Geodateninfrastrukturen als Datenvehikel für ein ‚Urban Mining Kataster‘

Mehrwerte durch INSPIRE, GDI und OpenData
Estimation of material stocks in buildings using EU-wide SDI INSPIRE

Benjamin Christopher Schnitzer, 2021

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Geodateninfrastrukturen als Datenvehikel für ein ‚Urban Mining Kataster'

Vom Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Benjamin Christopher Schnitzer, M.Eng.

Erstreferent: Prof.-Dr.-Ing. Hans Joachim Linke, Technische Universität Darmstadt
1. Korreferent: Prof.-Dr.-Ing. Robert Seuß, Frankfurt University of Applied Science (FRA-UAS)

Tag der Einreichung: 15.12.2021
Tag der Disputation: 17.03.2022

Darmstadt 2021
D17

Schnitzer, Benjamin Christopher:
Geodateninfrastrukturen als Datenvehikel für ein ‚Urban Mining Kataster'

Darmstadt, Technische Universität Darmstadt
Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUprints: 2022
URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-212064
Tag der mündlichen Prüfung: 17.03.2022

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International

Für Jarne und Jakob.
Für Franziska.

„Wir ertrinken in Informationen und hungern nach Wissen“

(J. Naisbitt / P. Aburdene, 1991)

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS I

ZUSAMMENFASSUNG 1

ABSTRACT 4

1. EINLEITUNG - NACHHALTIGKEIT UND RESSOURCENSCHONUNG 6

1.1. ZUR BEDEUTUNG ANTHROPOGENER ROHSTOFFLAGER 10

1.2. AKTUELLE BEDEUTUNG DES „URBAN MINING“ 12

2. ZIELSETZUNG UND AUFBAU DER ARBEIT 13

2.1. AUFBAU DER ARBEIT 13

2.2. THESEN 15

2.3. FORSCHUNGSFRAGEN 16

3. GRUNDLAGEN GEODATENINFRASTRUKTUREN UND OPEN DATA 17

3.1. GEODATENINFRASTRUKTUREN (GDI) 17

3.1.1. Spatial enabled Governement 17

3.1.2. Geodateninfrastrukturen 18

3.1.3. Interoperabilität 22

3.1.3.1. Syntaktische & technische Interoperabilität 23

3.1.3.2. Semantische Interoperabilität 24

3.1.4. INSPIRE 25

3.1.4.1. INSPIRE Datenmodellierung 28

3.1.4.2. INSPIRE Registry 31

3.1.5. GDI in Deutschland (GDI-DE) 33

3.1.6. Kommunale Geodateninfrastruktur 37

3.1.7. Zusammenfassung aktueller Stand beim Aufbau von Geodateninfrastrukturen 40

3.2. OPEN DATA 42

3.2.1. Definition von Open (Government) Data 42

3.2.2. Open Data in Deutschland 44

3.2.3. Open Geo Data 47

3.2.4. Volunteered Geographic Information / OpenStreetMap 48

3.2.5. Geodateninfrastrukturen und Open Data 50

4. RESSOURCENWIRTSCHAFT UND URBAN MINING 54

4.1. URBANER METABOLISMUS UND URBANE SYSTEME 54

4.2. URBAN MINING 55

4.2.1. Motivation zur Umsetzung eines Urban Mining im Bereich der Immobilienwirtschaft 58

4.2.2. Der räumliche Aspekt des Urban Mining 59

4.2.3. Definition „Urban Mining Kataster“ 61

4.2.4. Akteure des Urban Mining ... 62
4.2.5. Urban Mining, Kommunale Planung & Smart City ... 64
4.3. Ansätze zum Aufbau eines Urban Mining Kataster in der Praxis ... 66
4.4. Beschreibungen aktueller Methoden ... 66
4.4.1. Top-Down ... 66
4.4.2. Bottom-Up ... 67
4.4.3. Kombination beider Ansätze ... 67
4.5. Forschungsarbeiten zur Ressourceninventarisierung und des Urban Mining ... 68
4.5.1. Forschungsarbeiten im deutschsprachigen Raum ... 68
4.5.1.1. Projekt des IÖR et. al ... 68
4.5.1.2. Projekt PRRIG (Technische Universität Darmstadt) ... 70
4.5.1.3. Urban Mining innerhalb der Stadt Wien ... 71
4.5.1.4. Metropol Region Rhein-Ruhr ... 73
4.5.1.5. Projekt UMKAT ... 73
4.5.1.6. Urban Mining - München-Freiham ... 73
4.5.1.7. Weitere Projekte ... 74
4.5.2. Internationale Forschungsarbeiten ... 75
4.6. Eine Datenbasis für Urban Mining als Forschungsschwerpunkt ... 76
4.7. Zusammenfassung und Bewertung aktueller ‚geodatengetriebener Ansätze' ... 78
4.8. Zusammenfassung und Definition des weiteren Forschungsbedarfs ... 79
4.9. Systemgrenze des weiteren Vorgehens ... 80
5. ANFORDERUNGSANALYSE & DEFINITION: URBAN MINING KATASTER UND GEODATENINFRASTRUKTUREN ... 82
5.1. Anforderungsbeschreibung an eine Geodateninfrastruktur ... 84
5.2. Modell- und Datenebene ... 88
5.3. Zusammenfassung: Bottom-Up als Geodatengetriebener Ansatz – Die Modellebene ‚Geodaten' ... 90
6. MODELLEBENE: GEODATENINFRASTRUKTUREN - EINE HARMONISIERTE BASIS FÜR EIN 'URBAN MINING KATASTER' ... 91
6.1. Geodatenstandards und Anwendungsschema für 3D-Stadtmodelle ... 91
6.1.1. Standard CityGML ... 92
6.1.2. Building Information Models (BIM) ... 93
6.1.3. CityGML in Deutschland ... 94
6.1.4. Hemmnisse bei der Nutzung aktueller CityGML-Modelle ... 95
6.1.5. Berechnung von Baukörpervolumen aus 3D Stadtmodellen (Exkurs) ... 95
6.2. INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude (INSPIRE BU) ... 97
6.2.1. Building Core2D ... 99
6.2.2. Datentypen & Semantische Codelisten ... 100
6.2.3. Datentransformation und Umsetzungstand in Deutschland ... 105
6.2.3.1. INSPIRE-Datentransformation ... 105

6.2.3.2. ALKIS CityGML LoD I & INSPIRE BU in Deutschland 107
6.3. Modellannahmen – Definitionen zur Schließung von Datenlücken 111
6.4. Modellebene: Geodateninfrastrukturen - eine harmonisierte Basis für ein 'Urban Mining Kataster' 114
6.5. Definition des INSPIRE BU 2D Simple Model für ein Urban Mining Kataster 115
7. MODELLIERUNGSEBENE: TYPOLOGIEN, VIRTUELLE GEBÄUDE UND MATERIALKENNZIFFERN (MKZ) 120
7.1. Begriffsdefinitionen 120
7.1.1. Bauköperspezifische Definitionen und Kenngrößen 120
7.1.2. Rohstoff- und Materialgruppen 121
7.2. Typologien und Codierungen 123
7.2.1. Ziel einer Gebäudetypologie im Kontext des Urban Mining 123
7.2.2. Wohngebäudetypologien 124
7.2.3. Nichtwohngebäudetypologien 124
7.2.4. PRRIG Gebäudetypologie für Nichtwohngebäude 125
7.2.5. ALKIS Gebäudefunktion 126
7.2.6. INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude 127
7.2.7. Verwendete Gebäudetypologien im Kontext des Urban Mining und deren Gegenüberstellung 128
7.2.8. Bewertung von Gebäudetypologien im Urban Mining 133
7.3. Baualtersklassen 133
7.4. Definition Referenzgebäude (Virtuelle Gebäude) 134
7.5. Zusammenfassung aktueller Studien zur Erfassung von MKZ in Gebäuden 136
7.5.1. Forschungsarbeiten zum Ressourceninventar der Stadt Wien 136
7.5.2. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) 137
7.5.3. MKZ – Projekt PRRIG 137
7.5.4. 2007 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (BDZ) 138
7.5.5. Weitere potenzielle Datengrundlagen und Methoden 139
7.6. Zuordnung bestehender Materialerfassung von Referenzgebäuden zur INSPIRE Gebäudetypisierung (CurrentUse) 139
7.7. INSPIRE Codeliste CurrentUse – Erweiterung und Aufbau einer Registry 142
7.8. Weiterentwicklungsmöglichkeiten der MKZ Definition 144
8. DATENEBENE: URBAN MINING KATASTER –BESTANDSDATENERFASSUNG 146
8.1. Bestandsaufnahme – Geodatenidentifikation (Basisdaten) 146
8.2. Geobasisdaten in Deutschland - AFIS-ALKIS-ATKIS 146
8.3. INSPIRE Datenthemen als Datengrundlage zur synergetischen Geodatenfusion 147
8.4. OpenStreetMap 148
8.5. Weitere öffentliche & private Geodaten (Erweiterbarkeit) 150
8.6. Umsetzungsskizze der Modell- und Datenebene 151
9. FAZIT 153
9.1. Datenungenauigkeit und Zuordnung (Optimierungsmöglichkeiten) 154

9.2. INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude und deren Anwendung als Urban Mining Kataster 154
9.3. Mehrwerte von Geodateninfrastrukturen und Open Data 155
9.4. Die Relevanz von Open Data für ein Urban Mining Kataster 156
9.5. Die Problematik des Datenschutzes 157
9.6. Übertragbarkeit der Gesamtmethodik 158
9.7. Beantwortung der Forschungsfragen 159
10. AUSBLICK 161
ABBILDUNGSVERZEICHNIS 166
TABELLENVERZEICHNIS 169
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 170
LITERATURVERZEICHNIS 173
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG 203
ANHANG – ÜBERSICHT 205

Anmerkung zur Schreibweise: An einigen Stellen dieser Arbeit werden gängige englische Begriffe aus dem Bereich der Geodateninfrastrukturen (GDI) und der allgemeinen Informationstechnik (IT) verwendet. Beispielhaft sei hier der englische Begriff ‚Open Data' genannt, welche gebräuchlich anstelle und / oder gemeinsam mit dem Begriff ‚Offene Daten' verwendet wird. Die Verwendung der englischen Begriffe dient dabei einzig der Lesbarkeit und Einheitlichkeit.

Sollte an ausgewählten Stellen keine gendergerechte Sprachform gefunden worden sein so beziehen sich die dort getroffenen Ausführungen ungeachtet gleichermaßen auf alle Personengruppen.

Mit einfachen ‚Anführungszeichen' werden Eigenwörter und technische Begrifflichkeiten gekennzeichnet, wörtliche Zitate dagegen in „doppelten Anführungszeichen".

