

Abschlussbericht

für das im Rahmen des Förderprogramms „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW, Förderbereich 6: Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Abwasserbeseitigung“ geförderte F&E-Vorhaben:

Wasserwirtschaftliche Ermittlungen und Anwendung von digitalen Versiegelungsdaten aus Amtlichen Liegenschaftskatasterdaten

WaLKIS

Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen



Abschlussbericht zum Projekt

**Wasserwirtschaftliche Ermittlungen und Anwendung von digitalen Versiegelungsdaten aus
Amtlichen Liegenschaftskatasterdaten (WaLKIS)**

Gefördert von

Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen



Aachen, April 2018
FiW an der RWTH Aachen

Dr.-Ing. F.-W.- Bolle

Projektbearbeitung

Institution

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft
an der RWTH Aachen (FiW) e.V.
Kackertstraße 15-17
52056 Aachen

Bearbeiter

Dr.-Ing. Gesa Kutschera

Sajjad Tabatabaei, M.Sc.

Leon Indjike, M.Sc.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Versiegelte Flächen | 3 |
| 2.1 | Allgemein | 3 |
| 2.2 | Bedeutung der versiegelten Flächen für die Wasserwirtschaft | 4 |
| 2.3 | Erhebungsmethoden | 4 |
| 3 | Datengrundlage | 7 |
| 3.1 | ALKIS..... | 7 |
| 3.2 | DGM | 8 |
| 3.3 | Bevölkerungskataster | 8 |
| 3.4 | Referenzdaten von Emschergenossenschaft und Lippeverband..... | 9 |
| 3.4.1 | Einzugsgebiet des Untersuchungsgebietes | 9 |
| 3.4.2 | Aufbau der Daten..... | 10 |
| 3.5 | Qualität und Grenzen der Datengrundlage | 12 |
| 4 | Softwareanwendungen | 20 |
| 4.1 | ArgGIS Desktop..... | 20 |
| 4.2 | Python..... | 20 |
| 4.3 | R | |
| 5 | Methodik | 22 |
| 5.1 | Vorbemerkung | 22 |
| 5.2 | Bestimmung der Gebäude- und öffentlichen Verkehrsflächen..... | 22 |
| 5.2.1 | Gebäude- und Dachflächen..... | 23 |
| 5.2.2 | Verkehrsflächen..... | 24 |
| 5.3 | Bestimmung von Zuwegungsflächen | 25 |
| 5.3.1 | Klassifizierungsmodelle | 26 |
| 5.3.2 | Regressionsmodelle | 28 |
| 5.3.3 | Clusteranalyse | 32 |
| 5.3.4 | Modellgüte | 33 |
| 5.4 | Identifizierung der relevanten ALKIS–Objektarten | 34 |
| 5.4.1 | Objektartenbereich „Flurstücke, Lage, Punkte“ | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.4.2 | Objektartenbereich „Tatsächliche Nutzung“ | 35 |
| 5.4.3 | Objektartenbereich „Gebäude“ | 35 |
| 5.4.4 | Objektartenbereich „Bauwerke, Einrichtungen und sonstige Angaben“ | 35 |
| 5.5 | Erzeugung der Erklärungsvariablen | 36 |
| 5.5.1 | Metrische Regressoren | 37 |
| 5.5.2 | Kategoriale Regressoren | 38 |
| 5.6 | Referenzdaten | 45 |
| 6 | Untersuchungsergebnisse..... | 47 |
| 6.1 | Gebäudeflächen aus ALKIS | 47 |
| 6.1.1 | Objektorientierte Gegenüberstellung von Gebäudepolygone aus ALKIS und Referenzdaten | 47 |
| 6.1.2 | Korrekturwerte für ALKIS Gebäudepolygone | 54 |
| 6.2 | Verkehrsflächen aus ALKIS..... | 58 |
| 6.3 | Abgeleitete Zuwegungsflächen aus ALKIS | 64 |
| 6.3.1 | Klassifizierungsmodell | 64 |
| 6.3.2 | Clusteranalyse, Regressionsmodelle und Kalibrierung..... | 67 |
| 6.3.3 | Validierungsergebnisse | 70 |
| 7 | Zusammenfassung | 73 |
| 8 | Ausblick | 75 |
| 9 | Literaturverzeichnis | 78 |
| Anhang | | 80 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Neuversiegelung und Anteil der versiegelten Flächen in der BRD | 3 |
| Abbildung 2: Schematische Darstellung der Überschneidungen im AAA-Modell | 8 |
| Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines Objektartenbereiches mit den unterstellten Objektartengruppen und Objektarten | 8 |
| Abbildung 4: Verbandsgebiet der Emschergenossenschaft und Lippeverband | 9 |
| Abbildung 5: Anteil der unterschiedlichen versiegelten Flächen im Untersuchungsgebiet der EGLV.. | 12 |
| Abbildung 6: Stand der Aktualisierung der EGLV-Daten im Untersuchungsgebiet der Emschergenossenschaft und Lippeverband..... | 13 |
| Abbildung 7: Vergleich von ALKIS-Daten und EGLV-Gebäudepolygone (Stand 2014) mit Orthophotos in Dortmund (Stand 2018)..... | 14 |
| Abbildung 8: Durch EGLV (Stand 2014) nicht erfasste Zuwegungsflächen in Dortmund (Stand 2018) | 15 |
| Abbildung 9: Beispiele für Flurstücke unter 15 m ² | 16 |
| Abbildung 10: Überlagerung von Flurstücken von mehreren Objektarten der Objektartengruppe "Siedlung"..... | 17 |
| Abbildung 11: Flurstücke mit teilweise über 95 % Überdeckung durch Gebäudepolygone | 18 |
| Abbildung 12: Erfassungsstand der Objektart "Weg, Pfad, Steig" im Untersuchungsgebiet..... | 19 |
| Abbildung 13: Zusammenführung und Gegenüberstellung von Gebäudepolygonen aus ALKIS-Daten und EGLV-Daten..... | 23 |
| Abbildung 14: Methoden zur quantitativen Einschätzung der Eignung von ALKIS - Daten zur Identifizierung von Gebäudeflächen | 24 |
| Abbildung 15: Übersicht der Vorgehensweise zur Abschätzung der Zuwegungsflächen..... | 26 |
| Abbildung 16: Struktur eines Entscheidungsbaumes: An jeder Verzweigung (Knoten) wird ein Merkmal untersucht. Die Blätter (Endknoten) zeigen eine Klasse (A & B)..... | 27 |
| Abbildung 17: Multivariate Analysemethoden und ihre Wechselwirkungen (HOLTMANN, 2010)..... | 29 |
| Abbildung 18: Quadrierte Residuen (Differenz) zwischen den geschätzten und den beobachteten Werte (HOLTMANN, 2010)..... | 31 |
| Abbildung 19: Schematische Darstellung der Clusteranalyse | 32 |
| Abbildung 20: Erklärte und nicht erklärte Streuung in einem linearen Regressionsmodell (eigene Darstellung nach (WOLF UND HENNING, 2010)) | 33 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 21: Ausschnitt aus Dortmund, aufgeteilt in Objektgruppen des Objektbereiches „Tatsächlichen Nutzung“ | 35 |
| Abbildung 22: ALKIS - Objektarten der Objektartengruppe "Siedlung"..... | 39 |
| Abbildung 23: Maßgebliche Gebäudefunktion auf Flurstücken..... | 41 |
| Abbildung 24: Definition von Klassen für den Regressor "Gebäudeanzahl auf Flurstücken | 42 |
| Abbildung 25: Zuteilung der Bevölkerungszahlen auf Flurstücken anhand der Zensusdaten in Gitterformat | 44 |
| Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der Bevölkerungszahlen | 44 |
| Abbildung 27: Verteilung der Bebauungsdichte auf Flurstücke | 45 |
| Abbildung 28: Objektorientierte Gegenüberstellung von Gebäudedaten aus ALKIS und EGLV im Untersuchungsgebiet EGLV, links: Stärke des linearen Zusammenhangs; rechts: Grad der Übereinstimmung in Prozent | 48 |
| Abbildung 29: Mittlere Übereinstimmung von Gebäudeflächen aus ALKIS und EGLV auf kommunaler Ebene im Untersuchungsgebiet EGLV | 48 |
| Abbildung 30: Überschüsse (grün) und Defizite (orange) der durch ALKIS erhobenen Gebäude- und Dachflächen im Vergleich zu EGLV – Daten im Untersuchungsgebiet EGLV | 49 |
| Abbildung 31: Darstellung von Gebäudeflächen unter 2 m ² | 50 |
| Abbildung 32: Gegenüberstellung der summierten Gebäudeflächen auf einzelne Flurstücke aus ALKIS und EGLV, links: Stärke des linearen Zusammenhangs; rechts: Grad der Übereinstimmung in Prozent..... | 51 |
| Abbildung 33: Prozentuales Defizit der durch ALKIS erfassten Gebäudeflächen im Vergleich zu EGLV - Gebäudeflächen | 54 |
| Abbildung 34: Verteilung der Abweichung zwischen korrigierten ALKIS-Gebäudeflächen und EGLV- Gebäudeflächen (links: Methode 1, rechts: Methode 2) | 55 |
| Abbildung 35: Verlauf der Abweichungen zwischen EGLV- und ALKIS Gebäudepolygonen bei unterschiedlichen Korrekturansätzen | 56 |
| Abbildung 36: Zusammenhang zwischen der Gebäudegröße und der Größe der Abweichungen zu EGLV-Gebäudepolygone | 56 |
| Abbildung 37: Vergleich der Übereinstimmungen von ALKIS-Gebäudeflächen und korrigierten ALKIS- Gebäudeflächen mit EGLV-Gebäudeflächen | 57 |
| Abbildung 38: Übereinstimmung der Flächensummen der korrigierten ALKIS-Gebäudeflächen mit EGLV-Gebäudeflächen in den Kommunen von Emschergenossenschaft und Lippeverband | 58 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 39: Übereinstimmung der Objektart "Straßenverkehr" mit EGLV Daten bezogen auf Kommunen im Einzugsgebiet der Emschergerossenschaft und Lippeverband | 59 |
| Abbildung 40: Erfassung von befestigten Verkehrsflächen durch EGLV und ALKIS (in der Kommune Nottuln)..... | 60 |
| Abbildung 41: Flächenüberschuss bzw. Flächendefizit der Objektart „Straßenverkehr“ (rot) und erweiterter Auswahl (schwarz) im Vergleich zu EGLV–Verkehrsflächen | 62 |
| Abbildung 42: Erfassung von Verkehrsflächen durch ALKIS und EGLV (Stand 2008) in Bad Sassendorf (Stand 2017) | 63 |
| Abbildung 43: Erfassungsgenauigkeit der Verkehrsflächen durch ALKIS-Daten (Stand Dortmund 2018, Dorsten 2018, Recklinghausen 2018, Essen 2015) (EGLV Stand: Dortmund, Recklinghausen, Essen 2014, Dorsten 2010) | 64 |
| Abbildung 44: Fehlereinschätzung für den Generalisierungsfehler | 65 |
| Abbildung 45: Ranking der Gewichtung der Regressoren | 66 |
| Abbildung 46: Einzugsgebiet des Hüller Bachs im Untersuchungsgebiet der EGLV | 67 |
| Abbildung 47: Zuordnung von Flurstücken zu Clustern mit unterschiedlicher Güte der Regressionsmodelle | 69 |
| Abbildung 48: Ausgewählte Teileinzugsgebiete mit Abweichungen unter und über 20 % zwischen EGLV-Zuwegungsflächen und prognostizierten Zuwegungsflächen..... | 70 |
| Abbildung 49: Digitalisierte Flurstücke in der Städteregion Aachen für die Validierung der Regressionsmodelle (Stand 2016) | 71 |
| Abbildung 50: Prozentuale Übereinstimmung der Prognosewerte für Zuwegungsflächen mit manuell digitalisierten Zuwegungsflächen aus der Städteregion Aachen..... | 72 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Unterteilung der befestigten Flächen anhand der „Leistungsbeschreibung für die ArcGIS-konforme Erfassung der befestigten Flächen“ der EGLV | 10 |
| Tabelle 2: Daumenregeln für die Bewertung der Maßzahl R^2 (COHEN, 1988) | 34 |
| Tabelle 3: Ableitung der unabhängigen Variablen (Regressoren) aus ALKIS | 37 |
| Tabelle 4: Anteil der unterschiedlichen Siedlungs-Objektarten im Untersuchungsgebiet der EGLV.... | 40 |
| Tabelle 5: Auswahl an maßgebliche Gebäudefunktionen zur Kategorisierung von Flurstücken..... | 41 |
| Tabelle 6: Klassen der Regressors "Gebäudeanzahl auf Flurstücken" | 43 |
| Tabelle 7: Auswahl von Objektarten zur Bestimmung von Gebäudeflächen | 47 |
| Tabelle 8: Zusammensetzung unterschiedlicher Fälle bei der Gegenüberstellung von Gebäudepolygonen aus ALKIS und EGLV auf einzelne Flurstücke im Untersuchungsgebiet EGLV | 51 |
| Tabelle 9: Die Übereinstimmung der summierten Gebäudeflächen auf Flurstücke getrennt nach Siedlungen | 52 |
| Tabelle 10: Auswahl an ALKIS – Objektarten, die Verkehrsflächen abbilden | 61 |
| Tabelle 11: Prognose von Zuwegungen auf Flurstücke mit der Methode "Entscheidungsbäume" | 66 |
| Tabelle 12: Ergebnisse der statistischen Abschätzung von Zuwegungsflächen und durchschnittliche Übereinstimmungen mit den Kalibrierungsdaten..... | 68 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------|---|
| 2000/60/EG | EG-Wasserrahmenrichtlinie |
| 91/271/EWG | EWG-Richtlinie zur Behandlung von kommunalen Abwasser |
| AAA | AFIS-ALKIS-ATKIS |
| AFIS | Amtliches Festpunktinformationssystem |
| ALB | Liegenschaftsbuch |
| ALKIS | Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem |
| ATKIS | Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem |
| ATV-A | Abwassertechnische Vereinigung e.V. Arbeitsblatt |
| DWA-A | Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall Arbeitsblatt |
| EDV | Elektronische Datenverarbeitung |
| EGLV | Emschergenossenschaft/Lippeverband |
| EH-HWRM-RL | Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken |
| GDI | Geodateninformationsstruktur |
| iSurf-A | Impervious Surface Analysis |
| LfU | Bayrisches Landesamtes für Umwelt, Bayrisches Landesamtes für Umwelt |
| NAS | Normbasierte Austauschchnittstelle, Normbasierte Austauschchnittstelle |
| NRW | Nordrhein-Westfalen |
| OLS | <i>ordinary least squares</i> |
| OS | Objektschlüssel |
| SMA | Spectral Mixture Analysis, Spectral Mixture Analysis |
| SVM | Support Vector Machines |
| XML | Extensible Markup Language, Extensible Markup Language |

1 Einleitung

Daten zu versiegelten Flächen (vgl. Kapitel 2.1) sind aufgrund der Folgewirkung mit einer Beeinträchtigung des Wasserhaushalts und in diesem Zusammenhang einer geringeren Grundwasserneubildung, eines größeren Oberflächenabflusses und sinkender Evapotranspiration eine relevante Basisinformationen für diverse wasserwirtschaftliche Aufgabenstellungen (BLUME, 1992). Trotz zahlreicher integraler Funktionen existiert für das Land NRW weder eine einheitliche Methodik zur Erhebung der Versiegelungsdaten noch eine zentrale Datenbank, in der Versiegelungsinformationen für wasserwirtschaftliche Anwendungen vorgehalten werden. Stattdessen gibt es eine heterogene Datenlandschaft mit kommunal oder regional jeweils individuellen Vorgehensweisen. Die bisherige Abschätzung des Versiegelungsgrads von Siedlungsbereichen erfolgt dabei beispielsweise auf Basis der Analyse von Daten aus digitalisierten Luftbildern oder abgeschätzten Durchschnittswerten für Verkehrs- und Siedlungsflächen. Die Emschergenossenschaft und der Lippeverband (EGLV) erzeugen manuell digitalisierte Flächenpolygone aus Orthophotos für wasserwirtschaftliche Zwecke und zur Erhebung von Genossenschafts- bzw. Mitgliedsbeiträgen von Städten und Kommunen (MEINEL AND HERNIG, 2005).

Jedoch sind diese Methoden für eine landesweit flächendeckende Erhebung von versiegelten Flächen in NRW im Hinblick auf verschiedene Gütekriterien wie beispielsweise Wiederholbarkeit und eine automatisierte Erhebung nicht geeignet, um mit einem vertretbaren Aufwand den unterschiedlichen Anforderungen aus der Praxis gerecht zu werden. In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung ist aktuell eine aufwendige Kartierung der Bodenversiegelung in unterschiedlicher räumlicher Auflösung notwendig. Mit der bundesweiten Einführung des "Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems" (ALKIS) existiert erstmals eine geeignete Datengrundlage, die eine flächendeckende Erfassung von versiegelten Flächen ermöglichen kann.

Gebäude-, Verkehrs- und Zuwegungsflächen bilden die drei Flächenkategorien, die den größten Anteil an versiegelten Flächen darstellen. Durch vorhandene Flächenpolygone sollen Hausumringen und Verkehrsflächen anhand einer objektorientierten Auswahl und Zuwegungsflächen mittels statistischer Verfahren erhoben werden.

Ziel des Projektes ist es, den zuständigen Wasserbehörden sowie weiteren Anwendern von Daten zu versiegelten Flächen eine EDV-Anwendung zur Verfügung zu stellen, mit der befestigte Flächen für beliebig abgrenzbare Raumeinheiten in NRW mittels einer wissenschaftlich abgesicherten, dokumentierten und reproduzierbaren Methode abgeleitet werden können. Im Einzelnen soll überprüft werden, ob

- ALKIS-Daten für die flächendeckende Erhebung von Gebäudeflächen geeignet sind,
- ALKIS-Daten für die flächendeckende Erhebung von Verkehrsflächen geeignet sind und
- aus ALKIS-Daten befestigte Zuwegungsflächen abgeleitet werden können.

Gebäude-, Verkehrs- und Zuwegungsflächen bilden die drei Hauptbestandteile der versiegelten Flächen. Die Bestimmung von befestigten Gebäude- und Verkehrsflächen aus Objektarten des ALKIS

wird durch eine gezielte Selektion realisiert. Zuwegungsflächen können durch Auswahl von vorhandenen Objektarten aus ALKIS nicht unmittelbar erfasst werden. Für die Ermittlung der Zuwegungsflächen wird eine mehrstufig statistische Methode angewendet, welche aus Klassifizierungsmodellen und Regressionsmodellen besteht. Im ersten Schritt der Untersuchung werden relevante ALKIS-Objektarten identifiziert, aus denen Erklärungsvariablen zur statistischen Abschätzung der Zuwegungen erzeugt werden. Im zweiten Schritt wird unter Anwendung von Lernmethoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens, d.h. Algorithmen, die aus Erfahrungen lernen, ein Klassifizierungsmodell zur Vorhersage der Existenz von Zuwegungsflächen entwickelt. Abschließend werden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Indikatoren, wie beispielsweise Bebauungs- und Bevölkerungsdichte sowie Siedlungs- und Landschaftsstrukturen, befestigte Flächenanteile mittels Regressionsmodellen abgeschätzt. Dieser Untersuchung liegen manuell digitalisierte Versiegelungspolygone aus Orthophotos zu Grunde, die als Referenzdatensatz dienen. Die Bereitstellung von Versiegelungsdaten für Anwender soll als Dienstleistung durch den Landesbetrieb IT.NRW erfolgen, der hierfür eine geeignete EDV-Lösung entwickeln wird. Zur zielgerichteten anwenderorientierten Entwicklung der Methode wird das Projekt durch einen Lenkungskreis, bestehend aus relevanten Nutzergruppen des wasserwirtschaftlichen Vollzugs (z.B. Wasserverbände, Stadtentwässerungsbetriebe, Bezirksregierungen, Untere Wasserbehörden, Landeseinrichtungen), kontinuierlich begleitet.

2 Versiegelte Flächen

2.1 Allgemein

In Deutschland entstehen täglich im Durchschnitt 104 ha neue Siedlungs- und Verkehrsflächen (1992 - 2015). Zwischen 1992 und 2011 ist der Anteil versiegelter Fläche insgesamt um 19,4 % angestiegen. In NRW liegt der Zuwachs bei 14,3 %. Von der Entwicklung und Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen abgesehen, haben die Bundesländer Bayern mit 17,1 % und Nordrhein-Westfalen mit 16,3 % (Abbildung 1) im Bundesvergleich die höchsten Versiegelungsanteile (Stand 2011). Der zunehmende Flächenverbrauch hat Auswirkungen auf die Umwelt, bspw. begünstigt er Hochwasser und verändert den natürlichen Wasserhaushalt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017). Informationen über versiegelte Flächen sind in Verbindung mit ihrer räumlichen Lage eine wichtige Basisinformation in der Wasserwirtschaft.

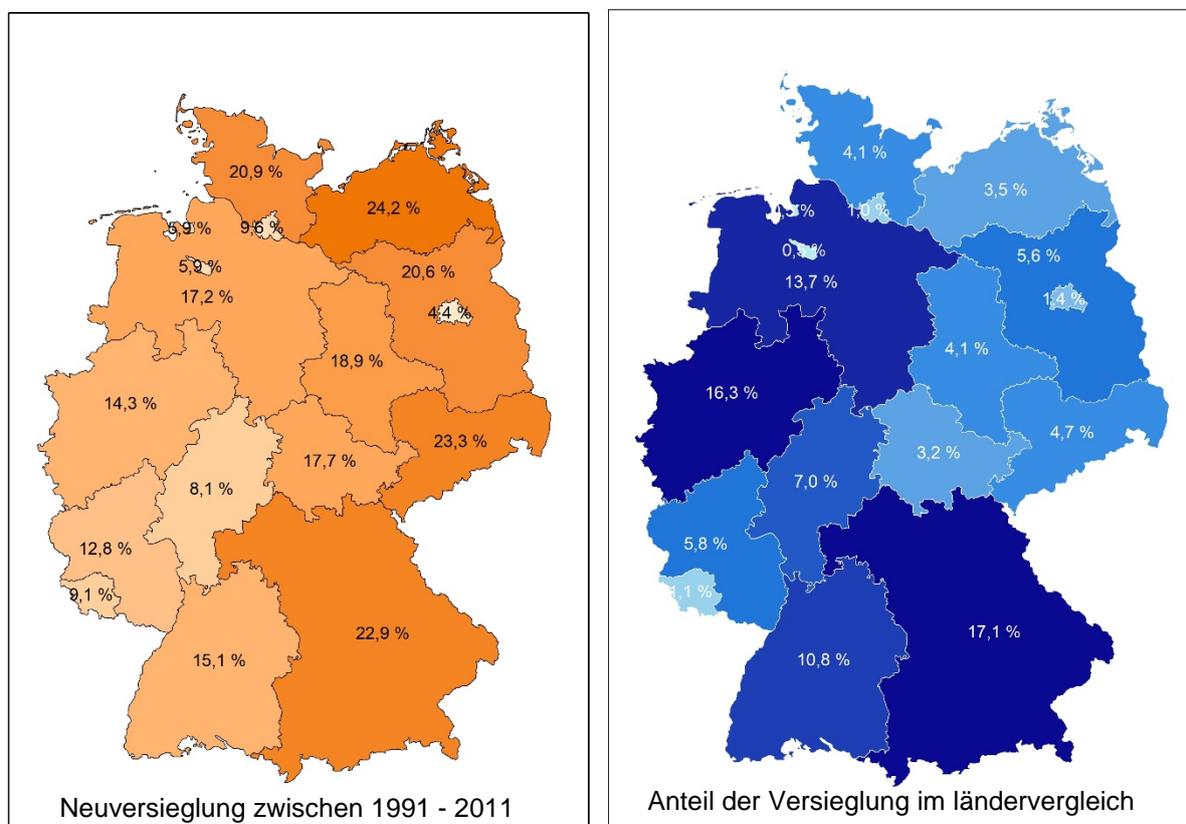


Abbildung 1: Neuversiegelung und Anteil der versiegelten Flächen in der BRD

Als versiegelte Flächen werden nach ATV-A 198 durchlässige und undurchlässige Flächen mit Unterbau bezeichnet. Versiegelungsdaten werden regelmäßig von den zuständigen Behörden sowie Fachplanern, die sich mit Themen des Umweltschutzes befassen, für die Stadt- und Landesplanung und für die Wasserwirtschaft genutzt. Die Forderung nach zeitlich hoch aufgelösten Versiegelungsdaten wird in der Politik immer lauter, um umweltpolitische und stadtplanerische Strategien nachhaltig sichtbar zu machen (SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND WOHNEN, 2012).

Auch in der Fachwelt kommt die Bedeutung der versiegelten Flächen zum Ausdruck, z.B. bei der Erarbeitung des neuen Arbeitsblattes DWA-A 102, welches sich noch im Gelbdruck befindet. Dieses

Arbeitsblatt befasst sich mit den „Grundsätzen zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer“. Es enthält emissions- und immissionsbezogene Grundsätze und Vorgaben zum Umgang mit niederschlagsbedingten Siedlungsabflüssen. Darin ist als wesentliche Grundlage der Betrachtungen zu Menge (Quantität) und Beschaffenheit (Qualität) des Oberflächenabflusses eine möglichst genaue Flächenermittlung mit den Abfluss beeinflussenden Merkmalen genannt (BECK ET AL., 2016).

2.2 Bedeutung der versiegelten Flächen für die Wasserwirtschaft

Aufgrund einer starken Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen, z.B. als Pflanzenstandort, Lebensraum von Organismen sowie Grundwasserspender und -filter durch Oberflächenversiegelung, sind Versiegelungsdaten relevante Basisinformationen für diverse wasserwirtschaftliche Aufgabenstellungen (BLUME, 1992). Dazu zählen die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG), die Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (EG-HWRM-RL) und die EWG-Richtlinie zur Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG). In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung ist eine aufwendige Kartierung der Bodenversiegelung in unterschiedlicher räumlicher Auflösung notwendig. Diese Informationen finden beispielsweise Anwendung bei der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie, für Schmutzfrachtnachweise und Kanalnetzberechnungen als Basis der Erteilung von Einleiterlaubnissen, kommunale Niederschlagswasserbeseitigungskonzepte und Generalentwässerungspläne sowie Planung von Niederschlagsentwässerungen nach Trennerlass und kombiniertem Ansatz (BORCHARDT ET AL., 2007). Auch im Zuge der Bewertung und des Managements von Hochwasserrisiken spielen Versiegelungsinformationen eine wesentliche Rolle. So werden mit ihrer Hilfe u.a. urbane Überflutungsrisiken infolge von Starkniederschlägen identifiziert und Planungen der sogenannten „wassersensiblen Stadtentwicklung“ durchgeführt. Auch beim Ableiten von Rauheitsparametern für 2D-Hydrodynamische-Modellierungen und Hochwasser-Modellierung kleiner Einzugsgebiete (bis ca. 100 km²) sowie bei kombinierten Modellierungen des Oberflächenabflusses und hydrodynamischer Kanalnetzmodellierung zur Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels finden sie Anwendung. Darüber hinaus liefern Versiegelungsinformationen die Grundlage für die Ermittlung von Abwassergebühren sowie weitere abgabenrechtliche Aufgaben nach Kommunalabgabenrecht, wie Veranlagungsmaßstäbe für die Umlage von Beiträgen und Gebühren.

2.3 Erhebungsmethoden

Bei der Erfassung von Versiegelungsdaten kann auf zwei unterschiedliche Verfahrensgruppen zurückgegriffen werden. Zum einen sind dies terrestrische Erhebungsmethoden wie Katastervermessung, Fragebögen sowie Interviews, zum anderen Fernerkundungsverfahren wie die des Luftbild-, Flugzeugscanner- und Satellitenbildverfahrens (FISCHER-STABEL ET AL., 2004). Beide Verfahrensgruppen unterscheiden sich sowohl bei der geometrischen und semantischen Genauigkeit als auch beim notwendigen Arbeits- und Zeitaufwand.

Bei terrestrischen Erhebungsmethoden wird die Oberflächenbedeckung durch Vorortvermessungen hinsichtlich der Flächentreue und der Bedeckungstypen detailgetreu aufgenommen. Insbesondere im Bereich Städtebau und Stadtplanung finden diese Katastervermessungen Anwendung. Zur Erhebung von Versiegelungsdaten für die Wasserwirtschaft werden in der Regel Fragebögen an alle Haushalte einer Kommune verteilt, wobei die Ergebnisse aufgrund von Schätzungen und bewusstem oder unbewusstem inkorrekten Ausfüllen qualitativ nicht hochwertig sind und die Anforderungen an eine genaue Flächenabschätzung nicht erfüllen können (NETZBAND, 1998).

Neben den terrestrischen Erhebungsmethoden werden unterschiedliche Methoden angewendet, die auf Fernerkundungsdaten basieren. Eine dieser Methoden ist die Spectral Mixture Analysis (SMA). Bei dieser Methode werden einzelne Pixel in Komponenten aufgespalten, die unterschiedliche Materialien darstellen (ADAMS ET AL., 1989). Vorteilhaft an dieser Methode ist, dass auch Regionen mit einer hohen Pixelmischung, die z.B. bei verschiedenen Bedeckungsarten auftritt, analysiert werden können. Dabei werden vorhandene spektrale Signaturen vorausgesetzt, welche die verschiedenen Bedeckungsarten oder Oberflächen homogen repräsentieren. Die Erzeugung dieser spektralen Signaturen ist jedoch sehr aufwendig, da diese durch Pixelvektoren beschrieben werden müssen. Zusätzlich müssen Störeffekte, die beispielsweise durch Schatten auftreten können, als Signaturen berücksichtigt werden (KRESSLER AND STEINNOCHER, 1995).

Eine weitere Methode zur Ermittlung von Flächeninformationen anhand von Fernerkundungsdaten ist die Impervious Surface Analysis (iSurf-A) mittels Support Vector Machines (SVM). Bei dieser Methode wird in einem vordefinierten Untersuchungsgebiet zunächst mit Hilfe von Trainingsdaten ein Regressionsmodell erstellt und anschließend auf das gesamte Bild übertragen (BACHOFER ET AL., 2009).

In unterschiedlichen Vorhaben wurde versucht, Versiegelungsdaten durch Kombination von Fernerkundungsdaten und Katasterinformationen mit hohem räumlichen Detaillierungsgrad zu erheben. In den Jahren 2007 und 2015 wurde der Lehrstuhl für Fernerkundung des Geografischen Instituts der Universität Würzburg durch das Bayrische Landesamt für Umwelt (LfU) in zwei aufeinander aufbauenden Projekten beauftragt, eine Technik zur weitestgehend automatisierten Kartierung der Flächenversiegelung auf Basis von Satellitenaufnahmen und ATKIS-Daten zu entwickeln. Der Ansatz des halbautomatischen Verfahrens beruht im ersten Schritt auf der Anwendung von digitalen Bildanalysetechniken, bei welchen Versiegelungsdaten mit Hilfe multispektraler Satellitendaten modelliert werden. Die Grundlage hierfür bilden Luftaufnahmen von mehreren Untersuchungsgebieten, um räumlich geringer aufgelöste Landsat-Szenen mit hoher Flächenabdeckung für die Erfassung von Versiegelungsdaten zu trainieren. Bei der Auswertung der Luftaufnahmen werden versiegelte und unversiegelte Flächen in einem 0,4-Meter Raster kartiert, die als Basis für die darauffolgende Berechnung eines Regressionsmodells dienen. Das Modell setzt anschließend die spektrale Information der Landsat-Daten mit ermittelten Versiegelungswerten aus den analysierten Luftbildaufnahmen in Beziehung. Auf diese Art und Weise kann jeder Rasterzelle der Landsat-Szene über deren Spektralinformation ein Versiegelungsgrad zugewiesen werden. Um eine bessere Genauigkeit zu erreichen und das Verfahren zu beschleunigen, wird die Auswertung der Satellitendaten durch die

Integration von Vektordaten des ATKIS auf Siedlungs- und Verkehrsflächen fokussiert. Mit dieser Methode lassen sich Versiegelungsinformationen auf Gemeinde-, Kreis-, Bezirks- und Landesebene erheben (ESCH ET AL., 2017).

Die Emschergenossenschaft und der Lippeverband (EGLV) erzeugen für wasserwirtschaftliche Zwecke und zur Erhebung von Genossenschafts- bzw. Mitgliedsbeiträgen von Städten und Kommunen manuell digitalisierte Flächenpolygone aus Orthophotos (MEINEL AND HERNIG, 2005).

Unter Berücksichtigung verschiedenartiger Anforderungen wie Automatisierung, Wiederholbarkeit, hoher Genauigkeit sowie Einbeziehung bereits vorhandener Geobasisdaten ist festzustellen, dass keine der in der Literatur erwähnten Methoden diese Anforderungen voll umfänglich erfüllt.

3 Datengrundlage

Das Land NRW stellt aktuell über 2.700 Datensätze für unterschiedliche Bereiche des öffentlichen Lebens unter anderem Transport- und Verkehr, Umwelt und Klima, Gesundheit, Kultur und Freizeit sowie Geobasisdaten über sein Open Data Portal zur Verfügung. Diese sind seit dem 01. Januar 2017 kostenlos auf der Internetplattform www.opengeodata.nrw.de verfügbar. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Rohdaten. Für die Nutzung der Daten wird hauptsächlich die Datenlizenz „Deutschland 2.0 Namensnennung“ verwendet. Sie erfordert lediglich die Nennung des Urhebers und einen Hinweis, ob diese verändert wurden. Die Daten können deshalb für beliebige Zwecke — auch für die kommerzielle Verwendung — ohne Genehmigung und Gebührenpflicht verwendet werden.

3.1 ALKIS

Im Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) werden alle Daten des Liegenschaftskatasters zusammengeführt. Hier werden im Wesentlichen Flurstücke und Gebäude (Liegenschaften) bundesweit dargestellt, beschrieben und nachgewiesen. Das Liegenschaftskatasterinformationssystem erfüllt unterschiedliche Aufgaben, u. a. die Lieferung von Basisdaten für die Geodateninformationsstruktur (GDI) in Deutschland und dient als amtliches Verzeichnis der Grundstücke für den Eigentumsnachweis im Grundbuch (AdV, 2018). Die ALKIS-Daten werden in digitaler Form als Vektordaten im NAS-Format (Normbasierte Austauschschnittstelle) und in Form von webbasierten Geodiensten landesweit frei zur Verfügung gestellt. Als universelles und systemunabhängiges Datenaustausch- bzw. Dateiformat wird die Auszeichnungssprache XML (Extensible Markup Language) des World-Wide-Web-Konsortiums verwendet (AdV, 2008b). Die Liegenschaftskatasterdaten können für die räumlichen Verwaltungseinheiten einzelner Kreise heruntergeladen werden.

ALKIS-Daten basieren auf ein Basisschema, welches die Grundlage der fachlichen Modellierung der ALKIS-, ATKIS- und AFIS-Objekte bildet. Die Geodatenbestände ALKIS und ATKIS sind hinsichtlich der Struktur und Semantik aufeinander abgestimmt und ermöglichen die einmalige Erfassung der Informationen. Das Verfahren ALKIS wurde im Jahr 2008 bundesweit eingeführt und im Dezember 2015 abgeschlossen. Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) beschloss die grundlegenden Rahmenvorgaben und pflegt seitdem das Datenmodell. Mit der Vernetzung von ALKIS, ATKIS und AFIS im AAA-Modell wurde länderübergreifend ein redundanzfreier und einheitlicher Grunddatenbestand geschaffen. In Abbildung 2 ist die gemeinsame Nutzung der Objektarten im AAA-Modell dargestellt (AdV, 2008a).

Geodaten sind im ALKIS in Form von Fachobjekten aufgeführt. Deren Gliederung besteht dabei aus den folgenden Ebenen (Abbildung 3):

- Objektbereiche (Abstrakte Klasse)
- Objektgruppen (Abstrakte Klasse)
- Objektarten (Feature-Class)

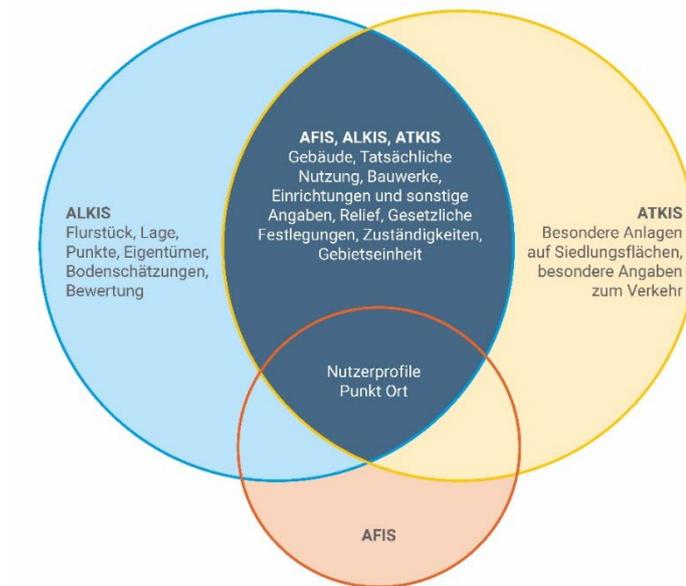


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Überschneidungen im AAA-Modell

| Objektbereich (Abstrakte Klasse) | Tatsächliche Nutzung | | | |
|--|----------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------|
| Objektgruppe (Abstrakte Klasse) | Siedlung | Verkehr | Vegetation | Gewässer |
| Objektarten (Feature-Class) | Wohnbaufläche | Straßenverkehr | Landwirtschaft | Fließgewässer |
| Industrie- & Gewerbefläche | Weg | Wald | Hafenbecken | |
| Halde | Platz | Gehölz | Stehendes Gewässer | |
| Bergbaubetrieb | Bahnverkehr | Heide | Meer | |
| Tagebau, Grube, Steinbruch | Flugverkehr | Moor | | |
| Fläche gemischter Nutzung | Schiffsverkehr | Sumpf | | |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung | | Unland/ Vegetationslose Fläche | | |
| Sport- Freizeit- und Erholungsfläche | | | | |
| Friedhof | | | | |

Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines Objektartenbereiches mit den unterstellten Objektartengruppen und Objektarten

3.2 DGM

Das Digitale Geländemodell mit einer Gitterweite von 25 m (DGM25) beschreibt die Geländeformen der Erdoberfläche und ist in Lage und Höhe georeferenziert (UTM Zone 32, DHHN92). Die Lagegenauigkeit beträgt 1 bis 3 m. Das DGM1 ist sowohl in der räumlichen Auflösung als auch Höhengenaueigkeit deutlich genauer.

3.3 Bevölkerungskataster

Beim Zensus 2011 wurden mehrere Millionen Datensätze erhoben, um aktuelle Zahlen zum Leben, Wohnen und Arbeiten in Deutschland zu gewinnen. Mit dem Zensus 2011 nahm Deutschland an einer EU-weiten Zensusrunde teil, die künftig alle zehn Jahre stattfinden wird. Die Ergebnisse liegen auf

Bundes-, Länder-, Kreis- und Gemeindeebene vor. Außerdem sind einzelne Ergebnisse für Gitterzellen verfügbar. In diesem Projekt wurden 100-Meter-Gitter verwendet. Im Jahr 2021 wird der nächste Zensus stattfinden. Mit dem Zensus sollen in Deutschland die amtliche Einwohnerzahl sowie weitere tief gegliederte Daten zur Bevölkerung, Erwerbstätigkeit und zum Gebäude- und Wohnungsbestand gewonnen werden. Diese Daten sind flächendeckend verfügbar und stehen zur freien Verfügung. Deshalb wurden sie bereits als Eingangsdaten berücksichtigt und können zukünftig durch aktuellere Daten ersetzt werden.

3.4 Referenzdaten von Emschergenossenschaft und Lippeverband

3.4.1 Einzugsgebiet des Untersuchungsgebietes

Die Emschergenossenschaft und der Lippeverband sind öffentlich-rechtliche Wasserwirtschaftsverbände, die im Sinne der Gewässerunterhaltung der Flüsse Emscher und Lippe sowie ihrer Nebenflüsse aktiv sind (Abbildung 4). Durch den Bergbau zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der hygienische Zustand der Emscher durch Überschwemmungen und faulende Abwässer zunehmend verschlechtert. Im Zuge einer nachhaltigen Verbesserung der Emscher wurde am 14. Dezember 1899 die Emschergenossenschaft gegründet und damit ist sie der älteste Wasserwirtschaftsverband in Deutschland.

