

Automatisierte Integration heterogener Geodaten für ganzheitliche Raumplanung

Christian Mueller¹, Ulrike Klein¹, Angela Hof²

¹Hochschule Bochum · christian.l.mueller@hs-bochum.de

²Universität Salzburg

Zusammenfassung: Um Herausforderungen in der Kommunalplanung ganzheitlich anzugehen und Entscheidungen auf einer informativen Datengrundlage treffen zu können, ist es notwendig, Geodaten miteinander zu verschneiden und diese integrativ zu nutzen. In Kooperation mit kommunalen Entscheidungsträgern wurde ein Verfahren entwickelt, welches verwendet werden kann, um fachübergreifend heterogene Geodaten automatisiert aus verschiedenen Quellen aufzubereiten. Das Verfahren wurde in einem GIS-Tool implementiert, welches in der Lage ist, flexibel auf unterschiedliche Datenmodelle, Koordinatensysteme, Geometrien und Datentypen zu reagieren. Die auf diese Weise kombinierten Daten können integrativ analysiert werden und zu einer ganzheitlichen Betrachtung bei kommunalen Entscheidungen beitragen.

Schlüsselwörter: Geodateninfrastruktur, Interoperabilität, systemorientierte Raumsimulation, Raumkybernetik, ganzheitliche Raumplanung

Abstract: In order to tackle challenges for local planning and for informative decision-making, it is crucial to combine and integrate geographical data from various data sources. In this present study, a method was developed in cooperation with local government decision makers for automatically processing and importing data from numerous sources into a straightforward and intuitively to use data model. This method was implemented in a GIS-tool which is able to handle different data models, coordinate systems, geometries and datatypes in a flexible way. The imported data can be combined, blended and analyzed and contribute to a holistic perspective for local decision-making.

Keywords: Spatial data infrastructure, interoperability, system-oriented spatial simulation, spatial cybernetics, holistic spatial planning

1 Motivation und Forschungsansatz

Kommunale Entscheidungsträger sehen sich bei Planungs- und Verwaltungsaufgaben täglich mit einer Vielzahl von sozialen und ökologischen Herausforderungen gleichzeitig konfrontiert. Dazu zählen bspw. konkurrierende Landnutzungsinteressen (DAI et al. 2001, ROJAS et al. 2009), der demographische Wandel (CHAMPION 2001), die lokale Daseinsvorsorge (LIBBE et al. 2010), die Vorhersage und Anpassungen an lokale Hochwasserereignisse (TYRNA & HOCHSCHILD 2010), der gute ökologische Zustand der Gewässer (WRRL 2000), oder die Versorgung mit sauberem und genießbarem Trinkwasser (KUMMU et al. 2010). Viele dieser Herausforderungen stehen untereinander durch Ursachen-Wirkungs-Geflechte und Rückkopplungseffekte in Beziehung und müssen als Teil eines komplexen Systems verstanden werden (VESTER 2002). Aus diesem Grund hat die Forschungsgemeinschaft mehrfach darauf hingewiesen, dass in der kommunalen Planung Lösungsansätze eine möglichst ganzheitliche Perspektive annehmen sollten (LI 2010, MILBERT 2013, H2020 GROUP OF THE EC 2015).

Bislang finden kommunale Planungsprozesse überwiegend sektoral getrennt in den einzelnen Fachabteilungen statt. Wenn ein GIS im Einsatz ist, liegen die Daten überwiegend in einzelnen sog. „Fachschalen“, oder voneinander getrennten Datenbanken vor. Nur wenige Kommunen verfügen über ein ganzheitliches Geodatenkonzept und eine GIS-Strategie.

Wenn die Geoinformatik als eine sich immer weiter öffnende, interdisziplinäre Domäne verstanden werden will, muss sie sich in die gesellschaftlich relevanten, größeren Zusammenhänge einbringen – mit ihren Methoden und unter Einbezug der bereits umfangreich vorliegenden Geodaten. KLEIN & MÜLLER (2012) schlagen vor, zur Beantwortung gesellschaftlicher Fragestellungen verschiedene räumliche Daten aus unterschiedlichen Datenquellen in einem Geoinformationssystem (GIS) zu organisieren und miteinander zu verschneiden, um anschließend systemare Wechselwirkungen zwischen den vorliegenden Daten abschätzen zu können. Die so analysierten Beziehungen können dann lokale Entscheidungsträger dabei unterstützen, planerische Alternativen und deren ganzheitliche Folgen gegeneinander abzuwägen.