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt einen Ansatz zur interdisziplinären Verknüpfung verschiedener Forschungsthemen dar. Im Gesamtrahmen des Nachhaltigkeitsdiskurses, mit übergeordneten Themenfeldern wie dem Klimawandel und der Ressourcenknappheit einiger Rohstoffe, arbeiten unterschiedliche Fachdisziplinen an Lösungsmöglichkeiten um die teils tiefgreifenden technologischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Veränderungen zukunftsfähig und nachhaltig zu gestalten. Im Bereich der Ressourcenwirtschaft sind Ansätze zur Wiederverwendung von Rohstoffen, um ein Beispiel zu nennen, bereits etablierte Mechanismen, im Bereich der Bauwirtschaft sind Optimierungen im Rückbau und der Wiederverwendung von Baumaterialien keine Randerscheinung und letztendlich ist die Modellierung und Erfassung von Gebäudeinformationen auf unterschiedlichen Skalenebenen schon lange eine Kernaufgabe der Geodäsie bzw. neuerdings der Geomatik. Individuell betrachtet ergeben sich in den verschiedenen Themenfeldern Fragestellungen, welche oftmals nur mit erheblichem Aufwand beantwortet werden können. Hierbei versteht sich ‚Urban Mining' als „systematische, zielorientierte Planung, Gestaltung und Mehrfachnutzung von anthropogenen Materialbeständen zum Zweck der optimalen Ressourcenschonung und des langfristigen Umweltschutzes." (Brunner und Kral 2012, S. 251) Im Vergleich zu Themen wie der Energieeinsparung und Energieeffizienz im Baubestand hat das Themenfeld der Erfassung und Nutzung von anthropogenen Lagerstätten bisher weniger Beachtung gefunden. Jedoch gerade das Materiallager, gebunden in Bauwerken und der vorhandenen Infrastruktur (allgemein auch als ‚gebaute Umwelt' zu bezeichnen), kann wichtige Ressourcen für die Zukunft liefern und damit zu einer allgemeinen Ressourcenschonung beitragen.

Für den Bereich eines Ressourcenkatasters, also der räumlichen und zeitlichen Erfassung von vorhandenen Ressourcen im Bestand der gebauten Umwelt, müssen interdisziplinäre Herangehensweisen eine umfassende gesicherte Datenquelle bereitstellen. Städte waren schon in der Historie immer von einer starken Wechselwirkung zu dem sie umgebenden Umland geprägt. In enger Beziehung zwischen Stadt und Umland wurden existenzielle Güter in die Stadt ein und (ebenso) Abfallprodukte wieder aus den Städten ausgeführt. Mit dem Beginn der Globalisierung haben sich diese Kreisläufe und materiellen Verflechtungen ausgedehnt. Allerdings, um im historischen Kontext zu bleiben, sind die Zeiten in denen an Stadttoren ein- und ausgehende Güter kontrolliert und erfasst werden lange vorbei. Das genaue anthropogene Inventar in Städten lässt sich über solche Verfahren folglich nicht abschätzen. Betrachtet man die Stadt als den ‚Schatz' oder die ‚Rohstoffmine der Zukunft', so folgt in direktem Zuge die Frage nach dem Inventar, also der quantitativen und qualitativen Beschreibung.

Der Fokus der hier vorgestellten Forschungsarbeit, liegt auf der Betrachtung von Rohstoffinventaren im Bestand von Gebäuden. Insbesondere Nichtwohngebäude stellen in diesem Kontext den derzeitigen Forschungsschwerpunkt dar. Das geschätzte Materialinventar des Nichtwohngebäudebestandes in Deutschlang liegt bei rund 6,8 Mrd. Tonnen. Im Verhältnis zum Wohngebäudebestand stellt dies eine Größenordnung von bis zu 45 Prozent dar (Gruhler und Deilmann 2015, S. 144). Weiter zeichnet sich dieser Gebäudesektor im Vergleich zu Wohngebäuden zum einen durch den höheren Anteil technischer Gebäudeausrüstung aus, zum anderen durch deutlich kürzere ‚Umlaufzeiten' bis zu einer Umnutzung, einem Teil-Abbruch oder dem vollständigen Abbruch. Dies ist sowohl durch die ökonomische Dynamik der zugehörigen Immobilienteilmärkte als auch durch die Notwendigkeit der Anpassung an die technologischen Anforderungen bedingt (Hassler und Kohler 2011a, S. 25; Schwaiger 2002). Entsprechend geht man von einer fünffach kleineren Überlebenswahrscheinlichkeit von Nichtwohngebäuden im Vergleich zu Wohngebäuden aus (Hassler und Kohler 2011a, S. 25). Dieser Bereich ist daher von besonderem Interesse hinsichtlich des Inventars und der Rückgewinnung hochwertiger Rohstoffe, vor allem von Metallen. Bislang liegen zudem nur wenige Untersuchungen zur Materialzusammensetzung von Nichtwohngebäuden vor. Während der Wohnbausektor sowohl hinsichtlich der verwendeten Materialien (Gruhler et al. 2002; Klauß et al. 2009) als auch der räumlichen Verteilung bereits relativ gut darstellbar ist

und sich Gesamtabschätzungen zum Bestand zu großen Teilen aus der amtlichen Statistik ableiten lassen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2013a, 2012), liegen im Bereich der Nichtwohngebäude deutliche Datenlücken vor (BMVBS 2013, S. 18). Zudem erschweren die allgemein hohe Dynamik in den Bestandsveränderungen, ein (qualitativ) inhomogener Bestand sowie schwer zu typisierende Gebäudeklassen die Erfassung in einem Rohstoffkataster (Hassler und Kohler 2011b, S. 18). Ein übergreifender Ansatz, welcher sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude vereinheitlicht auf Basis von standardisierten Geodatenmodellen modelliert und hinsichtlich ihrer Ressourcen inventarisiert liegt derzeit nicht vor. Für eine umfassende Gesamtbetrachtung und die damit möglich werdende Ableitung von Handlungen für einen nachhaltigen Umgang mit im Bestand gebundenen Ressourcen ist daher unerlässlich. Singuläre Betrachtungen mögen aus Forschungssicht interessant sein, reichen in der praktischen Anwendung aber eher nicht aus.

Die Motivation, sich mit dem Thema des Urban Mining in Verbindung mit Geodateninfrastrukturen zu beschäftigen, liegen somit auf der Hand. So wird dem Urban Mining bereits seit einiger Zeit eine zunehmende Bedeutung für die Ressourcenwirtschaft der Zukunft nachgesagt. Nach wie vor gilt dabei die nicht flächendeckende Verfügbarkeit von Daten als eines der zentralen Hemmnisse für die Implementierung eines solchen Katasters (Flamme und Krämer 2013; Kohler et al. 1999; Flamme et al. 2013; Schiller et al. 2010; Wittmer 2006; Heinrich 2018). Im Bereich der Geomatik sind Themen der Geodateninfrastruktur, der interoperablen Verfügbarmachung von eben solchen Geodaten sowie deren ubiquitäre Nutzung ein viel diskutiertes Themenfeld. Mit dem Aufbau eben solcher digitaler Infrastrukturen, von der europäischen bis zur regionalen Ebene, wird diesem seit vielen Jahren Rechnung getragen. Um das Potenzial des Urban Mining Wirklichkeit werden zu lassen, muss einer der ersten Schritte sein die Datengrundlage über das vorhandene Inventar zu verbessern. Die ‚Ressource' Geodaten kann für solche Betrachtungen im Bereich der gebauten Umwelt die entscheidende Grundlage und Basisinformation darstellen. Die bereits erhobenen Geoinformationen, in Verbindung mit der Möglichkeit weitere Informationsquellen über deren Raumbezug zu verbinden um letztendlich einen solchen Erkenntnismehrwert zu schaffen, ist das Ziel aktueller Geodateninfrastrukturen. Der Aufbau eines solchen regionalen Ressourcenkatasters hat hohe Anforderungen an die semantische Beschreibung von Gebäudeinformationen (Köhler und Schnitzer 2014; Zhu 2014, S. 245; Kleemann et al. 2016a). Zwar erfüllt das amtliche Kataster mit der fast flächendeckenden Verfügbarkeit von 3D-Geodaten (Level of Detail I - LODI) eine wichtige Voraussetzung zum Aufbau eines solchen Katasters, weiterführende und notwendige Informationen zu Gebäudetypen und Gebäudealter weisen aber oftmals Lücken auf. ‚Urban Mining Kataster', basierend auf vorhandenen Geodateninfrastrukturen, könnten diese vorhandenen Datenlücken schließen. Oftmals sind die notwendigen Informationen an unterschiedlichen Stellen vorhanden, eine sinnvolle gemeinsame Nutzung für ein Ressourcenkataster findet jedoch bisher nicht statt. Die deutliche Unterscheidung zwischen der Existenz von Daten, der Datenverfügbarkeit und letztendlich der Datenzugänglichkeit wird hierbei offenkundig.

Der Forschungsgegenstand ‚Urban Mining und Geodateninfrastrukturen' bringt naturgemäß eine Vielschichtigkeit an Themen mit sich. Diese werden in einer einführenden Analyse dargestellt und umfassend beschrieben. Darauf aufbauend zeigt die Arbeit mögliche Umsetzungen und fasst deren Anforderungen sowie Probleme, mit dem Fokus auf benötige Geodaten und deren Detaillierungsgrade (geometrisch und semantisch) zusammen. Im besonderen Fokus steht dabei die Anwendbarkeit von auf EU-Ebenen standardisierten und harmonisierten Geodatenmodellen (Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007; INSPIRE TWG BU 2013). Hierbei stellt sich die Frage der Datendetailierungsgerade: Neben der reinen Harmonisierung der Modelle, als theoretische Betrachtungs- und Analyseebene, müssen diese im weiteren Verlauf auch die notwendige Datenqualität und Quantität mitbringen. Nur eine umfassende Bereitstellung ermöglicht die Umsetzung für konkrete Anwendungsfälle der Urban Mining. Festzuhalten ist, dass die theoretische Ebene (Modellebene) seit der Einführung und dem Umsetzungsstart der INSPIRE-Harmonisierungen (2007) viel diskutiert und in der Folge angepasst wurde. Die Modellbildung ist dabei abgeschlossen und normativ vollständig verfügbar. Dem entgegen steht leider nach wie vor die konkrete Umsetzung. Im Jahr 2021 sollte die Umsetzung von INSPIRE und die

umfassende Datenbereitstellung weitgehend abgeschlossen sein. Wie die Realität zeigt, befinden sich viele Verwaltungen jedoch nach wie vor im Prozess der Harmonisierung und Bereitstellung der Daten (Europäische Kommission (Joint Research Center) 2020a). Bereits nachfolgende EU-Initiativen, wie die Schaffung themenbezogener Datenräume (Europäische Kommission 2020, S. 21), lassen weitere Anforderungen für die Zukunft deutlich werden. Es bleibt zu hoffen, dass diese Bestrebungen der gesamten Umsetzung einen neuen Schub verleihen und damit die konkrete Verfügbarkeit von Daten weiter vorangetrieben werden. Denn, erst die flächendeckende Verfügbarkeit der Daten macht Anwendungsszenarien, wie die eines Urban Mining Kataster, in der Realität möglich. Das zeigt der hier vorgestellte Ansatz zur Nutzung eben dieser harmonisierten Daten sehr deutlich.