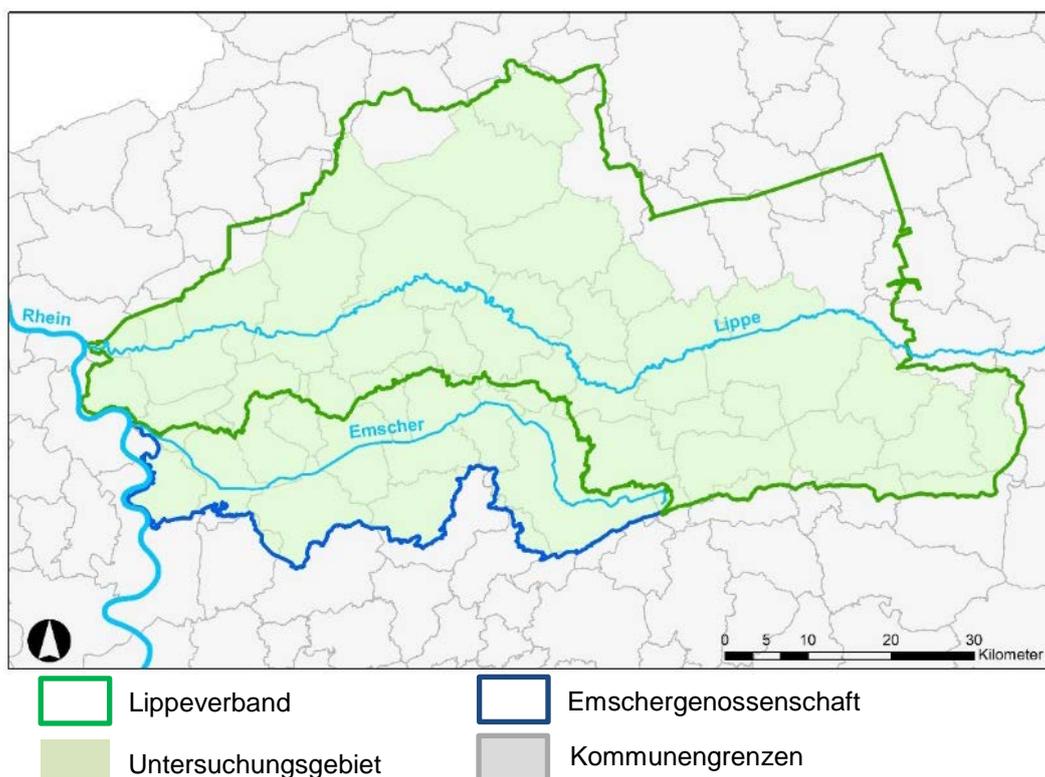


Abbildung 4: Verbandsgebiet der Emschergenossenschaft und Lippeverband

Nach der Gründung des Lippeverbandes am 18. Januar 1926 wurde eine einheitliche Organisationsstruktur für beide Verbände gebildet. EGLV ist insbesondere für die Abwasserreinigung, Pflege und Unterhaltung von Gewässer, naturnahe Umgestaltung offener Abwasserkanäle, Schutz vor Hochwasser, Regelung des Wasserabflusses und Bewirtschaftung von Grund- und Regenwasser

zuständig. Die Emscher und die Lippe sind rechtsseitige Nebenflüsse des Rheins. Die Lippe entspringt in Bad Lippspringe und mündet ca. 220 km weiter bei Wesel in den Rhein. Die Emscher entspringt südöstlich von Dortmund in Holzwickede und mündet nach 85 km bei Dinslaken in den Rhein. Das Einzugsgebiet von EGLV erstreckt sich über 4.145 km² und umfasst eine Gesamtbevölkerung von 3,67 Millionen Einwohnern (EMSCHERGENOSSENSCHAFT, 2017; LIPPEVERBAND, 2017). Das Einzugsgebiet der Emscher ist zudem durch den Emscher-Umbau geprägt, einer der größten Infrastrukturprojekte Europas. Die in diesem Gebiet erzeugten Versiegelungsinformationen, die in einem manuellen Prozess anhand von Orthophotos digitalisiert werden, stehen als georeferenzierte Referenzdaten zur Verfügung.

3.4.2 Aufbau der Daten

Die Bestimmung der Versiegelungsflächen erfolgt anhand der „Leistungsbeschreibung für die ArcGIS-konforme Erfassung der befestigten Flächen“ der EGLV. Die Flächenpolygone werden in sechs Befestigungsarten unterteilt, welche jeweils mit einem Objektschlüssel (OS) in der Attributtabelle kodiert sind.

Tabelle 1: Unterteilung der befestigten Flächen anhand der „Leistungsbeschreibung für die ArcGIS-konforme Erfassung der befestigten Flächen“ der EGLV

| Objekt-Schlüssel (OS) | Erläuterung |
|------------------------------|----------------------------------|
| 0060 | Halden und Deponien in Betrieb |
| 0070 | Halden und Deponien rekultiviert |
| 2100 | Dachflächen – Gebäude |
| 2200 | Öffentliche Verkehrsflächen |
| 2300 | Privat saubere Flächen |
| 2400 | Privat schmutzige Flächen |

Halden und Deponien (OS 0060/0070)

Diese Polygone beinhalten in Betrieb befindlichen bzw. bereits rekultivierte Halde- und Deponieflächen.

Dachflächen und Gebäude (OS 2100)

Dachflächen und Gebäude umfassen Wohn- und Verwaltungsgebäude, Nebengebäude und Gartenhäuser, die größer als 10 m² sind. Nicht berücksichtigt werden weiterhin Gebäudeflächen, die nicht an befestigte befahrbare Flächen angrenzen, z.B. Gartenhäuser, Scheunen, Schuppen und Ställe.

Öffentliche Verkehrsflächen (OS 2200)

Öffentliche Verkehrsflächen beschreiben befestigte wasserundurchlässige Flächen. Die Erfassung erfolgt nach der Nutzung, ein Abgleich mit dem Grundbuch und dem Liegenschaftsbuch (ALB) findet nicht statt. Zu den öffentlichen Verkehrsflächen gehören Straßen, öffentlich genutzte Parkplätze, Autobahnrastplätze, Fuß- und Radwege entlang von Straßen, Einkaufsstrassen, Fußgängerzonen, Marktplätze sowie Bahnsteige. Der Schienenverkehr wird nicht als befestigte Fläche erfasst.

„Privat saubere und schmutzige“ Zuwegungsflächen (OS 2300 bzw. 2400)

Die Zuwegungsflächen werden in „Privat saubere“ (OS 2300) und „Privat schmutzige“ (OS 2400) Flächen unterteilt. „Privat saubere“ Flächenpolygone sind Flächen mit geringer Belastung, bspw. Zuwegungen an und zu Gebäuden, Terrassen an Wohnhäusern, Schulhöfe, Sport- und Tennisplätze sowie Freibäder und festinstallierte Schwimmbecken. „Privat schmutzige“ Flächen hingegen sind Zuwegungen, die befahrbar sind und im Niederschlagsfall behandlungsdürftigen Abfluss verursachen. Unter „Privat schmutzige“ Flächen fallen beispielweise Garagenzufahrten und befahrbare Wege auf Privatgrundstücken, Park- und Lagerplätze, Fabrik- und Garagenhöfe, Tankstellen, sowie Flughäfen, Schlamm- und Klärbecken (EGLV, 2012).

In Abbildung 5 ist der Anteil der versiegelten Gebäude-, Verkehrs und Zuwegungsflächen für das gesamte EGLV-Gebiet und für vier ausgewählte Kommunen dargestellt. Es wird deutlich, dass flächendeckend eine Verteilung von jeweils ca. einem Drittel zugrunde liegt. Deshalb ist die Ermittlung aller drei Bestandteile unabdingbar.

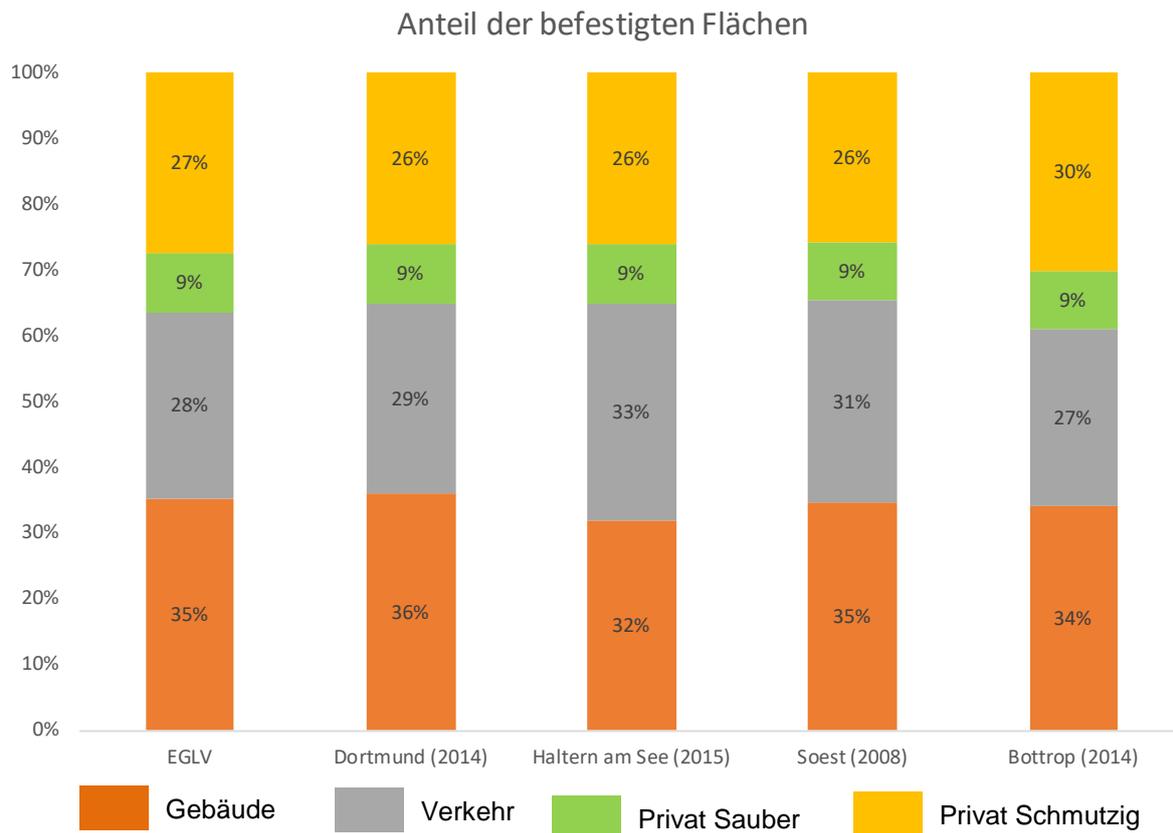


Abbildung 5: Anteil der unterschiedlichen versiegelten Flächen im Untersuchungsgebiet der EGLV

3.5 Qualität und Grenzen der Datengrundlage

Sowohl die Referenzdaten der EGLV als auch die ALKIS-Daten, die als Datengrundlage für die Identifizierung von versiegelten Flächen zum Einsatz kommen, zeigen einige Besonderheiten. Diese haben eine relevante Auswirkung auf die Qualität der Analysen und die zu erwartenden Ergebnisse. In diesem Kapitel werden einige dieser Fälle mithilfe von Abbildungen verdeutlicht. Die geometrische Genauigkeit der raumbezogenen Objektarten in den ALKIS-Daten ist von den verschiedenen Modellarten abhängig. Das Liegenschaftskataster-Modell weist mit einer Lagegenauigkeit im Zentimeter- bzw. Dezimeterbereich die höchste Präzision im Vergleich zu ATKIS-Daten (± 3 m) auf.

Hier liegt die wesentliche Begründung für die Nutzung von ALKIS als Datengrundlage für die angestrebte Ermittlung von versiegelten Flächen. Eine genaue Quantifizierung der Lagegenauigkeit der Polygone aus den Befliegungsdaten der EGLV ist nicht möglich. Anhand einer visuellen Überprüfung der Polygone mit Orthophotos kann vereinfacht von einer Lagegenauigkeit im Zentimeter- bzw. Dezimeterbereich ausgegangen werden (AdV, 2008b).

Die Aktualisierung der ALKIS-Daten wird bei Bedarf vorgenommen und stellt eine wichtige Anforderung für die Praxis dar. Der Aktualisierungsprozess dauert von der Entstehung der Veränderung bis zur Freigabe des fortgeführten Datenbestandes ca. 6 bis 12 Wochen (AdV, 2008b). Die zur Anwendung kommenden Referenzdaten (aus Orthophotos abgeleitete versiegelte Flächen) werden im Schnitt alle fünf Jahre aktualisiert. Die Aktualisierung erfolgt nicht flächendeckend, sondern gemeindeweise nach Bedarf. Für die hier durchgeführte Analyse liegen die Daten mit dem Bearbeitungsstand 2011 - 2017 zu

Grunde (siehe Abbildung 6). Der Stand der Daten ist bei der Beurteilung der Analyseergebnisse stets zu berücksichtigen.

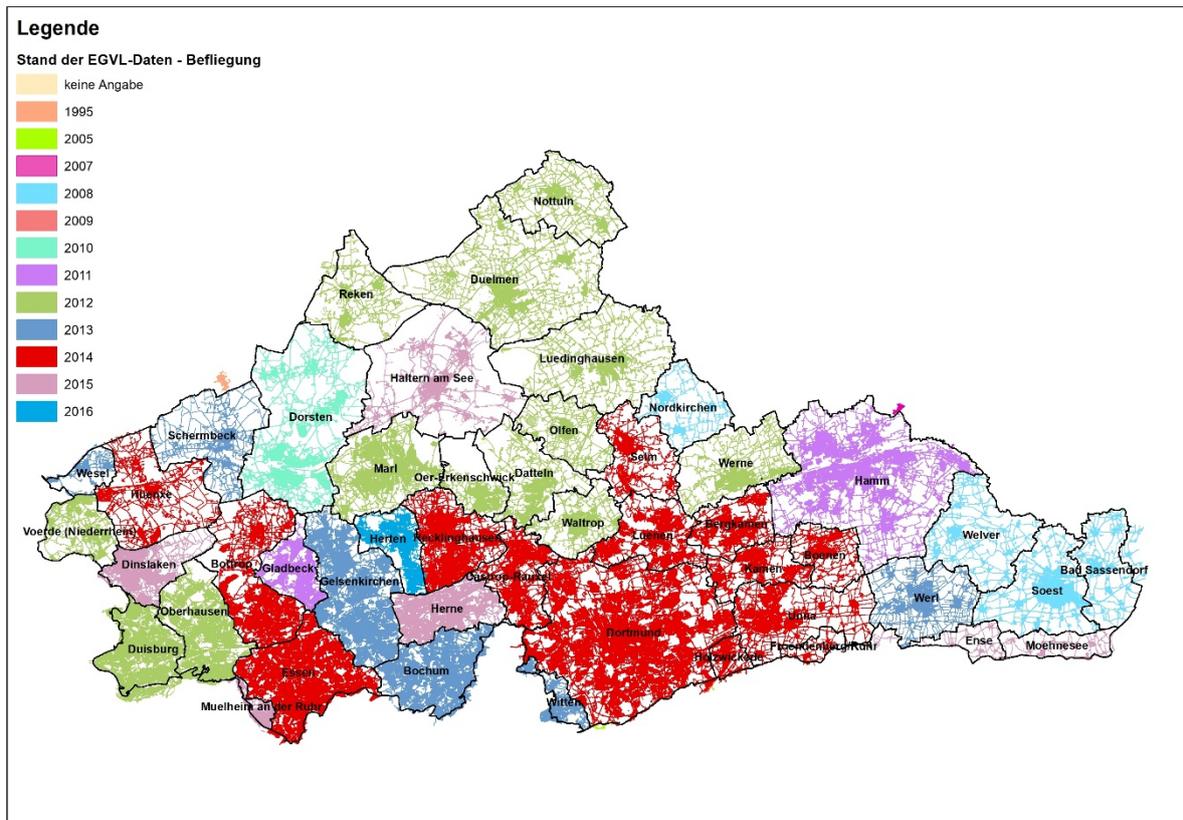


Abbildung 6: Stand der Aktualisierung der EGLV-Daten im Untersuchungsgebiet der Emschergenossenschaft und Lippeverband

Die Daten werden auf der Internetplattform www.opengeodata.nrw.de für das Land NRW bereitgestellt und wurden mit dem Stand 2018 runtergeladen. Die aus Orthophotos abgeleiteten versiegelten Flächen sind nicht frei verfügbar und wurden im Rahmen des Projektes WaLKIS durch EGLV bereitgestellt. Es ist anzumerken, dass keine der beiden Datensätze als vollständig und realitätstreu angenommen werden sollte. Beim Abgleich der ALKIS- und der EGLV-Datensätze (Stand 2015) mit entsprechenden Orthophotos (Download 2019) wird deutlich, dass nicht alle in den Orthophotos sichtbaren Gebäude durch die Gebäude- bzw. Dachflächenpolygone abgedeckt werden (Abbildung 7).

Es sind drei Fälle zu unterscheiden. Im ersten Fall sind die in den Orthophotos ersichtlichen Gebäude weder von ALKIS-Gebäudepolygonen noch von EGLV-Gebäudepolygone abgebildet (vgl. Abbildung 7, Darstellung 1 & 4). Die zweite Kategorie beschreibt einen Fall, in dem die abgebildeten Gebäude zwar durch ein ALKIS-Gebäudepolygon jedoch nicht durch ein EGLV-Gebäudepolygon abgebildet werden (vgl. Abbildung 7, Darstellung 3). Die dritte Kategorie zeigt Gebäude und Bebauung in Orthophotos, die zwar als EGLV-Dachflächenpolygone aber nicht als ALKIS-Gebäudepolygone vorliegen (vgl. Abbildung 7, Darstellung 2). Eine Ursache hierfür sind unter anderem lange Aktualisierungsperioden der Daten. Neue Wohnsiedlungen und städtische Baumaßnahmen werden deshalb nicht immer aktuell erfasst.

Die verwendeten Orthophotos wurden 2019 heruntergeladen und stammen aus den Jahren 2018 (Dortmund, Dorsten, Recklinghausen), 2017 (Sassendorf) und 2015 (Essen). Die EGLV-Befliegungsdaten stammen aus dem Zeitraum zwischen 1995 und 2016.

Eine weitere Grenze der Referenzdaten, die die Abgleichanalyse des Untersuchungsgebietes mit entsprechenden Orthophotos gezeigt hat, ist die teilweise unvollständige Abdeckung des Untersuchungsgebietes durch digitalisierte Zuwegungsflächen im EGLV-Datensatz.

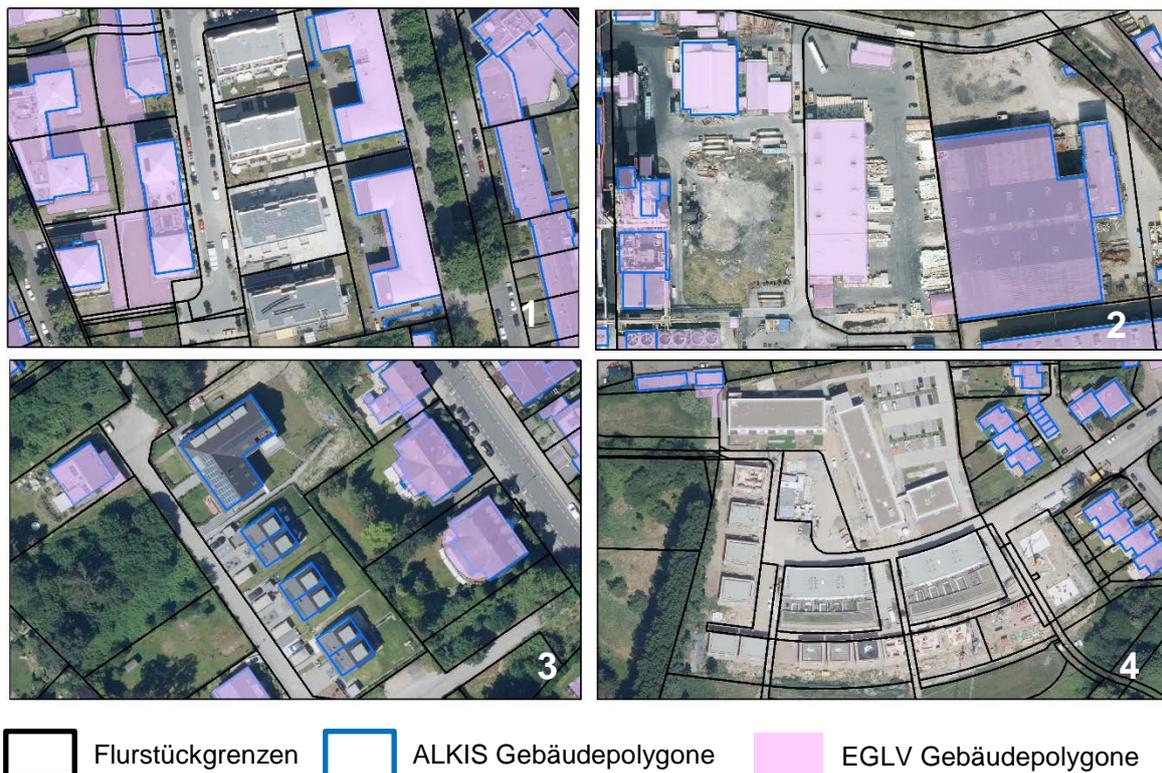


Abbildung 7: Vergleich von ALKIS-Daten und EGLV-Gebäudepolygone (Stand 2014) mit Orthophotos in Dortmund (Stand 2018)

Es fällt auf, dass in einigen Bereichen auf der Grundlage der EGLV–Daten keine Zuwegungsflächen zu verzeichnen sind. Die Ursachen hierfür sind zum einen die unterschiedliche Aktualität der Daten aber auch Zuwegungsflächen die teilweise als Verkehrsflächen erfasst sind. Dieser Zustand tritt unabhängig von der Siedlungsflächenart auf. So finden sich diese Fälle am Stadtrand (Abbildung 8, Darstellung 1), in Wohngebieten (Abbildung 8, Darstellung 2), innerstädtisch (Abbildung 8, Darstellung 3) aber auch in Industrie- und Gewerbegebieten (Abbildung 8, Darstellung 4).

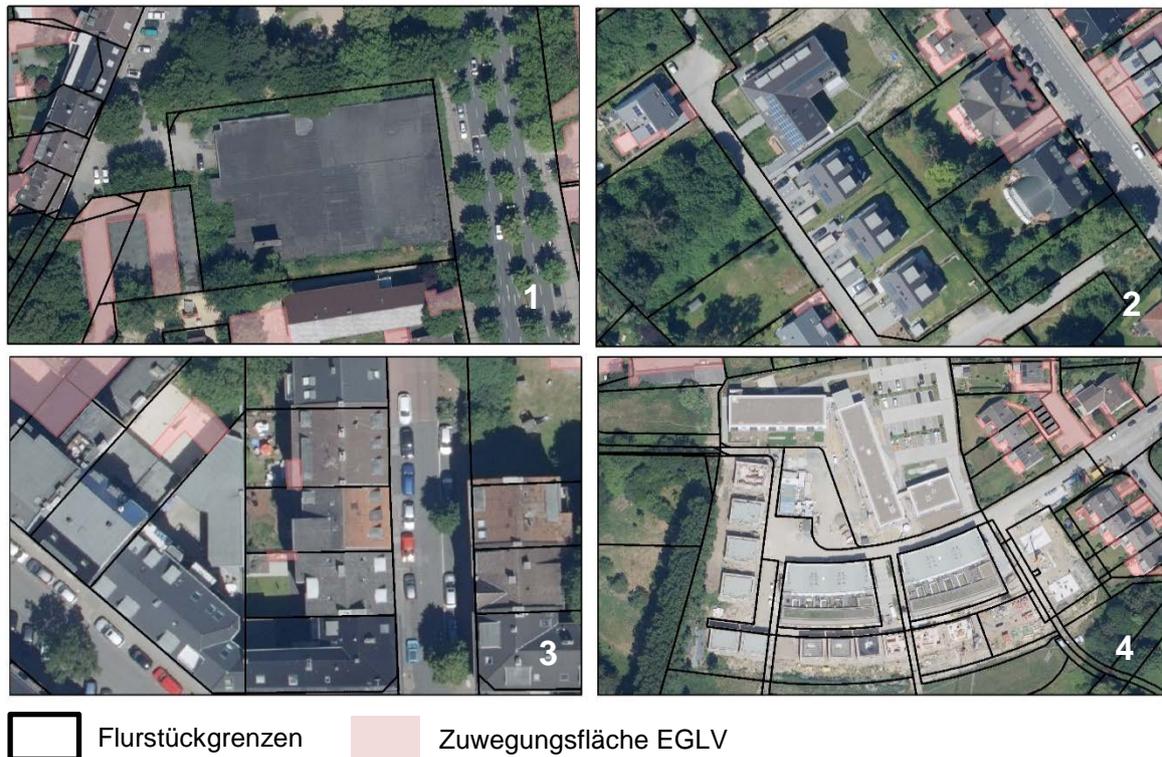


Abbildung 8: Durch EGLV (Stand 2014) nicht erfasste Zuwegungsflächen in Dortmund (Stand 2018)

Oft sind diese Zuwegungsflächen deutlich in den Orthophotos erkennbar, liegen jedoch nicht als Zuwegungspolygone vor. Eine Quantifizierung dieser Fälle ist nicht möglich. Die ALKIS–Daten zeigen weitere Besonderheiten. Im Liegenschaftskataster, dem von den Vermessungs- und Katasterverwaltungen geführten öffentlichen Register, werden die Liegenschaften (Flurstücke und Gebäude) landesweit nachgewiesen, dargestellt und beschrieben. Flurstücke sind ein amtlich vermessener, in der Regel örtlich abgemerkter Teil der Erdoberfläche. Flurstücke dienen in diesem Vorhaben als Bezugsebene. Auf diesen befinden sich Gebäudeflächen und versiegelte Zuwegungsflächen, die in Attributtabelle als Flächengrößen in m² dargestellt werden. Bei der Sichtung der Flurstücke wurde festgestellt, dass eine große Anzahl an Flurstücken existiert, die extrem kleine Werte annehmen (siehe Abbildung 9). Diese entstehen durch Zerlegungen, wenn z.B. neue Straßentrassen entstehen. Sowohl bei der Zuordnung von Gebäudepolygonen zu Flurstücken als auch bei der statistischen Ermittlung von Zuwegungsflächen führen diese Flurstücke zu falschen Interpretationen, die beispielsweise durch eine Verschiebung des Mittelwertes und die daraus resultierenden Varianzen verursacht werden. Die kleinen Flurstücke sollen in der Regel nach der

Zerlegung zu einem Grundstück vereinigt werden. Bei Bedarf erfolgt auch noch eine Verschmelzung der einzelnen Flurstücke. Eine naheliegende Methode wäre beispielsweise die Zusammenführung der Flurstücke im Rechtssinn anhand der Buchungsstelle. Dennoch kann es bei dieser Methode zu Konflikten kommen, wenn beispielsweise die Buchungsstelle und die tatsächliche Nutzung für ein Flurstück nicht übereinstimmen. Die Umsetzung dieser Änderungen ist zeitintensiv und muss methodisch weiter überprüft werden. Für die Analyse wird deshalb anhand einer visuellen Überprüfung einer Vielzahl von Flurstücken eine Mindestflächengröße von 15 m² zugewiesen. Ab dieser Größe fließen diese Flurstücke in die Analyse ein. Die Ursache für die Entstehung dieser kleinen Flurstücke sind unterschiedliche Zerlegungs- und Verschmelzungsprozesse.

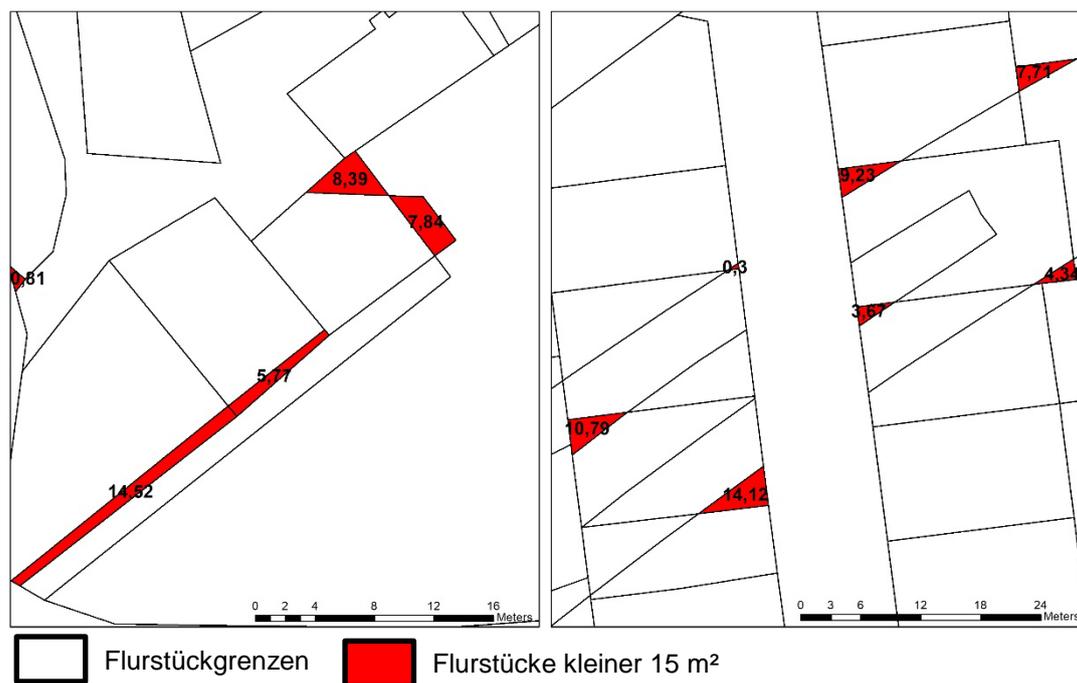


Abbildung 9: Beispiele für Flurstücke unter 15 m²

Aber nicht nur zerstückelte Flurstücke stellen ein Problem dar, sondern auch Flurstücke, die gleichzeitig mehrere Objektarten der Objektartengruppe „Siedlung“ überlagern. In Abbildung 10 sind mehrere Flurstücke dargestellt. Auf der rechten Seite ist zu sehen, dass sich innerhalb eines großen Flurstücks drei Objektarten befinden. Zwei der Objektarten (hellblau) stellen „Flächen Besonderer Funktionaler Prägung“ und eine Objektart (rot) eine „Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche“ dar. Vor diesem Hintergrund werden die Grenzen der Flurstücke an die Siedlungen angepasst. Beim vorliegenden Fall wird ein Flurstück in drei Teile zerlegt (Abbildung 10).

Eine weitere Besonderheit, die Flurstücke in Kombination mit Gebäuden aufweisen, ist, dass Flurstücke in einigen Fällen fast vollständig von Gebäudeflächen überlagert werden.



Abbildung 10: Überlagerung von Flurstücken von mehreren Objektarten der Objektartengruppe "Siedlung"

Abbildung 10 stellt diese Situation für einige Flurstücke dar. Dieses Phänomen tritt vor allem im innerstädtischen Bereich auf. Es ist festzustellen, dass diese Fälle zu meist bei Gebäuden der Gebäudefunktion „Wohnhaus“ (Wertart 1010) vorkommen. Dieser Umstand führt sowohl bei der Gegenüberstellung der Gebäudeflächen aus ALKIS und EGLV als auch bei der statistischen Ermittlung von Zuwegungsflächen zu falschen Interpretationen. Für den ersten Fall ist zu beachten, dass Flurstücke als Bezugsfläche fungieren, d.h. Gebäudeflächen aus ALKIS und EGLV werden innerhalb eines Flurstückes miteinander verglichen. Nun kommt es dazu, dass Gebäude wie in Abbildung 11 dargestellt, mehrere Flurstücke teilweise vollständig überdecken. Obwohl es sich hierbei um ein einziges Gebäude handeln kann. Daraus resultiert bei der Betrachtung der Flurstücke im gesamten Untersuchungsgebiet eine Vielzahl an Flurstücken, die eine identische Gebäudefläche zwischen ALKIS und EGLV Gebäudepolygone aufzeigen. Dadurch entsteht der falsche Eindruck, dass eine große Anzahl an Gebäudedaten in beiden Datensätzen eine identische Ausprägung haben. Deshalb werden die Gebäudepolygone der beiden Datensätze anhand von zwei Methoden verglichen. Bei der ersten

Methode werden Flurstücke als Bezugsflächen ignoriert und lediglich Gebäudepaare aus ALKIS und dem EGLV-Datensatz gegenübergestellt. Bei der zweiten Methode werden Gebäudeflächen innerhalb von Flurstücken verglichen, wobei Flurstücke, die über 95% von Gebäuden überlagert werden (siehe Abbildung 11), nicht betrachtet werden. Beide Methoden werden in Kapitel 5.2.1 detaillierter beschrieben. Diese Methoden werden angewendet, um die Übereinstimmung zwischen den erhobenen Gebäudeflächen aus ALKIS und EGLV zu quantifizieren. Daraus lassen sich beispielsweise für ALKIS-Daten Korrekturwerte generieren, die eine bessere Anpassung an die EGLV-Daten ermöglichen.

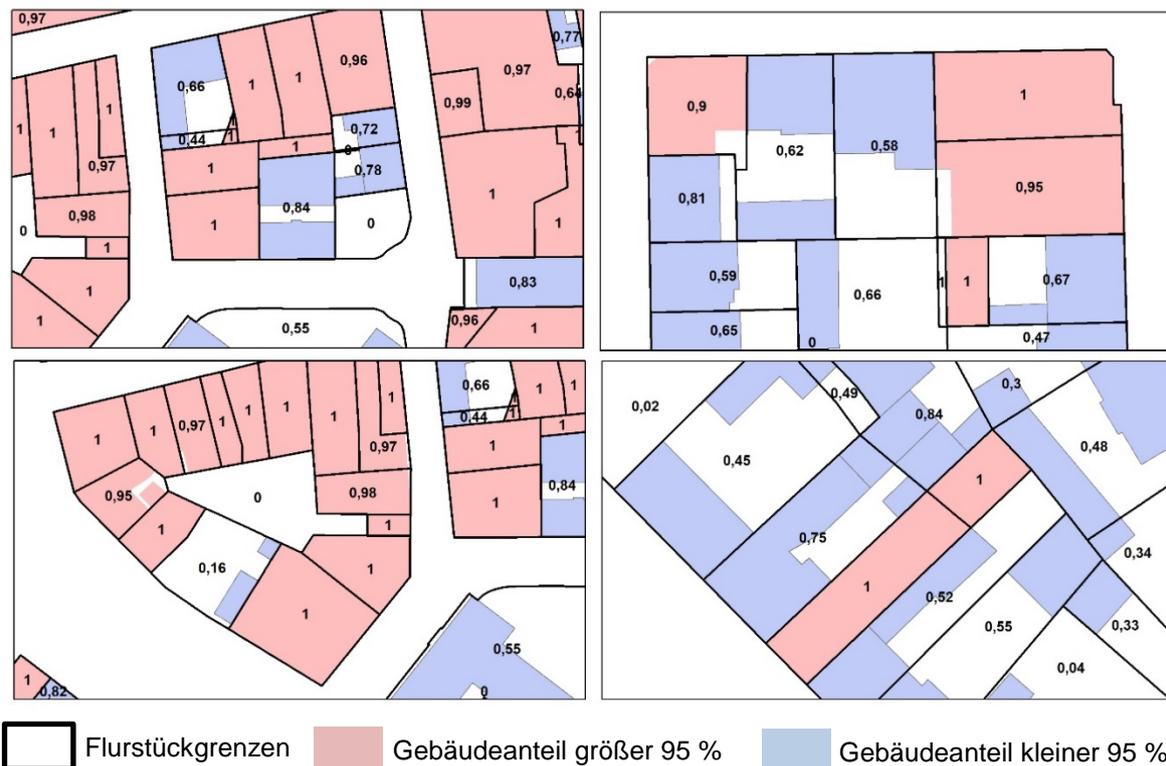


Abbildung 11: Flurstücke mit teilweise über 95 % Überdeckung durch Gebäudepolygone

Weiterhin wurde festgestellt, dass fast alle ALKIS-Objektarten in verschiedenen Kommunen eine unterschiedliche Vollständigkeit aufweisen. Dies liegt unter anderem daran, dass nur Liegenschaften (Flurstücke und Gebäude) von Katasterämtern gesetzlich erhoben werden müssen. Abbildung 12 zeigt den Erfassungsstand der Objektart „Weg, Pfad, Steig“. Diese Objektart beschreibt befestigte oder nicht befestigte Geländestreifen, die zum Befahren oder Begehen vorgesehen sind (z.B. Rad- und Fußwege). Es ist deutlich zu erkennen, dass flächendeckend ein sehr heterogener Erfassungsstand existiert. Dieser Umstand wird bei der anschließenden Auswahl von Objektarten für die Identifizierung von versiegelten Flächen berücksichtigt.

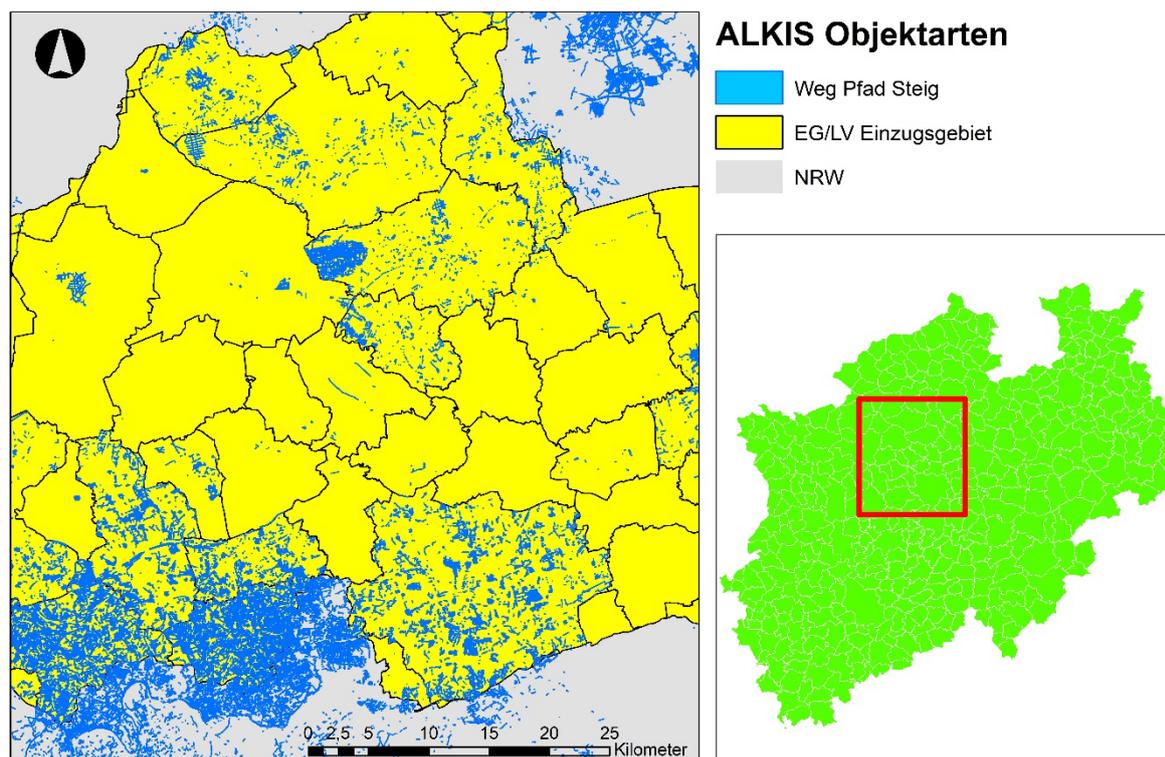


Abbildung 12: Erfassungsstand der Objektart "Weg, Pfad, Steig" im Untersuchungsgebiet

4 Softwareanwendungen

4.1 ArgGIS Desktop

Im Rahmen dieses Projektes werden eine Vielzahl von Geodaten gesichtet und verarbeitet. Die AKLIS-Daten und die digitalisierten Flächenpolygone von EGLV liegen als Vektordaten in den GIS-Datenformaten Geodatabase und Shape vor. Diese Daten werden in ArcGIS (ArcMap) der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) visualisiert und verarbeitet. ESRI ist einer der ersten Anbieter von GIS-Software und etablierte sich seit seiner Gründung 1969 weltweit zum Marktführer. Die Softwareprodukte werden als ArcGIS zusammengefasst, die zur Erstellung und Verwendung von geografischen Informationssystemen genutzt werden. Mit ArcGIS können geografische Informationen erfasst, organisiert, analysiert, bearbeitet und visualisiert werden. Mit der Umstellung der Produktpalette bei ESRI wird das originäre ArcMap (32-Bit Anwendung) zukünftig durch ArcPro abgelöst. ArcGIS Pro ist die neue 64-Bit-Anwendung. Seit dem ersten Release von ArcGIS Pro konnten Stabilität und Geschwindigkeit der Software deutlich erhöht werden. Damit ist ArcMap zwar immer noch eines der wichtigsten Produkte, jedoch konzentriert sich ESRI bei der Entwicklung momentan ausschließlich auf ArcGIS Pro. Mittlerweile sind fast alle Funktionalitäten aus ArcMap in ArcGIS Pro verfügbar. IT.NRW verwendet aktuell ArcGIS 10.5. Im Projekt wurde deshalb auch die Anwendung ArcGIS Desktop 10.5 verwendet.

4.2 Python

Python ist eine freie Open-Source-Programmiersprache, die sich nach der Einführung von Python in die ArcGIS-Community als bevorzugte Skriptsprache durchgesetzt hat und unter Geoprozess-Anwendern weit verbreitet ist. Aktuell existieren parallel zwei Python Versionen, Python 2 und 3. Die letzte Python 2 Version wird 2.7.16 sein. Ab dem 1. Januar 2020 wird Python 2 nicht mehr unterstützt. Aufgrund von grundlegenden Veränderungen wurde die fehlende Kompatibilität von Python 2 zu Python 3 in Kauf genommen. Mit Python 2.6 begann die Umstellung auf die neue Version. Viele Features von Python 3.0 wurden nach Python 2.6 rückportiert, um den Versionssprung möglichst gering zu halten. ESRI hat Python für die Anwendung in ArcGIS (ab Version 9) vollständig übernommen und entwickelte das Site-Paket „ArcPy“, das auf das erfolgreiche Modul "arcgisscripting" aufbaut. Das Paket ermöglicht eine nützliche und produktive Durchführung von geographischen Datenanalysen, Datenkonvertierung, Datenmanagement und Kartenautomatisierung mit Python. ArcPro ist ausschließlich mit Python 3 kompatibel.

