile; *.shp) sowie in gängige Tabellenformate die Möglichkeit der weiteren Bearbeitung und Analyse in gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen oder frei zugänglichen Geoinformationsprogrammen sicherstellen.

2. DOKUMENTATION DER ARBEITSSCHRITTE

Die wesentlichen Arbeitsschritte lassen sich in Datenbeschaffung, -aufbereitung und -analyse unterscheiden. Das im Anhang 1 zu sehende Schema verdeutlicht dabei den grundsätzlichen Ablauf der einzelnen Arbeiten und deren Bestandteile. Der generelle Ansatz ist es, über die Verschneidung von flächenhaften (Gemeinden) und linienhaften (Straßen und Brücken) Geobasisdaten sowie Daten mit geographischem Bezug (Bevölkerungsdaten) aus der Gesamtheit aller im OpenStreetMap (OSM)-Projekt zur Verfügung stehenden Geodaten jene zu isolieren, welche Straßen und Brücken in kommunaler Baulast darstellen, und für diese die Oberflächen zu berechnen.

Hierzu wird der Geodatenatz mit den Gemeindegrenzen vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie online bezogen, aufbereitet und mit Bevölkerungsdaten der Gemeindedatenbank aufgefüllt. So können auf Basis der rechtlichen Reglementarien die Gemeinden herausgefiltert werden, die neben der Baulastträgerschaft für Gemeindestraßen auch jene für Kreis-, Landes- und/oder Bundesstraßen innehaben.

Parallel werden von der Seite „geofabrik.de“ die Geodaten des OSM-Projektes heruntergeladen. Diese werden dann um die für diese Analyse unnötigen Einträge bereinigt. Anschließend erfolgt für jedes Bundesland eine Überprüfung der Daten anhand von Satellitenbildern, um einen Überblick darüber zu gewinnen, wie genau und vollständig die Straßen und Brücken in den OSM-Daten dargestellt sind. In diesem Arbeitsschritt sollen auch maximale und minimale Breiten der einzelnen Straßen und Brücken ermittelt werden, um die spätere Oberflächenberechnung zu unterstützen.

Nach der Vorbereitung beider Geodatenätze kann ermittelt werden, in welcher Gemeinde sich welche Straßen und Brücken in kommunaler Baulast befinden. Diese können dann isoliert und in einer Datei in der Geodatenbank zusammengefasst werden. In dieser werden im Anschluss (nach Recherche weiterer Berechnungsgrundlagen für die Flächenberechnung der Brücken) die Oberflächen berechnet.

Anschließend erfolgen der Export der Daten in Formate für die Tabellenkalkulation in Excel und QGIS (einem OpenSource-Geoinformationsprogramm) sowie eine erste statistische Auswertung.

Die Darstellung der vorgenommenen Arbeitsschritte im Geoinformationsprogramm ArcGIS der Firma ESRI wird durch Snapshots und Karten illustriert.

Die genauen Arbeiten innerhalb der einzelnen Teilschritte werden in den jeweiligen Unterkapiteln detailliert dargestellt.

2.1 DATENBESCHAFFUNG

2.1.1 GEOBASISDATEN

In den letzten Jahren haben sich der Markt für frei verfügbare Geodaten sowie die technischen Möglichkeiten von Geographischen Informationssystemen erheblich weiterentwickelt. Dennoch war bislang, trotz der jüngsten Aktivitäten zur Schaffung einer einheitlichen europäischen Geodateninfrastruktur (engl. Infrastructure for Spatial Information in Europe; "Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft"), die Beschaffung von Geobasisdaten in der Bundesrepublik überwiegend durch die föderale Gliederung des Landes und die entsprechend unterschiedlichen Verfahren zur Erhebung und Bereitstellung der Daten geprägt. Offizielle Geodaten können bislang über die jeweiligen Landesämter erworben werden. Dabei gibt es jedoch deutliche Unterschiede in der Entgeltberechnung zwischen den Bundesländern. Während beispielsweise die Bay-

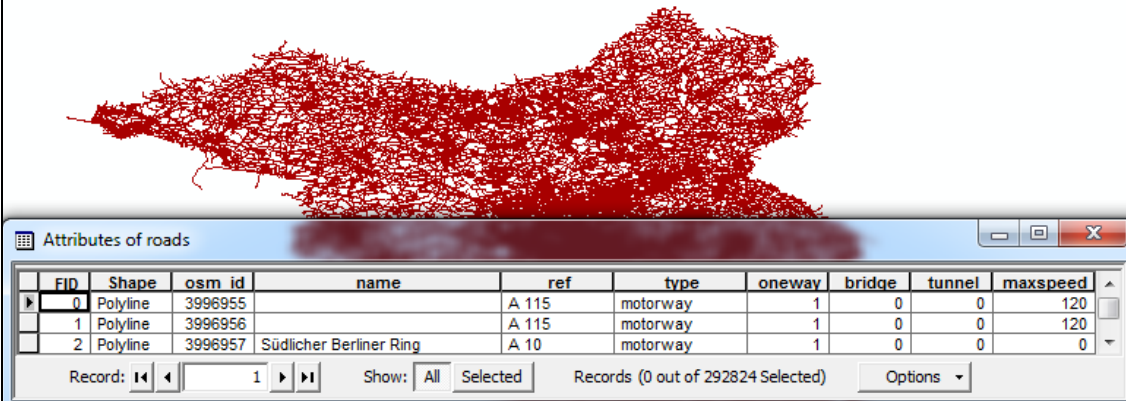
erische Vermessungsverwaltung ihre Verwaltungsgrenzen bis auf die Ebene der Gemeinde frei zur Verfügung stellt, werden bei den Liegenschaftsinformationen des Landes Niedersachsen 1.000,00 Euro für die Verwaltungsgrenzen von Land, Landkreisen und Gemeinden fällig. Als weitere Alternative können Geodaten bei auf Bereitstellung derartiger Angebote spezialisierten kommerziellen Anbietern erworben werden. Hier werden oftmals unterschiedliche Abstufungen bezüglich der Detailtreue angeboten und entsprechend preislich gestaffelt. Die im Vorfeld dieses Projektes getätigten Anfragen zeigten, dass die Kosten für kommerzielle Daten oftmals über denen der öffentlichen Behörden lagen und die Weiternutzung zudem vielfach starken Einschränkungen unterlag. Für die Schaffung einer bundesweiten Datenbank musste entsprechend auf Daten zurückgegriffen werden, welche eine einheitliche Verfügbarkeit bei nahezu einheitlicher Qualität und geringen Kosten boten. Im Folgenden sollen die genutzten Daten sowie deren Herkunft und eventuelle Kosten bzw. Einschränkungen in der Nutzung kurz aufgelistet werden.

2.1.1.1 DATEN ZUM DEUTSCHEN STRABENNETZ

Mit den Daten des „OSM-Projektes“ (<http://www.openstreetmap.de>) steht eine frei verfügbare Geodatenbank zur Verfügung, die mit regional abweichender Genauigkeit das gesamte Straßen- und Brückennetz Deutschlands und Europas abzubilden versucht. Hierbei wird ein Großteil der Datenerfassung, Aufbereitung und Weiterverarbeitung von Aktiven des Projektes vor Ort und in Freizeit nach Maßgabe der vom OSM Projekt erstellten Richtlinien geleistet. Innerhalb eines gewissen Zeitraumes treffen sich die Interessierten, die in Gruppen organisiert sind, um ein bestimmtes Areal auf freiwilliger Basis zu kartieren und in die OSM-Datenbank zu überführen.

Als großer Vorteil erwies sich in diesem Zusammenhang nicht nur die Möglichkeit der freien Nutzung der Daten, sondern auch die Berücksichtigung jeglicher liniengebundener Wegführungen (also auch unbefestigte Pfade etc.). In Abhängigkeit der dargestellten Regionen sind Karten, die auf OSM-Daten basieren oftmals von höherer Genauigkeit als jene, die auf kommerziell zugänglichen Datenbanken beruhen. Es muss jedoch beachtet werden, dass die OSM-Daten durch jeden Nutzer formatiert werden und entsprechend verändert werden können. Der Vorteil der kostenlosen Bereitstellung zieht also einen deutlich größeren Bereinigungsaufwand nach sich. OSM-Daten können direkt über die Webseite des Projektes exportiert werden, müssen aber im Anschluss, für eine Nutzung mit Geoinformationssystemen, weiter konvertiert werden. Dieser Prozess kann jedoch umgangen werden, indem die von der Geofabrik GmbH (<http://download.geofabrik.de>) bereitgestellten und täglich aktualisierten Daten verwendet werden. Diese sind bereits im gängigen Format für Geoinformationssysteme (Shapefile) verfügbar und können ebenfalls kostenlos heruntergeladen werden. So ist für jedes Bundesland ein separates Shapefile mit Linien-Informationen verfügbar. Jeder Linie werden dabei, neben einer Identifikationsnummer, 9 Attribute zugeordnet, welche unter anderem die Fahrtrichtungen, Höchstgeschwindigkeiten und den Typ charakterisieren (siehe Abbildung 1). Für die Analysearbeiten im Zusammenhang mit dieser Studie wurden die Geodaten unter der "Open Database License 1.0" am 22.03.2013 vom Datenportal der Geofabrik GmbH heruntergeladen.

Abbildung 1: Attributtabelle der OSM-Stammdaten am Beispiel von Brandenburg



The screenshot shows a QGIS window with a map of Brandenburg in the background, overlaid with a dense network of red lines representing roads. In the foreground, the 'Attributes of roads' table is displayed. The table has columns for FID, Shape, osm_id, name, ref, type, oneway, bridge, tunnel, and maxspeed. The first three rows are visible, showing data for motorways A 115 and A 10.

FID	Shape	osm_id	name	ref	type	oneway	bridge	tunnel	maxspeed
0	Polyline	3996955		A 115	motorway	1	0	0	120
1	Polyline	3996956		A 115	motorway	1	0	0	120
2	Polyline	3996957	Südlicher Berliner Ring	A 10	motorway	1	0	0	0

Quelle: eigene Darstellung

2.1.1.2 DATEN ZU BEBAUUNGSSTRUKTUREN

Neben den reinen Straßendaten stellt das OSM-Projekt auch, soweit vorhanden, die Gebäudestrukturen für jede Gemeinde und Ortschaft zum Download zur Verfügung. Da für die Ableitung der Baulastträgerschaft von Segmenten von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen auf Gemeindegebiet die Grenzen der Ortschaften notwendig sind, wurden die Bebauungsdaten im Shapefileformat ebenfalls für jedes Bundesland heruntergeladen. Die Grenzen der Ortschaften sind nach den Ergebnissen der Vorrecherche nicht frei verfügbar. Zudem wurde bei einer ersten Sichtung der Daten festgestellt, dass eine Ableitung der Ortsgrenzen über die ebenfalls bereitgestellten kostenlosen Landnutzungsstrukturen (Land-Uses) nicht möglich war bzw. nur ungenaue Ergebnisse geliefert hätte. Dies liegt darin begründet, dass im Kartenbild auf kommunaler Ebene vielerorts Gebäudestrukturen ohne dazugehörige Landnutzungskategorie existierten. Im Sinne einer genaueren Abgrenzung der bebauten Fläche und in diesem Zusammenhang der Ortsgrenze, wurde für deren Ableitung somit auf die Gebäudestrukturendatei des jeweiligen Bundeslandes zurückgegriffen.

2.1.2 DATEN ZUR ADMINISTRATIVEN GLIEDERUNG (GEMEINDEDATEN)

Für die Aufbereitung der Straßen- und Brückendaten sowie für die Ableitung der Baulastträgerschaft auf Basis von Bevölkerungskennziffern werden die aktuellen Geodaten (Vektordaten) mit den Gemeindegrenzen und Informationen zu Gemeindegrenzen sowie dem allgemeinen Gemeindegrenzschlüssel benötigt. Bis Ende März 2013 wurden diese Daten für ganz Deutschland gebührenpflichtig durch das Dienstleistungszentrum des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie angeboten. Mit Inkrafttreten der letzten Änderung des Geodatenzugangsgesetzes (GeoZG) vom 16.11.2012, nach welchem Geodaten des Bundes und der Länder für die kommerzielle und nicht kommerzielle Nutzung entgeltfrei zum Download und zur Online-Nutzung zur Verfügung stehen müssen, standen diese seit dem 03.04.2013 auf der entsprechenden Webseite (<http://www.geodatenzentrum.de> Open Data) kostenfrei zur Verfügung und konnten heruntergeladen werden. Die Geodaten dürfen beliebig geändert und angepasst werden, wobei jedoch ihre Herkunft stets kenntlich zu machen ist. In untenstehender Tabelle 1 ist ersichtlich, über welche Daten der bezogene Datensatz verfügt.

Tabelle 1: Liste der vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie bezogenen Geodaten

Name	Umfang	Aktualität
vg250_sta.shp	Staatsgebiet der Bundesrepublik	31.12.2011
vg250_bld.shp	Bundesländer	
vg250_rbz.shp	Regierungsbezirke	
vg250_krs.shp	Landkreise und kreisfreie Städte	
vg250_vwg.shp	Verwaltungsgemeinschaften	
vg250_gem.shp	Gemeinden	
vg250_l.shp	nicht einvernehmlich festgelegte Grenzabschnitte	

Quelle: eigene Darstellung

2.1.3 BEVÖLKERUNGSDATEN – GEMEINDEDATENBANK

Die Gemeindedatenbank mit aktuellen Bevölkerungszahlen, Gemeindeschlüsseln und Gemeindennamen wurde den Bearbeitern am 15.03.2013 durch das Difu im Excel-Format zur Verfügung gestellt.

2.1.4 RECHTLICHE REGELUNGEN ZUR BAULASTTRÄGERSCHAFT IN DEN EINZELNEN BUNDESLÄNDERN

Die rechtlichen Regelungen hinsichtlich der Baulastträgerschaft von Straßen und Brücken auf Gemeindegebiet können den offiziellen Internetangeboten der einzelnen Bundesländer sowie dem Fernstraßengesetz entnommen werden. Die Internetadressen zu den jeweiligen Landesgesetzen sind in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt. Auf Bundesebene bildet das Fernstraßengesetz (FStrG) den rechtlichen Rahmen. In Stadtstaaten liegt die Baulastträgerschaft aller Straßen bis auf Bundesautobahnen bei den Städten.

Tabelle 2: Adressen der Internetportale zu den Landesgesetzen

Bundesland	Internetadresse zum Landesrechtsportal
Baden-Württemberg	http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrG+BW+%C2%A7+43&psml=bsbawueprod.psml&max=true
Bayern	http://www.gesetze-bayern.de/jportal/portal/page/bsbayprod.psml?nid=1l&showdoccase=1&doc.id=jlr-StrWGBYpArt42&st=lr
Brandenburg	http://www.bravors.brandenburg.de/sixcms/detail.php?gsid=land_bb_bravors_01.c.49147.de#5
Hessen	http://www.rv.hessenrecht.hessen.de/jportal/portal/t/141k/page/bshesprod.psml/action/portlets.jw.MainAction?p1=1j&eventSubmit_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-StrGHEV1P41&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint
Mecklenburg-Vorpommern	http://www.landesrecht-mv.de/jportal/portal/page/bsmvprod.psml?nid=h&showdoccase=1&doc.id=jlr-StrWGMVpP13&st=lr
Niedersachsen	http://www.nds-voris.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrG+ND+%C2%A7+43&psml=bsvorisprod.psml&max=true
Nordrhein-Westfalen	https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=2&gld_nr=9&ugl_nr=91&bes_id=3894&aufgehoben=N&menu=1&sg=#det254939
Rheinland-Pfalz	http://landesrecht.rlp.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrG+RP+%C2%A7+12&psml=bsrlpprod.psml
Saarland	http://sl.juris.de/cgi-bin/landesrecht.py?d=http://sl.juris.de/sl/StrG_SL_P47.htm
Sachsen	http://brueggen-ra.de/pdf/Strassenrecht/SaechsStrG.pdf
Sachsen-Anhalt	http://www.landesrecht.sachsen-anhalt.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrG+ST+%C2%A7+42&psml=bssahprod.psml&max=true
Schleswig-Holstein	http://www.gesetze-rechtsprechung.sh.juris.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrWG+SH+%C2%A7+12&psml=bssshoprod.psml&max=true
Thüringen	http://landesrecht.thueringen.de/jportal/?quelle=jlink&query=StrG+TH+%C2%A7+43&psml=bsthueprod.psml&max=true

Quelle: eigene Darstellung

2.1.5 BAUTECHNISCHE REGELUNGEN/HINWEISE FÜR BRÜCKENKONSTRUKTIONEN ALS BASIS FÜR DIE FLÄCHENBERECHNUNG

Brücken gehören zu den Kunstbauten. Sie können zur Überwindung von künstlichen (Verkehrswegen) oder natürlichen (Flüsse, Schluchten) Barrieren dienen. Die in diesem Fall für die Flächenberechnung zu ermittelnden Querschnitte richten sich hauptsächlich nach der Art des Verkehrsweges, zu dem die Brücke gehört, nach der Breite des zu überquerenden Hindernisses sowie den aus den Spezifikationen des Hindernisses abgeleiteten einzuhaltenden lichten Höhen (Natzschka 2001). Hiernach richtet sich die Art der Tragkonstruktion

Die Geodatenbank der Straßen und Brücken in kommunaler Baulast wird am Ende folgende Wegkategorien als eigenständige Wegeverbindungen enthalten: Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen. Folglich müssen, um die Flächen für jede einzelne Kategorie ableiten zu können, Querschnittsbreiten als Berechnungsgrundlage ermittelt werden. In der Regel wird auf Brücken oder im Tunnel der vorhandene Regelquerschnitt des anschließenden Verkehrsweges beibehalten (Natzschka 2001).

Die Richtwerte für selbstständig geführte Gehwege (Fußwege) sehen eine Mindestbreite von 2,00 m vor (ebenda). Die Mindestbreite einer Fahrradstraße (Begegnungsfall Fahrrad – Fahrrad) beträgt 4,00m (ebenda).

Diese maximalen und minimalen Querschnitte werden auf Basis der FGSV RAS-Q 1996 (Richtlinie für die Anlage von Straßen – Querschnitt) ersichtlichen Regelquerschnitte errechnet (FGSV, 1996).

The image displays five technical cross-sections of bridge structures, labeled RQ 29,5, RQ 26, RQ 15,5, RQ 10,5, RQ 9,5, and RQ 7,5. Each drawing shows the width, height, and internal structural details of the bridge deck and supports.

- RQ 29,5:** Shows a wide bridge with a central pier. Dimensions include a total width of 30,50 and a central pier width of 3,50*. The deck is divided into sections of 2,00, 2,50, 3,75, 3,75, 3,50*, 3,75, 3,75, 2,50, and 0,25. The height is 1,75.
- RQ 26:** Shows a bridge with a central pier. Dimensions include a total width of 29,00 and a central pier width of 2,00**. The deck is divided into sections of 2,00, 3,00, 3,50, 3,50, 2,00**, 3,50, 3,50, 3,00, and 0,25. The height is 1,75.
- RQ 15,5:** Shows a bridge with a central pier. Dimensions include a total width of 16,75 and a central pier width of 1,75. The deck is divided into sections of 0,25, 2x0,50, 0,50, 0,75, 3,75, 0,50, 3,25, 3,50, 3x0,50, 0,25, and 0,75. The height is 1,75.
- RQ 10,5:** Shows a bridge with a central pier. Dimensions include a total width of 13,75***/12,00 and a central pier width of 8,00. The deck is divided into sections of 0,25, 3x0,50, 0,75, 3,50, 3,50, 3,50, (2,25), 2,50, and 0,25. The height is 1,75.
- RQ 9,5:** Shows a bridge with a central pier. Dimensions include a total width of 12,75***/11,00 and a central pier width of 7,00. The deck is divided into sections of 0,25, 3x0,50, 0,75, 3,00, 3,00, 3,50, (2,25), 2,50, and 0,25. The height is 1,75.
- RQ 7,5:** Shows a bridge with a central pier. Dimensions include a total width of 12,25***/10,50 and a central pier width of 6,50. The deck is divided into sections of 0,25, 3x0,50, 0,75, 2,75, 2,75, 3,50, (2,25), 2,50, and 0,25. The height is 1,75.

Da auf Gemeindegebiet Brücken auch in nicht bebauten Gebieten existieren, ist davon auszugehen, dass, RQ 7,5 in Abbildung 2 folgend, diese Randbereiche der Straßen nur mit einem Notgestreifen von 1,75m ausgestattet sind. Bei beidseitig vorhandenen Geh- und Radwegen wird hier, RQ 7,5 in Abbildung 2 folgend, von einer Mindestbreite von 3,50m inklusive Sicherheitspuffer und passiver Schutzeinrichtung ausgegangen.

Wie in Abbildung 2 ebenfalls zu sehen ist, nehmen mit Anzahl der Fahrstreifen auch deren Breiten zu. Für einstreifige Straßen mit Notweg in Randgebieten von Siedlungen wird ein Regelquerschnitt von 7m unterstellt ($3m + 2 \times 1,75m + 2 \times 0,25m$). Für zweistreifige Straßen und Brücken mit Notstreifen oder mit beidseitigen Rad- und Gehwegen ergeben sich so (RQ 7,5 – RQ 10,5) ein Mindestquerschnitt von 10,50m ($0,25m + 1,75m + 0,50m + 2,75m$ je Seite) und ein Maximalquerschnitt von 15,5m ($0,25m + 3,50m + 0,50m + 3,50m$ je Seite). Für vierstreifige Straßen und Brücken mit beidseitigen Rad- und Gehwegen (RQ 15,5) ergibt sich ein Querschnitt von 22,50m ($0,25m + 3,50m + 0,50m + 3,50m + 3,25m + 0,25m$ je Seite). Pro zusätzlichem Fahrstreifen auf jeder Seite wird für die Flächenberechnung angenommen, dass sich der (Maximal-) Querschnitt um 7m ($2 \times 3,50m$) erweitert. Zusätzlich müssen ab RQ 15,5 anstatt des Mittelstreifens von 0,50m überschlägig 2m addiert werden, da diese Querschnitte nur noch über zwei getrennte Brückenkörper erreicht werden können.

Da in der zu erstellenden Geodatenbank eine Unterscheidung der Brücken nur hinsichtlich der oben genannten Kategorien möglich ist, wird eine Regel erstellt, nach der die Minimal- und Maximalbreiten für jede Straßenkategorie festgelegt werden.

Tabelle 3: Abgeleitete Mindest- und mögliche Maximalquerschnitte für Brücken der aufgeführten Straßenkategorien

Straßenkategorie in der OSM Geodatenbank	Anzahl Fahrstreifen	Querschnitt
Gemeindestraße/-brücke	1	Min = 7,00m
	2	Max = 10,50m Max = 15,50m
	4	Max = 22,50m
	6	Max = 31,00m
Landes-, Kreisstraße/-brücke	2	Min = 10,50m Max = 15,50m
	4	Max = 22,50m
	6	Max = 31,00m
Bundesstraße/-brücke	2	Min = 10,50m Max = 15,50m
	4	Max = 22,50m
	6	Max = 31,00m
	8	Max = 38,00m

Quelle: eigene Darstellung

Da während der weiteren Analyse ein Datenabgleich zwischen den OSM-Daten und Satellitenbildern von 50 Straßen und 25 Brücken pro Bundesland erfolgt, werden in diesem Arbeitsschritt auch die Fahrspuren pro Straßenkategorie ermittelt. Somit lassen sich theoretisch pro Kategorie und Bundesland die Häufigkeiten der unterschiedlichen Anzahl von Fahrstreifen ermitteln. Am Beispiel eines Flächenlandes und eines Stadtstaates (hier existieren die Kategorien Landes- und Kreisstraße nicht) werden dann die Minimal- und Maximalbreiten für jede Kategorie bestimmt.

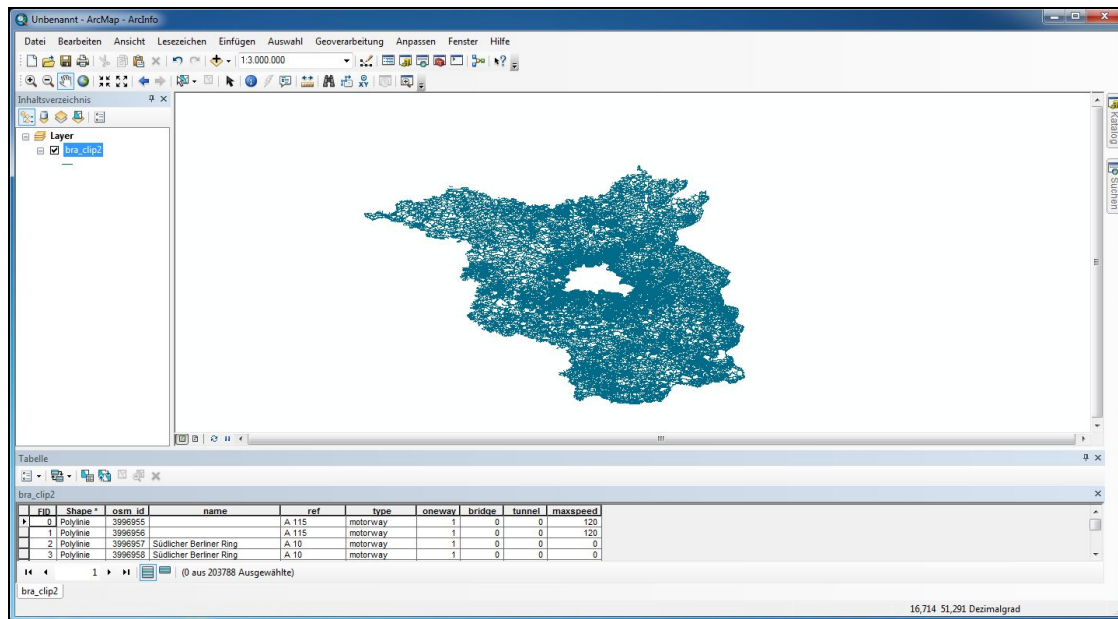
Die in Tabelle 3 dargestellten Werte werden so um die nicht in Frage kommenden Maximalbreitenwerte bereinigt. Auf Basis der bereinigten Tabelle wird dann im Analyseteil die Flächenberechnung erfolgen.

2.2 Eingesetzte Bearbeitungs- und Analysesysteme

Das erklärte Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung einer Geodatenbank, welche die Straßen und Brücken in kommunaler Baulast innerhalb der Bundesrepublik Deutschland beinhaltet. Eine entsprechende Geodatenbank besteht aus Geoobjekten, welche durch die Zuordnung von Koordinaten exakt in einem Koordinatensystem und damit im Raum verortet werden. Geodaten können in Punkte, Linien und Polygone unterteilt werden. Diese einzelnen Vektordaten sind in sogenannten Vektordatensätzen zusammengefasst, welche aus Punkt-, Linien- oder Flächendaten bestehen und in den gängigen Geoinformationssystemen im Shapefile-Format [*.shp] erstellt und gespeichert werden. Punkte bilden jedoch aufgrund ihrer exakten Verortungsmöglichkeit die Grundlage jedes Geoobjektes. Eine Linie ist zuletzt die Verbindung mindestens zweier Punkte und ein Polygon bezeichnet die Fläche, die durch die Verbindung mindestens dreier Punkte und damit Linien aufgespannt wird. Der entscheidende Unterschied zwischen Geoinformationssystemen und einfachen Bildbearbeitungsprogrammen besteht darin, dass jedes Geoobjekt mit zusätzlichen Informationen versehen werden kann. Unterschiedliche Geoobjekte werden in unterschiedlichen Ebenen sogenannten „Layers“ gespeichert und dort in einer Datenbank erfasst. In einem Punkt-Layer wird beispielsweise jedem Punkt zunächst eine eindeutige Identifikationsnummer und über Koordinaten eine exakte Lage im Raum zugewiesen. Zusätzlich kann dem Punkt ein Typ wie z.B. „Haltestelle“ und als ein weiteres Attribut die Nummer des dort haltenden Busses zugewiesen werden. Verfügen alle Geoobjekte eines Layers über entsprechende Attributierungen, können darauf beruhende Analysen durchgeführt werden. In diesem Projekt können so unter anderem aus einem Shapefile, einem Vektordatensatz mit flächenhaften Geodaten, aus allen Gemeinden der Bundesrepublik jene Gemeinden ausgewählt werden, welche eine bestimmte Bevölkerungszahl überschreiten, insofern diese vorher für die betreffenden Polygone hinterlegt wurden.

Geoinformationssysteme benötigen eine softwarebasierte Umsetzung, um den angesprochenen Funktionsumfang zu ermöglichen. Mittlerweile haben sich zahlreiche Anbieter am Markt etabliert und bieten vielfältige Softwarepakete mit ganz unterschiedlichem Funktionsumfang. Prinzipiell können auch hier OpenSource-Programme denen kommerzieller Natur gegenübergestellt werden. Zur kostenfreien Nutzung steht mit QuantumGIS (auch QGIS) eine Software zur Verfügung, welche unter den OpenSource-Systemen die meisten Funktionen bietet. Diese ermöglicht es auch, mit gängigen Datenformaten kommerzieller Anbieter zu arbeiten. Da der Programmquellcode frei zugänglich ist, hat sich der Funktionsumfang in den letzten Jahren erheblich erweitert. Trotzdem wird in dieser Arbeit auf die Software des Marktführers ESRI ArcGIS zurückgegriffen. Gegenüber der frei nutzbaren Variante bietet das am weitesten verbreitete Geoinformationssystem die umfangreichsten Analysefunktionen und nicht zuletzt eigene Datenbankformate, welche für die zu erwartende Datenmenge unabdingbar sind. Außerdem bietet das Programm vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten, welche die weitere Verwendung der Daten durch den Auftraggeber vereinfachen und die am Ende dieser Arbeit empfohlenen folgenden Analyseschritte ermöglichen sollen. Abbildung 3 zeigt die Benutzeroberfläche von ESRI'S ArcInfo bestehend aus dem Kartenfenster, dem Inhaltsfenster der Liste der geladenen Daten sowie der Attributtabelle mit den zu dem Straßenshapefile Brandenburgs gehörenden Hintergrunddaten.

Abbildung 3: ArcInfo Anwenderoberfläche mit geladenen OSM-Daten für das Land Brandenburg



Quelle: eigene Darstellung

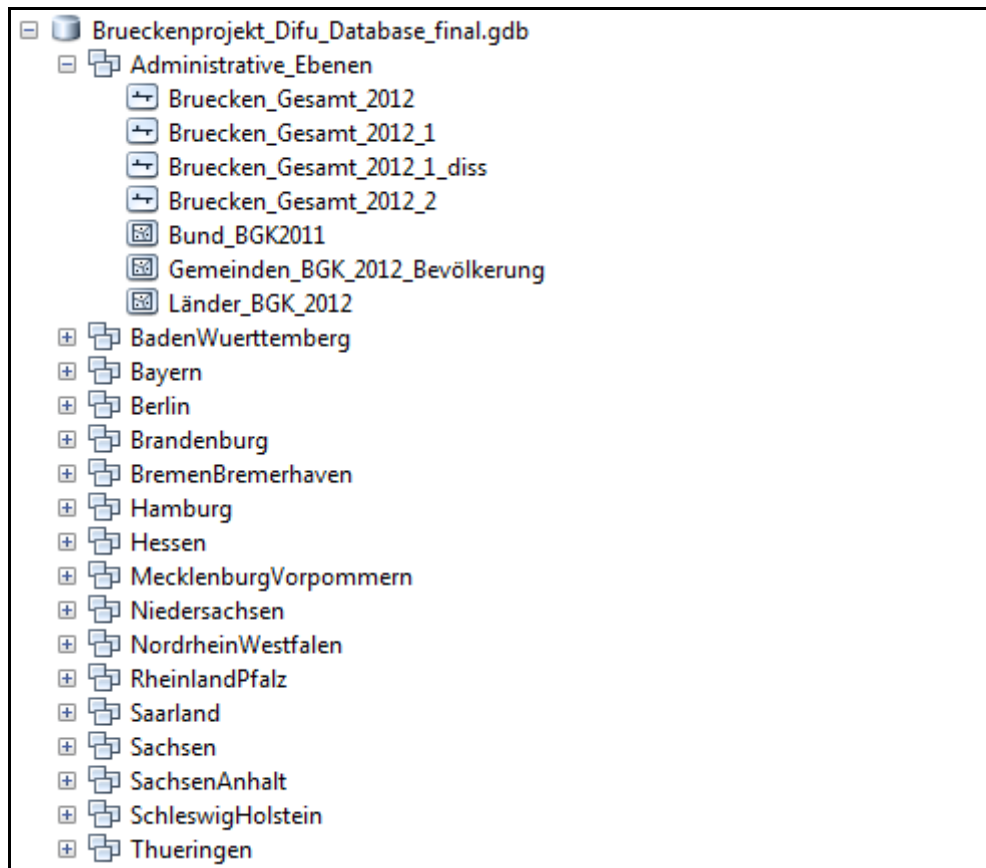
ESRI bietet derzeit die Programmversion 10 von ArcGIS für Desktop-Anwendungen an. Für diese Arbeit wurde die Version 10 mit der Ausbaustufe ArcINFO verwendet. Diese Entscheidung ist dahingehend von Bedeutung, dass einige Inkompatibilitäten bezüglich der Dateiformate zwischen der Version 10 und älteren Versionen bestehen. Detailliertere Erläuterungen dazu sind in Abschnitt 3 zu finden, in dem weitere Analyse- und Verwendungsmöglichkeiten der Daten erläutert werden.

2.3 DATENAUFBEREITUNG

2.3.1 AUFBEREITUNG DER GEMEINDEDATEN

Nachdem das Herunterladen der aktuellen Geodaten der Gemeindegrenzen vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie abgeschlossen war, wurden diese in die in Abbildung 4 dargestellte und mit dem Computerprogramm ArcGIS der Firma ESRI erzeugte Geodatenbank „Brueckenprojekt_Difu_Database.gdb“ integriert. Wie in der Abbildung 4 ebenfalls dargestellt ist, wurden so genannte „Feature Classes“ (ähnlich Unterverzeichnissen) angelegt. Die geöffnete Feature Class „Administrative Ebenen“ zeigt hier die einzelnen Vektordatensätze, die in die Datenbank aufgenommen wurden. Mit diesen lassen sich in ArcGIS die einzelnen administrativen Ebenen graphisch darstellen. Der große Vorteil von Geoinformationssystemen ist, dass zu jedem Vektordatensatz eine sogenannte Attributtabelle gespeichert ist. Das heißt, dass jedem graphischen Objekt des Vektordatensatzes (Punkt, Linie oder Polygon) auch verschiedene Hintergrunddaten in unterschiedlichen Datenformaten zugeordnet werden können.

Abbildung 4: Abbildung der im Rahmen dieses Projektes erzeugten Geodatenbank



Quelle: eigene Darstellung

Dies ist in Abbildung 5 am Beispiel von Berlin im Vektordatensatz „Gemeinden_BGK_2012.shp“ dargestellt. Der Ausschnitt zeigt das selektierte Polygon für Berlin im Kartenfenster. Gleichzeitig ist auch in der zu dem Datensatz gehörenden Attributtabelle die Zeile für Berlin markiert. Es ist zu sehen, dass hier mehrere Spalten (Attribute) mit unterschiedlichen Ausprägungen eingerichtet wurden. Unter anderem enthalten die vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) bereitgestellten Attribute Informationen zu geographischen Spezifikationen wie Länge, Umfang usw., aber auch Informationen zu Name, Gemeindeschlüssel etc. Durch den Benutzer können hier beliebig Spalten ergänzt werden und zwischen ihnen Berechnungen durchgeführt werden. Auch Kreuzabfragen und statistische Auswertungen zwischen verschiedenen Datensätzen sind möglich.

Abbildung 5: In ArcInfo geladener Gemeindedatensatz des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie mit geöffneter Attributtabelle

OBJECTID*	Shape*	USE	RS	GF	RAU_RS	GEN	DES	ISM	BEMERK	NAMBLD	AGS	RS_ALT	WIRKSAMKEI	DEBG_ID	LENGTH	Bundesland
5345	Polygon	6	120650036036	4	120650036036	Birkenwerder	Gemeinde	62		ja	12065036	120650036036	01.01.2009	DEBKGL200000DZ7	28841,167315	Brandenburg
5347	Polygon	6	120675708324	4	120675708324	Mixdorf	Gemeinde	64	gemeinschaftsangehörig	ja	12067324	120675708324	01.01.2009	DEBKGL200000E43Q	16377,441241	Brandenburg
5348	Polygon	6	120715102153	4	120715102153	Groß Schackdorf-Simmerdorf	Gemeinde	64	gemeinschaftsangehörig	ja	12071153	120715102153	01.01.2009	DEBKGL200000E4E1	25580,711828	Brandenburg
5349	Polygon	6	120685805324	4	120685805324	Neustadt (Dosse)	Stadt	63	gemeinschaftsangehörig	ja	12068324	120685805324	01.01.2009	DEBKGL200000E2SK	73726,371584	Brandenburg
5350	Polygon	6	110000000000	4	110000000000	Berlin	Stadt	60	kreisfrei	ja	11000000	110000000000	03.10.1990	DEBKGL200000E0P6	221472,61802	Berlin
5351	Polygon	6	120630080080	4	120630080080	Falkensee	Stadt	61		ja	12063080	120630080080	01.01.2009	DEBKGL200000DXD5	41176,951959	Brandenburg
5352	Polygon	6	120695910448	4	120695910448	Niemegk	Stadt	63	gemeinschaftsangehörig	ja	12069448	120695910448	01.01.2009	DEBKGL200000DZK1	42426,28113	Brandenburg
5353	Polygon	6	120685804372	4	120685804372	Ruthnick	Gemeinde	64	gemeinschaftsangehörig	ja	12068372	120685804372	01.01.2009	DEBKGL200000E3OX	28651,794116	Brandenburg

Quelle: eigene Darstellung

Im nächsten Schritt wurden durch den Bearbeiter die Küstengebiete aus dem Datensatz entfernt, sodass der bereinigte Gemeindedatensatz insgesamt 11.496 Zeilen (Gemeinden) besitzt. Mit dem „Select by Location“ Werkzeug und der Kreuzabfrage mit dem Bundesländerdatensatz, konnten für jedes Bundesland alle ihm zugehörigen Gemeinden ermittelt werden. So wurde das in Abbildung 5 zu sehende, angelegte Attribut (Tabellenspalte „Bundesland“) mit Werten gefüllt. Das heißt für jede Gemeinde wurde so das zugehörige Bundesland eingetragen. Nun kann zum Beispiel mit der Funktion „Select by Attributes“ im Vektordatensatz abgefragt werden: „Selektiere alle Gemeinden, die im Attribut „Bundesland“ die Ausprägung „Brandenburg“ zu stehen haben“. Dies ist auch erfolgt und so konnten aus diesem Datensatz für jedes Bundesland einzelne Vektordatensätze erzeugt werden, die dann in den „Feature Classes“ des jeweiligen Bundeslandes (siehe Abbildung 4) gespeichert wurden.