Abstract

The thesis at hand represents an approach to the interdisciplinary combination of different current research topics. Within the overall framework of the sustainability debate, with overarching themes such as climate change and the shortage of resources for some raw materials, various disciplines are working on possible solutions to make the technological, economic, ecological and social changes. In the area of resource management, approaches to the reuse of raw materials, to name one example, are already established mechanisms; in the area of the construction industry, improvements in deconstruction and the reuse of building materials are not a peripheral phenomenon; and finally, the modelling and recording of building information at different scales has long been a core task of geodesy and, more recently, geomatics. Individually, questions arise in the various subject areas that can often only be answered with considerable effort. In this context, 'urban mining' is understood as "systematic, goal-oriented planning, design and multiple use of anthropogenic material stocks for the purpose of optimal resource conservation and long-term environmental protection." (Brunner & Kral 2012, 251 - translated) Compared to topics such as energy saving and energy efficiency in the building stock, the subject area of the collection and use of anthropogenic deposits has received less attention so far. However, it is precisely the material storage bound in buildings and the existing infrastructure (generally also referred to as the 'built environment') that can provide important resources for the future and thus contribute to a general conservation of resources.

Particularly for the area of a resource cadastre, i.e. the spatial and temporal inventory of existing resources in the built environment, interdisciplinary approaches must provide a comprehensive, secure source of data. Historically, cities have always been characterised by a strong interaction with the surrounding hinterland. In a close relationship between city and surrounding region, existential goods were brought into the city and (likewise) waste products were exported out of the cities. With the onset of the globalisation, these cycles and material interdependencies have expanded. However, to stay in the historical context, the times when goods entering and leaving cities were controlled and recorded at city gates are gone. Consequently, the exact anthropogenic inventory in cities cannot be estimated by such methods. If one considers the city as the 'treasure' or the 'raw material mine of the future', the question of the inventory, i.e. the quantitative and qualitative description, follows directly.

The focus presented in this thesis is on the consideration of raw material inventories in existing buildings. Non-residential buildings in particular are the current focus of research in this context. The estimated material inventory of the non-residential building stock in Germany is around 6.8 billion tonnes. In relation to the residential building stock, this represents up to 45 per cent of the total stock (Gruhler & Deilmann 2015, 144). Compared to residential buildings, this building sector is also characterised by a higher proportion of technical building equipment and by significantly shorter 'turnaround times' until conversion, partial demolition or complete demolition. This is due to both the economic dynamics of the associated real estate submarkets and the need to adapt to technological requirements (Hassler & Kohler 2011a, 25; Schwaiger 2002). Accordingly, non-residential buildings are assumed to have a five times lower probability of survival compared to residential buildings (Hassler & Kohler 2011a, 25). This area is therefore of particular interest with regard to the inventory and recovery of high-value raw materials, especially metals. So far, there are also only a few studies on the material composition of non-residential buildings. While the residential building sector can already be represented relatively well, both in terms of the materials used (Gruhler, et al. 2002; Klauß, et al. 2009) and the spatial distribution, and overall estimates of the inventory can largely be derived from official statistics (Federal Statistical Office (Destatis) 2013a; Federal Statistical Office (Destatis) 2012), there are significant data gaps in the area of non-residential buildings (BMVBS 2013, 18) and therefore in the complete stock of buidlins. In addition, the generally high dynamics of changes in the stock, a (qualitatively) inhomogeneous stock and building classes that are difficult to typify make recording in a raw materials register difficult (Hassler & Kohler

2011b, 18). A comprehensive approach that models both residential and non-residential buildings in a consistent manner based on standardised spatial data models and inventories is currently not available. For a comprehensive overall view and the resulting derivation of actions for a sustainable handling of resources tied up in the stock is therefore indispensable. Singular considerations may be interesting from a research point of view but are not sufficient in practical application.

The motivation to deal with the topic of urban mining in connection with spatial data infrastructures (SDI) was therefore obvious. For some time now, urban mining has been said to be of increasing importance for the resource management of the future. Still, the non-area-wide availability of data is considered one of the central obstacles for the implementation of such a cadastre (Flamme & Krämer 2013; Kohler, et al. 1999; Flamme, et al. 2013; Schiller, et al. 2010; Wittmer 2006; Heinrich 2018). In the field of geomatics, topics such as spatial data infrastructures, the interoperable distribution and exchange of such spatial data and their ubiquitous use are much discussed. This has been taken into account for many years with the development of such digital infrastructures, from the European to the regional level. To make the potential of urban mining a reality, one of the first steps must be to improve the data basis of the existing inventory. The 'resource' spatial data can be the essential foundation and basic information for such considerations in the field of the built environment. The goal of current spatial data infrastructures is to combine the spatial information that has already been collected with the possibility of linking other sources of information via their spatial reference in order to ultimately create such added value. The development of such a regional resource cadastre has high demands on the semantic description of building information (Köhler & Schnitzer 2014; Zhu 2014, 245; Kleemann, et al. 2016a). Although the official cadastre provides an important prerequisite for the development of such a cadastre with the almost comprehensive availability of 3D geodata (Level of Detail I - LODI), there are often gaps in the further and necessary information on building types and age (semantics). Urban mining cadastres based on existing spatial data infrastructures can close these data gaps. Often the necessary information is available in different places, but a meaningful common use for a resource cadastre does not take place so far. The clear distinction between the existence of data, data availability and ultimately data accessibility becomes obvious here.

The research subject 'Urban Mining and Spatial Data Infrastructures' naturally entails a complexity of topics. These are presented and comprehensively described in an introductory analysis. Based on this, the work shows possible implementations and outlines their requirements and problems, with a focus on the required spatial data and their level of detail (geometric and semantic). A special focus is on the applicability of standardised and harmonised spatial data models at EU level (European Parliament and Council of the European Union 2007; INSPIRE TWG BU 2013). This raises the question of data detailing. In addition to the pure harmonisation of data models, as a theoretical observation and analysis level, these must also provide the necessary data quality and quantity in the further course. Only comprehensive provision enables implementation for real urban mining applications. It should be noted that the theoretical level (model level) has been much discussed and subsequently adapted since the introduction and implementation start of the INSPIRE harmonisations (2007). The modelling has been completed and is fully available in normative terms. Unfortunately, the actual implementation still stands in contrast to this. In 2021, the implementation of INSPIRE and the comprehensive provision of data should be largely completed. However, as reality shows, many administrations are still in the process of harmonising and providing data (European Commission (Joint Research Center) 2020a). Already subsequent EU initiatives, such as the creation of thematic data spaces (European Commission 2020, 21), reveal further requirements for the future. It is to be hoped that these efforts will give new impetus to the entire implementation and thus further advance the concrete availability of data. After all, only the widespread availability of data makes application scenarios such as an urban mining cadastre possible in reality.

1. Einleitung - Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung

„A half-century ago, the visionary urbanist Jane Jacobs (1961) proclaimed that "cities are the mines of the future." (Graedel 2011)

Die bewusste Auseinandersetzung mit einer nachhaltigen Entwicklung hat seit der Veröffentlichung der ‚Grenzen des Wachstum' (Die Grenzen des Wachstums 1973) zunehmend an Bedeutung gewonnen. Urbane Systeme und deren Verflechtungen nehmen in diesem Zusammenhang eine zentrale Stellung ein. Aktuell lebt etwa die Hälfte der Bevölkerung der OECD-Staaten in einer von 300 Ballungsräumen mit mehr als 500.000 Einwohnern (OECD 2015, S. 14). Die globale Klimaerwärmung bzw. der Klimawandel werden immer wieder als die Umwelteinflüsse mit den größten Auswirkungen beschrieben. Direkt daran anschließend lässt sich die Versorgung der stetig wachsenden Gesellschaft mit Ressourcen jeder Art nennen; Nahrungsmittel und vor allem Wasser haben hier sicherlich einen priorisierten Stellenwert für die tägliche Versorgung. Betrachtet man das gesellschaftliche Zusammenleben etwas umfassender, kommt eine Vielzahl weiterer essentieller Ressourcen in Spiel, deren Verfügbarkeit das tägliche Leben und die uns umgebende Umwelt stark beeinflussen. Die uns dabei umgebende, sogenannte ‚gebaute Umwelt' oder ‚artifizielle Umwelt', bestehend aus Infrastruktur, Gebäuden, Fahrzeugen und vielem mehr, hat großen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch. Gleichzeitig kann der aktuelle Ressourcenverbrauch, durch Förder- und Bautechniken sowie der Beschaffenheit von Gebäuden (beispielsweise Dämmung) eine direkte Rückkopplung auf die primären Umweltbeeinflussungen in Form des Klimawandels ausüben. Mit umfassenden Ökobilanzen zur Quantifizierung der Auswirkungen von einzelnen Handlungsfeldern auf Gesamtbestrebungen wird versucht solche Wechselwirkungen zu beschreiben. Bei der Ergründung und Bergung von Rohstoffen stellt sich zudem immer auch die Frage nach deren Wirtschaftlichkeit. Rohstofflager, welche heutzutage möglicherweise bereits bekannt, jedoch wirtschaftlich (noch) nicht nutzbar sind, können in der Zukunft wichtige Rohstoffquellen darstellen. Mit der Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik geht einher, dass andere als die bekannten Fördertechniken wirtschaftlich werden. Der Einbezug von ökologischen Aspekten in die politischen Entscheidungen, ob und welche Fördertechniken genehmigt werden, kann darüber hinaus weitreichende Auswirkungen auf deren Wirtschaftlichkeit haben. Als Beispiel sei hier auf den aktuellen Trend des sehr kontrovers diskutierten ‚Fracking' zur Gewinnung von Erdöl oder Erdgas verwiesen. Evident ist hier der direkte Zusammenhang zwischen ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Interessensabwägungen.

Ziel einer nachhaltigen Entwicklung muss die Entkopplung der ökonomischen Entwicklung vom direkten Ressourcenverbrauch natürlicher oder sogenannter Primärer Ressourcen sein. Die Nutzung regional verfügbarer Rohstoffe kann so zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen oder im Gegensatz nahezu verschwenderisch mit diesen umgehen. So importiert das in der Wüste liegende Emirat Dubai mittlerweile Sand aus Australien, um Projekte wie die ‚Palm-Island'[1] umzusetzen und immer größere Bauwerke zu errichten. Das Paradoxon ist, dass der Wüstensand, welcher in Abu Dhabi oder auch Dubai zu genüge vorhanden ist, nicht die notwendigen bauphysikalischen Eigenschaften besitzt um solche Bauwerke zu errichten (Weichbrodt 2014, S. 14; UNEP GEAS 2014). Ein teilweise illegaler Import ist daher aktuell der Grundstein für viele der beispiellosen Bauprojekte.