Für die automatische Selektion von Gebäude- und Verkehrsflächen sowie die Erzeugung von Eingangsdaten für die statistischen Analysen wurden Automatisierungstechniken in Python 2 entwickelt (kompatibel mit ArcGIS 10.5). Die Portierung der entwickelten Algorithmen in Python 3 ist mit geringem Aufwand möglich. Hierfür existieren eigene Pakete, z.B. das Kommandozeilentool »2to3«, welches die Programmierer bei der Codemigration von Python 2.x nach 3.x unterstützt.

4.3 R

Für eine statistische Ableitung von Zuwegungsflächen müssen unterschiedliche Berechnungsmethoden aus dem Bereich der Regression und des maschinellen Lernens angewendet werden. Zudem ist aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung und der großen Datenmengen eine Analyse mit gängiger Software wie Microsoft Excel nicht möglich. R ist eine Open-Source Anwendung und insbesondere für statistische Analysen geeignet. R wurde von Robert Gentleman und Ross Ihaka Anfang der 1990er Jahre ins Leben gerufen und wird seitdem von zahlreichen Anwendern weiterentwickelt. Sie baut auf der Mitte der 1970er Jahre in den USA entwickelten Programmiersprache S auf. R läuft auf allen gängigen Betriebssystemen (Windows, Linux, MacOS). Zusätzlich wird die Programmiersprache von R-Studio, eine ebenfalls kostenfreie grafische Benutzeroberfläche, ergänzt. Die Anwender profitieren insbesondere von der großen User-Community und zahlreicher frei zugänglicher Literatur zur Anwendung statistischer Prozeduren und Verfahren, FAQs und Austauschplattformen. Die erzeugten Geodaten und die dazugehörigen Attributtabelle werden in Textdateien (ASCII – Daten oder Textdateien, z.B. CSV) umgewandelt und können in R importiert und bearbeitet werden.

5 Methodik

5.1 Vorbemerkung

Das FiW konnte in einer Vergleichsstudie, im Auftrag des Lippeverbands (LV) und Wupperverbands (WV) in Kooperation mit dem LANUV, eine hohe Übereinstimmung zwischen relevanten Objektarten aus ALKIS (Gebäude- und öffentliche Verkehrsflächen) und abgeleiteten Flächenpolygone aus Luftbildern feststellen. Damit wurde die Grundannahme, dass eine (halb)automatisierbare Ableitung von befestigten Flächen auf Basis von landesweit verfügbaren, amtlichen Daten realisierbar ist, bestätigt. Weiterhin wurde festgestellt, dass Zuwegungsflächen zu Gebäuden, z.B. Garageneinfahrten oder Terrassen, anhand von ALKIS-Objektarten nicht selektiert werden können.

Im Folgenden werden in Kapitel 5.2 Methoden zur Einschätzung der Eignung von ALKIS-Daten für die flächendeckende Identifizierung von Gebäudeflächen und öffentlichen Verkehrsflächen und in Kapitel 5.3 statistische Verfahren zur Abschätzung von Zuwegungsflächen vorgestellt.

5.2 Bestimmung der Gebäude- und öffentlichen Verkehrsflächen

Zur Bestimmung der Gebäude- und öffentlichen Verkehrsflächen aus ALKIS werden in einem ersten Schritt ALKIS-Objektarten anhand ihrer Semantik, Definition und Attributarten und anschließend visuell überprüft (qualitativ). Abschließend werden die ausgewählten Objekte mithilfe von aus Orthophotos abgeleiteten und manuell digitalisierten Flächenpolygone (vgl. Kapitel 3.4.2) auf ihre Güte überprüft (quantitativ).

Beispielsweise wird visuell die Übereinstimmung der Objektart AX_Gebäude mit Orthophotos überprüft. Die Objektart AX_Gebäude gehört der Objektartengruppe „Angaben zum Gebäude“ an. Die Objektarten dieser Objektartengruppe überlagern die Grundflächen (Polygone der Tatsächlichen Nutzung) und können durch geometrische Verschneidung Flurstücken zugeordnet werden. Laut ALKIS-Objektartenkatalog ist ein Gebäude „ein dauerhaft errichtetes Bauwerk, dessen Nachweis wegen seiner Bedeutung als Liegenschaft erforderlich ist sowie dem Zweck der Basisinformation des Liegenschaftskatasters dient“. Als Attributart wird die „Gebäudefunktion“ geführt und beschreibt die zum Zeitpunkt der Erhebung vorherrschend funktionale Bedeutung des Gebäudes. Diese Attributart beinhaltet über 200 Wertarten, die unterschiedliche Gebäudearten anhand von vierstelligen Kennungen voneinander unterscheidet. Dazu gehören:

- Wohngebäude (1000): Wohngebäude ist ein Gebäude, das zu Wohnzwecken genutzt wird
- Bauernhaus (1221): Bauerhaus ist das Wohn- und Betriebsgebäude eines landwirtschaftlichen Betriebs
- Gebäude mit der Funktion Laden (2054)
- Gebäude mit der Funktion Kiosk (2055) usw.

Nach Identifizierung und Auswahl der Objektarten und Wertarten, die theoretisch (per Definition) und visuell Gebäude- und öffentliche Verkehrsflächen repräsentieren, werden diese in einem Datensatz zusammengeführt und anhand von digitalisierten Flächenpolygone verglichen.

5.2.1 Gebäude- und Dachflächen

Zur Überprüfung der Eignung von ALKIS-Daten zur flächendeckenden Identifizierung von Gebäudeflächen werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt, um verschiedene Fälle zu berücksichtigen. Die Begründung für die Anwendung von zwei Untersuchungsmethoden wurde in Kapitel 3.5 detailliert beschrieben. Viele Flurstücke werden vollständig von Gebäudepolygonen überlagert, weshalb einerseits die einzelnen Gebäudepolygone mit einander verglichen werden (Objektarten) und andererseits die Summen der Gebäudeflächen auf Flurstücken gegenübergestellt werden. Als Voraussetzung werden diverse ALKIS-Objektarten anhand ihrer Gebäude- oder Bauwerksfunktionen identifiziert, die Gebäude- oder Dachpolygone repräsentieren (siehe Lastenheft im Anhang).



Abbildung 13: Zusammenführung und Gegenüberstellung von Gebäudepolygonen aus ALKIS-Daten und EGLV-Daten

Bei der ersten Methode werden Gebäude- und Dachpolygone aus ALKIS und dem EGLV-Datensatz anhand ihrer Lage verglichen (Objektebene). Gegenübergestellt werden Gebäude, die eine Überlagerung der Flächenpolygone aus beiden Datensätzen aufzeigen (Abbildung 13). Auf diese Weise können einzelne Gebäude miteinander verglichen und eine Aussage über die Lagegenauigkeit von Gebäuden in beiden Datensätzen getroffen werden. Gleichzeitig werden aber Gebäude, die in einem der beiden Datensätze nicht existieren oder aufgrund einer zu großen Lageverschiebung keine Überlagerung aufweisen unberücksichtigt gelassen. Die Anzahl der überlagerten Elemente wird sich zu den Original-Datensätzen stark unterscheiden und weitaus geringer ausfallen. Dies bedeutet aber nicht, dass nur wenige Gebäude eine Überlagerung aufzeigen. Zu berücksichtigen ist an dieser Stelle die unterschiedliche Auflösung der Gebäudepolygone aus ALKIS und dem EGLV-Datensatz. Ein

Gebäudekomplex kann beispielsweise in ALKIS aus vielen einzelnen Gebäudeobjekte bestehen, wobei dasselbe Gebäude im EGLV-Datensatz durch ein oder zwei Polygone dargestellt wird. In Abbildung 13 ist ein solcher Fall dargestellt. Sowohl die ALKIS-, als auch die EGLV-Gebäudepolygone werden zusammengeführt, indem die benachbarten Polygone zusammengefasst werden. In Abbildung 14 ist zu sehen, dass die ALKIS-Gebäudepolygone (blau) mit der Nummerierung 1 die Gebäudepolygone aus EGLV mit derselben Nummerierung geometrisch überlagern. In diesem Fall werden diese miteinander verglichen. Dies gilt auch für die Gebäude mit der Nummerierung 2 – 4. Diese Methodik erlaubt eine allgemeine Aussage über die Eignung der ALKIS-Daten. Für die flächendeckende Selektion der Gebäude- und Dachflächen kommt die folgend beschriebene Methode zur Anwendung.

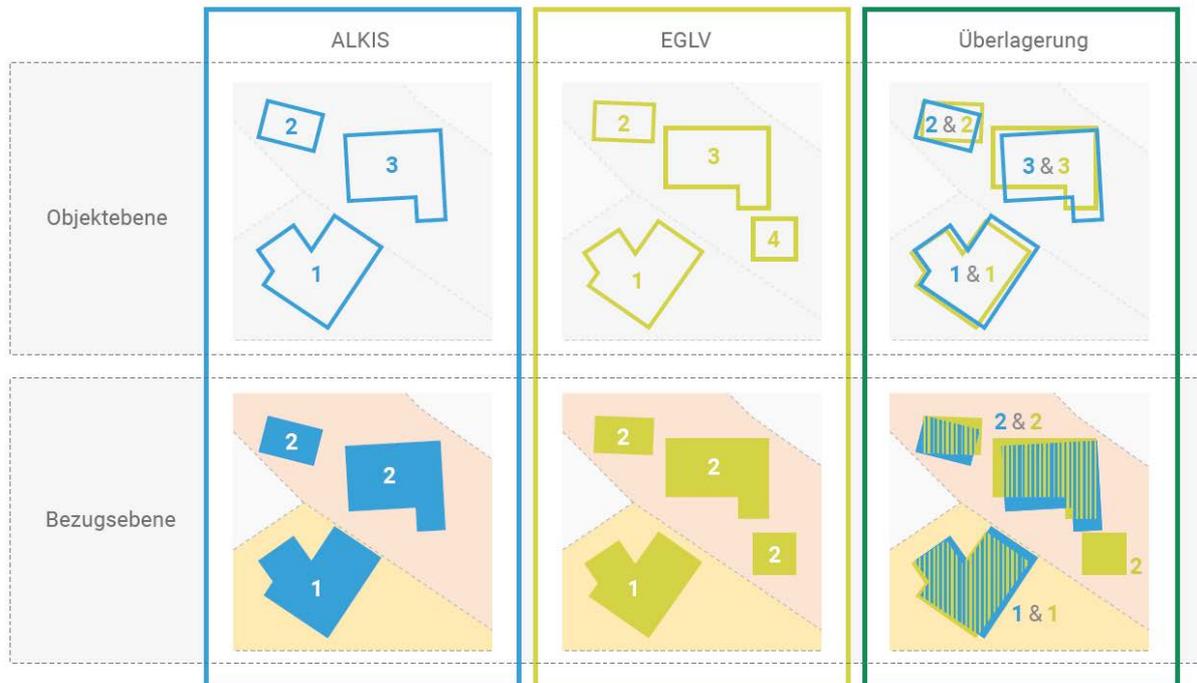


Abbildung 14: Methoden zur quantitativen Einschätzung der Eignung von ALKIS - Daten zur Identifizierung von Gebäudeflächen

Bei der zweiten Methode wird die summierte Fläche der Gebäude- und Dachflächen auf einem Bezugsraum (Flurstücke) gegenübergestellt. Auf diese Weise werden auch Gebäude berücksichtigt, die nicht in einem der beiden Datensätze existieren oder eine zu große Lageverschiebung aufzeigen. Anhand dieser Methode wird dargelegt, inwieweit die Gebäude- und Dachflächen auf einem Bezugsraum übereinstimmen (Abbildung 14). Für eine spätere Anwendung der ALKIS-Daten zur flächendeckenden Identifizierung von Gebäudeflächen ist die zuletzt beschriebene Methode relevant. Auf diese Weise können Gebäudeflächen Flurstücke zugeordnet werden und anhand der in Kapitel 5.3 beschriebenen Methode durch Zuwegungsflächen ergänzt werden. Als Ergebnis enthalten Flurstücke die Summe der versiegelten Flächen bestehend aus Gebäude- und Dachflächen sowie Zuwegungsflächen.

5.2.2 Verkehrsflächen

Eine Untersuchung von ALKIS-Objekten zur Identifizierung von versiegelten Verkehrsflächen hat gezeigt, dass eine objektorientierte Auswahl von ALKIS-Objektarten eine weitgehende Trennung von

versiegelten und nicht versiegelten Verkehrsflächen ermöglicht. Versiegelte Flächen im Bereich Verkehr lassen sich hauptsächlich in den Objektartengruppen „Verkehr“ (42000) und „Bauwerke, Anlage und Einrichtungen für den Verkehr“ (53000) wiederfinden. Im Folgenden wird die Struktur der Objektartengruppe „Verkehr“ (42000) beispielhaft für Datensätze im ALKIS erläutert.

Die Objektartengruppe 42000 (Verkehr) beinhaltet 11 Objektarten, die unterschiedliche Bestandteile des Verkehrs abbilden. Diese können anhand der Wertarten der einzelnen Objektarten selektiert werden.

Zur Identifikation von versiegelten Flächen wird eine objektorientierte Auswahl vorgenommen. Dies wird im ersten Schritt durch die Überprüfung der Semantik und die Definition der Objektarten und einer anschließenden visuellen Überprüfung mit Orthophotos durchgeführt. Die identifizierten Objektarten werden anschließend anhand der Referenzdaten (EGLV Verkehrsflächen) auf ihre Präzision überprüft. Die Ergebnisse werden in Kapitel 6.2 dargelegt.

5.3 Bestimmung von Zuwegungsflächen

Die Zuwegungsflächen können anhand der Selektion von ALKIS–Objektarten nicht unmittelbar erfasst werden. Vor diesem Hintergrund werden für die statistische Abschätzung von Zuwegungen Methoden eingesetzt, die eine möglichst präzise Ableitung von Zuwegungsflächen anhand von ALKIS–Daten ermöglichen. Im Allgemeinen kommen zwei Lerntechniken zum Einsatz: das überwachte Lernen (supervised learning) und das nicht überwachte Lernen (unsupervised learning). Für die Bestimmung der Zuwegungsflächen werden Algorithmen des überwachten Lernens angewendet. Denn zusätzlich zu der erklärenden Variablen \vec{x} ist ein Beobachtungswert y gegeben. Mit Hilfe einer bekannten Datenmenge und bekannten Ausprägungen werden Modelle trainiert, die fundierte Abschätzungen für den Ausgang von neuen und unbekanntem Daten erzeugen können. Die aus Orthophotos abgeleiteten versiegelten Zuwegungsflächen, die als Beobachtungswerte dienen, können als qualitative Information zur Klassifikation von Bezugsflächen beitragen, um die Existenz von Zuwegungen vorherzusagen. Als quantitative Information dienen sie der Regressionsanalyse und der Abschätzung von Flächengrößen. Zum Einsatz kommen lineare und nicht lineare multiple Regressionsmodelle. Des Weiteren lassen sich große Datenmengen durch ein einziges Regressionsmodell oft nicht gut abbilden. Deshalb werden bei Bedarf Teilmodelle (Cluster) gebildet. Jedes Cluster wird anschließend separat betrachtet und mit einem Regressionsmodell nachgebildet. Clusteranalysen werden verwendet, um beispielsweise verborgene Gruppierungen in Daten zu identifizieren.

Abbildung 15 zeigt eine Übersicht über die Analyseschritte und die angewendeten Werkzeuge und Methoden. Zunächst werden relevante Objektarten aus ALKIS identifiziert. Aus den ausgewählten Objektarten werden Regressoren bestimmt, die eine statistische Abschätzung der Zuwegungsflächen ermöglichen. Da eine Vielzahl der Bezugsflächen keine Zuwegungen aufweisen, müssen diese erst identifiziert und aus den weiteren statistischen Analysen ausgeschlossen werden. Dazu dient ein Klassifizierungsmodell mit der Methode des Entscheidungsbaumes. Abschließend werden unter

Anwendung von Transformationsverfahren und Clusteranalysen Regressionsmodelle erzeugt, um die Zuwegungsflächen abzuschätzen.

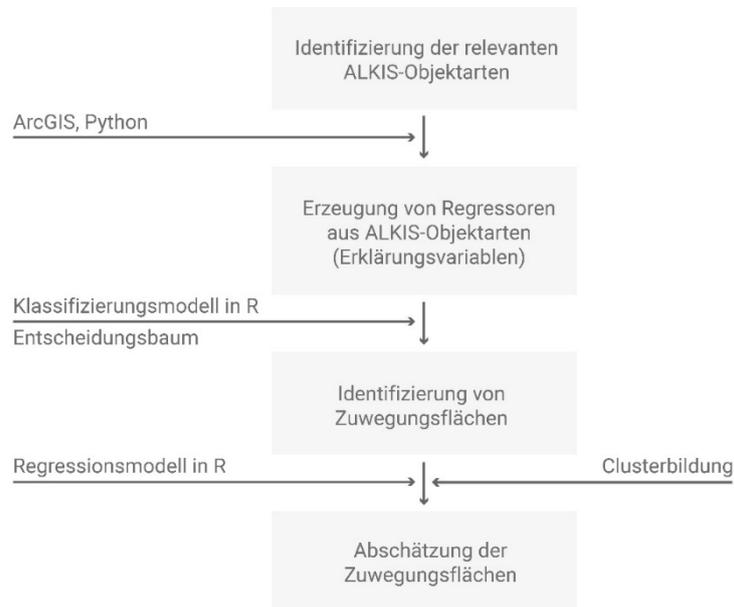


Abbildung 15: Übersicht der Vorgehensweise zur Abschätzung der Zuwegungsflächen

5.3.1 Klassifizierungsmodelle

Eine Vielzahl der Bezugsflächen (Flurstücke) besitzen keine Zuwegung. Bevor die Zuwegungsanteile mittels Regressionsanalysen abgeschätzt werden, ist es deshalb notwendig, Bezugsflächen mit Zuwegungen automatisch zu identifizieren. Dieser Schritt ist für den Validierungsprozess und die Anwendung der Modelle auf neue Untersuchungsgebiete (weitere Kommunen aus NRW) wichtig. Damit wird die Übertragbarkeit der erzeugten Regressionsmodelle sichergestellt, sodass die Zuordnung von abgeschätzten Zuwegungen für beliebige Analysegebiete möglich ist. Bei der Identifikation von Zuwegungsflächen erfolgt ein Lernprozess, indem Eigenschaften einer Stichprobe zur binären¹ Klassifikation der Eingabedaten angewandt werden. In der vorliegenden Fragestellung werden Bezugsflächen mit Zuwegungen mit „TRUE“ und ohne Zuwegungen mit „FALSE“ kodiert.

Häufig angewandte Algorithmen zur Klassifizierung in Kategorien sind die logistische Regression, Support Vektor Machines (SVM), naive-Bayes-Klassifizierung und Entscheidungsbäume (MATHWORKS, no date). Die Klassentrennung erfolgt generell auf Basis der Wahrscheinlichkeitsdichten, die oftmals unbekannt sind. Zusätzlich erschweren wachsende Merkmalsdimensionen die Klasseneinteilung (KOLANOSKI, 2008). Deshalb werden Algorithmen verwendet, die mit Hilfe von Trainingsdaten „lernen“. Dafür wird der Datensatz nach dem Zufallsprinzip in einen Trainingsdatensatz (70%) und einen Testdatensatz (30%) aufgeteilt. Auf Grundlage der Trainingsdaten wird eine möglichst gute Annäherung an wahre Ausprägungen (Klassen) gesucht. Das trainierte Modell wird anschließend mit Daten aus dem Testdatensatz auf Effizienz und Reinheit der Klassifizierung überprüft (Validierung).

¹ Variablen mit zwei Ausprägungen z.B. 0 und 1

Entscheidungsbäume kommen häufig für die Klassifizierung von Daten zum Einsatz. Die Vorteile dieser Methode sind u. a. die geringe Rechenzeit, die geringe Anfälligkeit gegenüber Ausreißern und die Unterdrückung von Variablen mit einer geringen Gewichtung, ohne dabei Einbußen bei der Leistungsfähigkeit des Modells in Kauf nehmen zu müssen. Bei Entscheidungsbäumen werden die Daten auf verschiedene „Äste“ verteilt, an deren Ende ein „Blatt“ mit einer Klasse zugeordnet ist. Dabei kann eine Klasse mehrere „Blätter“ repräsentieren. Die „Blätter“ können aber immer nur auf einem Weg erreicht werden (vgl. Abbildung 16). Das Prinzip eines Entscheidungsbaumes basiert auf einem binären Vorgehen, bei dem eine Serie von Fragen mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden. Die Entscheidungsregel, die zu einer Entscheidung („Blatt“) führt, lässt sich durch Verfolgung der „Äste“ von der „Wurzel“ (root node) bis zu einem Blatt ablesen. Bei stetigen Merkmalsausprägungen werden Trennschnitte bestimmt, die letztendlich zu einer Ja/Nein-Entscheidung führen (BENN ET AL., 2005; KOLANOSKI, 2008).

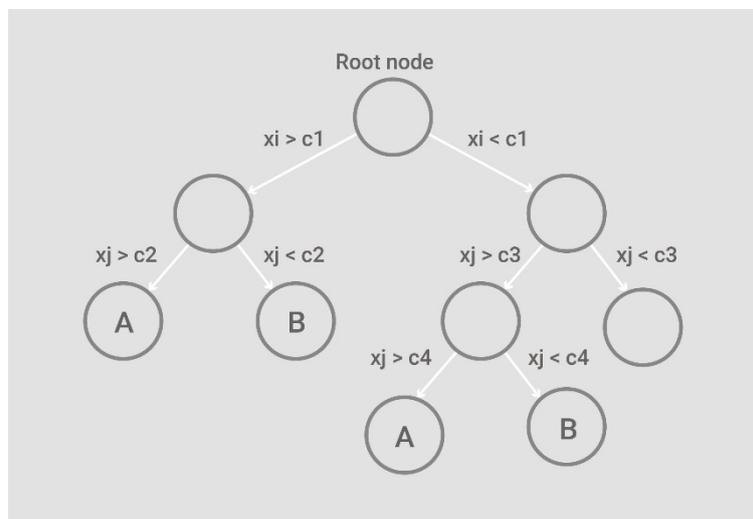


Abbildung 16: Struktur eines Entscheidungsbaumes: An jeder Verzweigung (Knoten) wird ein Merkmal untersucht. Die Blätter (Endknoten) zeigen eine Klasse (A & B).

Diese Methode ist aber auch fehleranfällig, z.B. durch das Übertrainieren eines Modells. Bei nicht repräsentativen Daten oder geringe Datenmengen kann es zu einer Übergeneralisierung (Overfitting) kommen. Die Folge eines übergeneralisierten Modells ist, dass aufgrund von zufälligen Mustern in den Daten der Entscheidungsbaum eine zu feine Unterscheidung trifft und bei neuen Datensätzen falsche Klassen bildet. Deshalb kommen in der Praxis „verstärkte Entscheidungsbäume“ zum Einsatz, d.h., dass nicht nur ein „Baum“, sondern viele „Bäume“ erzeugt werden („Wald“). Die falschen Klassifizierungen fließen nach der Generierung eines Baumes mit einer höheren Gewichtung in den nächsten Baum ein. Dabei wird versucht die Gewichte so zu verteilen, dass die Verlustfunktion (eine Funktion der richtigen und falschen Klassifizierung) minimiert wird. Der verwendete Algorithmus für die Erzeugung der Verlustfunktion wird als „random forest“ bezeichnet und kann in der Programmiersprache R implementiert werden.

Die Einteilung von Variablen in mögliche Klassen erfolgt anhand der Entscheidungen aller „Bäume“. Die Reinheit einer Klasse 1 ist im Fall eines einzelnen „Baumes“ gegeben als:

$$P = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (1)$$

Die Reinheit der Klasse 2 ist dementsprechend $1 - P$. Bei verstärkten Entscheidungsbäumen bekommen alle Merkmalsträger im ersten „Baum“ das Gewicht 1, in jedem weiteren Baum wird den Merkmalsträgern eine Gewichtung ω_i zugeordnet. Die Ermittlung der Reinheit ändert sich wie folgt:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \omega_i}{\sum_{i=1}^{n_1} \omega_i + \sum_{i=1}^{n_2} \omega_i} \quad (2)$$

Die Funktion für die Entscheidung eines einzelnen Baumes lautet:

$$y_i(\vec{x}) = \pm 1, \quad k = 1, \dots, n, \quad (3)$$

Die Entscheidung für alle „Bäume“ ergibt sich aus dem gewichteten Mittel der einzelnen Entscheidungen:

$$y(\vec{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n g_k y_k(\vec{x})}{\sum_{i=1}^n g_k} \quad (4)$$

Mit der Anwendung von verstärkten Entscheidungsbäumen ergeben sich wesentlich stabilere Prognosemodelle (BENN ET AL., 2005; KOLANOSKI, 2008).

5.3.2 Regressionsmodelle

Bei der Abschätzung von Anteilen an Zuwegungen pro Bezugsfläche kommen unterschiedliche Regressionsmodelle zum Einsatz. Die Regressionsanalyse ist ein statistisch asymmetrisches Verfahren zur Ermittlung des Einflusses einer oder mehrerer Indikatoren auf eine abhängige Variable. Bei multivariaten Analyseverfahren werden die Methoden danach unterschieden, ob sie asymmetrische Abhängigkeiten oder symmetrische Zusammenhänge untersuchen. Oft stehen Abhängigkeit und Zusammenhang zwischen Variablen in enger Beziehung, weshalb sich zwischen den einzelnen Analyseverfahren Überschneidungen ergeben. Beispielsweise kann aus einer einfachen Regression (Abhängigkeit) der Korrelationskoeffizient (Zusammenhang) abgeleitet werden (HOLTMANN, 2010). Abbildung 17 zeigt in einer Übersicht die Bandbreite der multivariaten Analyseverfahren und ihre Beziehungen zueinander.

einzelnen Indikators auf eine abhängige Variable zu untersuchen, wobei die anderen Einflussgrößen konstant gehalten werden. Die einfache lineare Regression lässt sich mathematisch in der Form

$$y = f(x) \quad (6)$$

beschreiben. Die Aussage dieser Schreibweise ist die Annahme, dass ein Merkmalsträger x eine Funktion der Variable y ist. Wird eine lineare Abhängigkeit zwischen der unabhängigen und der abhängigen Variable vermutet, kann dieser Zusammenhang mit der Funktion

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon \quad (7)$$

zum Ausdruck gebracht werden. Zusätzlich zu den Variablen x und y tauchen zwei weitere sogenannte Regressionskoeffizienten β_0 und β_1 und der Fehlerterm ε auf. Der Regressionskoeffizient β_0 gibt den y -Achsenabschnitt an und steht für den Ist-Zustand. Der Koeffizient β_1 ist der sogenannte Steigungskoeffizient. Der Fehlerterm ε , auch Residuum genannt, ermöglicht die Berücksichtigung der Annahme, dass es sich nicht um einen deterministischen (perfekten) funktionalen Zusammenhang handelt, da auch andere Einflussgrößen x_n systematische oder zufällige Schwankungen verursachen können. Somit wird von einer statistischen Beziehung ausgegangen, bei der die unabhängigen Variablen nur teilweise die abhängige Variable erklären können. Die Gleichung (7) stellt die Grundformel der bivariaten Regressionsanalyse dar. Wird der Fehlerterm auf beiden Seiten subtrahiert, ändert sich die Gleichung wie folgt:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x \quad (8)$$

wobei \hat{y} die auf Basis der x -Werte geschätzten y -Werte darstellt. Somit existiert zwischen den x -Werten und den abgeschätzten \hat{y} -Werte ein linearer Zusammenhang (WOLF UND HENNING, 2010).

Die multiplen linearen Regressionsmodelle beruhen auf der vereinfachten Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen den unabhängigen Variablen und der abhängigen Variable. Die größte Herausforderung bei der Regressionsanalyse ist die Ermittlung von Schätzern, also Steigungskoeffizienten, die dazu führen, dass die geschätzten Werte mit den tatsächlich beobachteten Werten möglichst gut übereinstimmen. Es wird versucht, eine Gerade an eine Punktwolke so anzupassen, dass die Differenz zwischen beobachteten und geschätzten Werten minimal wird. Die mathematische Notation des multiplen linearen Regressionsmodells wird wie folgt angegeben:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots \beta_i x_i \quad (9)$$

Die Gleichung (9) zeigt, dass die abhängige Variable mit diversen unabhängigen Variablen über eine lineare Funktion in Beziehung zueinander steht. Eine bestmögliche Anpassung einer Geraden an eine Punktwolke für eine lineare Regression ist standardmäßig mit der Methode der kleinsten Quadrate bzw. OLS (ordinary least squares) möglich. Dabei wird versucht, wie in Abbildung 18 zu sehen, die Summe der quadrierten Residuen (Differenzen) zwischen den geschätzten Werten und den

beobachteten Werte minimal zu halten (WOLF UND HENNING, 2010). Analyseverfahren, die auf der Methode der kleinsten Quadrate basieren, sind gegenüber Ausreißern und der Verletzung bestimmter Voraussetzungen nicht robust. Diese Voraussetzungen werden als BLUE (best linear unbiased estimators) bezeichnet (WOOLDRIDGE, 2008). Zu diesen Voraussetzungen gehören unter anderem:

- Metrische Skalierung der unabhängigen Variablen
- Multikollinearität: geringe Linearkombination zwischen den unabhängigen Variablen
- Linearität: linearer Zusammenhang zwischen den unabhängigen Variablen und der abhängigen Variable
- Eliminierung von Messfehlern und Ausreißern
- Normalverteilungsannahme der Residuen
- Homogenitätsannahme der Varianz der Fehlervariablen

$$\min \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (10)$$

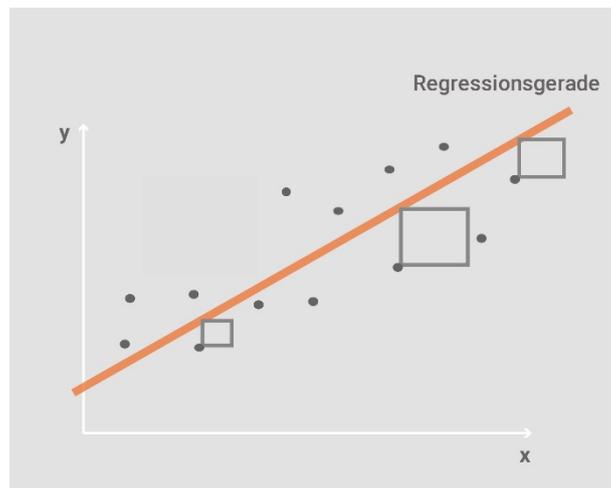


Abbildung 18: Quadrierte Residuen (Differenz) zwischen den geschätzten und den beobachteten Werte (HOLTMANN, 2010)

Nichtlineare Regression

Oft lassen sich Zusammenhänge zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen nicht mit einem linearen Modell abbilden. Nichtlineare Regressionsmodelle sind in der Lage variierende Einflüsse der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable zu beschreiben. Nichtlineare Regressionsfunktionen liegen vor, wenn:

- die unabhängigen Variablen einen nichtlinearen Verlauf aufweisen z.B. x_1^2 ,
- die Regressionskoeffizienten eine höhere Ordnung aufweisen z.B. β_1^2 oder
- beides zutrifft.

Die Schätzung der Regressionskoeffizienten von nichtlinearen Regressionsmodellen wird in einem iterativen Prozess bestimmt. Auch bei nichtlinearen Regressionsmodellen wird die Funktion so bestimmt, dass die Summe der quadratischen Residuen (quadratischer Rest, bezeichnen in der Statistik

und Numerik Abweichungen vom gewünschten Ergebnis) minimal wird (WOLF UND HENNING, 2010). Eine mögliche Vorgehensweise bei nichtlinearen Variablen ist die Linearisierung der Variablen durch Variablensubstitution. Dabei werden die transformierten Variablen unter Nutzung der linearen Regression zur Abschätzung der Regressionskoeffizienten angewendet. Eine weitere Möglichkeit ist die Anwendung einer polynomialen Regression mit quadratischen Termen bzw. Polynomen höheren Grades. Mit der polynomialen Regression ist es oftmals möglich, bei vielen unabhängigen Variablen eine bessere Beschreibung der Zusammenhänge zu erzeugen, gleichzeitig besteht jedoch die Gefahr der Übergeneralisierung. Deshalb werden polynomiale Regressionsfunktionen in der Regel einer Kreuzvalidierung (cross validation) unterzogen, um das beste Modell zu bestimmen. Dabei werden die Daten in k (in der Regel 10) gleichgroße Datensätze aufgeteilt. Die Auswahl der Daten erfolgt nach dem Zufallsprinzip. Jede Gruppe wird anschließend einmal als Testdatensatz und die restlichen Daten als Trainingsdatensatz verwendet. Mit den Trainingsdaten wird die Regressionsfunktion angepasst. Aus den N_k Datensätzen ergibt sich der mittlere quadratische Fehler η_k mit der folgenden mathematischen Notation:

$$\eta_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{k,i} - y_{k,i})^2 \quad (11)$$

mit $\hat{y}_{k,i}$ als Vorhersage und $y_{k,i}$ als tatsächliche Daten (WOLLSCHLÄGER, 2017).

5.3.3 Clusteranalyse

Clusteranalysen werden verwendet, um beispielsweise verborgene Gruppierungen in Daten zu identifizieren (siehe Abbildung 19). Große Datenmengen lassen sich in der Regel durch mehrere Teilmodelle (Cluster) besser abbilden. Jedes Cluster wird separat betrachtet und mit einem Klassifizierungsmodell bzw. Regressionsmodell nachgebildet. Die Clusteranalyse erfolgt in einem iterativen Prozess. Es wird überprüft anhand welcher Kriterien Cluster gebildet werden können, um möglichst präzise Regressionsmodelle zu erreichen.

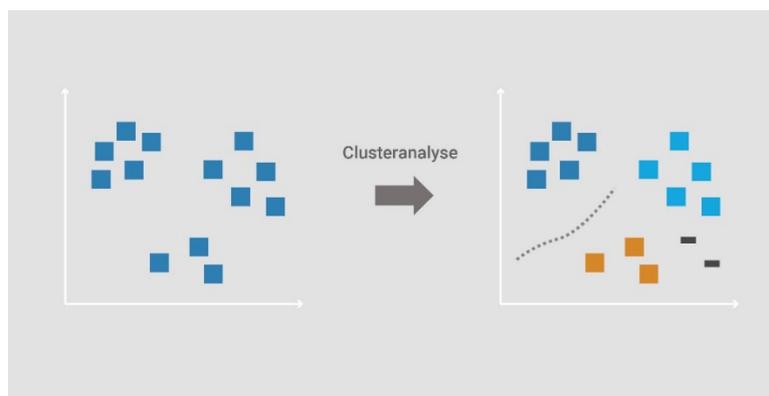


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Clusteranalyse

5.3.4 Modellgüte

Nach der Erstellung der Regressionsmodelle ist zu klären, wie gut die Anpassung der Modelle an die Realität erfolgt ist.

Der Determinationskoeffizient R^2 ist ein Maß für die Güte der Prognosewerte. Sie gibt an, welcher Anteil der beobachteten Varianz³ durch das Regressionsmodell erklärt werden kann.

$$R^2 = \frac{\text{Erklärte Streuung}}{\text{Gesamte Streuung}} = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (12)$$

Je höher der Anteil der erklärten Varianz, umso besser ist das Regressionsmodell (vgl. Abbildung 20). Die Verwendung dieser Maßzahl ist trotzdem aus mathematischer Sicht umstritten. Zum einen, weil sie mit jedem weiteren Prädiktor ansteigt, auch wenn keine wesentliche Verbesserung des Modells eintritt.

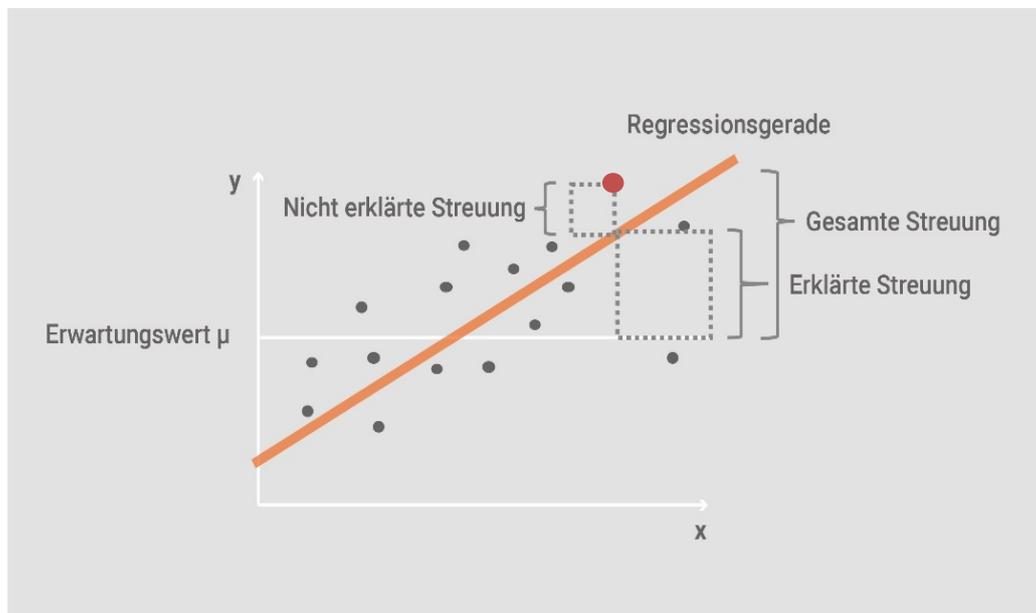


Abbildung 20: Erklärte und nicht erklärte Streuung in einem linearen Regressionsmodell (eigene Darstellung nach (WOLF UND HENNING, 2010))

Zum anderen nimmt sie nie den Erwartungswert Null an, auch wenn kein Zusammenhang zwischen Prädiktor und Kriterium besteht. Viel geeigneter ist die Verwendung einer linearen Transformation von R^2 , das korrigierte Bestimmtheitsmaß R_{kor}^2 (Gleichung (13)). Der Vorteil der korrigierten Maßzahl ist, dass sie negative Werte annehmen kann, falls keine Korrelation zwischen den abhängigen und unabhängigen Variablen vorherrscht und bei Hinzunahme von unabhängigen Variablen sinkt, wodurch das Modell nicht verbessert wird (WOLF UND HENNING, 2010).

$$R_{\text{kor}}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1}(1-R^2) \quad |n, k \quad (13)$$

³ Maß für die Größe der Abweichung vom Mittelwert (Schwarze, 1990).

Die Bewertung der Modellgüte anhand dieser Maßzahl sollte in der Regel im Hinblick auf einen Bezugspunkt oder anhand vorgegebener Daumenregeln (vgl. Tabelle 2) erfolgen (WOLF UND HENNING, 2010). Sie kann Werte zwischen Null und eins annehmen.

Tabelle 2: Daumenregeln für die Bewertung der Maßzahl R^2 (COHEN, 1988)

| Maßzahl | Bewertung |
|---------|----------------------------|
| < 0,2 | keine Varianzaufklärung |
| < 0,5 | kleine Varianzaufklärung |
| < 0,8 | mittlere Varianzaufklärung |
| > 0,8 | hohe Varianzaufklärung |

Um den Anforderungen der Praxis gerecht zu werden, wird eine multiple Gütematrix angewendet. Die Gütematrix ergibt sich aus der Maßzahl R_{kor}^2 , dem Vergleich der abgeschätzten Gesamtzuwegungsflächen mit den realen Daten und der Übereinstimmung der abgeschätzten Zuwegungsanteile mit den tatsächlichen Werten pro Bezugsfläche. Ermittlung der Eingangsdaten für die statistische Abschätzung der Zuwegungsflächen

5.4 Identifizierung der relevanten ALKIS-Objektarten

ALKIS liefert die zur statistischen Ableitung der Zuwegungsflächen erforderlichen Eingangsdaten als erklärende Variablen (Regressoren). Der ALKIS-Objektkatalog ist in drei Ebenen aufgeteilt. Auf der höchsten Ebene befinden sich die Objektartenbereiche, die sich in Objektartengruppen unterteilen. Jede Objektartengruppe enthält wiederum mehrere Objektarten. Für die Analyse kommen ausschließlich flächenhafte Objektarten, d.h. Polygone, zum Einsatz. Linien und Punkte werden nicht berücksichtigt. Die Objektgruppen und Objektarten werden durch fünfstelligen Kennungen (z.B. 31001 für die Objektart „Gebäude“) spezifiziert (ADV, 2008a). Im Folgenden werden die für die Untersuchung relevanten Objektarten erläutert.