Im nächsten Schritt wurde der in Abbildung 4 zu sehende Vektordatensatz „Gemeinden_BGK_2012_Bevölkerung“ erzeugt. Da es im Programm ArcGIS möglich ist, unterschiedliche Tabellen auf Basis gleicher Spalteneinträge zusammenzuführen (Join), wurde die vom Difu bereitgestellte Gemeindedatenbank im Excel Format und die Attributtabelle des Vektordatensatzes auf Basis des Gemeindeschlüssels (siehe Abbildung 4, AGS) zusammengeführt. Im Ergebnis konnte so allen Gemeinden für die in beiden Tabellen ein Gemeindeschlüssel vorhanden war, die Daten der Excel Tabelle zugeordnet werden. Auf diesem Weg wurden die Bevölkerungszahlen jeder Gemeinde aus der Excel Datei in die Geodatenbank überführt. Da für einige Gemeinden (z.B. der überwiegende Teil der Gemeinden Mecklenburg-Vorpommerns) kein AGS zur Verfügung stand, wurden die restlichen Bevölkerungswerte über die Tabellenspalten mit dem Gemeindennamen ermittelt. Danach konnten alle Bevölkerungswerte in das neuerzeugte Attribut „Einwohner“ übertragen werden. Anschließend wurde die Verbindung zwischen beiden Tabellen wieder aufgelöst. Im Ergebnis konnten abzüglich der gemeindefreien Gebiete nur für 18 Gemeinden von 11.496 keine Einwohnerzahl ermittelt werden.

Anschließend sollte nun ermittelt werden, in welchen Gemeinden die kommunale Baulast für Bundes-, Landes- (Staats-) und Kreisstraßen bei der Gemeinde liegt. Hierbei ist einschränkend zu erwähnen, dass die Baulastträgerschaft für Bundesautobahnen immer beim Bund und für Gemeindestraßen und niedriger immer bei der Gemeinde liegt. Die Ergebnisse sollten dann als extra Attribut im Vektordatensatz „Gemeinden_BGK_2012_Bevölkerung“ gespeichert werden, um dann später jene Brücken und Straßen der OSM-Daten auswählen zu können, für welche die Baulastträger-

schaft bei der Gemeinde liegt. Aus diesem Grund wurden in dem Vektordatensatz die Attribute „Baulastträgerschaft Bundesstraße“, „Baulastträgerschaft Landes-, Kreisstraße“ und „Baulastträgerschaft Gemeindestraße und Niedrigere“ erzeugt und standardmäßig mit <Null> attribuiert (<Null> keine Baulastträgerschaft vorhanden, 1 – Baulastträgerschaft vorhanden) (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Neu erzeugte Spalten zur Festsetzung der Baulastträgerschaften

GEN	DES	ISN	AGS	Bundesland	Einwohner	Baulastträger Bundesstraße	Baulastträger Landes/ Kreisstraße	Baulastträger Gemeindestraße und niedriger
Birkenwerder	Gemeinde	62	12065036	Brandenburg	7.360	0	0	1
Mixdorf	Gemeinde	64	12067324	Brandenburg	1.009	0	0	1
Groß Schacksdorf-Simmersdorf	Gemeinde	64	12071153	Brandenburg	1.278	0	0	1
Neustadt (Dosse)	Stadt	63	12068324	Brandenburg	3.718	0	0	1
Berlin	Stadt	60	11000000	Berlin	3.396.990	1	1	1
Falkensee	Stadt	61	12063080	Brandenburg	39.008	0	0	1
Niemegk	Stadt	63	12069448	Brandenburg	2.207	0	0	1
Rüthnick	Gemeinde	64	12068372	Brandenburg	4.91	0	0	1

Quelle: eigene Darstellung

Die Baulastträgerschaft für Straßen und Brücken oberhalb der Gemeindestraße gilt generell nur für Ortsdurchfahrten, d.h. für die Straßenabschnitte, die sich im Ort befinden. Auf dem übrigen Gemeindegebiet ist das Land der Baulastträger. Obwohl in den Stadtstaaten nicht zwischen Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen unterschieden wird, erscheinen aus Datenbankkonsistenzgründen auch hier oben erwähnte Felder. Diese wurden in der weiteren Analyse der Werte für die Stadtstaaten nicht berücksichtigt.

Bundesstraßen

Für Gemeinden mit mehr als 80.000 Einwohnern liegt die Baulastträgerschaft laut § 5 FStrG bei den Gemeinden.

Landes- (Staats-) und Kreisstraßen

Bei allen Flächenländern ist die Baulastträgerschaft für Landes- und Kreisstraßen abhängig von der Einwohnerzahl der Gemeinde. In den Stadtstaaten gibt es keine Unterscheidung in Landes- und Kreisstraßen, weshalb in den Straßengesetzen keine gesonderten Regelungen verzeichnet sind. Die Regelungen wurden den jeweiligen Landesgesetzen entnommen, die über die in Tabelle 4 dargestellten Landesinternetportale abrufbar sind.

Tabelle 4: Mindesteinwohnerzahlen für die Baulastträgerschaft von Landes- und Kreisstraßen

Bundesland	Gesetz und Paragraph /Artikel	Einwohnerschwelle für Baulastträgerschaft
Baden-Württemberg	§43 StrG BW	30.000
Bayern	Art. 42 BayStrWG	25.000
Brandenburg	§9a BbgStrG	50.000
Hessen	§41 HStrG	30.000
Mecklenburg-Vorpommern	§13 StrWG MV	50.000
Niedersachsen	§43 Abs. 2 NStrG	50.000
Nordrhein-Westfalen	§44 Abs. 1 StrWG NRW	80.000
Rheinland-Pfalz	§12 Abs. 3 LStrG	80.000
Saarland	§47 Abs. 1 SStrG	80.000
Sachsen	§44 Abs. 2 SächsStrG	30.000
Sachsen-Anhalt	§42 Abs. 2 StrG LSA	50.000
Schleswig-Holstein	§12 Abs. 1 StrWG	20.000
Thüringen	§43 Abs. 2 ThürStrG	30.000

Quelle: eigene Darstellung

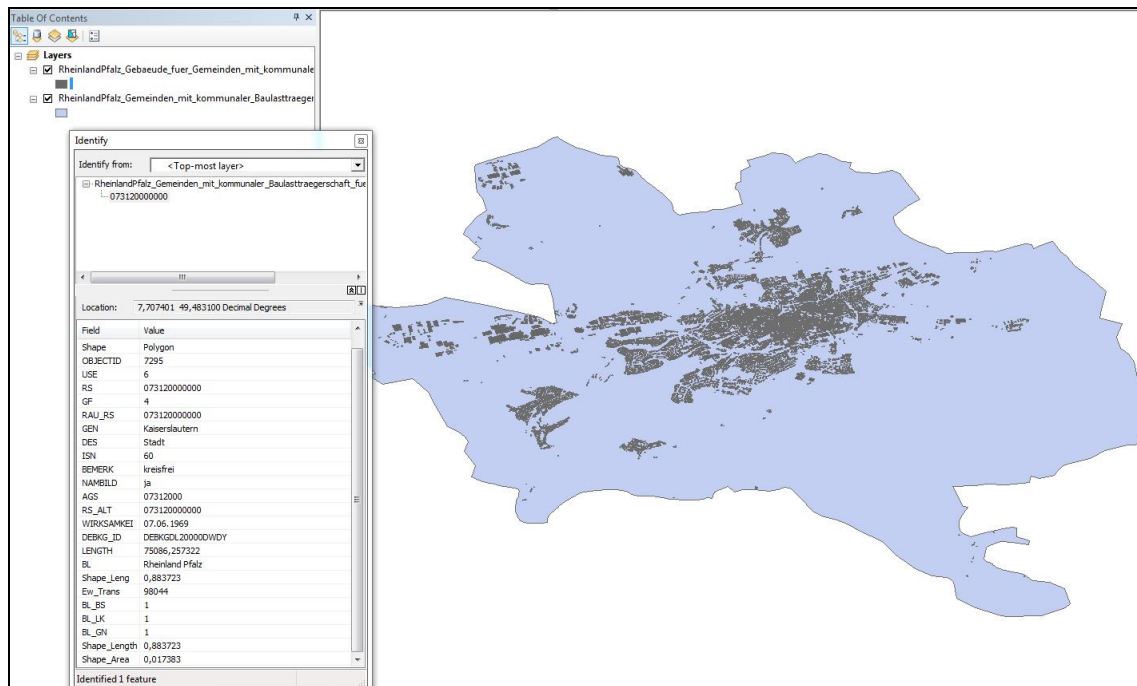
Mit Hilfe des Werkzeuges „Select by Attributes“ konnten so erst die Gemeinden jeden Bundeslandes und danach aus dieser Vorselektion jene Gemeinden ausgewählt werden, in denen die Bevölkerungsschwellen für die Baulastträgerschaft überschritten wurde. Diese erhielten dann den Eintrag „1“ in das jeweilige Feld der Attributtabelle. In den Stadtstaaten wurden alle Attribute auf „1“ gesetzt.

2.3.2 AUFBEREITUNG DER GEBÄUDEDATEN ZU ORTSGRENZEN ZUR ERMITTLUNG DER BEREICHE MIT ORTSDURCHFahrTEN

Um jene Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen herauszufiltern, die sich zwar auf Gemeindegebiet, aber nicht innerhalb von Ortschaften befinden, also nicht unter kommunale Baulastträgerschaft fallen, mussten weitere Daten des OSM-Projektes aufbereitet werden. Für die Stadtstaaten mussten diese Berechnungen nicht vorgenommen werden, da die Ortsgrenze hier gleich der Gemeindegrenze ist. Für eine detaillierte Begründung der Nutzung von Gebäudedaten zur Ableitung der Ortsgrenzen (s. auch Kap. 2.1.1.2).

In einem ersten Verfahrensschritt wurden die Datensätze der Gebäudestrukturen jedes Bundeslandes um jene Einträge bereinigt, wo sich die eingetragenen Gebäude nicht innerhalb der Gemeindegrenzen mit Baulastträgerschaft für Bundes-, Landes- oder Kreisstraße befanden. Der zweite Schritt sah dann die Interpolation der Ortsgrenzen auf Basis der Gebäudestrukturen vor. Hierzu wurde in ArcGIS das Werkzeug „Aggregate Polygons“ benutzt. Dieses ist in der Lage aus einzelnen Polygonen des gleichen Shapefiles ein größeres, generalisiertes Polygon zu errechnen. Der untere Bildausschnitt in Abbildung 7 zeigt die Stadt Kaiserslautern vor der Errechnung der Ortsgrenzen. Es ist zu sehen, dass z.B. im südöstlichen Bereich keine Bebauungsstrukturen vorhanden sind, weshalb davon auszugehen ist, dass sich diese Bereiche nicht innerhalb der Ortschaft befinden. Wie an dem „identify“ Fenster in Abbildung 7 zu erkennen ist, steht in den Bereichen „BL_BS“ und „BL_LK“ jeweils der Wert „1“, weshalb die Gemeinde aufgrund ihrer Bevölkerungszahl „EW_Trans“ innerhalb der Ortschaften für Bundes-, Landes- und Kreisstraßen verantwortlich ist.

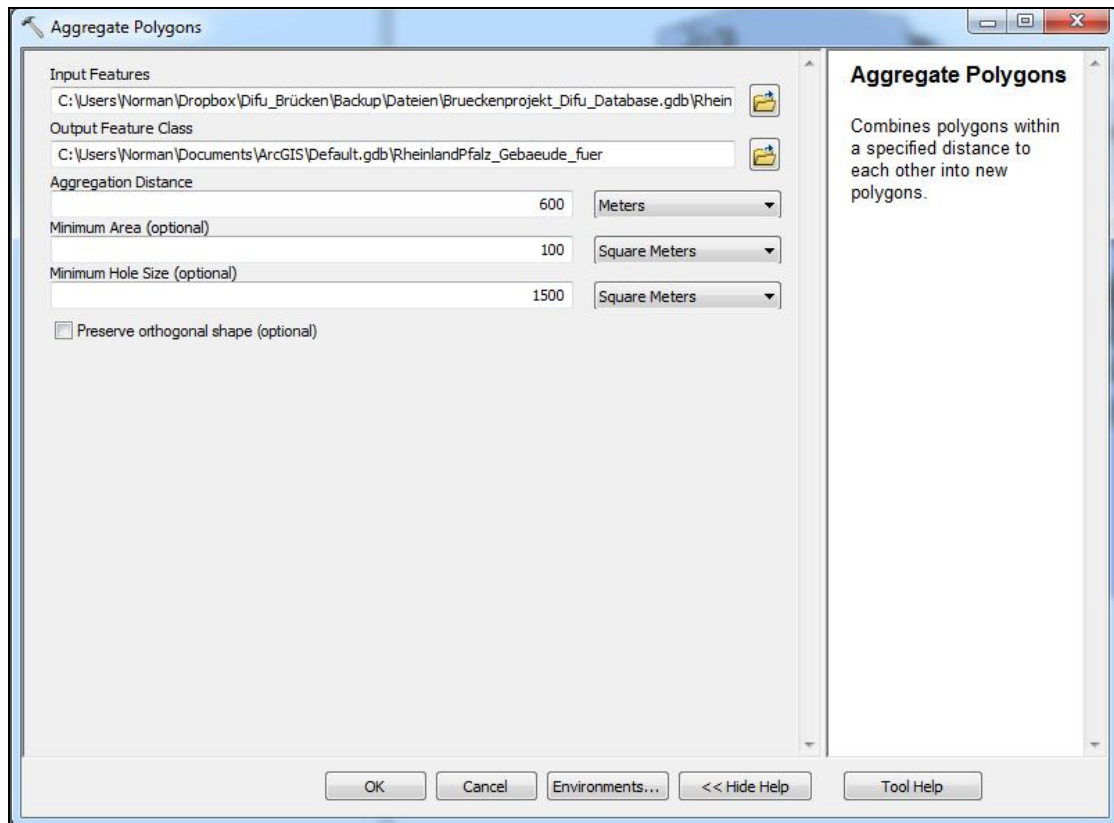
Abbildung 7: Gebäudestrukturen innerhalb der Gemeindegrenzen von Kaiserslautern



Quelle: eigene Darstellung

Zum Errechnen der Ortsgrenzen musste das Werkzeug mit einigen Parametern versorgt werden. Wie in Abbildung 8 dargestellt ist, mussten die Eingangsdatei und die Ausgabedatei angegeben werden. Danach erfolgte die Eingabe der Berechnungsparameter. Wie dargestellt, musste die „Aggregation Distance“, d.h. der Umkreis, in dem sich die nächste Gebäudestruktur befinden muss, um in das resultierende Polygon aufgenommen werden zu können, angegeben werden. Dieser Wert wurde nach einigen Tests für alle Bundesländer auf 600m gesetzt, groß genug um ein geschlossenes Polygon zu bekommen und klein genug um nicht die nächste Ortschaft mit einzufangen. Der zweite Wert, die „Minimum Area“, gibt an wie groß die Grundfläche einer Gebäudestruktur mindestens sein muss, um berücksichtigt zu werden. Auch hier pendelte sich der Wert nach einigen Tests bei 100m² ein. Die letzte Angabe „Minimum Hole Size“ bezog sich darauf wie groß Löcher in dem entstehenden Polygon mindestens sein mussten, um ihre eigenständige Existenz zu bewahren und nicht im Gesamtpolygon aufzugehen. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass im Stadtraum häufiger Freiflächen wie Parks oder Stadtplätze vorhanden sind, die zwar keine oder kaum Bebauungsstrukturen aufweisen, aber trotzdem zur Ortschaft gehören. Die Festsetzung des Wertes betrug 1.500m². Mit einer aufwendigen regionalspezifischen Anpassung der Parameter könnten in diesem Zusammenhang noch bessere Ergebnisse erzielt werden, da so besser auf die unterschiedlichen Siedlungscharakteristika eingegangen würde.

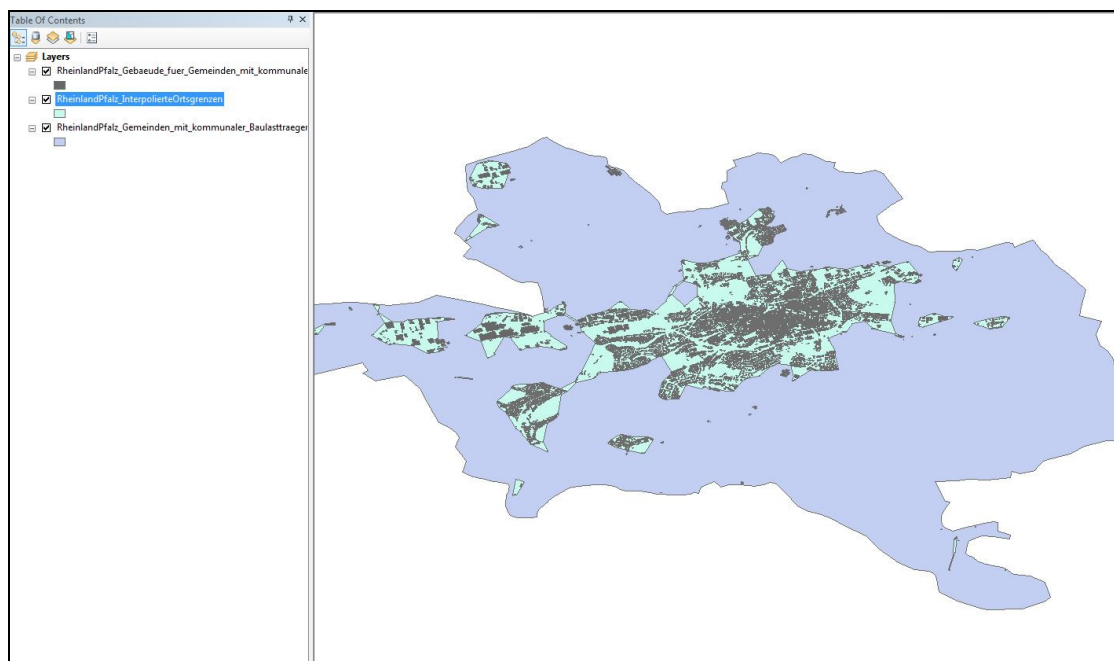
Abbildung 8: Eingabemaske der "Aggregate Polygons" Funktion



Quelle: eigene Darstellung

In Abbildung 9 ist das resultierende Polygon (grün) zu sehen, das das Ortsgebiet darstellen soll.

Abbildung 9: Resultierende Ortsgrenzen im Gemeindegebiet von Kaiserslautern



Quelle: eigene Darstellung

Diese Ortsgrenzen für die Gemeinden mit kommunaler Baulastträgerschaft für Bundes-, Landes- und Kreisstraßen wurden dann der Geodatenbank hinzugefügt, um sie während des Analyseprozesses für die Ableitung der Straßen und Brücken in kommunaler Baulast einsetzen zu können.

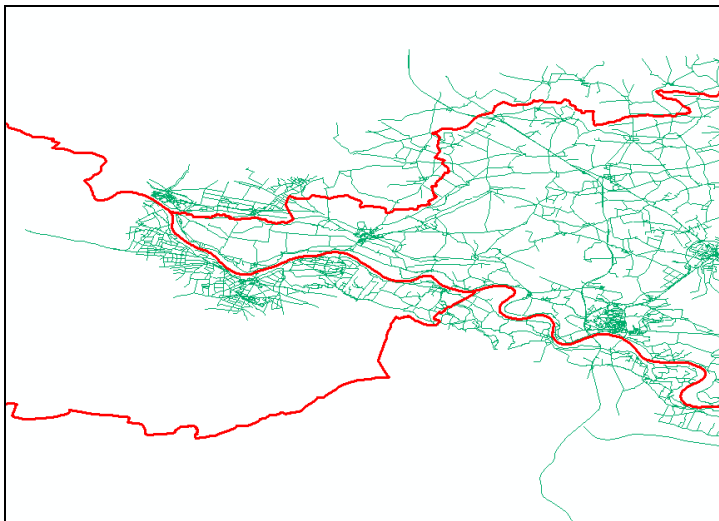
2.3.3 AUFBEREITUNG STRAßENSHAPEFILE

Die vom OSM-Projekt frei verfügbaren Daten umfassen zunächst eine Vielzahl von Linien-Features, welche deutlich über die Zahl der für die Analyse benötigten Straßen hinausgeht. So mussten die Geodaten zunächst um jene für die Analyse irrelevante Objekte bereinigt werden. Folgende Schritte wurden in zeitlicher Abfolge zur Bereinigung durchlaufen.

2.3.3.1 ZUSCHNEIDEN AN DEN BUNDESLÄNDERGRENZEN

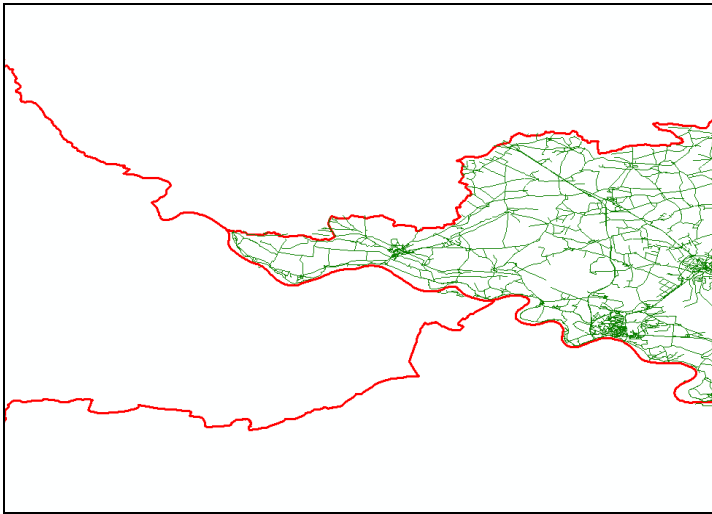
Die Straßenobjekte werden durch die Geofabrik GmbH für jedes Bundesland der Bundesrepublik separat zum Download bereitgestellt. Die entsprechenden Straßen (auch Kantien) enden jedoch nicht exakt mit der Grenze des Bundeslandes und überlagern sich in diesem Bereich mit denen des angrenzenden Bundeslandes. Um eine Mehrfachzählung in der Analyse zu vermeiden, wurden in einem ersten Schritt die über die Grenze eines Bundeslandes hinausgehenden Kantien entfernt. Abbildung 10 und Abbildung 11 veranschaulichen das Vorgehen am Beispiel des Straßennetzes von Brandenburg an den Ländergrenzen zu Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt.

Abbildung 10: Straßensegmente und Bundesländergrenze vor dem Zuschnitt



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 11: Straßensegmente und Bundesländergrenze nach dem Zuschnitt

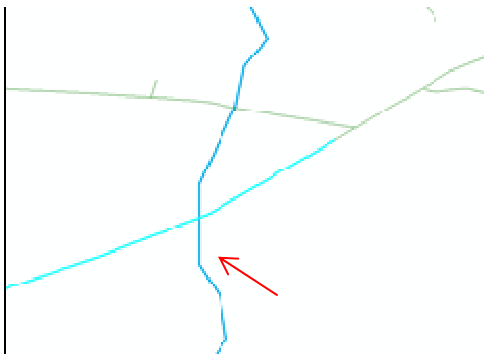


Quelle: eigene Darstellung

2.3.3.2 TEILEN AN DEN GEMEINDEGRENZEN

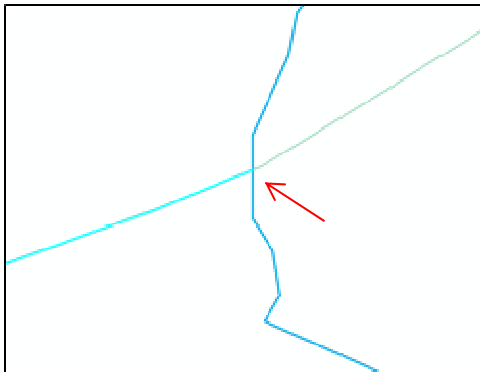
Eine Polylinie in einem Geoinformationssystem ist durch die Verbindung eines Start- und eines Zielpunktes gekennzeichnet. Zwischen diesen Punkten wird die Kante als ein geometrisches Gebilde betrachtet. Innerhalb des Straßennetzes eines Bundeslandes endeten die Kanten zumeist nicht an den Grenzen einer Gemeinde. Das heißt, dass oftmals der Startpunkt einer Kante in einer und der Endpunkt in einer anderen Gemeinde lokalisiert waren. Auf diese Weise würde die Kante in einer Analyse beider Gemeinden zugeordnet und somit mehrfach gezählt werden. Um dies zu vermeiden, wurden im zweiten Schritt die Straßenkanten, wie in Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellt, an den Gemeindegrenzen getrennt. Da mehrere Gemeinden administrativ in einem Kreis aufgehen, führte dieser Arbeitsschritt auch zu einem sauberen Schnitt an den Kreisgrenzen.

Abbildung 12: Straßensegment vor der Teilung an der Gemeindegrenze



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 13: Straßensegmente nach der Teilung an der Gemeindegrenze



Quelle: eigene Darstellung

Durch die Verwendung dieses Verfahrens konnten den Straßen sowohl der entsprechende Gemeindegrenze als auch der Gemeindegrenze automatisch zugewiesen werden.

2.3.3.3 ANLEGEN DER FÜR DIE ANALYSE NOTWENDIGEN ATTRIBUTE

Jede Kante eines Shapefiles kann mit Attributen versehen werden. Ein Attribut repräsentiert jeweils eine Eigenschaft der Kante. Die Ausgangsdaten verfügten zwar bereits über eine Reihe von Attributen (z.B. wie in Abbildung 14 dargestellt: Typ, Brücke), jedoch sind für die Analyse weitere Eigenschaften notwendig. Entsprechend wurden im nächsten Schritt, der in Abbildung 15 dargestellt ist, weitere (zunächst leere) Attribute für jedes Bundesland hinzugefügt.

Abbildung 14: Attribute der Ausgangsdatei

FID	Shape	FID_B AY	osm_id	name	ref	type	one- way	bridge	tunnel	max- speed	GEN	AGS
0	Polyline	49	2385472	Bodensee- straße	B 2	primary	0	0	0	50	München	09162000
1	Polyline	609	3636462		B 2	primary	0	1	0	0	München	09162000
2	Polyline	946	4018126		B 471	primary	0	0	0	70	Bergkir- chen	09174113

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 15: Neu erstellte Attribute

BLD	Stras_Kat	Baul_ Gem	Laenge_GP	Laen- ge_U	Laen- ge_O	Spu- ren	Brei- te_U	Brei- te_O	Brei- te_D	Flae- che_U	Flae- che_O	Flae- che_GP	Valid
Bay- ern	Bundes- straße	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bay- ern	Bundes- straße	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bay- ern	Bundes- straße	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quelle: eigene Darstellung

Das Attribut BLD (= Bundesland) wird bereits direkt nach dem Anlegen mit einem entsprechenden Textwert ausgefüllt. Alle anderen neu erstellten Attribute werden im Laufe des Analysevorgangs mit Werten versehen. Die Berechnung der Spalte „Laenge_GP“ wurde mit dem Programm XTools vorgenommen, da die in ArcGIS implementierte Längenberechnungsroutine nur unzuverlässige Werte liefert.

Zusätzlich erstellte Attribute waren für jedes Straßenshapefile die Attribute:

- Baul_Gem (Baulast die bei der Gemeinde liegt oder nicht; mögl. Ausprägung 0/1),
- Laenge_GP (mit XTools in ArcGIS berechneter Längenwert für die Polylinie in m),
- Laenge_U (berechneter Längenwert abzüglich der Satellitenabweichung von -15m, im Falle das dies einen negativen Wert ergeben würde, erfolgte der Eintrag von 1 = 1m),
- Laenge_O (berechneter Längenwert zuzüglich der Satellitenabweichung von +15m),
- Breite_U (unterer möglicher Straßen-/Brückenquerschnitt in m für diesen Straßentyp auf Basis der FGSV Richtlinien, Eintrag wird nach Satellitenbildabgleich und ermittelter Häufigkeitsverteilung der Spuranzahl vorgenommen),
- Breite_O (oberer möglicher Straßen-/Brückenquerschnitt in m für diesen Straßentyp auf Basis der FGSV Richtlinien, Eintrag wird nach Satellitenbildabgleich und ermittelter Häufigkeitsverteilung der Spuranzahl vorgenommen),
- Breite-D (mittlerer am häufigsten vorkommender Straßen-/Brückenquerschnitt in m für diesen Straßentyp auf Basis der FGSV Richtlinien, Eintrag wird nach Satellitenbildabgleich und ermittelter Häufigkeitsverteilung der Spuranzahl vorgenommen),
- Flaeche_U (kalkulierter Wert für die untere Brückenfläche = $\text{Laenge_U} * \text{Breite_U}$),
- Flaeche_O (kalkulierter Wert für die obere Brückenfläche = $\text{Laenge_O} * \text{Breite_O}$),
- Flaeche_GP (kalkulierter Wert für die mittlere Brückenfläche = $\text{Laenge_GP} * \text{Breite_D}$),
- Baulast (Textfeld zur Eintragung der Baulastträgerschaft für das betreffende Objekt).

2.3.3.4 AUFTEILUNG DER SHAPEFILES NACH STRAßENKATEGORIEN

Bis zu diesem Zeitpunkt der Bereinigung verfügten die Shapefiles immer noch zu einem großen Teil über für die Analyse unbedeutende Bestandteile, wie beispielsweise Waldwege, Pfade, Treppen, Rampen, aber auch Autobahnen. Es bedurfte also einer weiteren Aufgliederung des Straßennetzes. Als erste der für die Analyse relevanten Kategorien wurden die Bundesstraßen aus dem Shapefile eines jeden Bundeslandes exportiert und in einem separaten Shapefile gespeichert. Hierfür wurden anhand des Attributes „ref“ diejenigen Kanten selektiert, welche über eine mit „B“ beginnende Kennziffer verfügen. Im Anschluss an die Selektion konnten die Kanten einfach in ein neues Shapefile exportiert werden. Das gleiche Verfahren wurde auch für die Landes-, Staats- bzw. Kreisstraßen angewandt, welche über die Kennziffern „L“, „S“ bzw. „K“ selektiert und exportiert werden konnten. Alle bereits exportierten Kanten wurden aus dem Ausgangsshapefile gelöscht. Zuletzt verblieb ein Kantennetz, welches Autobahnen, Gemeindestraßen sowie irrelevante Bestandteile beinhaltete. Da Gemeindestraßen nicht einfach anhand einer Kennzeichnung selektiert werden konnten, da diese in den OSM-Daten nicht aufgeführt ist (OSM-Daten verwenden englische Klassifikationen wie „motorway“, „primary“, „secondary“, „trunk“ etc.), wurde nun ein näherungsweise Verfahren zur Selektion angewandt. Dabei wurden Straßensegmente an Hand der in Tabelle 5 dargestellten Kriterien in zeitlicher Abfolge selektiert:

Tabelle 5: Kriterien und Ausprägungen zur Bereinigung der OSM-Stammdaten

Nr.	Attribut	Vorgang
1	name	Es werden alle Kanten ausgewählt, welche über einen Straßennamen verfügen.
2	living_street	Es werden alle Kanten hinzugefügt, welche dem Typ „Wohnstraße“ zugeordnet werden.
3	residential	Es werden alle Kanten hinzugefügt, welche dem Typ „Straße in besiedeltem Gebiet“ zugeordnet werden.
4	road	Es werden alle Kanten hinzugefügt, welche dem Typ „Straße“ zugeordnet werden.
5	secondary secondary_link	Es werden alle Kanten hinzugefügt, welche zwar dem Typ „gut ausgebaute Straße/mehrspurige Durchgangsstraße“ bzw. „Landes-/Staatsstraße“ zugeordnet werden, aber über keine eindeutige Kennziffer verfügen.
6	service	Es werden alle Kanten hinzugefügt, welche dem Typ „Zufahrtsstraße“ zugeordnet werden.
7	tertiary tertiary_link	Es werden alle Kanten hinzugefügt, welche zwar dem Typ „gut ausgebaute Straße/vorfahrtsberechtigte Durchgangsstraße“ bzw. „Kreisstraße“ zugeordnet werden, aber über keine eindeutige Kennziffer verfügen.
8	trunk trunk_link	Es werden alle Kanten hinzugefügt, welche zwar dem Typ „autobahnähnliche Straße“ bzw. „Landes-/Staatsstraße“ zugeordnet werden, aber über keine eindeutige Kennziffer verfügen.
9	ref	Es werden allen Kanten aus der bisherigen Selektion entfernt, welche trotz der genannten Kriterien über eine Kennzeichnung „A_“ verfügen und damit den Autobahnen zuzuordnen sind.

Quelle: eigene Darstellung

Das in Abschnitt 2.3.4 beschriebene Testverfahren zeigte, dass das näherungsweise Verfahren zur Auswahl der Gemeindestraßen eine hohe Validität aufwies, weshalb davon auszugehen ist, dass auf diese Weise das Straßennetz mit maximal möglicher Genauigkeit erfasst werden konnte.

Am Ende dieses Schrittes standen so für jedes Bundesland vier Shapefiles zur Verfügung. Diese enthielten die Straßen und Brücken für Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen des jeweiligen Bundeslandes. Aus diesen konnten dann später die Brücken jeder Kategorie für jedes Bundesland über das Attribut „bridge“ herausgefiltert und zu einem Shapefile „XX_Bruecken_in_kommunaler_Baulast.shp“ verschmolzen werden.

In den Stadtstaaten existieren wegen der Nichtexistenz von Landes- und Kreisstraßen nur Straßenshapefiles für Bundes- und Gemeindestraßen.

In Bayern und im Saarland traten die Besonderheiten auf, dass

- in Bayern keine einheitliche Bezeichnung der Kreisstraßen mit „K“ vorhanden ist und die Bezeichnung kreisnamensabhängig erfolgt,
- im Saarland keine Kreisstraßen existieren, sondern dass hier zwischen Landesstraßen 1. Ordnung und jenen 2. Ordnung unterschieden wird, die Landesstraßen 2. Ordnung aber in die Baulast des Kreises fallen.

Diese Straßen wurden händisch aus dem Gesamtdatenbestand des Bundeslandes isoliert.

2.3.3.5 ZUSAMMENFÜHRUNG IN DER GEODATENBANK

Als Ergebnis dieser Bereinigungsprozedur standen zur Weiterbearbeitung nun für jedes Bundesland 4 Shapefiles zur Verfügung, welche das Straßennetz und dessen Hierarchie repräsentierten. Das erste Shapefile beinhaltete die Bundesstraßen, das zweite die Landesstraßen, das dritte die Kreisstraßen und das vierte die Gemeindestraßen. Werden alle Shapefiles übereinander gelegt, erhält der Nutzer ein nahezu lückenloses Abbild des Straßensystems für das jeweilige Bundesland.