2 Problemstellung und konzeptionelle Lösungsansätze

Viele der für ganzheitliche Betrachtungen notwendigen Geodaten werden bereits in Geodateninfrastrukturen bereitgestellt (INSPIRE 2007, GDI-DE 2013). Diese liefern allerdings derzeit noch nicht flächendeckend die benötigte Qualität, Einheitlichkeit und Interoperabilität. Erschwerend kommt hinzu, dass lokale Entscheidungsträger als Endnutzer meist nicht mit Geoinformationssystemen und den zugrunde liegenden Datenmodellen vertraut sind.

In der vorliegenden Studie wird ein Verfahren vorgestellt, welches den einfachen automatisierten Datenimport aus verschiedenen Datenquellen in ein den kommunalen Anforderungen entsprechendes Datenmodell ermöglicht, das von lokalen Entscheidungsträgern ohne Geoinformatik-Kenntnisse verwendet werden kann.

Darüber hinaus sollen einfache räumliche Zusammenhänge durch die Verschneidung von Daten aus unterschiedlichen Kontexten im GIS bereits optisch wahrnehmbar gemacht werden. Die vorgestellte Methode, die in einem Geoprozessierungs-Tool implementiert wurde, ist dabei je nach Fragestellung und Datenverfügbarkeit welt-, deutschland-, landesweit, sowie regional oder lokal zur Aufbereitung von Geodaten für kommunale Entscheidungsprozesse einsetzbar. Dabei können zusätzlich zu den bereits implementierten Datenquellen weitere Datenquellen durch die Endnutzer auf einfache Weise definiert werden.

2.1 Datenquellen und Inkonsistenzen

Eine integrative interdisziplinäre Nutzung von Geodaten setzt eine Standardisierung der fachbezogenen Einzeldatenbestände voraus. Schnittstellen, wie bspw. die Normbasierte Austauschschnittstelle (NAS) oder die Standards des OGC sollen dann eine Interoperabilität der Daten ermöglichen. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass Geodaten aus verschiedenen Quellen meist nicht ohne weiteres uneingeschränkt gemeinsam genutzt werden können. Verantwortlich dafür sind bspw. unterschiedliche oder fehlende Bezugssystemfestlegungen, nicht standardisierte oder inkonsistente Datenmodelle, uneinheitliche Schreibweisen, der Gebrauch von Sonderzeichen, vielfältige Datenformate, oder unterschiedliche Geometrie- und Datentypen. Um flexibel auf diese Inkonsistenzen reagieren und betreffende Geodaten dennoch

gemeinsam nutzen zu können, wurden im Rahmen dieser Studie Regeln für mögliche Konflikte definiert und in Daten-, Attribut- und Synonymkatalogen sowie einem Sonderzeichenumwandler operationalisiert (vgl. Abb. 1 und Abschnitt 3).

2.2 Intuitives Datenmodell

Um es Personen ohne Geoinformatik-Kenntnisse zu ermöglichen, informative Entscheidungen unter Zuhilfenahme von Geodaten zu fällen, ist es erforderlich, aufbereitete Daten in einem vereinfachten Datenmodell zur Verfügung zu stellen. Für den Endnutzer sollte die Struktur dieses Datenmodells intuitiv verständlich sein, um ohne Hürden genutzt werden zu können. Dazu sollten Daten aus unterschiedlichen Quellen verschiedenen Themenbereichen bzw. Fachämtern der Kommunalverwaltung zugeordnet werden (u. a. Grundversorgung, Gesundheit, Bildung, Betreuung, Soziales, Transport, Unterhaltung, Naherholung, Sport, Einkaufen, Dienstleistung, Umwelt). Außerdem sollten Informationen zur Flächennutzung und Gebäudeverteilung, das Verkehrsnetzwerk und verschiedene Planungseinheiten (z. B. Adresse, Baublock, Stadtteil) übersichtlich organisiert und intuitiv genutzt werden können.