5.4.1 Objektartenbereich „Flurstücke, Lage, Punkte“

Die Objektartengruppe „Angaben zum Flurstück“ beinhaltet die Objektart „Flurstück“ (Kennung 11001). Sie ist ein raumbezogenes Elementarobjekt. Die Beziehung zu anderen Objektartenbereichen, wie z.B. „Tatsächliche Nutzung“, ist über den Raumbezug möglich (ADV, 2008a). Flurstücke kommen im Rahmen der Studie als Bezugsräume zum Einsatz. Als Ergebnis der Untersuchungen werden einzelne Flurstücke Gebäudeflächen bzw. Zuwegungsflächen zugeordnet.

5.4.2 Objektartenbereich „Tatsächliche Nutzung“

Zum Objektartenbereich „Tatsächliche Nutzung“ gehören 36⁴ Objektarten, die in die vier Objektartengruppen Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer unterteilt werden. Die Objektarten des Objektartenbereiches „Tatsächliche Nutzung“ sind lückenlos, überschneidungsfrei und flächendeckend beschrieben (Abbildung 21). Da Vegetations- und Gewässerflächen per Definition nicht versiegelt sind und Zuwegungsflächen keine Verkehrsflächen abbilden, kann sich die Untersuchung auf Flächen innerhalb der Objektgruppe „Siedlung“ beschränken. „Siedlungen“ sind laut dem ALKIS-Objektkatalog als bebaute und nicht bebaute Flächen, die durch die Ansiedlung von Menschen geprägt sind oder zur Ansiedlung beitragen, definiert.



Abbildung 21: Ausschnitt aus Dortmund, aufgeteilt in Objektgruppen des Objektbereiches „Tatsächlichen Nutzung“

5.4.3 Objektartenbereich „Gebäude“

Die Objektgruppe „Angaben zum Gebäude“ beinhaltet die Objektart „Gebäude“ (Kennung 31001). Diese Objektart stellt ein raumbezogenes Elementarobjekt dar und besitzt neben der geometrischen Beschreibung weitere selbstbezogene Merkmale (Attribute), wie z.B. die Gebäudefunktion.

5.4.4 Objektartenbereich „Bauwerke, Einrichtungen und sonstige Angaben“

Die Objektarten des Objektartenbereiches „Bauwerke, Einrichtungen und sonstige Angaben“ überlagern die Objektarten des Objektartenbereiches „Tatsächliche Nutzung“. Im Folgenden werden Objektarten, die „Siedlungen“ überlagern, beschrieben.

⁴ Davon werden 25 Objektarten gemeinsam von ALKIS und ATKIS, 10 nur von ATKIS und eine Objektart ausschließlich von ALKIS geführt. Die 10 Objektarten aus ATKIS sind nicht Teil des ALKIS-Objektkatalogs, weil sie Bestandteil des Basis-DLM und DLM50 sind.

Objektart „Turm“ (Kennung 51001): Türme sind hochaufragende Bauwerke, die auf verhältnismäßig kleinen Flächen stehen. Die Art dieses Bauwerkes ist im ALKIS durch die Bauwerksfunktion definiert, z.B. Wasserturm, Aussichtsturm. Insgesamt werden 14 Bauwerksfunktionen unterschieden.

Objektart „Bauwerke oder Anlagen für Industrie und Gewerbe“ (Kennung 51002): Diese Objektart stellt Bauwerke oder Anlagen dar, die industriellen und gewerblichen Zwecken dienen oder Ver- und Entsorgungseinrichtungen. Diese Flächenpolygone befinden sich innerhalb der Objektart „Industrie- und Gewerbeflächen“. Dazu gehören u.a. Klärbecken, Biogasanlage, Hochofen, aber auch Solarzellen und Windradanlagen sowie 23 weitere Bauwerks- und Anlagentypen.

Objektart „Vorratsbehälter, Speicherbauwerk“ (Kennung 51003): Vorratsbehälter und Speicherwerke sind als geschlossene Bauwerke, wie Silos, Tanks und Gasometer, zu verstehen. Sie dienen der Aufbewahrung von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen.

Objektart „Bauwerke oder Anlagen für Sport, Freizeit und Erholung“ (Kennung 51006): Diese Objektart fasst Bauwerke und Anlagen für Sport, Freizeit und Erholung zusammen, insbesondere Sportanlagen, wie Rasenplätze, Tennisplätze und Zuschauertribünen. Diese Bauwerke und Anlagen befinden sich ausschließlich auf „Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen“.

Objektart „Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtungen“ (Kennung 51009): Diejenigen Elemente, die nicht den übrigen Objektarten der Objektgruppe „Bauwerke und Einrichtungen in Siedlungsflächen“ zugeordnet werden, sind in „Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtungen“ zusammengefasst. Auch hier werden die einzelnen Elemente durch die Bauwerksfunktion voneinander unterschieden. In dieser Objektgruppe sind Bauwerke wie Treppen, Mauern, Rampen sowie Stützmauern abgebildet.

5.5 Erzeugung der Erklärungsvariablen

Bei Auswahl von Merkmalen, die als unabhängige Variablen zur statistischen Analyse dienen sollen, müssen

- Objektivität (keine Beeinflussung durch den Bearbeiter),
- Zuverlässigkeit (selbe Ergebnisse bei Wiederholten erstellen der Variablen) und
- Gültigkeit (Sachverhalt entspricht der Realität)

der Daten berücksichtigt werden. Bei der Erzeugung dieser Merkmale ist darauf zu achten, dass sich keine systematischen Fehler (*bias*) einschleichen, die sich auf eine Vielzahl der Stichproben auswirken. Unvermeidbar hingegen sind zuverlässige Fehler, wobei ihre Größe für die Reproduzierbarkeit ausschlaggebend ist. Unter Beachtung dieser Kriterien wurde im Rahmen der Untersuchungen mit Hilfe der Skriptsprache Python ein Tool zur automatischen Bestimmung und Ausgabe diverser unabhängiger Variablen aus dem ALKIS-Datensatz entwickelt und angewendet. Die unabhängigen Variablen resultieren aus ALKIS-Objektarten, dem digitalen Geländemodell (DGM 25) sowie dem Bevölkerungskataster. Die Auswahl der Regressoren aus ALKIS wurde anhand logischer Überlegungen und vermuteter Zusammenhänge zwischen den Regressoren und Zuwegungsflächen getroffen. Die

Regressoren werden in metrische und kategoriale Regressoren unterteilt. Bei metrischen Merkmalen lassen sich die Ausprägungen durch Zahlen darstellen (quantitative Merkmale). Im Gegensatz dazu ermöglichen kategoriale Regressoren eine qualitative Unterscheidung der Zuwegungsflächen z.B. die Unterscheidung von Zuwegungsflächen, die sich in „Wohnbauflächen“ und in „Industrie- und Gewerbeflächen“ befinden.

Tabelle 3: Ableitung der unabhängigen Variablen (Regressoren) aus ALKIS

| Regressoren |
|--|
| Flurfläche |
| Anzahl der angrenzenden Flurstücke |
| Länge der angrenzenden Flurstücke |
| Länge der umlaufenden Verkehrsflächen |
| Gebäudefläche |
| Gebäudeanzahl auf einem Flurstück |
| Bebauungsdichte (Verhältnis Gebäudefläche – Flurstückfläche) |
| Geländeneigung |
| Kategorie Siedlungen |
| Kategorie Maßgebliche Gebäudefunktion |
| Kategorie Gebäudeanzahl |
| Kategorie Bevölkerungsdichte |
| Kategorie Bebauungsdichte |

In Tabelle 3 sind die erzeugten Regressoren tabellarisch aufgelistet. Die ermittelten Regressoren werden im Folgenden erläutert.

5.5.1 Metrische Regressoren

5.5.1.1 Regressoren aus „Flurstücke“

Die Objektart „Flurstück“ dient als Bezugsfläche. Mit ihr soll ermittelt werden, wie groß der Anteil an Zuwegungsflächen auf einem Flurstück ist. Zeitgleich verfügen diese Objektarten über Eigenschaften, die als metrische Regressoren in die Regressionsanalyse einfließen. Dazu gehört z.B. die Flächengröße. Es wird davon ausgegangen, dass anhand der Größe des Bezugsraumes eine Aussage über die Größe der Zuwegungsanteile getroffen werden kann. Weitere Erklärungsvariablen, die aus Flurstücken generiert werden, sind die Anzahl der angrenzenden Flurstücke und die Länge der gemeinsamen Grenzen. In innerstädtischen Bereichen existieren oft mehrere kleine Flurstücke. In ländlichen Gebieten hingegen fallen die Flurstücke in der Regel größer aus. Die Anzahl der angrenzenden Flurstücke sowie die Länge der Flurstückgrenzen ist ein Indiz dafür, ob sich ein Flurstück in einem dichtbesiedelten Gebiet (z.B. Innenstadt) mit vielen kleinen Zuwegungen oder beispielsweise

in ländlichen Gebieten, die kaum eine Zuwegungsfläche aufweist, befindet. Es wird untersucht, ob ein mathematischer Zusammenhang zwischen der Anzahl der angrenzenden Flurstücke, der Länge der Flurstücksgrenzen sowie der Größe der Zuwegungen vorliegt. Flurstücke mit einer kleineren Fläche als 15 m² werden vernachlässigt (vgl. Kapitel 3.5).

5.5.1.2 Regressoren aus Verkehrsflächen

Die Objektarten der Objektgruppe „Verkehr“ (Kennung 4200x) werden zur Bestimmung der umlaufenden Verkehrsflächen an Flurstücke eingesetzt. In dieser Objektgruppe werden sämtliche Flächen, die dem Verkehr dienen (vgl. Kapitel 6.2) erfasst. Angrenzende Verkehrsflächen geben einen Hinweis darauf, inwiefern einzelne Flurstücke angeschlossen sind. Zuwegungsflächen befinden sich häufig auf Flurstücken, die an Verkehrsflächen anschließen. Die Länge der angrenzenden Verkehrsflächen geben Hinweise auf die Größe der Zuwegungsflächen. In städtischen Gebieten mit wenig kleinen angrenzenden Verkehrsflächen kann von kleineren Zuwegungsflächen ausgegangen werden. Ob dieser Zusammenhang auf eine Vielzahl der Flurstücke zutrifft, wird anhand des Merkmals „umlaufende Verkehrsfläche“ untersucht.

5.5.1.3 Regressoren aus „Gebäude“

Die Gebäudepolygone ergeben sich aus unterschiedliche Objektarten der beiden Objektartenbereiche „Gebäude“ und „Bauwerke, Einrichtungen und sonstige Angaben“, die in Kapitel 6.1 beschrieben werden. Gebäudepolygone liefern wichtige Hinweise auf die Größe der Zuwegungsflächen. Anhand der Gebäudefläche, der Anzahl von Gebäuden auf einem Flurstück sowie dem Verhältnis zwischen der Flurstücks- und Gebäudefläche kann auf die Größe der Zuwegungsflächen geschlossen werden. Gebäudepolygone werden durch Plausibilisierungsmaßnahmen korrigiert (vgl. Kapitel 3.5). Flurstücke, deren Fläche zu über 95 % von Gebäudeflächen überlagert werden, finden keine Berücksichtigung. Weiterhin werden diejenigen Gebäude, deren Fläche weniger als 2 m² misst oder deren Abdeckung weniger als 1 % des Flurstücks beträgt, gleich Null gesetzt.

5.5.1.4 Geländehöhe

Neben ALKIS-Objektarten wird untersucht, ob anhand der Geländeneigung Aussagen über Zuwegungsflächen möglich sind. Es wird erwartet, dass Flurstücke mit einem großen Gefälle größere Zuwegungen zur Entwässerung besitzen. Dazu wird das Digitale Geländemodell DGM25 eingesetzt. Wird der mathematische Zusammenhang nachgewiesen, kann das DGM 1 für eine Verbesserung der Datengrundlage hinzugezogen werden. Die Übertragbarkeit des erstellten Python-Skriptes zur Erzeugung der Geländeneigung auf das DGM 1 ist möglich.

5.5.2 Kategoriale Regressoren

5.5.2.1 Objektarten der ALKIS-Objektartengruppe „Siedlung“

Siedlungspolygone werden in ALKIS je nach Nutzung in neun Objektarten unterteilt und getrennt geführt. Diese Objektarten kommen zur Kategorisierung der Flurstücke zum Einsatz. Abbildung 22 zeigt

einen Ausschnitt im Zentrum der Stadt Dortmund. Die Siedlungen werden als Kriterien zur Bildung von Clustern verwendet. Die Verteilung von Zuwegungsflächen auf verschiedene Siedlungen, die anhand ihrer Nutzungsart unterschieden werden, ist sehr unterschiedlich.

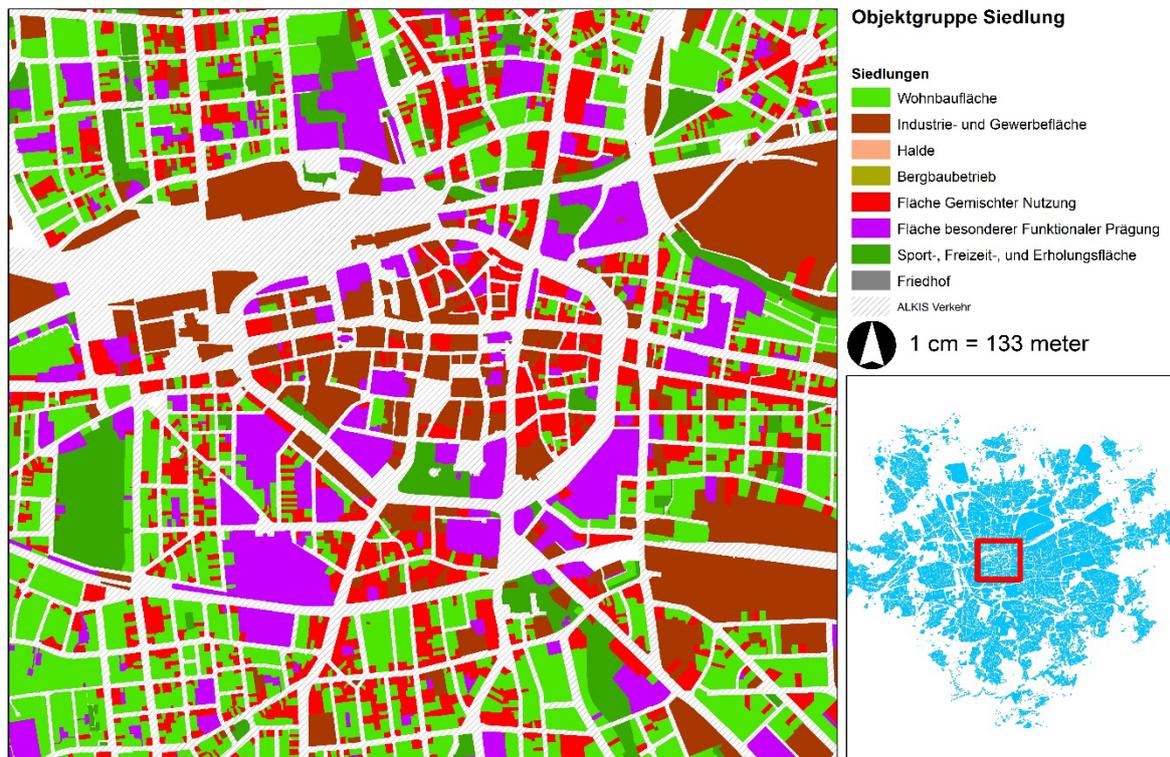


Abbildung 22: ALKIS - Objektarten der Objektartengruppe "Siedlung"

Zusätzlich werden Freiflächen wie Vorgärten, Stellplätze und Hofraumflächen als „Wohnbauflächen“ aufgeführt. „Industrie- und Gewerbeflächen“ charakterisieren, wie aus der Bezeichnung hervorgeht, ausschließlich Flächen, die dem industriellen und gewerblichen Zweck dienen. Flächen, auf denen Materialien langfristig gelagert werden, werden als „Halden“ geführt. Die Polygone „Bergbaubetrieb“ beschreiben Bereiche, die für die Förderung eines Abbauguts (z.B. Kalkstein, Basalt) unter Tage genutzt werden. Gebiete, auf denen oberirdisch abgebaut wird (z.B. Quarzsand), werden als „Tagebau, Grube, Steinbruch“ geführt. Flächen, bei denen keine Art der baulichen Nutzung vorherrscht, werden als „Flächen gemischter Nutzung“ bezeichnet. Dazu gehören sowohl ländlich-dörflich geprägte Flächen mit land- und forstwirtschaftlichen Betrieben und Wohngebäude als auch städtische Kerngebiete mit Handelsbetrieben und Einrichtungen für die Wirtschaft und Verwaltung. „Flächen besonderer funktionaler Prägung“ sind baulich durch Gebäude geprägt, die zur Erfüllung öffentlicher Zwecke dienen (z.B. Bildung und Forschung, religiöse Einrichtungen). „Sport- Freizeit- und Erholungsflächen“ repräsentieren beispielsweise Sportanlagen, Zoo und Grünanlagen. Friedhöfe werden als eigenständige Objektart geführt. In Tabelle 4 ist der Anteil der Flurstücke, die unterschiedlichen Siedlungs-Objektarten zugeordnet werden, dargestellt.

Sowohl die Anzahl als auch die Fläche der Flurstücke, die auf „Wohnbaufläche“ liegen, ist deutlich größer als andere Siedlungen. Weitere relevante Siedlungs-Objektarten sind „Industrie- und

Gewerbeflächen“, „Fläche Gemischter Nutzung“ sowie „Flächen Besonderer Funktionaler Prägung“ und „Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen“.

Tabelle 4: Anteil der unterschiedlichen Siedlungs-Objektarten im Untersuchungsgebiet der EGLV

| | Anzahl Datensätze | Anteil am Gesamtdatensatz [%] | Fläche [m²] | Anteil an der Gesamtfläche [%] |
|--|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Wohnbaufläche | 628.018 | 72,84 | 361.400.530 | 41,17 |
| Industrie- und Gewerbefläche | 59.768 | 6,93 | 196.029.301 | 22,33 |
| Halde | 1.059 | 0,12 | 19.527.946 | 2,22 |
| Bergbaubetrieb | 47 | 0,005 | 419.095 | 0,05 |
| Tagebau, Grube, Steinbruch | 243 | 0,03 | 5.520.379 | 0,63 |
| Fläche Gemischter Nutzung | 62.017 | 7,19 | 83.389.471 | 9,50 |
| Fläche Besonderer Funktionaler Prägung | 52.984 | 6,14 | 53.910.783 | 6,14 |
| Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche | 56.073 | 6,50 | 138.781.366 | 15,81 |
| Friedhof | 1.894 | 0,21 | 18.778.924 | 2,13 |

5.5.2.2 Maßgebliche Gebädefunktionen

Neben den metrischen Eigenschaften der Gebäude kommen die Gebädefunktionen als kategorie bildende Indikatoren zum Einsatz. Die Gebädefunktion definiert laut ALKIS–Objektkatalog die zum Erhebungszeitpunkt erkennbare vorherrschende funktionale Bedeutung des Elementes. Sie lassen sich im Allgemeinen in die drei Kategorien „Wohngebäude“, „Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe“ und „Gebäude für öffentliche Zwecke“ unterteilen. Es existieren über 200 verschiedene Gebädefunktionen. Als Regressor wird aus den ALKIS-Gebädefunktionen die maßgebliche Gebädefunktion erzeugt (Abbildung 23). Die Funktion eines Gebäudes ist dann maßgeblich, wenn sie zu konkurrierenden Gebäuden die größte Fläche auf einem Flurstück aufweist. Sollte sich beispielsweise auf einem Flurstück eine Garage, ein Gartenhaus und ein Wohnhaus befinden, so wird die Gebädefunktion des Wohnhauses als maßgeblich gewertet, da das Wohnhaus im Vergleich zu den anderen Gebäuden die größte Fläche besitzt. Die maßgebliche Gebädefunktion wird als eigenständige Information in Form eines Attributs den Flurstücken zugewiesen.

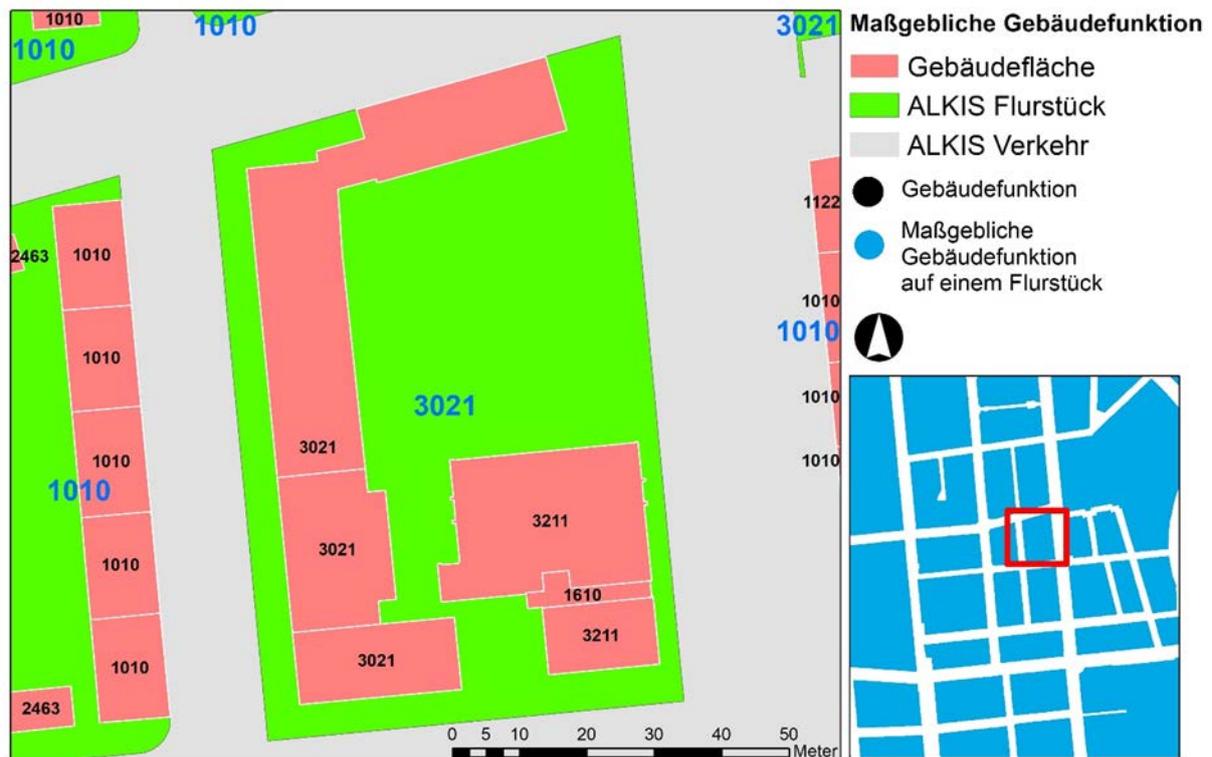


Abbildung 23: Maßgebliche Gebäudefunktion auf Flurstücken

Es werden jedoch lediglich diejenigen maßgeblichen Gebäudefunktionen betrachtet, die im Untersuchungsgebiet mindestens 1.000 Mal vorkommen und im Validierungsdatensatz mindestens 100 Mal. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass eine angemessene Stichprobenanzahl für die statistische Analyse gewährleistet ist. 17 maßgebliche Gebäudefunktionen erfüllen diese Voraussetzung. Tabelle 5 zeigt die Gebäudefunktionen und die dazugehörigen Anteile im Untersuchungsgebiet der EGLV.

Tabelle 5: Auswahl an maßgebliche Gebäudefunktionen zur Kategorisierung von Flurstücken

| Gebäudefunktionen | Anzahl Flurstücke | Anteil Anzahl Flurstücke [%] | Fläche der Flurstücke [m ²] | Anteil Fläche Flurstücke [%] |
|---|-------------------|------------------------------|---|------------------------------|
| Wohnhaus | 528.878 | 61,35 | 338.572.153 | 38,57 |
| Keine Gebäude | 166.737 | 19,34 | 169.057.977 | 19,26 |
| Garage | 54.835 | 6,36 | 19.931.463 | 2,27 |
| Doppelhaushälfte | 8.760 | 1,02 | 50.840.556 | 5,79 |
| Museum | 7.810 | 0,91 | 5.572.394 | 0,63 |
| Bibliothek | 7.230 | 0,84 | 5.265.379 | 0,60 |
| Lagerhalle | 5.936 | 0,69 | 26.469.072 | 3,02 |
| Zoll | 5.742 | 0,67 | 4.292.893 | 0,49 |
| Gartenhaus | 5.503 | 0,64 | 13.215.789 | 1,51 |
| Umformer | 5.252 | 0,61 | 2.701.535 | 0,31 |
| Schuppen | 5.081 | 0,59 | 6.527.070 | 0,74 |
| Gebäude für Handel und Dienstleistungen | 4.091 | 0,47 | 11.475.072 | 1,31 |
| Stall | 3.700 | 0,43 | 15.247.297 | 1,74 |
| Werkstatt | 3.683 | 0,43 | 8.025.159 | 0,91 |

| | | | | |
|-------------------|-------|------|-----------|------|
| Bürogebäude | 1.761 | 0,20 | 4.562.908 | 0,52 |
| Kindertagesstätte | 1.579 | 0,18 | 3.812.898 | 0,43 |
| Gruppenhaus | 1.106 | 0,13 | 1.700.472 | 0,19 |

5.5.2.3 Kategorie Gebäudeanzahl

Die Gebäudeanzahl ist ein diskretes Merkmal mit vielen Ausprägungen. Mit der Zusammenfassung von Werten werden sogenannte Klassen gebildet, die bei der übersichtlichen Darstellung von vielen Merkmalsausprägungen angewendet werden; diese vereinfachen das Verständnis über die vorhandenen Größenordnungen. In diesem Zusammenhang werden die Regressoren „Gebäudeanzahl auf Flurstücke“, in Klassen unterteilt. Abbildung 24 zeigt eine geordnete Reihe mit Gebäudeanzahl auf Flurstücken. Die x-Achse beschreibt die Anzahl der Datensätze und die y-Achse die Anzahl der Gebäude auf einem Flurstück. Die roten, gestrichelten Linien zeigen jeweils die Klassengrenzen. Der gesamte Datensatz wird wie folgt in 7 Klassen unterteilt.

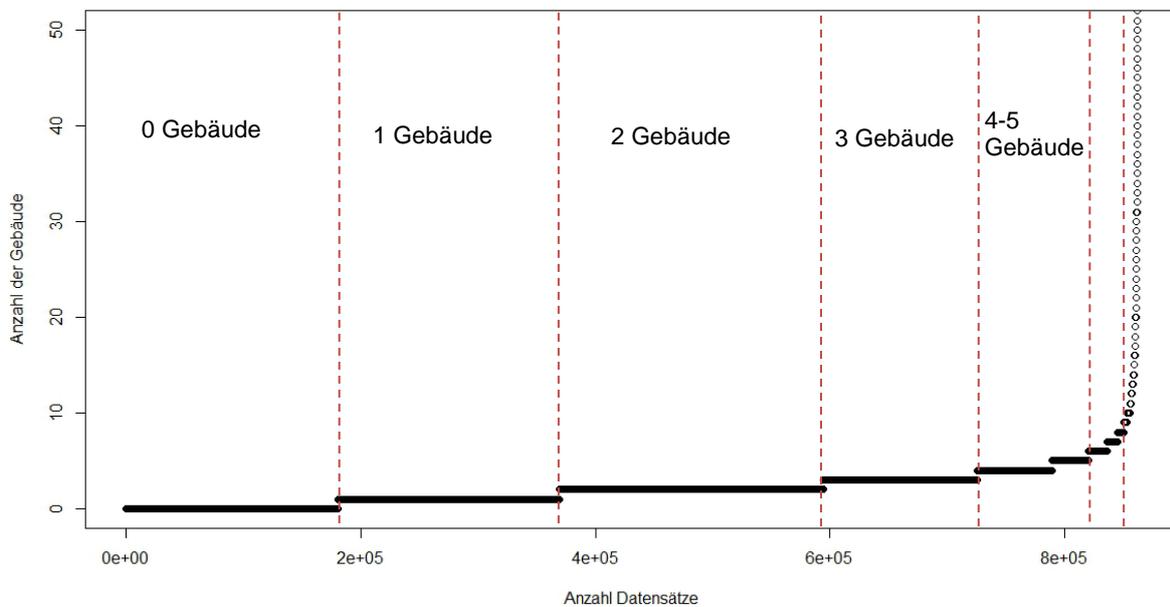


Abbildung 24: Definition von Klassen für den Regressor "Gebäudeanzahl auf Flurstücken"

Tabelle 6: Klassen der Regressors "Gebäudeanzahl auf Flurstücken"

| Klasse | Klassenbezeichnung |
|--------|--------------------|
| 1 | 0 Gebäude |
| 2 | 1 Gebäude |
| 3 | 2 Gebäude |
| 4 | 3 Gebäude |
| 5 | 4 – 5 Gebäude |
| 6 | 6 – 10 Gebäude |
| 7 | Größer 10 Gebäude |

5.5.2.4 Kategorie Bevölkerungsdichte

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben werden die Bevölkerungszahlen anhand des Zensus 2011 abgeleitet. Diese existieren bundesweit in 100-Meter Gittern, die zur freien Verfügung stehen und kostenlos heruntergeladen werden können. Mit Hilfe dieser Daten kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob sich die Flurstücke in Innenstädten und Wohnbaugebieten mit hohen Bevölkerungszahlen oder in Außenbereichen befinden. Ziel ist die Zuordnung von Flurstücken zu Bevölkerungsdichte-Klassen. Abbildung 25 zeigt die Zensusdaten in 100-Meter Gitter in Rot. Innerhalb der roten Quadrate befinden sich die anhand von Umfragen und Hochrechnungen ermittelten Bevölkerungszahlen. Den Flurstücken, die sich innerhalb eines Quadrats befinden, werden allen dieselbe Bevölkerungszahl zugeteilt. Bei Flurstücken, die von mehreren Quadraten geschnitten werden, wird die Bevölkerungszahl anhand der Gewichtung der Fläche neu berechnet. Auf diese Weise wird ermittelt, welche Flurstücke sich in dichtbesiedelten Räumen befinden. Dabei ist zu beachten, dass die Bevölkerungszahl nicht für einzelne Flurstücke ermittelt werden kann. Auch diese Information ist ein stetiges Merkmal mit vielen Ausprägungen, weshalb auch in diesem Fall Klassen gebildet werden. Dazu wird ein Histogramm mit der Häufigkeitsverteilung der Bevölkerungszahlen erstellt (siehe Abbildung 26). Es wird in fünf Kategorien „sehr geringe Bevölkerungsdichte“ (kleiner 5 Personen), „Geringe Bevölkerungsdichte“ (5 – 28 Personen), „Mittlere Bevölkerungsdichte“ (29 – 47 Personen), „Hohe Bevölkerungsdichte“ (48 – 70 Personen) sowie „Sehr hohe Bevölkerungsdichte“ (mehr als 70 Personen), aufgeteilt.

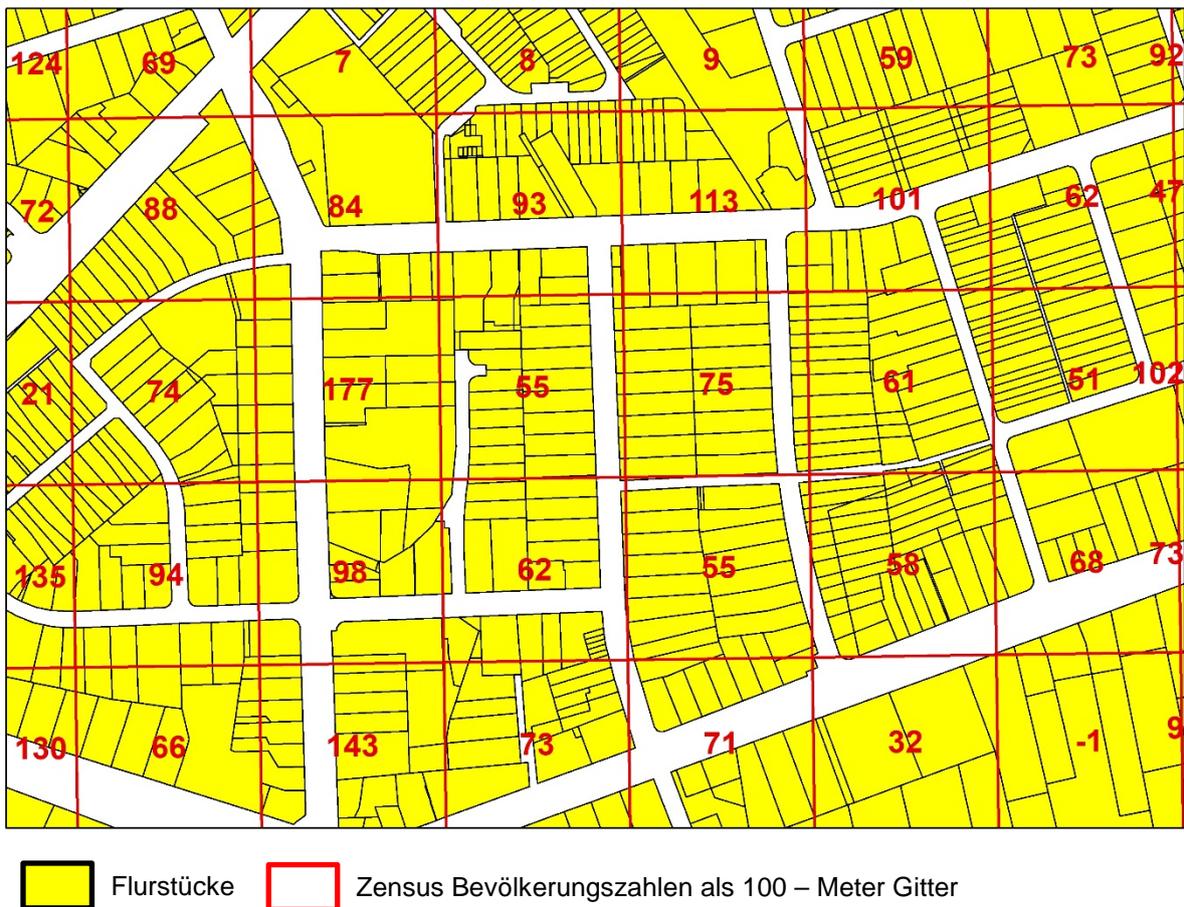


Abbildung 25: Zuteilung der Bevölkerungszahlen auf Flurstücken anhand der Zensusdaten in Gitterformat

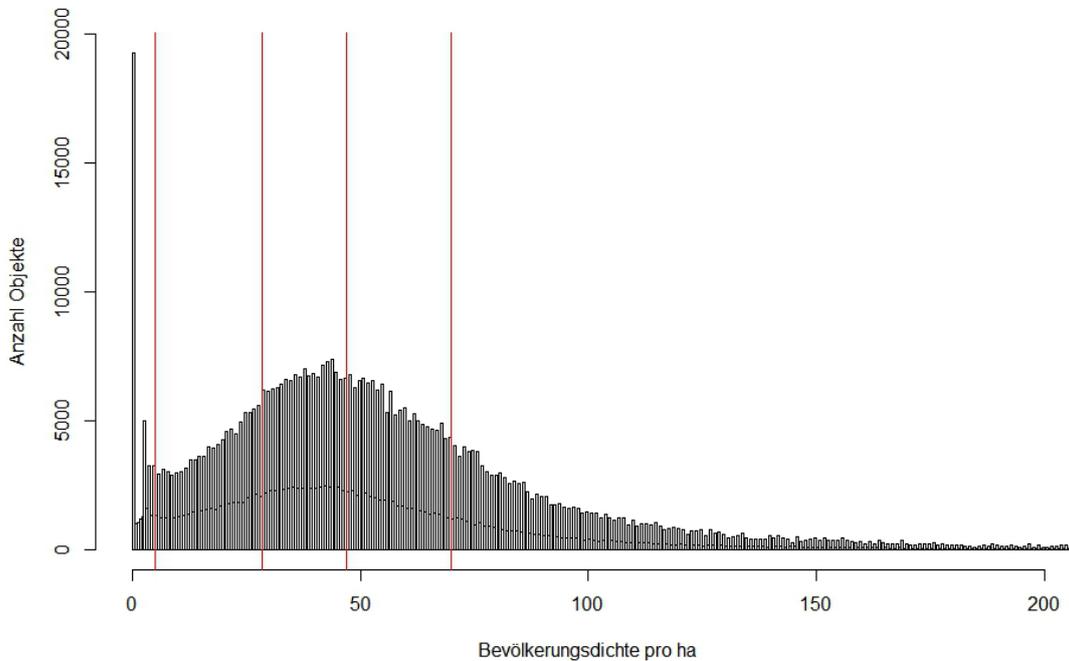


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der Bevölkerungszahlen

5.5.2.5 Kategorie Bebauungsdichte

Die Bebauungsdichte wird anhand des Quotienten zwischen der Gebäudefläche und der Flurstückfläche ermittelt. Es wird ermittelt, wie viel Prozent eines Flurstücks von Gebäudeflächen überlagert werden. In Abbildung 27 ist die Verteilung der Bebauungsdichte dargestellt, die Klassenbildung wird anhand des Quantils durchgeführt. Auf diese Weise ergeben sich die fünf Klassen „Keine Gebäude“, „geringe Bebauungsdichte“ (0 % – 18 %), „Mittlere Bebauungsdichte“ (18 % - 28 %), „Hohe Bebauungsdichte“ (29 % - 38 %) und „Sehr hohe Bebauungsdichte“ (größer 39 %).

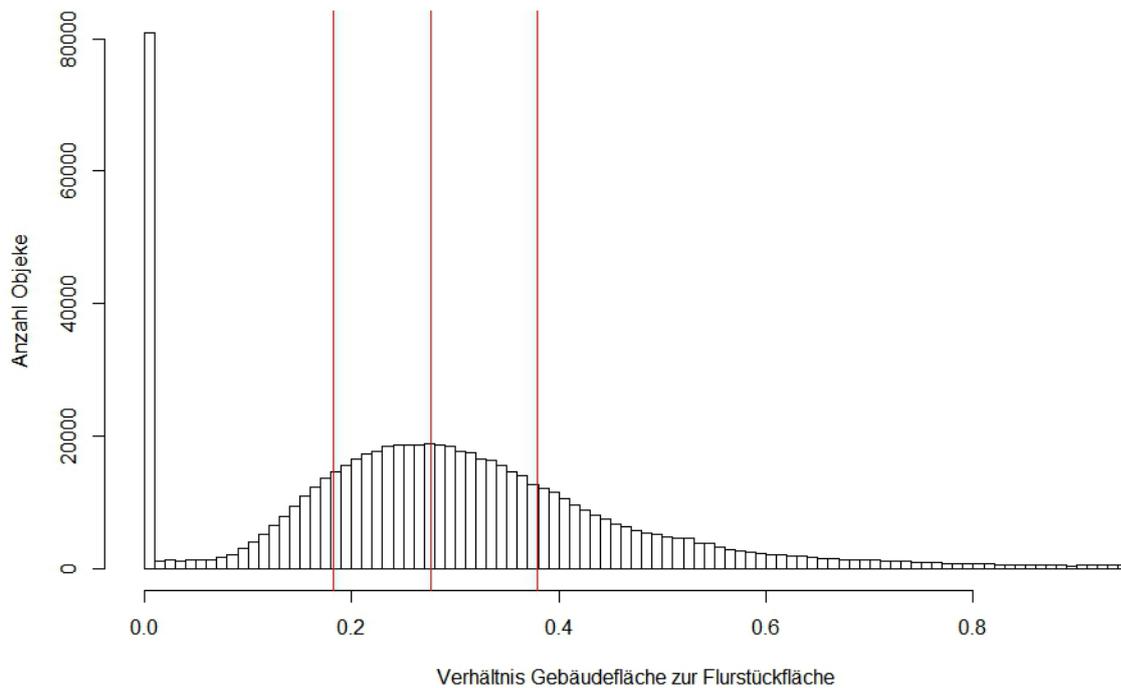


Abbildung 27: Verteilung der Bebauungsdichte auf Flurstücke

5.6 Referenzdaten

Die Zuwegungsflächen werden im EGLV-Datensatz als „Privat Saubere“ und „Privat Schmutzige“ Flächenpolygone geführt (vgl. Kapitel 3.4.2). Ziel der Untersuchungen ist, die Flächengrößen von Zuwegungsflächen möglichst präzise abzuschätzen. Die Behandlungsbedürftigkeit dieser Flächen spielt dabei keine Rolle. Deshalb werden die „Privat Saubere“ und „Privat Schmutzige“ Flächenpolygone zusammengeführt und mit der Objektart Flurstück aus ALKIS verschnitten. Dabei wurde festgestellt, dass ca. 20 % der Flurstücke keine Überlagerung mit Zuwegungsflächen aufweisen. Hier werden im Allgemeinen zwei Fälle unterschieden. Zum einen existieren Flurstücke, die tatsächlich keine Zuwegungsflächen aufweisen und zum anderen Flurstücke, die zwar eine Zuwegung besitzen, diese aber durch die EGLV-Daten nicht erfasst wurden. Eine Quantifizierung der Unvollständigkeit ist nicht möglich, da keine weiteren Vergleichsdaten vorliegen. Deshalb wird vereinfacht davon ausgegangen, dass relevante abflusswirksame Zuwegungsflächen, wie z.B. asphaltierte und betonierte Flächen, vollständig erfasst wurden. Vor diesem Hintergrund wird ein Klassifikationsmodell

(Entscheidungsbäume) eingesetzt, mit dem Flurstücke ohne Zuwegungsflächen identifiziert und aus den Regressionsanalysen ausgeschlossen werden können.