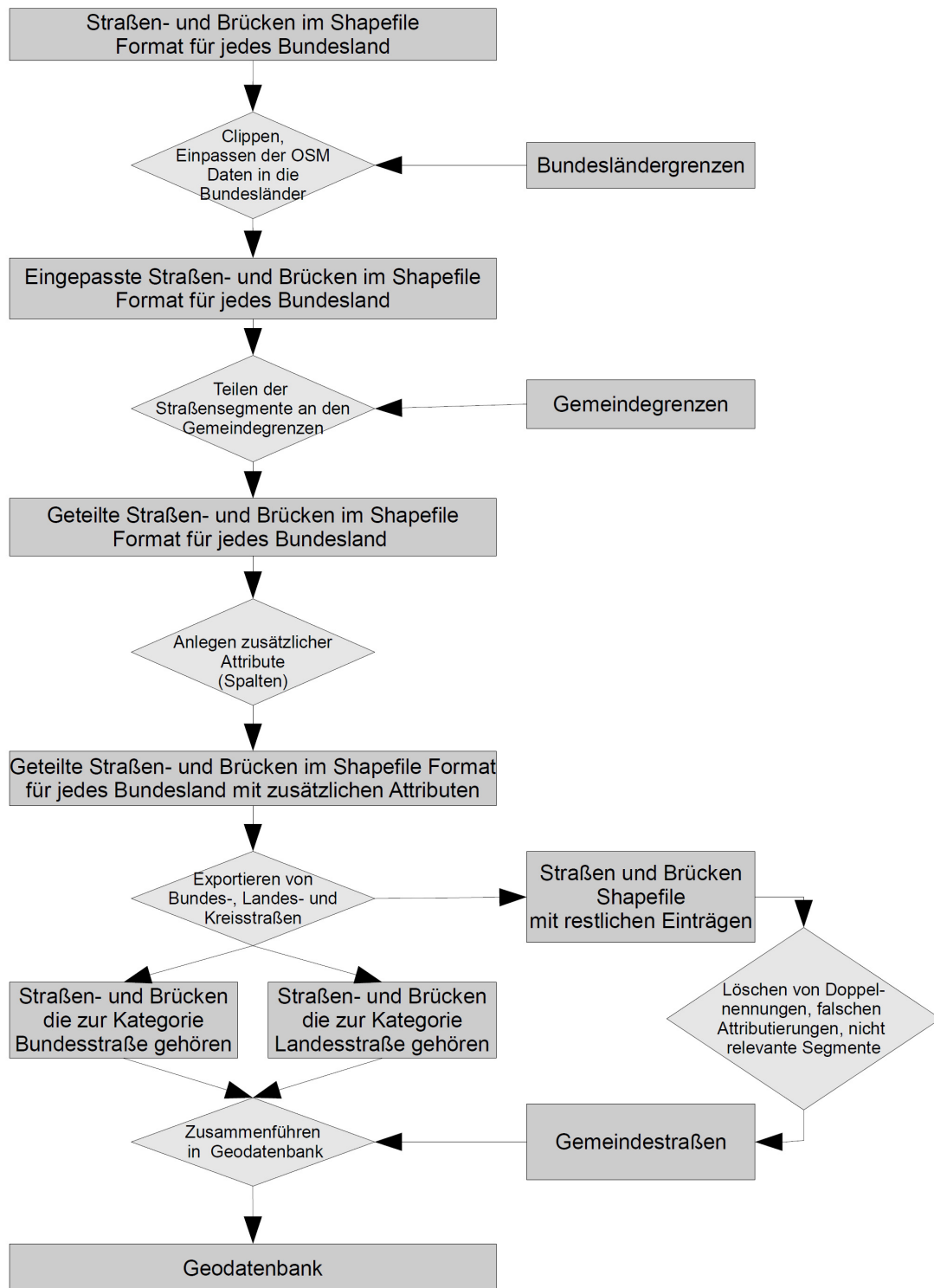
Die Aufspaltung in die verschiedenen Straßenkategorien hat den Umfang des erzeugten Datensystems massiv erhöht, wodurch eine strukturierte Ablage der Daten im Hinblick auf eine anwenderfreundliche Bereitstellung immer mehr an Bedeutung gewann. Um diese zu gewährleisten, wurden die verschiedenen Shapefiles in eine speziell auf die Bedürfnisse räumlicher Daten ausgelegte Datenbank überführt. Die Datenbank verringert durch Komprimierung den Speicherbedarf deutlich und ermöglicht einen übersichtlichen Zugriff auf die Bestandteile des Straßensystems durch vorherige Auswahl des Bundeslandes. Die so aufgebaute Geodatenbank kann im Laufe des weiteren Projektverlaufes um weitere Daten und Ergebnisse ergänzt werden. Auch der Auftraggeber kann die Datenbank im weiteren Verlauf an seine Bedürfnisse anpassen und gegebenenfalls mit weiteren Daten ergänzen. Es bleibt jedoch darauf hinzuweisen, dass die erzeugte Geodatenbank ein eigenes vom Hersteller ESRI entwickeltes Dateiformat darstellt und entsprechend nur mit Software ebendieses Herstellers verwendet werden kann.

Des Weiteren wurde während der Arbeiten deutlich, dass bei Berechnungen und räumlichen Abfragen innerhalb der Geodatenbank erhebliche Fehler auftraten. Aus diesem Grund wurden alle Berechnungen und Abfragen zunächst in separaten Shapefiles durchgeführt und diese danach in die Geodatenbank integriert. Dem Auftraggeber werden beide Dateiformate zur Verfügung gestellt. Es sei hier darauf verwiesen, dass weitergehende Berechnungen außerhalb der Geodatenbank erfolgen sollten, generelle Werteabfragen und -selektionen aber zu verlässlichen Werten führen.

2.3.3.6 ZUSAMMENFASSUNG DER AUFBEREITUNG DER STRAßENSHAPEFILES

Durch das beschriebene Verfahren konnte auf Grundlage einer „Open-Source“-Datenbank des OSM-Projektes eine erste gesamtdeutsche Übersicht des hierarchisch untergliederten Straßennetzes erzeugt werden. Das in Abbildung 16 nochmals in der Übersicht veranschaulichte Verfahren hat den Anspruch, auf Grundlage der Qualität der Eingangsdaten ein möglichst realistisches Abbild des deutschen Straßensystems für die weitere Bearbeitung zur Verfügung zu stellen.

Abbildung 16: Verfahrensschritte zur Aufbereitung der OSM-Daten und Isolation von Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen

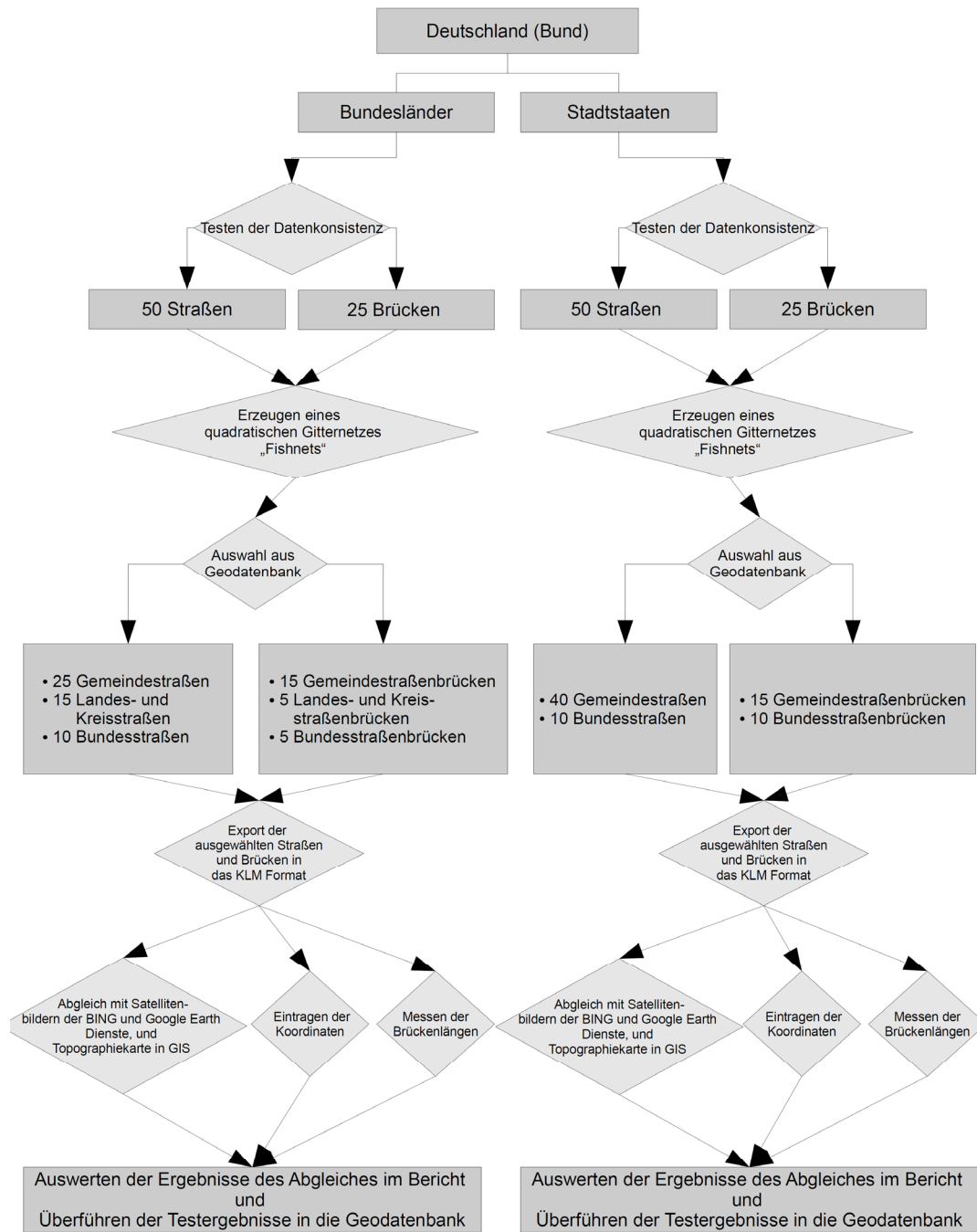


Quelle: eigene Darstellung

2.3.4 Testverfahren zur Überprüfung der Daten auf Vollständigkeit

Der Test der Daten auf Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der Datengrundlage ist in jedem Projekt ein wichtiger Bestandteil. Besondere Bedeutung hat dieses Verfahren im Umgang mit georeferenzierten Daten. Aus diesem Grund mussten die Daten einer genauen Prüfung unterzogen werden. Zu diesem Zweck wurden in jedem Bundesland 50 Straßen sowie 25 Brücken zur Kontrolle herangezogen. Der Ablauf des Testverfahrens unterschied sich deutlich zwischen Flächen- und Stadtstaaten und kann in Abbildung 17 nachvollzogen werden. Wie dargestellt, erscheint die Herangehensweise zunächst identisch. Um die entscheidenden Unterschiede herauszustellen, soll im Folgenden die Herangehensweise exemplarisch an Mecklenburg-Vorpommern und Bremen erläutert werden.

Abbildung 17: Testverfahren zur Kontrolle der Abbildungsgenauigkeit der OSM-Daten

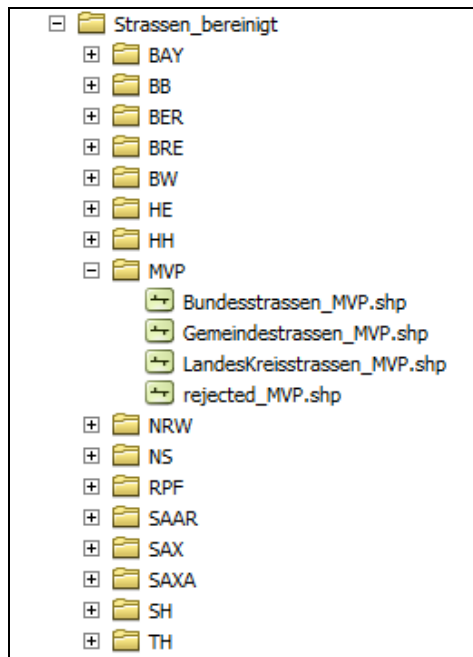


Quelle: eigene Darstellung

2.3.4.1 DAS TESTVERFAHREN FÜR EINEN FLÄCHENSTAAT AM BEISPIEL VON MECKLENBURG-VORPOMMERN

Um die Validität der bereinigten OSM-Shapefiles zu überprüfen, sollten 50 Straßen und 25 Brücken je Bundesland zufällig ausgewählt und auf Existenz sowie Kategorisierung getestet werden.

Abbildung 18: Übersicht der zu testenden Shapefiles am Beispiel Mecklenburg Vorpommerns

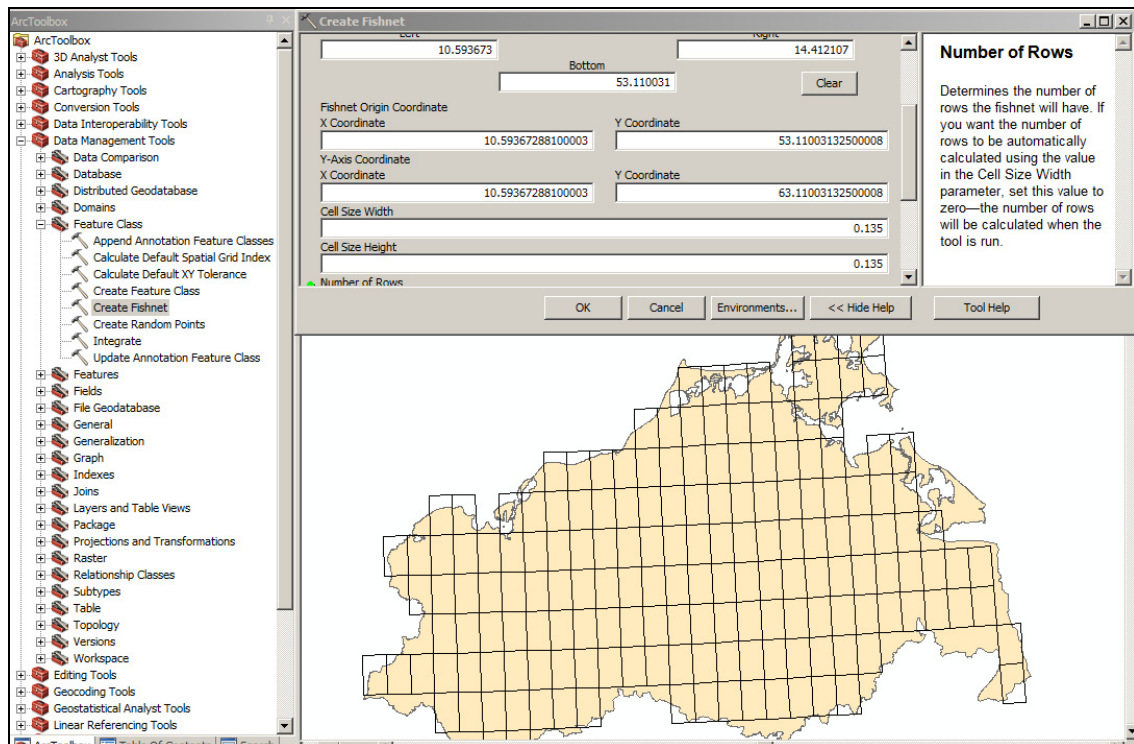


Quelle: eigene Darstellung

Die Auswahl der Testfälle beschränkte sich auf die durch die Bereinigung der OSM-Daten gewonnenen Datensätze für Bundes-, Landes-, Kreisstraßen und Gemeindestraßen (vgl. Abbildung 18). Der Abgleich mit Satellitenbildern diente vor allem dem Ziel einen Überblick darüber zu gewinnen, wie akkurat das Straßennetz über die Gesamtfläche eines jeden Bundeslandes erfasst und kategorisiert wurde. Die Validitätsprüfung umfasste folgende Schritte:

1. Als primäre Voraussetzung für den Test wurde, wie bereits im Vorfeld beschrieben, das Straßennetz jedes Bundeslandes in Shapefiles mit den Kategorien Bundesstraßen, Gemeindestraßen sowie Landes- und Kreisstraßen aufgeteilt und entsprechend bereinigt. Auf diese Weise wurde der Umfang der Daten auf ein Maß reduziert, welches eine Analyse im Rahmen eines Geoinformationssystems gewährleistet.
2. Im zweiten Schritt wurde ein quadratisches Gitternetz („Fishnet“) für jedes Bundesland erzeugt, um eine Auswahlregel für den Test auf Datenkonsistenz des Straßenshapefiles abzuleiten. Hierzu wurde das Tool „Fishnet erstellen“ aus dem Bereich „Data Management Tools“ der ArcToolbox verwendet. Für Flächenstaaten wurde das Gitternetz mit einem Faktor von 0,135 der Gesamtfläche erzeugt und ermöglicht somit eine, wie in Abbildung 19 dargestellte, gleichmäßige Unterteilung des Bundeslandes in Sektoren.

Abbildung 19: Prüfraster "Fishnet" am Beispiel Mecklenburg Vorpommerns



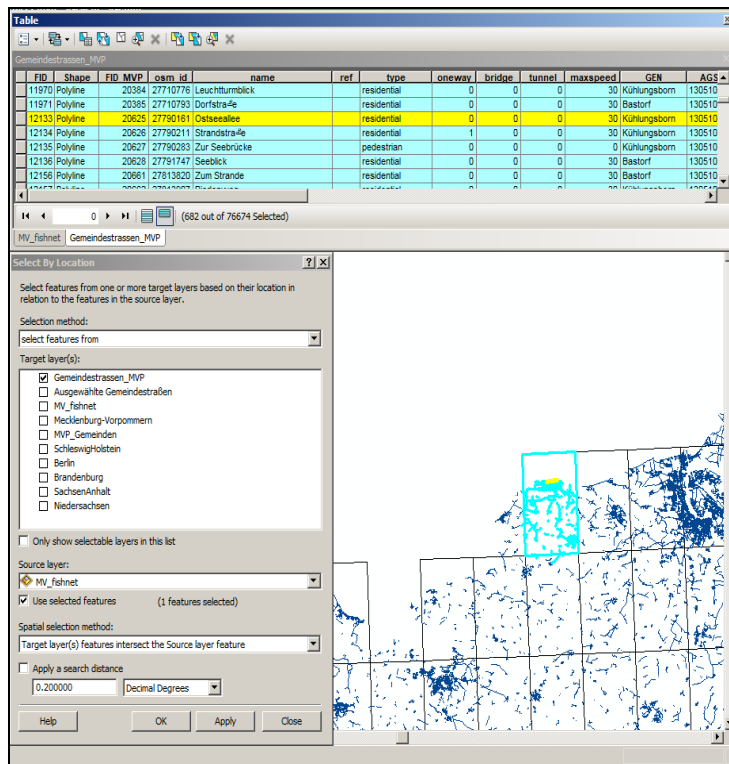
Quelle: eigene Darstellung

- Im Anschluss wurden, basierend auf einer eigens zu diesem Zweck entwickelten Auswahlregel, aus der Grundgesamtheit Stichproben von 50 Straßen (25 Gemeindestraßen, 15 Landes- bzw. Kreisstraßen und 10 Bundesstraßen) pro Bundesland gezogen. Zusätzlich wurden 15 Brücken auf Gemeindestraßen sowie 5 auf Landes- bzw. Kreisstraßen und 5 auf Bundesstraßen getestet. Die Regeln zur Gewinnung der Stichproben pro Kategorie sind den folgenden Abschnitten zu entnehmen.

Auswahlregel für Gemeindestraßen

Die Anzahl der Gitterzellen für jedes Bundesland war größer als 25. Entsprechend wurde zunächst die Zahl der Zellen durch 25 dividiert und das Ergebnis aufgerundet. Das Ergebnis stellt das Auswahlintervall für die Zellen zur Selektion einer Gemeindestraße dar. Im Fall von Mecklenburg-Vorpommern ergab die Division der 170 Gitterzellen durch 25 ein Intervall von 7. Folglich wurde beginnend in der nord-westlichsten Zelle in jeder 7.Zelle eine Gemeindestraße für den Test selektiert. Für diese Auswahl wurde das Verfahren „Select by Location“ angewandt. Abbildung 20 veranschaulicht die Auswahl der Zellen und der unterschiedlichen Netzsegmente.

Abbildung 20: Auswahl der Prüfzellen in ArcGIS und Straßennetz im Hintergrund



Quelle: eigene Darstellung

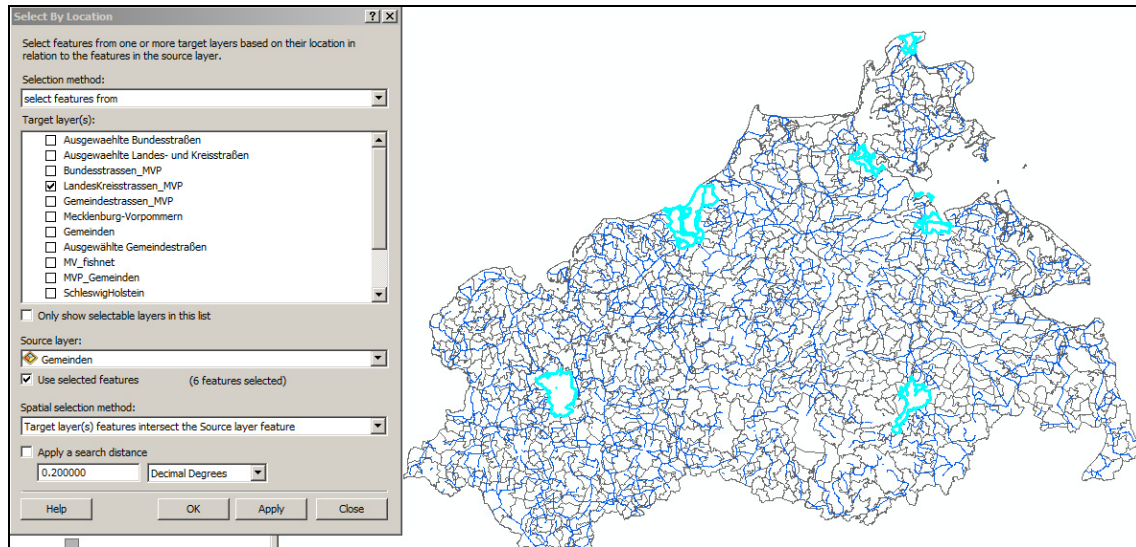
Auswahlregel für Landes-, Kreis- und Bundesstraßen

Wie bereits zuvor beschrieben, mussten die Stichproben für Landes- bzw. Kreis- und Bundesstraßen lediglich aus den Kommunen erfasst werden, welche aufgrund ihrer Bevölkerungszahl (siehe Abschnitt 2.3.1) die Baulast für jene Straßen tragen. Zunächst wurden diese Gemeinden auf Grundlage ihrer Attributierung im Gemeindefile ausgewählt.

Lag die Anzahl der Gemeinden mit kommunaler Baulast für Landes- und Kreisstraßen oberhalb von 15 (für Bundesstraßen oberhalb von 10), so wurde die Anzahl der ausgewählten Gemeinden durch 15 (bzw. 10) dividiert und der resultierende aufgerundete Faktor zur Auswahl der Gemeinden angewandt. Im Anschluss wurde aus jeder der zuvor selektierten Gemeinden genau eine Straße für den Abgleich ausgewählt. Lag die Anzahl der Gemeinden mit entsprechender kommunaler Baulast jedoch unterhalb der zu selektierenden Anzahl, wurde hier die Anzahl der zu selektierenden Straßenkategorie durch die Anzahl der Gemeinde mit entsprechender Baulast dividiert, das Ergebnis jedoch abgerundet und im Anschluss eine dem Faktor entsprechende Anzahl von Straßen aus jeder Gemeinde selektiert.

Im Beispiel von Mecklenburg-Vorpommern lag die Anzahl der Gemeinden mit kommunaler Baulast für Landes- bzw. Kreisstraßen bei 6 und für Bundesstraßen bei 3. Die Anzahl lag also jeweils deutlich unterhalb der geforderten Straßenauswahl von 15 bzw. 10. Folglich wurden die 15 zu selektierenden Landes- bzw. Kreisstraßen durch die 6 Gemeinden mit korrespondierender Baulast dividiert und dem Ergebnis entsprechend aus jeder der 6 Gemeinden 2 Straßen für den Test selektiert (vgl. Abbildung 21). Um die verbleibenden 3 Straßen auf Gemeindeebene zu selektieren, wurde abermals eine Straße aus jeder zweiten Gemeinde in der Liste ausgewählt.

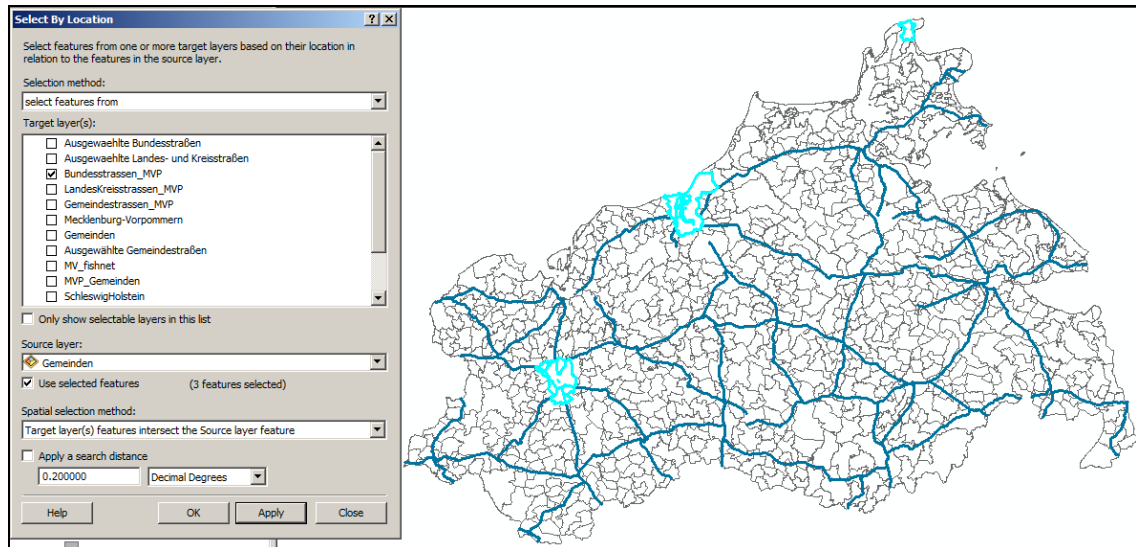
Abbildung 21: Gemeinden in Mecklenburg Vorpommern mit kommunaler Baulastträgerschaft für Bundes-, Landes- und Kreisstraßen (hervorgehobene Elemente)



Quelle: eigene Darstellung

Das gleiche Verfahren wurde, wie in Abbildung 22 dargestellt, für die Bundesstraßen in den korrespondierenden Kommunen angewandt.

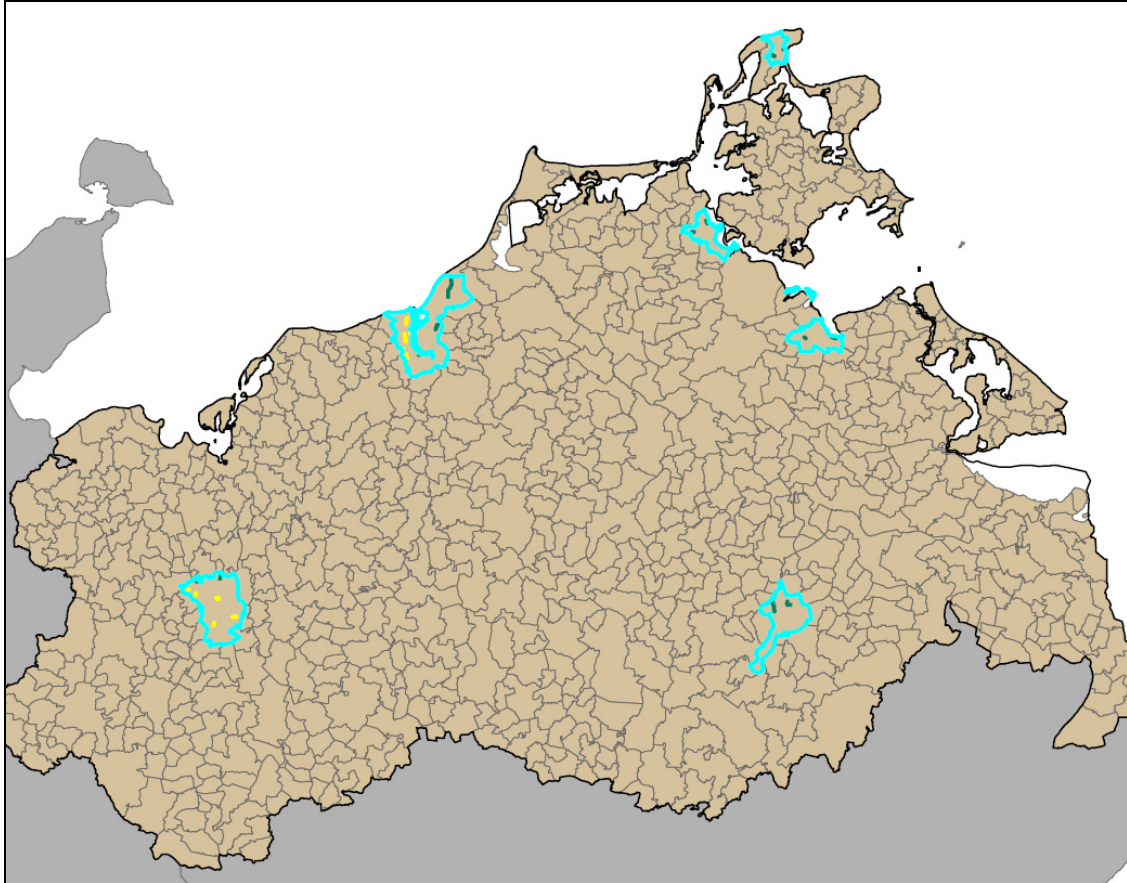
Abbildung 22: Selektion von Bundesstraßen in kommunaler Baulast (hervorgehobene Elemente)



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 23 zeigt das Ergebnis der Selektionen zusammengefasst für Landes-, Kreis- und Bundesstraßen.

Abbildung 23: Ausgewählte Bundesstraßen (gelb) und ausgewählte Landes- und Kreisstraßen (grüne) am Beispiel von Mecklenburg Vorpommern

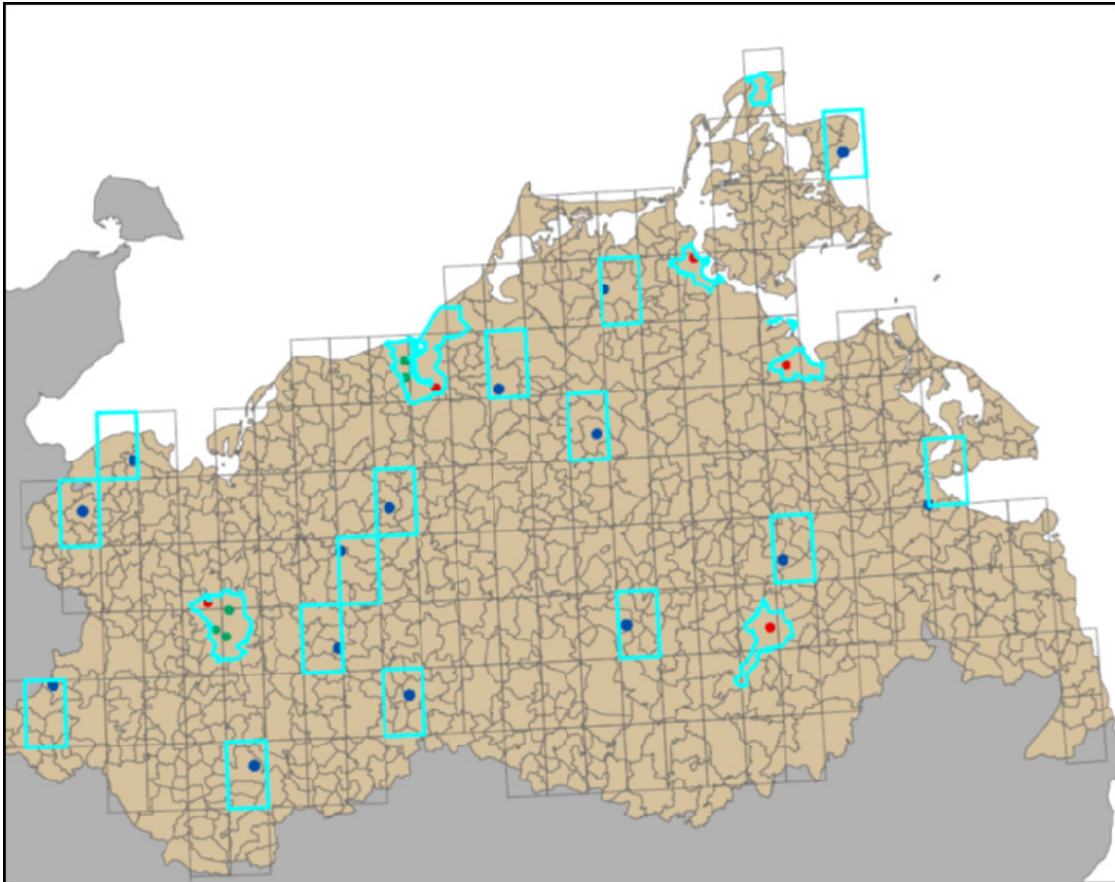


Quelle: eigene Darstellung

Auswahlregel für Brücken

Das Auswahlverfahren für die 25 Brücken der 3 Kategorien erfolgte nach dem gleichen Prinzip wie zuvor die Selektion der Landes-, Kreis- und Bundesstraßen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei der Auswahl der Gemeinden in diesem Fall nicht nur die Baulastträgerschaft, sondern auch das prinzipielle Vorhandensein von Brücken in entsprechender Baulast berücksichtigt werden musste. In Abbildung 24 ist das Auswahlresultat der Brücken in kommunaler Baulast für Mecklenburg-Vorpommern dargestellt.

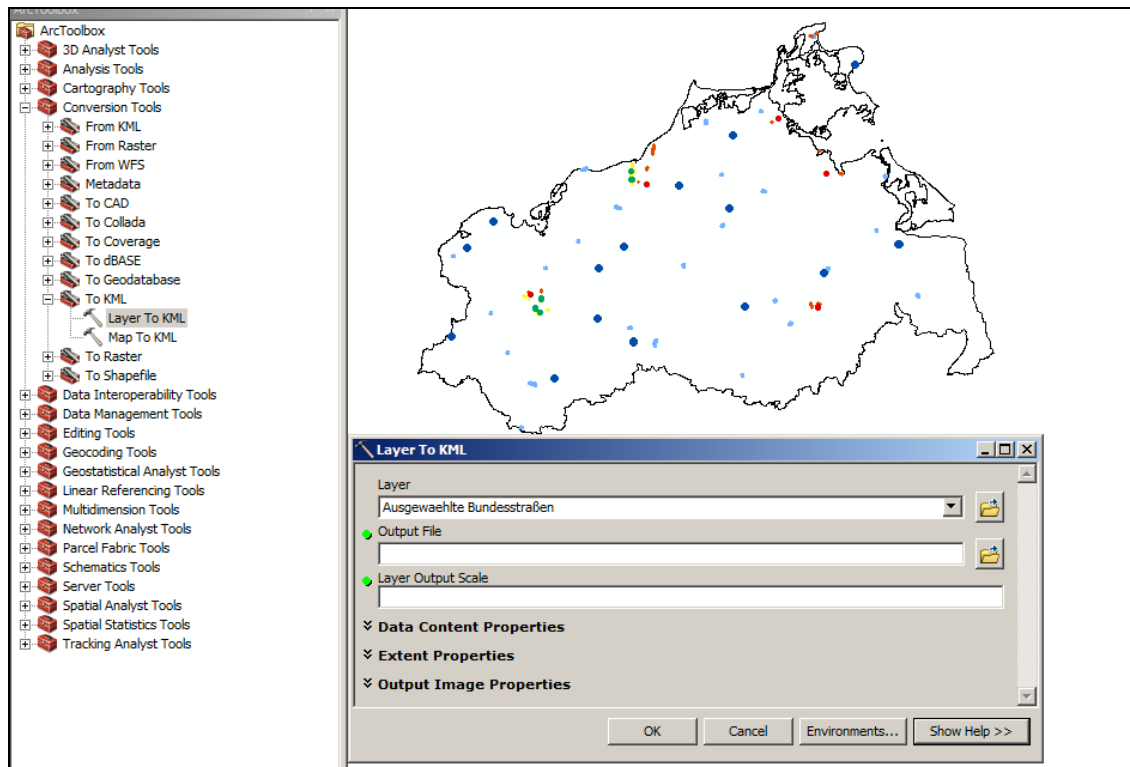
Abbildung 24: Übersicht über die geprüften Brücken auf Basis des Rasters am Beispiel von Mecklenburg-Vorpommern mit Bundesstraßen (grün), Landes- und Kreisstraßen (rot) und Gemeindestraßen (blau)



Quelle: eigene Darstellung

4. Im nächsten Schritt wurden die zuvor selektierten Straßen und Brücken in KMZ-Dateien exportiert, um diese in Google Earth öffnen zu können. Dies erfolgte durch die Nutzung der „Conversion Tools“ in ArcGIS (vgl. Abbildung 25).