3 Methode

3.1 Überblick über die Methode zur automatisierten Datenintegration

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Methode zur Datenintegration. Im ersten Schritt wird ein durch den Nutzer angegebenes Verzeichnis nach Geodaten durchsucht. Anschließend werden die Daten in ein neues Verzeichnis importiert und nach erfolgreicher Prozessierung automatisiert als nach Themen geordnete Gruppenlayer in einem GIS dargestellt. Die einzelnen Prozessierungsschritte sind in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

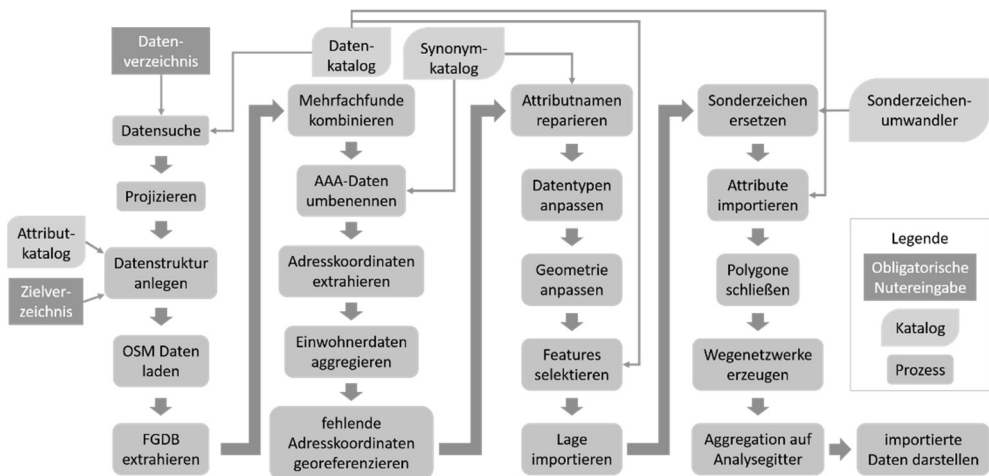


Abb. 1: Schematische Darstellung zur automatisierten Integration aus heterogenen Datenquellen

3.2 Datenquellen und benutzerdefinierte Filter

Die Suche nach Daten im angegebenen Verzeichnis wird anhand eines leicht erweiterbaren Datenkatalogs durchgeführt (s. Tab. 1). Hierbei werden Daten in den Formaten .shp, .gdb, .xls, .xlsx, .csv, .txt, und .osm erkannt (siehe Abschnitt 3.3). Es können mehrere Datenquellen in einen Layer importiert werden, wobei der Katalog mithilfe von Standardbüro-Software zeilenweise erweitert werden kann. Die Einträge „Attributimport“ und „zu übernehmende Attribute/Selektion“ können wahlweise genutzt werden, um eine Auswahl der Quelldaten zu importieren, oder um bestimmte Attribute zu übernehmen.

Tabelle 1: Struktur des erweiterbaren Datenkatalogs

Import nach				Export aus			Priorität
Kategorie	Unter-kategorie	Layer	Attribut-import	mögliche Daten-quelle	möglicher Quelldateiname	zu übernehmende Attribute/Selektion	
POI	Grund-versorgung	Polizei	–	ALKIS	AX_Gebaeude	GFK = 3071	3
Netzwerke	Netzwerke	Strassen	MaxSp	OSM	roads	maxspeed	2
Planungs-einheiten	Planungs-einheiten	Adresse	–	Geobasis NRW	Hausumringe		1
POI	Soziales	Verein	Mitgld	Eigene Erhebung	Verein	Anzahl Mitglieder	1
POI	Einkaufen/Dienstleistung	Bäcker	–	Kommune	Baecker		1
...

Wie in Tabelle 1 angedeutet, können bspw. deutschlandweit aus Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystemen (ALKIS) oder Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystemen (ATKIS) Gebäudedaten, sowie Daten zur Flächennutzung importiert werden. Ebenfalls deutschlandweit können Daten aus dem XErleben-Projekt integriert werden, welches insbesondere POIs im Freizeitbereich vorhält. Wahlweise können OpenStreet-Map-Daten weltweit genutzt werden, um Wegenetze abzuleiten und POIs zu importieren. Demographische Daten können aus Einwohnermeldeamtsdaten aggregiert und mit Daten zu Hauskoordinaten und -umringen verschnitten werden. Außerdem können bspw. Verkehrs- und Unfalldaten, Daten zu Mitgliederzahlen in Sportvereinen sowie POIs aus eigenen Datenerhebungen berücksichtigt werden. Für den Endnutzer besteht sowohl die Möglichkeit auf einfache Weise verschiedene Datenquellen zur Integration hinzuzufügen, als auch bestimmte Datenquellen von der Aufbereitung auszunehmen, sowie bestimmte Quellen über andere zu priorisieren.