[1] Künstliche Insel Aufschüttung im Persischen Golf (Dubai)

Abbildung 1: Auf Sand basierende Landentwicklungen in Dubai (Satellitenaufnahme) (UNEP GEAS 2014)

Die Sicherstellung einer Versorgungssicherheit mit den benötigten Rohstoffen ist für eine zukunftsorientierte Ökonomie wesentlich. In aktuellen Diskussionen wird an dieser Stelle die Bedeutung von Energieträgern wie Öl und Gas hervorgehoben, die essentielle Rolle von Rohstoffen, welche nicht für die primäre Energieerzeugung verwendet wird dabei oftmals vernachlässigt (Europäische Kommission 2010, S. 11). In einer immer stärker technisierten Welt haben jedoch gerade diese Rohstoffe eine bedeutende Funktion. Kupfer und Aluminium in Kabeln, Zink unter anderem als Korrosionsschutz für Stahl und natürlich besonders Hightech-Materialien, ubiquitär im Einsatz in modernen Kraftfahrzeugen, Computern, Handys sowie selbst Kleinteilen wie RFID-Chips zur Steuerung von Produktionsabläufen (Europäische Kommission 2010, S. 11–13). Das als ‚Digitales Zeitalter' beschriebene 21. Jahrhundert bietet zwar völlig neue Möglichkeiten und ebenso Herausforderungen, das tägliche Leben findet aber weiterhin in unserer gebauten Umwelt statt, hierfür sind Materialien wie Stahl, Aluminium, Sand und viele mehr ebenso unerlässlich (Brunner 2011, S. 339).

Die Notwendigkeit einer Versorgungssicherheit mit diesen Rohstoffen liegt folglich auf der Hand. Die nachfolgende Abbildung 2 klassifiziert ausgewählte Rohstoffe nach deren ökonomischer Bedeutung (Economic Importance) im Zusammenhang mit der Versorgungssicherheit (Supply Risk). Ohne einer detaillierten Betrachtung einzelner, definiert die Studie der Europäischen Kommission 14 als kritisch zu betrachtende Rohstoffe. Vorherrschende Ursache für die kritische Einstufung ist, dass viele dieser Rohstoffe (als Primärrohstoffe) in ausreichenden Mengen nur in einigen wenigen Ländern vermutet werden.

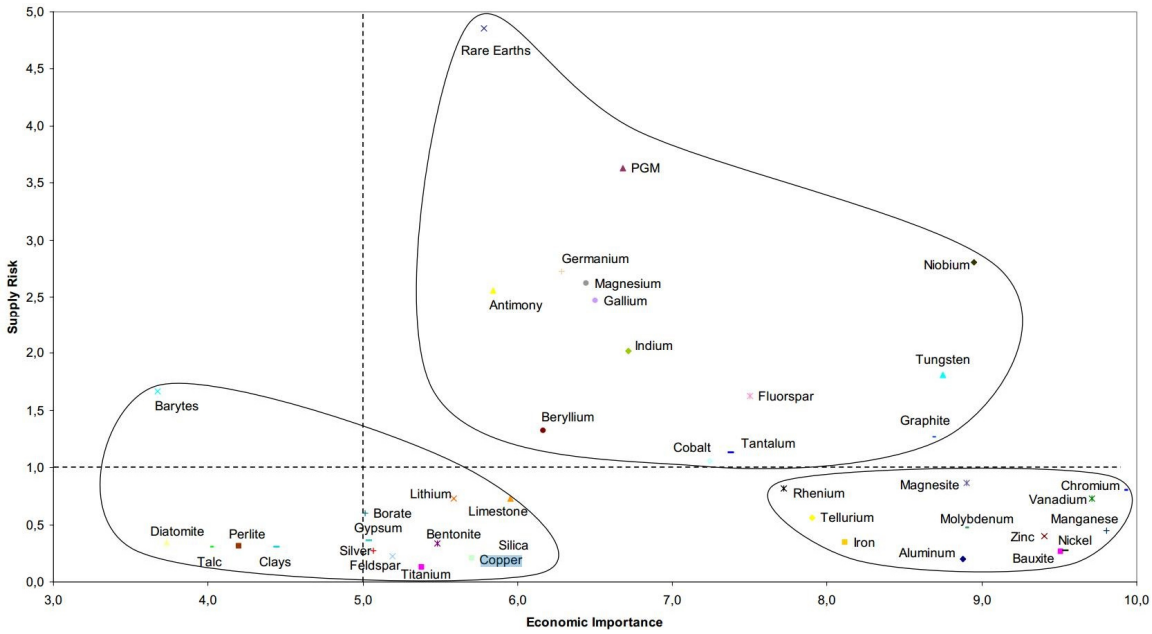

Abbildung 2: Einstufung von ausgewählten Rohstoffen nach deren ökonomischer Bedeutung und Versorgungssicherheit (Europäische Kommission 2010, S. 6)

Viele der als kritisch einzustufenden Rohstoffe werden somit in die Bundesrepublik Deutschland importiert, da keine oder nur unwesentliche eigene Ressourcen vorhanden sind. Deutschland ist dabei ein Nettoimporteur von vielen für die Wirtschaft und die Aufrechterhaltung des Lebensstils der Bevölkerung essentiellen Rohstoffen (Umweltbundesamt (UBA) 2016, S. 29). So wurden im Jahr 2013 beispielsweise Metalle im Wert von 44,4 Mrd. € importiert (BGR 2013, S. 17). Kupfer ist dabei einer der Rohstoffe welcher im besonderen Fokus steht (Graedel et al. 2002; Rauch 2012; Wittmer 2006). Auch zeigt der Trend von ausgewählten Rohstoffpreisen neben Kupfer, trotz kurzfristiger Schwankungen, verursacht durch die globale Rezession und auch geringerer Nachfrage aus China, eine Trend nach oben (vgl. Abbildung 3).

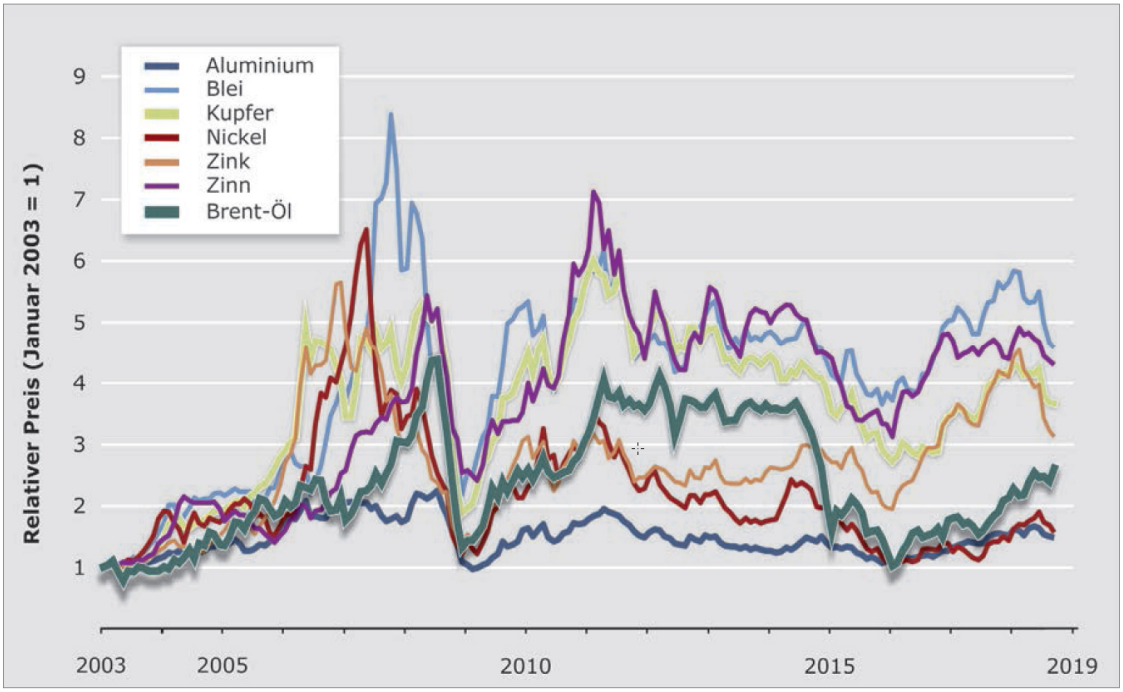

Abbildung 3: Relative Preisentwicklung für wichtige Industriemetalle und Erdöl seit 2003 (BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2018, S. 7)

Zur allgemeinen Eingliederung der Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Rohstoffen dient die McKelvey Box (Abbildung 4) | (nach Smil 2003, S. 181), als einfache Darstellung einer Einstufung. Rohstoffvorräte werden dabei dem ‚Grad der Gewissheit' und dem Grad ihrer wirtschaftlichen Abbaubarkeit in einer Matrix geordnet. Reserven sind dabei solche, die gut ergründet sowie technisch als auch ökonomisch förderbar sind.

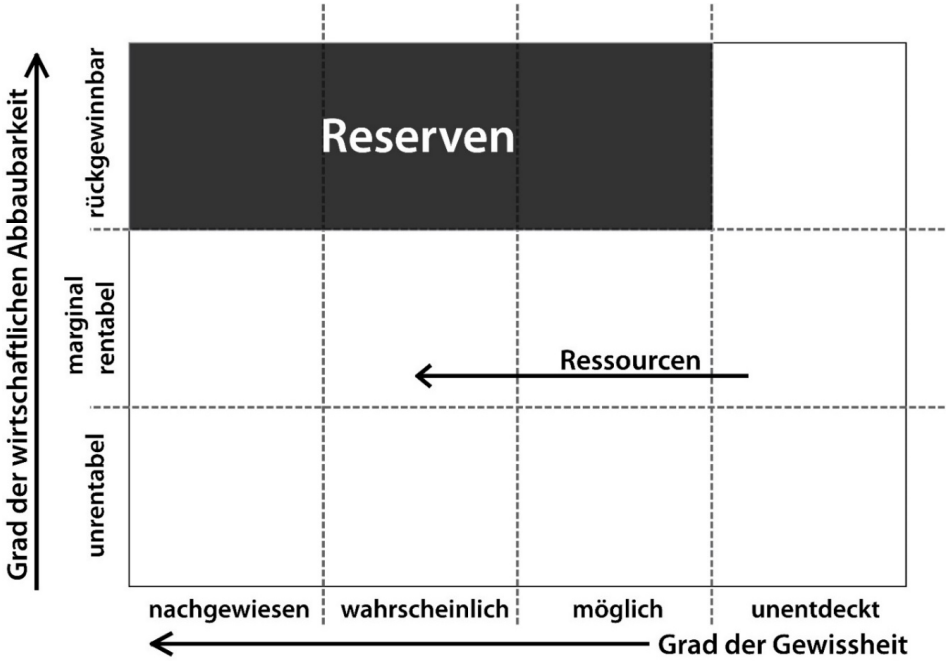

Abbildung 4: McKelvey Box (nach Smil 2003, S. 182; Wallsten et al. 2013, S. 104), Übersetzung durch den Autor

Beim Beispiel Kupfer bleibend gehen aktuelle Studien davon aus, dass die wirtschaftlich ‚ausbeutbaren' Kupferreserven Mitte der 30er Jahre des 21. Jahrhunderts erschöpft sein werden. Reserven sind dabei der Teil der Ressourcen, die aktueller Technik wirtschaftlich abgebaut werden können (Angerer et al. 2010, S. 37). Als wichtigste Möglichkeit einem Ressourcenengpass und steigenden Rohstoffpreisen entgegenzuwirken, wird, neben der Prospektion und Exploration neuer Lagerstätten, der Ausbau des weltweiten Recyclings (Erhöhung der Sekundärkupfermenge) angesehen (Angerer et al. 2010, S. 37–38). Zu unterscheiden ist zudem, wie und in welcher Form Rohstoffe aus dem erstmaligen Nutzungsprozess als Sekundärrohstoffe verwendet werden können. Für die Ressourcenkette bei vergleichsweise edlen Metallen wie Kupfer gilt, dass sie nahezu unbegrenzt recycelt werden können. Unedlere Metalle hingegen, wie beispielsweise Nickel, können dagegen nur teilweise recycelt werden. Die anschließende Verunreinigung wird bei Metallen als sogenanntes Downcycling bezeichnet (BGR 2013, S. 22). Ähnlich verhält sich auch die Ressource Sand, einmal in den Prozess oder die Wertschöpfungskette eingeführt, kann sie nicht in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden. Was auch hier nicht gleichbedeutend damit ist, dass sie keiner weiteren Nutzung zugeführt werden können, für eine vergleichbare Nutzung wie der Primärrohstoff stehen diese Sekundärrohstoffe jedoch nicht mehr zur Verfügung. Allgemein können natürliche und künstliche / anthropogene Ressourcen nach verschiedenen Kriterien unterschiedenen werden, siehe hierzu Tabelle 1.