Abbildung 25: KMZ Export der selektierten Segmente zur Benutzung in Google Earth



Quelle: eigene Darstellung

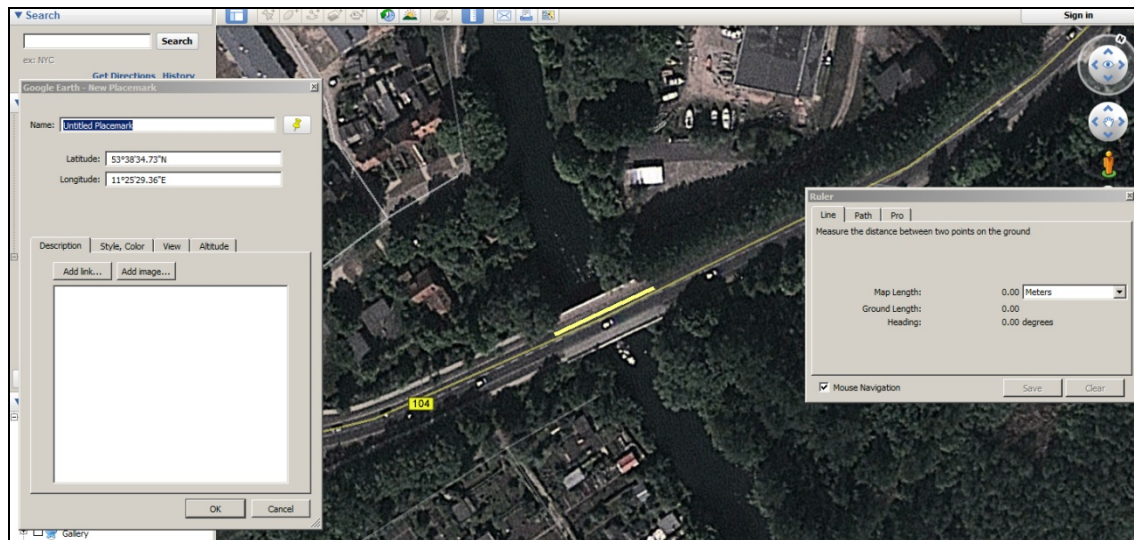
5. Mittels des durch die Darstellung in Google Earth ermöglichten Abgleichs mit Satellitenbildern wurden die Brücken und Straßen auf ihre Existenz, Kategorisierung und die räumliche Darstellungsgüte hin überprüft. Dazu wurden folgende Eigenschaften für jedes Element überprüft und in einer Tabelle vermerkt:

- OSM-ID
- Auszug aus dem Satellitenbild
- Validität der zuvor angenommenen Kategorie
- Geographische Koordinaten
- Kategorie
- Anzahl Fahrspuren
- Gemessene Länge (nur für Brücken).

Zuletzt wurden die Auswahl und die Eigenschaften der Testobjekte in die Geodatenbank übernommen. Abbildung 26 zeigt den Satellitenabgleich einer Brücke in Mecklenburg-Vorpommern und Abbildung 27 die Erfassung in der Tabelle.

Die Tabellen mit den Ergebnissen der Prüfung befinden sich auf der Daten-DVD im Ordner „Satellitenbildabgleich“.

Abbildung 26: Google Earth Abgleich einer Brücke in Mecklenburg-Vorpommern



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 27: Erfassung der Testergebnisse in einer Tabelle

Row	No- Straßenshapefile (OSM id)	Bild Schnappschuss	Vorhanden, Nicht vorhanden, Falsch kategorisiert	Koordinaten	Eigene Klassifikation laut Shapefile	Anzahl Fahrspuren
1	7977480		vorhanden	54°38'8.57"N 13°21'19.65"E	Gemeindestraße	1
2	23611335		vorhanden	53°30'5.36"N 13° 4'45.55"E	Gemeindestraße	2
3	24792994		vorhanden	53°46'2.02"N 11°27'30.98"E	Gemeindestraße	2

Quelle: eigene Darstellung

2.3.4.2 DAS TESTVERFAHREN FÜR EINEN STADTSTAAT AM BEISPIEL VON BREMEN

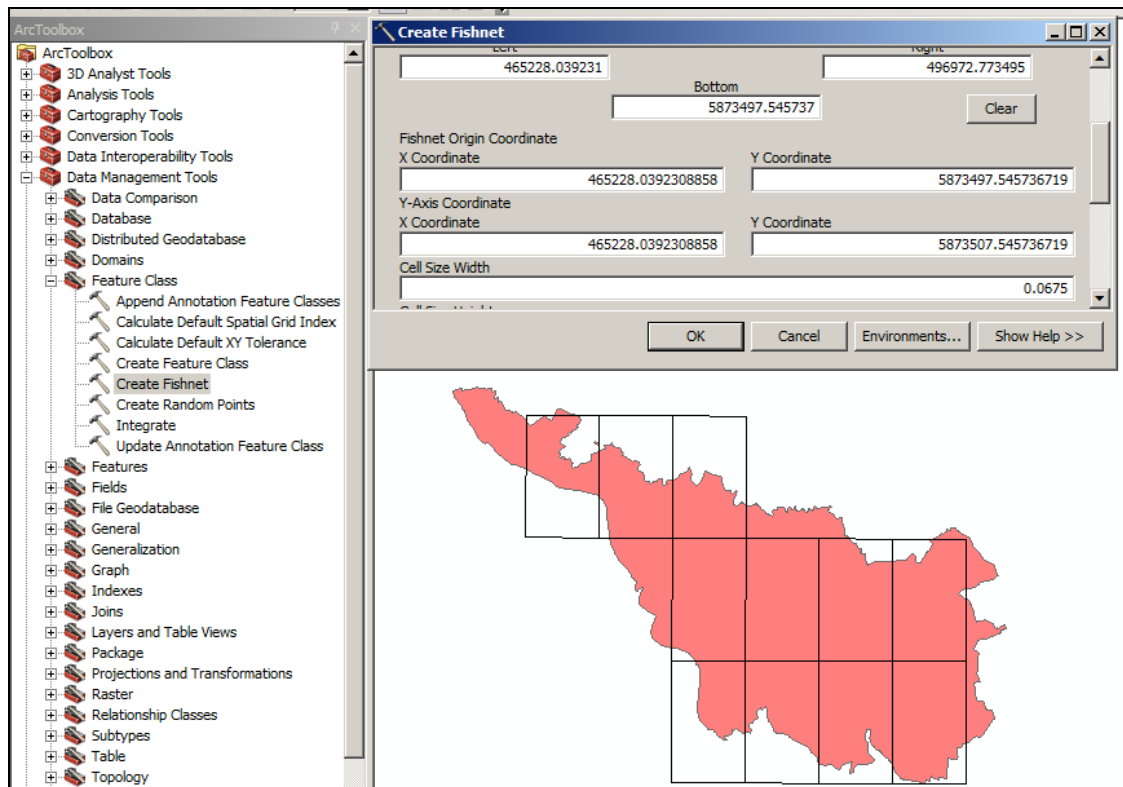
Wie bereits zuvor beschrieben, ähneln sich die Testverfahren für Flächen- und Stadtstaaten sehr, sind aber nicht identisch. Die Unterschiede liegen hauptsächlich in der Abweichung bei der Kategorisierung von Straßen (in Stadtstaaten gibt es keine Kreisstraßen) sowie der folglich unterschiedlichen Auswahlregeln. Im Folgenden wird das Testverfahren für Stadtstaaten exemplarisch am Bundesland Bremen erläutert:

1. Der erste Verfahrensschritt ist mit dem der Flächenstaaten identisch. So wurde auch hier das Straßennetz jedes Bundeslandes in Shapefiles mit den Kategorien Bundesstraßen und Gemeindestraßen aufgeteilt und entsprechend bereinigt.
2. Auch für die Stadtstaaten wurde im zweiten Verfahrensschritt ein Gitternetz mit Hilfe der „Fishnet“-Funktion erzeugt. Aufgrund der geringeren Fläche wurde jedoch die Zellengröße mit dem Faktor 0.0675 deutlich kleiner angesetzt. Dies sollte gewährleisten, dass trotz der geringeren Fläche eine vergleichbare Auswahlregel implementiert werden kann.
3. Aufgrund der Sonderstellung eines Stadtstaates, welche das Gebiet sowohl als Bundesland als auch als Gemeinde ausweist, existieren in diesen Gebieten keine Landes- und Kreisstraßen. Aufgrund dessen wurde die zuvor auf die Flächenstaaten angewandte Auswahlregel für Straßen dahingehend angepasst, dass 40 Gemeindestraßen und 10 Bundesstraßen in den Test einbezogen wurden. In Bezug auf die Auswahl der Brücken wurde eine Anzahl von 15 Brücken auf Gemeindestraßen und Bundesstraßen festgelegt. Der detaillierte Auswahlprozess wurde wie folgt durchgeführt:

Auswahlregel für Gemeindestraßen

Lag die Anzahl der Gitterzellen in einem Stadtstaat unterhalb von 40, so wurde die gleiche Auswahlregel wie für Landes- bzw. Kreisstraßen in Flächenländern angewandt. Folglich wurde die Anzahl der Gitterzellen durch 40 dividiert und das Ergebnis abgerundet. Das Resultat stellte die Anzahl von Gemeindestraßen dar, welche anschließend aus jeder Gitternetzzone ausgewählt wurden. Die verbliebenen Gemeindestraßen wurden im Intervall von 3 aus den Gitterzellen selektiert (beginnend in der nord-westlichsten Zellen). Technisch entsprach die Auswahl der in den Flächenstaaten, was Abbildung 28 verdeutlicht.

Abbildung 28: Prüfraster Stadtstaaten am Beispiel von Bremen



Quelle: eigene Darstellung

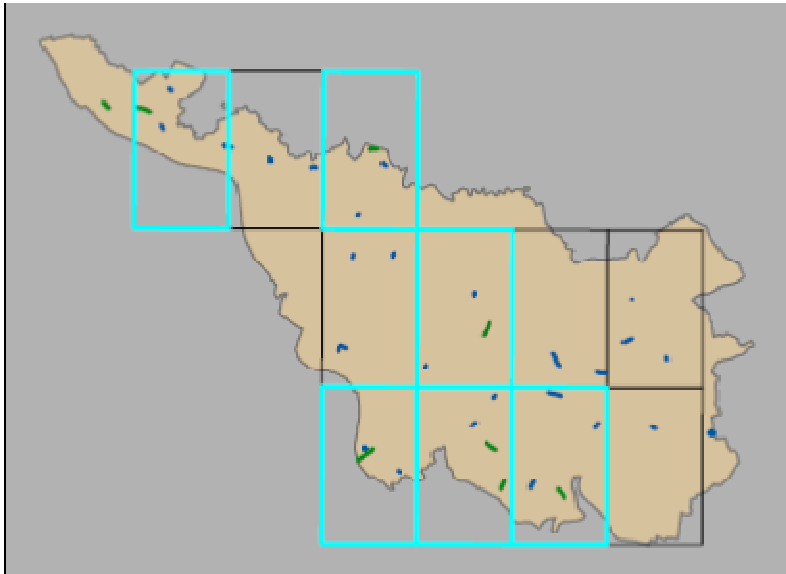
Auswahlregel für Bundesstraßen

Zunächst wurden jene Gitterzellen ausgewählt, welche Bundesstraßen enthielten. Zu diesem Zweck konnte abermals die Methode „Selection by Location“ angewandt werden. Lag im Anschluss die Anzahl der Gitterzellen oberhalb von 10, so wurde diese durch 10 dividiert, das Ergebnis abgerundet und als Intervall zur Auswahl der Bundesstraßen aus den Gitternetzzenen eingesetzt. Lag die Anzahl der Bundesstraßen beinhaltenden Zellen unterhalb von 10, wurde die gleiche Auswahlregel wie bei Gemeindestraßen angewendet.

Im Fall von Bremen umfasste das Gitternetz insgesamt 16 Zellen, von denen 8 Bundesstraßen beinhalteten. Folglich wurde die Anzahl durch 10 dividiert und das Ergebnis auf 1 abgerundet. Dem entsprechend wurde zunächst aus jeder Gitternetzzenle eine Bundesstraße ausgewählt und im zweiten Schritt zwei weitere Straßen aus der dritten und sechsten zuvor selektierten Gitternetzzenle ergänzt. Abbildung 29 zeigt die ausgewählten Straßen für das Bundesland Bremen.

4. Im vierten Schritt wurden, dem gleichen Verfahren folgend, die Brücken auf Gemeinde- und Bundesstraßen für die Selektion ausgewählt.
5. Im fünften Schritt wurden die selektierten Straßen und Brücken zunächst in separate Shapefiles sowie in KMZ-Dateien überführt.
6. Im letzten Schritt erfolgte der Abgleich mit den Satellitenbildern aus Google Earth auf demselben Weg wie zuvor in Schritt 5 des Testverfahrens für die Flächenländer.

Abbildung 29: Ausgewählte Netzsegmente am Beispiel von Bremen [hier ohne Bremerhaven] mit Bundesstraßen (grün) und Gemeindestraßen (blau)



Quelle: eigene Darstellung

2.3.4.3 ERGEBNISSE DER VOLLSTÄNDIGKEITSANALYSE

Nachdem die Regeln für die Validitätsprüfung der Daten ausführlich beschrieben wurden, soll an dieser Stelle auf die Ergebnisse dieses Prozesses eingegangen werden. Dabei soll wiederum zwischen Flächen- und Stadtstaaten sowie zwischen Brücken und Straßen unterschieden werden.

Ergebnisse der Vollständigkeitsanalyse für Straßen in den 13 Flächenstaaten

Im Ergebnis der Vollständigkeitsanalyse der Flächenstaaten zeigte sich, dass die Datengrundlage wie auch die bereinigte Datengrundlage ein sehr hohes Maß an Vollständigkeit aufwies. Wie in der zweiten Spalte von Tabelle 6 dargestellt, waren lediglich in zwei Bundesländern (Mecklenburg-Vorpommern und Nordrhein-Westfalen) Straßen ausgewiesen, welche im Satellitenabgleich nicht ausfindig gemacht werden konnten. Es konnten also 99,5 Prozent der getesteten Straßen mit dem Attribut „vorhanden“ ausgezeichnet werden, was für eine sehr hohe Genauigkeit des Datensatzes spricht (insgesamt 650 Straßen getestet, davon nur 3 Straßen nicht vorhanden).

Tabelle 6: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Straßen der Flächenländer

Bundesland	Anteil (%) der Straßen in der Analyse mit dem Ergebnis	
	nicht vorhanden	falsch kategorisiert
Baden Württemberg	0	0
Bayern	0	6
Brandenburg	0	6
Hessen	0	8
Mecklenburg-Vorpommern	2	0
Niedersachsen	0	4
Nordrhein-Westfalen	4	0
Rheinland Pfalz	0	0
Saarland	0	2
Sachsen	0	0
Sachsen-Anhalt	0	0
Schleswig Holstein	0	6
Thüringen	0	0

Quelle: eigene Darstellung

Eine höhere Quote wies hingegen die Zahl der falsch kategorisierten Straßen (in die Typen Bundes-, Landes-/Kreis- und Gemeindestraßen) auf. Wie in Spalte 3 von Tabelle 6 dargestellt, lag deren prozentualer Anteil zwischen den Bundesländern bei 0-8 Prozent. Insgesamt waren aber von insgesamt 650 getesteten Straßen nur 16 Straßen der falschen Straßenkategorie zugeordnet. Damit lag das Ergebnis dieser Analyse mit 97,5 Prozent exakt kategorisierter Straßen zwar unter dem Ergebnis des ersten Tests, aber weiterhin in einem sehr realistischen Bereich.

Insgesamt ergab die Datengrundlage in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt beim Test der Straßen eine 100 prozentige Validität.

Ergebnisse der Vollständigkeitsanalyse für Brücken in den 13 Flächenstaaten

Auch bei der Analyse der Vollständigkeit der zuvor ausgewählten Brücken in den Flächenstaaten konnte die Datengrundlage überzeugen. Wie in Tabelle 7 dargestellt, konnten lediglich in Baden-Württemberg 2 Brücken nicht im Satellitenbild gefunden werden. Bei insgesamt 325 getesteten Fällen erwiesen sich also ca. 99,4 Prozent als exakt verortet.

Tabelle 7: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Brücken der Flächenländer

Bundesland	Anteil (%) der Brücken in der Analyse mit dem Ergebnis	
	nicht vorhanden	falsch kategorisiert
Baden Württemberg	8	0
Bayern	0	24
Brandenburg	0	0
Hessen	0	8
Mecklenburg-Vorpommern	0	0
Niedersachsen	0	20
Nordrhein-Westfalen	0	0
Rheinland Pfalz	0	0
Saarland	0	0
Sachsen	0	0
Sachsen-Anhalt	0	0
Schleswig Holstein	0	6
Thüringen	0	0

Quelle: eigene Darstellung

Eine deutlich größere Abweichung zwischen den Flächenstaaten ergab die Analyse auf die richtige Straßenkategorie. Wie ebenfalls in Tabelle 7 dargestellt, lag die Spannweite von falsch kategorisierten Straßen zwischen den Bundesländern bei 0 bis 24 Prozent und damit deutlich höher als in allen vorangegangenen Tests, wobei insgesamt die Zahl der Flächenstaaten ohne falsche Kategorisierung mit 8 klar überwog. Folglich waren von allen 325 getesteten Brücken nur 14 einer falschen Kategorie zugeordnet, was einem Anteil von unter 5 Prozent entspricht.

Nachdem in der Vollständigkeitsanalyse der Brücken insgesamt 7 Flächenstaaten eine 100 prozentige Validität aufweisen konnten, erwies sich alles in allem die Datengrundlage in Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt als vollständig.

Ergebnisse der Vollständigkeitsanalyse für Straßen in den 3 Stadtstaaten

Bei den Stadtstaaten zeigte sich ein ähnliches Ergebnis bei der Vollständigkeitsanalyse der Straßen, wie bei den Straßen der Flächenstaaten. Von den 150 getesteten Straßen konnten nur eine nicht im Satellitenbild nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 8). Damit lag die Validität der Datengrundlage für die Straßen in den Stadtstaaten mit 99,3 Prozent nur marginal unter der in den Flächenstaaten.

Tabelle 8: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Straßen der Stadtstaaten

Bundesland	Anteil (%) der Straßen in der Analyse mit dem Ergebnis	
	nicht vorhanden	falsch kategorisiert
Berlin	0	2
Bremen	0	0
Hamburg	2	0

Quelle: eigene Darstellung

Ein ähnliches Bild zeigt auch die Analyse der Kategorisierungen. Lediglich eine von insgesamt 150 getesteten Straßen musste im Zuge des Abgleichs mit den Satellitenbildern einer anderen als der ursprünglichen Kategorie zugeordnet werden. Damit lag der Anteil der korrekt kategorisierten Straßen bei 99,3 Prozent und damit über der in den Flächenstaaten. Bremen zeigte als einziger Stadtstaat eine 100 prozentige Validität im Verortungs- und Kategorisierungstest.

Ergebnisse der Vollständigkeitsanalyse für Brücken in den 3 Stadtstaaten

Bei der Analyse der Brücken in den Stadtstaaten wurden insgesamt 75 Brücken getestet. In allen Fällen erwies sich die Datengrundlage als 100 Prozent valide. Wie in Tabelle 9 dargestellt, konnten alle Brücken im Satellitenabgleich verortet werden. Auch stimmten im Test alle Eingangskategorien mit denen in Google Earth/Maps überein. Sowohl bei den Brücken als auch bei den Straßen zeigte Bremen mit 100 Prozent die höchste Validität.

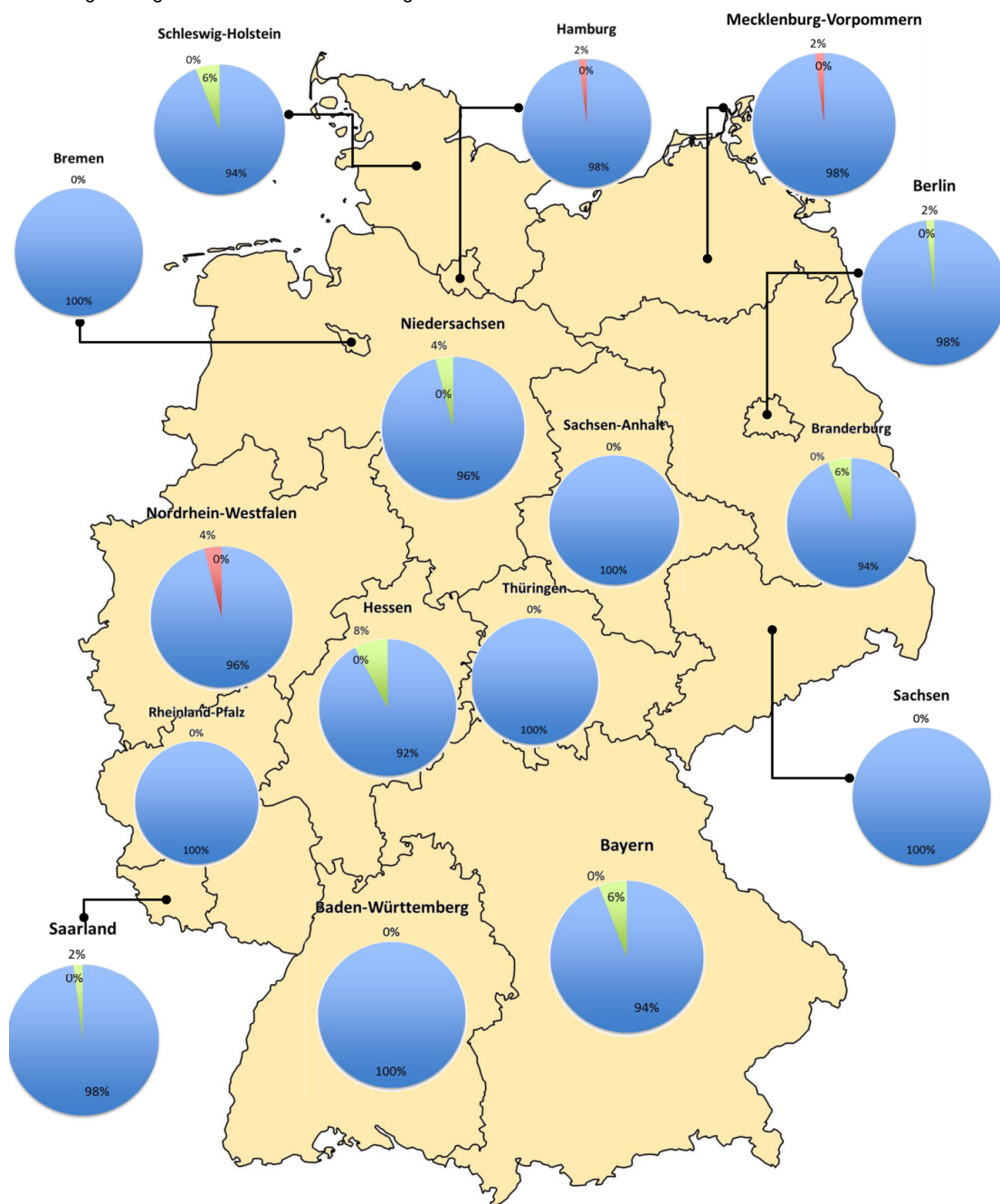
Tabelle 9: Satellitenbildabgleich der OSM-Daten für die Brücken der Stadtstaaten

Bundesland	Anteil (%) der Brücken in der Analyse mit dem Ergebnis	
	nicht vorhanden	falsch kategorisiert
Berlin	0	0
Bremen	0	0
Hamburg	0	0

Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt konnte die bereinigte Datengrundlage eine sehr hohe Validität bestätigen. In allen Tests bei Straßen und Brücken lag die Abweichung der Daten im Vergleich zu den Satellitendaten bei unter fünf Prozent. In der Abbildung 30 und der Abbildung 31 werden die Ergebnisse in ihrer räumlichen Verteilung im Kartenformat dargestellt. Die positiven Ergebnisse zeigen, dass die OSM-Daten per se ein hohes Maß an Vollständigkeit bieten. Des Weiteren wird damit die Qualität der in den Abschnitten 2.2.4.1 und 2.2.4.2 beschriebenen Auswahlverfahren für die Testfälle der Vollständigkeitsanalyse bestätigt. Dementsprechend kann dem getesteten Datensatz die Eignung für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Analyse zugesprochen werden.

Abbildung 30: Ergebnisse des Satellitenbildabgleiches der OSM-Straßendaten



Legende

- Bundesland
- Vorhanden
- Falsch kategorisiert
- Nicht vorhanden

Layout:

Norman Döge, René Kämpfer, Arman Fathejalali

Datenbasis:

Gemeindedaten -

© GeoBasis-DE / BKG 2013 (Stand: 31.12.2012)

Bevölkerungsdaten -

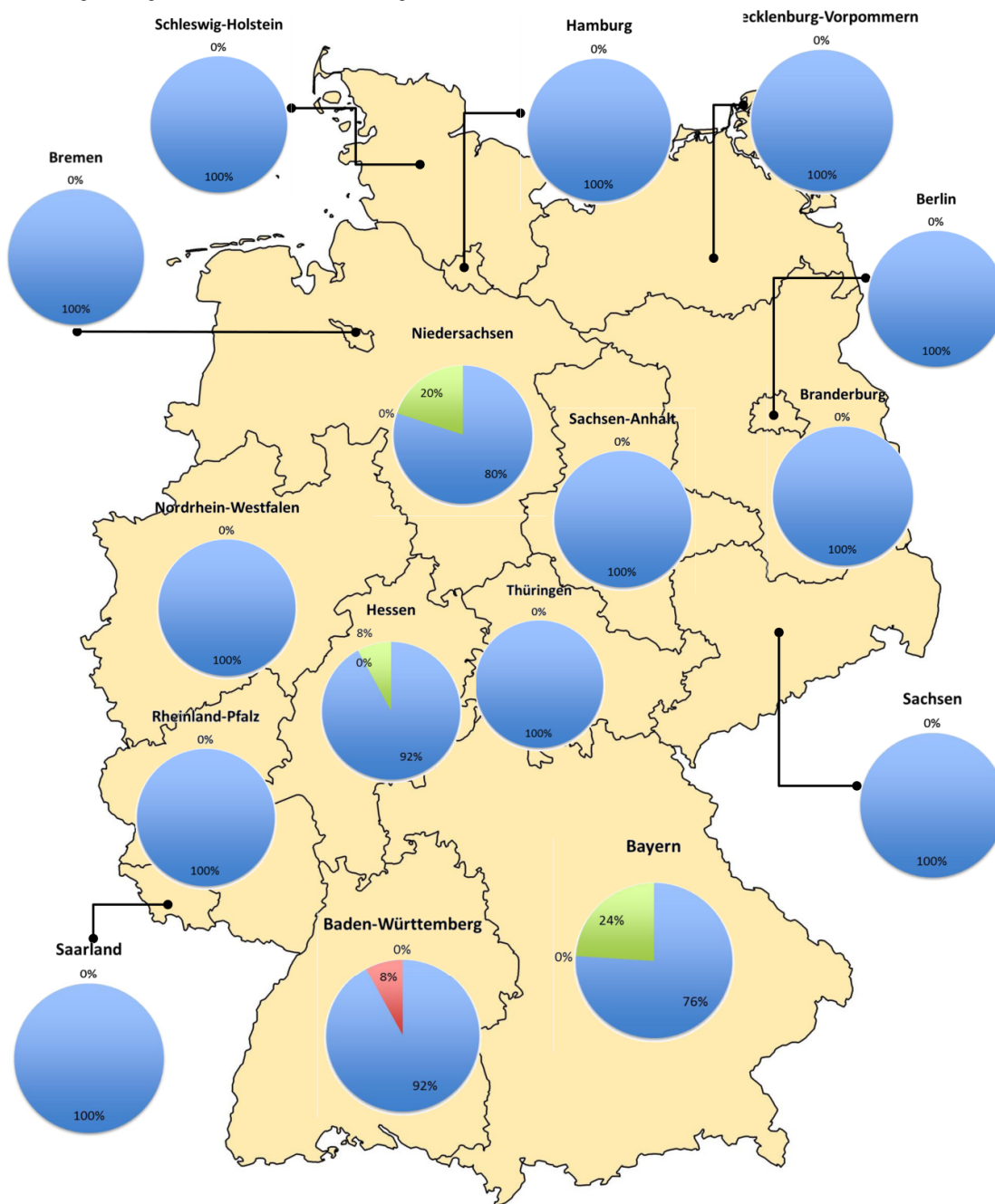
Bundesamt für Statistik (Stand: 31.12.2012)

Projektion:

UTM Zone 32N; WGS 1984

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 31: Ergebnisse des Satellitenbildabgleiches der OSM-Brückendaten



Legende

- Bundesland
- Vorhanden
- Falsch kategorisiert
- Nicht vorhanden

Layout:

Norman Döge, René Kämpfer, Arman Fathejalali

Datenbasis:

Gemeindedaten -

© GeoBasis-DE / BKG 2013 (Stand: 31.12.2012)

Bevölkerungsdaten -

Bundesamt für Statistik (Stand: 31.12.2012)

Projektion:

UTM Zone 32N; WGS 1984

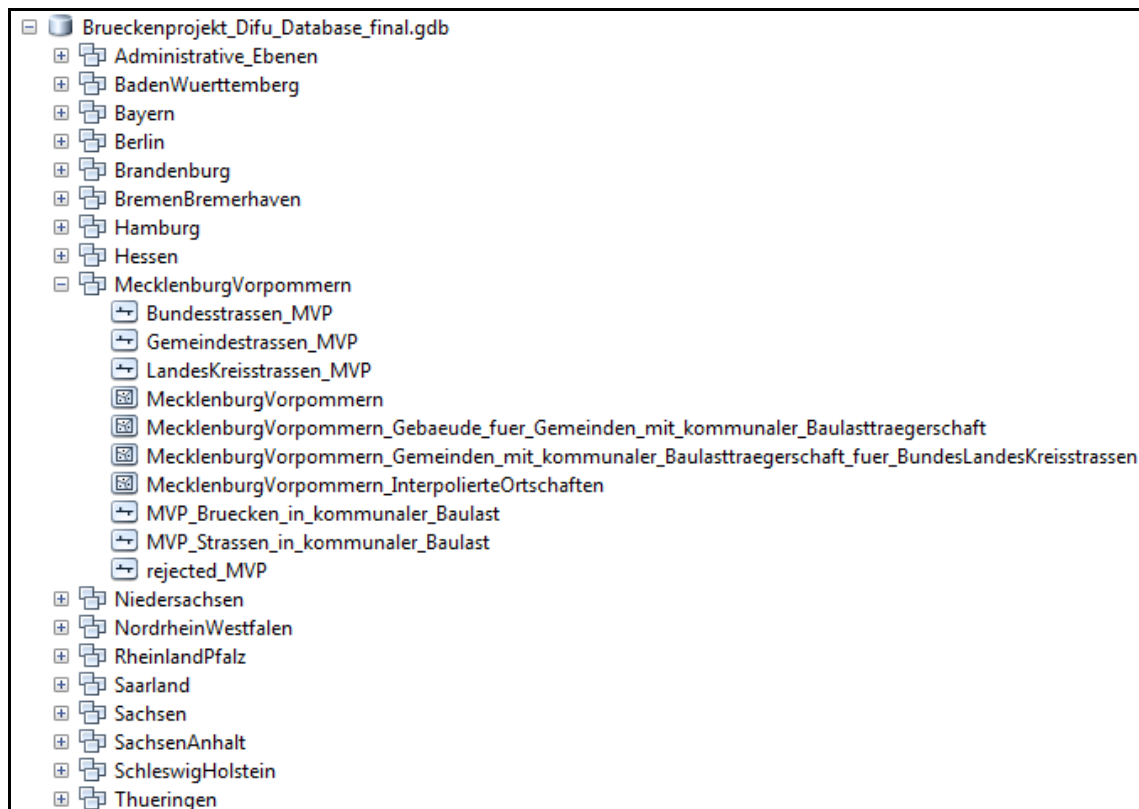
Quelle: eigene Darstellung

2.4 DATENANALYSE

2.4.1 BERECHNUNG DER STRAßEN UND BRÜCKEN IN KOMMUNALER BAULAST – ERGEBNISSE

Wie die Abbildung 32 zeigt, lagen am Ende des Datenaufbereitungsprozesses für jedes Bundesland vier Shapefiledatensätze mit den Bundesstraßen, Landes-/Kreisstraßen und den Gemeindestraßen vor. Aus den Bundesstraßen- und den Landes-/Kreisstraßendatensätzen mussten dann noch jene Straßen und Brücken herausgefiltert werden, die sich innerhalb von Ortschaften in Gemeinden mit betreffender kommunaler Baulastträgerschaft befinden.

Abbildung 32: Dateien in der Geodatabase am Ende des Aufbereitungsprozesses

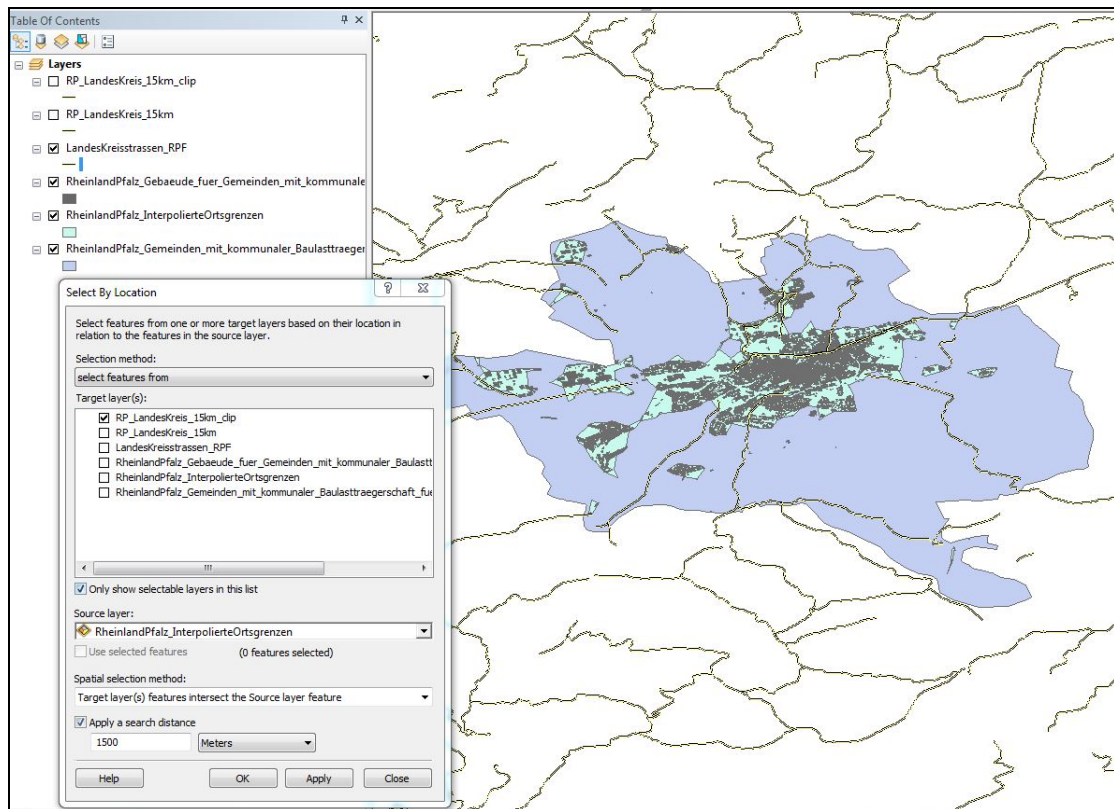


Quelle: eigene Darstellung

In Abbildung 33 sind die aus den OSM-Daten extrahierten Landes- und Kreisstraßen für den Ausschnitt Kaiserslautern zu sehen.

Mit Hilfe der „Select by Location“ Funktion, die auch in der Abbildung 33 zu sehen ist, wurden dann jene Kreisstraßensegmente ausgewählt, die sich innerhalb der Ortsgrenzen von Gemeinden befinden, die für Bundes-, Landes- und Kreisstraßen zuständig sind. Da das errechnete Polygon mit den Ortsgrenzen einige Lücken aufweist und davon auszugehen ist, dass die Gebiete zwischen den interpolierten Siedlungseinheiten in vielen Fällen ebenfalls zum Ort gehören, wurden all jene Segmente selektiert, die sich innerhalb der Polygone und in einem Radius von 1500m befinden. Bei Bundesstraßen wurde dieser Radius auf 2000m gesetzt.

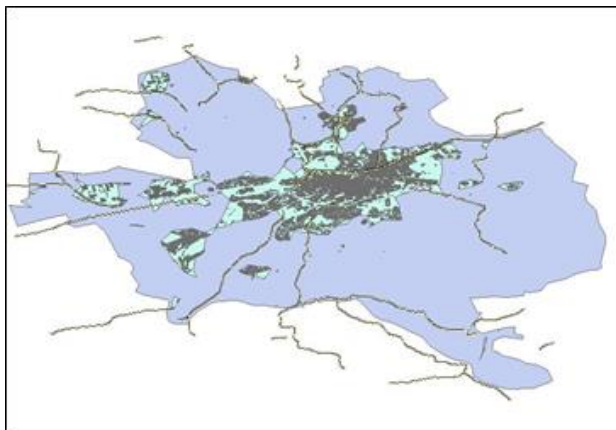
Abbildung 33: Kaiserslautern mit Ortsgrenzen und Landes- und Kreisstraßen



Quelle: eigene Darstellung

Die Abbildung 34 zeigt das Ergebnis für die Stadt Kaiserslautern. Wie ebenfalls zu sehen ist, wurden auch einige Straßensegmente außerhalb des Gemeindegebietes selektiert. Diese wurden dann an den Gemeindegrenzen gekappt, wie das Ergebnis in Abbildung 35 zeigt.

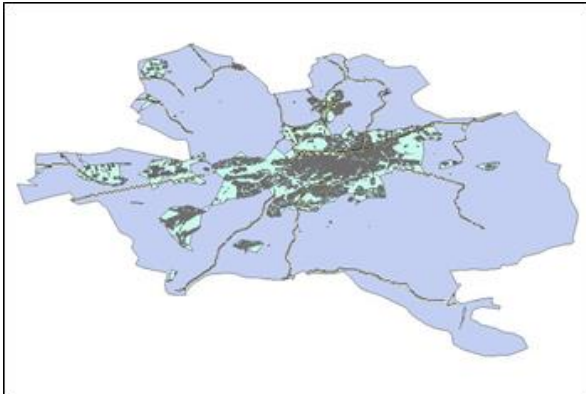
Abbildung 34: Ergebnis des Selektionsprozesses



Quelle: eigene Darstellung

Dieses Verfahren wurde ebenfalls auf den Datensatz der Bundesstraßen angewandt, mit dem Unterschied, dass die Berechnung nur für Gemeinden mit Baulastträgerschaft für Bundesstraßen durchgeführt wurde.