3.3 Flexibler Umgang mit verschiedenen Datenformaten und -modellen

Zunächst wird für jeden Fund im angegebenen Datenordner überprüft, ob sich die entsprechenden Daten im vom Nutzer angegebenen Koordinatensystem befinden. Ist dies nicht der Fall, werden diese Daten entsprechend projiziert. Um eine vollständige herstellerunabhängige Interoperabilität zwischen allen Software-Komponenten zu gewährleisten (Abschnitt 3.6), werden im nächsten Schritt Daten aus Filegeodatabases in Shapefiles exportiert und evtl. vorliegende Einwohner- und Verkehrsdaten in den Formaten .csv, .xls und .xlsx mit den entsprechenden Shapefiles verbunden. Liegen Adresskoordinaten im .txt-Format vor, werden diese in ein XY-Event-Layer geladen und anschließend in ein Shapefile exportiert und mit Adressen aus Einwohnermeldeamtsdaten abgeglichen. Fehlende Adressen können, wahlweise durch Google Maps oder OpenStreetMap, automatisch georeferenziert werden.

Außerdem werden die Geometrien der Ausgangsdaten entsprechend den gewünschten Zielgeometrien im vereinfachten Datenmodell angepasst. Liegen bspw. die Ausgangsdaten als Polygone vor und sollen diese als Liniendaten importiert werden, werden die Daten entsprechend konvertiert. Gleichermaßen werden ggf. Polygone aus geschlossenen Linien erzeugt. Anschließend wird sichergestellt, dass alle Polygone vollständig geschlossen sind.

Bei den attributiven Daten werden zunächst die Namen für Attributfelder mit einem Synonymkatalog abgeglichen. Werden Synonyme erkannt, werden diese entsprechend ausgetauscht und vereinheitlicht. Sonder- sowie Leerzeichen werden in einer Unterfunktion ausgetauscht. Liegen Daten in einem Attributfeld mit einem unerwarteten Datentyp (String, Boolean, ...) vor, werden diese entsprechend in ein neues Attributfeld übertragen.

3.4 Aggregation von Attributen auf ein einheitliches Analysegitter

Für die Planungseinheiten Untersuchungsgebiet, Kommune, Postleitzahlengebiet, Stadtteil, Statistischer Bezirk oder Wahlbezirk, Bodenrichtwertzone, Quartier, Flächengliederung gemäß der Bauleitplanung, Baublock und Adresse wird für jedes Attribut überprüft, für welche Planungseinheit Daten mit höchster räumlicher Auflösung vorliegen. Zur Vergleichbarkeit verschiedener Daten aus unterschiedlichen Quellen werden diese Daten auf ein einheitliches Analysegitter aggregiert. Darüber hinaus sorgt diese Aggregation im Sinne des Datenschutzes für die nötige Anonymisierung möglicher personenbezogener Daten. Die einzelnen Werte werden anhand des Flächenanteils der Ursprungsfeatures an der Zielgitterzelle gewichtet. Dabei definiert der Attributkatalog, welche Attribute als Summenwerte und welche als Durchschnittswerte angesehen werden sollten. Bspw. wird die Einwohnerzahl als Summe aggregiert, wohingegen das Alter der Bevölkerung als Durchschnittswert interpretiert und aggregiert wird. Um keine mathematischen Annahmen zu verletzen, ist dabei zu beachten, dass für den letzteren Fall Daten vorliegen sollten, die mindestens als intervallskaliert angesehen werden können. Ist dies nicht der Fall, sollten Aussagen, die auf Grundlage der importierten Daten gemacht werden, zumindest kritisch hinterfragt werden. Die verwendete Formel für Aggregationen von Summenwerten lautet