6 Untersuchungsergebnisse

6.1 Gebäudeflächen aus ALKIS

Die identifizierten Objektarten werden in einem Lastenheft detailliert beschrieben. Tabelle 7 zeigt diese Auswahl inkl. der Attributart, anhand dessen die Objekte selektiert werden. Beispielsweise werden in der Objektart „Sonstige Bauwerke oder Sonstige Anlagen“ mit der Kennung 51009 die Attribute mit den Wertarten 1610 „Überdachung“ und 1611 „Carport“ selektiert. Die Gesamtheit der Auswahl beschreibt die Gebäudeflächen, die aus ALKIS–Daten selektiert werden können.

Tabelle 7: Auswahl von Objektarten zur Bestimmung von Gebäudeflächen

| | Objektart | Kennung | Attributart zur Auswahl | Wertarten |
|-------------|---|---------|-------------------------|--------------------------|
| Dachflächen | Gebäude | 31001 | Lage zur Erdoberfläche | 1200 ausgenommen |
| | Turm | 51001 | | |
| | Bauwerke oder Anlage für Industrie und Gewerbe | 51002 | Bauwerksfunktion | 1215,1220,1290 , 1350 |
| | Vorratsbehälter Speicherbauwerk | 51003 | | |
| | Bauwerk od. Anlage für Sport, Freizeit und Erholung | 51006 | Bauwerksfunktion | 1431,1490 |
| | sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung | 51009 | Bauwerksfunktion | 1610,1611 |

6.1.1 Objektorientierte Gegenüberstellung von Gebäudepolygone aus ALKIS und Referenzdaten

Bei der objektorientierten Methode werden im Untersuchungsgebiet insgesamt 569.322 Elemente aus ALKIS und dem EGLV–Datensatz verglichen, die sich geometrisch überlagern. Bei der Gegenüberstellung der Gebäudepaare ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,86$. Ein starker linearer Zusammenhang existiert zwischen ALKIS- und EGLV-Gebäudepolygone (Abbildung 28, links). Die mittlere Übereinstimmung der Flächengrößen der Gebäudepaare ergibt 84,65 % (rote, gestrichelte Linie im Boxplot), unabhängig davon, ob ALKIS–Daten größere oder kleinere Flächen abbilden. Die Standardabweichung um den Mittelwert liegt bei 15,2 %. Der Boxplot auf der rechten Seite der Abbildung 28 zeigt, dass bei 75 % aller Gebäude die Grundflächenübereinstimmung von ALKIS- und EGLV-Gebäudeflächen bei über 80% liegt. Das bedeutet, dass es bei 25 % der im Untersuchungsgebiet liegenden Gebäude zu einer deutlichen Abweichung ($> 20\%$) zwischen den ALKIS- und EGLV-Grundflächen kommt.

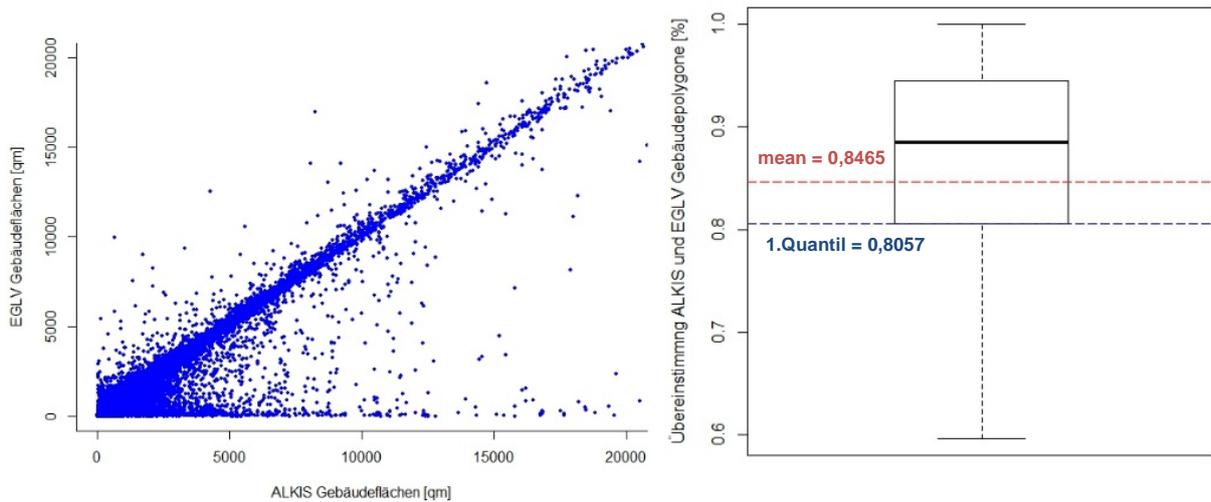


Abbildung 28: Objektorientierte Gegenüberstellung von Gebäudedaten aus ALKIS und EGLV im Untersuchungsgebiet EGLV, links: Stärke des linearen Zusammenhangs; rechts: Grad der Übereinstimmung in Prozent

Zur Überprüfung, ob diese Aussage flächendeckend gültig ist, werden die Ergebnisse für einzelne Kommunen betrachtet. Es wird festgestellt, dass sich die mittlere Übereinstimmung der Gebäudeflächen aus ALKIS und EGLV im gesamten Untersuchungsgebiet und für jede Kommune zwischen 80 % und 87 % bewegen (siehe Abbildung 29).

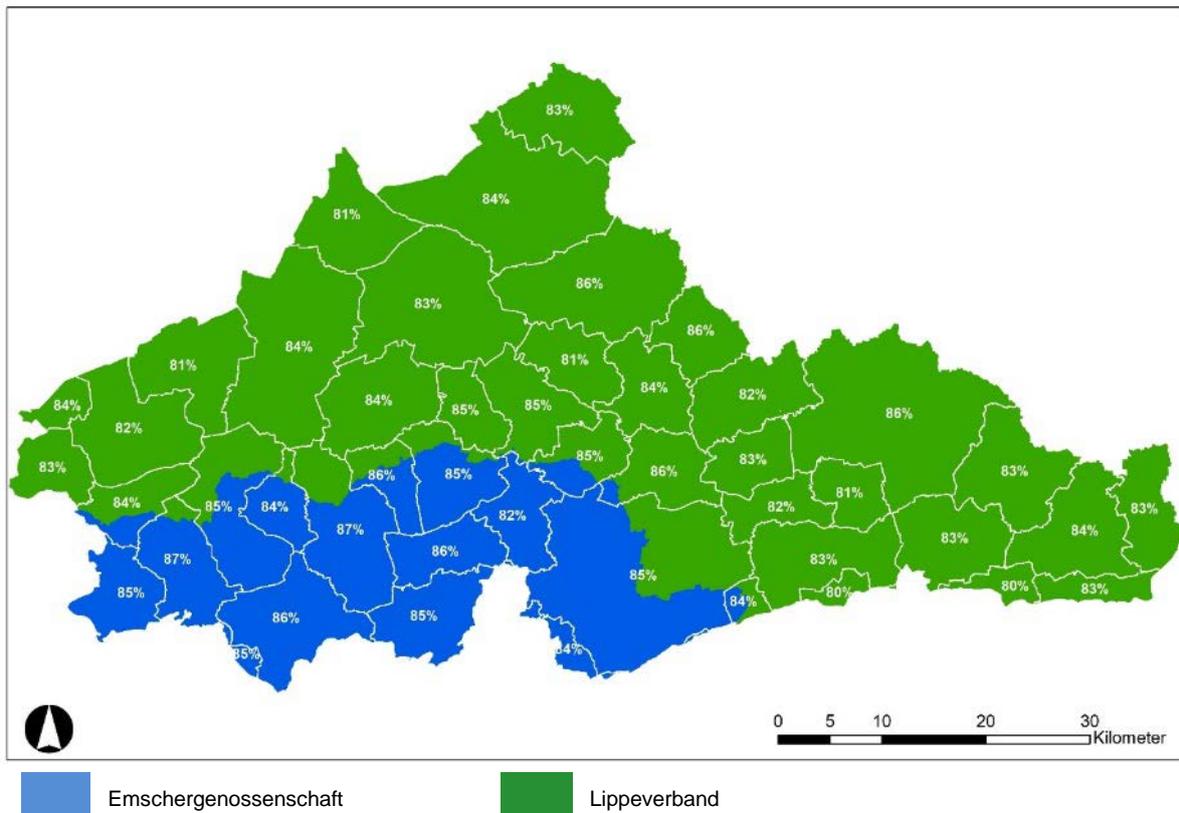


Abbildung 29: Mittlere Übereinstimmung von Gebäudeflächen aus ALKIS und EGLV auf kommunaler Ebene im Untersuchungsgebiet EGLV

Bei der Gegenüberstellung der Gebäudeflächen ist zu beobachten, dass in 80 % der Fälle die ALKIS–Daten eine kleinere Fläche pro Objekt abbilden als die EGLV–Daten. Die Flächendefizite durch ALKIS sind je nach maßgeblicher Gebäudefunktion der Flurstücke sehr unterschiedlich und reichen von 2,5 m² bis über 100 m². Ein Grund hierfür sind bspw. Dachüberstände, die bei der manuellen Digitalisierung von Orthophotos Berücksichtigung finden. In ALKIS wird im Gegensatz dazu der Grundriss des Gebäudes erhoben, dies ist als wichtigste Ursache für die Abweichungen zwischen ALKIS–Daten und EGLV–Daten zu sehen ist. Bei der Betrachtung der durch ALKIS und EGLV erhobenen Gebäude- und Dachflächen ergeben sich somit in den meisten Kommunen Defizite (siehe Abbildung 30).

Gegenüberstellung von Gebäudepolygone aus ALKIS und Referenzdaten bezogen auf einen Bezugsraum

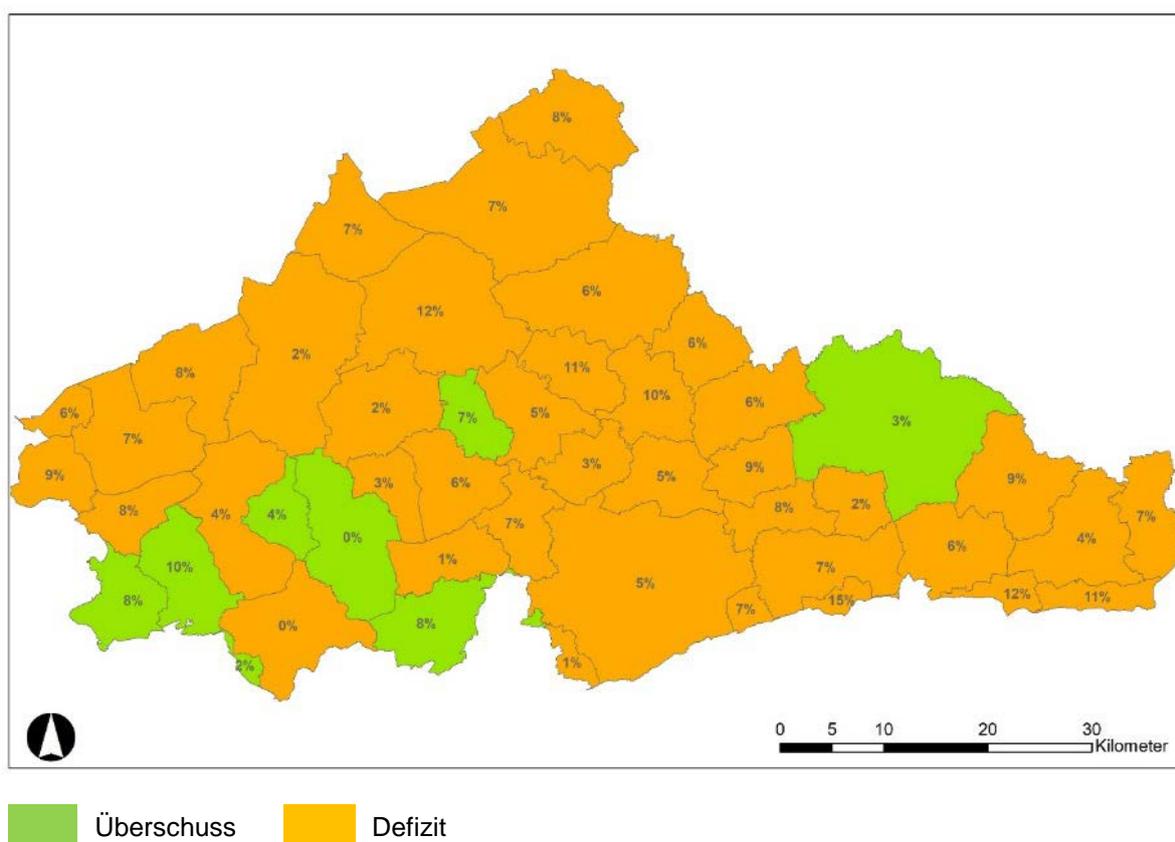


Abbildung 30: Überschüsse (grün) und Defizite (orange) der durch ALKIS erhobenen Gebäude- und Dachflächen im Vergleich zu EGLV – Daten im Untersuchungsgebiet EGLV

Bei der Gegenüberstellung der summierten Gebäude- und Dachflächen auf Flurstücken werden 1.021.570 Flurstücke untersucht. Die Gebäudepolygone aus beiden Datensätzen werden diesen durch Verschneidung mit Flurstücken zugeordnet. Sie befinden sich alle innerhalb der Objektgruppe Siedlung der „Tatsächlichen Nutzung“. Hierbei werden sämtliche Gebäude- und Dachflächen auf einem Flurstück zu einer Einheit verschmolzen und mit dem anderen Datensatz verglichen.

Bei der Anwendung dieser Methode wurde festgestellt, dass eine Reihe von Gebäudepolygonen mit sehr kleinen Flächen existiert. In Abbildung 31 sind einige Beispiele aufgeführt.

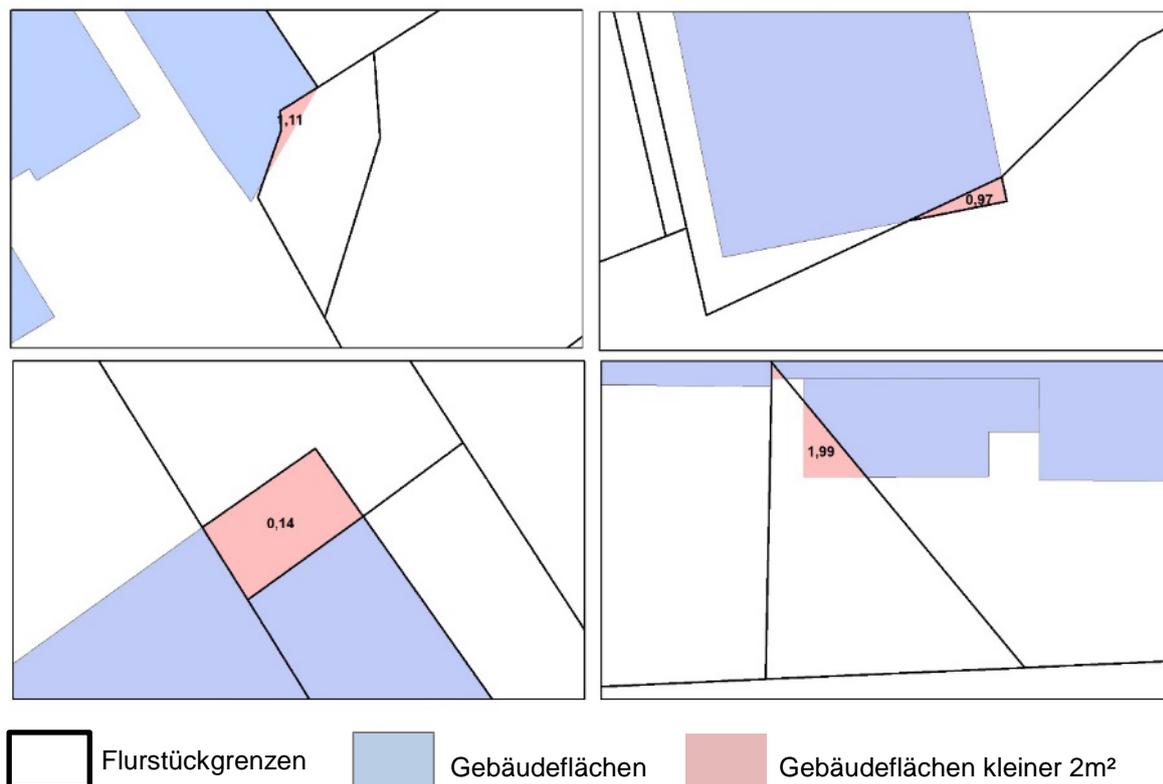


Abbildung 31: Darstellung von Gebäudeflächen unter 2 m²

Diese Gebäudeflächen entstehen insbesondere, wenn Gebäudepolygone Flurstücksgrenzen überschreiten. Durch die Zuordnung der Gebäudeflächen zu Flurstücken kommt es durch geometrisches Verschneiden zur Separierung von Gebäudepolygonen und infolgedessen zu sehr kleinen Gebäudeflächen. Um diese Fälle auszuschließen, werden ausschließlich Gebäude größer 2 m² betrachtet. Gebäude kleiner als 2 m² werden mit 0 m² angenommen.

Aus der Verschmelzung der Dach- und Gebäudeflächen auf einem Flurstück resultieren aus dieser Methode vier verschiedene Kombinationen. Zum einen existieren Flurstücke, die weder ALKIS-Gebäudepolygone noch EGLV-Gebäudepolygone beinhalten. Zum anderen existieren Flurstücke, die entweder ALKIS-Gebäudepolygone oder EGLV-Gebäudepolygone aufweisen und schließlich Flurstücke, in denen Gebäudeflächen aus beiden Datensätzen verfügbar sind. Tabelle 8 ist zu entnehmen, dass bei 19,97 % der betrachteten Flurstücke keine Zuordnung zu Gebäudepolygonen möglich ist. Auf diesen Flurstücken befinden sich keine Gebäude. Bei ca. 3,6 % der Daten befinden sich nur EGLV-Gebäudepolygone auf Flurstücken; diese machen insgesamt eine Fläche von 1,7 km² aus. Dieser Flächenanteil konnte durch ALKIS-Daten nicht erfasst werden. Bei ca. 2,2 % der Daten befinden sich ausschließlich ALKIS-Gebäudepolygone auf den Flurstücken mit einer Gesamtfläche von 3,2 km². Hierbei wurde ein Überschuss an Gebäudeflächen erfasst. Die zuletzt genannten zwei Fälle bestätigen die Aussage, dass beide Datensätze die Realität nicht vollständig darstellen. Gründe dafür sind unter anderem Neubauten, die aufgrund der Aktualisierungsperioden der Datensätze noch nicht erfasst wurden. Ein weiterer Grund ist die unvollständige Erfassung von Gebäuden durch Bearbeiter bzw.

Katasterämter. Die restlichen Flurstücke (ca. 75 %) werden sowohl von ALKIS–Gebäudepolygonen als auch von EGLV-Gebäudepolygonen überlagert. Im gesamten Untersuchungsgebiet ist ein Defizit von ca. 16 km² bei den ALKIS–Daten zu beobachten. Im Folgenden ist dargestellt, wie diese Abweichung zustande kommt.

Tabelle 8: Zusammensetzung unterschiedlicher Fälle bei der Gegenüberstellung von Gebäudepolygonen aus ALKIS und EGLV auf einzelne Flurstücke im Untersuchungsgebiet EGLV

| | ALKIS | EGLV | Anzahl Datensätze | Anteil [%] | Fläche [m ²] ALKIS | Fläche [m ²] EGLV |
|---|--------------|--------------|-------------------|------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Kein Gebäude | Kein Gebäude | 201.229 | 19,97 | 0 | 0 |
| 2 | Kein Gebäude | Gebäude | 37.022 | 3,62 | 0 | 1.720.311 |
| 3 | Gebäude | Kein Gebäude | 20.692 | 2,18 | 3.254.279 | 0 |
| 4 | Gebäude | Gebäude | 717.523 | 74,23 | 189.731.800 | 205.816.378 |

In Abbildung 32 sind die summierten Gebäudeflächen auf einzelnen Flurstücken aus ALKIS und dem EGLV–Datensatz in einem Punktdiagramm (links) gezeigt. Es wird deutlich, dass ein sehr starker linearer Zusammenhang zwischen den Datensätzen besteht. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,99$. Daraus lässt sich schließen, dass in der Summe eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen den erfassten Gebäudeflächen in beiden Datensätzen vorherrscht. In dem rechten Boxplot in Abbildung 32 ist diese Übereinstimmung visualisiert, unabhängig davon, ob durch ALKIS größere oder kleinere Gebäudeflächen erfasst werden.

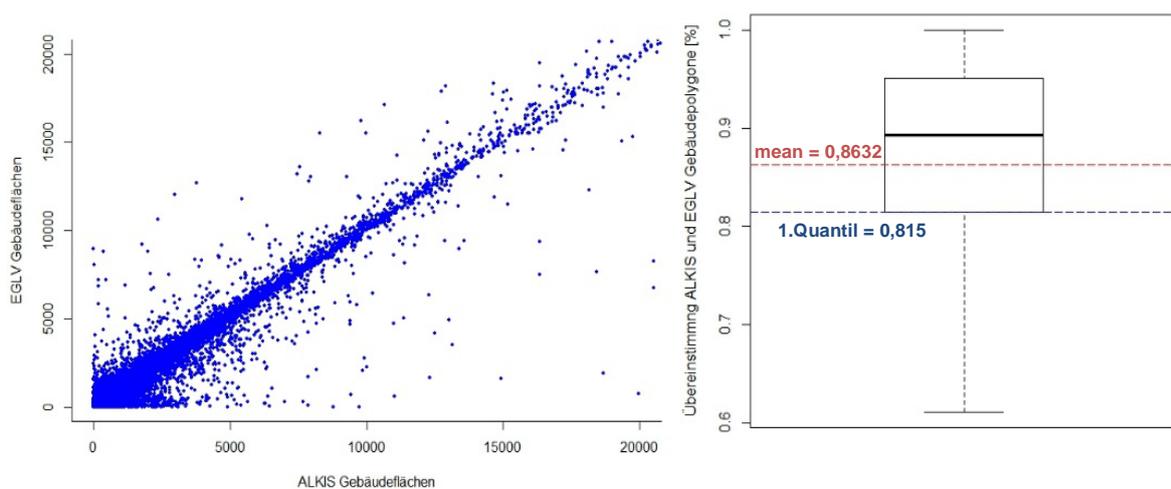


Abbildung 32: Gegenüberstellung der summierten Gebäudeflächen auf einzelne Flurstücke aus ALKIS und EGLV, links: Stärke des linearen Zusammenhangs; rechts: Grad der Übereinstimmung in Prozent

Die mittlere Übereinstimmung der durch beide Datensätze erfassten Gebäudeflächen beträgt 86,32 % (rote gestrichelte Linien im Boxplot). Dreiviertel (1. Quantil) der Daten zeigen eine höhere Übereinstimmung von 81,5 % (blaue gestrichelte Linie im Boxplot). Die Streuung der Beobachtungen um den Mittelwert liegt bei 12,7 %. Die Ursache für die Diskrepanz zwischen ALKIS und EGLV-Daten werden deutlich, indem die Übereinstimmung zwischen den einzelnen Siedlungen (Objektarten der Objektartengruppe „Siedlung“ der „Tatsächlichen Nutzung“) gegenübergestellt wird. In Tabelle 9 ist die Übereinstimmung der summierten Gebäudeflächen auf Flurstücke für einzelne Siedlungen dargestellt. Die Siedlungen der „Tatsächlichen Nutzung“ werden in der ersten Spalte aufgeführt.

Tabelle 9: Die Übereinstimmung der summierten Gebäudeflächen auf Flurstücke getrennt nach Siedlungen

| Siedlungen | Anzahl [-] | Anteil [%] | Überein- - stimmu- ng %] | EGLV [m ²] | ALKIS [m ²] | Delta [m ²] | Delta Anteil [%] |
|---|---------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| Wohnbau- fläche | 584.879 | 77,1 | 85,5 | 105.711 .335 | 93.204. 378 | - 12.506. 957 | 77,8 |
| Industrie und Gewerbeflächen | 40.299 | 5,3 | 87,9 | 52.077. 179 | 50.846. 029 | - 1.231.1 50 | 7,7 |
| Halde | 17 | 0,002 | 56,0 | 5.696 | 4.025 | -1.671 | 0,01 |
| Bergbau- betrieb | 14 | 0,002 | 86,2 | 45.788 | 42.223 | -3.565 | 0,02 |
| Tagebau Grube Steinbruch | 6 | 0,0008 | 73,0 | 697 | 805 | 108 | 0,0007 |
| Fläche Gemischter Nutzung | 59.986 | 7,9 | 88,7 | 29.371. 568 | 2.750.9 347 | - 1.862.2 21 | 11,6 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung | 65.241 | 8,6 | 92,2 | 15.232. 479 | 14.668. 639 | - 563.840 | 3,5 |
| Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche | 7.334 | 1,0 | 67,7 | 3.198.1 51 | 3.298.1 49 | 99.998 | 0,6 |
| Friedhof | 503 | 0,1 | 82,4 | 173.486 | 158.206 | -15.280 | 0,1 |

In der zweiten Spalte ist die Anzahl und in der dritten Spalte der Anteil der Daten pro Siedlungstyp zu sehen. Es wird deutlich, dass sich ein Großteil der Flurstücke auf „Wohnbauflächen“ (77,1 %) befindet. Weitere relevante Siedlungsgebiete sind „Industrie und Gewerbegebiete“, „Fläche gemischter Nutzung“, „Fläche besonderer funktionaler Prägung“ und „Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen“. Die durchschnittliche Übereinstimmung zwischen ALKIS und EGLV-Daten (Spalte 4) ist in den relevanten Siedlungen sehr hoch, ausgenommen ist die Siedlung „Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen“. Hier liegt die mittlere Übereinstimmung bei 67,7 %. In den folgenden Spalten sind die durch ALKIS und EGLV-Daten erfassten Gebäudeflächen in Summen dargestellt. Der vorletzten Spalte „Delta“ ist das Defizit bzw. der Überschuss durch ALKIS zu entnehmen. Ausschließlich in den Siedlungen „Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen“ wird durch ALKIS ein Überschuss an Gebäudeflächen erfasst. Das größte Defizit entsteht in den Siedlungen „Wohnbaufläche“. Aus diesen Beobachtungen lässt sich zunächst ableiten, dass ALKIS-Daten im Allgemeinen ein Defizit aufweisen und diese flächendeckend (u.a. verteilt auf 77,1 % der Daten in Wohnbauflächen) vorliegen. Eine Überprüfung auf Extremwerte

hat gezeigt, dass für 98 % der Daten sich das Defizit bzw. der Überschuss zwischen ALKIS und EGLV-Gebäudeflächen zwischen – 44 m² und 130 m² befinden. In diesem Bereich sind 87 % der Defizite bzw. der Überschüsse abgedeckt. Deshalb wird ausgeschlossen, dass das Defizit bzw. Überschuss zwischen ALKIS und EGLV-Daten auf wenige Beobachtungen mit großer Gewichtung zurück zu führen ist. Die wichtigste Ursache für das flächendeckende Defizit an Gebäudeflächen, die durch ALKIS erfasst wird, ist die Erfassung der Grundfläche. Nicht berücksichtigt werden die Dachüberhänge, die bspw. bei Familienhäusern und Wohnanlagen vorkommen. Diese Aussage wird weiterhin durch die Erfassung der maßgeblichen Gebäudefunktion⁵ auf Flurstücke bestätigt. Die Analyse hat gezeigt, dass 97 % des gesamten Flächendefizits auf Flurstücken mit der maßgeblichen Gebäudefunktion „Wohnhaus“ zu finden sind.

Dies zeigt sich auch bei der Betrachtung der gesamten erfassten Gebäudeflächen in den Kommunen. In Abbildung 33 sind die Kommunen sowie der prozentuale Anteil der fehlenden Gebäudeflächen visualisiert, die durch ALKIS nicht erfasst wurden. Diese bewegen sich zwischen 0 % und maximal 15 %. Die orange und gelb gefärbten Gebiete befinden sich mehrheitlich in weniger dichtbesiedelten Kommunen. Die Kommunen mit einem größeren Defizit als 10 % machen ca. 18 % der gesamten Daten und 27 % des gesamten Flächendefizits im Untersuchungsgebiet aus, die durch ALKIS nicht erfasst werden konnten. Ein Drittel der Defizite verteilen sich somit auf ca. ein Viertel der Daten. Zusammenfassend lassen sich aus den Untersuchungen folgende Aussagen ableiten, wobei die Aktualität der EGLV – Daten berücksichtigt werden sollte (Kapitel 3.5).

- Die durch ALKIS erfassten summierten Gebäudeflächen auf Flurstücke zeigen eine hohe Übereinstimmung (Standardabweichung= 12,7 %) mit EGLV-Gebäudeflächen.
- Die Abweichung zwischen ALKIS- und EGLV-Gebäudeflächen ist flächendeckend vorhanden, insbesondere bei Wohnbauflächen.
- Ursache hierfür ist die Erfassung der Grundflächen ohne Berücksichtigung der Dachüberhänge, dies kommt insbesondere bei Wohnhäusern zum Tragen.

⁵ Die Funktion eines Gebäudes ist dann maßgeblich, wenn sie zu konkurrierenden Gebäuden die größte Fläche auf einem Flurstück aufweist. Sollte sich beispielsweise auf einem Flurstück eine Garage, ein Gartenhaus und ein Wohnhaus befinden, so wird die Gebäudefunktion des Wohnhauses als maßgeblich gewertet, weil das Wohnhaus im Vergleich zu den anderen Gebäuden die größte Fläche besitzt.

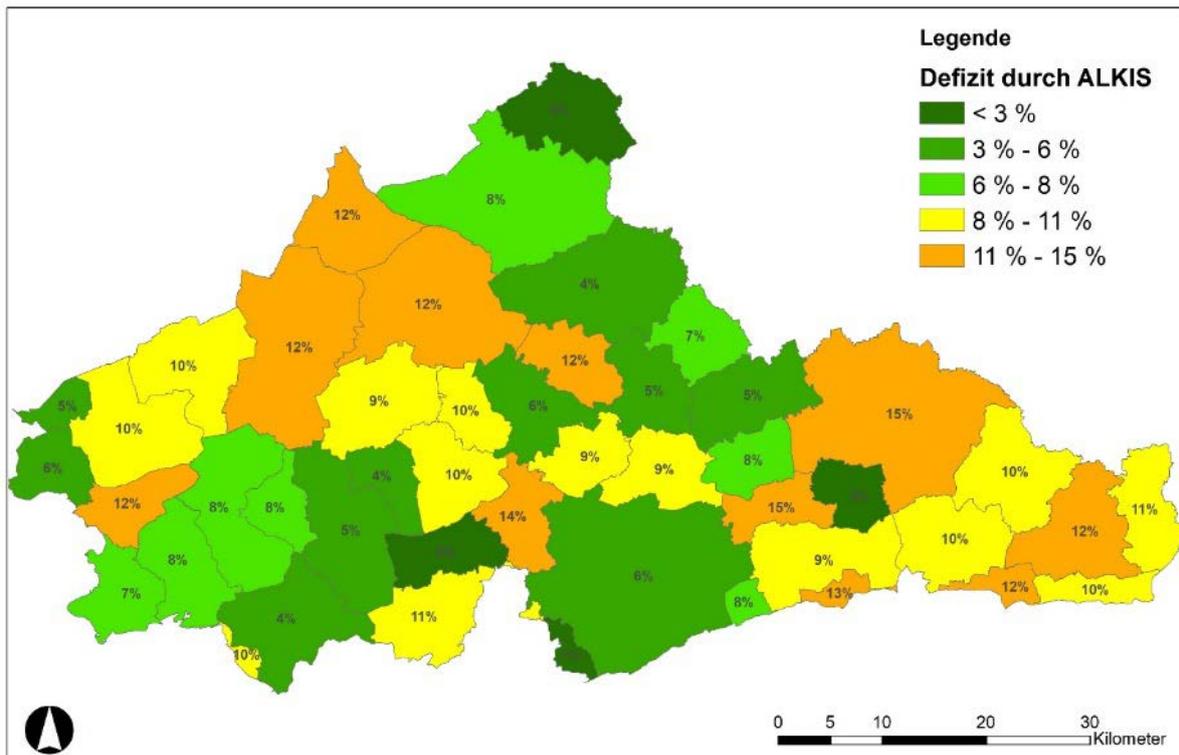


Abbildung 33: Prozentuales Defizit der durch ALKIS erfassten Gebäudeflächen im Vergleich zu EGLV - Gebäudeflächen

6.1.2 Korrekturwerte für ALKIS Gebäudepolygone

Für eine Empfehlung zur Anpassung des vorhandenen Flächendefizits in ALKIS-Gebäudepolygonen wurden zwei unterschiedliche Ansätze für dieselben Flurstücke untersucht. Bei der ersten Methode wird die durchschnittliche Abweichung zwischen EGLV- und ALKIS-Gebäudeflächen auf Flurstücke ermittelt und anschließend zu einzelnen ALKIS-Gebäudeflächen summiert. Bei der zweiten Methode wird hingegen der Mittelwert der prozentualen Abweichung zwischen EGLV- und ALKIS-Gebäudeflächen auf Flurstücke ermittelt. Die resultierende Fläche, die sich aus der Multiplikation des erzeugten Faktors mit den ALKIS-Gebäudeflächen ergibt, wird zu ALKIS-Gebäudeflächen hinzugefügt.

Hierzu werden beispielhaft Flurstücke mit der maßgeblichen Gebäudefunktion „Wohnhaus“ betrachtet. Für die Methode 1 ergibt sich eine absolute Abweichung von ca. 20 m² pro Flurstück. Die Methode 2 ergibt eine mittlere prozentuale Abweichung von 14,5 %. Werden diese Flächen mit aktuellen ALKIS-Gebäudeflächen summiert, ergibt sich bei einer erneuten Untersuchung der Abweichungen zwischen EGLV-Gebäudeflächen und ALKIS Gebäudeflächen über das gesamte Untersuchungsgebiet bei Methode 1 eine Abweichung von 0,5 m² und 2,7 % bei Methode 2. Bei der ersten Methode werden unabhängig von der vorhandenen Gebäudefläche pauschal 20 m² dazu addiert. Die Verteilung der Abweichungen der korrigierten ALKIS-Gebäudeflächen gegenüber EGLV-Gebäudeflächen ist in Abbildung 34 links dargestellt. Bei der zweiten Methode wird die vorhandene Gebäudefläche immer um 14,5 % vergrößert. Bei Methode 2 führt die Anpassung der ALKIS-Gebäudeflächen zum Teil zu extrem großen Abweichungen der korrigierten Gebäudeflächen. Es wird eine große Anzahl an Extremwerten

erzeugt, die in der Summe aber auch für kleinräumige Untersuchungen die Anpassung negativ beeinflusst (Abbildung 34).

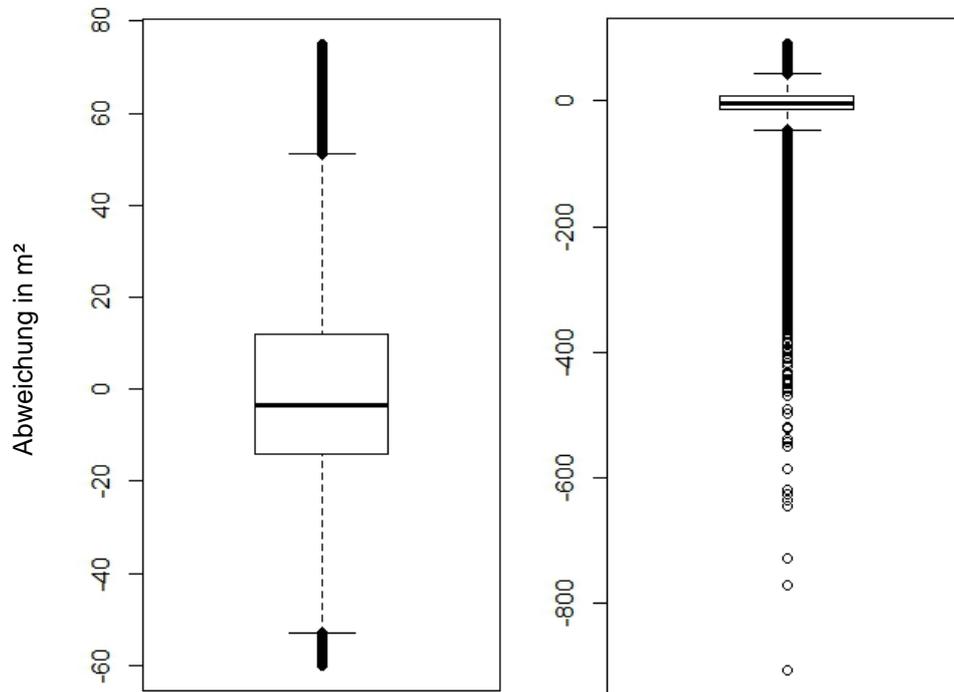


Abbildung 34: Verteilung der Abweichung zwischen korrigierten ALKIS-Gebäudeflächen und EGLV-Gebäudeflächen (links: Methode 1, rechts: Methode 2)

Dies ist insbesondere bei ALKIS-Gebäudeflächen der Fall, die bereits eine größere Fläche als EGLV-Gebäude abbilden. Abbildung 35 zeigt die Verläufe der Abweichungen von korrigierten ALKIS-Gebäudepolygonen zu EGLV-Gebäudepolygonen für beide Methoden. Es wird deutlich, dass bei der Anpassung der ALKIS-Gebäudeflächen durch die mittlere prozentuale Abweichung (roter Verlauf) ein sehr großer Sprung im negativen Bereich entstehen kann. Anhand dieser Untersuchung wurden für die Flurstücke mit verschiedenen maßgeblichen Gebäudefunktionen Anpassungswerte erstellt (siehe Anhang 1). Damit eine ausreichende Repräsentativität gegeben ist, wurden ausschließlich maßgebliche Gebäudefunktionen betrachtet, die mindestens 1.000 Mal im Untersuchungsgebiet vorkommen.

Die ermittelten Anpassungswerte korrelieren stark mit den Gebäudeflächen. D.h. je größer die Gebäudeflächen im Mittel ausfallen, desto größere absolute Abweichungen zu EGLV-Gebäudeflächen sind zu erwarten. Diese Erkenntnis ist plausibel, denn je größer die Gebäude werden, desto größer fallen die Dachüberhänge aus. Beispielsweise haben „Wohngebäude“ eine mittlere Flächengröße von 153 m², das durchschnittliche Defizit zu EGLV-Gebäudeflächen und somit der Anpassungswert beträgt 20 m². Garagen hingegen haben eine durchschnittliche Größe von 54 m² und einen Anpassungswert von 3,1 m². Land- und forstwirtschaftliche Betriebsgebäude sind mit 845 m² weitaus größer, der durchschnittliche Anpassungswert dazu beträgt 86,1 m². Abbildung 36 zeigt diesen Zusammenhang. Jeder schwarze Punkt zeigt die mittlere Größe der ALKIS-Gebäude für eine bestimmte maßgebliche Gebäudefunktion auf einem Flurstück (linke Y-Achse).

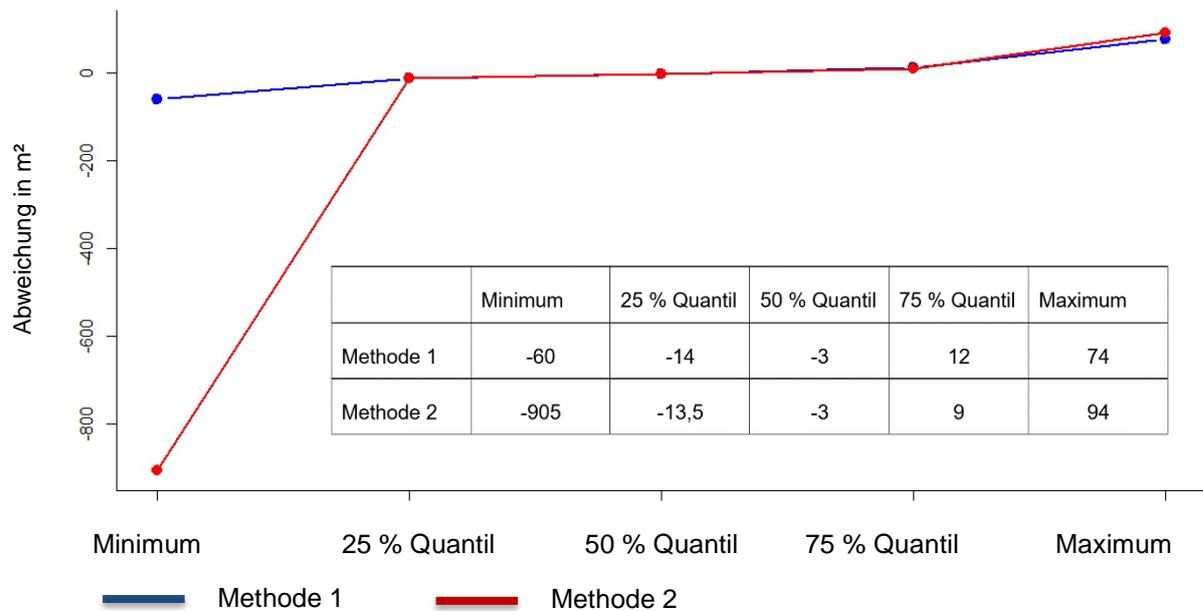


Abbildung 35: Verlauf der Abweichungen zwischen EGLV- und ALKIS Gebäudepolygonen bei unterschiedlichen Korrekturansätzen

Die korrespondierenden roten Punkte zeigen die Abweichungen zu EGLV-Gebäudeflächen (rechte Y-Achse). Bei Anwendung der Korrekturen auf die ALKIS-Gebäudeflächen kommen deutlich höhere Übereinstimmungen mit EGLV-Gebäudeflächen zustande. Abbildung 36 zeigt die Verbesserung der Übereinstimmungen durch die Korrektur der ALKIS-Gebäudeflächen.