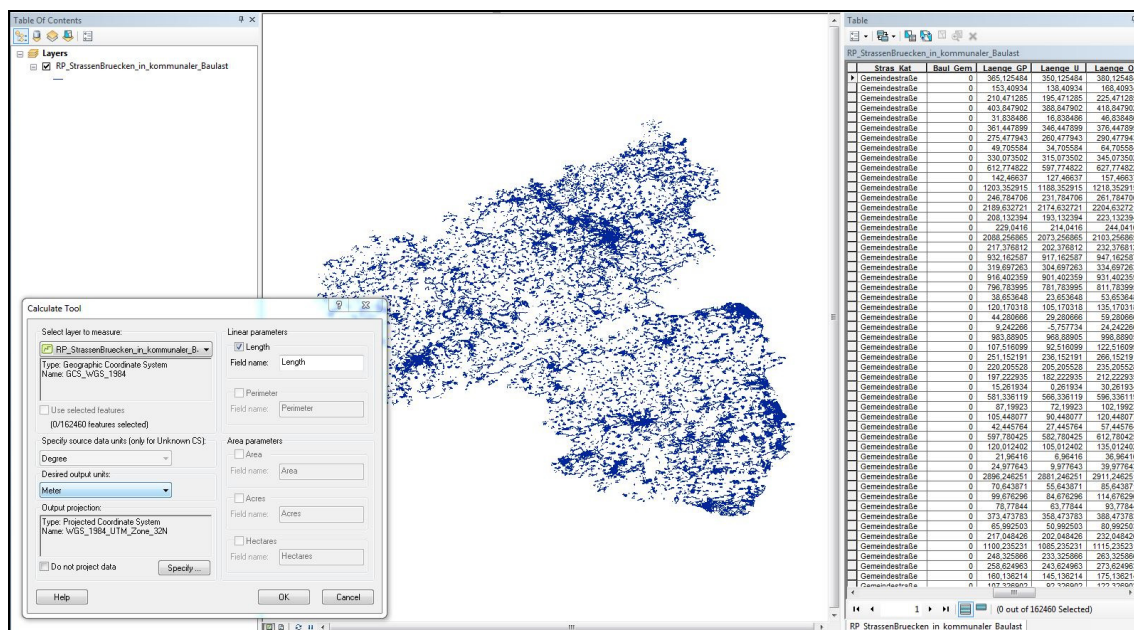
Abbildung 35: Finale Auswahl von Landes- und Kreisstraßen in kommunaler Baulast



Quelle: eigene Darstellung

Danach wurden alle vier Shapefile Datensätze (Bundesstraßen in kommunaler Baulast, Landes- und Kreisstraßen in kommunaler Baulast, Gemeindestraßen) zum Shapefile „Strassen und Bruecken in kommunaler Baulast“ zusammengeführt, um die Längenberechnung mit dem Programm XTools Pro vorzunehmen (vgl. Abbildung 32-36). Diese musste an dieser Stelle erfolgen, da so zusätzlicher Arbeitsaufwand vermieden werden konnte. Die Längenberechnung wurde mit XTools Pro, einem Zusatzprogramm von ArcGis, durchgeführt. Ausschlaggebend dafür waren Erfahrungswerte früherer Projekte, die zeigten, dass in der ArcGIS Version 10 die Längen nur unzuverlässig berechnet werden konnten. Danach wurde das Gesamtshapefile wieder in alle vier Straßenkategorien aufgespalten.

Abbildung 36: Längenberechnung mit X Tools



Quelle: eigene Darstellung

In Abbildung 36 ist zu sehen, dass, wie bereits in Abschnitt 2.3.3.3 erläutert wurde, drei Felder mit Längen für die Netzsegmente eingerichtet wurden. In der Spalte „Laenge_GP“ wurden die projizierten Längen mit Hilfe des XTools-Werkzeuges (unten links) berechnet. Da GPS Daten, mit denen auch die OSM-Daten verortet wurden, eine Genauigkeitsabweichung von durchschnittlich 15m haben, wurde zusätzlich eine untere Länge (Laenge_U = Laenge_GP - 15) und eine obere Länge (Laenge_O = Laenge_GP + 15) berechnet.

Im Anschluss an diese Berechnung wurden mit Hilfe des Attributes „bridge“ alle Brücken im Shapefile selektiert und in ein separates Shapefile mit dem Namen „[Kürzel Bundesland]_Bruecken_in_kommunaler_Baulast“ exportiert (vgl. Abbildung 32).

In Tabelle 10 und Tabelle 11 wurde gegenübergestellt, wie hoch die Anzahl der Brücken pro Bundesland im ursprünglichen OSM-Datensatz vor den Selektionsarbeiten (Brücken Gesamt) war und wie hoch die Anzahl der Brücken in kommunaler Baulast nach den Aufbereitungs- und Analysearbeiten war (Brücken in kommunaler Baulast).

Tabelle 10: Brücken in kommunaler und nicht kommunaler Baulast für die Flächenländer (komB = in kommunaler Baulast)

Bundesland	Brücken pro Kategorie in kommunaler und nicht kommunaler Baulast									
	Rejected in komB (Fußwege, Radweg, usw.)	Bundesstraßen		Landes-/Staatsstraßen		Kreisstraßen	Ge-meindestraßen	Gesamt		
	Anzahl (komB)	Anzahl (nicht komB)	Anzahl (komB)	Anzahl (nicht komB)	Anzahl (komB)	Anzahl	Anzahl	Brücken Gesamt	Brücken (komB mit "rejected")	Brücken (komB)
Baden-Württemberg	13.194	1.927	240	1.593	189	1.439	7.548	27.318	22.421	9.416
Bayern	17.829	2.432	168	2.145	133	2.001	9.816	37.214	29.814	12.118
Brandenburg	2.725	494	27	609	16	168	1.480	6.050	4.400	1.691
Hessen	6.093	1.109	69	1.050	111	677	3.580	14.064	10.419	4.437
Mecklenburg-Vorpommern	1.486	242	33	235	22	177	627	3.044	2.323	859
Niedersachsen	8.673	1.479	144	1.171	83	1.573	5.884	20.475	16.274	7.684
Nordrhein-Westfalen	12.406	1.153	701	1.719	891	1.395	9.091	31.097	23.593	12.078
Rheinland-Pfalz	4.106	1.088	121	951	23	664	2.169	10.270	7.060	2.977
Saarland	681	100	26	127	103	0	531	1.920	1.238	660
Sachsen	4.566	627	75	958	31	723	5.116	12.843	10.480	5.945
Sachsen-Anhalt	2.575	468	51	442	15	374	1.568	5.857	4.568	2.008
Schleswig-Holstein	2.841	409	49	419	18	384	1.302	5.846	4.576	1.753
Thüringen	3.110	427	16	740	17	339	2.459	7.765	5.924	2.831
GESAMT Flächenländer	80.285	11.955	1.720	12.159	1.652	9.914	51.171	183.763	143.090	64.457

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 11: Brücken in kommunaler und nicht kommunaler Baulast für die Stadtstaaten (komB = in kommunaler Baulast)

Bundesland	Brücken pro Kategorie in kommunaler und nicht kommunaler Baulast						
	Rejected in kommunaler Baulast (Fußwege, Radwege, Tracks usw.)	Bundesstraßen		Gemeindestraßen	Gesamt		
	Anzahl (komB)	Anzahl (nicht komB)	Anzahl (komB)	Anzahl	Brücken Gesamt	Brücken (komB mit "rejected")	Brücken (komB)
Berlin	646	0	60	648	1.534	1.354	708
Bremen / Bremerhaven	479	0	60	435	1.087	974	495
Hamburg	1.101	0	74	980	2.282	2.155	1.054
GESAMT Stadtstaaten	2.226	0	194	2.063	4.903	4.483	2.257

Quelle: eigene Darstellung

Hierbei sei erwähnt, dass sowohl die Geodatenbank als auch die zur Bearbeitung mit OpenSource GIS Anwendungen bereitgestellten Shapefiles, alle Stammdaten enthalten. In der Datei „rejected_[Kürzel Bundesland]“, zu sehen in Abbildung 32, sind jene Brücken und Straßen, die in einem ersten Analyseschritt aus der Stammdatei entfernt wurden. In obenstehenden Tabelle 10 und Tabelle 11 wurden diese erwähnten Daten ebenfalls berücksichtigt. Sie enthalten überwiegend Straßen- und Brückensegmente auf Autobahnen, Fußwege- und Radwegeverbindungen. Da zum Beispiel auch Waldwege und kleinere Überführungen über Ackergräben als Fußweg bzw. Brücke klassifiziert worden sind, hätte hier nicht klar zwischen Ingenieurbauwerk und „Provisorium“ differenziert werden können. Die Brücken und Straßen, die zu den Kategorien Bundesstraßen, Landes- und Kreisstraßen gehören und sich nicht in kommunaler Baulast befinden, können nachträglich auch noch in den extrahierten Shapefiles für jedes Bundesland bearbeitet werden.

Tabelle 12: Brückenbestand des gesamten Bundesgebiets (komB = in kommunaler Baulast)

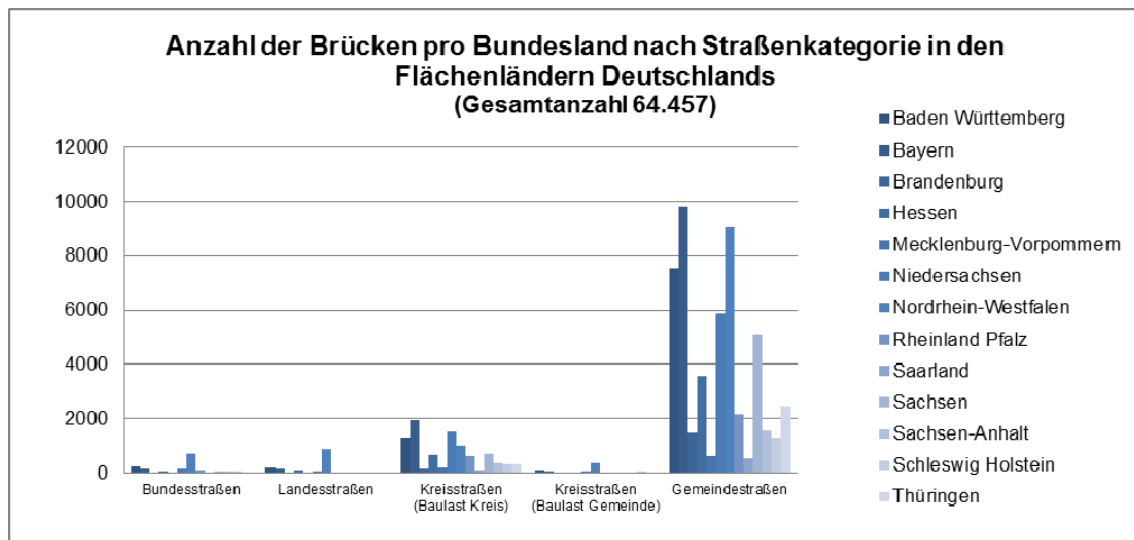
Gesamt-rechnung Brücken Bund	Brücken pro Kategorie in kommunaler und nicht kommunaler Baulast									
	Rejected in kommunaler Baulast (Fußwege, Radwege, Tracks usw.)	Bundesstraßen		Landes-/Staatsstraßen		Kreisstraßen	Gemeindestraßen	Gesamt		
	Anzahl (komB)	Anzahl (nicht komB)	Anzahl (komB)	Anzahl (nicht komB)	Anzahl (komB)	Anzahl	Anzahl	Brücken Gesamt	Brücken (komB mit "rejected")	Brücken (komB)
	82.511	11.955	1.914	12.159	1.652	9.914	53.234	188.666	147.573	66.714

Quelle: eigene Darstellung

Die in Tabelle 12 ersichtliche Gesamtrechnung für Deutschland ergibt einen totalen Brückenbestand von 66.714 Straßenbrücken in kommunaler Baulast. Zusammen mit den Brücken, die im Vorfeld als „rejected“ aussortiert wurden, aber auch in kommunaler Baulast sind, ergibt sich auf Basis der OSM-Daten eine Gesamtzahl von 147.573 Brücken.

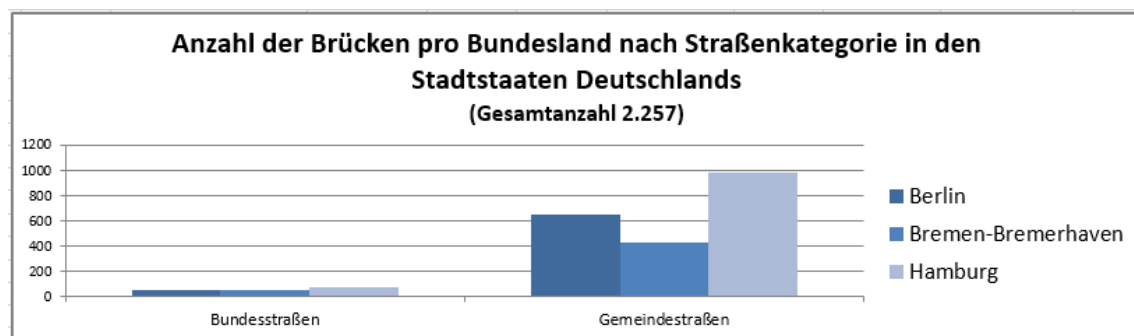
Die grafisch aufbereiteten Daten in Abbildung 37 und Abbildung 38 zeigen auch noch einmal deutlich, dass zum einen der größte Teil der Brücken in kommunaler Baulast der Kategorie Gemeindestraße angehört. Zum anderen illustrieren die Abbildungen, dass der Bestand an Brücken regional sehr stark variiert.

Abbildung 37: Anzahl der Brücken pro Bundesland nach Kategorien in Flächenländern



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 38: Anzahl der Brücken pro Bundesland nach Kategorien in Stadtstaaten



Quelle: eigene Darstellung

In Bezug auf die Straßen lässt sich festhalten, dass über die OSM-Daten für die Flächenländer eine Gesamtzahl von 3.177.931 Netzsegmenten mit einer kalkulierten Länge von 685.588 km und für die Stadtstaaten 99.690 Netzsegmente mit einer Länge von insgesamt 17.546 km in kommunaler Baulast ermittelt werden konnten. Die Einzelwerte für die Flächenländer sind in Tabelle 13 und jene für die Stadtstaaten in Tabelle 14 aufgeführt. Das gesamtdeutsche Straßennetz in kommunaler Baulast lässt sich somit mit insgesamt 703.134 km beziffern. Zuzüglich der Längenkalkulation für die Brücken (2.223 km) ergeben sich dann insgesamt 705.357 km.

Tabelle 13: Straßen in kommunaler Baulastträgerschaft (Flächenländer)

Bundesland	Straßen									
	Bundesstraßen		Landes-/Staatsstraßen		Kreisstraßen (in Baulast des Kreises)		Kreisstraßen (in Baulast der Gemeinde)		Gemeindestraßen	
	Anzahl	Länge in km	Anzahl	Länge in km	Anzahl	Länge in km	Anzahl	Länge in km	Anzahl	Länge in km
Baden Württemberg	26.89	539	3.165	747	18.185	10.053	35	32	435.107	82.133
Bayern	1.872	400	2.050	461	30.522	17.530	1.274	343	574.901	103.706
Brandenburg	247	60	236	76	3.192	2.577	14	8	97.928	25.464
Hessen	1.410	286	2.010	432	9.816	4.528	1.232	272	218.018	38.706
Mecklenburg-Vorpommern	213	80	410	91	3.441	3.178	19	6	67.047	16.614
Niedersachsen	935	244	1.285	382	18.529	12.446	1.303	441	318.631	80.559
Nordrhein-Westfalen	5.961	1.391	13.277	3.110	15.249	7.734	6.891	1.863	605.486	109.387
Rheinland Pfalz	528	133	556	129	12.443	6.519	562	127	157.318	30.015
Saarland	311	53	85	24	1.307	664	100	40	35.470	6.519
Sachsen	1.198	277	793	199	1.095	4.940	435	138	179.541	35.379
Sachsen-Anhalt	343	102	174	61	4.673	3.590	138	37	89.895	20.330
Schleswig Holstein	461	118	617	144	6.309	3.518	1.244	299	115.309	25.041
Thüringen	160	53	253	88	4.353	2.367	431	147	99.249	18.658
GESAMT Flächenländer	16.328	3.736	24.911	5.944	129.114	79.644	13.678	3.753	2.993.900	592.511

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 14: Straßen in kommunaler Baulastträgerschaft in den Stadtstaaten

Bundesland	Straßen			
	Bundesstraßen		Gemeindestraßen	
	Anzahl	Länge in km	Anzahl	Länge in km
Berlin	1.144	298	42.804	8.119
Bremen / Bremerhaven	351	70	20.031	3.249
Hamburg	185	185	35.175	5.625
GESAMT Stadtstaaten	1.680	553	98.010	16.993

Quelle: eigene Darstellung

2.4.2 BERECHNUNG DER VERKEHRSFLÄCHEN – ERGEBNISSE

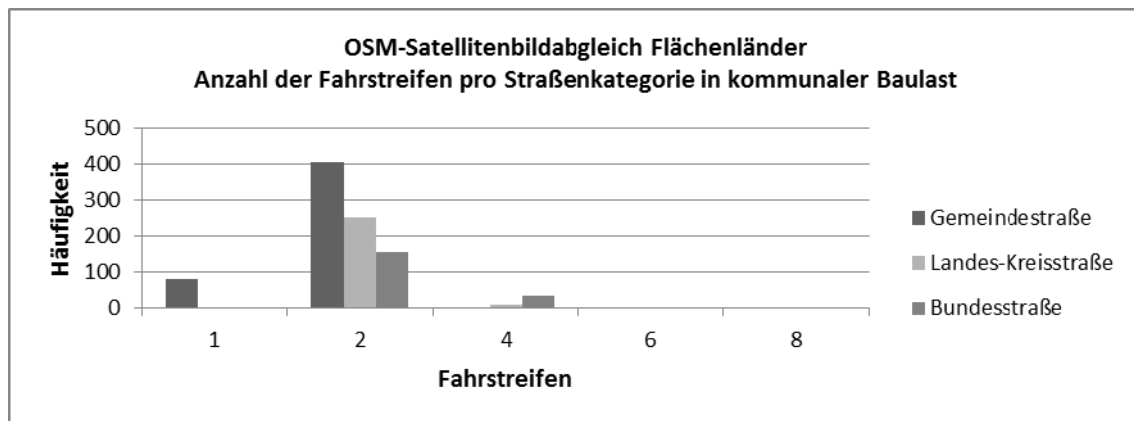
Zur Ableitung der Verkehrsflächen wurden zum einen die Längen und zum anderen die Breiten der einzelnen Liniensegmente benötigt. Die Beschreibung der Kalkulation der Längen und oberer und unterer Längen erfolgte bereits im vorangegangenen Kapitel. In Kapitel 2.1.5, welches die Hintergrundrecherche dokumentierte, konnten zudem bereits Mindestbreiten und mögliche Maximalbreiten für die einzelnen Straßenkategorien auf Basis der RAS Q ermittelt werden.

Da, wie im Vorfeld bereits beschrieben, ebenfalls ein Abgleich der OSM-Daten mit Satellitenbildern erfolgte, um die Genauigkeit und korrekte Attributierung der Daten zu überprüfen, konnte in diesem Zusammenhang gleich die Anzahl der Fahrstreifen für die jeweilige Straßenkategorie ermit-

telt werden. Daraus ergaben sich die in Abbildung 39 und Abbildung 43 dargestellten Häufigkeitsverteilungen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Flächenländer und Stadtstaaten gesondert betrachtet werden mussten, da Stadtstaaten zum einen nicht über die Kategorien der Landes- und Kreisstraßen verfügen und zum anderen im Vorfeld der Prüfung davon auszugehen war, dass aufgrund der höheren durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken im urbanen Raum und des Vorhandenseins von beidseitig geführten Geh- und Radwegen sowohl die Querschnitte der Bundes- als auch der Gemeindestraßen größer ausfallen würden. Die Ergebnisse sind ebenfalls auf der Daten-CD enthalten.

Wie Abbildung 39 für die Flächenländer verdeutlicht, weisen hier so gut wie alle Gemeindestraßen eine bis zwei Fahrspuren, nahezu alle Landes- und Kreisstraßen zwei Fahrstreifen und fast alle Bundesstraßen zwei bis vier Fahrstreifen auf. Ein Blick auf die relativen Werte ergibt in diesem Zusammenhang ein noch differenzierteres Bild.

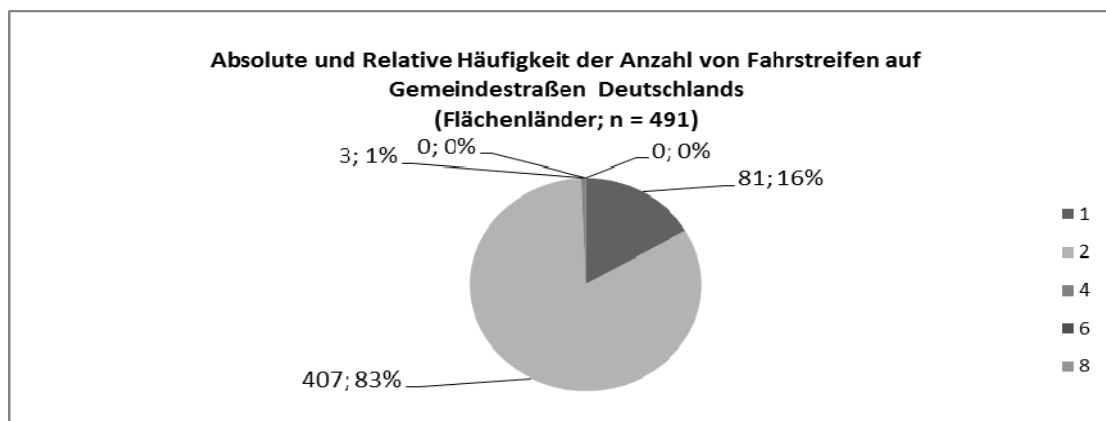
Abbildung 39: OSM-Satellitenbildabgleich (Flächenländer)



Quelle: eigene Darstellung

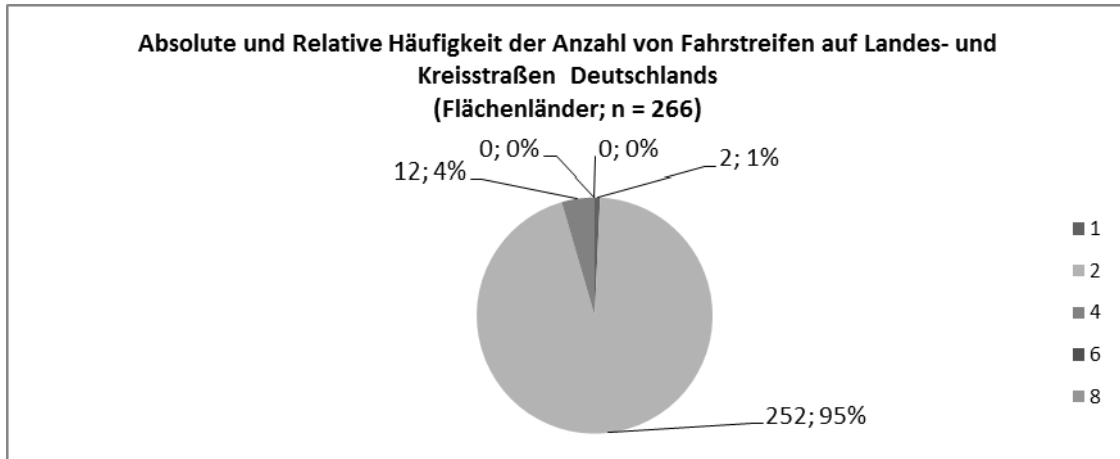
Abbildung 40 zufolge verfügen 16 Prozent aller in Deutschlands Flächenländern getesteten 491 Gemeindestraßen und -brücken über einen und 83 Prozent über zwei Fahrstreifen. In Abbildung 41 ist ersichtlich, dass 95 Prozent aller getesteten 266 Landes- und Kreisstraßen über zwei Fahrstreifen und 4 Prozent über vier Fahrstreifen verfügen. In Bezug auf die Bundesstraßen lässt sich festhalten, dass laut Abbildung 42 80 Prozent der getesteten 197 Straßen und Brücken zwei Fahrstreifen und 19 Prozent vier Fahrstreifen aufweisen.

Abbildung 40: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Gemeindestraßen (Flächenländer)



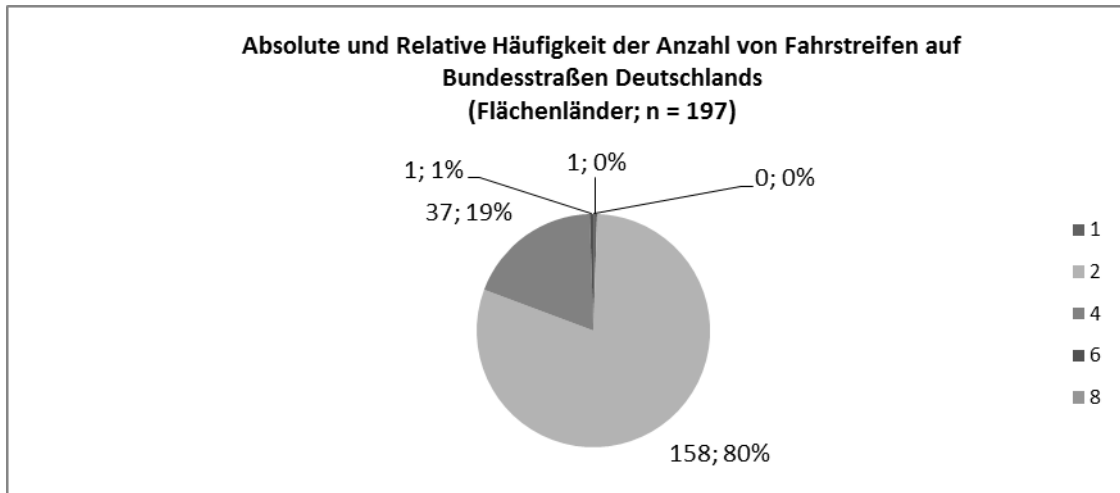
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 41: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Landes- und Kreisstraßen (Flächenländer)



Quelle: eigene Darstellung

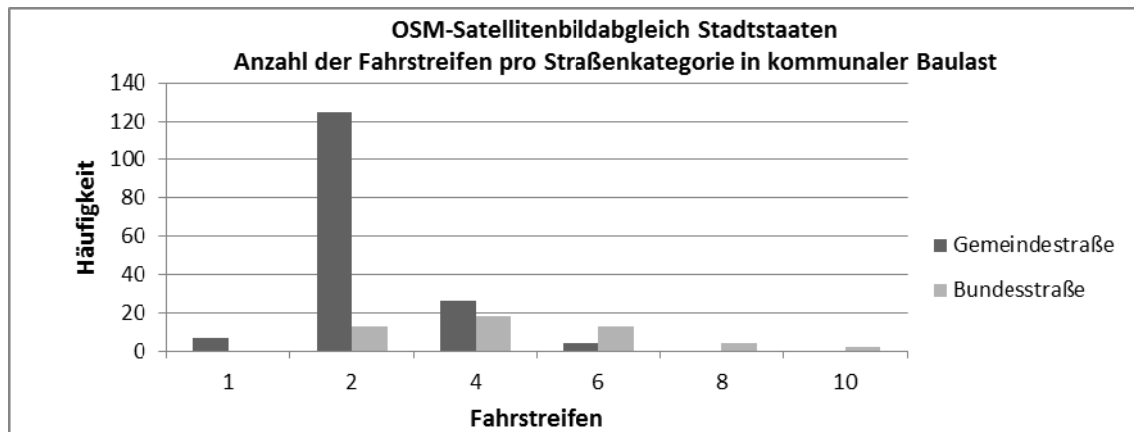
Abbildung 42: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Bundesstraßen (Flächenländer)



Quelle: eigene Darstellung

Das in Abbildung 43 dargestellte Ergebnis für die Stadtstaaten bewahrheitet obige Vermutung. In den drei Stadtstaaten Berlin, Bremen-Bremerhaven und Hamburg sind die Regelquerschnitte größer als in den Flächenländern.

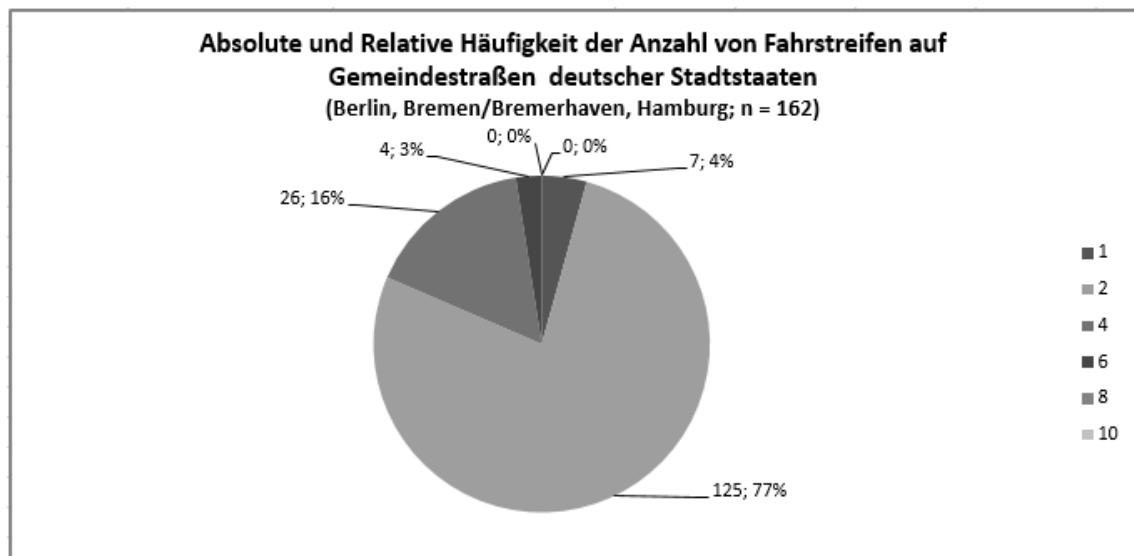
Abbildung 43: OSM-Satellitenbildabgleich (Stadtstaaten)



Quelle: eigene Darstellung

Wie Abbildung 44 verdeutlicht, wiesen 4 Prozent aller 162 getesteten Gemeindestraßen in den Stadtstaaten einen Fahrstreifen, 77 Prozent zwei Fahrstreifen und 3 Prozent vier Fahrstreifen auf.

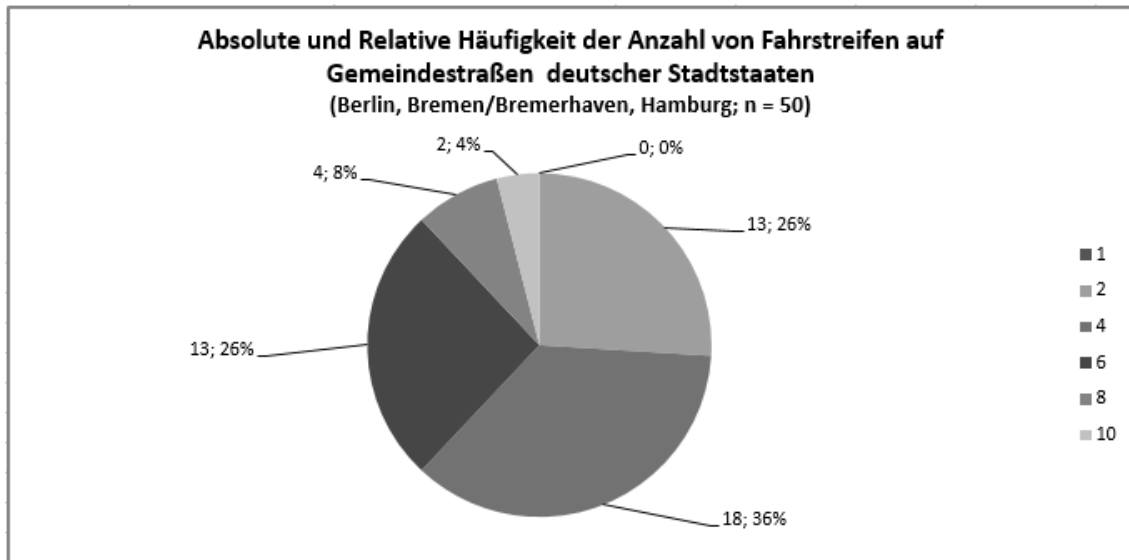
Abbildung 44: Absolute und Relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Gemeindestraßen deutscher Stadtstaaten



Quelle: eigene Darstellung

In Bezug auf die Bundesstraßen lässt sich, wie in Abbildung 45 dargestellt, festhalten, dass von den 50 getesteten Straßen und Brücken deutscher Stadtstaaten 26 Prozent zwei Fahrstreifen, 36 Prozent vier Fahrstreifen, 26 Prozent sechs Fahrstreifen, 8 Prozent acht Fahrstreifen und nur 4 Prozent zehn Fahrstreifen aufwiesen.

Abbildung 45: Absolute und relative Häufigkeit der Anzahl von Fahrstreifen auf Bundesstraßen deutscher Stadtstaaten



Quelle: eigene Darstellung

Für die Flächenberechnung konnten somit, auf Basis der Anzahl der Fahrstreifen und der recherchierten RAS Q Querschnitte, jeweils eine Minimalbreite und eine Maximalbreite für die Brücken ermittelt werden. Da es aufgrund fester Querschnitte, welche sich an die Vorgaben für Ingenieurbauwerke knüpfen, wenig Sinn macht, mit Durchschnittswerten für die Brückenbreitenberechnung zu arbeiten, wurde der Querschnitt, welcher der am häufigsten vorkommenden Anzahl von Fahrspuren entspricht, als Standardquerschnitt angenommen.

Daraus ergaben sich die in der Tabelle 15 (Brücken) und in der Tabelle 17 (Straßen) angesetzten Werte für die Flächenländer und die in Tabelle 16 (Brücken) und Tabelle 18 (Straßen) angesetzten Werte für die Stadtstaaten. Um zu großen Wertebereichen der resultierenden Flächen vorzubeugen, wurden in der Regel die Fahrspuren mit relativen Häufigkeiten unter 5 Prozent nicht berücksichtigt. Detaillierte Begründungen für die Festsetzungen der Breiten können den Begründungsspalten der dargestellten Tabellen entnommen werden. Für die Berechnung der Straßenflächen wurde jeweils nur eine Standardbreite angesetzt, da die resultierenden oberen und unteren Flächenkalkulationen derart große Wertebereiche aufgewiesen hätten, dass daraus keine plausiblen Rückschlüsse hätten gezogen werden können.

Brücken

Flächenländer

Tabelle 15: Abgeleitete Minimal-, Maximal- und Standardbreiten für die Berechnung der Brückenflächen der Flächenländer

Kategorie	Anzahl der Fahrspuren und deren Breite	Begründung
Gemeindestraße	Minimum 1 (7 m)	Der überwiegende Teil befindet sich außerhalb der Ortschaften und verfügt deshalb nicht über beidseitig geführte Rad- und Gehwege.
	Maximum 2 (15,50 m)	In Ortschaften ist davon auszugehen, dass neben den Fahrstreifen an Straßen auch beidseitig Rad- und Gehwege vorhanden sind.
	Standard 2 (10,50 m)	Der überwiegende Teil der Gemeindestraßen befindet sich außerhalb der Ortschaften (also kein Rad-, Gehweg vorhanden) und verfügt laut Häufigkeitsverteilung über zwei Fahrstreifen.
Landes-, Kreisstraße	Minimum 2 (10,50 m)	Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der Straßen nicht über beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.
	Maximum 2 (15,50 m)	Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Straßen über beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.
	Standard 2 (15,50 m)	Da die kommunale Baulastträgerschaft nur innerhalb der Ortschaften vorhanden ist, muss davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der Landes- und Kreisstraßen über beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.
Bundesstraße	Minimum 2 (10,50 m)	Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der Straßen nicht über beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.
	Maximum 4 (22,50 m)	Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Straßen über beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.
	Standard (15,50 m)	Da die kommunale Baulastträgerschaft nur innerhalb der Ortschaften vorhanden ist, muss davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der Bundesstraßen über zwei Fahrstreifen und beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.