$$x_j = \sum_{i=0}^n \frac{x_i}{A_i} * A_G \quad (1)$$

wobei x_j dem neuen Wert in der entsprechenden Gitterzelle entspricht, n entspricht der Anzahl der Features, die in diese Gitterzelle aggregiert werden, x_i entspricht den Ausgangswerten, A_i entspricht der Fläche (für Polygone) bzw. Länge (für Linien) des zu aggregierenden Features und A_G entspricht der Fläche (für Polygone) bzw. Gesamtlängenanteile der Ausgangsfeatures (für Linien) in der entsprechenden Gitterzelle. Entsprechend wird für die Aggregation von Dichte- bzw. Durchschnittswerten folgende Formel verwendet:

$$x_j = \sum_{i=0}^n \frac{x_i * A_i}{A_{fG}} \quad (2)$$

wobei A_{fG} der Summe der Gesamtflächenanteile (für Polygone) bzw. Gesamtlängenanteile der Ausgangsfeatures (für Linien) entspricht, die sich innerhalb der entsprechenden Gitterzelle befinden. Diese Herangehensweise ermöglicht es, dass Werte auf Features aggregiert werden können, die eine andere Geometrie und Ausdehnung besitzen als die Quellfeatures.

3.5 Fallstudie „Kommune im Ruhrgebiet“

Um die Anforderungen an das Tool zu testen, wurden im Rahmen einer Fallstudie Daten für ein Untersuchungsgebiet herangezogen, welches sich über ca. 8.3 km² erstreckt und die Innenstadt von Herdecke (südliches Ruhrgebiet, NRW) abdeckt. Im Test war das entwickelte Werkzeug in der Lage, Daten der Stadt Herdecke, des zugehörigen Ennepe-Ruhr-Kreises, des Regionalverbandes Ruhr, von Geobasis NRW, des Landesbetriebs Straßen NRW, des Landessportbundes NRW, OpenStreetMap-Daten und eigens erhobene Daten zu erkennen, aufzubereiten und miteinander zu verschneiden.

3.6 Verwendete Software und Flexibilität des GIS-Tools

In Feedbackgesprächen mit den kommunalen Verwaltungen stellte sich heraus, dass eine Umsetzung für die Software ArcGIS wünschenswert sei, da diese Software in vielen kooperierenden Kommunen verbreitet ist. Auf Wunsch der kooperierenden Kommunen wird in der vorliegenden Implementierung ArcGIS 10.2 zur Visualisierung der importierten Daten verwendet und um Skripte anzustoßen. Python 2.7 wird für objektorientiertes Programmieren, automatische Prozessierung mit Zugriff auf die arcpy-Bibliothek und als Schnittstelle zwischen ArcGIS und R genutzt. Die Statistiksoftware R 3.2.1 dient als Rechenkern und nutzt statistische Werkzeuge. Unterstützend werden die Data Interoperability Erweiterung für ArcGIS und der ArcGIS Editor for OpenStreetMap verwendet, um Daten aus Online-Quellen zu importieren. Der Datenkatalog ist als Microsoft Excel Dokument verfügbar.

Prinzipiell lassen sich anhand der vorgestellten Funktionsweise für kommunale Entscheidungsprozesse weltweit Daten miteinander aufbereiten und verschneiden. Dazu wurde in dem entwickelten Tool eine Schnittstelle zu OpenStreetMap-Daten angelegt. Außerdem lassen sich Daten, die dem Standard des AAA-Modells entsprechen, deutschlandweit automatisiert aufbereiten. Darüber hinaus wurden bereits für Anwendungen in Nordrhein-Westfalen (NRW) und in der Ruhr-Region verschiedene Datenquellen identifiziert und definiert. Zusätzlich zu diesen bereits vordefinierten Datenquellen lässt sich die Liste der Datenbestände auf einfache Weise durch den Endnutzer erweitern, um weitere bspw. lokale und eigens erhobene Geodaten miteinzubeziehen (Abschnitt 3.2, Tab. 1).

4 Ergebnisse

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, kann durch eine benutzerfreundliche Gestaltung das entwickelte Tool auch von Nutzern ohne spezielle Geoinformatik-Kenntnisse zum Import von Geoinformationen genutzt werden. Obligatorische Angaben betreffen lediglich das Verzeichnis, in dem sich Daten befinden, und einen Namen für das anzulegende Verzeichnis, in das alle Daten einheitlich importiert werden sollen. Weitere Angaben sind optional und selbsterklärend bezeichnet.