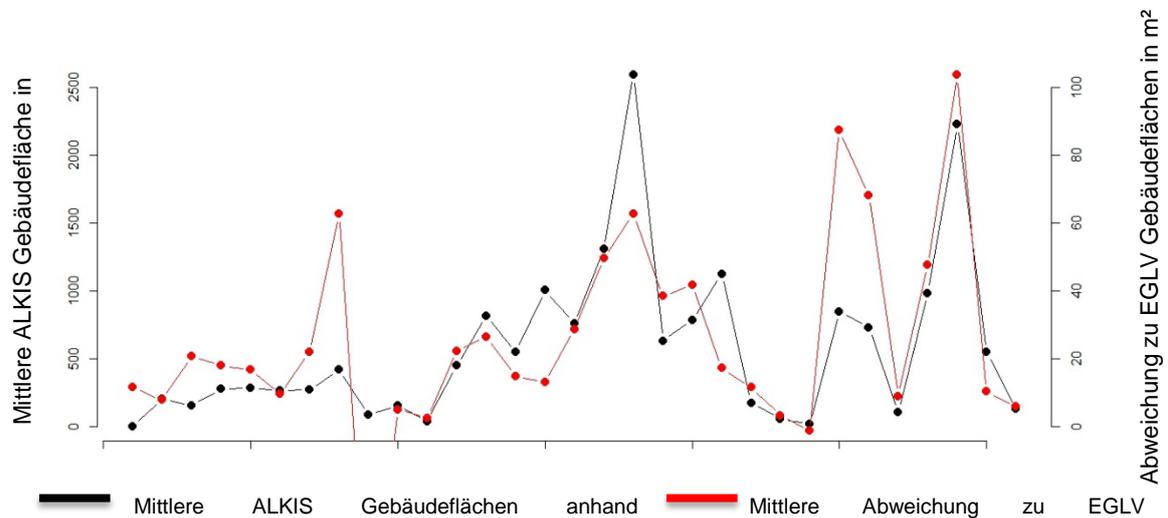


Abbildung 36: Zusammenhang zwischen der Gebäudegröße und der Größe der Abweichungen zu EGLV-Gebäudepolygone

Die Box setzt deutlich höher bei ca. 85 % an und die mittlere Übereinstimmung steigt von 86 % auf 87,5 % an. Diese Optimierung zeigt sich vor allem bei der Summierung der Gebäudeflächen auf größere räumliche Einheiten, z.B. der Kommunen. Abbildung 38 zeigt die Übereinstimmung der korrigierten

ALKIS-Gebäudeflächen im Vergleich zu EGLV-Gebäudeflächen. Die Defizite werden mit maximal 6 % beziffert, in einigen Kommunen kommt es auch zu minimalen Flächenüberschüssen.

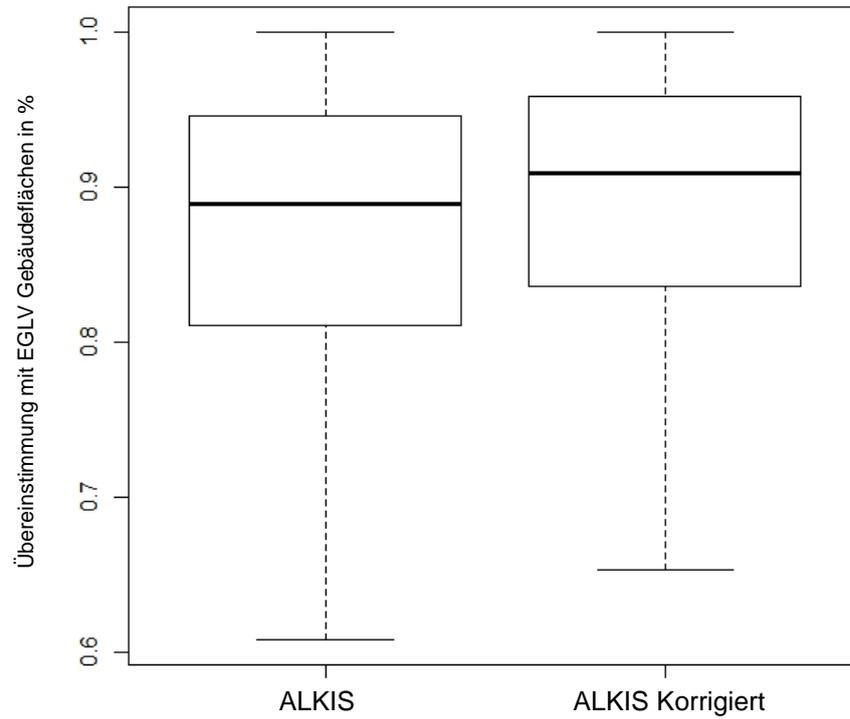


Abbildung 37: Vergleich der Übereinstimmungen von ALKIS-Gebäudeflächen und korrigierten ALKIS-Gebäudeflächen mit EGLV-Gebäudeflächen

Dieses Ergebnis zeigt, dass anhand der Korrekturwerte eine sehr gute Annäherung der ALKIS-Gebäudeflächen an EGLV-Gebäudeflächen möglich ist.

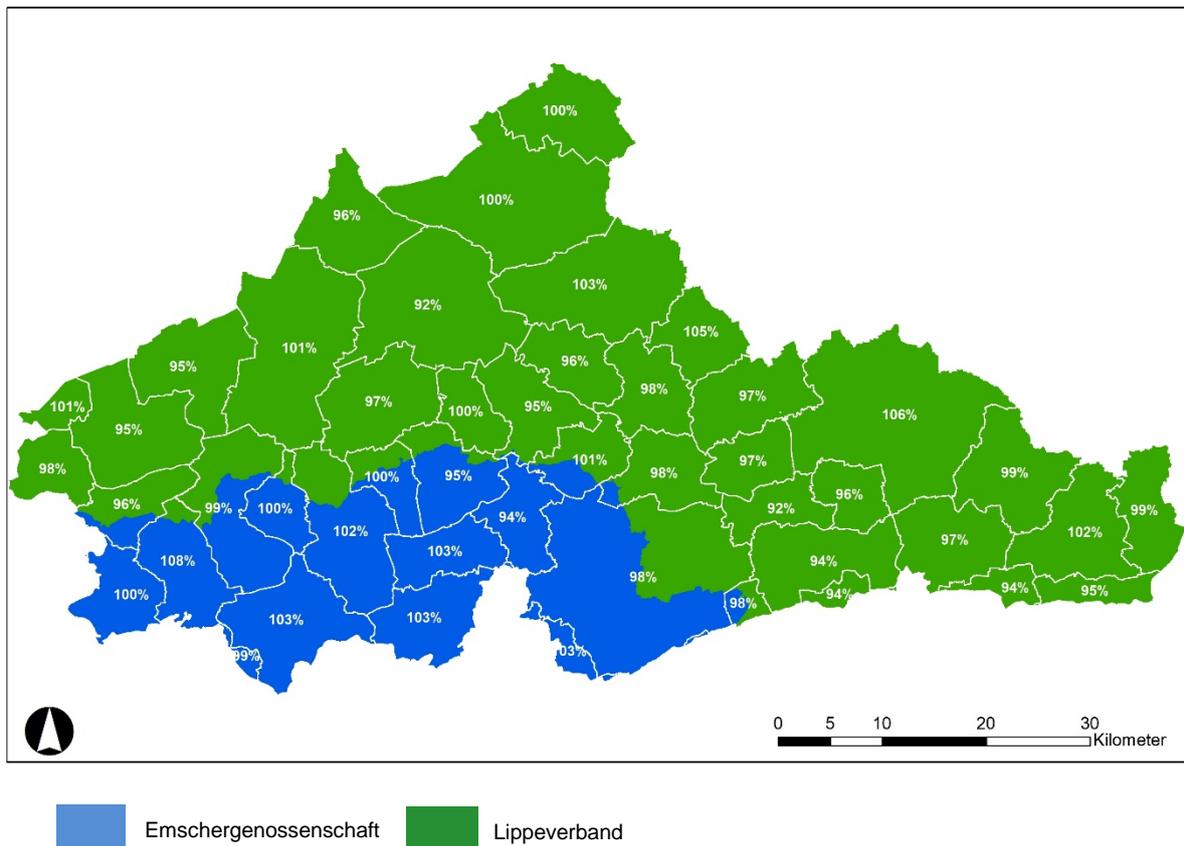


Abbildung 38: Übereinstimmung der Flächensummen der korrigierten ALKIS-Gebäudeflächen mit EGLV-Gebäudeflächen in den Kommunen von Emscherregion und Lippeverband

6.2 Verkehrsflächen aus ALKIS

Die identifizierten Objektarten, die Verkehrsflächen abbilden, werden in einem Lastenheft detailliert beschrieben. Die Selektion der durch die EGLV-Daten erfassten Verkehrsflächen ist anhand von ALKIS-Objektarten möglich. Wird ausschließlich die Objektart „Straßenverkehr“ (Kennung 42001) ausgewählt, entstehen für die einzelnen Kommunen, die in Abbildung 40/Abbildung 39 dargestellten Übereinstimmungen (Summe der Verkehrsflächen). Es ist festzustellen, dass im Emschergebiet relativ hohe Übereinstimmungen mit Toleranzen von 10 % erreicht werden. Tendenziell nimmt diese Übereinstimmung jedoch in Richtung Norden ab, wobei die Aktualität der EGLV-Daten immer berücksichtigt werden sollte.

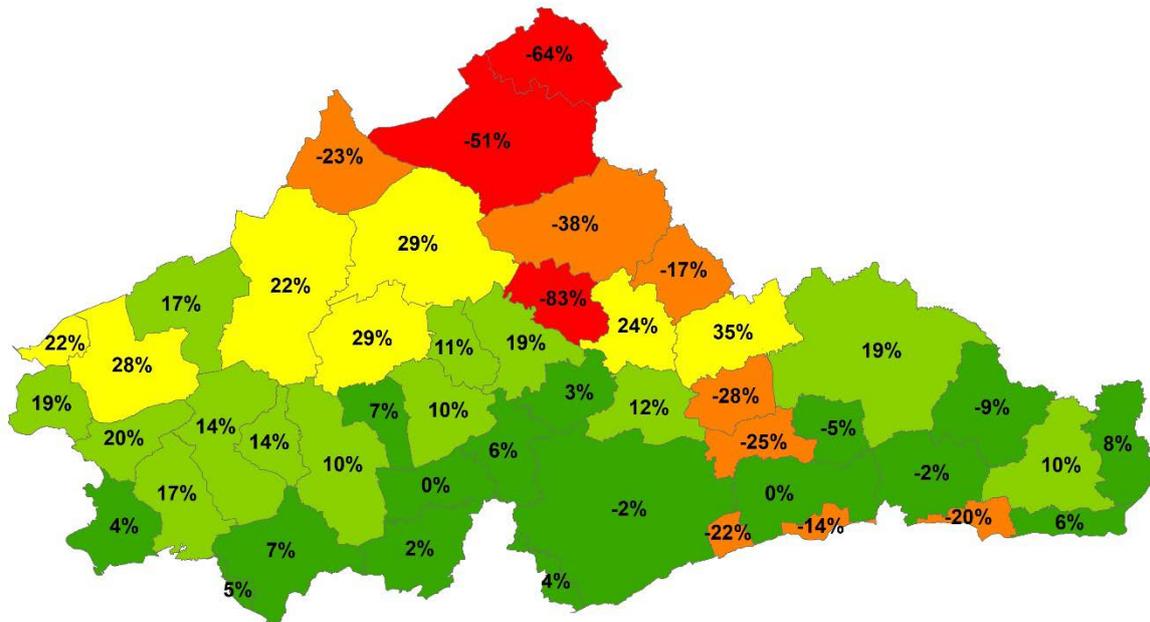


Abbildung 39: Übereinstimmung der Objektart "Straßenverkehr" mit EGLV Daten bezogen auf Kommunen im Einzugsgebiet der Emschergenossenschaft und Lippeverband

Abbildung 40 zeigt die Kommune Nottuln im Norden des Untersuchungsgebietes. In der linken Darstellung sind in blauer Farbe, die durch die EGLV erhobenen befestigten Verkehrsflächen zu erkennen. Im Vergleich dazu sind in der mittleren Abbildung Verkehrsflächen abgebildet, die durch die Objektart Straßenverkehr erfasst werden. Das Straßennetz wird mit einem Flächendefizit von 64 % erfasst. Über die Objektart Straßenverkehr hinaus können zahlreiche weitere Objektarten (bspw. Wege und Parkplätze) aus ALKIS selektiert werden. Die Objektarten gehören den beiden Objektartengruppen „Verkehr“ (Objektartenbereich Tatsächliche Nutzung) und „Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für den Verkehr“ (Objektartenbereich Bauwerke, Einrichtungen und sonstige Angaben) an. Die Objektartengruppe mit der Bezeichnung „Verkehr“ und der Kennung 42000 enthält die bebauten und nicht bebauten Flächen, die dem Verkehr zur Verfügung stehen. Die Objektartengruppe mit der Bezeichnung „Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für den Verkehr“ und der Kennung 53000 sind hingegen flächen- oder linienförmige Anlagen, die dem Verkehr dienen. In der rechten Abbildung ist das Ergebnis der erweiterten Auswahl in grüner Farbe zu sehen. Das Straßennetz wird deutlich dichter erfasst. Der ALKIS-Datensatz ermöglicht die Erfassung eines Flächenüberschusses von 43 % gegenüber dem EGLV-Datensatz. Der Stand der Erfassung der EGLV-Daten ist auch zu berücksichtigen (siehe Kapitel 3.5).

Weiterhin sei erwähnt, dass die zur Verfügung gestellten Referenzdaten der EGLV für den Bereich Verkehr keine Bahnkörper und Gleise abbilden. Gleise und Verkehrsbegleitflächen für den Bahnverkehr können durchaus anhand von ALKIS-Objektarten erfasst werden.

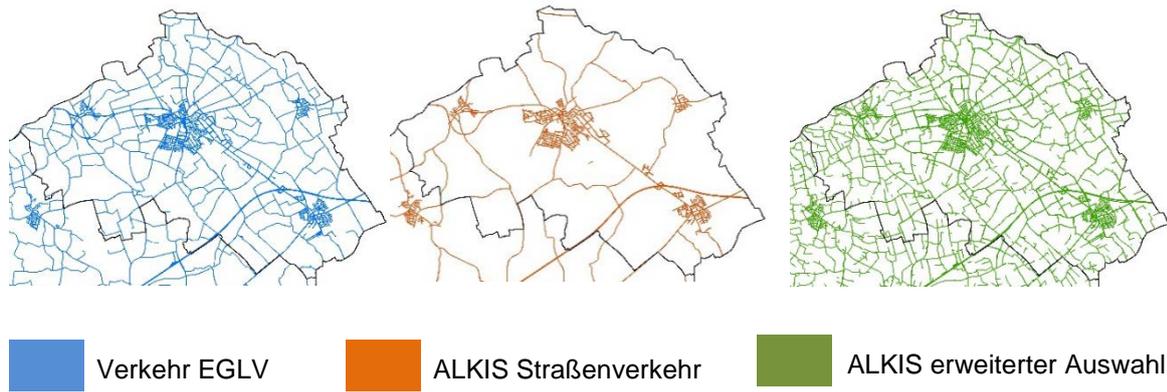


Abbildung 40: Erfassung von befestigten Verkehrsflächen durch EGLV und ALKIS (in der Kommune Nottuln)

Sie werden für die Gegenüberstellung der Datensätze vernachlässigt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die Bahnkörper werden durch die beiden Objektarten „Bahnverkehr“ und „Bahnverkehrsanlagen“ abgebildet. In Tabelle 10 ist die Auswahl der Objektarten aufgeführt, die Verkehrsflächen charakterisieren.

Tabelle 10: Auswahl an ALKIS – Objektarten, die Verkehrsflächen abbilden

| Objektarten- gruppen | Objektart | Kennung | Attributart zur Auswahl | Wertarten |
|---|--------------------------------|---------|----------------------------|--|
| Verkehr | Straßenverkehr | 42001 | Nutzungsfunktion | 5130, NULL |
| | Weg | 42006 | Nutzungsfunktion | 5210, 5211, 5212, 5220, 5230, 5240, 5250, 5260, 9999 |
| | Platz | 42009 | Nutzungsfunktion | 5130, 5310, 5320, 5330, 5340, 5350 |
| Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für den Verkehr | Bauwerke im Verkehrsbereich | 53001 | Bauwerksfunktion | 1800, 1801, 1802, 1803, 1804, 1805, 1807, 1808, 1809, 1810, 1820, 1830, 1840, 1845 |
| | Straßenverkehrs- anlagen | 53002 | Verkehrs- anlagenart | 1000 |
| | Weg, Pfad, Steig | 53003 | Nutzungsart | 1106, 1111 |
| | Bahnverkehrs- anlage | 53004 | Bahnhofs- kategorie | 1010, 1020, 1030 |
| | Flugverkehrs- anlage | 53007 | Verkehrsanlagen art | 1310, 1320, 1330, 5531 |
| | Bauwerk im Gewässerbereich | 53009 | Bauwerksfunktion | 2030, 2020, 2050 |

Wird die erweiterte Auswahl erneut mit EGLV–Verkehrsflächen verglichen, ist festzustellen, dass in allen Kommunen Flächenüberschüsse zu beobachten sind. Diese reichen von 7 % bis über 60 % (siehe Abbildung 41). Auch hierbei spielt die Aktualität der EGLV-Daten eine wichtige Rolle. Der Stand der letzten Aktualisierung der EGLV-Daten ist Kapitel 3.5 zu entnehmen. Weiterhin wird ersichtlich, dass diejenigen Kommunen, die im ersten Fall die größten Flächendefizite gezeigt haben (Abbildung 41 rote Prozentzahlen), mit der erweiterten Auswahl die größeren Flächenüberschüsse aufweisen. Daraus lässt sich im Allgemeinen die Aussage ableiten, dass die Verkehrsflächen in den Kommunen unterschiedlich vollständig durch die Objektart Straßenverkehr dargestellt werden können. Durch die Auswahl weiterer ALKIS–Objektarten können die EGLV–Verkehrsflächen vollständig abgebildet werden. Darüber hinaus werden zusätzliche Verkehrsflächen erfasst, die im EGLV–Datensatz nicht vollständig enthalten sind.

Bei einer detaillierteren Betrachtung der Verkehrsflächen muss jedoch eine Relativierung dieser allgemeinen Aussage getroffen werden. Zum einen können ALKIS–Daten in vielen Fällen tatsächlich zusätzliche Flächen erfassen, wie in Abbildung 42 zu sehen ist.

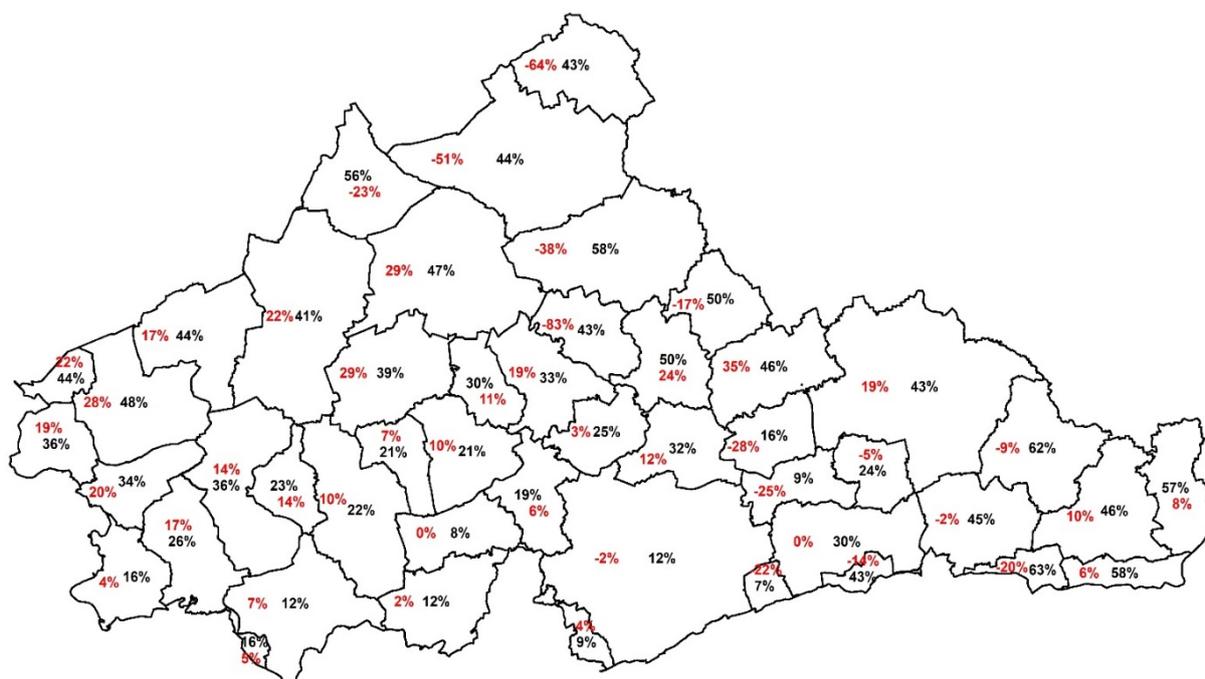


Abbildung 41: Flächenüberschuss bzw. Flächendefizit der Objektart „Straßenverkehr“ (rot) und erweiterter Auswahl (schwarz) im Vergleich zu EGLV–Verkehrsflächen

Zum anderen muss erwähnt werden, dass ein Teil der durch ALKIS erfassten Verkehrsflächen im EGLV–Datensatz unter Zuwegungsflächen, insbesondere „Privat Schmutzige Flächen“ (Parkplätze) fallen. Des Weiteren ist die Erfassungsgenauigkeit der ALKIS–Daten in den verschiedenen Kommunen sehr unterschiedlich. In Abbildung 42 sind Autobahnkreuze in unterschiedlichen Kommunen zu sehen. Durch die Unterscheidung der Wertarten z.B. in „Fahrbahn“ und „Begleitflächen“ ist die Trennung der befestigten Verkehrsflächen theoretisch gewährleistet (Abbildung 42 links unten: Dortmund). In der Praxis wird jedoch deutlich, dass die Handhabung bei der Erzeugung der ALKIS–Daten sehr unterschiedlich sein kann, wie in den weiteren Beispielen in Abbildung 42 zu sehen ist. Dabei wurden in diesen Fällen die Fahrbahnen sowie die Begleitflächen als „Fahrbahn“ kategorisiert. Diese Beispiele zeigen, dass Flächenüberschüsse im ALKIS–Datensatz nicht zwingend als zusätzlich erfasste Verkehrsflächen angenommen werden müssen, sondern auch durch eine grobe Erfassung verursacht werden können.



Abbildung 42: Erfassung von Verkehrsflächen durch ALKIS und EGLV (Stand 2008) in Bad Sassendorf (Stand 2017)

Zusammenfassend wird für die Verkehrsflächen festgestellt, dass anhand von ALKIS-Daten versiegelte Verkehrsflächen, die durch die EGLV erfasst werden, teilweise vollständig abgeleitet werden können. ALKIS-Daten sind darüber hinaus in der Lage zusätzliche Verkehrsflächen abzubilden. Diese sind abhängig von der Vollständigkeit bzw. Erfassungsgenauigkeit der Datengrundlage, die wiederum von der Handhabung der Katasterämter bei der Fortführung der ALKIS-Daten abhängen (vgl. Abbildung 43).



Abbildung 43: Erfassungsgenauigkeit der Verkehrsflächen durch ALKIS-Daten (Stand Dortmund 2018, Dorsten 2018, Recklinghausen 2018, Essen 2015) (EGVL Stand: Dortmund, Recklinghausen, Essen 2014, Dorsten 2010)

6.3 Abgeleitete Zuwegungsflächen aus ALKIS

6.3.1 Klassifizierungsmodell

Mit dem Ziel der Identifizierung von Zuwegungsflächen auf Flurstücken wurde mit Hilfe der Methode des Entscheidungsbaumes ein Prognosemodell erstellt, das aus 200 „Entscheidungsbaumen“ besteht. Hierbei handelt es sich um ein Klassifizierungsmodell mit dessen Hilfe Flurstücke mit und ohne Zuwegungsflächen voneinander unterschieden werden sollen. Flurstücke werden in den Klassen „Zuwegung Wahr“ (TRUE) und „Zuwegung Falsch“ (FALSE) unterteilt. Für diese Betrachtung kommen ausschließlich metrische Regressoren zum Einsatz. In Abbildung 44 ist der Verlauf der Fehlerschätzung für den Generalisierungsfehler zu sehen. Dieser Wert wird auch als „OOB-Wert“ („out of bag“) bezeichnet. Die Schätzung für den Generalisierungsfehler ist eine Abschätzung für eine falsche Klassifizierung von unbekanntem Daten (z.B. Kalibrierungsdaten) unter Verwendung des trainierten Modells. Mit jedem weiteren „Entscheidungsbaum“ sinkt die Fehlerschätzung, bis sie sich auf dem Niveau von ca. 11 % stabilisiert. Für die Anwendung bedeutet der OOB-Wert, dass bei Klassifizierung von neuen unbekanntem Daten ca. 11 % Flurstücke falsch klassifiziert werden. Im Umkehrschluss

bedeutet dieser Wert, dass in 89 % der Fälle die Existenz einer Zuwegungsfläche auf einem Flurstück korrekt prognostiziert wird.

In Abbildung 45 ist ein Ranking der Regressoren nach ihrer Relevanz zu sehen, anhand dessen die Entscheidung für die Klassifizierung gefällt wird. Dabei wird ermittelt, wie sehr ein Regressor den Gini-Index⁶ über die gesamten Entscheidungspfade reduziert. D.h. es wird überprüft, in wie weit ein Regressor die Unreinheit der Entscheidungen reduziert und immer wieder die gleiche Entscheidung trifft. Die größten Einflüsse werden durch die Regressoren „Verhältnis der Gebäudefläche zur Flurstückfläche“ und „Gebäudefläche“ realisiert. Dieses Ergebnis zeigt, dass Gebäude eine besonders wichtige Rolle bei der Abschätzung von Zuwegungsflächen spielen. Die geringste Bedeutung für das Modell haben hingegen die Geländehöhe und die Anzahl der angrenzenden Flurstücke.

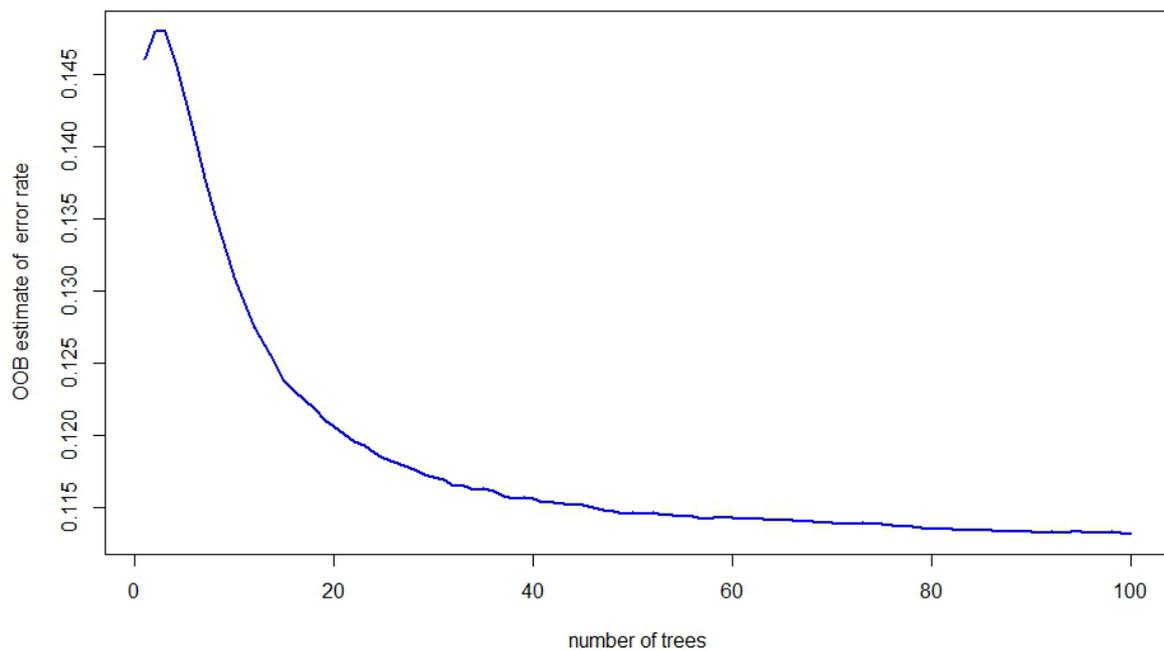


Abbildung 44: Fehlereinschätzung für den Generalisierungsfehler

⁶ Der Gini-Index ist ein Maß für die Ungleichverteilung (KOLANOSKI, 2008).

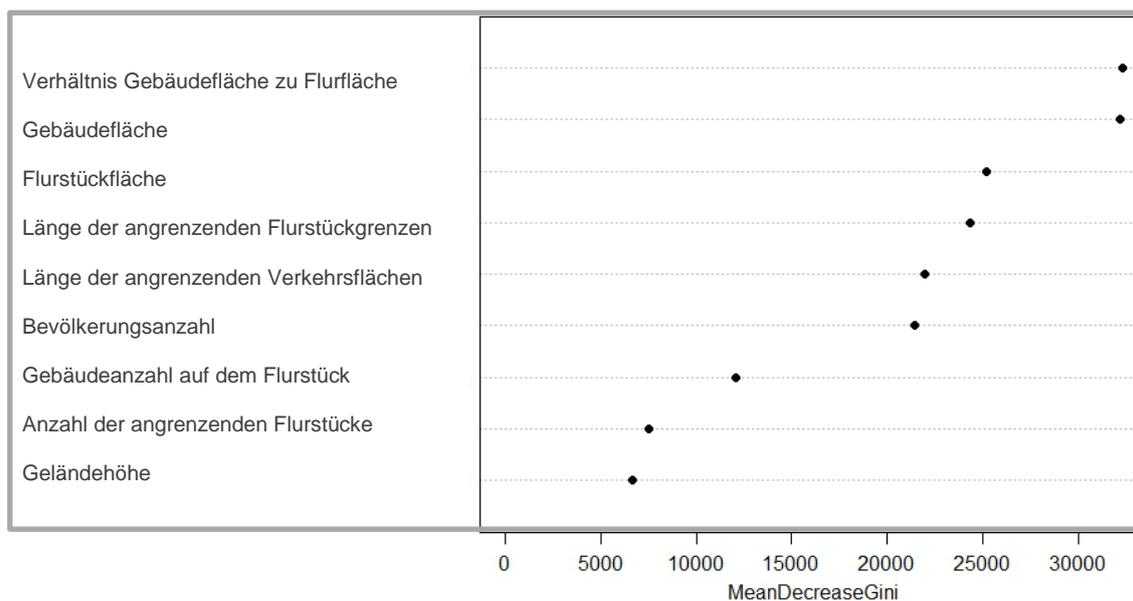


Abbildung 45: Ranking der Gewichtung der Regressoren

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Prognose des erstellten Klassifizierungsmodells zu sehen. „FALSE“ steht für Flurstücke, die keine Zuwegung aufweisen und „TRUE“ steht für Flurstücke mit Zuwegungsflächen. Aus der ersten Zeile der Tabelle ist zu entnehmen, dass 3.723 Flurstücke, die tatsächlich keine Zuwegung aufweisen, auch als solches klassifiziert wurden. Bei 2.278 Flurstücken wurde fälschlicherweise eine Zuwegung ermittelt. In der zweiten Zeile werden bei 4.685 Flurstücken keine Zuwegungsflächen prognostiziert, obwohl sie in Wahrheit eine Zuwegungsfläche besitzen. Die restlichen 48.686 Flurstücke werden korrekt klassifiziert.

Tabelle 11: Prognose von Zuwegungen auf Flurstücke mit der Methode "Entscheidungsbäume"

| | Prognose | | Vorhersagegenauigkeit [%] | |
|--------------------|----------|-------|---------------------------|-------|
| | FALSE | TRUE | | |
| Kalibrierungsdaten | FALSE | 3.723 | 2.278 | 88,27 |
| | TRUE | 4.685 | 48.686 | |

Mit dem Modell konnte somit die Existenz von Zuwegungsflächen in 88,27 % der Fälle richtig ermittelt werden. Mit dem Ergebnis dieses Modells wird die Existenz von Zuwegungsflächen auf Flurstücken mit einer, aus Sicht der Statistik, hohen Sicherheit abgeschätzt. Bei dem vorliegenden Modell wurde ein einziges Modell für das gesamte Untersuchungsgebiet entwickelt. Wie bereits in Kapitel 5.3.3 beschrieben, können durch die Identifizierung von Clustern homogene Flurstücke gruppiert werden, die sowohl bei der Klassifizierung, als auch bei den Regressionsanalysen zu besseren Ergebnissen führen.

6.3.2 Clusteranalyse, Regressionsmodelle und Kalibrierung

Im Zuge der statistischen Analyse wurde das Einzugsgebiet des Hüller Bachs als Kalibrierungsgebiet ausgewählt. Das Einzugsgebiet erstreckt sich über Teile von Bochum, Herne und Gelsenkirchen (EGLV-Daten Stand 2014-2016) (siehe Abbildung 46). Dieses Gebiet kam für die Entwicklung der Regressionsmodelle nicht zum Einsatz. Somit handelt es sich hierbei um unbekannte Daten für die erstellten Modelle. Die Regressionsmodelle wurden anhand der Daten im restlichen Einzugsgebiet der EGLV erstellt. Die digitalisierten Zuwegungsflächen aus dem EGLV-Datensatz kommen als Kalibrierungsdaten zum Einsatz.

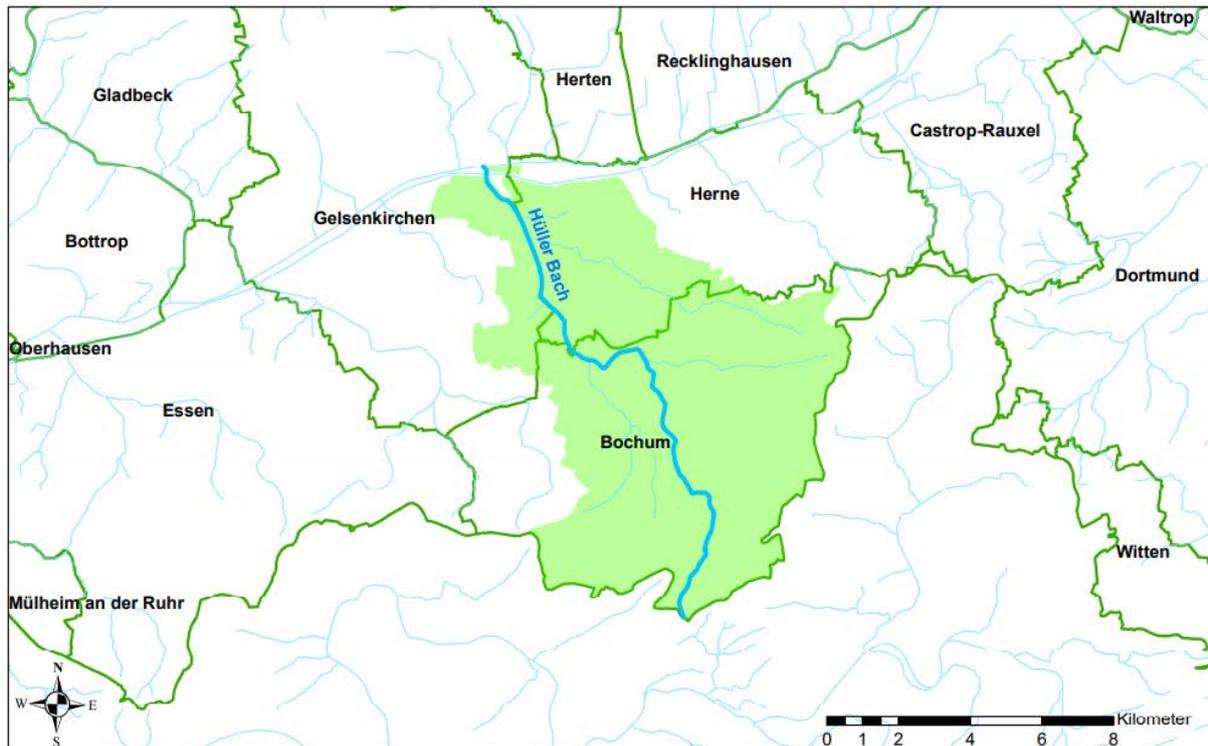


Abbildung 46: Einzugsgebiet des Hüller Bachs im Untersuchungsgebiet der EGLV

Anhand einer manuellen Analyse wurden insgesamt zehn Cluster identifiziert. Die unterschiedlichen Regressionsmodelle haben zum Ziel, für möglichst viele Flurstücke die Zuwegungsflächen präzise abzuschätzen. Als Gütekriterium ist zum einen der Determinationskoeffizient (auch Bestimmtheitsmaß genannt) R^2 des Regressionsmodells relevant. Der Determinationskoeffizient ist ein Maß für die Güte der Prognosewerte, die angibt, welcher Anteil der beobachteten Varianz durch das Regressionsmodell erklärt werden kann. Zum anderen ist die Übereinstimmung der Prognosewerte mit Kalibrierungsdaten für die Auswahl der Cluster und die Güte der resultierenden Regressionsmodelle maßgebend. Bei der Clusterbildung wurde darauf Wert gelegt, dass sowohl die Maßzahl R^2 (vgl. Kapitel 5.3.4) als auch die Übereinstimmung der Prognosedaten mit Referenzdaten einen maximalen Wert annehmen.

Tabelle 12: Ergebnisse der statistischen Abschätzung von Zuwegungsflächen und durchschnittliche Übereinstimmungen mit den Kalibrierungsdaten

| Cluster | Korrekte Klassifizierung Existenz von Zuwegungsflächen | Bestimmtheitsmaß des Regressionsmodells (R^2) | Mittlere Übereinstimmung der realen Zuwegungsflächen mit Prognose |
|---|--|---|---|
| Flurstücke in Wohnbauflächen min mindestens zwei Gebäuden | 0,97 | 0,70 | 0,66 |
| Flurstücke mit der maßgeblichen Gebäudefunktion „Garagen“ in Flächen besonderer funktionaler Prägung | 0,91 | 0,83 | 0,68 |
| Flurstücke in Flächen Gemischter Nutzung und mindestens 3 Gebäuden | 0,96 | 0,73 | 0,63 |
| Flurstücke in Flächen besonderer funktionaler Prägung mit mindestens 2 Gebäuden | 0,97 | 0,81 | 0,59 |
| Flurstücke in Industrie- und Gewerbeflächen mit mindestens 2 Gebäuden | 0,96 | 0,81 | 0,69 |
| Flurstücke mit mindestens 1 Gebäude und einem Gebäude-Flurstück-Verhältnis zwischen 27% und 38% | 0,95 | 0,87 | 0,56 |
| Flurstücke in Flächen Gemischter Nutzung mit 2 Gebäuden und mittlere bis hohe Bevölkerungsdichte (Flurstück befindet sich in einem Raster [100x100 m] mit einer Bevölkerungsanzahl größer 28 Personen) | 0,93 | 0,67 | 0,58 |
| Flurstücke mit einer hohen Bevölkerungsdichte (Flurstück befindet sich in einem Raster [100x100 m] mit einer Bevölkerungsanzahl zwischen 47 - 70 Personen) und einem Gebäude-Flurstück-Verhältnis größer 38% | 0,92 | 0,70 | 0,58 |
| Flurstücke mit einem und einem Gebäude-Flurstück-Verhältnis größer 38% und einer Flurstückfläche größer 90 m ² | 0,90 | 0,85 | 0,52 |

In Tabelle 12 sind die Cluster und die Ergebnisse der Klassifizierungsmodelle bzw. Regressionsmodelle dargestellt (vollständige Tabelle in Anhang 2). Für ca. 70 % der Flurstücke im Kalibrierungsgebiet konnten Regressionsmodelle mit mittlerer und hoher Modellgüte erstellt werden. In dunkelgrüner Farbe sind fünf Cluster dargestellt, bei denen die Prognose über die Existenz von Zuwegungsflächen zwischen 91 % und 97 % liegt. Das Bestimmtheitsmaß dieser Cluster ist mit über 0,7 hoch, d.h. es ist eine hohe Varianzerklärung gegeben. Die mittlere Übereinstimmung der abgeschätzten Zuwegungsflächen und Zuwegungsflächen aus dem Einzugsgebiet des Hüller Bachs liegt im Mittel zwischen ca. 59 % bis 69 %. Die hellgrün hinterlegten Cluster zeigen analog zu den dunkelgrün hinterlegten Cluster hohe Bestimmtheitsmaße (R^2 zwischen 0,67 und 87). Die Übereinstimmung der abgeschätzten Zuwegungsflächen mit den Referenzdaten fallen jedoch im Mittel geringer (52 % bis 58 %) aus. Für die restlichen Flurstücke ohne Gebäude (20 %) und Flurstücke mit sehr inhomogenen Strukturen (10 %) konnten keine Regressionsmodelle erzeugt werden. Die Zuteilung der Flurstücke im Einzugsgebiet des Hüller Bachs zu den Clustern mit mittlerer und hoher Modellgüte bzw. Flurstücke ohne Regressionsmodelle ist in Abbildung 47 dargestellt. Die grünen und gelben Flurstücke zeigen in der linken Grafik Flurstücke, die einem der neun Cluster aus Tabelle 12 zugeordnet werden können. Diese machen ca. 70 % der gesamten Flurstücke in diesem Gebiet aus. Dabei sehen die Flächen in der linken und rechten Abbildung visuell gleich aus. Das liegt daran, dass Flurstücke ohne Regressionsmodelle (rot) meist sehr große Flächen darstellen, unter anderem Flächen für Sport-, Freizeit und

Erholungsflächen oder Friedhöfe. Anhand der Definition der Cluster kann auf diese Weise vor der Erzeugung der Prognosewerte bereits bestimmt werden, für welche Flurstücke eine statistische Aussage möglich ist.