Quelle: eigene Darstellung

Stadtstaaten

Tabelle 16: Abgeleitete Minimal-, Maximal- und Standardbreiten für die Berechnung der Brückenflächen der Stadtstaaten

Kategorie	Anzahl Fahrspuren und (Breite)	Begründung
Gemeinde- straße	Minimum 2 (10,50 m)	Der Häufigkeitsverteilung der Satellitenbildabgleich nach verfügen die meisten Gemeindestraßen der Stadtstaaten über mindestens zwei Fahrspuren. In den Randbereichen ist der überwiegende Teil jedoch nicht mit Rad- und Gehwegen ausgestattet.
	Maximum 4 (22,50 m)	Der Häufigkeitsverteilung nach verfügt ein erheblicher Teil der Gemeindestraßen über vier Fahrspuren. Da es sich hierbei um größere Verkehrsachsen handelt, ist anzunehmen, dass diese mit beidseitig geführten Rad- und Gehwegen ausgestattet sind.
	Standard 2 (15,50 m)	Der Häufigkeitsverteilung nach verfügt der größte Teil der Gemeindestraßen in Stadtstaaten über zwei Fahrstreifen. Hier wird unterstellt, dass der Großteil mit beidseitig geführten Rad- und Gehwegen ausgestattet ist, da dies dem Normalfall innerhalb bebauter Gebiete entspricht.
Bundes- straße	Minimum 2 (10,50 m)	Der Häufigkeitsverteilung der Satellitenbildabgleich nach verfügen die meisten Gemeindestraßen der Stadtstaaten über mindestens zwei Fahrspuren. In den Randbereichen ist der überwiegende Teil jedoch nicht mit Rad- und Gehwegen ausgestattet.
	Maximum 6 (31 m)	Der Häufigkeitsverteilung nach verfügt ein erheblicher Teil der Bundesstraßen über sechs Fahrspuren. Da es sich hierbei um größere Verkehrsachsen handelt, ist anzunehmen, dass diese mit beidseitig geführten Rad- und Gehwegen ausgestattet sind.
	Standard 4 (22,50 m)	Der Häufigkeitsverteilung nach verfügt der größte Teil der Bundesstraßen in Stadtstaaten über vier Fahrstreifen. Hier wird unterstellt, dass der Großteil mit beidseitig geführten Rad- und Gehwegen ausgestattet ist, da dies dem Normalfall innerhalb bebauter Gebiete entspricht.

Quelle: eigene Darstellung

Straßen

Flächenländer

Tabelle 17: Abgeleitete Standardbreiten für die Berechnung der Straßenflächen der Flächenländer

Kategorie	Anzahl der Fahrspuren und Breite	Begründung
Gemeinde- straße	Standard 2 (10,50m)	Der überwiegende Teil der Gemeindestraßen befindet sich außerhalb der Ortschaften (also kein Rad-, Gehweg vorhanden) und verfügt laut Häufigkeitsverteilung über zwei Fahrstreifen.
Landes-, Kreisstraße	Standard 2 (15,50m)	Da die kommunale Baulastträgerschaft nur innerhalb der Ortschaften vorhanden ist, muss davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der Landes- und Kreisstraßen über beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.
Bundes- straße	Standard 2 (15,50m)	Da die kommunale Baulastträgerschaft nur innerhalb der Ortschaften vorhanden ist, muss davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der Bundesstraßen über zwei Fahrstreifen und beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.

Quelle: eigene Darstellung

Stadtstaaten

Tabelle 18: Standardbreiten für die Berechnung der Straßenflächen der Stadtstaaten

Kategorie	Anzahl der Fahrspuren und Breite	Begründung
Gemeindestraße	Standard 2 (10,50m)	Der überwiegende Teil der Gemeindestraßen befindet sich außerhalb der Ortschaften (also kein Rad-, Gehweg vorhanden) und verfügt laut Häufigkeitsverteilung über zwei Fahrstreifen.
Bundesstraße	Standard 2 (15,50m)	Da die kommunale Baulastträgerschaft nur innerhalb der Ortschaften vorhanden ist, muss davon ausgegangen werden, dass der überwiegende Teil der Bundesstraßen über zwei Fahrstreifen und beidseitig geführte Rad- und Gehwege verfügt.

Quelle: eigene Darstellung

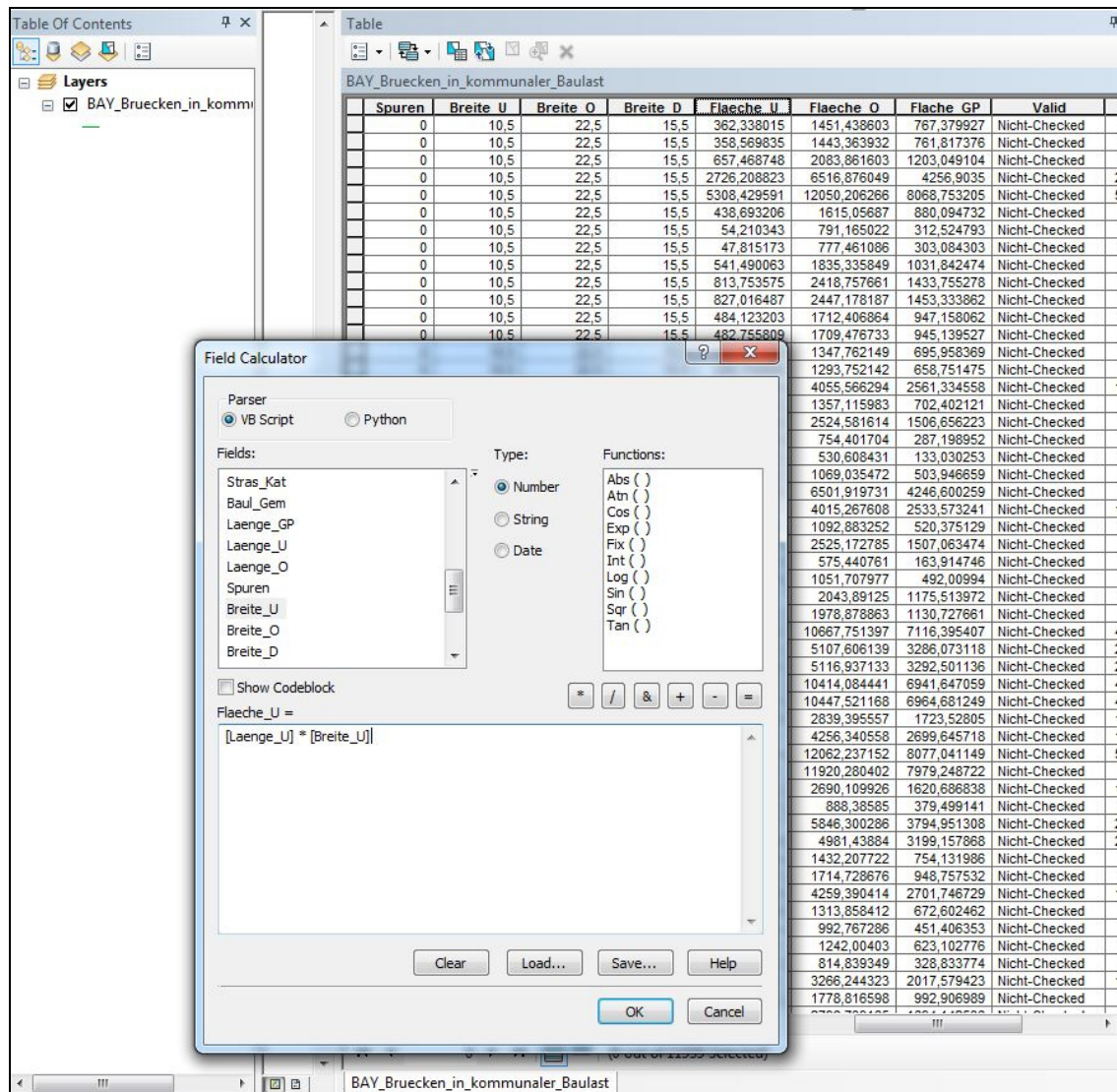
Ergebnisse der Flächenberechnung

In Abbildung 46 ist die Flächenberechnung im GIS am Beispiel der bayerischen Brücken in kommunaler Baulast zu sehen. Aus den jeweils drei Werten für Länge, Breite wurde ein unterer [Flaeche_U], ein oberer [Flaeche_O] und ein realistischer Wert [Flaeche_GP] für die Brückenfläche kalkuliert:

- [Flaeche_U] stellt dabei den kleinstmöglichen Wert für die Brückenfläche als Produkt der unteren Satellitenabweichung für die Länge und den kleinstmöglichen Querschnitt dar.
- [Flaeche_O] stellt den größtmöglichen Wert als Kombination einer positiven Längenabweichung um 15m und dem größtmöglichen Querschnitt dar.
- [Flaeche_GP] resultiert aus der kalkulierten Länge ohne Abweichung und dem Standardwert der Tabellen.

Dieser Wert der Spalte [Flaeche_GP] ist als der realistischste anzunehmen, kann aber in positive als auch in negative Richtung bis zu den oberen und unteren Spaltenwerten abweichen.

Abbildung 46: Der "Field Calculator" in ArcGIS in dem die Berechnung der unteren Brückenfläche zu sehen ist



Quelle: eigene Darstellung

Brückenkalkulation

In Tabelle 19 und Tabelle 20 sind die Ergebnisse der Brückenkalkulation und der resultierenden Flächen für jedes Bundesland nach Straßenkategorie aufgeschlüsselt zu sehen. Für die Flächenländer ergibt sich somit eine Gesamtbrückenfläche von 25.399.839 m² oder 25,40 km² in kommunaler Baulast.

Für die Stadtstaaten ergibt sich aus den in Tabelle 20 dargestellten Werten eine Gesamtfläche von 2.149.208 m² oder 2,15 km². Daraus ergibt sich für das gesamte Bundesgebiet eine Fläche von 27,55 km² in kommunaler Baulast.

Die oberen und unteren Flächenwerte sind aus den Werten der Geodatenbank und aus den Excel Exporten der Attributtabelle errechenbar, die mit der Daten-CD im Rahmen des Auftrages erstellt wird. Zudem können die oberen und unteren Flächenwerte pro Straßenkategorie für jedes Bundesland aus den im Anhang dieser Arbeit befindlichen Kartenblättern entnommen werden.

Tabelle 19: Ergebnisse der Brückenflächenberechnung Flächenländer

Bundesland	Brücken				
	Bundesstraßen	Landes-/Staatsstraßen	Kreisstraßen (in Baulast des Kreises)	Kreisstraßen (in Baulast der Gemeinde)	Gemeindestraßen
	Fläche in m ²	Fläche in m ²	Fläche in m ²	Fläche in m ²	Fläche in m ²
Baden Württemberg	362.717	167.675	711.466	104.669	2.151.693
Bayern	328.804	122.869	1.178.528	47.530	2.798.245
Brandenburg	36.808	20.495	75.875	0	488.643
Hessen	141.413	162.192	333.379	31.756	1.040.726
Mecklenburg-Vorpommern	26.925	17.918	103.051	0	206.928
Niedersachsen	148.841	77.109	898.959	53.478	1.844.789
Nordrhein-Westfalen	1.325.633	1.071.685	583.881	312.711	3.026.419
Rheinland Pfalz	307.947	26.886	378.092	92.807	717.205
Saarland	42.964	6.057	64.096	4.954	179.959
Sachsen	132.113	69.191	254.612	6.973	1.000.506
Sachsen-Anhalt	99.282	8.711	187.623	4.161	438.527
Schleswig Holstein	91.571	26.511	165.125	48.471	370.934
Thüringen	23.320	13.899	123.257	12.644	497.631
GESAMT Flächenländer	3.068.338	1.791.198	5.057.944	720.154	14.762.205

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 20: Ergebnisse der Brückenflächenberechnung Stadtstaaten

Bundesland	Brücken	
	Bundesstraßen	Gemeindestraßen
	Fläche in m ²	Fläche in m ²
Berlin	118.550	572.848
Bremen / Bremerhaven	184.748	374.050
Hamburg	86.935	812.077
GESAMT Stadtstaaten	390.233	1.758.975

Quelle: eigene Darstellung

Straßenkalkulation

In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die Ergebnisse der Straßenkalkulation und der resultierenden Flächen für jedes Bundesland nach Straßenkategorie aufgeschlüsselt zu sehen. Für die Flächenländer ergibt sich somit eine Gesamtstraßenfläche von 7.664.126.117 m² oder 7.664,12 km² in kommunaler Baulast.

Für die Stadtstaaten ergibt sich aus den in Tabelle 22 dargestellten Werten eine Gesamtfläche von 271.649.040 m² oder 271,65 km². Daraus ergibt sich für das gesamte Bundesgebiet eine Fläche von 7935.77 km² in kommunaler Baulast.

Die oberen und unteren Flächenwerte sind aus den Werten der Geodatenbank und aus den Excel Exporten der Attributtabelle errechenbar, die mit der Daten-CD im Rahmen des Auftrages erstellt wird. Zudem können die oberen und unteren Flächenwerte pro Straßenkategorie für jedes Bundesland aus den im Anhang dieser Arbeit befindlichen Kartenblättern entnommen werden.

Tabelle 21: Ergebnisse der Straßenflächenberechnung Flächenländer

Bundesland	Straßen				
	Bundesstraßen	Landes-/Staatsstraßen	Kreisstraßen (in Baulast des Kreises)	Kreisstraßen (in Baulast der Gemeinde)	Gemeindestraßen
	Fläche in m ²	Fläche in m ²	Fläche in m ²	Fläche in m ²	Fläche in m ²
Baden Württemberg	835.4430	11.577.716	155.818.298	495.231	862.398.838
Bayern	6.200.459	7.139.943	271.716.953	5.320.551	1.088.916.623
Brandenburg	936.553	1.175.167	39.941.428	119.421	267.370.642
Hessen	4.425.430	6.693.922	70.187.498	4.213.457	406.414.156
Mecklenburg-Vorpommern	1.234.086	1.407.980	49.262.094	94.236	174.450.530
Niedersachsen	3.784.859	5.926.761	192.908.933	6.840.196	845.869.594
Nordrhein-Westfalen	2.1562.543	48.205.712	119.881.198	28.876.328	1.148.563.450
Rheinland Pfalz	2.058.613	1.998.916	101.050.956	1.976.059	315.157.281
Saarland	827.127	379.433	10.293.383	622.189	68.447.278
Sachsen	4.292.869	3.089.381	76.576.317	2.145.915	371.476.787
Sachsen-Anhalt	1.583.563	943.273	55.644.106	571.757	213.465.188
Schleswig Holstein	1.828.265	2.239.593	54.529.667	4.633.232	262.934.067
Thüringen	825.945	1.368.848	36.695.029	2.278.770	195.907.094
GESAMT Flächenländer	57.914.742	92.146.645	1.234.505.860	58.187.342	6.221.371.528

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 22: Ergebnisse der Straßenflächenberechnung Stadtstaaten

Bundesland	Straßen	
	Bundesstraßen	Gemeindestraßen
	Fläche in m ²	Fläche in m ²
Berlin	6.704.956	125.840.879
Bremen / Bremerhaven	1.568.075	50.351.853
Hamburg	185	87.183.092
GESAMT Stadtstaaten	8.273.216	263.375.824

Quelle: eigene Darstellung

2.4.3 FEHLERQUELLEN UND MÖGLICHKEITEN DER VERMEIDUNG BZW. VERRINGERUNG

Da es sich bei den verwendeten Daten um Open-Source-Daten großer Datenvolumen handelt und im Rahmen des Auftrages eine Reihe von komplizierten Generalisierungs-, Selektions- und Berechnungsprozessen durchgeführt wurden, ist die Betrachtung systematischer und zufälliger Fehler von besonderer Bedeutung, da sie darüber Aufschluss geben kann, wie belastbar die gewonnenen Ergebnisse sind. Aus diesem Grund werden in den folgenden Punkten mögliche Fehlerquellen während der einzelnen Arbeitsschritte benannt und Tipps gegeben, wie die einzelnen Arbeitsschritte in Hinsicht auf die Fehlervermeidung oder eine generellen Verbesserung der Aussagekraft des Datenbestandes optimiert werden könnten.

1. Datenbeschaffung/Aufbereitung

a) Eigenschaften der OSM-Straßen-Daten, Selektion und Reattributierung der Netzsegmente

In Bezug auf die OSM-Daten sei abermals erwähnt, dass es sich um ein freiwilliges nicht-kommerzielles Projekt handelt. D.h., dass zu vermuten ist, dass bei der Erfassung des Datenbestandes mehr systematische Fehler (Messfehler, falscher Umgang mit der Software, ungenaue Kategorisierung und Attributierung der Elemente etc.) und zufällige Fehler (Falscheingaben, Berechnungsfehler etc.) gemacht wurden, als es bei kommerziell ausgerichteten Datenanbietern der Fall gewesen wäre, da deren unternehmerische Existenz auf der Qualität der bereitgestellten Daten fußt. Zwar hat das OSM-Projekt eindeutige Kategorisierungs- und Verfahrensvorschriften, um derartigen Problemen vorzubeugen, dennoch fiel bei der Aufbereitung und beim Test der Daten auf, dass die vorgegebene Straßentypenklassifizierung nach englischen Standards (motorway, primary, secondary usw.) sich nicht ohne weiteres auf das deutsche Straßensystem übertragen lässt, da die Klassifizierung hierzulande oftmals nicht den gleichen Regeln folgt. Dies ließ sich zum Beispiel an regionalspezifisch wiederkehrenden Einträgen in der Spalte „type“ erkennen. Hier wurden häufig im OSM-Regelwerk nicht vorgesehene Mischformen wie „residential-living“ o.ä. als Typenkategorisierung eingetragen. Solche Fälle waren häufig nur räumlich begrenzt zu finden und beschränkten sich meist auf unter 1 Prozent der gesamten Einträge. Wie Anhang 2 zeigt, waren es zum Beispiel in Baden-Württemberg nur 0,01 Prozent.

Dennoch ist aus der Tabelle ersichtlich, dass innerhalb dieser Attributierungen auch systematische Fehler entgegen der OSM-Reglementarien vorkommen, wie zum Beispiel Eintragungen wie „footway; cycleway“ belegen. Des Weiteren fällt es sehr schwer, Klassifizierungen wie „footway“, „pedestrian“, „path“ usw. zu unterscheiden. Bei einem ersten Abgleich dieser Daten fanden die Bearbeiter dieses Auftrages diese Attributierungen mehrmals in Wäldern verortet.

Daraus folgt, dass die Falschattributierung der niedrigeren Wegekategorien eine der größten Fehlerquellen darstellt. Während dieses Auftrages wurde bewusst versucht, diese Kategorien aus der zu gewinnenden Datenbasis herauszufiltern. Dies geschah z. B. über die extra Namensspalte. War hier ein Element z.B. mit den Endungen „-weg“ oder „-straße“ vorhanden, war aber in der Spalte „type“ der Stammdaten anders klassifiziert (z.B. mit „footway“ oder „path“), wurde er der Datenbasis der Gemeindestraßen hinzugefügt. Durch einen direkten Abgleich der übrigen Daten, die dem Auftraggeber für jedes Bundesland in der Form „rejected_XY.shp“ mit übergeben werden und Satellitenbildern oder amtlichen topographischen Daten / Karten kann die Datenbasis noch weiter verbessert werden.

In Bezug auf Bundes-, Landes- und Kreisstraßen konnten sich die Bearbeiter auf die zusätzliche Spalte „ref“ stützen. Hier konnte anhand der Kürzel „B“ oder „L“ ermittelt werden, welcher Kategorie die Straße angehörte. Dennoch waren auch in den Stadtstaaten Straßen als Kreis- und Landesstraßen klassifiziert, was theoretisch nicht möglich ist, da diese Kategorien dort nicht existieren. Die klassische OSM-Regelung mit den englischen Ausprägungsvorgaben bietet in diesem Zusammenhang bessere und eindeutigeren Möglichkeiten, da z.B. die Ausprägungen „secondary“ sich nur auf Straßen zwischen Ortsgrenzen beziehen.

Leider konnte dieses System nur ungenügend auf das deutsche Netz übertragen werden. Bei den bayerischen Kreisstraßen und jenen des Saarlandes trat zusätzlich das Problem auf, dass in Bayern die Bezeichnung der Kreisstraßen nicht mit „K“ erfolgt sondern mit dem jeweiligen Kreiskürzel und dass im Saarland offiziell keine Kreisstraßen sondern nur Landesstraßen zweiter Ordnung existieren, die in die Baulast des Kreises fallen. In beiden Fällen mussten die Straßen händisch aus dem Gesamtdatenbestand des Bundeslandes isoliert werden.

Abschließend sei erwähnt, dass während des Satellitenbildabgleichs auffiel, dass ein Großteil der OSM-Daten direkt von Satellitenbildern zu stammen scheint. Problematisch ist hier zum einen, dass Projektionsfehler übernommen worden sein könnten, was zu Lageungenauigkeiten führen kann und zum anderen die Aktualität der Daten nicht gesichert ist. Zudem fiel auf, dass

bei einigen Satellitenbilddatenanbietern gerade ländliche Räume nur in ungenügender Auflösung vorhanden waren was zu Schwierigkeiten in der Ableitung der Wegeverbindung führen würde. Der Abgleich ergab auch, dass Brückenbauwerke teilweise zweigeteilt dargestellt wurden. Dies kann bei bestimmten Konstruktionen auf bestimmten Straßen mit großen Querschnitten der Fall sein. Überprüfen ließe sich dies jedoch nur bei einem Besuch vor Ort, da die Auflösung der Satellitenbilder zur gering ist um in diesem Zusammenhang qualifizierte Ergebnisse liefern zu können.

b) OSM-Gebäudedaten

Der Satellitenbild-Abgleich ergab, dass die Gebäudedaten des OSM-Projektes vermutlich ebenfalls aus frei zugänglichen Satellitenbildern abgeleitet wurden. Folglich ist neben unvollständiger/lückenhafter Digitalisierung auch hier von der Übernahme von Projektions- und Darstellungsfehlern auszugehen.

c) Gemeindegeodaten des BKG

Die vom BKG bezogenen Gemeindegeodaten der Bundesrepublik Deutschland wiesen für einen Großteil der Gemeinden Mecklenburg-Vorpommerns keine amtlichen Gemeindeschlüssel auf. Da versucht wurde, über den Gemeindennamen eine vollständige Zuordnung der Gemeindebevölkerungszahlen zu erreichen, können während dieses nicht immer eindeutigen Zuordnungsprozesses Fehler aufgetreten sein.

d) Berechnung der Ortsgrenzen

Die Ableitung der Ortsgrenzen erfolgte einheitlich für alle ausgewählten Gemeinden auf dem gesamten Bundesgebiet auf Basis der Gebäudestrukturen. Bessere Ergebnisse hätten bei einer Anpassung der Aggregierungsparameter an die spezifischen Siedlungscharakteristika jeder Gemeinde erreicht werden können. Mit noch höherem Aufwand bestünde eventuell auch die Möglichkeit, über einen Abgleich mit amtlichen topographischen Karten bessere Ergebnisse zu erzielen.

2. Datenanalyse

a) Ableitung von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen in kommunaler Baulast auf Basis der Ortsgrenzen

Die Extraktion der Bundes-, Landes- und Kreisstraßen in kommunaler Baulast aus den Gesamtdaten stellt eine zusätzliche Fehlerquelle dar. Da über das Aggregieren der Gebäudestrukturen nur ungenaue Ortsgrenzen ermittelt werden konnten, die zudem teilweise (besonders im Fall von Siedlungsbändern) größere Lücken aufwiesen, musste mit den erwähnten Suchradien für die Selektion der Netzsegmente gearbeitet werden. Aus diesem Grund ist es sehr wahrscheinlich, dass mehr Netzsegmente als in kommunaler Baulast befindlich eingestuft wurden, als real vorhanden sind. Mit größerem Aufwand, der im Rahmen dieses Auftrages nicht zu bewältigen war, ließen sich bei einem Abgleich mit offiziellen topographischen Karten, für jede Gemeinde mit kommunaler Baulastträgerschaft die oben erwähnten Netzkategorien händisch selektieren. So könnte eine sehr hohe Genauigkeit erreicht werden.

b) Längenberechnung

Da sich die Längenberechnung auf die OSM-Daten stützt, können sich systematische und zufällige Fehler der Digitalisierung auch auf die Längenberechnung übertragen haben.

Dies kann vor Ort bei der Aufnahme der Genauigkeitsschwankungen unterliegenden GPS-Daten oder bei der Digitalisierung der Elemente auf Basis von Satellitenbildern geschehen sein. Zudem haben zu kurze Brückenelemente (unter 15m) zu negativen Werten der unteren Längenberechnung (Spalte: Laenge_U) geführt, weshalb in der Gesamtrechnung die Summe der unteren Brückenlängen zu gering ausfällt.

Gegenwärtige Schätzungen der Gesamtnetzlängen von Straßen in kommunaler Baulast z.B. die der Daehre Kommission über die Landes-/Staatsstraßen, Kreisstraßen und Gemeindestraßen belaufen sich auf 628.300 km (Daehre-Kommission 2012). Demzufolge bewegen sich die Ergebnisse der Aufbereitung der OSM-Daten mit insgesamt 705.360 km für alle Kategorien inklusive Bundesstraßen in kommunaler Baulast ungefähr in diesem Rahmen. Beim Herausrechnen der Bundesstraßen ergäbe sich eine Gesamtnetzlänge von 701.070 km was einer Abweichung von + 10,4 Prozent von obigen Daten entspräche. Mit einer genaueren Isolierung der Landes- und Kreisstraßen in kommunaler Baulast würde sich die ermittelte Netzlänge vermutlich weiter reduzieren. Somit können die OSM-Daten als relativ vollständig und genau angesehen werden. Nichtsdestotrotz würde ein direkter vor Ort Abgleich im Feld genauere Aufschlüsse über Vollständigkeit und Verlässlichkeit der OSM-Daten liefern.

c) Anzahl der Brücken

Da sich die Berechnung auf die OSM-Daten stützt, haben sich systematische und zufällige Fehler der Digitalisierung und Attributierung auch auf die Isolation der Brücken in kommunaler Baulast übertragen.

Zudem sei an dieser Stelle erwähnt, dass die ermittelten Brückenzahlen für die einzelnen Bundesländer und Gemeinden nur die Straßenbrücken beinhalten. Mit einer zusätzlichen Berücksichtigung von Fußgänger- und Fahrradbrücken würde sich die Anzahl beträchtlich erhöhen.

Generell bleibt jedoch festzuhalten, dass es nur wenig Vergleichswerte zur Validitätsprüfung der ermittelten Daten gibt.

Eine Studie, die in diesem Zusammenhang herangezogen werden kann, ist die Studie über die „Brücken in sächsischen Städten und Gemeinden“ im Auftrag des Sächsischen Bauindustrieverbands aus dem Jahre 2000, welche die Brücken in kommunaler Baulast im Freistaat Sachsen mit 7.400 beziffert (Sächsischer Verband der Bauindustrie e.V. 2000). Das Datenblatt für den Freistaat Sachsen in Anhang 16 zeigt einen ermittelten Bestand von 5.945 Brücken in kommunaler Baulast, was einer Abweichung von ca. -19,7 Prozent entspräche. Allerdings wurde vom Sächsischen Bauindustrieverband keine Quelle der Daten genannt.

Genauere Ergebnisse in Bezug auf die Validität könnte ein Abgleich mit der im Auftrag des Difu durchgeführten Erhebung liefern. Mit der im Rahmen dieses Auftrages bereitgestellten Geodatenbank, können die Informationen zu Anzahl und berechneter Länge der Straßenbrücken pro Gemeinde mit geringem Aufwand abgefragt werden.

Im Nachgang wurden die Ergebnisse der OSM-Datenanalyse mit den Ergebnissen der durch das Difu zeitgleich durchgeführten deutschlandweiten Befragung zu Brückenzahl und Zustand unter deutschen Kommunen abgeglichen.

Es fiel auf, dass die Anzahl der Brücken in kommunaler Baulast, die aus den OSM-Daten abgeleitet wurden in den größeren Städten erheblich nach oben von jener abwich, die durch die antwortenden Kommunen gemeldet wurde. Daraufhin erfolgte ein testweiser manueller Abgleich aller in den OSM-Daten ausgewiesenen Brücken der Stadt Bochum (217) mit den 140 Brücken, die die Befragung ergab, mit Hilfe von Satellitenbildern. Die Analyse ergab, dass die 77 überzähligen Brücken, die in der OSM-Datenbank vermerkt waren sich überwiegend auf Paralleldigitalisierungen von beiden Fahrtrichtungen (es wurden beide Fahrtrichtungen getrennt erfasst) und Segmentierungen (Abbiegespuren, Kreuzungssegmente, Auffahrten) zurückführen ließ. Im Fall Bochums wurden so 28 Parallelelemente, 2 Fehldigitalisierungen, 4 Teilsegmente, 1 Einzelsegment, 2 nicht vorhandene Elemente, 9 Kreuzungssegmente, 20 Auffahrtssegmente und 5 Abbiegesegmente identifiziert. Obwohl diese Segmentierung für Routingzwecke durchaus nachvollziehbar ist, führte sie in diesem konkreten Fall zu einer erheblichen Abweichung.

Es ist vorstellbar, dass dieser zum Teil systematische Fehler hauptsächlich in größeren Städten zu positiven Verzerrungen der Brückenzahlen führt, da nur bei größeren Straßen (ab zwei Fahrstreifen) die Wahrscheinlichkeit besteht, dass diese als zwei voneinander unabhängig geführte Wege identifiziert werden oder die Einrichtung von Auffahrten oder Abbiegespuren sowie Kreuzungssegmenten notwendig macht. Genauere Daten kann hier nur eine Feldstudie bzw. ein händischer Abgleich der Daten liefern.

In kleineren Kommunen ist eher davon auszugehen, dass die Brückenzahl der OSM-Datenbank im negativen Sinne abweicht, da hier zum einen die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass dünner

besiedelte Gegenden weniger genau erfasst sind oder z.B. die Differenzierung zwischen Brücke, Grabenüberführung, Gemeindestraße/Waldweg/Siedlungsweg unklar ist. Letztere Fehlerquelle ist sowohl beim Datenbestand der Gemeinde als auch in den OSM-Daten als vorstellbar einzustufen.

d) Flächenberechnung

Da sich die Berechnung auf die OSM-Daten stützt, können sich systematische und zufällige Fehler der Digitalisierung und Attributierung auch auf die Flächenberechnung der Brücken in kommunaler Baulast übertragen. Dies gilt insbesondere, wenn die Längen der Bauwerke nicht richtig erfasst wurden.

Dies kann vor Ort bei der Aufnahme der Genauigkeitsschwankungen unterliegenden GPS-Daten oder bei der Digitalisierung der Elemente auf Basis von Satellitenbildern erfolgt sein.

Zudem stellt die Festsetzung der Bauwerksbreiten eine weitere Fehlerquelle dar. Zwar orientiert sich die Festsetzung der in dieser Arbeit berücksichtigten Querschnitte an den baulichen Vorgaben der RAST-Q, jedoch wurde die Berechnung auf Basis der ermittelten Häufigkeitsverteilungen der Fahrspuren pro Kategorie vorgenommen. Somit können sowohl Fehler bei der Auswahl der Stichprobe zur Ermittlung der Fahrspuren als auch bei der Festlegung der Minimal-, Maximal- und Standardwerte erfolgt sein und die Einzel- wie auch die Gesamtrechnung negativ beeinträchtigt haben.

Zudem haben zu kurze Brückenelemente (unter 15m) zu negativen Werten der unteren Längenberechnung geführt, weshalb die untere Gesamtbrückenfläche vermutlich auch zu gering ausfällt. Dieser systematische Fehler wurde aus Gründen der Datenbankkonsistenz beibehalten, ließe sich aber mit einigem Aufwand und der Erstellung einer extra Berechnungsregel verringern. Somit könnte der Wertebereich zwischen oberer und unterer Brückenfläche weiter reduziert werden.

Detaillierte Studien zur Validität der errechneten Daten können an dieser Stelle in Ermangelung qualifizierter Vergleichsstudien nicht herangezogen werden. Über einen gemeindespezifischen Abgleich der Difu-Erhebung mit der erstellten Datenbank ließen sich aber Aussagen zur Belastbarkeit der berechneten Daten ermitteln.

3. WEITERE VERWENDUNG UND NUTZUNG DER GEODATEN

Die für diesen Auftrag genutzten Geodaten wurden von der Geofabrik GmbH und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie entgeltfrei bereitgestellt und unterliegen der „Open Database License 1.0“ (<http://www.geofabrik.de/geofabrik/free.html>; Download am 22.03.2013) bzw. den Nutzungsbestimmungen des Bundesamtes (<http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/geonutzv.pdf>). Die Daten wurden im Rahmen des Auftrages verändert, wodurch die Nutzungsbedingungen unverändert bestehen bleiben. Darüber hinaus muss im Rahmen von Veröffentlichungen jeglicher Art auf den Ursprung der Daten, auf den Umstand der bereits erfolgten Überarbeitung sowie auf die bestehenden Bedingungen zur weiteren Nutzung hingewiesen werden.

Die überarbeiteten Geodaten werden dem Auftraggeber entgeltfrei zur Verfügung gestellt. Alle im Rahmen dieses Auftrages entstandenen Kosten beziehen sich ausnahmslos auf die erbrachte Dienstleistung.

3.1 WEITERE ANALYSE UND MÖGLICHKEITEN DER ATTRIBUTIERUNG

Die im Rahmen dieses Auftrages erzeugten Geodaten ermöglichen über das als hier gekennzeichnete Ergebnis hinaus eine Reihe von weiteren Nutzungsmöglichkeiten. Das hierarchisch abgestufte Straßensystem kann eigenständig oder in Verbindung mit weiteren Geodaten beispielsweise zur Planung von Straßen und Radwegen, zur Analyse von verkehrsbedingten Landnutzungskonflikten oder zur Erarbeitung von integrierten Verkehrskonzepten genutzt werden.

So können mit Hilfe der Geodatenbank weiterführende Folgekostenabschätzungen nicht nur für die Brückeninfrastruktur durchgeführt werden, da das Straßennetz ebenfalls Bestandteil der Geodatenbank ist. Die Daten können zudem beliebig und problemlos für jede Gemeinde aus dem Datensatz herausgelöst werden, um sie zum einen weiter aufbereiten und zum anderen regional- oder lokalspezifische Analysen durchführen zu können.

Ein weiter aufbereiteter und vervollständigter Datensatz ist für kommunale Planungsträger sicherlich auch von Interesse, da mit dem so zur Verfügung stehenden Basisverkehrsnetz einfache Erreichbarkeitsanalysen, Kostenkalkulationen, Wartungspläne und Ähnliches erstellt werden können. Dazu müsste jedoch in einer separaten Studie überprüft werden, wie sich die OSM-Daten genauer klassifizieren lassen und wie aus den verbliebenen, in dieser Studie als „nicht relevant“ eingestuft, „Restdaten“ z.B. Fußwege und Radwege verlässlich isoliert werden können.

Des Weiteren müsste in einer separaten Studie ein Feldcheck oder ein manueller Abgleich des Datenbestandes mit dem realen Brückenbestand von Kommunen unterschiedlicher Größenklassen erfolgen, um oben erwähnte Genauigkeitsschwankungen, als Folge von Paralleldigitalisierungen und Segmentierungen, quantifizieren und deren Einfluss auf die Datengenauigkeitsabweichung verringern zu können.

In den folgenden Unterkapiteln werden einige dieser Nutzungsmöglichkeiten etwas detaillierter umrissen.

3.1.1 ANALYSE VON RAD- UND FUßWEGENETZ

Die in dieser Arbeit getätigte Analyse bezog sich ausdrücklich auf Straßen und Brücken in kommunaler Baulast, welche zum überwiegenden Teil auf den motorisierten Individualverkehr ausgelegt sind. Wie bereits in Abschnitt 2.1.1.1 erwähnt, beinhalten die hier als Grundlage eingesetzten Geodaten des OSM-Projektes alle liniengebundenen Wegführungen. Diese beinhalten also auch Rad-, Fuß- und Wanderwege sowie Wasserstraßen. Es bietet sich folglich an, die verbleibenden

Daten für eine ähnliche Analyse auf Grundlage von Rad-, Fuß- und Wanderwegen durchzuführen, um auch eine Prognosemöglichkeit für zukünftige Kosten zu erhalten.

Entsprechend der zuvor erwähnten regionalen Unschärfe der OSM-Daten kann nicht ausgeschlossen werden, dass auf Grund einer widersprüchlichen Attributierung bereits ein minimaler Anteil von Rad-, Fuß- und Wanderwegen in der Straßenanalyse enthalten ist.

3.1.2 NETZWERKANALYSEN UND ROUTING

Wie zuvor erwähnt, wurde die Software ArcGIS nicht zuletzt deshalb den OpenSource- Programmen vorgezogen, da diese über vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten verfügt. Eine dieser sogenannten „Extensions“ ist der Network-Analyst, welcher speziell auf die Analyse von Netzwerken jeder Art ausgelegt ist. Die Programmerweiterung kann in diesem Rahmen u.a. durch Eingabe von Widerständen (z.B. Geschwindigkeiten, Verkehrsaufkommen etc.) Schwachstellen in einem Netzwerk und die Erreichbarkeit von Orten analysieren, Routen planen sowie für Flotten-Management (z.B. eines regionalen Entsorgungsunternehmens) eingesetzt werden. Diese zusätzlichen Funktionen können auf Grundlage der hier erarbeiteten Datenbasis insbesondere im kommunalen Bereich in zukünftigen Projekten einen deutlichen Mehrwert generieren.