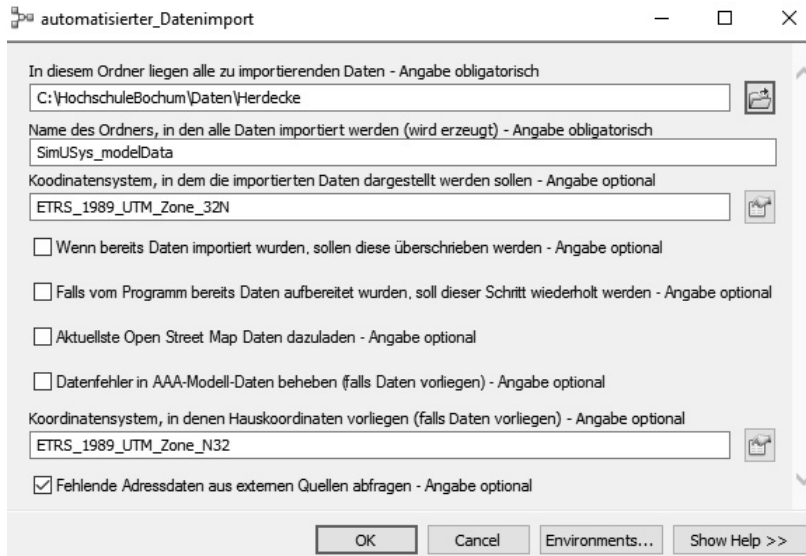


Abb. 2: Nutzeroberfläche des entwickelten Tools zum automatisierten Datenimport

Tabelle 2: Anzahl importierter Features im Praxistest für das Untersuchungsgebiet in Herdecke (ca. 8.3 km²) nach Themengebieten

Themengebiet (Verzeichnisse/Layer)		Beispiele (Shapefiles)	Feature- anzahl	Σ
Netzwerke		Straßen, Ampeln, ...	3142	3142
Planungseinheiten		Adressen, Baublöcke, ...	7911	7911
POI	Grundversorgung	Polizeiwachen, Hydranten, ...	6	1079
	Gesundheit	Ärzte, Apotheken, ...	35	
	Bildung/Betreuung	Schulen, Kitas, ...	31	
	Soziales	Hilfswerke, Vereine, ...	179	
	Transport	Bushaltestellen, Bahnhöfe, ...	105	
	Unterhaltung/Naherholung/Sport	Museen, Spielplätze, ...	201	
Einkaufen/Dienstleistungen		Lebensmittelgeschäfte, Poststellen, ...	522	
Σ				12132

Wie in Tabelle 2 und Abbildung 3 zu erkennen ist, wurden im Praxistest im Rahmen der Fallstudie Daten zu allen definierten Themengebieten identifiziert. Dabei wurden 3.142 Netzwerk-Features (Straßen, Ampeln, ...), 7.911 Features des Themengebietes Planungseinheiten (Adressen, Baublöcke, ...) und 1.079 POIs erkannt, aufbereitet und importiert.