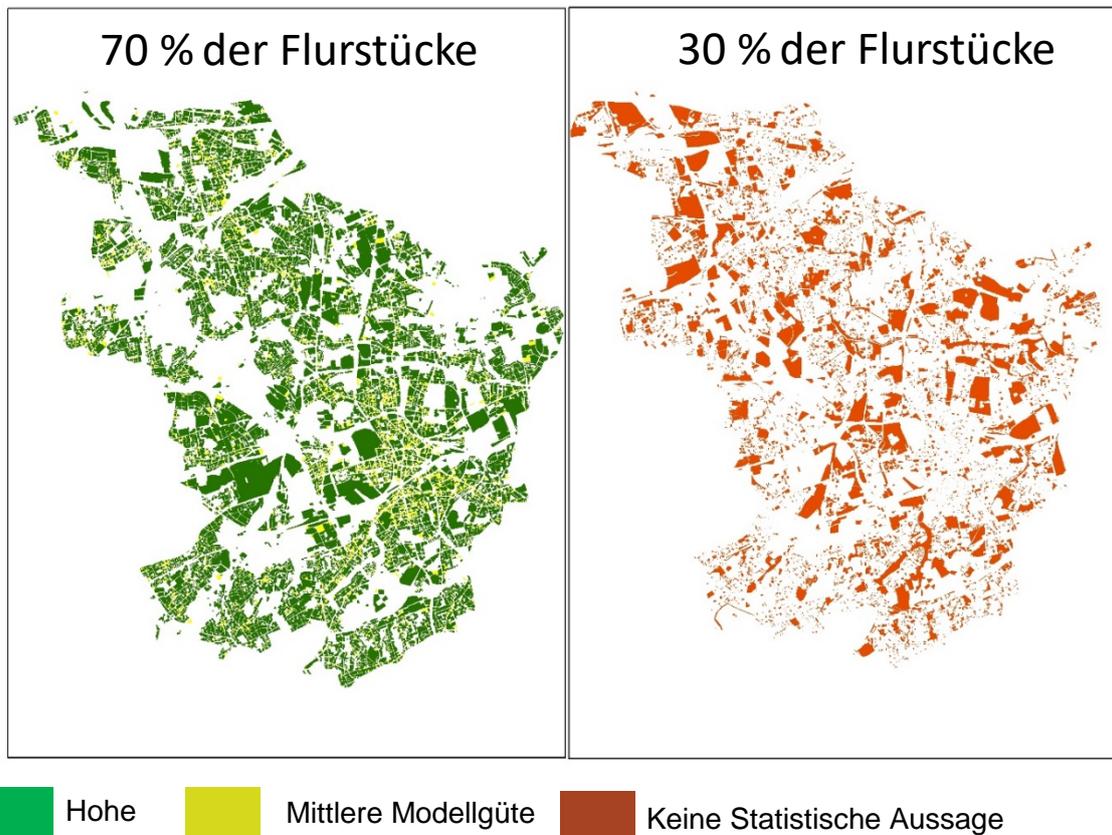


Abbildung 47: Zuordnung von Flurstücken zu Clustern mit unterschiedlicher Güte der Regressionsmodelle

Prinzipiell können die folgenden Flurstücke bei der statistischen Ermittlung von Zuwegungsflächen ausgeschlossen werden:

- Flurstücke kleiner als 15 m²,
- Flurstücke mit einer größeren Gebäudeüberdeckung als 95 %,
- Flurstücke, die sich in folgenden Flächenkategorien befinden: „Sport- Freizeit und Erholungsflächen“, „Friedhöfen“, „Halden“, „Bergbaubetriebe“ sowie „Tagebau, Grube und Steinbruch“ und
- Flurstücke ohne Gebäude.

Alle weiteren Flurstücke werden erst ausgeschlossen, wenn sie keinem anderen Cluster zugeordnet werden können. Um die Güte der Prognosemodelle zu überprüfen, wurde das Einzugsgebiet Hüller Bach in 163 Teilgebiete unterteilt, die zu 20 Mischwasserbehandlungsanlagen gehören (Abbildung 48). Für die 163 (Teil-)Gebiete und die aggregierten 20 Einzugsgebiete von Mischwasserbehandlungsanlagen wurden die Zuwegungsflächen aus dem EGLV-Datensatz und den

Regressionsmodellen ermittelt und verglichen. Rot hinterlegte Einzugsgebiete zeigen dabei eine größere Abweichung als 20 %. Es ist festzustellen, dass je kleinteiliger die Einzugsgebiete werden, desto öfter nehmen die Abweichungen zu. Das zeigt sich bei den 163 Einzugsgebieten deutlich. Die Unterschiede gleichen sich bereits aus, wenn die Flächen auf die Ebene der 20 Mischwasserbehandlungsanlagen zusammengefasst werden. Damit geht eine flächenmäßige Größenordnung für die Anwendung der Zuwegungsflächen einher.

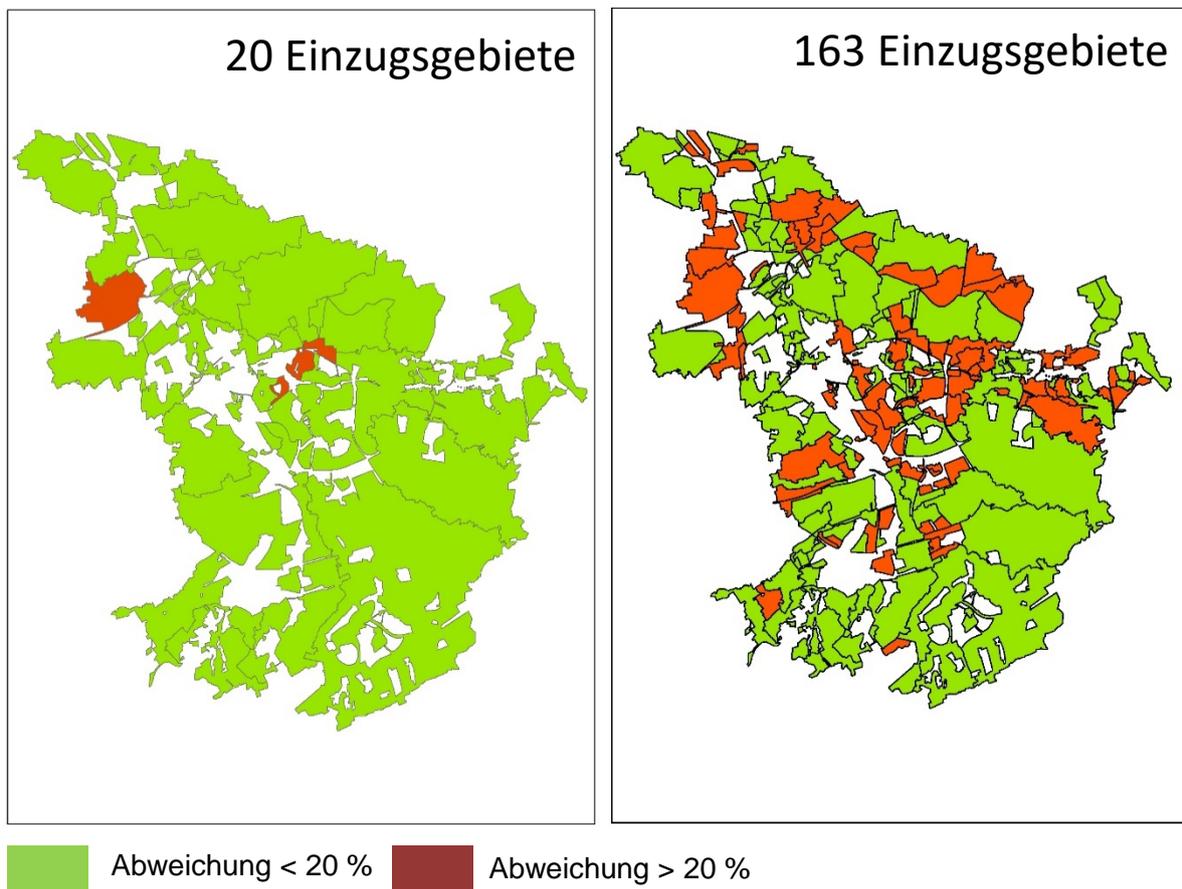


Abbildung 48: Ausgewählte Teileinzugsgebiete mit Abweichungen unter und über 20 % zwischen EGLV-Zuwegungsflächen und prognostizierten Zuwegungsflächen

6.3.3 Validierungsergebnisse

Für die Validierung der Ergebnisse wurde ein Gebiet, bestehend aus 350 Flurstücken, in der Städtereion Aachen manuell digitalisiert. Hierbei wurde die Erfassung der Zuwegungsflächen anhand der Leistungsbeschreibung der EGLV durchgeführt, um die Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Abbildung 49 zeigt den digitalisierten Bereich. Rechts sind mehrheitlich grün gefärbte Flurstücke aber auch einige farblose Flurstücke abgebildet. Bei den grün dargestellten Flurstücken handelt es sich um Flurstücke, die Clustern mit einer hohen Modellgüte zugeordnet werden. Diese sind hauptsächlich „Wohnbauflächen“ aber auch „Flächen gemischter Nutzung“ und „Flächen besonderer funktionaler Prägung“ sowie „Industrie- und Gewerbeflächen“. Die farblosen Flurstücke sind diejenigen, die aufgrund von Plausibilisierungsmaßnahmen nicht betrachtet werden, z.B. Flurstücke, die vollständig von

Gebäuden überlagert werden oder Clustern mit einer mittleren Güte bzw. keinem Cluster zugeordnet werden können.



Abbildung 49: Digitalisierte Flurstücke in der Städteregion Aachen für die Validierung der Regressionsmodelle (Stand 2016)

Die Prognose der Zuwegungsflächen wird von zusätzlichen Randbedingungen unterstützt, um möglichst realistische Prognosewerte zu generieren. Werden beispielsweise Zuwegungsflächen generiert, die größer sind als die effektiven Flächen (Flurstückfläche abzüglich der Gebäudeflächen) auf einem Flurstück, wird der Wert verworfen und der mittlere prozentuale Anteil an Zuwegungsflächen der Trainingsdaten übernommen. Dazu folgendes Beispiel: Für das erste Cluster, d.h. Flurstücke, die sich auf „Wohnbauflächen“ befinden und die maßgebliche Gebäudefunktion „Wohnhaus“ haben, wird der durchschnittliche Anteil der Zuwegungsflächen berechnet. Dieser beträgt 26,9 % der effektiven Fläche (vgl. Anhang 2). Wird für ein Flurstück innerhalb dieses Clusters eine Zuwegungsfläche berechnet, die größer ist als die zur Verfügung stehende Fläche, wird die effektive Fläche mit dem durchschnittlichen Wert von 26,9 % multipliziert und durch den Prognosewert ersetzt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Summe der Gebäudeflächen und Zuwegungsflächen maximal die Größe der Flurstückflächen übernehmen können. In Abbildung 50 sind die Ergebnisse der Modellrechnungen im Vergleich zu den manuell digitalisierten Zuwegungsflächen dargestellt. Die roten Flurstücke mit 0 % Übereinstimmung zeigen die Fälle einer falschen Klassifizierung durch das „random forest“-Modell. Hierbei handelt es sich um Flurstücke, bei denen die Existenz von Zuwegungsflächen falsch ermittelt wurde. Dies ist bei ca. 10 % der 350 Flurstücke der Fall. Dieses Ergebnis bestätigt die in Kapitel 6.3.1 ermittelte Fehlereinschätzung für das Klassifikationsmodell. Für die restlichen Flurstücke wurden anhand der Regressionsmodelle bezüglich der Eigenschaften der Flurstücke statistisch Zuwegungsflächen ermittelt. Bei einer genaueren Betrachtung der Flurstücke wird festgestellt, dass bei homogenen Strukturen (blau gestrichelte Umrandung) besonders hohe Übereinstimmungen (80 % - 100 %) zustande kommen. Im Gegensatz dazu nehmen Flurstücke mit heterogenen Strukturen (schwarz gestrichelte Umrandung) geringe Übereinstimmungswerte an. Die durchschnittliche Übereinstimmung zwischen Prognosewerten und manuell digitalisierten Zuwegungsflächen beträgt 60 % und befindet sich

somit im Erwartungsbereich, welcher bei der Gegenüberstellung der Prognoseergebnisse im Einzugsgebiet (EZ) des Hüller Bachs festgestellt wurde. Damit ist die Übertragbarkeit der Prognosemodelle, die anhand der Trainingsdaten erzeugt und anhand von Kalibrierungsdaten aus dem Einzugsgebiet des Hüller Bachs optimiert wurde, auf beliebige Raumeinheiten in NRW vorläufig sichergestellt.

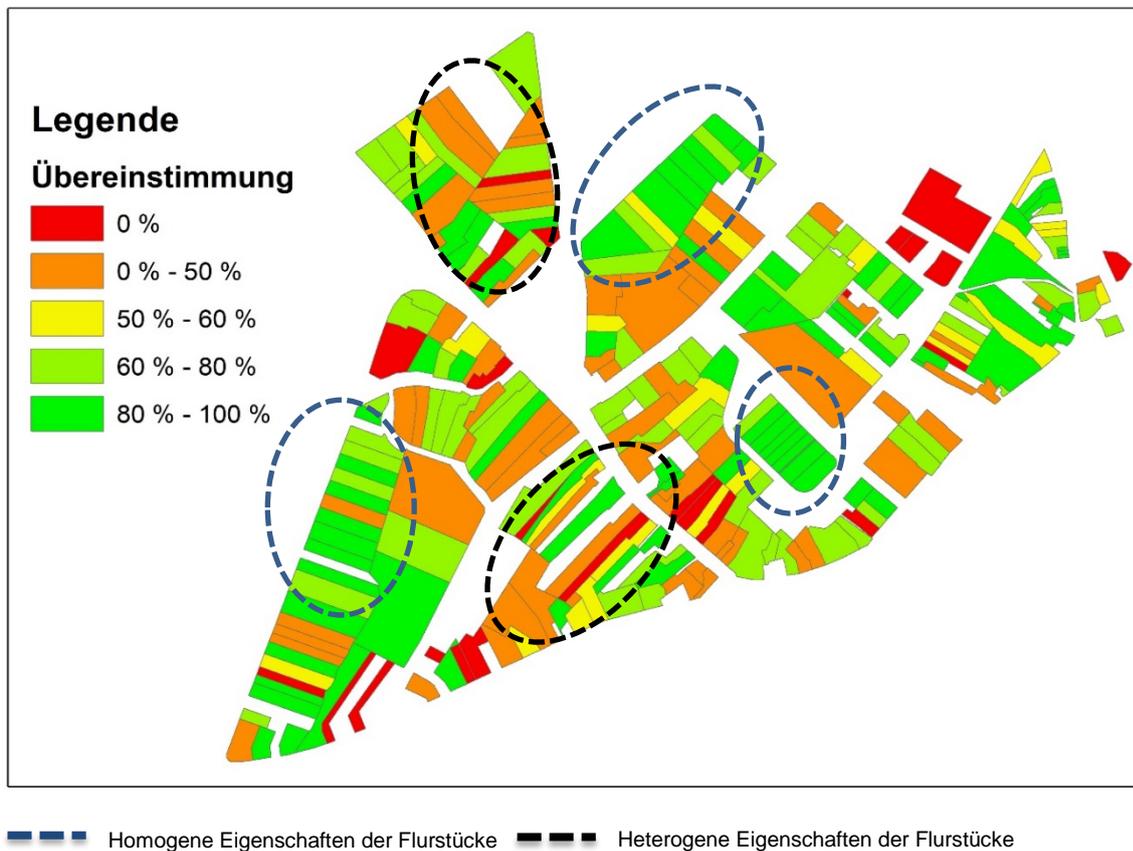


Abbildung 50: Prozentuale Übereinstimmung der Prognosewerte für Zuwegungsflächen mit manuell digitalisierten Zuwegungsflächen aus der Städteregion Aachen

Nichtsdestotrotz sind weitergehende Analysen anhand weiterer Validierungsdaten notwendig, um die Modelle weiter zu optimieren und höhere Übereinstimmungswerte zu erreichen. Für eine fundierte Beurteilung der statistisch ermittelten Zuwegungsflächen müssen Erfahrungen mit den Daten gesammelt werden. Hierfür werden Prognosedaten für das gesamte EGLV-Gebiet zur Verfügung gestellt, die innerhalb einer Evaluierungsphase von ca. einem Jahr durch das Emschergenossenschaft und Lippeverband in sechs Schmutzfrachtmodellen verschiedener Regionen getestet werden, um die Auswirkungen der Abweichungen für unterschiedliche räumliche Einheiten unter Berücksichtigung von Niederschlag und Morphologie zu überprüfen.

7 Zusammenfassung

Befestigte Flächen werden in vielen für den Umweltschutz, für die Stadt- und Landschaftsplanung und die Wasserwirtschaft zuständigen Behörden sowie von entsprechenden Fachplanern regelmäßig genutzt. Wesentlicher Hintergrund in diesem Zusammenhang ist, dass befestigte Flächen immer eine Reduzierung der Versickerungsfläche für Niederschläge und somit eine Veränderung des Wasserhaushalts durch ein beschleunigtes Abflussverhalten dieser Flächen zur Folge haben. Daher sind sie eine wichtige wasserwirtschaftliche Basisinformation. Zudem ist der von den befestigten und unterschiedlich genutzten Flächen in die Kanalisation abfließende Niederschlag durch Reifenabrieb, Feinstaub und andere Mikro- und Markopartikel verunreinigt und belastet die Gewässer.

Im Allgemeinen können befestigte Flächen in Gebäude- und Dachflächen, Verkehrsflächen sowie Zuwegungsflächen unterteilt werden, die jeweils ca. 1/3 der befestigten Flächen ausmachen. Im Projekt „Wasserwirtschaftliche Ermittlungen und Anwendung von digitalen Versiegelungsdaten aus Amtlichen Liegenschaftskatasterdaten“ (WaLKIS) wurden die theoretischen Grundlagen und Analysemethoden zur Bestimmung von befestigten Gebäude- und Verkehrsflächen aus dem Liegenschaftskataster-Modell ALKIS sowie eine flächendeckende Analyse zur statistischen Abschätzung der befestigten Zuwegungsflächen aus den ALKIS-Daten und die Verifikation der Ergebnisse erarbeitet.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass Gebäudeflächen anhand von ALKIS-Daten erfasst werden können und mit Hilfe der Korrekturwerte aus Kapitel „Korrekturwerte für ALKIS Gebäudepolygone“ eine gute bis sehr gute Übereinstimmung mit vorhandenen Referenzdaten auf Grundlage von digitalisierten Befliegungsdaten aufzeigen. Referenzdaten für die Analysen wurden von der EGLV zu Verfügung gestellt. Gebäudepolygone wurden in diesem Zusammenhang zunächst objektorientiert betrachtet (vgl. Kapitel „Objektorientierte Gegenüberstellung von Gebäudepolygone aus ALKIS und Referenzdaten“), um eine Aussage über die Lagegenauigkeit sowie Flächengleichheit im Vergleich zu den Referenzdaten zu ermöglichen. Diese Untersuchung ergab, dass bei der Betrachtung der einzelnen Gebäudepaare in ca. dreiviertel aller Fälle eine höhere Übereinstimmung als 80 % zwischen ALKIS-Daten und aus Befliegungsdaten digitalisierte Referenzdaten der EGLV existiert. Etwaige Abweichungen sind insbesondere durch Dachüberhänge, die in ALKIS nicht erfasst werden, aber auch aufgrund der unterschiedlichen Stände der Daten, zu erklären. Mit einer zweiten Methode zur Untersuchung der Gebäudedaten wurden Gebäudepolygone auf Flurstücke aggregiert. Eine Besonderheit ist hierbei die große Anzahl an Flurstücken, die beinahe vollständig von Gebäuden überlagert werden. Deshalb existiert eine sehr hohe Korrelation ($r = 0,99$) zwischen ALKIS-Daten und aus Befliegungsdaten abgeleitete Referenzdaten der EGLV. Die Übereinstimmung der Gebäudeflächen fällt hingegen in Summe ähnlich wie bei der objektorientierten Methode aus und erreicht in ca. 75 % der Fälle eine Übereinstimmung von mehr als 80 % zwischen ALKIS-Daten und aus Befliegungsdaten ermittelte Gebäudeflächen. Durch die Anpassung der Gebäudeflächen mithilfe von Korrekturwerten werden deutlich höhere Übereinstimmungswerte erreicht. Mit dieser im Projekt entwickelten Methodik können mittels objektorientierter Auswahl aus ALKIS-Daten für ganz NRW flächendeckend Gebäudeflächen ermittelt werden.

Gleiches gilt für die Verkehrsflächen, wobei die Erfassung der Verkehrsflächen in ALKIS durch Kommunen sehr unterschiedlich gehandhabt wird. Insbesondere bei der Erfassung der Verkehrsbegleitflächen sowie der Objekte, die Verkehrsflächen in Siedlungen darstellen, weicht die Vollständigkeit und Genauigkeit der Erfassung stark voneinander ab. Zudem wurde der Bahnverkehr nur theoretisch betrachtet, da keine Referenzdaten für diesen Verkehrsbereich existieren.

Zuwegungsflächen können durch eine gezielte Auswahl von ALKIS-Objektarten nicht erfasst werden. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Garagenzufahrten, befahrbare Wege auf Privatgrundstücken, Park- und Lagerplätze sowie Terrassen an Wohnhäusern. Zur Identifizierung von Zuwegungen auf Flurstücken wurde mit Hilfe eines Klassifizierungsmodells basierend auf der Methode des Entscheidungsbaumes ein Prognosemodell erstellt (siehe Kap. 7.3.1). Hierbei werden Flurstücke mit und ohne Zuwegungsflächen differenziert. Für dieses Modell wurde für das Validierungsgebiet in der Städteregion Aachen eine Übereinstimmungsquote der Flächenanteile von 90 % erreicht. Anschließend wurden neun Cluster (Gruppierungen) identifiziert und für jedes Cluster Regressionsmodelle generiert, die eine Abschätzung der Zuwegungsflächen ermöglichen. Für ca. 75 % der Daten konnten Regressionsmodelle mit mittlerer und hoher Modellgüte entwickelt werden. Dabei wurden nach der Kalibrierung für Cluster mit mittlerer Modellgüte durchschnittliche Übereinstimmungen zwischen 50 % und 60 % erreicht. Bei Clustern mit hoher Modellgüte schwankte dieser Wert zwischen 60 % und 70 %. Die Anwendung der Regressionsmodelle auf Validierungsdaten der Städteregion Aachen bestätigen die Ergebnisse aus der Kalibrierungsstufe. Im Rahmen dieses Projektes wurde erstmals gezeigt, dass anhand mathematischer Modelle eine statistische Abschätzung von Zuwegungsflächen mittels ALKIS-Daten möglich ist. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind für eine flächendeckende Anwendung für Raumeinheiten, beispielsweise Einzugsgebiete mittelgroßer Regenbecken oder vergleichbarer technischer Anlagen, geeignet. Die entwickelten Methoden und gewonnenen Erkenntnisse stellen eine bedeutsame, wissenschaftlich überprüfbare und reproduzierbare Grundlage für weiterführende Analysen und Anwendungen in der Wasserwirtschaft dar.

Die Ergebnisse sind im zuständigen Lenkungskreis, bestehend aus Wasserverbänden, unteren Wasserbehörden sowie Vertretern von Kommunen und Kreisen sowie des LANUV, auf große Zustimmung gestoßen und in ersten Praxisanwendungen überprüft worden. Im Rahmen der regelmäßigen Abstimmungsgespräche wurden weitere Optimierungsmöglichkeiten als Ausblick für eine mögliche zweite Phase des Projektes identifiziert.

8 Ausblick

Im Rahmen des Projektes wurde eine wissenschaftlich abgesicherte, dokumentierte und reproduzierbare Methode zur Erfassung von versiegelten Flächen aus dem Amtlichen Liegenschaftskatastersystem geschaffen. Die Methode zur Erfassung von befestigten Flächen bietet jedoch ohne Informationen über die Beschaffenheit und die Abflusswirksamkeit der Flächen noch keine weitreichenden Anwendungsmöglichkeiten, weshalb weiterführende Analysen angestrebt werden sollten, die, unter Anwendung weiterer Datenquellen sowie der Entwicklung weiterer GIS-Algorithmen, Aussagen über die Belastung der Niederschlagsabflüsse sowie ihre Abflusswirksamkeit ermöglichen. Die Algorithmen dienen als Basis für die detaillierte Beschreibung der Methodik. Die entsprechenden Quellcodes werden in einem Begleitprozess an IT.NRW übergeben.

Die Ziele einer weitergehenden Analyse sind unter anderem

- die vollständige Automatisierung der Erfassungsmethode aus Phase I,
- die Identifizierung und Integration weiterer Daten, die
 - landesweit zur Verfügung stehen,
 - die Prognosemodelle zur statistischen Abschätzung der Zuwegungsflächen optimieren und
 - zur besseren Beurteilung der Beschaffenheit der Niederschlagsabflüsse dienen sowie
- die Ermittlung der Belastungen der Niederschlagsabflüsse, angelehnt an die drei Belastungskategorien für Regenwasserabflüsse bebauter oder befestigter Flächen nach Flächentyp und Flächennutzung aus dem für 2020 erwarteten DWA-Arbeitsblatt A 102 und
- die Beurteilung über die Abflusswirksamkeit der identifizierten befestigten Flächen.

Parallel dazu wird vorgeschlagen, dass das FiW die Integration der Algorithmen in einem landesweit nutzbaren Dienst durch IT.NRW begleitet und die resultierenden befestigten Flächen anhand ausgewählter Gebiete, die bislang nicht untersucht wurden, plausibilisiert. Im Einzelnen werden die folgenden Optimierungsmöglichkeiten vorgeschlagen:

Landesweite, automatisierte Clusterbildung

Mit der Generierung von Clustern (Gruppierung der Daten mit vergleichbaren statistischen Eigenschaften) wurde eine bessere Anpassung der Regressionsmodelle für die Abschätzung der Zuwegungsflächen ermöglicht. Die Clusterbildung wurde jedoch manuell durchgeführt und soll automatisiert werden. Hierfür wird ein Algorithmus entwickelt, der in der Lage ist in Abhängigkeit der Modellgüte (R^2) und Kalibrierungsergebnisse für die größtmögliche Menge der Daten die bestmögliche Annäherung der Regressionsmodelle durch die Wahl von geeigneten Clustern zu ermitteln.

Identifizierung und Integration von flächendeckend verfügbaren Daten aus NRW

Weitere flächendeckend verfügbare Daten sollen identifiziert, auf ihre Güte überprüft und in Untersuchungen integriert werden. Diese Daten dienen beispielsweise der Verbesserung der Regressionsmodelle, der Erweiterung der Cluster und der besseren Abschätzung der Belastungskategorien. Insbesondere für den ländlichen Raum sind zusätzliche Eingangsdaten für eine

bessere Abschätzung der Zuwegungsflächen hilfreich. Dabei kommen zahlreiche georeferenzierte Daten in Betracht, z.B. LOD-2 Daten für eine weitere Spezifizierung der Gebäudeinformationen. LOD-2 Daten sind 3D-Gebäudemodelle, die aus einer automatischen Stereo-Luftbild-Auswertung abgeleitet werden. Es wird z.B. untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Gebäudevolumen und den dazugehörigen Zuwegungsflächen besteht. Als weiteres Beispiel werden die „durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung“ (DTV) oder die digitale Erfassung und Bewertung von Niederschlagswasserleitungen von Verkehrsflächen durch Straßen.NRW hinzugezogen. Auch „OpenStreetMap“ Karten und Fernerkundungsdaten sollen als zusätzlich mögliche Eingangsparameter geprüft werden.

Differenzierung der befestigten Flächen in Belastungskategorien nach DWA - A 102

Das neue Arbeitsblatt DWA-A 102 (Teil A) befasst sich mit den Grundsätzen zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Es enthält emissionsbezogene Grundsätze und Vorgaben zum Umgang mit niederschlagsbedingten Siedlungsabflüssen und bezieht sich sowohl auf Niederschlagsabflüsse im Trennverfahren als auch auf Mischwasserabflüsse. Wesentliche Grundlage der Betrachtungen zu Menge (Quantität) und Beschaffenheit (Qualität) des Oberflächenabflusses ist eine möglichst genaue Flächenermittlung mit den abflussbeeinflussenden Merkmalen. Die ermittelten befestigten Flächen aus diesem Projekt liefern eine geeignete Grundlage für die Differenzierung dieser Flächen nach den festgelegten drei Belastungskategorien (gering, mäßig, stark belastet). Eine weitere Grundlage zur Abschätzung der Abflussbelastung bilden die von der EGLV zur Verfügung gestellten digitalisierten Flächenpolygone, die anhand von Luftbildern generiert wurden. In diesem Datensatz werden die Zuwegungsflächen in „Privat Saubere“ (verursachen nichtbehandlungsbedürftigen Niederschlagsabfluss) und „Privat Schmutzige“ (verursachen behandlungsbedürftigen Niederschlagsabfluss) Flächen unterteilt. Anhand von Bewertungsindikatoren aus dem Arbeitsblatt A 102 (Teil A) und statistischen Analysen werden die ermittelten befestigten Flächen in die oben erwähnten drei Belastungskategorien unterteilt.

Abschätzung der Abflusswirksamkeit der ermittelten befestigten Flächen aus Phase I

Die ermittelten befestigten Flächen geben noch keinen Hinweis auf die Abflusswirksamkeit dieser Flächen. Insbesondere bei den statistisch ermittelten Zuwegungsflächen handelt es sich um den Anteil der befestigten Flächen auf Flurstücken. Damit ist jedoch keine Aussage über die Lage der Zuwegungen möglich. Mit Hilfe der Eigenschaften der Flurstücke, z.B. deren Gebäudeanteile, aber auch die Erschließung durch Verkehrsflächen, ist eine Beurteilung über die Abflusswirksamkeit der befestigten Flächen möglich. Durch Ortsbegehungen können die ermittelten Zustände validiert werden. Zudem können unter Verwendung von Geländemodellen mögliche Fließwege und die Kumulierung von Niederschlagsabflüssen ermittelt werden. Anhand der ermittelten Belastungskategorien erfolgt anschließend eine flächendeckende Abschätzung der zu erwartenden belasteten Niederschlagsabflüsse.

Begleitung der Umsetzung bei IT.NRW

Die Umsetzung der entwickelten Methodik soll durch IT.NRW auf der Basis des F&E-Berichtes und des Programm-Codes erfolgen. Die Kriterien zur Auswahl einer geeigneten EDV-Lösung sind bereits durch die Beteiligung von IT.NRW im Verlauf des Projektes berücksichtigt worden und können gemeinsam mit dem FiW differenziert und festgelegt werden. Schon heute zu nennende Eigenschaften sind die Performance und langfristige Unterhaltung des Systems (Versionskompatibilität). Bei der Entwicklung der EDV-Lösung müssen die Anforderungen der potenziellen Nutzer der Versiegelungsdaten Berücksichtigung finden. Dies spiegelt sich wesentlich in der Form der Datenbereitstellung und den geografischen Einheiten wieder. Die Daten sollen sowohl tabellarisch als auch georeferenziert für unterschiedliche räumliche Einheiten abgerufen werden können. Ein weiterer Aspekt ist die Bereitstellung der Daten für den Nutzer. Eine Möglichkeit stellt das Fachinformationssystem ELWAS (elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW) dar, in welchem die Daten der Fachbereiche Abwasser, Grundwasser, Oberflächengewässer, Trinkwasser und zur Wasserrahmenrichtlinie angezeigt und ausgewertet werden können. ELWAS dient der Erledigung von Fachaufgaben in der Wasserwirtschaft und wird vorrangig durch die Landes- und Kommunalbehörde, aber auch von den großen Wasserverbänden in NRW genutzt (<http://www.elwasweb.nrw.de>).

9 Literaturverzeichnis

- ADAMS, J. B.; MILTON, O. S. AND GILLESPIE, A. R. (1989): Simple Models for Complex Natural Surfaces: A Strategy for the Hyperspectral Era of Remote Sensing. pages 16–21
- ADV (2008A): ALKIS Objektartenkatalog. In: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. page 516
- ADV (2008B): Hauptdokument Version 6.0. In: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. page 516
- ADV (2018): Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS®) In: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. Available at: <http://www.adv-online.de/AAA-Modell/ALKIS/>
- BACHOFER, F.; ESCH, T. AND KLEIN, D. (2009): Ableitung von versiegelungsgraden basierend auf hochaufgelösten fernerkundungsdaten mittels support vector machines (Derivation of soil sealing information from high resolution remote sensing data by application of support vector machines) *Angewandte Geo*
- BECK, R.; BECKER, M.; BORCHARDT, D.; BÜRGEL, B.; FUCHS, S.; HALLER, B.; JOSWIG, K.; MERTSCH, V.; PODRAZA, P.; REMMLER, F.; SCHMITT, T. G.; SCHWINGER, H.; UHL, M.; WWEIß, G. AND WELKER, A. (2016): DWA- A 102. In: DWA-Regelwerk
- BENN, O.; GEIBEL, P.; HUDIK, M.; KNEBEL, T. AND WYSOTZKI, F. (2005): Lernen von Entscheidungsbäumen bei objektabhängigen Fehlklassifikationskosten. In: Technische Universität Berlin
- BEZIRKSREGIERUNG KÖLN GEOBASIS NRW: WMS NW DOP-Übersicht – Metadaten DOP. URL: <https://www.tim-online.nrw.de/tim-online2/uebersicht.html?thema=dop> [Stand: 2019] (abgerufen am 27.03.2019)
- BLUME, H. (1992): Handbuch des Bodenschutzes. In: ecomed Verlagsgesellschaft mbH
- BORCHARDT, D.; BÜRGEL, B.; DURCHSCHLAG, A.; GROTTKER, M.; HALLE, M.; PODRAZA, P.; SCHITTHELM, D. AND UHL, M. (2007): Merkblatt Merkblatt 3 / BWK. In: Fraunhofer IRB Verlag. Issue: November
- EG/LV (2012): Leistungsbeschreibung für die ArcGIS konforme Erfassung der befestigten Flächen Leistungsbeschreibung für die ArcGIS konforme Erfassung der befestigten Flächen.. pages 1–8
- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2017): Daten und Fakten - Geschäftsbrief Emschergenossenschaft 2016/17. Issue: 201. pages 24–25. Available at: http://www.eglv.de/fileadmin/user_upload/Daten_EG_dt_Oktober_2016_web.pdf
- ESCH, T.; SCHORCHT, G. AND THIEL, M. (2017): Satellitengestützte Erfassung der Bodenversiegelung in Bayern. In: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
- FISCHER-STABEL, P.; SCHÄFER, K. AND WANNEMACHER, S. (2004): Satellitenbasierte Erfassung von Versiegelungsflächen – Entwicklung eines operationellen Auswerteverfahrens. In: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
- HOLTMANN, D. (2010): Grundlegende multivariate Modelle der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse. - 3., veränd. Aufl.. Available at: <https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/index/index/docId/4412>
- KOLANOSKI, H. (2008): Statistische Methoden der Datenanalyse. In: Humboldt-Universität zu Berlin. page 165
- KRESSLER, F. AND STEINNOCHER, K. (1995): Einsatz der Fernerkundung zur Überprüfung der Realnutzung im Raum Wien mittels Spectral Mixture Analysis. In: AGIT
- LIPPEVERBAND (2017): Daten und Fakten - Geschäftsbrief Lippeverband 2016/17.. Issue: 201. Available at: http://www.eglv.de/fileadmin/user_upload/Daten_LV_dt_2016_Oktober_2016_web.pdf
- MATHWORKS (NO DATE): Machine Learning - Drei Dinge, die Sie wissen sollten. Available at: <https://de.mathworks.com/discovery/machine-learning.html> (Accessed: 20 March 2018)
- MEINEL, G. AND HERNIG, A. (2005): Inwertsetzung von Geobasisdaten für Fachanwendungen am

Beispiel der Bodenversiegelungserhebung auf Grundlage des ATKIS Basis-DLM. In: Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, page 14,25

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INNOVATION, DIGITALISIERUNG UND ENERGIE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN: OpenGeodata.NRW. Digitale Orthophotos – Einzelkacheln. URL: <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dop/dop/> [Stand: 2017 - 2019] (abgerufen am 12.02.2019)

MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN: ELWAS-WEB. Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW. URL: <https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf> [Stand: 09.04.2019] (abgerufen am 06.03.2019)

NETZBAND, M. (1998): Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung zur Versiegelungskartierung in Siedlungsräumen. In: Sächsische Druck- und Verlagshaus GmbH

SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND WOHNEN (2012): Versiegelung In: Stadtentwicklung Berlin. Available at: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dc102_01.htm#A1 (Accessed: 20 February 2018)

STATISTISCHES BUNDESAMT (2017): Siedlungs- und Verkehrsfläche In: Umweltbundesamt. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_tab_suv_2017-04-07.pdf (Accessed: 16 February 2018)

WOLF, C. AND HENNING, B. (2010): Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse. DOI: 10.1007/978-3-531-92038-2

WOLLSCHLÄGER, D. (2017): Statistik und ihre Anwendungen Grundlagen der Datenanalyse mit R. Springer Spektrum. DOI: 10.1007/978-3-662-53670-4

WOOLDRIDGE, J. M. (2008): Introductory Econometrics. A Modern Approach In: Cengage Learning Emea

Anhang

Anhang 1: Korrekturwerte für ALKIS-Gebäudeflächen auf Flurstücke anhand der maßgeblichen Gebäudefunktion

| Flurstück mit der Maßgeblichen Gebäudefunktion | Wertart Gebäudefunktion | Anzahl Flurstücke | Korrekturwert [m ²] | Mittlere Gebäudefläche [m ²] |
|---|-------------------------|-------------------|---------------------------------|--|
| Wohngebäude | 1000 | 1520 | + 7,6 | 202,9 |
| Wohnhaus | 1010 | 539850 | + 20,3 | 153 |
| Zoll | 1100 | 6761 | + 17,6 | 277 |
| Museum | 1120 | 8397 | + 16,5 | 281,9 |
| Wohn- und Geschäftsgebäude | 1123 | 1151 | + 9,5 | 263,9 |
| Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie | 1130 | 7303 | + 21,6 | 270,9 |
| Land- und forstwirtschaftliches Wohngebäude | 1210 | 1126 | + 61,6 | 417 |
| Überdachung | 1610 | 2492 | + 4,9 | 155,3 |
| Carport | 1611 | 1167 | + 2,4 | 36,8 |
| Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe | 2000 | 4393 | + 21,9 | 448,8 |
| Gebäude für Handel und Dienstleistungen | 2010 | 4263 | + 26 | 816,2 |
| Bürogebäude | 2020 | 1836 | + 14,6 | 547,9 |
| Geschäftsgebäude | 2050 | 969 | + 12,8 | 1003,2 |
| Laden | 2054 | 1324 | + 28,2 | 760,7 |
| Gebäude für Gewerbe und Industrie | 2100 | 8918 | + 48,7 | 1305,2 |
| Fabrik | 2111 | 1530 | + 61,6 | 2592,7 |
| Werkstatt | 2120 | 3846 | + 37,9 | 629,4 |
| Gebäude für Vorratshaltung | 2140 | 1101 | + 41,1 | 784,9 |
| Lagerhalle, Lagerschuppen, Lagerhaus | 2143 | 6066 | + 16,9 | 1123,7 |
| Betriebsgebäude zu Verkehrsanlagen (allgemein) | 2400 | 1081 | + 11,4 | 173,1 |
| Garage | 2463 | 59085 | + 3,1 | 54,6 |
| Umformer | 2523 | 5581 | + 1,3 | 19 |
| Land- und forstwirtschaftliches Betriebsgebäude | 2720 | 2922 | + 86,1 | 846,9 |
| Scheune | 2721 | 1532 | + 67,1 | 728,7 |

| | | | | |
|--|------|--------|---------|--------|
| Schuppen | 2723 | 5349 | + 8,7 | 105,6 |
| Stall | 2724 | 3746 | + 46,9 | 983,2 |
| Allgemein bildende Schule | 3021 | 1222 | + 102,1 | 2227,4 |
| Kinderkrippe, Kindergarten, Kindertagesstätte | 3065 | 1630 | + 10 | 546,2 |
| Sonstige | - | 257310 | + 4,8 | 192 |

Anhang 2: Ergebnisse der Clusteranalyse und die Übereinstimmung mit Kalibrierungsdaten

| Cluster | Anzahl Trainingsdaten | Anzahl Kalibrierungsdaten (EZ Hüller Bach) | Summe der Flurstückflächen | Summe der Zuwegungsflächen | Summe der Zuwegungsflächen Prognose | Differenz | „Random Forest“ Klassifikation | Polynom des Regressionsmodells | Bestimmtheitsmaß R ² | Mittlere Übereinstimmung mit Prognose | durchschnittliche Zuwegungsanteil der effektiven Fläche [%] |
|---------|-----------------------|--|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | 399344 | 27394 | 18905189 | 3086807 | 3200626 | 104% | 0.9691 | 8 | 0.6976715 | 0.6559329 | 0.269 |
| 2 | 23852 | 1557 | 284979 | 113357 | 113752 | 100% | 0.9094 | 3 | 0.825414 | 0.6802688 | 0.7847028 |
| 3 | 28149 | 2152 | 2914455 | 692931 | 692545 | 100% | 0.9633 | 8 | 0.7334108 | 0.6333488 | 0.4681425 |
| 4 | 7012 | 684 | 3383848 | 872451 | 905673 | 104% | 0.9678 | 1 | 0.8128634 | 0.5902227 | 0.4187451 |
| 5 | 20636 | 1880 | 9108552 | 3451763 | 3353866 | 97% | 0.9596 | 2 | 0.8129894 | 0.6910591 | 0.6408915 |
| 6 | 56373 | 4077 | 1921531 | 369911 | 401300 | 108% | 0.9453 | 7 | 0.8685742 | 0.5629012 | 0.2726397 |
| 7 | 5979 | 707 | 275199 | 60177 | 61144 | 102% | 0.9264 | 5 | 0.6684832 | 0.5844017 | 0.5741785 |
| 8 | 12634 | 1021 | 243844 | 47809 | 46428 | 97% | 0.9226 | 7 | 0.6980159 | 0.5827553 | 0.3972396 |
| 9 | 41146 | 3707 | 1429633 | 270641 | 286512 | 106% | 0.8972 | 8 | 0.849509 | 0.5225935 | 0.3869873 |

Lastenheft

ALKIS Flächenpolygone

Wasserwirtschaftliche Ermittlungen und
Anwendung von digitalen Versiegelungsdaten aus amtlichen
Liegenschaftskatasterdaten - WaLKIS

Projektbearbeitung

Institution

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft
an der RWTH Aachen (FiW) e.V.
Kackertstraße 15-17
52056 Aachen

Bearbeiter

Dr.-Ing. Gesa Kutschera

Sajjad Tabatabaei, M.Sc.