Tabelle 1: Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Ressourcen, nach (Nakamura und Halada 2014, S. 4) angepasst und erweitert

Charakteristik	Natürlich Ressourcen	Anthropogene / künstliche Ressourcen
Menge	Unterschiedlich nach Ressource, generell noch ausreichend, aber endlich	Weitgehend unbekannt, aber stetig wachsend
Existenzform	Erze, meist über stark optimierte Verfahren abbaubar	Abfall, Schrott, Bestand – teilweise hohe Kosten der Extraktion
Fremdbestandteil	Relativ hoch, aber gleichbleibend und bekannt	Relativ niedrig, jedoch sehr variabel
Extraktionskosten	Niedrig	Hoch
Bestandsinventarisierung	Relativ gut	Ungenügend

1.1. Zur Bedeutung anthropogener Rohstofflager

Eine andere als die herkömmliche Angabe von Rohstoffmengen in metrischen Maßeinheiten macht die aktuelle und zukünftige Bedeutung anthropogenen Rohstoffen, vor allem im Baubestand, deutlich. Eine treffende Analogie beschreibt HASSLER, indem das Materiallager in Tonnen als Gewichtsäquivalente je Einwohner der Bundesrepublik Deutschland angegeben wird: "Jeder Einwohner besaß demnach 1991 einen Anteil am deutschen Gebäudebestand im Gewicht von 112 PKWs des Typs VW-Golf." Wobei der Fuhrpark der Deutschen jedes Jahr um 3 Fahrzeuge wächst und nur eines zur gleichen Zeit verschrottet wird. Die Kalkulationen zum Gebäudebestand basieren in diesem Fall auf den Ergebnissen der Studie im Rahmen der Enquete-Kommission über Stoffströme und Kosten (Hassler 1999, S. 54). Aktuellere Studien (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014) geben einen Nettozuwachs des anthropogenen Lagers für das Jahr 2010 mit 820 Mio. Tonnen an. Äquivalent wäre dies ein jährlicher Anstieg von ca. 10 t pro Einwohner (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014, S. 5). Allein für den Wohnbestand von Städten und Gemeinden werden derzeit etwa 10,5 Mrd. t mineralische Baustoffe (Ziegel, Beton etc.), 220 Mio. t Holz und 100 Mio. t Metalle als Bestandsinventar prognostiziert, bei gleichzeitigen Wachstum um 20 % bis 2020 (Die Bundesregierung 2008, S. 13). Jene vorhandenen Rohstoffe sind es, die bei Rückbau- und Abrissmaßnahmen als sogenannte Sekundärrohstoffe zukünftig zur Verfügung stehen werden. Eine der dabei entscheidenden Fragestellung ist somit die Wiederverwendung (Recycling) dieser sich bereits im Ressourcenkreislauf befindlichen Materialien. Diese Überlegungen legen nahe, neben der Erkundung neuer Reserven auch andere Herangehensweisen zur Verbesserung der Versorgungsicherheit in Betracht zu ziehen. Die Vorteile einer strukturierten und nachhaltigen Nutzung solcher Sekundärrohstoffe liegen hierbei auf der Hand (BGR 2013, S. 21):

- Verringerung des Einsatzes primärer Rohstoffe
    - Verminderung der Importabhängigkeit
    - Schonung von natürlichen Ressourcen
- Teilweise Verringerung des Energiebedarfs im Vergleich zur Primärproduktion
- Senkung von Treibhausgasemissionen im Vergleich zur Primärproduktion
- Verringerung der zu deponierenden Reststoffmengen
- Verbesserte Versorgungssicherheit in der Zukunft

Daher sind auch die Ziele der EU hinsichtlich einer nachhaltigen Ressourcenschonung klar definiert:

„Das in der Abfallrahmenrichtlinie formulierte Ziel, bis zum Jahr 2020 in der Wiederverwendung, Wiederverwertung und/oder Rückführung von bei Bau- bzw. Abrisstätigkeiten entstehenden Abfällen eine Quote von 70 % zu erreichen, bietet der Wertschöpfungskette des Baugewerbes wertvolle Geschäftschancen. Daher könnte es sich günstig für das Baugewerbe auswirken, wenn Abfall besser und eindeutiger definiert würde und Meldepflichten für die Abfallbeförderung sowie Vorschriften über die Merkmale von Bauprodukten hinsichtlich der Verwendung von Werkstoffen, der Haltbarkeit und der Umweltverträglichkeit harmonisiert würden."(Europäische Kommission 31.07.2012, S. 16)

Im Sinne der wirtschaftlichen Rentabilität stellt sich somit die Frage, ob der zukünftige Rohstoffbedarf von Industriestaaten nicht fast ausschließlich über Sekundärrohstoffe bereitgestellt werden kann. Ein gesichertes Inventar der Rohstoffe ist hierfür unerlässlich, auch um die volkswirtschaftliche Weiterentwicklung sicherzustellen. Vor mittlerweile 20 Jahren stellte bereits die Enquete-Kommission zum ‚Schutz des Menschen und der Umwelt' (Kohler et al. 1999), die Frage nach wichtigen Grundsätzen zum Umgang von Stoffströmen als ‚ökologische Dimension' einer Nachhaltigkeitsphilosophie: ‚Liegt die Zukunft des gesamten Bauwesen und damit zu teilen unserer gesellschaftlichen Entwicklung in der Zukunft im Bestand?'

Auch 2011 beschreibt Hassler in vergleichbarem Tenor: „Die gebaute Umwelt ist das größte physische, soziale und kulturelle Kapital einer Gesellschaft, aber auch das größte ökonomische Kapital" (Hassler 2011, S. 33). Drei der entscheidenden Faktoren sind damit, dass zum einen die Rohstoffgewinnung aus Minen immer einen energieintensiven Prozess darstellt, große Fraktionen der dort abgebauten Rohstoffe letztendlich in den Städten verwendet werden und damit eine Rückgewinnung dieser Rohstoffe (vor allem solche mit strategischem Nutzen) interessant wird (Graedel 2011, S. 46).

Diese sehr allgemeinen Fragestellung führen in deren Konkretisierung immer zur Frage des Inventars und einer nachvollziehbaren Klassifikation. Eine Klassifikation erfolgt dabei über die Zusammenführung unterschiedlicher Daten. Das Umweltbundesamt klassifiziert anthropogene Lager dabei vor allem hinsichtlich deren Wirtschaftlichkeit (Umweltbundesamt (UBA) 2017, S. 43). Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist jedoch auch immer abhängig der entsprechenden Informationsgrundlage, Abbildung 5 stellt diesen Zusammenhang anschaulich dar. Nur ein verifiziertes Inventar kann es ermöglichen, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen einer Rückgewinnung und Lebenszyklusanalysen der dort vorhandenen Ressourcen durchzuführen.

Klassifikation anthropogener Lager

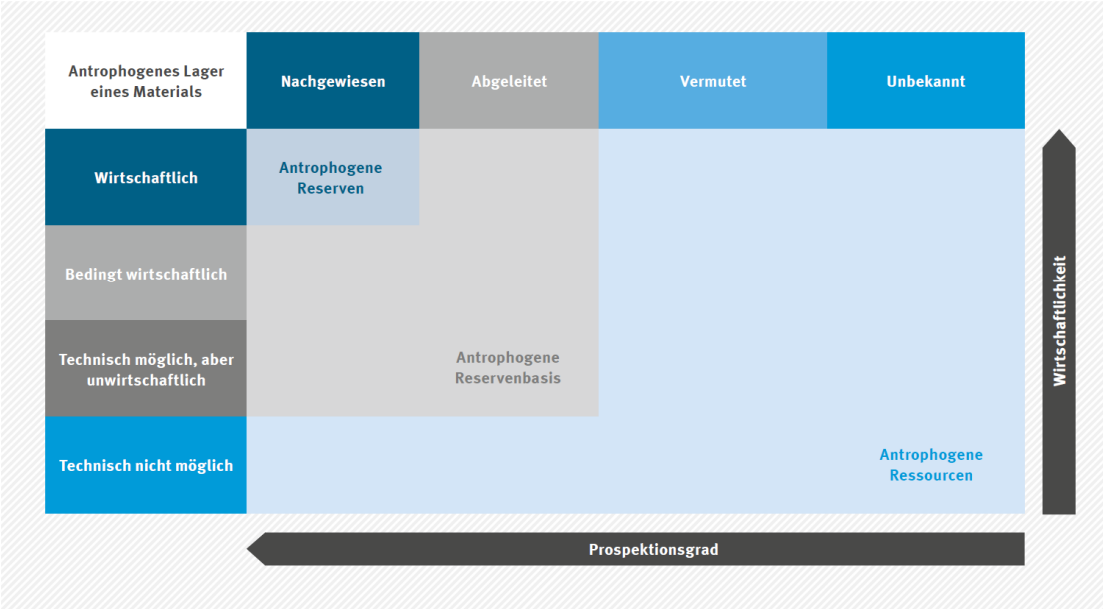

Abbildung 5: Klassifikation anthropogener Lager nach (Umweltbundesamt (UBA) 2017, S. 43)

1.2. Aktuelle Bedeutung des „Urban Mining“

Der neuste Bericht an den Club of Rome, 40 Jahre nach ‚Die Grenzen des Wachstums‘ (Randers 2013) nimmt im Ausblick 6-4 bereits ganz konkret Bezug zum Urban Mining, mit Fokus hinsichtlich der ‚Städte als Rohstoffquelle für Metall‘ (Randers 2013, S. 168–190). Die Potenziale werden hier klar benannt, in dem Sinne, dass im Jahr 2052 davon auszugehen ist, dass mehr Metalle durch Urban Mining gewonnen werden als durch traditionelle Minen abgebaut. Randers formulierte bereits 2013 ein ehrgeiziges Ziel: „Wenn etwa vier Prozent des verbauten Stahls jedes Jahr das Ende seiner Lebensdauer erreicht und die Recyclingraten hoch bleiben, ist absehbar, dass noch vor dem Jahr 2020 Urban Mining den Abbau in Minen als Hauptquelle für neuen Stahl ablösen wird.“ (Randers 2013, S. 188) Globale Entiwcklungen und Abhängingkeinten haben zwar dazu geführt, dass dies 2021 noch nicht eingetreten ist, zusammenfassend ist jedoch fest davon auszugehen, dass Urban Mining in den nächsten Dekaden stark an Bedeutung gewinnen wird, sei es weil keine Reserven der entsprechenden Rohstoffe mehr vorhanden sind oder weil es durch die immer größer werdenden anthropogenen Lagerstätten auch finanziell attraktiver wird. Auch wenn aus verschiedenen Gründen davon auszugehen ist, dass es nicht die ideellen oder gar philosophischen Überzeugungen, sondern viel mehr die wirtschaftlichen sein werden welche zum langfristigen Urban Mining bewegen (Randers 2013, S. 190). Im Besonderen dieser Aspekt ist Motivation für eine verlässliche Datenbasis zu sorgen, um den Zeitpunkt eines wirtschaftlichen Urban Mining frühzeitig zu erreichen. Die Bedeutung von Geoinformationen ist in diesem Kontext evident.

2. Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

„Weiternutzen ist besser als weiterverwendenden ist besser als rezyklieren“ (Kohler et al. 1999, S. 17)

Ziel der vorliegenden Arbeit ist in einer grundlegenden Einführung den Status Quo eines ‚Urban Mining Kataster‘ hinsichtlich der zugrundeliegenden Idee und des prinzipiellen Aufbaus eines solchen zu beschreiben. Besonderer Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Bereich der Nutzung von Geoinformationen und den hier anzuwenden Geoinformationssystemen (GIS) sowie Methoden der Geodatenanalyse, insbesondere der gemeinsamen Nutzung heterogener Datenbestände. Aus den allgemeinen Fragestellungen des Urban Mining lassen sich unterschiedliche Anforderungen an den Aufbau eines ‚Kataster‘, hinsichtlich Detaillierungs- und Erfassungsgraden von notwendigen Informationen ableiten. Die Arbeit nimmt immer wieder Bezug auf den Gesamtrahmen, fokussiert sich jedoch konkret auf den Bereich der gebauten Umwelt, hier als Fallbeispiel auf Wohn- und Nichtwohngebäude. Zur Umschreibung des Themenfeldes der Geoinformationen sind Entwicklungen von Geodateninfrastrukturen (GDI) mit Fokus auf multinationale Bestrebungen wie INSPIRE einer der Schwerpunkte. Hier sollen Schnittstellen zwischen GDI und deren Anwendung im Bereich Urban Mining umfassend herausgearbeitet werden.

Mit diesem Fokus sind Zuordnungen von Gebäudetypologien für Nichtwohngebäude mit Datenmodellierungen aus dem Geoinformationswesen abzugleichen und Schnittstellen herauszuarbeiten. Datengrundlagen und semantische Gebäudebeschreibungen für Ressourcenhochrechnungen (welche letztendlich das Gesamtsystem Urban Mining beschreiben) sollen in der Arbeit identifiziert und auf Anwendbarkeit und Erweiterbarkeit geprüft werden. Die pilothafte Definition eines für ein Urban Mining Kataster grundlegendes Gebäudeinventar (Kataster) kann verallgemeinert die theoretische Grundlage für eine GDI als Basis für Urban Mining in der Zukunft legen. Die Problemstellung von fehlenden Informationen kann durch die Integration von Offenen Daten über Geodateninfrastrukturen ein Schlüsselelement zu Lösung darstellen, entsprechende Lösungswege sollen daher aufgezeigt werden. Weiter beschreibt die Arbeit die theoretische Grundlage zum Aufbau eines Urban Mining Kataster auf Basis einer GDI, indem Methoden der Materialflussanalysen für Gebäude und deren Schnittstellen, zu auf Geodaten basierenden Erfassungen, definiert werden. Auch wenn die Arbeit nicht das Ziel verfolgt eine umfassende Materialflussanalyse (MFA) umzusetzen und Szenarien der Rohstoffentwicklung zu entwickeln, sollen Rohstoffinventare zu spezifischen Stadtregionen auf Basis von verifizierbaren Geodaten ermittelt werden. Die entsprechenden Grundlagen werden hierzu erarbeitet, aktuelle Hemmnisse und Probleme skizziert sowie das weitere Vorgehen beschrieben. Langfristige Zielsetzung ist es, die erarbeiteten Grundlagen in weiteren Forschungsarbeiten in umfassenden Hochrechnungen und Ressourcenszenarien aufgehen zu lassen. Mögliche Anwendungsfelder für ein Urban Mining Kataster werden am Ende der Arbeit beschreiben.

2.1. Aufbau der Arbeit

Basierend auf einer Literaturrecherche über das Spannungsfeld einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft, Urban Mining und der Geodatenbereitstellung über Geodateninfrastrukturen wird eine Anforderungsbeschreibung eines Urban Mining Katasters entwickelt. Hierbei wird der grundlegende methodische Aufbau eines solchen Katasters über vergleichbare Forschungsansätze definiert und damit in seinem methodischen Aufbau gestützt. Gesamtzielsetzung ist es, die Synergien zwischen GDI und Urban Mining aufzuzeigen und Anwendungsvarianten und auch bestehende Hemmnisse aufzuzeigen.

Systemgrenze der Arbeit

Die vorliegende Arbeit nimmt klaren Bezug auf den Bereich der Geodatenmodellierung, Geodatenerfassung, Geodatenbereitstellung und deren Anwendung. Als Anwendungsbezugsrahmen kommt das Themenfeld Urban Mining zum Tragen, welches, durch seine immense Vielschichtigkeit, verschiedenste weitere Forschungsdisziplinen beinhaltet. Diese können nicht umfassend dargestellt und vollständig einbezogen werden. Vielmehr liegt es im Fokus eine valide Datengrundlage zu schaffen, sowie die für eine Vergleichbarkeit und Vereinheitlichung

notwendige harmonisierte Modellebene zu definieren. Damit ist der Rahmen der Arbeit gegeben, weitergehende Analysen, wie Materialflussmodellierungen oder Immobilienzyklen, können in darauf aufbauenden Forschungsarbeit betrachtet und intensiv diskutiert werden.

Der Aufbau der Arbeit gliedert sich demnach gemäß der nachfolgenden Abbildung 6:

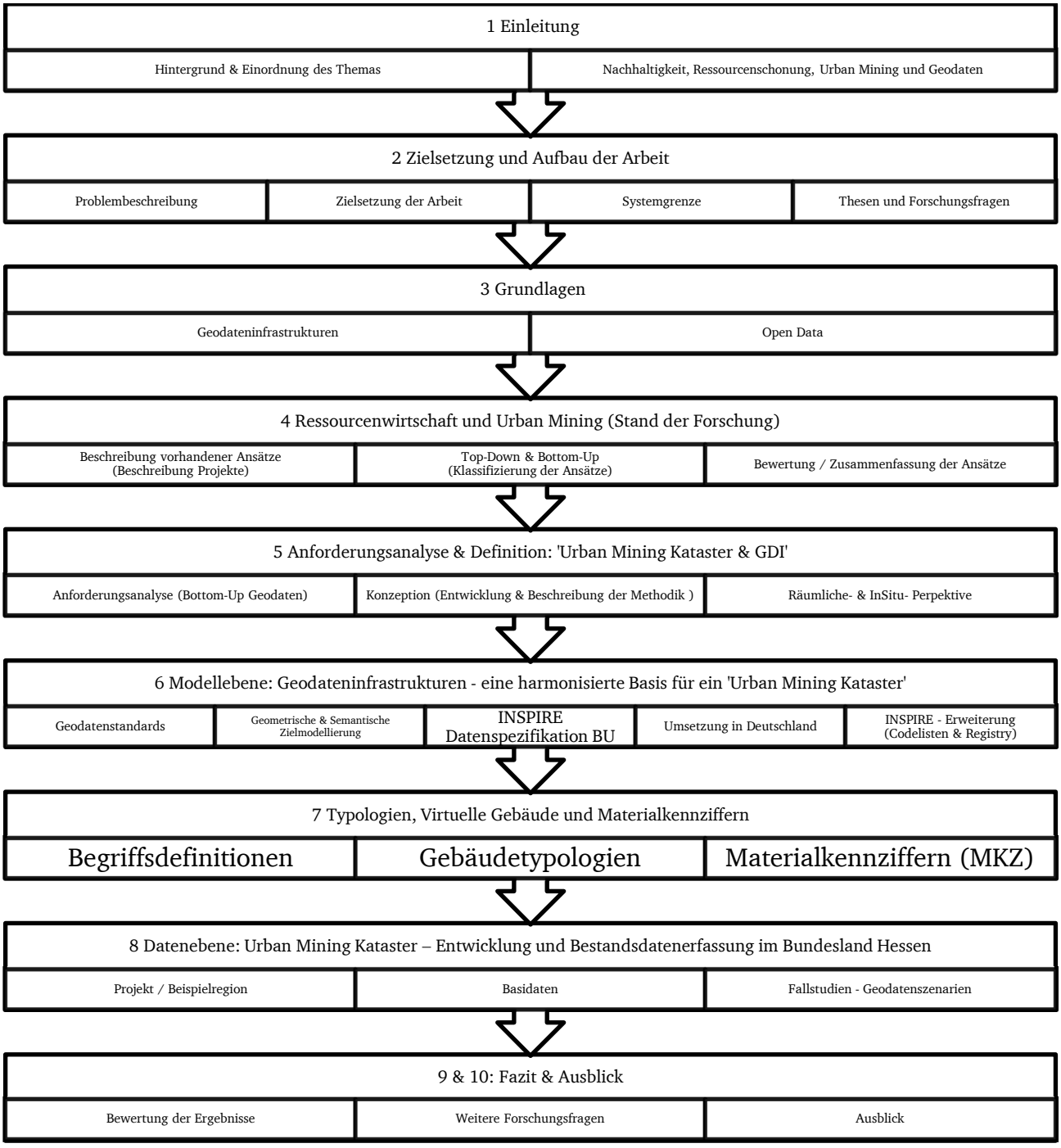

Abbildung 6: Aufbau der Arbeit

2.2. Thesen

Aus den skizzierten Themenfelder lassen sich die folgenden allgemeinen und konkreten Thesen dieser Arbeit ableiten:

Gesamthypothese der Arbeit:

Die Informationen zum Gebäudebestand, welche für den Aufbau eines Urban Mining Kataster benötigt werden, sind vorhanden, es fehlt an einer harmonisierten Modellierung sowie ubiquitären Zugänglichkeit dieser Informationen. Die fehlende Zugänglichkeit und Transparenz umfasst dabei sowohl technische als auch organisatorische Aspekte.