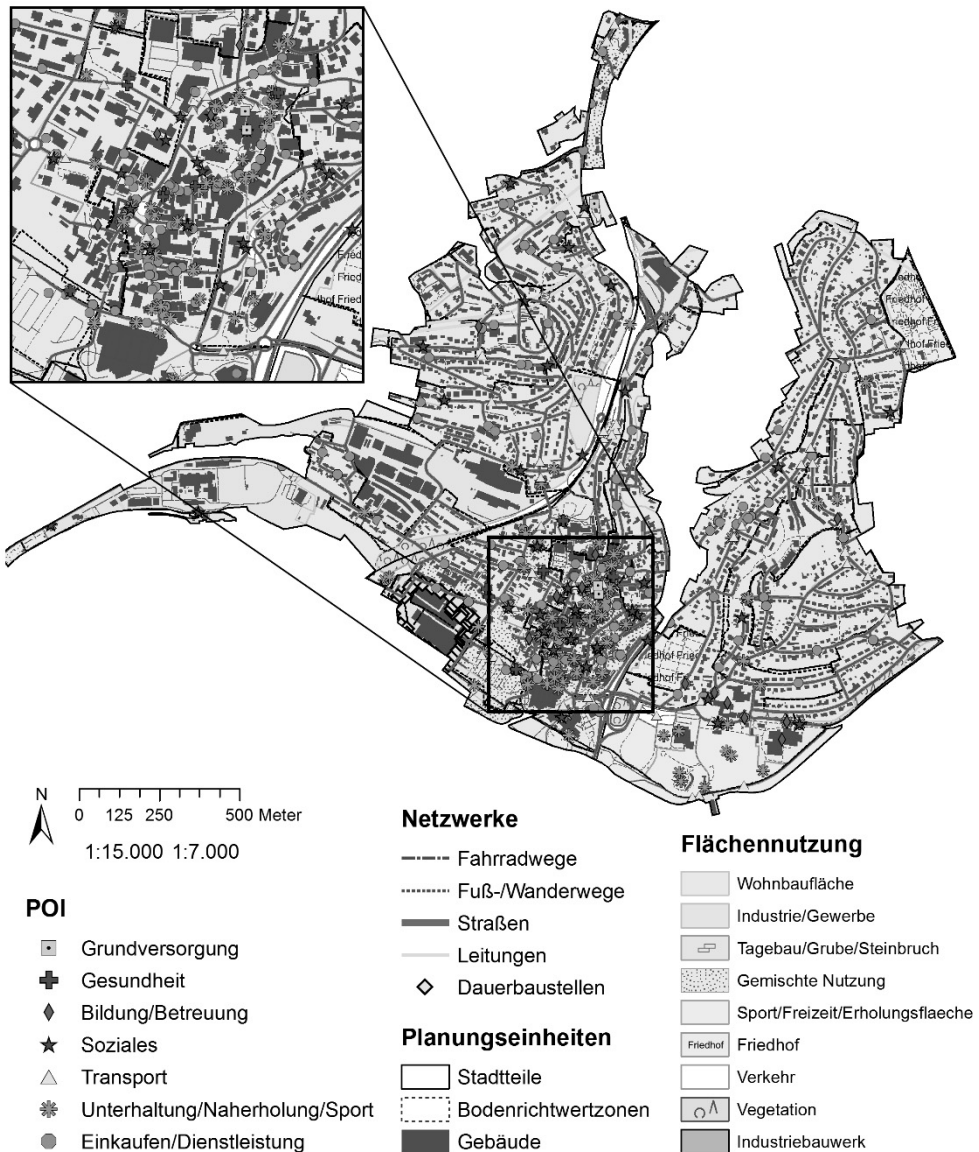


Abb. 3: Darstellung automatisiert aufbereiteter Daten in ArcGIS für das Untersuchungsgebiet in Herdecke und Detailansicht für die Innenstadt. Attribute einzelner Layer sowie auf das Analysegitter aggregierte Daten sind nicht dargestellt.

5 Diskussion

Die hier vorgestellte Vorgehensweise ist geeignet, Endnutzern ohne Geoinformatik-Kenntnisse zu ermöglichen, Daten unterschiedlicher Quellen, Datenmodelle, Koordinatensysteme, Geometrien und Datentypen in ein einheitliches und leicht verständliches Datenmodell zu importieren, um sie anschließend in einem GIS direkt nutzen zu können. Häufige Synonyme werden erkannt und kleinere Fehler in der Datengrundlage automatisiert ausgebessert. Die vorgestellte Vorgehensweise stößt bei größeren Inkonsistenzen in der Datengrundlage oder nicht definierten Synonymen für bspw. Attribute an ihre Grenzen. Die Funktionalität des entwickelten Tools wurde anhand einer Fallstudie demonstriert und lässt sich problemlos auf andere Kommunen übertragen. Dabei lassen sich mit dem bisher vordefinierten Datenkatalog die besten Ergebnisse für Kommunen in NRW und allgemein in Deutschland erzielen. Zur weltweiten Nutzung für kommunale Fragestellungen ist bisher zwar lediglich OpenStreet-Map als Datenquelle vordefiniert, der Datenkatalog lässt sich aber auf einfache Weise um weitere Datenquellen erweitern.

Vorteile gegenüber dem Einsatz einer Extract, Transform, Load-Software (ETL) bestehen darin, dass Kataloge mit gängiger Tabellenkalkulations-Software leicht erweitert werden können. Außerdem besteht durch Anpassung der Python- und R-Skripte volle Kontrolle über alle Prozesse, was zur Flexibilität des entwickelten Tools beiträgt. Die Umsetzung des vorgestellten Tools basiert auf ArcGIS, da diese Software in vielen Kommunen verbreitet ist. In Zukunft soll zusätzlich eine Variante des Tools entwickelt werden, welche neben der Software R vollständig auf freier Software wie bspw. QGIS basiert.