3.1.3 ANALYSE VON SCHNITTSTELLEN MIT DEM ÖPNV

Ebenfalls im Rahmen von Netzwerkanalysen können Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Verkehrsnetzen definiert und systemübergreifende Analysen durchgeführt werden. Zu diesem Zweck könnten die Straßendaten im städtischen wie im ländlichen Raum mit den Streckenführungen und Umsteigepunkten von öffentlichen Nah- und Fernverkehrsanbietern verknüpft werden. Auf diese Weise kann die Anbindungsqualität unterschiedlicher Orte über verschiedene Verkehrsmittel analysiert und die Ergebnisse als Grundlage für neue Konzepte verwendet werden. Da davon auszugehen ist, dass die Datenverfügbarkeit mit der Beteiligung privatwirtschaftlicher Unternehmen auf Grund von Wettbewerbsinteressen zunehmend eingeschränkt sein wird, sei auch an dieser Stelle auf die OSM-Daten verwiesen, welche u.a. auch Fernbahntrassen und Trassen des öffentlichen Schienennahverkehrs beinhalten.

3.2 HINWEISE ZUR NUTZUNG IN ANDEREN PROGRAMMEN

Wie bereits erwähnt, werden die Daten in einem Datenbankformat übergeben, welches durch die Firma ESRI speziell für die Speicherung von Geodaten entwickelt wurde. Neben vielen Vorteilen, insbesondere bezüglich der Komprimierung der Daten, bringt dieses Dateiformat jedoch auch Einschränkungen in der Nutzung mit anderen Softwarelösungen mit sich. Im Folgenden sollen diesbezüglich einige Hinweise möglichen Komplikationen vorbeugen und dadurch die Arbeit mit den Daten erleichtern.

3.2.1 EINSATZ MIT OPENSOURCE GIS-SYSTEMEN

Geodaten werden zum überwiegenden Teil in unkomprimierter Form im Shapefile-Format (*.shp) angeboten und verbreitet. Ein derartiges Shapefile umfasst im Normalfall sieben Dateien mit den Endungen *.shp, *.dbf, *.prj, *.sbn, *.sbx, *.shp.xml und *.shx. In diesen Dateien werden sowohl die Geometrie als auch die Attributierungen der Daten gespeichert. Der Verlust einer dieser sieben Dateien führt unwiderruflich zum Verlust der Funktionsfähigkeit. Trotzdem hat sich das Format bei Geoinformationssystemen durchgesetzt. Der überwiegende Teil der am Markt verfügbaren kosten-

freien und entgeltpflichtigen Produkte kann dieses Format lesen und auch verarbeiten. Werden die Daten jedoch, wie im Fall dieser Arbeit, in einem anbieterspezifischen Datenbankformat gespeichert, so kann diese Datenbank nur mit dem anbietereigenen Produkt gelesen und weiterverarbeitet werden. Jedoch können Bestandteile einer Geodatabase innerhalb von ArcGIS wieder in das Shapefile-Format exportiert und damit auch anderen Programmen (z.B. QGIS) zugänglich gemacht werden. Auf diese Weise geht jedoch die Komprimierung der Daten verloren, wodurch der Datensatz deutlich an Größe gewinnt und damit schwerer zu verarbeiten ist.

Auf der Daten-CD werden dem Auftraggeber neben der Geodatenbank auch die Einzelshapefiles zur Bearbeitung in OpenSource-Systemen wie Quantum GIS zur Verfügung gestellt.

Auch die Attributtabelle der Shapefiles wurden zur weiteren Bearbeitung durch den Auftraggeber in Excel Dateien exportiert.

3.2.2 EINSATZ VON ÄLTEREN ARCGIS-VERSIONEN

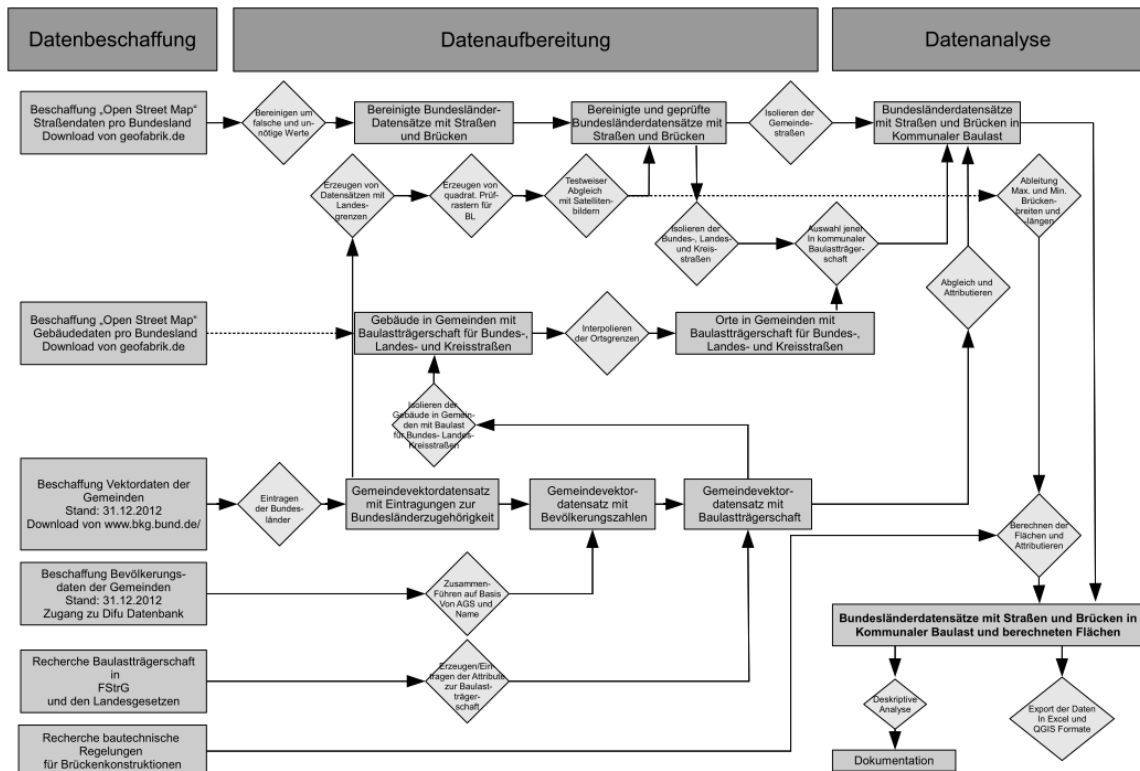
Wie ebenfalls in Abschnitt 3.2 beschrieben, wurden die Analysen innerhalb dieser Arbeit mit der Programmversion 10 von ArcGIS durchgeführt. Als Neuerung gegenüber der Vorgängerversion 9.3.3 wurde auch das Format der Geodatabase überarbeitet. Dies führte dazu, dass erst Programmversionen ab 10.0 das Dateiformat lesen sowie verändern können. Doch auch in diesem Zusammenhang gilt, dass dieser Prozess nicht irreversibel ist. So kann in der Version 10 auch eine Geodatabase im älteren Format der Version 9.3 angelegt und damit für diese nutzbar gemacht werden. Dieses Verfahren bietet sich an, wenn mehrere Akteure mit verschiedenen GIS-Versionen Zugriff auf eine derartige Datenbank benötigen. Es ist jedoch auch hier darauf hinzuweisen, dass durch die Erstellung einer Geodatabase in einem älteren Format die Komprimierung der Daten zu mindestens teilweise verloren geht.

3.2.3 KOSTENFREIE VISUALISIERUNG MIT DEN ARCREADER

Kostenpflichtige Geoinformationssoftware bedingt mitunter hohe Anschaffungskosten. Um die Daten auch ohne den Erwerb einer entsprechenden Software möglich zu machen, möchten wir an dieser Stelle auf die Software „ArcReader“ der Firma ESRI hinweisen. Diese ist in ihren Funktionen auf das Lesen von Daten beschränkt, ermöglicht es jedoch im Gegenzug, die ESRI-eigenen Dateiformate zu lesen und zu visualisieren. Das Tool steht kostenfrei unter der Webadresse <http://www.esri.de/products/arcgis/arcreader/> zum Download zur Verfügung. Die Betrachtung bedarf jedoch einer vorangegangenen Bearbeitung mit der ArcGIS-Erweiterung „Publisher“, um Art und Umfang der Datenbetrachtung zu definieren.

Anhang

Anhang 1: Generalisierte Übersicht über die durchgeführten Arbeiten

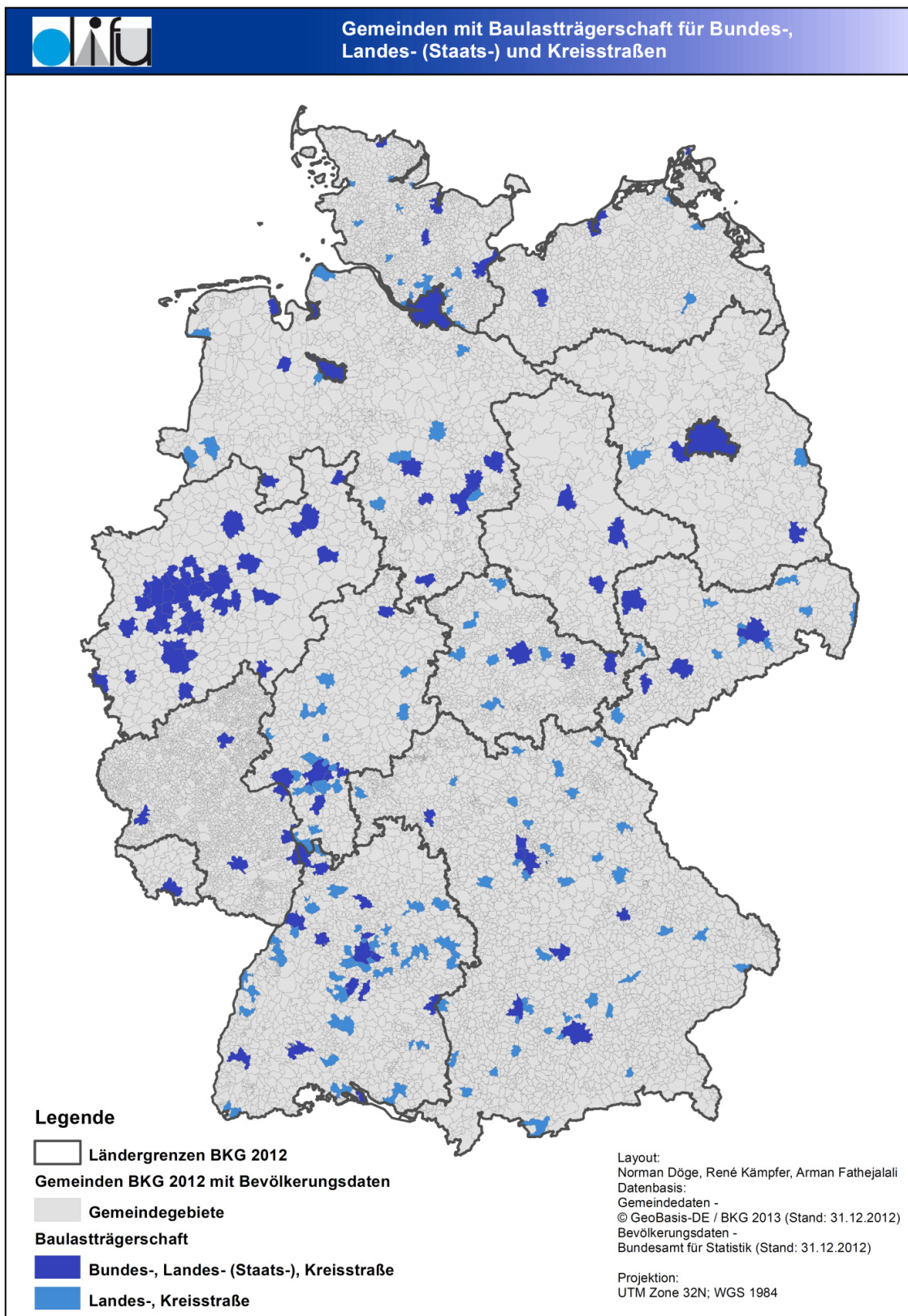


Quelle: eigene Darstellung

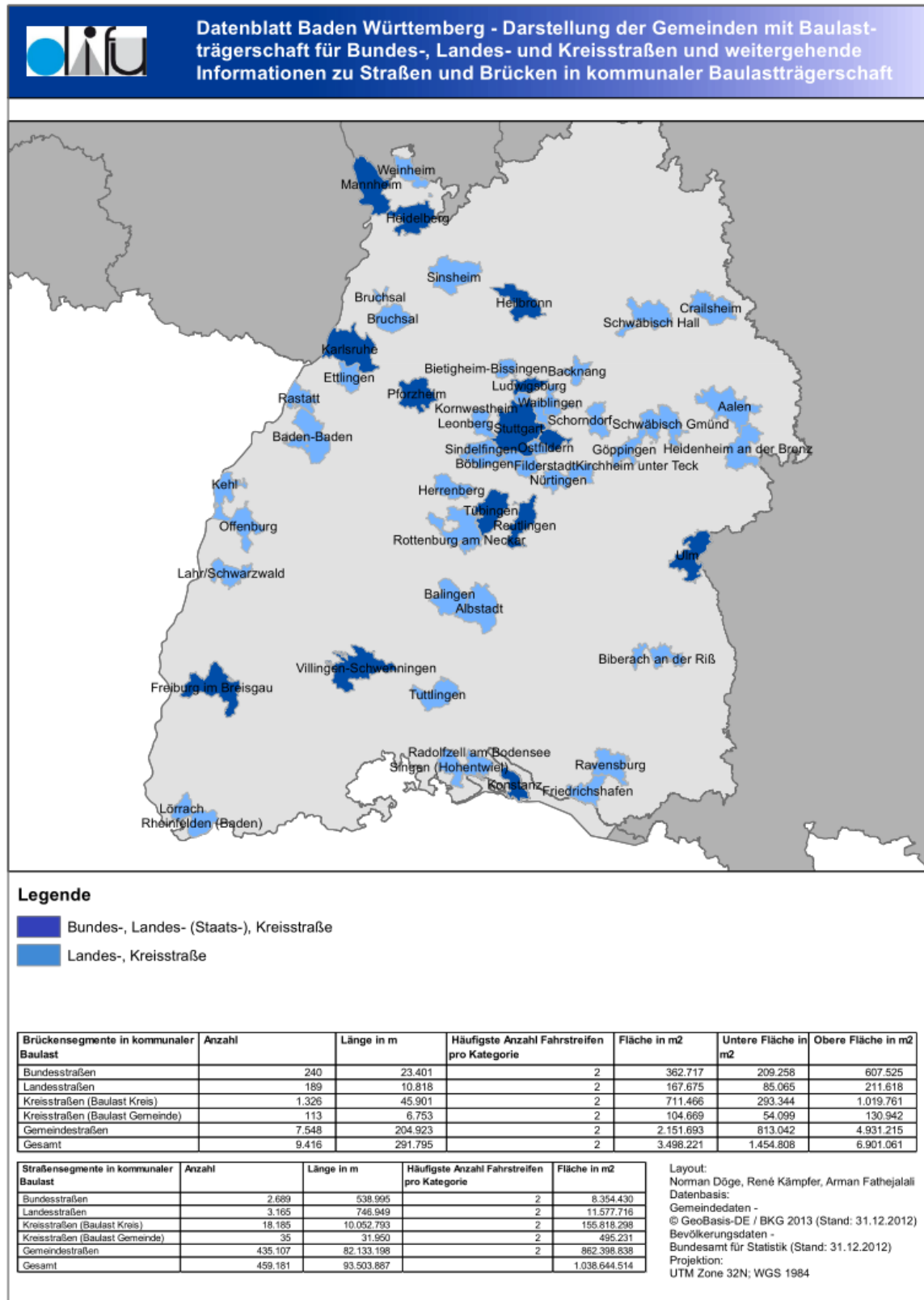
Anhang 2: Attributierungen der Spalte "type" im OSM-Straßendatensatz von Baden-Württemberg

Ausprägung	Anzahl Einträge
FIXME	1
abandoned	2
access	1
access_ramp	18
bridleway	374
bus_guideway	6
bus_stop	29
construction	799
corridor	9
crossing	14
cycleway	14.883
cycleway;path	1
disused	2
elevator	13
emergency_access	8
emergency_bay	1
escalator	1
footway	119.751
footway; cyclewa	1
ford	1
forest	1
living_street	10.381
marking	3
motorway	3.448
motorway_link	2.201
moving_walkway	1
nix	1
no	11
path	69.417
path;track	5

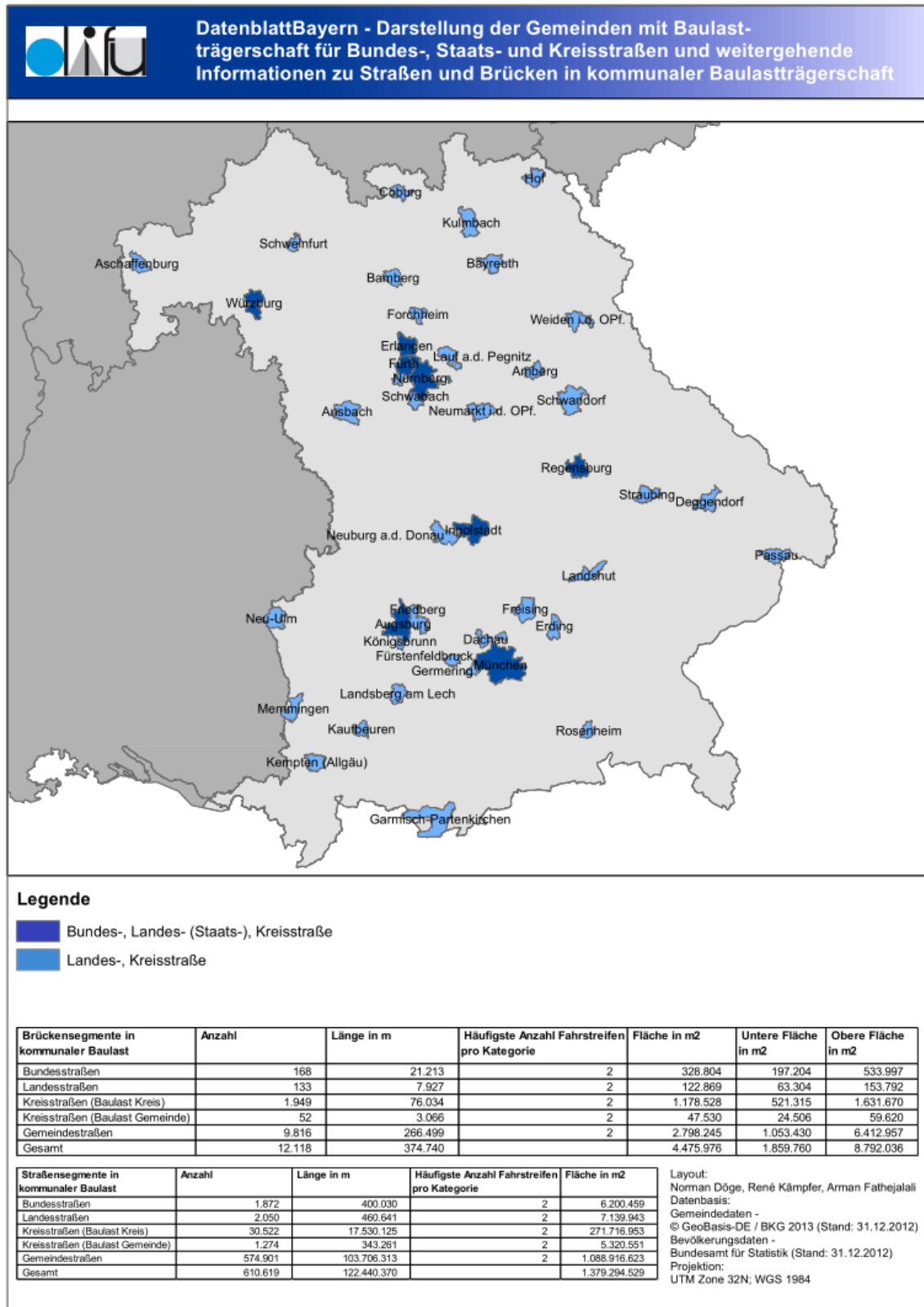
path;via_ferrata	3
pedestrian	5.352
pedestrian;resid	1
platform	389
primary	14.761
primary_link	3.128
proposed	603
racetrack	1
raceway	67
razed	5
residential	215.397
residential;liv	1
residential;resi	1
residential;trac	1
rest_area	39
road	1.057
secondary	32.541
secondary_link	1.300
service	129.137
service; residen	1
service;track	1
services	23
steps	25.047
tertiary	27.437
tertiary_link	285
track	344.320
track; living_st	1
track; path	1
trunk	2.982
trunk_link	2.243
turning_circle	7
unclassified	31.580
GESAMT	1.059.096
NUZTBAR	1.058.903