These I:

Geodateninfrastrukturen stellen eine valide Basis für ein Urban Mining Kataster dar.

These II:

Geobasisdaten aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) enthalten, in der tatsächlichen Form, nicht den semantischen Detaillierungsgrad, wie er für Analysen über den Gebäudebestand notwendig ist.

These III:

Die INSPIRE-Modellierung für Gebäude bietet die Möglichkeit ein umfassendes und flächendeckendes Urban Mining Kataster aufzubauen.

These IV:

Die Kombination von Open Data (Offenen Daten) und Daten aus Geodateninfrastrukturen können die Lücke der benötigten Informationen schließen.

These V:

Nur Anwendungsfälle, wie beispielsweise ein Ressourcenkataster, machen den Mehrwert zum Aufbau von Geodateninfrastrukturen transparent, nur hierüber entsteht die Motivation zur weiteren Umsetzung.

These VI:

Materialkennziffern (MKZ) zur Hochrechnung / Prospektion sind für den Wohngebäudebestand in Deutschland nachvollziehbar herzuleiten und zu belegen, für den Bereich der Nichtwohngebäude liegen noch kaum verlässlichen Daten vor.

2.3. Forschungsfragen

Aus den aufgeworfenen Thesen lassen sich konkrete Forschungsfragen ableiten:

I Wie lassen sich regionale Ressourceninventare aus dem vorhandenen Gebäudebestand quantitativ erfassen? Welche Rolle können Geodaten dabei spielen?

II Ergänzen sich Geodateninfrastrukturen und OpenData hinsichtlich einer harmonisierten Datenintegration?

III Ist die inhaltliche Detailtiefe von Geobasisdaten in Deutschland (im ALKIS-Datenmodell) ausreichend zum Aufbau eines Urban Mining Kataster?

IV Können mittels Geodateninfrastrukturen die vorhandenen Datenlücken geschlossen werden und harmonisierte Geodaten als verlässlicher Input in Materialflussanalysen zum Baubestand dienen?

V Sind Geodateninfrastrukturen das zukünftige Datenvehikel für ein ressourcenfokussiertes Gebäudemanagement?

3. Grundlagen Geodateninfrastrukturen und Open Data

Das folgende Kapitel gibt eine Einführung in das Themenfeld der Geodateninfrastrukturen als übergeordnetes Themenfeld der regionalen und internationalen Geodatenharmonisierung und –bereitstellung sowie die als prinzipiell eigenständig anzusehenden Initiativen hinsichtlich Open Data. Die Schnittmenge beider Themenfelder wird am Ende des Kapitels im Rahmen der „Open Geo Data“ dargestellt.

Eine allgemeine Einführung in den Begriff des Urban Mining als eigenständiges Feld aktueller Forschungsbestrebungen erfolgt anschließend eigenständig in Kapitel 4.

3.1. Geodateninfrastrukturen (GDI)

Das folgende Kapitel stellt einen allgemeinen Einstieg in das Thema der Geodateninfrastrukturen, deren Ziel, Struktur, Aufbau und Verbindlichkeiten dar. Ziel, Zweck und Nutzen von Geodateninfrastrukturen sind in der Literatur bereits weitreichend diskutiert. Aktuell ist die europäische INSPIRE-Richtlinie eine der treibenden Kräfte im Aufbau einer supranationalen GDI und damit gewissermaßen als weltweiter Vorreiter anzusehen, aktuelle Hemmnisse und Probleme der Umsetzung liegen aber vor allem auf der kommunalen Ebene.

3.1.1. Spatial enabled Governement

A Spatial Data Infrastructure for a Spatially Enabled Government and Society (Rajabifard 2008, S. 26)

Der Begriff der ‚Spatial enabled Society‘, übersetzt ins Deutsche durch den etwas sperrigen Begriff ‚Raumkundige Gesellschaft‘, wurde in vor allem durch die Arbeiten einer gemeinsamen Task Force unter dem Dach der FIG[2] geprägt (Steudler und Rajabifard 2012b, 2012a). Ausgehend von der Tatsache, dass die Probleme aktueller Gesellschaften zunehmend globaler und durch den Raum geprägter Natur sind, damit einheitliche ‚räumliche‘ Beschreibungen mehr als notwendig erscheinen, wird in diesem Zusammenhang die Bedeutung von räumliche Daten und Informationen, der Landadministration und des Landmanagements deutlich (Steudler und Rajabifard 2012a, S. 6). Definiert wird das ‘spatial enablement’ wie folgt:

> „Spatial enablement is where data, information and related business services with spatial content become ubiquitous in the daily conduct of government agency business in the efficient and effective delivery of services and also in wider society activities. A spatially enabled government (SEG) is one that has ready access to the spatial or geographic or location based information and associated technologies that it requires and is applying these productively to government decision making and service delivery, including developing policy and supporting its own business processes. To do so also requires data and resources to be accessible and accurate, well-maintained and sufficiently reliable for use by the majority of society who are not spatially aware.”(Williamson und Rajabifard 2007) zitiert aus (Rajabifard et al. 2010, S. 87)

Das Konzept der raumkundigen Gesellschaft kann somit als Gesamtkonstrukt eines räumlich orientierten Handels, von der Regierungsebene bis zum Bürger (Gesamtgesellschaftlich) gesehen werden. Ein besonderer Fokus liegt dabei darauf jegliche Daten, welche zu großen Teilen bereits vorhanden sind als Ganzes ‚räumlich zu verwalten‘ (Steudler und Rajabifard 2012a, S. 5–8). Aus der räumlichen Integration können so neue Informationen abgeleitet und dadurch Entscheidungsfindungen unterstützt oder erst ermöglicht werden. Die Raumkundigkeit ist somit als ein Konzept zu verstehen, das vorhandene Informationen mit einer räumlichen Verortung verknüpft und damit „die Fülle des vorhandenen Wissens über das Land, seinen rechtlichen und wirtschaftlichen Status, seine Ressourcen, deren mögliche Verwendung und Gefahren erschließt.“(Steudler und

[2] Fédération Internationale des Géomètres (International Federation of Surveyors)

Rajabifard 2012a, S. 16) Durch neue digitale Technologien werden gegenwärtig vermehrt alle Ebenen einer Gesellschaft dazu in die Lage versetzt mit Geoinformationen zu arbeiten, diese zu erfassen (u.a. Crowdsourcinginitiativen), zu bearbeiten und auch hinsichtlich ihrer ganz individuellen Fragestellungen zu analysieren. Geobasisinformationen (meist aus amtlichen Datenbeständen) mit eigenen Datensätzen anzureichern um damit neue Wissensressourcen zu generieren (z.B. sogenannte Mashups) zeugen nach Steudler und Rajabifard bereits von einer zunehmenden ‚Raumkundigkeit' und leisten einen Beitrag zur Vision einer solchen Gesellschaft (Steudler und Rajabifard 2012a, S. 7). Zur Umsetzung und Implementierung wurden in diesem Zusammenhang sechs Schlüsselelemente definiert:

1. ein definierter Rechtsrahmen (Legal)
2. ein solides Datenintegrationskonzept (Interoperabilität)
3. eine Positionierungsinfrastruktur (Raumbezug)
4. eine Geodateninfrastruktur
5. Informationen über das Landeigentum
6. Daten und Informationen unterschiedlichster Akteure und aus verschiedensten Sektoren (Steudler und Rajabifard 2012a, S. 16)

Aus den genannten Schlüsselelementen lassen sich bereits einige aktuelle Entwicklungstendenzen in der Geodatenbereitstellung ableiten. So spielen staatliche (oder amtliche) Geodaten weiterhin die zentrale Rolle, zur eigentlichen Erfassungen und internen Verwaltung dieser Daten kommen jedoch weitreichende Aspekte einer verlässlichen Geodatenbereitstellung – ebenenübergreifend – hinzu (UN-GGIM 2013, S. 31). Der 3. Geo-Fortschrittsbericht (Deutscher Bundestag 2012) nennt die Bereitstellung von Geoinformationen einen ‚Motor der Wissensgesellschaft im 21. Jahrhundert'. Das Geoinformationswesen befindet sich damit in einem Spannungsverhältnis der modernen Informations- und Wissensgesellschaft zwischen der Qualität von Daten, deren Relevanz sowie Effizienz und Internationalen Anforderungen, dem Web 2.0 und Open Data-Bestrebungen (Deutscher Bundestag 2012, S. 5–7). Diese Herausforderung, „qualitativ hochwertige und relevante Geodaten bei stagnierenden Budgets und zugleich rasantem technischen Fortschritt effizient zu erzeugen und nutzerfreundlich bereit zu stellen", erfordert umfassende Anstrengungen und eine gemeinsame Strategie von Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und der Gesellschaft (Deutscher Bundestag 2012, S. 5). Die Nachfrage nach einem verbesserten Zugang und dem Austausch sowie Integration von Geodaten und Geodatendiensten haben zu Geodateninfrastrukturen als Schlüsselnetzwerke geführt (Steudler und Rajabifard 2012a, S. 36).

3.1.2. Geodateninfrastrukturen

> *„International und national hat sich das Bewusstsein und das Potenzial von Geoinformationen für die Bewältigung der Herausforderungen des 21. Jahrhunderts etabliert. Die politische und administrative Gestaltung von Veränderungsprozessen auf allen gesellschaftlichen Themenfeldern ist ohne die georeferenzierte, bildliche Aufbereitung der Ausgangssituation und Modellierung alternativer Zukunftsszenarien heute nicht mehr denkbar." (Kummer und Frankenberger 2010, S. 49)*