Zukünftige Erweiterungen sollen zusätzliche Datenquellen automatisiert erkennen, aufbereiten und importieren, wie bspw. Zensus-Daten, digitale Höhenmodelle, Flächennutzungskartierungen, Bauleitpläne im XPlanungsformat, Daten aus den INSPIRE- und GDI-DE-Geoportalel sowie Umweltdaten der Landesämter. Außerdem sollen weitere Datenformate wie bspw. .gml und .xml verarbeitet werden können.

Durch die Nutzung einheitlich integrierter Geodaten, die miteinander verschnitten und integrativ analysiert werden können, ergibt sich für die kommunale Planung und Verwaltung ein erheblicher Mehrwert. Bspw. kann eine breite Datengrundlage dabei helfen, fachbereichsspezifische Kommunikationsbarrieren abzubauen und eine ganzheitliche Perspektive einzunehmen. Dies kann dazu führen, dass vorher unerkannte Probleme kooperativ und fachübergreifend gelöst werden können. Auf diese Weise können einheitlich integrierte Daten zu einer effizienteren und nachhaltigeren Raumplanung beitragen.

Literatur

- CHAMPION, A. G (2001), A changing demographic regime and evolving poly centric urban regions: Consequences for the size, composition and distribution of city populations. *Urban Studies*, 38 (4), 657-677. doi: 10.1080/00420980120035277.
- DAI, F. C., LEE, C. F. & ZHANG, X. H. (2001), GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*, 61 (4), 257-271. doi:10.1016/S0013-7952(01)00028-X.

- GDI-DE – GEODATENINFRASTRUKTUR DEUTSCHLAND (2013), Vereinbarung zwischen dem Bund und den Ländern zum gemeinsamen Aufbau und Betrieb der Geodateninfrastruktur Deutschland (Verwaltungsvereinbarung GDI-DE).
http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Verwaltungsvereinbarung_2013.pdf?__blob=publicationFile (11.04.2016).
- H2020 GROUP OF THE EUROPEAN COMMISSION (2015), Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities – Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities'. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2015.
<http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/renaturing/nbs.pdf> (24.08.2015).
- INSPIRE – INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN EUROPE (2007), Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:en:PDF> (11.04.2016).
- KLEIN, U. & MÜLLER, H. (2012), Humans and Environment: Cause and Effect Analysis Supported by Spatial Data Infrastructures. FIG Working Week, Rome, Italy, 2012.
https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2012/papers/ts01d/TS01D_klein_mueller_5585.pdf (19.01.2016).
- KUMMU, M., WARD, P. J., DE MOEL, H. & VARIS, O. (2010), Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. *Environmental Research Letters*, 5 (3), 1-10, doi: 10.1088/1748-9326/5/3/034006.
- LIBBE, J., KÖHLER, H. & BECKMANN, K. J. (2010), Infrastruktur und Stadtentwicklung. Technische und soziale Infrastrukturen – Herausforderungen und Handlungsoptionen für Infrastruktur- und Stadtplanung. Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin.
- MILBERT, A. (2013), Vom Konzept der Nachhaltigkeitsindikatoren zum System der regionalen Nachhaltigkeit.
http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/IzR/2013/1/Inhalt/DL_Milbert.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (25.01.2016).
- ROJAS, C., PINO, J., CORINA, C. & VIVANCO, M. (2009), Assessing land-use and-cover changes in relation to geographic factors and urban planning in the metropolitan area of Concepción (Chile). Implications for biodiversity conservation. *Applied Geography*, 39, 93-103. doi: 10.1016/j.apgeog.2012.12.007.
- TYRNA, B. G. & HOCHSCHILD, V. (2010), Modellierung von lokalen Überschwemmungen nach Starkniederschlägen. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2010*. Wichmann, Berlin/Offenbach, 325-334.
- VESTER, F. (2002), *Die Kunst vernetzt zu Denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*. Ein Bericht an den Club of Rome. Deutscher Taschenbuchverlag, München.
- WRRL – WASSERRAHMENRICHTLINIE. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000.
http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF (19.01.2016).