Leon Indjike, M.Sc.

Im vorliegenden Lastenheft werden ALKIS Objektarten, die hinsichtlich ihrer Versiegelung relevant sind, vorgestellt und erläutert. Unterschieden werden Flächenpolygone die Dach- bzw. Verkehrsflächen repräsentieren, nicht versiegelte Flächen innerhalb der Objektartengruppe Siedlung, versiegelte Flächen, die behandlungsbedürftigen bzw. nicht behandlungsbedürftigen Abfluss verursachen sowie teilversiegelte Flächen. Die Abflusswirksamkeit der versiegelten Flächen findet bei dieser Betrachtung keine Berücksichtigung. Die Definition und Kennungen stammen aus dem ALKIS-Objektkatalog der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), Stand 2008)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Dachflächen | 1 |
| 1.1 | Gebäude: 31001 | 1 |
| 1.2 | Turm: 51001 | 1 |
| 1.3 | Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002 | 1 |
| 1.4 | Vorratsbehälter Speicherbauwerk: 51003 | 2 |
| 1.5 | Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006 | 2 |
| 1.6 | Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009 | 2 |
| 2 | Verkehrsflächen..... | 3 |
| 2.1 | Straßenverkehr: 42001 | 3 |
| 2.2 | Weg: 42006 | 3 |
| 2.3 | Platz: 42009..... | 3 |
| 2.4 | Bahnverkehr: 42010 | 4 |
| 2.5 | Flugverkehr: 42015..... | 4 |
| 3 | Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für den Verkehr | 6 |
| 3.1 | Bauwerk im Verkehrsbereich: 53001..... | 6 |
| 3.2 | Straßenverkehrsanlage: 53002 | 6 |
| 3.3 | Weg, Pfad, Steig: 53003..... | 7 |
| 3.4 | Bahnverkehrsanlage: 53004..... | 7 |
| 3.5 | Flugverkehrsanlage: 53007 | 7 |
| 3.6 | Bauwerk im Gewässerbereich: 53009..... | 8 |
| 4 | Weitere versiegelte Flächen | 10 |
| 4.1 | Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009..... | 10 |
| 5 | Nicht behandlungsbedürftige versiegelte Flächen | 11 |
| 5.1 | Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002 | 11 |
| 5.2 | Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006 | 11 |
| 5.3 | Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009..... | 11 |
| 6 | Behandlungsbedürftige versiegelte Flächen | 13 |
| 6.1 | Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002 | 13 |

| | | |
|-----|--|----|
| 7 | Teilversiegelte Flächen..... | 14 |
| 7.1 | Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006..... | 14 |
| 7.2 | Weg Pfad Steig: 53003..... | 14 |
| 7.3 | Gleis: 53006..... | 15 |
| 8 | Nicht versiegelte Flächen | 16 |
| 8.1 | Weg, Pfad, Steig: 53003..... | 16 |
| 8.2 | Bauwerk im Gewässerbereich: 53009..... | 16 |
| 8.3 | Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002 | 17 |
| 8.4 | Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006..... | 18 |
| 8.5 | Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009..... | 18 |
| 8.6 | Vegetationsmerkmal: 54001 | 19 |
| 8.7 | Untergeordnetes Gewässer: 55002..... | 19 |
| 8.8 | Böschungfläche: 61002 | 19 |
| 9 | Tabellarische Zusammenfassung..... | 20 |
| 9.1 | Objektartenauswahl..... | 20 |
| 9.2 | Quellenverzeichnis | 23 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1 Staumauer bei Sohlingen..... | 8 |
| Abbildung 2 Wehrausbildungen bei Sohlingen..... | 9 |
| Abbildung 3 Versiegelter Gehweg..... | 15 |
| Abbildung 4 Staudamm im Rhein-Sieg-Kreis | 16 |
| Abbildung 5 Staudamm im Bereich Sohlingen | 17 |
| Abbildung 6 Staudamm im Bereich Sohlingen | 17 |

1 Dachflächen

1.1 Gebäude: 31001

„Gebäude“ ist ein dauerhaft errichtetes Bauwerk, dessen Nachweis wegen seiner Bedeutung als Liegenschaft erforderlich ist sowie dem Zweck der Basisinformation des Liegenschaftskatasters dient.

Anhand des Attributs „Lage zur Erdoberfläche“ können Gebäude unterhalb der Erdoberfläche identifiziert werden. „Lage zur Erdoberfläche“ ist die Angabe der relativen Lage des Gebäudes zur Erdoberfläche. Diese Attributart wird nur bei nicht ebenerdigen Gebäuden geführt. Mit Ausnahme der unterirdischen Gebäude werden alle Gebäudepolygone als versiegelt angenommen. Gebäude, die sich unterhalb der Erdoberfläche befinden sind aufgrund ihrer Lage nicht erfassbar und daher ist eine Einbeziehung nicht möglich.

Lage zur Erdoberfläche:

Unter der Erdoberfläche – 1200: Bezeichnet Gebäude, die sich unterhalb der Erdoberfläche befinden.

1.2 Turm: 51001

„Turm“ ist ein hoch aufragendes, auf einer verhältnismäßig kleinen Fläche freistehendes Bauwerk. Mit Hilfe des Attributs „Bauwerksfunktionen“ können Flächenpolygone, die Dachflächen repräsentieren identifiziert werden. Insgesamt werden 14 Bauwerksfunktionen, wie z.B. Wasser- oder Kühlturm, unterschieden. Türme bilden Dachflächen ab und werden als versiegelt angenommen.

1.3 Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002

„Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage, die überwiegend industriellen und gewerblichen Zwecken dient oder Einrichtung an Ver- und Entsorgungsleitungen ist. Anhand des Attributs „Bauwerksfunktion“ werden Flächenpolygone, die Dachflächen repräsentieren extrahiert. Die „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“. Folgende Bauwerksfunktionen stellen Dachflächen dar und sind vollständig versiegelt.

Bauwerksfunktion:

Biogasanlage – 1215

Windrad – 1220: „Windrad“ ist ein mit Flügeln besetztes Rad, das durch Wind in Rotation versetzt wird und mit Hilfe eines eingebauten Generators elektrische Energie erzeugt.

Schornstein, Schlot, Esse – 1290: „Schornstein, Schlot, Esse“ ist ein freistehend senkrecht hochgeführter Abzugskanal für die Rauchgase einer Feuerungsanlage oder für andere Abgase.

Hochofen – 1350: „Hochofen“ ist ein hoher Schachtofen zum Schmelzen von Eisenerz.

1.4 Vorratsbehälter Speicherbauwerk: 51003

„Vorratsbehälter, Speicherbauwerk“ ist ein geschlossenes Bauwerk zum Aufbewahren von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen. Auch hier wird anhand des Attributs „Bauwerksfunktionen“ eine Klassifizierung der Versiegelungsrelevanz vorgenommen. Insgesamt werden sieben unterschiedliche Bauwerksfunktionen geführt. Sie alle bilden Dachflächen ab und sind vollständig versiegelt.

1.5 Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006

„Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage in Sport-, Freizeit- und Erholungsanlagen. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“. Die Bauwerksfunktionen „Zuschauertribüne, überdacht“, „Gradierwerk“, „Stadion“ sowie „Schießanlage“ bilden Dachflächen ab und sind versiegelt.

Bauwerksfunktion:

Zuschauertribüne, überdacht – 1431: Zuschauertribüne ist ein großes Gerüst oder ein festes, meist überdachtes Bauwerk mit ansteigenden Sitz oder Stehplatzreihen für Zuschauer.

Gradierwerk – 1490: „Gradierwerk“ ist ein mit Reisig bedecktes Gerüst, über das Sole rieselt, die durch erhöhte Verdunstung konzentriert wird.

1.6 Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009

„Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“ ist ein Bauwerk oder eine Einrichtung, das/die nicht zu den anderen Objektarten der Objektartengruppe Bauwerke und Einrichtungen gehört. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“. Die Bauwerksfunktionen „Überdachung“ und „Carport“ stellen Dachflächen dar und sind als vollständig versiegelt anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Überdachung – 1610

Carport – 1611

2 Verkehrsflächen

Diese Objektkartengruppe enthält bebaute und unbebaute Flächen, die dem Verkehr dienen. Sie besitzt die Kennung 42000.

2.1 Straßenverkehr: 42001

„Straßenverkehr“ umfasst alle für die bauliche Anlage Straße erforderlichen sowie dem Straßenverkehr dienenden bebauten und unbebauten Flächen. Anhand des Attributs „Funktion“, können unterschiedliche Wertarten klassifiziert werden. Die Nutzungsfunktionen die als NULL geführt werden sind versiegelt. Zusätzlich werden Fußgängerzonen als versiegelt betrachtet.

Nutzungsfunktion:

Fußgängerzone – 5130: „Fußgängerzone' ist ein dem Fußgängerverkehr vorbehalten Bereich, in dem ausnahmsweise öffentlicher Personenverkehr, Lieferverkehr oder Fahrradverkehr zulässig sein kann“

2.2 Weg: 42006

„Weg“ umfasst alle Flächen, die zum Befahren und/oder Begehen vorgesehen sind. Zum „Weg“ gehören auch Seitenstreifen und Gräben zur Wegentwässerung. Folgende Wertarten werden unterschieden, welche als versiegelt gelten:

Nutzungsfunktion:

Fahrweg – 5210: nicht weiter erläutert im ALKIS-Datenkatalog

Fußweg – 5220: „Fußweg' ist ein Weg, der auf Grund seines Ausbauzustandes nur von Fußgängern zu begehen ist“

Gang – 5230: nicht weiter erläutert im ALKIS-Datenkatalog

Radweg – 5240: „Radweg' ist ein Weg, der als besonders gekennzeichnete und abgegrenzte Teil einer Straße oder mit selbständiger Linienführung für den Fahrradverkehr bestimmt ist“

Rad- und Fußweg – 5250: „Rad- und Fußweg' ist ein Weg, der als besonders gekennzeichnete und abgegrenzte Teil einer Straße oder mit selbständiger Linienführung ausschließlich für den Fahrrad- und Fußgängerverkehr bestimmt ist“

Sonstiges – 9999: nicht weiter erläutert im ALKIS-Datenkatalog

2.3 Platz: 42009

„Platz“ ist eine Verkehrsfläche in Ortschaften oder eine ebene, befestigte oder unbefestigte Fläche, die bestimmten Zwecken dient (z. B. für Verkehr, Märkte, Festveranstaltungen). Jegliche Wertarten, die über ihre „Funktion“ als „Platz“ definieren sind, sind als versiegelt anzunehmen.

Nutzungsfunktion:

Fußgängerzone – 5130: „Fußgängerzone“ ist ein dem Fußgängerverkehr vorbehalten Bereich, in dem ausnahmsweise öffentlicher Personenverkehr, Lieferverkehr oder Fahrradverkehr zulässig sein kann“

Parkplatz – 5310: „Parkplatz“ ist eine zum vorübergehenden Abstellen von Fahrzeugen bestimmte Fläche“

Rastplatz – 5320: „Rastplatz“ ist eine Anlage zum Halten, Parken oder Rasten der Verkehrsteilnehmer mit unmittelbarem Anschluss zur Straße ohne Versorgungseinrichtung, ggf. mit Toiletten“

Raststätte – 5330: „Raststätte“ ist eine Anlage an Verkehrsstraßen mit Bauwerken und Einrichtungen zur Versorgung und Erholung von Reisenden

Markplatz – 5340: nicht weiter erläutert im ALKIS-Datenkatalog

2.4 Bahnverkehr: 42010

„Bahnverkehr“ umfasst alle für den Schienenverkehr erforderlichen Flächen.

Flächen von Bahnverkehr sind:

- der Bahnkörper (Unterbau für Gleise; bestehend aus Dämmen oder Einschnitten und deren kleineren Böschungen, Durchlässen, schmalen Gräben zur Entwässerung, Stützmauern, Unter- und Überführung, Seiten und Schutzstreifen) mit seinen Bahnstrecken
- an den Bahnkörper angrenzende bebaute und unbebaute Flächen (z.B. größere Böschungflächen).

Das klassifizierende Attribut ist Nutzungsfunktion. Folgende Nutzungsfunktionen werden als versiegelt angenommen:

Nutzungsfunktion:

Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlage, Schiene – 2321: „Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlage, Schiene“ dient der Abwicklung und Sicherheit des Verkehrs sowie der Unterhaltung der Verkehrsfläche“

Verkehrsbegleitfläche Bahnverkehr – 2322: „Verkehrsbegleitfläche Bahnverkehr“ bezeichnet eine bebaute oder unbebaute, an den Bahnkörper angrenzende Fläche, die dem Schienenverkehr dient“

NULL: Unbestimmt

2.5 Flugverkehr: 42015

„Flugverkehr“ umfasst die baulich geprägte Fläche und die mit ihr in Zusammenhang stehende Freifläche, die ausschließlich oder vorwiegend dem Flugverkehr dient. Folgende Nutzungsfunktionen sind als versiegelt / teilversiegelt anzusehen:

Nutzungsfunktion:

NULL: Unbestimmt

Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlagen, Luftfahrt – 5501: „Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlagen, Luftfahrt“ ist eine besondere Flugverkehrsfläche“

3 Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für den Verkehr

3.1 Bauwerk im Verkehrsbereich: 53001

„Bauwerk im Verkehrsbereich“ ist ein Bauwerk, das dem Verkehr dient. Über das Attribut „Funktion“ werden die folgenden „Bauwerksfunktionen“ differenziert und werden als versiegelt angenommen.

Bauwerksfunktion:

Brücke – 1800: „Bauwerk im Verkehrsbereich“ ist ein Bauwerk, das dem Verkehr dient.

Mehrstöckige Brücke – 1801: „Mehrstöckige Brücke“ ist eine Brücke, die mit Verkehrswegen in mehreren Etagen ausgestattet ist“

Bogenbrücke – 1802: „Bogenbrücke“ ist eine Brücke, bei der das Tragwerk aus Bögen besteht“

Fachwerkbrücke – 1803: „Fachwerkbrücke“ ist eine Brücke, bei der das Tragwerk aus starr zusammengesetzten Tragbalken (Holz oder Metall) besteht“

Hängebrücke – 1804: „Hängebrücke“ ist eine Brücke, bei der das Tragwerk von Hängegurten (Kabel) an einem oder mehreren Pylonen gehalten wird“

Pontonbrücke – 1805: „Pontonbrücke“ ist eine Behelfsbrücke, die sich aus kastenförmigen Schwimmkörpern zusammensetzt“

Hebebrücke – 1807: „Hebebrücke“ ist eine Brücke, bei der das Tragwerk an Seilen oder Ketten emporgehoben wird“

Zugbrücke – 1808: „Zugbrücke“ ist eine Brücke, bei der das Tragwerk um eine waagerechte Achse hochgeklappt wird“

Landesbrücke – 1810: nicht weiter erläutert im ALKIS-Datenkatalog

Steg – 1820: „Steg“ ist ein Bauwerk, das Fußgängern den Übergang über ein Gewässer ermöglicht“

Hochbahn, Hochstraße – 1830: „Hochbahn, Hochstraße“ ist ein brückenartiges, aufgeständertes Verkehrsbauwerk“

Brückenpfeiler – 1840: nicht weiter erläutert im ALKIS-Datenkatalog

Widerlager – 1845: nicht weiter erläutert im ALKIS-Datenkatalog

3.2 Straßenverkehrsanlage: 53002

„Straßenverkehrsanlage“ ist eine besondere Anlage für den Straßenverkehr. Das Attribut, das sie diese Anlagen charakterisiert ist die „Art“. Die hier nicht aufgeführten Anlagearten sind entweder nicht versiegelt, so wie die Furt, oder liegen wie das Dreieck parallel auf den Verkehrsflächen. Folgende Anlagenarten werden als versiegelt angenommen.

Anlagenart:

Fahrbahn - 1000

3.3 Weg, Pfad, Steig: 53003

„Weg, Pfad, Steig“ ist ein befestigter oder unbefestigter Geländestreifen, der zum Befahren und/oder Begehen vorgesehen ist“. Das Attribut „Art“ unterscheidet zwischen den einzelnen Nutzungen. Die folgenden der hier aufgeführten Nutzungsarten sind als versiegelt anzunehmen. Nicht und teilversiegelte Nutzungsarten finden sich in den jeweiligen Kapiteln.

Nutzungsart:

Radweg – 1106: „Radweg“ ist ein Weg, der als besonders gekennzeichnete und abgegrenzte Teil einer Straße oder mit selbständiger Linienführung für den Fahrradverkehr bestimmt ist

Skaterstrecke – 1111: „Skaterstrecke“ ist ein für Skater besonders ausgebauter asphaltierter Weg“

3.4 Bahnverkehrsanlage: 53004

„Bahnverkehrsanlage“ ist eine Fläche mit Einrichtungen zur Abwicklung des Personen- und/oder Güterverkehrs bei Schienenbahnen. Dazu gehören das Empfangsgebäude, sonstige räumlich angegliederte Verwaltungs- und Lagergebäude, bahntechnische Einrichtungen, Freiflächen und Gleisanlagen.

Die „Bahnverkehrsanlage“ der Eisenbahnen beginnt oder endet im Allgemeinen am Einfahrtssignal oder an der Einfahrtswiche. Die Klassifizierung erfolgt über das Attribut der „Bahnhofs-kategorie“. Folgende „Bahnhofs-kategorien“ sind als versiegelt anzunehmen.

Bahnhofs-kategorie:

Bahnhof - 1010: „Bahnhof“ ist eine Anlage im Netz der Schienenbahnen und der Seilbahnen (Bahn-kategorie 'Schwebbahn') zur Abwicklung des Personen- und Güterverkehrs entsprechend der Angaben des Betreibers“

Haltestelle - 1020: „Haltestelle“ ist eine Anlage im Netz der Schienenbahnen und der Seilbahnen (Bahn-kategorie 'Schwebbahn') zur Abwicklung des Personen- und Güterverkehrs entsprechend der Angaben des Betreibers“

Haltepunkt – 1030: „Haltepunkt“ ist eine Anlage im Netz der Schienenbahnen und der Seilbahnen (Bahn-kategorie 'Schwebbahn') zur Abwicklung des Personen- und Güterverkehrs entsprechend der Angaben des Betreibers“

3.5 Flugverkehrsanlage: 53007

„Flugverkehrsanlage“ ist eine Fläche, auf der Luftfahrzeuge am Boden bewegt oder abgestellt werden.

Verkehrsanlagenart:

Startbahn, Landebahn – 1310: „Startbahn, Landebahn“ ist eine Fläche, auf der Flugzeuge starten bzw. landen“

Zurollbahn, Taxiway – 1320: „Zurollbahn, Taxiway“ ist ein Verbindungsweg zwischen den Terminals bzw. dem Vorfeld und der Start- und/oder Landebahn“

Vorfeld – 1330: „Vorfeld“ ist ein Bereich, in dem Flugzeuge abgefertigt und abgestellt werden“

Hubschrauberlandeplatz – 5531: „Hubschrauberlandeplatz“ ist ein Landeplatz, der in der Luftfahrtkarte 1:500000 (ICAO) als solcher ausgewiesen ist“

3.6 Bauwerk im Gewässerbereich: 53009

„Bauwerk im Gewässerbereich“ ist ein Bauwerk, mit dem ein Wasserlauf unter einem Verkehrsweg oder einem anderen Wasserlauf hindurchgeführt wird. Ein „Bauwerk im Gewässerbereich“ dient dem Abfluss oder der Rückhaltung von Gewässern oder als Messeinrichtung zur Feststellung des Wasserstandes oder als Uferbefestigung.

Bauwerksfunktion:

Staumauer - 2030: „Staumauer“ ist ein aus Mauerwerk oder Beton bestehendes Absperrbauwerk zur Erzeugung eines Staus“



Abbildung 1 Staumauer bei Solingen, Quelle: Eigene Darstellung [1], [2]



Abbildung 2 Wehrausbildungen bei Solingen, Quelle: Eigene Darstellung [1], [2]

Wehr – 2050: „Wehr“ ist ein festes oder mit beweglichen Teilen ausgestattetes Bauwerk im Flussbett zur Regulierung des Wasserabflusses“

4 Weitere versiegelte Flächen

4.1 Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009

„Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“ ist ein Bauwerk oder eine Einrichtung, das/die nicht zu den anderen Objektarten der Objektartengruppe Bauwerke und Einrichtungen gehört. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“. Die folgenden Bauwerksfunktionen sind als versiegelt anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Denkmal, Denkstein, Standbild – 1750: „Denkmal, Denkstein, Standbild“ ist ein zum Gedenken errichtetes Bauwerk an eine Person, ein Ereignis oder eine plastische Darstellung.

5 Nicht behandlungsbedürftige versiegelte Flächen

5.1 Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002

„Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage, die überwiegend industriellen und gewerblichen Zwecken dient oder Einrichtung an Ver- und Entsorgungsleitungen ist. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“. Die Bauwerksfunktionen sind als versiegelt, aber nicht behandlungsbedürftig anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Solarzellen – 1230: „Solarzellen“ sind Flächenelemente aus Halbleitern, die die Energie der Sonnenstrahlen in elektrische Energie umwandeln.

Radioteleskop – 1280: „Radioteleskop“ ist ein Bauwerk mit einer Parabolantenne für den Empfang von elektromagnetischer Strahlung

aus dem Weltall.

Einsteigeschacht – 1390

Umformer – 1400

5.2 Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006

„Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage in Sport-, Freizeit- und Erholungsanlagen. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“. Die Bauwerksfunktionen sind als versiegelt, aber nicht behandlungsbedürftig anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Zuschauertribüne – 1430: „Zuschauertribüne“ ist ein großes Gerüst oder ein festes, meist überdachtes Bauwerk mit ansteigenden Sitz- oder Stehplatzreihen für Zuschauer.

Zuschauertribüne, nicht überdacht – 1432: „Zuschauertribüne, nicht überdacht“ bedeutet, dass die Zuschauertribüne keine Dachfläche besitzt.

Schwimmbecken – 1450: „Schwimmbecken“ ist ein mit Wasser gefülltes Becken zum Schwimmen oder Baden.

Sprungschanze (Anlauf) – 1470: „Sprungschanze (Anlauf)“ ist eine Anlage zum Skispringen mit einer stark abschüssigen, in einem Absprungtisch endenden Bahn zum Anlauf nehmen.

5.3 Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009

„Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“ ist ein Bauwerk oder eine Einrichtung, das/die nicht zu den anderen Objektarten der Objektartengruppe Bauwerke und Einrichtungen gehört. Das Attribut

„Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“. Die Bauwerksfunktionen sind als versiegelt, aber nicht behandlungsbedürftig anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Treppe – 1620: „Treppe“ ist ein stufenförmiges Bauwerk zur Überwindung von Höhenunterschieden.

Freitreppe – 1621

Rolltreppe – 1622

Treppenunterkante – 1630

Kellereingang – 1640: „Kellereingang“ ist der Eingang zu einem unterirdischen Vorratsraum außerhalb von Gebäuden.

Rampe – 1650

Terrasse – 1670: Es werden nur unterkellerte Terrassen erfasst.

Mauer – 1700: „Mauer“ ist ein freistehendes, langgestrecktes Bauwerk, das aus Natur- bzw. Kunststeinen oder anderen Materialien besteht.

Mauerkante, rechts – 1701

Mauerkante, links – 1702

Mauermitte – 1703

Stützmauer – 1720: „Stützmauer“ ist eine zum Stützen von Erdreich dienende Mauer.

Stützmauer, rechts – 1721

Stützmauer, links – 1722

Stützmauermitte - 1723

6 Behandlungsbedürftige versiegelte Flächen

6.1 Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002

„Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage, die überwiegend industriellen und gewerblichen Zwecken dient oder Einrichtung an Ver- und Entsorgungsleitungen ist. Anhand des Attributs „Bauwerksfunktion“ werden Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“ beschrieben. Die Bauwerksfunktionen sind als versiegelt und behandlungsbedürftig anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Klärbecken – 1210: „Klärbecken“ ist ein künstlich errichtetes Becken oder eine Geländevertiefung, in der Feststoffe aus einer Flüssigkeit ausgefällt werden.

Kran – 1330: „Kran“ ist eine Vorrichtung, die aus einer fahrbaren oder ortsfesten Konstruktion besteht und die zum Heben von Lasten benutzt wird.

Drehkran – 1331

Portalkran – 1332

Laufkran, Brückenlaufkran – 1333

Trockendock – 1340: „Trockendock“ ist eine Anlage in Werften und Häfen, in der das Schiff zum Ausbessern aus dem Wasser genommen wird.

7 Teilversiegelte Flächen

7.1 Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006

„Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage in Sport-, Freizeit- und Erholungsanlagen. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“. Die Bauwerksfunktionen „Spielfeld“, „Hartplatz“, „Rennbahn, Laufbahn, Geläuf“ und „Sonstiges“ sind als teilversiegelte Flächen anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Spielfeld – 1410: „Spielfeld“ ist eine abgegrenzte, markierte Fläche, auf der die Sportart unmittelbar ausgeübt wird, z.B. die einzelnen Fußballfelder (Hauptplatz und Trainingsplätze) einer größeren Anlage. Die zusammenhängenden Spielflächen innerhalb einer Tennisanlage werden zu einem Spielfeld zusammengefasst

Hartplatz – 1411

Rennbahn, Laufbahn, Geläuf – 1420: „Rennbahn, Laufbahn, Geläuf“ ist eine je nach Art des Rennens verschiedenartig gestaltete Strecke (oval, gerade, kurvig), auf der das Rennen stattfindet.

Sonstiges – 9999: „Sonstiges“ bedeutet, dass die Bauwerksfunktion bekannt, aber in der Attributwertliste nicht aufgeführt ist.

7.2 Weg Pfad Steig: 53003

„Weg, Pfad, Steig“ ist ein befestigter oder unbefestigter Geländestreifen, der zum Befahren und/oder Begehen vorgesehen ist. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Weg, Pfad, Steig“. Die Bauwerksfunktionen „Fußweg“, „Rad- und Fußweg“, sind als teilversiegelte Flächen anzunehmen.

Nutzungsfunktion:

Fußweg – 1103: „Fußweg“ ist ein Weg, der auf Grund seines Ausbaus nur von Fußgängern zu begehen ist.

Rad- und Fußweg - 1110: „Rad- und Fußweg“ ist ein Weg, der als besonders gekennzeichnete und abgegrenzte Teil einer Straße oder mit selbständiger Linienführung ausschließlich für den Fahrrad- und Fußgängerverkehr bestimmt ist.



Abbildung 3 Versiegelter Gehweg, Quelle: Eigenaufnahme [3]

7.3 Gleis: 53006

„Gleis“ ist ein zur Führung von Schienenfahrzeugen verlegtes Schienenpaar. Das Kategorisierende Attribut ist die Art der Ausführung von „Gleis“. Die folgende Ausführungsart ist als teilversiegelt anzunehmen.

Ausführungsart:

Drehschreibe – 1200

8 Nicht versiegelte Flächen

8.1 Weg, Pfad, Steig: 53003

„Weg, Pfad, Steig“ ist ein befestigter oder unbefestigter Geländestreifen, der zum Befahren und/oder Begehen vorgesehen ist“. Das Attribut „Art“ unterscheidet zwischen den einzelnen Wertarten. Folgende Wertarten sind als unversiegelt anzunehmen:

Nutzungsart:

Karren- und Ziehweg – 1105: „Karrenweg“ ist ein Weg im Gebirge, der meist sehr steil ist und nur mit einem Gespann befahren werden kann. Ziehweg ist ein Weg, der der Holzabfuhr im Gebirge dient

8.2 Bauwerk im Gewässerbereich: 53009

„Bauwerk im Gewässerbereich“ ist ein Bauwerk, mit dem ein Wasserlauf unter einem Verkehrsweg oder einem anderen Wasserlauf hindurch geführt wird. Ein „Bauwerk im Gewässerbereich“ dient dem Abfluss oder der Rückhaltung von Gewässern oder als Messeinrichtung zur Feststellung des Wasserstandes oder als Uferbefestigung. Folgende Bauwerksfunktion ist als nicht versiegelt anzusehen:

Bauwerksfunktion:

Rückhaltebecken – 2020

Staudamm – 2040: „Staudamm“ ist ein meist aus natürlichen Baustoffen, meist aufgeschüttetes Absperrbauwerk zur Erzeugung eines Staus“



Abbildung 4 Staudamm im Rhein-Sieg-Kreis, Quelle: Eigene Darstellung [1], [2]



Abbildung 5 Staudamm im Bereich Solingen, Quelle: Eigene Darstellung [1], [2]



Abbildung 6 Staudamm im Bereich Solingen, Quelle: Eigene Darstellung [1], [2]

8.3 Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe: 51002

„Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage, die überwiegend industriellen und gewerblichen Zwecken dient oder Einrichtung an Ver- und Entsorgungsleitungen ist. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe“. Die Bauwerksfunktionen „Wasserrad“, „Mast“, „Funkmast“, „Antenne“ und „Stollenmundloch“ sind als nicht versiegelt anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Wasserrad – 1240: „Wasserrad“ ist ein mit Schaufeln oder Zellen besetztes Rad, das die Energie des strömenden Wassers zum Antrieb, besonders von Mühlen, ausnutzt oder zum Schöpfen von Wasser (Schöpftrad) genutzt wird.

Mast – 1250: „Mast“ ist eine senkrecht stehende Konstruktion mit stützender oder tragender Funktion.

Funkmast – 1260: „Funkmast“ ist ein Mast mit Vorrichtungen zum Empfangen, Umformen und Weitersenden von elektromagnetischen Wellen.

Antenne – 1270: „Antenne“ ist eine Vorrichtung zum Empfang oder zur Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen.

Stollenmundloch – 1310: „Stollenmundloch“ ist der Eingang eines unterirdischen Gangs, der annähernd horizontal von der Erdoberfläche in das Gebirge führt.

8.4 Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung: 51006

„Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“ ist ein Bauwerk oder eine Anlage in

Sport-, Freizeit- und Erholungsanlagen. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Bauwerk oder Anlage für Sport, Freizeit und Erholung“. Die Bauwerksfunktionen „Rasenplatz“, Liegewiese“, „Schießanlage“ und „Wildgehege“ sind als nicht versiegelt anzunehmen. Die Bauwerksfunktion „Stadion“ ist als teilweise versiegelt anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Rasenplatz – 1412

Stadion – 1440: „Stadion“ ist ein Bauwerk mit Tribünen und entsprechenden Einrichtungen zur Ausübung von bestimmten Sportarten.

Liegewiese – 1460

Schießanlage – 1480: „Schießanlage“ ist eine Anlage mit Schießbahnen für Schießübungen oder sportliche Wettbewerbe.

Wildgehege – 1510: „Wildgehege“ ist ein eingezäuntes Areal, in dem Wild waidgerecht betreut wird oder beobachtet werden kann.

8.5 Sonstige Bauwerke oder sonstige Einrichtung: 51009

„Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“ ist ein Bauwerk oder eine Einrichtung,

das/die nicht zu den anderen Objektarten der Objektartengruppe Bauwerke und Einrichtungen gehört. Das Attribut „Bauwerksfunktion“ beschreibt die Art oder Funktion von „Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung“. Die Bauwerksfunktionen sind als nicht versiegelt anzunehmen.

Bauwerksfunktion:

Zaun – 1740: „Zaun“ ist eine Abgrenzung oder Einfriedung aus Holz- oder Metallstäben oder aus Draht bzw. Drahtgeflecht.

Bildstock, Wegekreuz, Gipfelkreuz – 1760: „Bildstock, Wegekreuz, Gipfelkreuz“ ist ein frei stehendes Mal aus Holz oder Stein, das in einem tabernakelartigen Aufbau ein Kruzifix oder eine Heiligendarstellung enthält und als Andachtsbild, als Erinnerung an Verstorbene oder als Sühnemal errichtet wurde; ist ein errichtetes Kreuz z.B. an Wegen; ist ein Kreuz auf dem Gipfel eines Berges.

Bildstock – 1761

Wegekreuz – 1762

Gipfelkreuz – 1763

Meilenstein, historischer Grenzstein – 1770: „Meilenstein, historischer Grenzstein“ sind Steine von kulturgeschichtlicher Bedeutung, die als Meilensteine (Entfernungsangaben in Meilen) am Rande einer Straße aufgestellt sind oder als Grenzsteine vergangene Eigentumsverhältnisse dokumentieren.

Brunnen – 1780: „Brunnen“ ist eine Anlage zur Gewinnung von Grundwasser bzw. ein architektonisch ausgestaltetes Bauwerk mit Becken zum Auffangen von Wasser.

Brunnen (Trinkwasserversorgung) - 1781: „Brunnen (Trinkwasserversorgung)“ bedeutet, dass in dem Brunnen ausschließlich Trinkwasser gewonnen wird.

Springbrunnen, Zierbrunnen – 1782

Ziehbrunnen – 1783

Spundwand – 1790: „Spundwand“ ist ein Sicherungsbauwerk (wasserdichte Wand) aus miteinander verbundenen schmalen, langen Holz-, Stahl- oder Stahlbetonbohlen zum Schutz gegen das Außenwasser. Die Bohlen werden horizontal hinter Pfählen (Bohlwand) oder vertikal als Spundwand eingebaut und meist rückwärtig verankert.

Höckerlinie - 1791: „Höckerlinie“ bezeichnet die ehemalige Panzersperre Westwall.

Sonstiges – 9999: „Sonstiges“ bedeutet, dass die Bauwerksfunktion bekannt, aber nicht in der Attributwertliste aufgeführt ist.

8.6 Vegetationsmerkmal: 54001

„Vegetationsmerkmal“ beschreibt den zusätzlichen Bewuchs oder besonderen Zustand einer Grundfläche.

8.7 Untergeordnetes Gewässer: 55002

„Untergeordnetes Gewässer“ ist ein stehendes oder fließendes Gewässer mit untergeordneter Bedeutung.

8.8 Böschungsfäche: 61002

„Böschungsfäche“ ist eine durch Geländekanten begrenzte Geländeoberfläche künstlichen oder natürlichen Ursprungs.

9 Tabellarische Zusammenfassung

9.1 Objektartenauswahl

| Annahme | Objektart | Kennung | Attributart | Wertarten |
|-----------------|---|---------|------------------------|--|
| Dachflächen | Gebäude | 31001 | Lage zur Erdoberfläche | 1200 ausgenommen |
| | Turm | 51001 | | |
| | Bauwerke od. Anlage für Industrie und Gewerbe | 51002 | Bauwerksfunktion | 1215,1220,1290, 1350 |
| | Vorratsbehälter Speicherbauwerk | 51003 | | |
| | Bauwerk od. Anlage für Sport, Freizeit und Erholung | 51006 | Bauwerksfunktion | 1431,1490 |
| | sonstige Bauwerke od. sonstige Einrichtung | 51009 | Bauwerksfunktion | 1610,1611 |
| Verkehrsflächen | Straßenverkehr | 42001 | Nutzungsfunktion | 5130, NULL |
| | Weg | 42006 | Nutzungsfunktion | 5210, 5211, 5212, 5220, 5230, 5240, 5250, 5260, 9999 |
| | Platz | 42009 | Nutzungsfunktion | 5130, 5310, 5320, 5330, 5340, 5350 |
| | Bahnverkehr | 42010 | Nutzungsfunktion | 2321, 2322, NULL |
| | Flugverkehr | 42015 | Verkehrsfunktion | NULL, 5501 |

| | | | | |
|--|---|-------|--------------------|--|
| Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen im Verkehrsbereich | Bauwerke im Verkehrsbereich | 53001 | Bauwerksfunktion | 1800, 1801, 1802, 1803, 1804, 1805, 1807, 1808, 1810, 1820, 1830, 1840, 1845 |
| | Straßenverkehrsanlagen | 53002 | Verkehrsanlagenart | 1000 |
| | Weg, Pfad, Steig | 53003 | Nutzungsart | 1106, 1111 |
| | Bahnverkehrsanlage | 53004 | Bahnhofskategorie | 1010, 1020, 1030 |
| | Flugverkehrsanlage | 53007 | Verkehrsanlagenart | 1310, 1320, 1330, 5531 |
| | Bauwerk im Gewässerbereich | 53009 | Bauwerksfunktion | 2030, 2050 |
| versiegelt, nicht behandlungsbedürftig | Bauwerke od. Anlage für Industrie und Gewerbe | 51002 | Bauwerksfunktion | 1230,1280,1390, 1400 |
| | Bauwerk od. Anlage für Sport, Freizeit und Erholung | 51006 | Bauwerksfunktion | 1430,1432,1450, 1470, |
| | sonstige Bauwerke od. sonstige Einrichtung | 51009 | Bauwerksfunktion | 1620,1621,1622, 1630,1640,1650, 1670,1700,1701, 1702,1703,1720, 1721,1722,1723 |
| versiegelt, behandlungsbedürftig | Bauwerke od. Anlage für Industrie und Gewerbe | 51002 | Bauwerksfunktion | 1210,1330,1331, 1332, 1333,1340 |
| Teilversiegelte Flächen | Bauwerk od. Anlage für Sport, Freizeit und Erholung | 51006 | Bauwerksfunktion | 1410, 1411, 1420, 9999 |

| | | | | |
|------------------|---|-------|------------------|--|
| | Weg, Pfad, Steig | 53003 | Nutzungsart | 1103, 1107, 1110, NULL |
| | Gleis | 53006 | Ausführungsart | 1200 |
| nicht versiegelt | Bauwerke od. Anlage für Industrie und Gewerbe | 51002 | Bauwerksfunktion | 2140,1250,1260, 1270, 1310 |
| | Bauwerk od. Anlage für Sport, Freizeit und Erholung | 51006 | Bauwerksfunktion | 1412,1440,1460, 1480, 1510 |
| | sonstige Bauwerke od. sonstige Einrichtung | 51009 | Bauwerksfunktion | 1740,1750,1760, 1761, 1762,1763,1770, 1780, 1781,1782,1783, 1790, 1791,9999 |
| | Weg, Pfad, Steig | 53003 | Nutzungsart | 1105 |
| | Vegetationsmerkmal | 54001 | | |
| | Untergeordnetes Gewässer | 55002 | | |
| | Böschungfläche | 61002 | | |

9.2 Quellenverzeichnis

- [1] Bezirksregierung Köln (2017): Geodienste, Luftbilderzeugnisse, Kartenlayer Digitale Orthophotos (DOP). © 2019 Bezirksregierung Köln (https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/webdienste/geodatendienste/index.html), URL: https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dop [abgerufen am 19.03.19]
- [2] Bezirksregierung Köln (2017): Geodienste, ALKIS, © 2019 Bezirksregierung Köln (https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/webdienste/geodatendienste/index.html), URL: https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_alkis [abgerufen am 19.03.19]
- [3] Foto: Tabatabaei, S. (2018): Versiegelter Gehweg, eigene Aufnahme