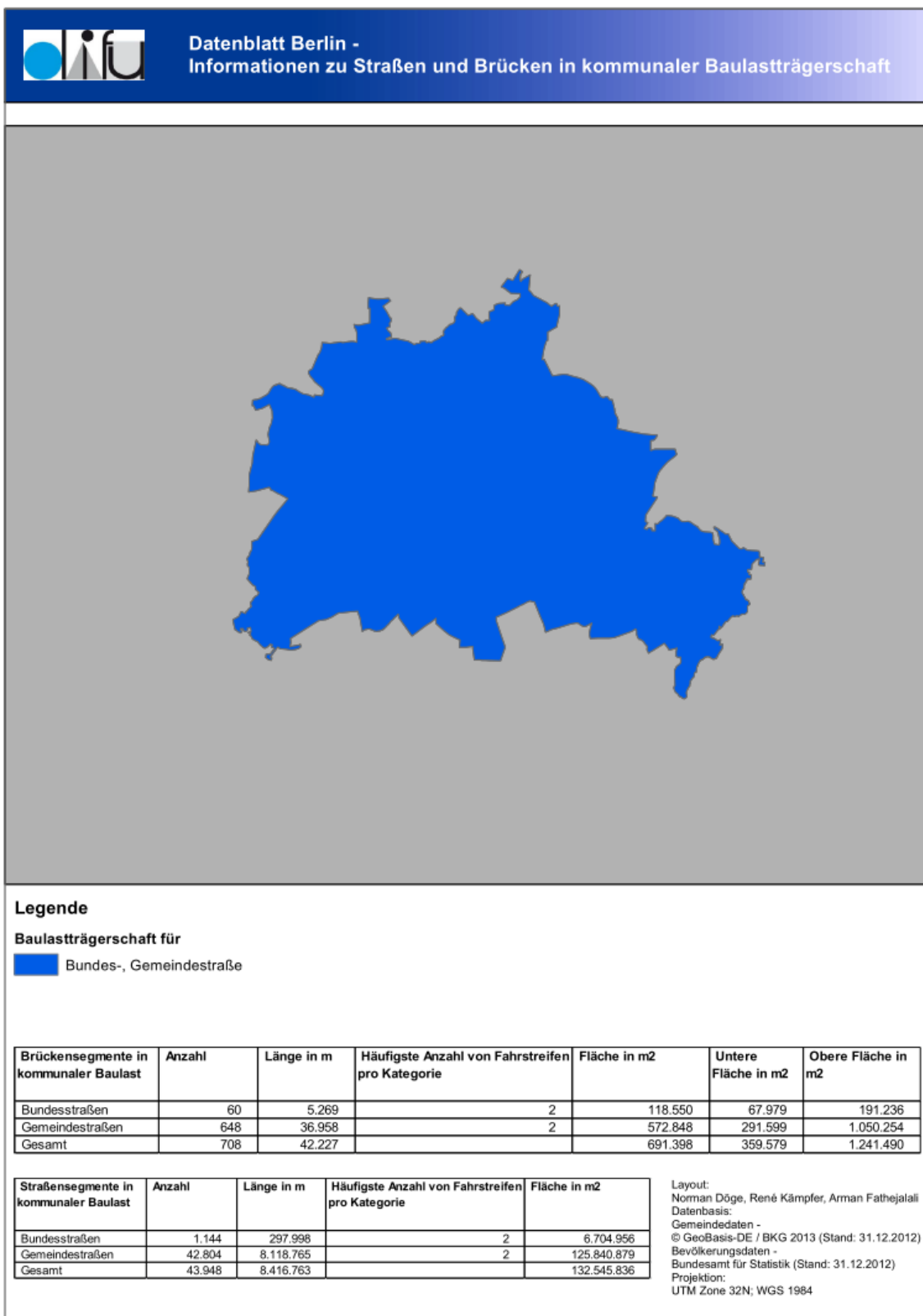
Quelle: eigene Darstellung



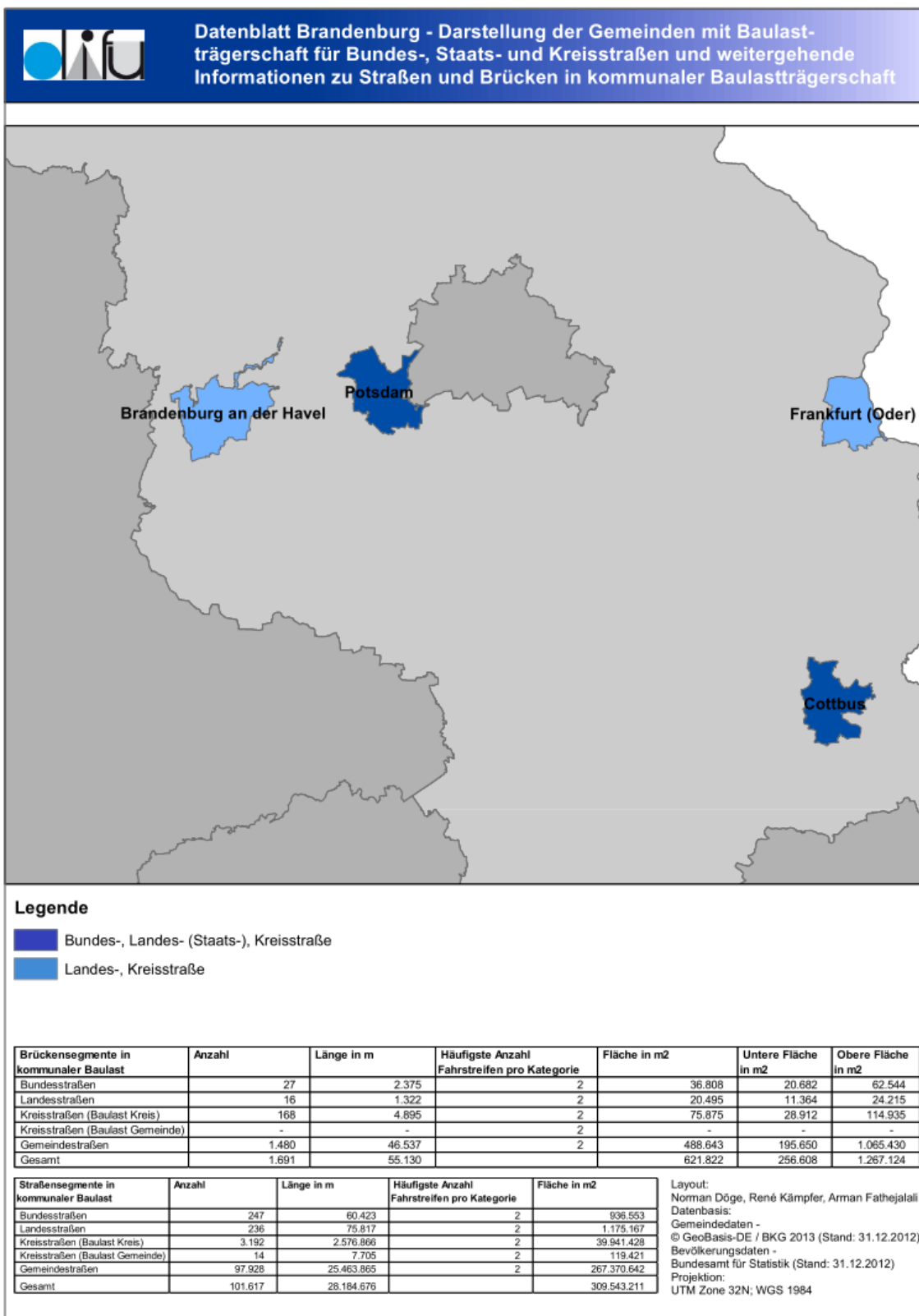
Quelle: eigene Darstellung



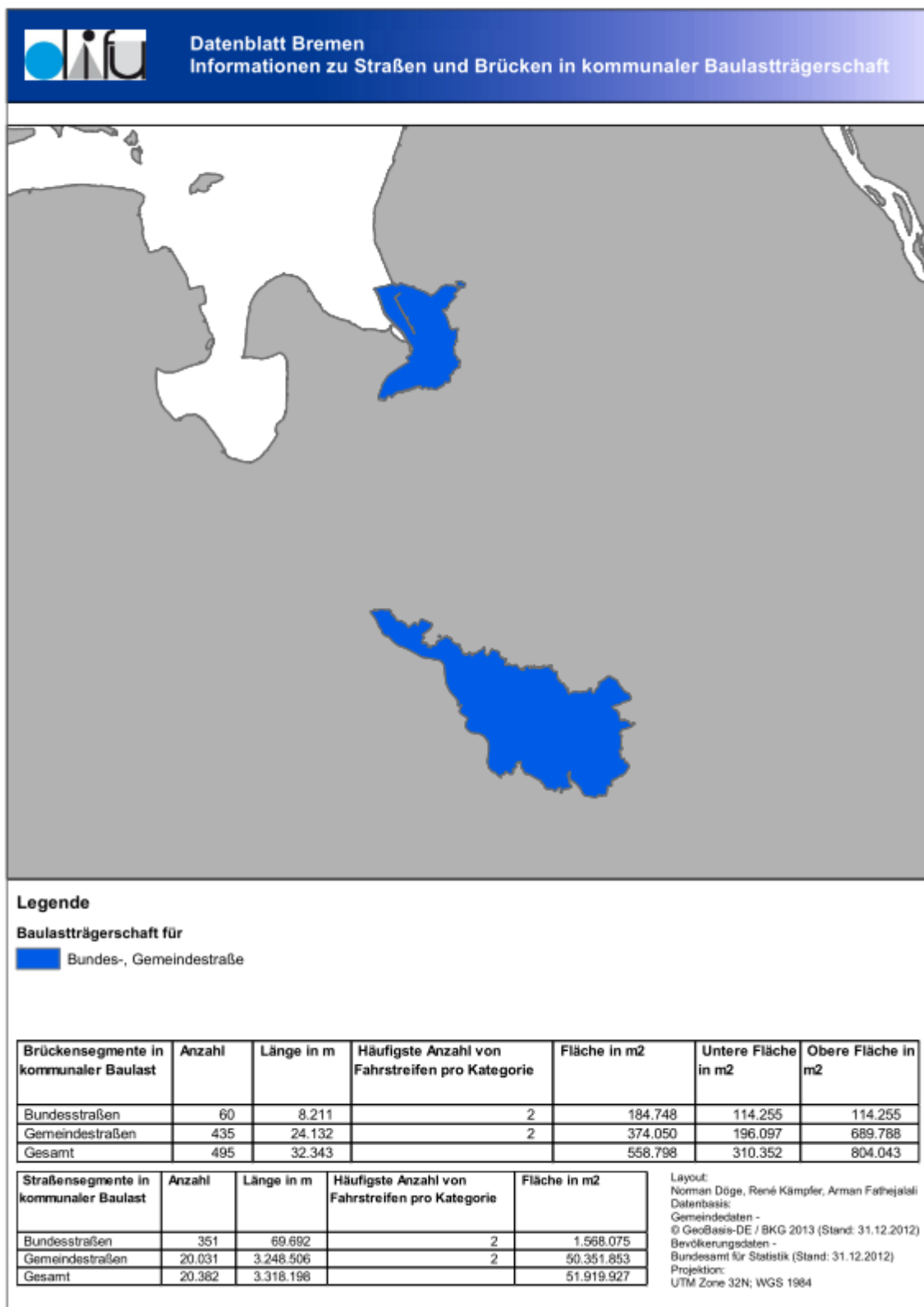
Quelle: eigene Darstellung



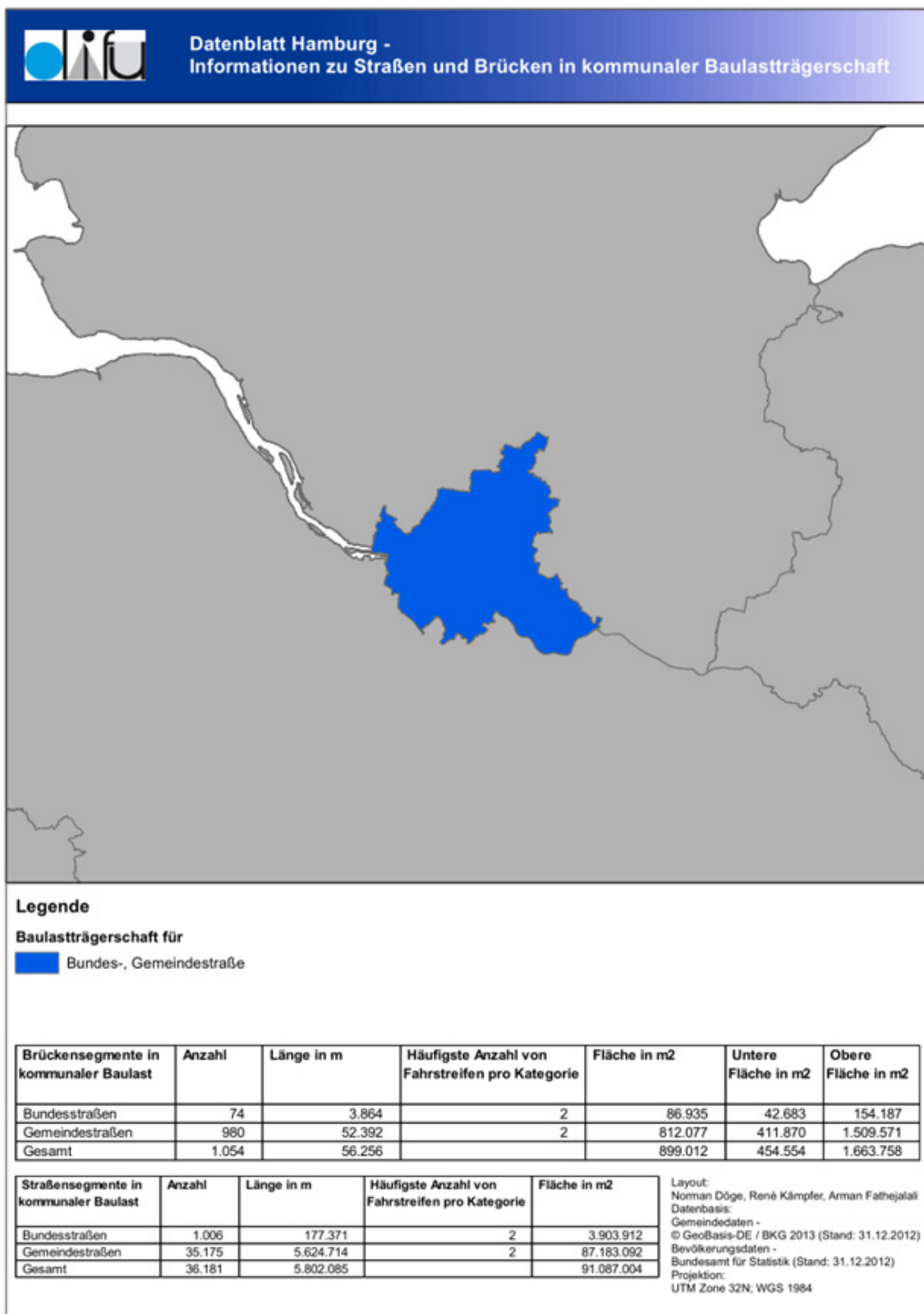
Quelle: eigene Darstellung



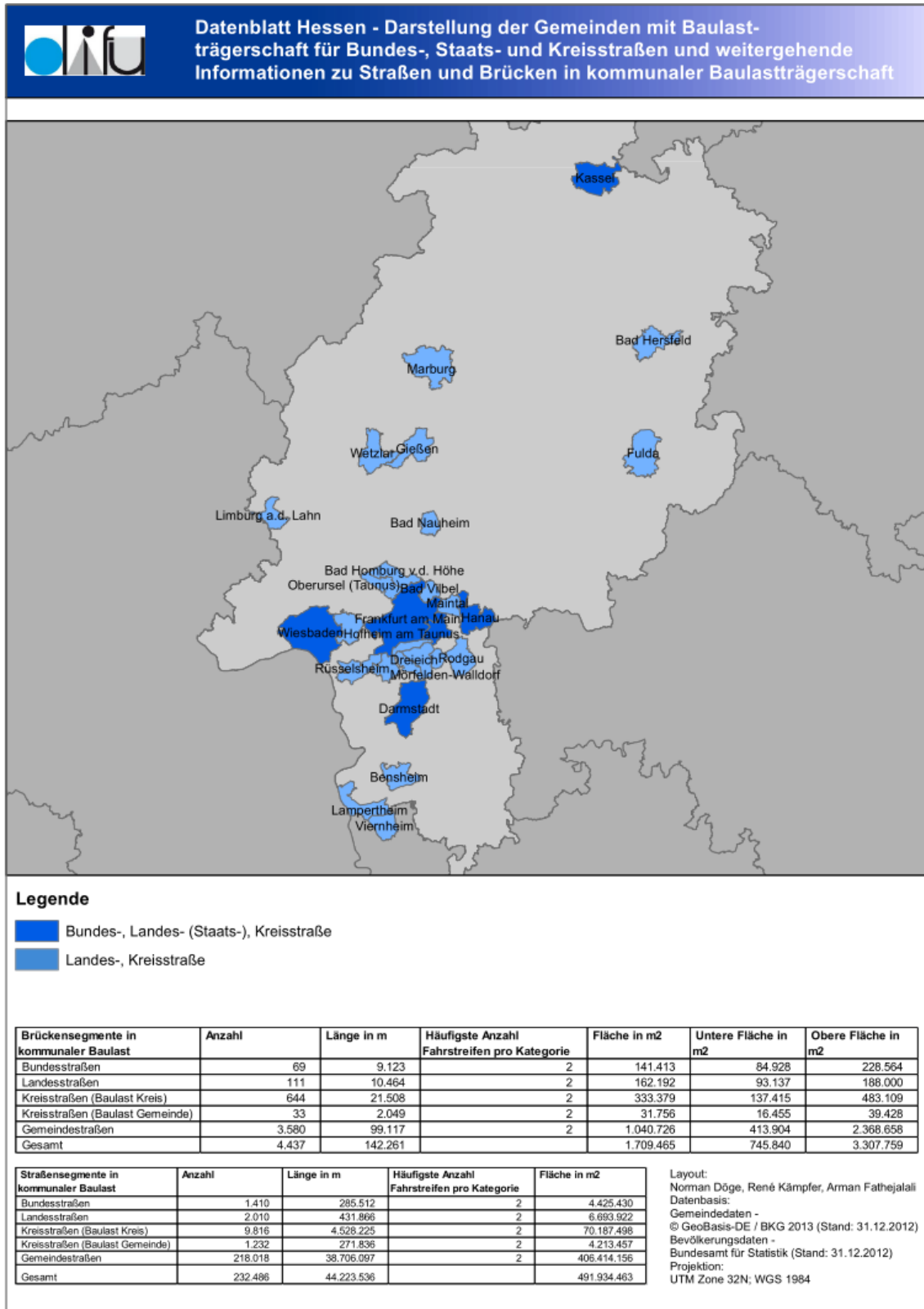
Quelle: eigene Darstellung



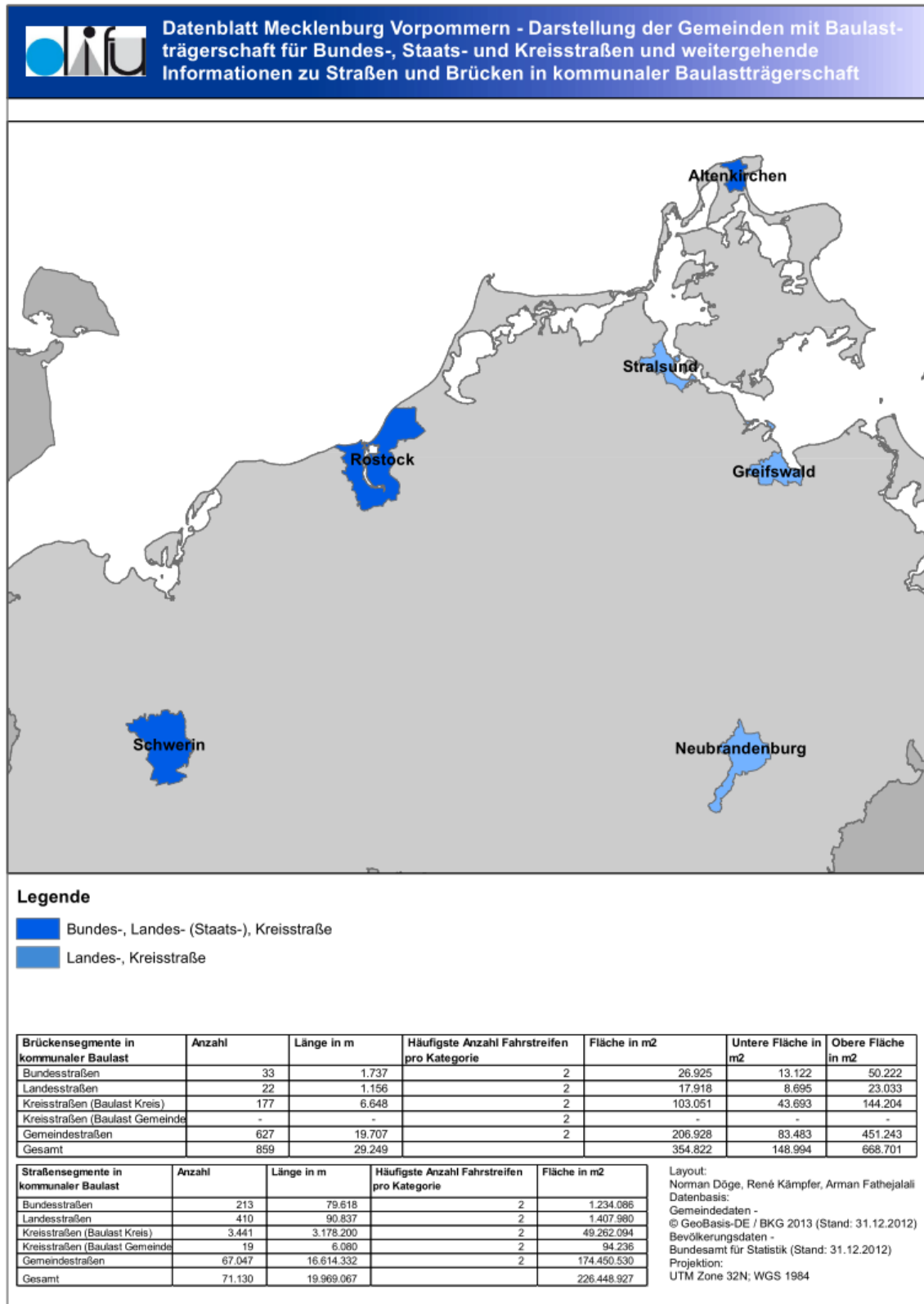
Quelle: eigene Darstellung



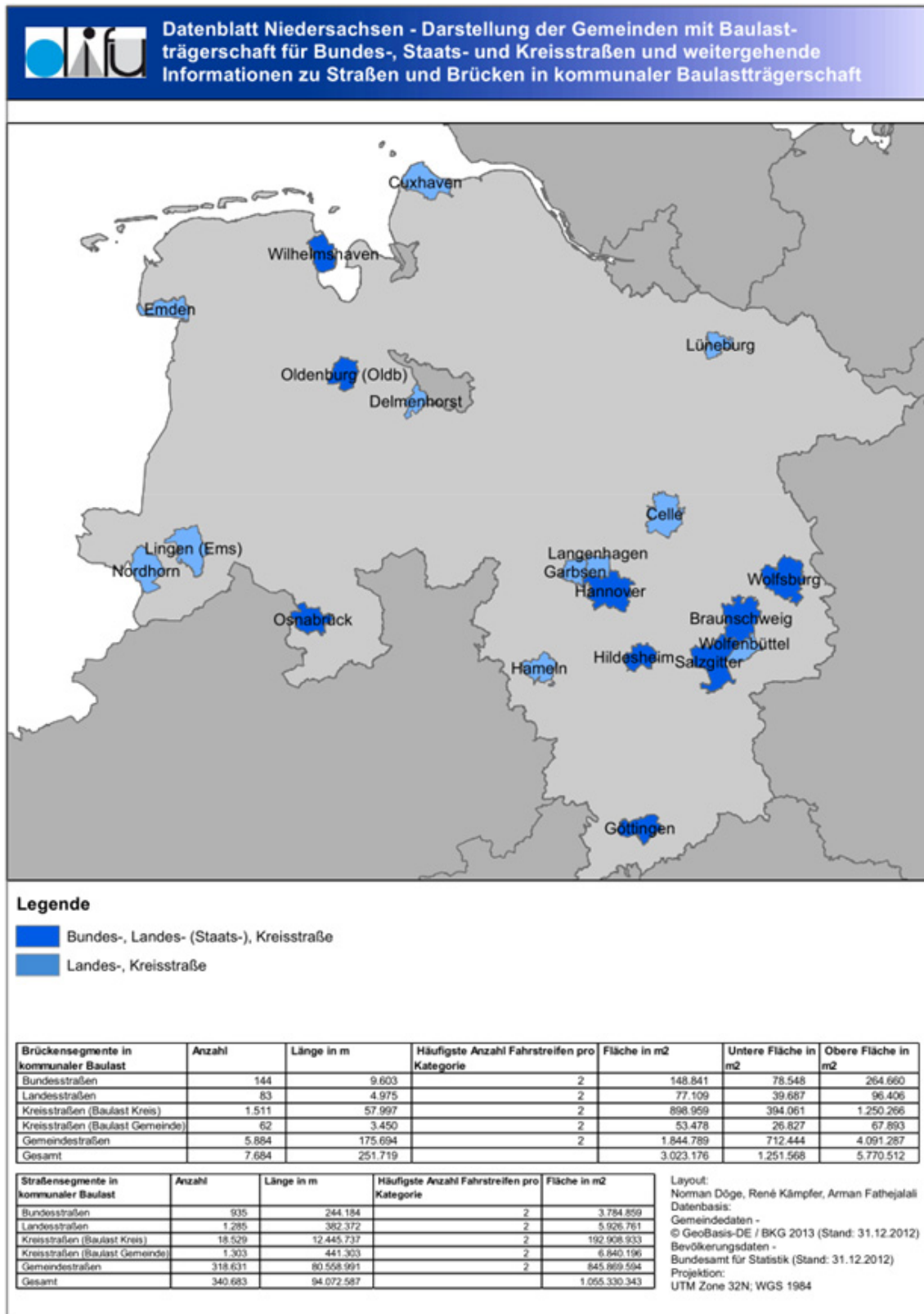
Quelle: eigene Darstellung



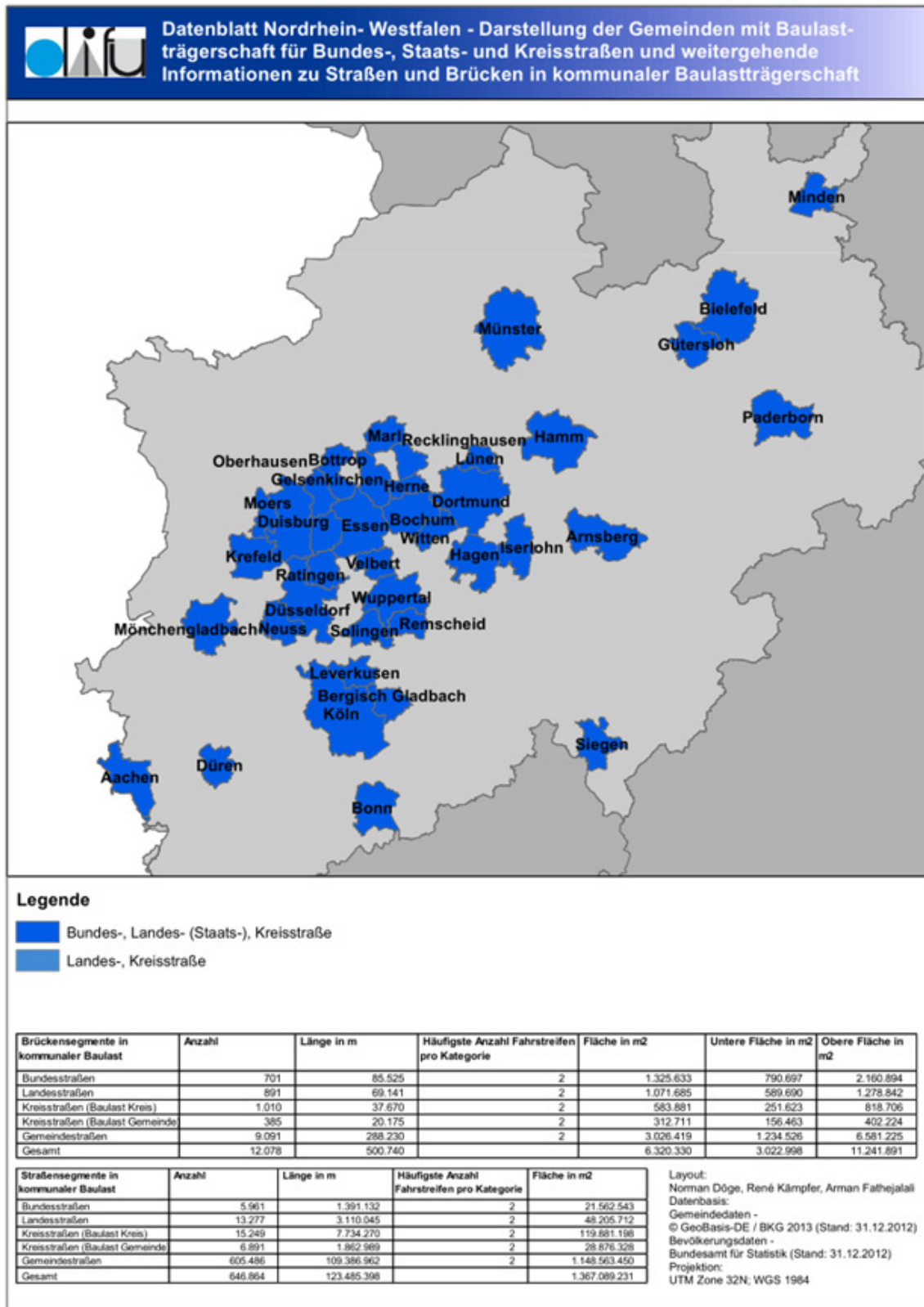
Quelle: eigene Darstellung



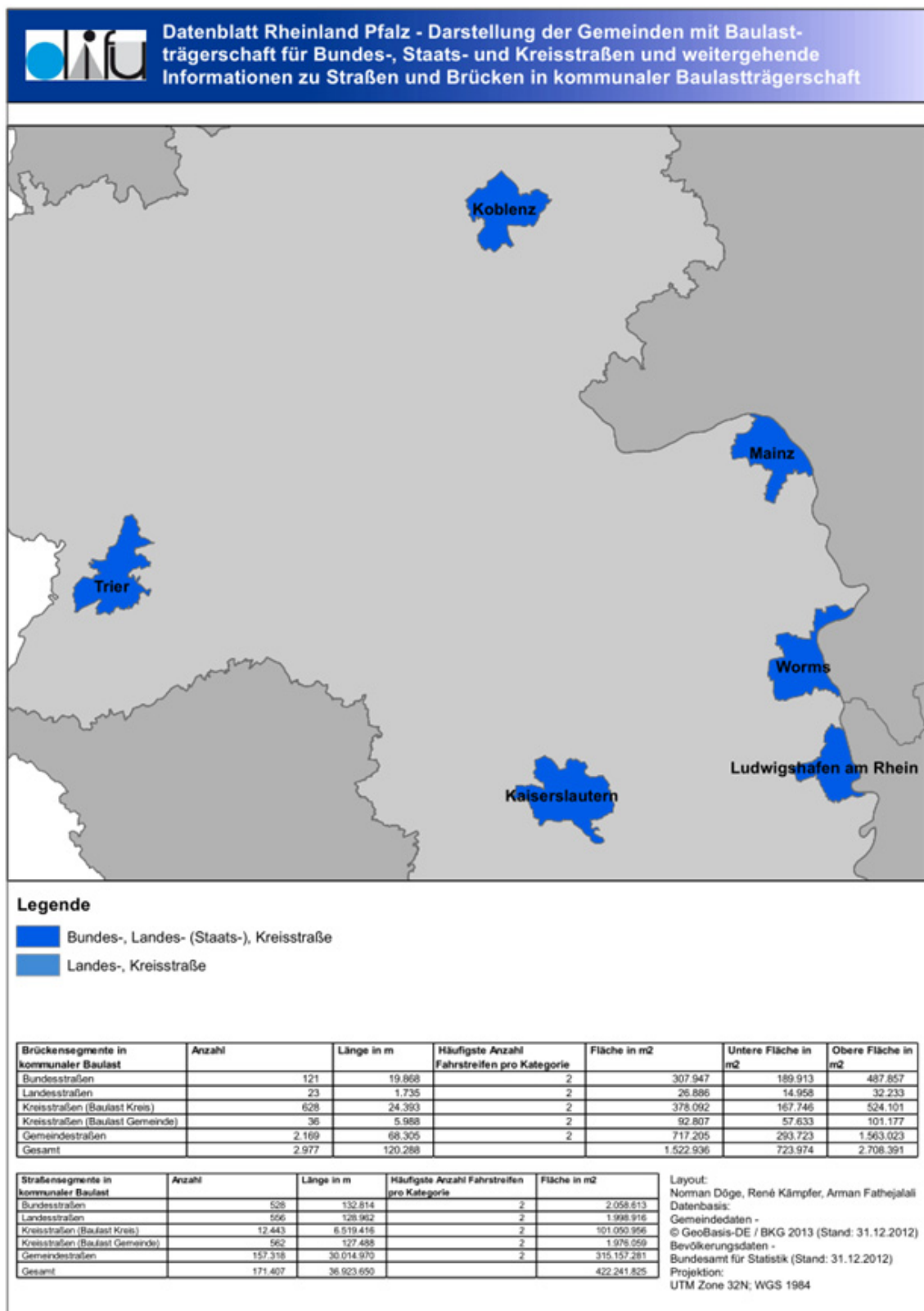
Quelle: eigene Darstellung



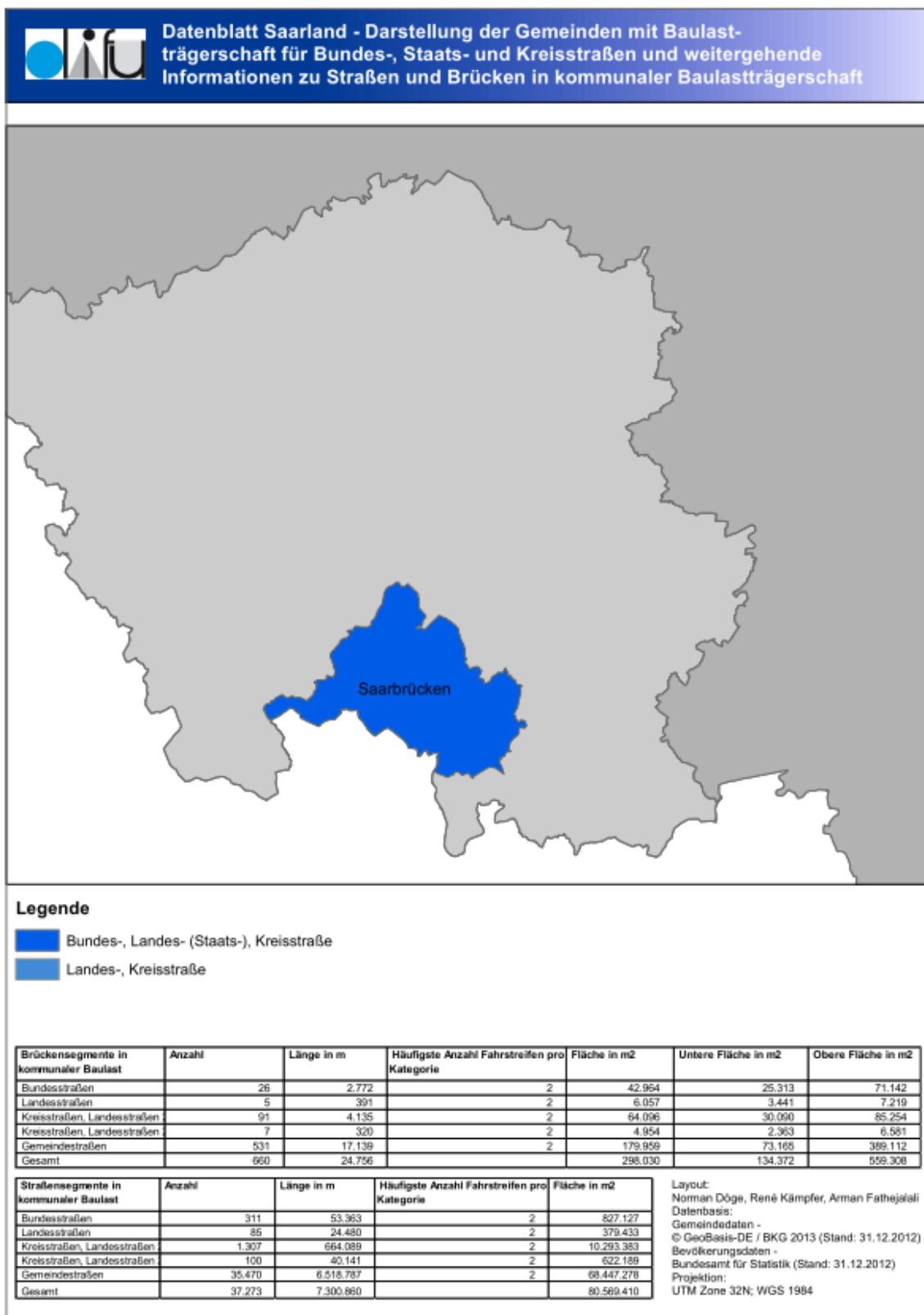
Quelle: eigene Darstellung



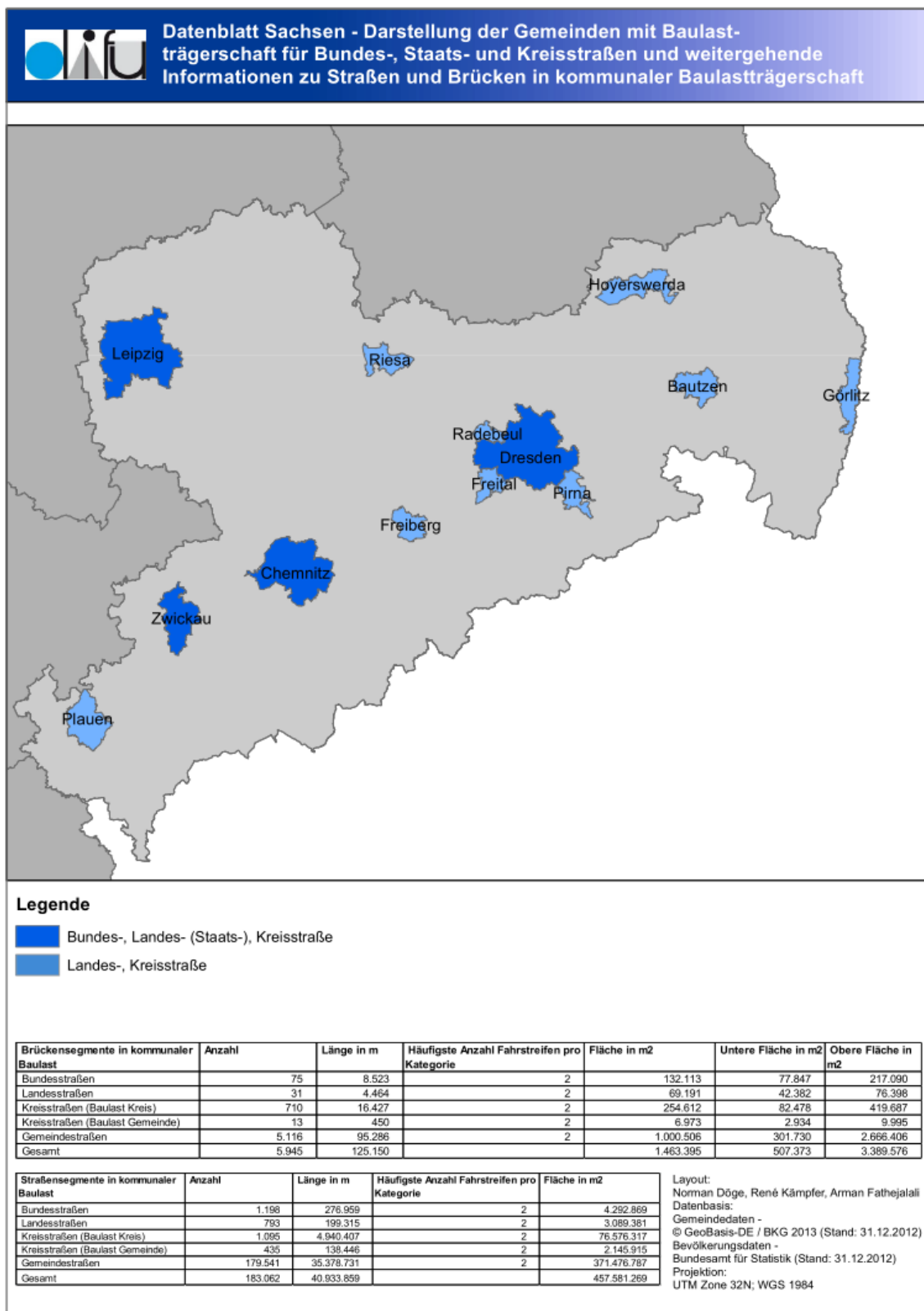
Quelle: eigene Darstellung



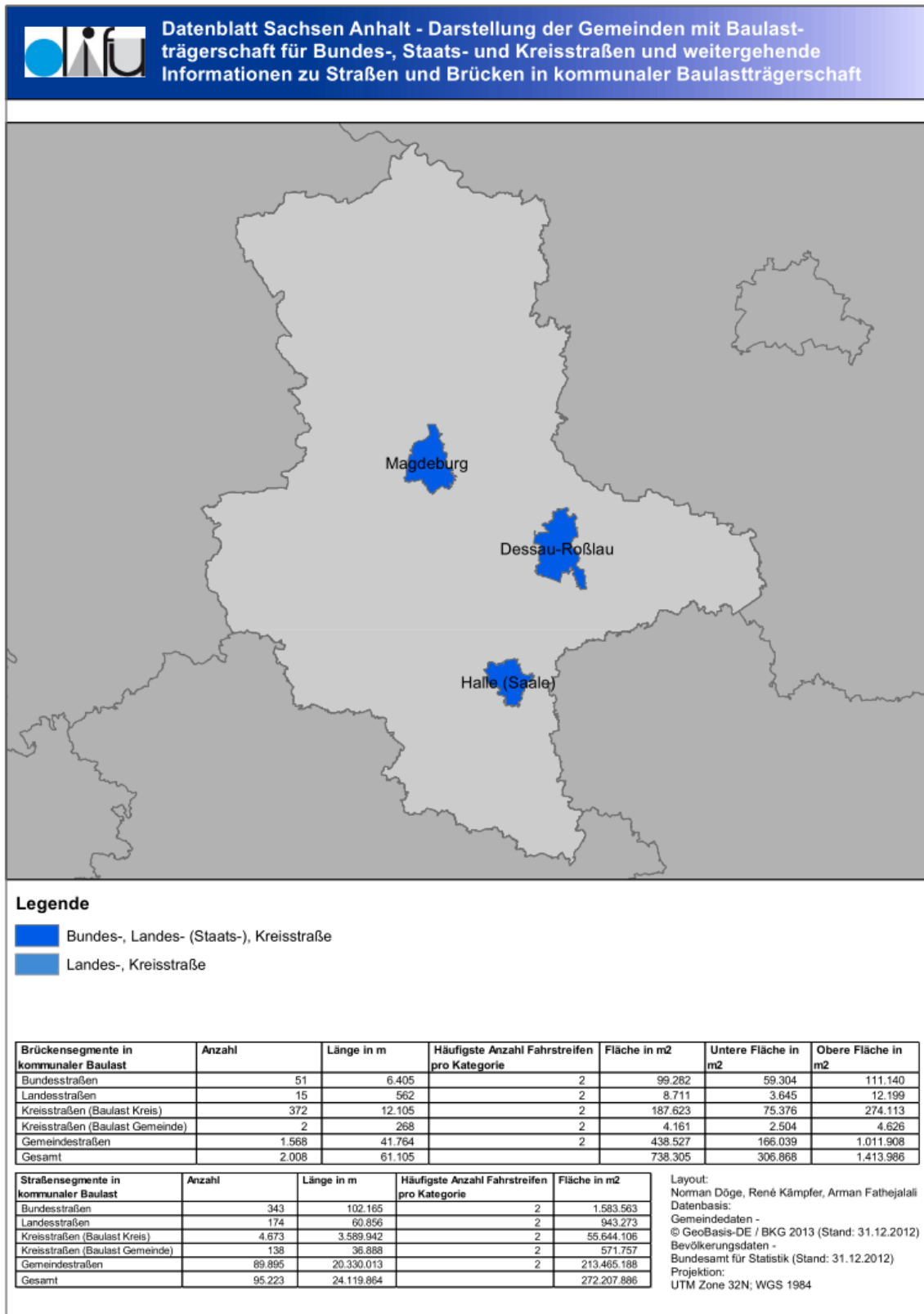
Quelle: eigene Darstellung



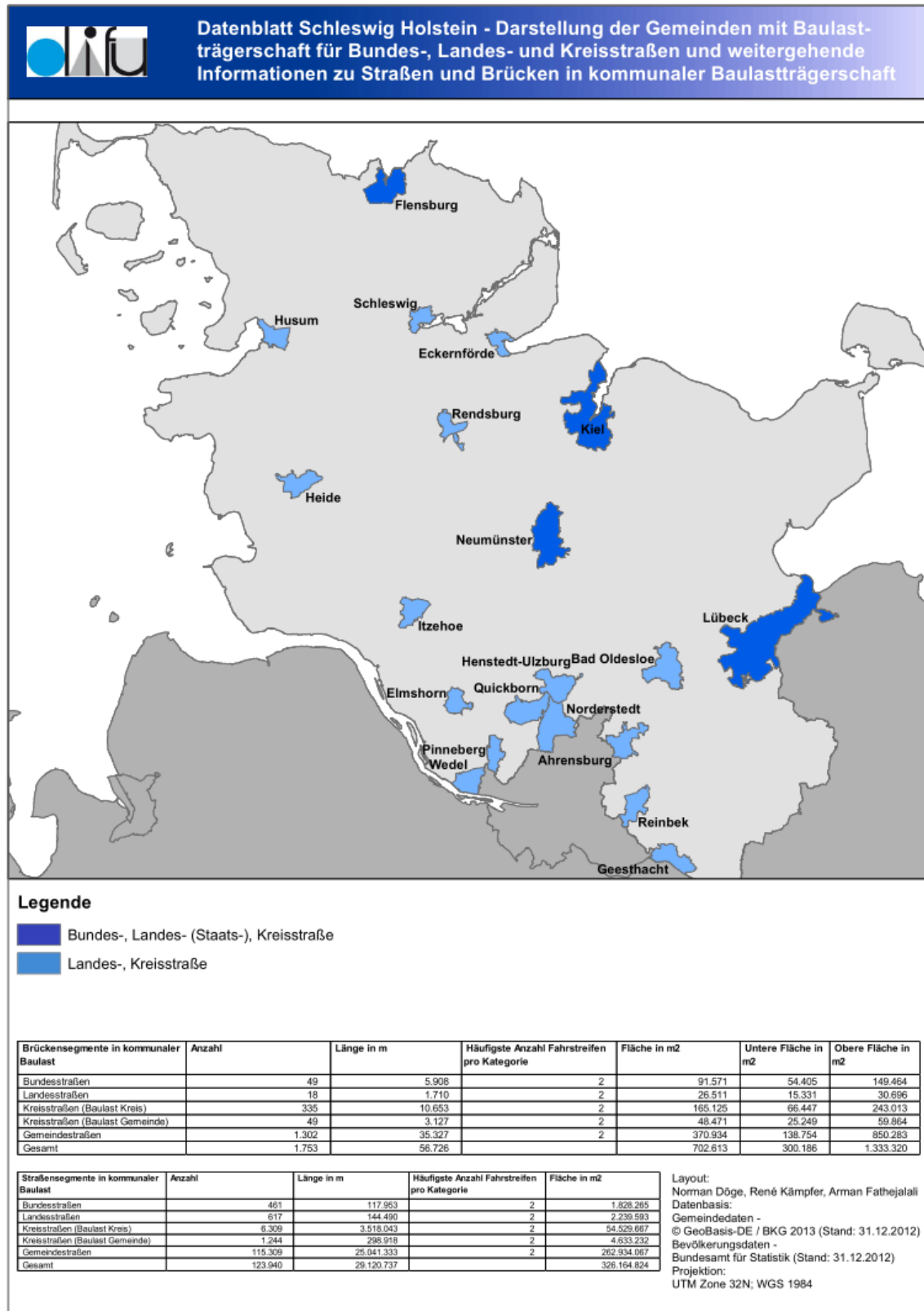
Quelle: eigene Darstellung



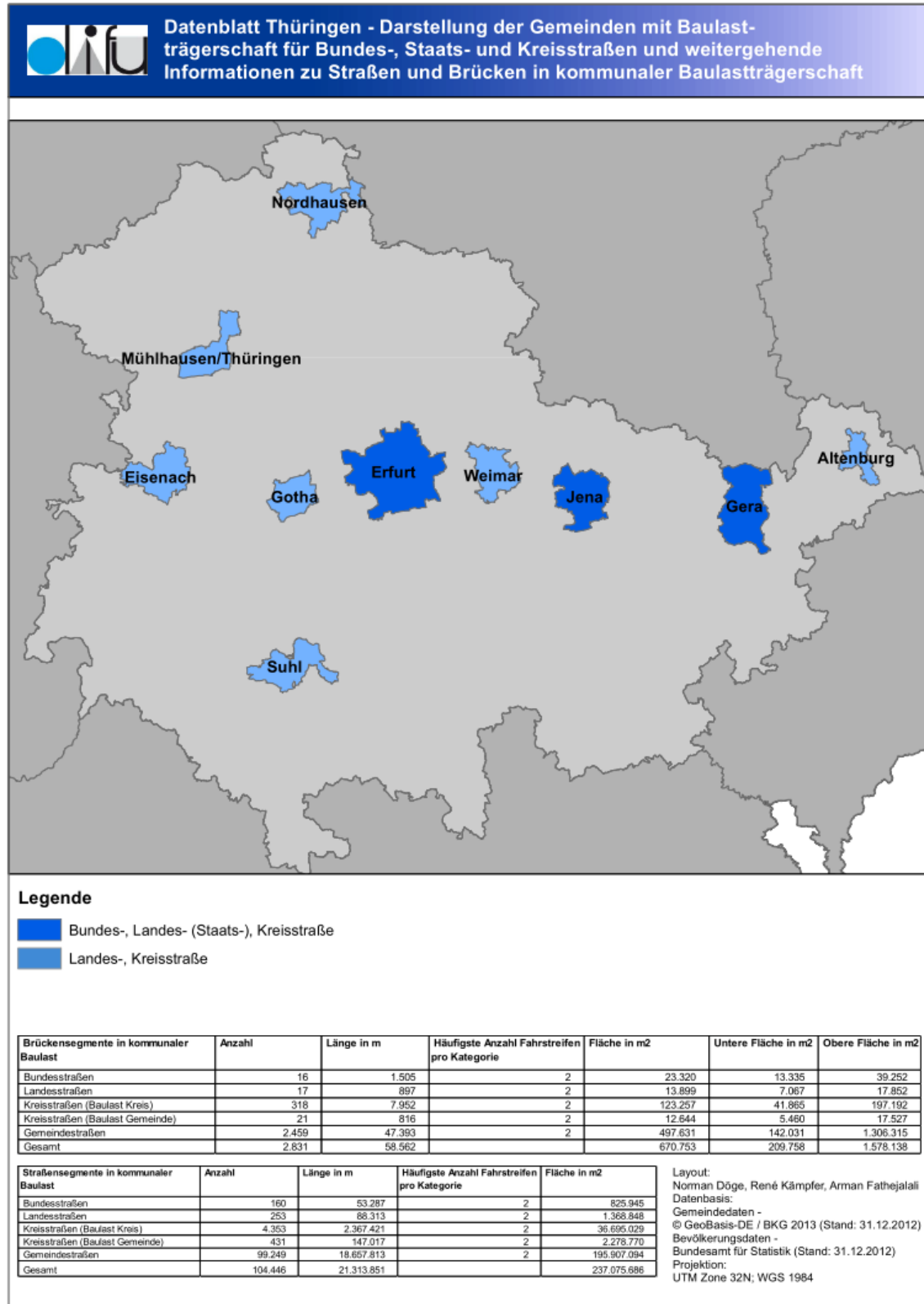
Quelle: eigene Darstellung



Quelle: eigene Darstellung



Quelle: eigene Darstellung



Quelle: eigene Darstellung

Literatur

- Arndt, Wulf-Holger, Klaus J. Beckmann, Marion Eberlein und Busso Grabow: Kommunale Straßenbrücken – Zustand und Erneuerungsbedarf, Berlin 2013 (Difu-Impulse, Bd. 6/2013).
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q)I, Köln 1996.
- Daehre-Kommission: „Bericht der Kommission „Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“, 2012, [http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=daehre-kommission%20\(s.%2015\)%20&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.vdv.de%2Fbericht-daehre-kommission-dezember-2012.pdf%3Fforced%3Dtrue&ei=h-90UZz3Fcfdswanq4HICA&usg=AFQjCNE31jaM_a5ZsPchrLZ4j](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=daehre-kommission%20(s.%2015)%20&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.vdv.de%2Fbericht-daehre-kommission-dezember-2012.pdf%3Fforced%3Dtrue&ei=h-90UZz3Fcfdswanq4HICA&usg=AFQjCNE31jaM_a5ZsPchrLZ4j) (Zugriff am 10.04.2013).
- Natzschka, Henning: Straßenbau, Wiesbaden 2001.
- Sächsischer Verband der Bauindustrie e.V.: Brücken in sächsischen Städten und Gemeinden, Dresden 2000.