Verschiedene normative Regelungen stellen bereits die Notwendigkeit des Zugangs zu Daten der öffentlichen Hand für die Gesellschaft heraus. Ein Grundsatz der Demokratie ist der freie Zugang zu Informationen zur allgemeinen und ganz persönlichen Meinungs- und Entscheidungsfindung. Geoinformationssysteme (GIS) stellen bereits seit einiger Zeit umfassende Möglichkeiten zur Analyse von raumbedeutenden Vorhaben und deren Auswirkungen bereit. Bisher waren die darin enthaltenen Informationen auf eine kleine Gruppe von Anwendern und Entscheidern begrenzt. Moderne technische Mittel, verteilte Datenstrukturen, das Internet und sich daraus ergebende Informationskanäle haben hier weitreichende Informationsmöglichkeiten für jedermann eröffnet. Verteilt vorliegende Geodaten, aus unterschiedlichen Datenquellen, zu verknüpfen und die Hürden der Hetero-

genität der Datenbestände zu überwinden führt zum Begriff der Geodateninfrastruktur. Weltweit hat sich bereits eine mehrschichtige Struktur an Geodateninfrastrukturen etabliert. Diese gehen von weltumspannenden Initiativen bis in die kommunale Ebene. Der Aufbau von Geodateninfrastrukturen zeichnet sich hierbei durch die übergreifenden, nicht nur normativen, Regelungen der verschiedenen Initiativen aus. Eine einzelne GDI-Initiative ist dabei nicht als Insel anzusehen, es entsteht vielmehr ein Netzwerk, eine Infrastruktur, welche es möglich macht, Geodaten aus den unterschiedlichsten Bereichen, mit verschiedenen Ausdehnungen und Inhalten miteinander zu verknüpfen und in zusammenführenden Prozessen zu verwenden. Die Verknüpfung verschieden vorliegender Daten bietet hierbei die Möglichkeit und das Potenzial raumübergreifender Analysen und Entscheidungsfindungen. Es entstehen somit völlig neue Anwendungsfelder für vorhandene Geodaten. Die verteilt vorliegenden Daten zu erfassen und verschiedenen anderen Stellen auf transparente und direkte Art und Weise zugänglich zu machen, ist damit eines der zentralen Ziele unterschiedlichster GDI-Initiativen. Stand zu Beginn noch der Zugang und Austausch von Geodaten über die Grenzen unterschiedlicher GIS hinweg im Vordergrund (technische Interoperabilität), können Geodateninfrastrukturen aktuell als eine umfassende Infrastruktur angesehen werden, welche die Datenharmonisierung, den Austausch und die umfassende Nutzung (damit auch Wertschöpfung) von Geodaten, über bestehende Grenzen hinweg, sicherstellt (Schnitzer 2011, S. 5–7). Einer der treibenden Gründe für die Implementierung von Geodateninfrastrukturen ist die Entscheidungsunterstützung. Hochwertige Daten sind eine der Grundlagen, ohne welchen keine nachvollziehbare und gesicherte Entscheidungsunterstützung möglich ist (Coetzee et al. 2013, S. 3). Allgemein lassen sich Ziele und Nutzen einer GDI wie folgt zusammenfassen; nach: (Bernard 2005, S. 4–5; Bill 2010, 2011) erweitert durch (Schnitzer 2008, 2011)

- Reduzierung der Kosten in der Datenproduktion
- Vermeidung von Mehrfacherhebungen
- Verbesserter Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Institutionen
- Verbesserter Datenaustausch innerhalb unterschiedlicher Fachbereiche gleicher Institutionen
- Einfacher und schneller Zugriff auf relevante und große Mengen an Daten
- Effiziente und nachhaltige Nutzung der Ressource ‚Geodaten'
- Angebot höherwertiger Daten
- Verbesserung politischer Entscheidungen und Beschlüsse unter Verwendung einfach zugänglicher Daten
- Semantische Vereinheitlichung von vorhandenen Geodaten
- Möglichkeit der Entscheidungsfindung über Zuständigkeits- und Fachbereichsgrenzen hinweg
- Erleichterung des Wissensaufbaus und Wissenstransfers
- Schneller und gezielter Zugriff auf Daten in Katastrophenfällen

Aus den Zielen ergeben sich unterschiedlichste Anforderungen, welchen innerhalb von organisatorischen und technischen Vereinbarungen Rechnung getragen werden muss. Als Leitpunkte können hier die folgenden genannt werden (Bernard 2005, S. 18–20)):

- Subsidiarität:
  Geodaten sollen nur einmal erhoben werden und dort gepflegt werden, wo dies am effektivsten erfolgen kann.
- Interoperabilität:
  Die transparente Kombination von Geoinformationen verschiedener Quellen soll für unterschiedliche Arten von Anwendern und Anwendungen möglich sein.
- Skalierbarkeit:
  Es sollte möglich sein, Informationen, die auf einer Ebene erhoben wurden, auch auf allen anderen Ebenen miteinander auszutauschen (Detailinformationen für spezielle Fragestellungen, generelle Informationen für strategische Fragestellungen).

- Datenpolitik:
  Die für eine gute – also qualitativ hochwertige und effektive – Regierungstätigkeit notwendigen Geoinformationen sollten auf allen Ebenen ausreichend und zu akzeptablen Bedingungen verfügbar sein.
- Transparenz:
  Es sollte leicht festzustellen sein, welche Geoinformationen zur Verfügung stehen und dem Bedarf im Einzelfall entsprechen und unter welchen Bedingungen sie erworben und genutzt werden können.
- Verständlichkeit:
  Geodaten sollten einfach zu verstehen und zu interpretieren sein.

Allgemeine Definitionen einer GDI sind vielfältig. Williamson (Williamson et al. 2003) definiert eine GDI grundlegend wie folgt (übersetzt aus dem englischen):

„Nutzer, Netzwerk, Regeln, Standards und Daten sind grundlegende Bestandteile einer GDI, wobei das Konglomerat aus Netzwerk, Regeln und Standards das eigentliche Vehikel darstellt, das den Nutzern den Zugang zu den Daten ermöglicht - ohne, dass die Vielfalt der Anwendungszusammenhänge vorher oder auch zum Zeitpunkt der Nutzung bekannt ist.“

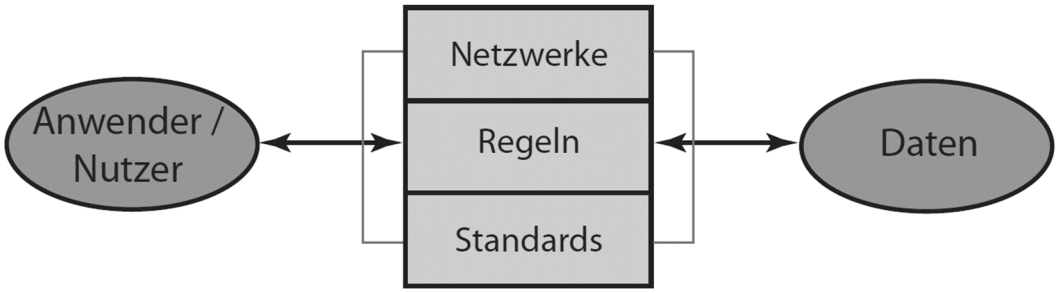

Abbildung 7: Kernkomponenten einer GDI (Rajabifard 2008, S. 13; Williamson et al. 2003)

Wobei die Kernkomponenten der GDI hier nicht als starres Regelwerk zu verstehen sind, sondern vielmehr als ein Definitionsrahmen für sich dynamisch entwickelnde Bestandteile verstanden werden kann. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, innerhalb einer GDI angebotene Geodaten in aggregierten Zusammenhängen zu verwenden, welche über die bei der Datenerfassung und Modellierung definierten Nutzungsziele hinausgeht. Erst die Harmonisierung und Bereitstellung der Daten, orientiert an verbindlichen Spezifikationen, ermöglicht eine übergreifende Geodatennutzung über Fachgebiete hinweg. Effektive Entscheidungsfindungen werden hiermit gefördert oder erst ermöglicht. De Lange unterscheidet in seiner Definition einer GDI zudem zwischen technischen und organisatorischen Regelungen: „Eine Geodateninfrastruktur […] ist durch eine eher (daten-)technische und eine organisatorische Sichtweise gekennzeichnet. Zum einen umfasst eine GDI zumeist über das Internet vernetzte Geodatenbanken, die Geobasisdaten und Geofachdaten enthalten, sowie Funktionalitäten zum Austausch dieser Daten. Zum anderen gehören zu einer GDI rechtliche, organisatorische und fachliche Regelungen, die den Auf- und Ausbau sowie die Pflege vorantreiben und sichern.“(de Lange 2013, S. 261–262)

An der INSPIRE-Richtlinie (Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007) orientiert sich auch die Definition, welche sowohl im Geodatenzugangsgesetz (Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten 2009) als auch in einzelnen Ländergesetzen zur Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie in deutsches Recht zu finden ist:

> „Geodateninfrastruktur ist eine Infrastruktur bestehend aus Geodaten, Metadaten und Geodatendiensten, Netzdiensten und -technologien, Vereinbarungen über gemeinsame Nutzung, über Zugang und Verwendung sowie Koordinierungs- und Überwachungsmechanismen, -prozesse und -verfahren mit dem Ziel, Geodaten verschiedener Herkunft interoperabel verfügbar zu machen“ (Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten 2009, §3 (5); Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007)

Eine die vorrangegangen Definitionen zusammenfassende Definition findet sich bei (Freeden und Rummel 2016):

> „Eine Geodateninfrastruktur umfasst verteilte Geodaten und -dienste, Netzwerke, Standards und Richtlinien zum verantwortungsvollen Austausch und Umgang mit den zur Verfügung stehenden Geoinformationen sowie die institutionellen, organisatorischen, technologischen und wirtschaftlichen Ressourcen zu Entwicklung, Betrieb und Pflege der Geodateninfrastruktur. Nutzer einer Geodateninfrastruktur können ad hoc die angebotenen Geodaten und -dienste verwenden und für ihre Anwendungszwecke zusammenführen sowie eigene Geodaten und -dienste bereitstellen. “ (Freeden und Rummel 2016, S. 2–3)

Aus den gegebenen Definitionen lässt sich somit eine Reihe von Kernkomponenten einer GDI ableiten - Abbildung 8.

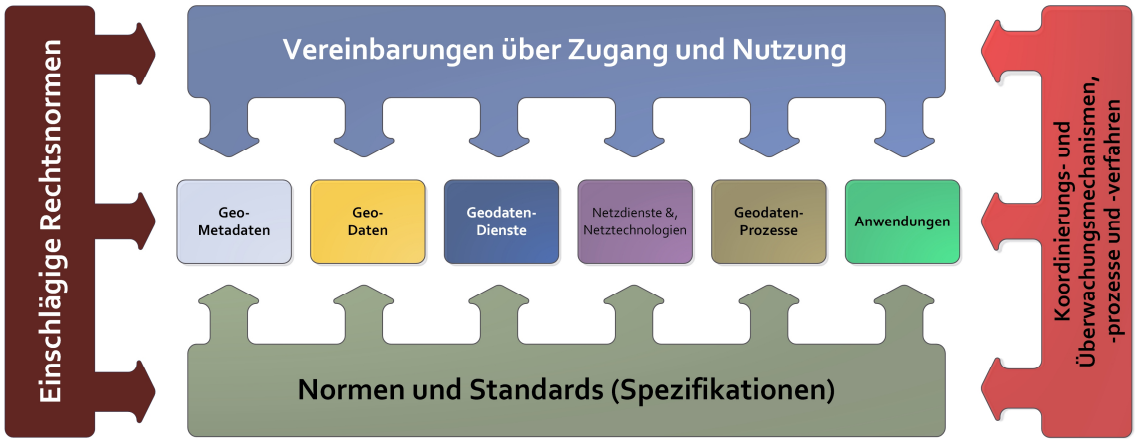

Abbildung 8: Kernbestandteile einer GDI (Birth und Schleyer 2010, S. 604) erweitert durch (Schnitzer 2011, S. 8)

Geodateninfrastrukturen werden auf unterschiedlichen Ebenen aufgebaut und zeichnen sich dadurch aus, dass eine Zusammenarbeit und gemeinsame Nutzung von Daten und Informationen jederzeit gewährleistet sein soll. Durch die konsequente Beachtung von Regeln und Standards wird dies über die unterschiedlichen Initiativen hinweg möglich. Abbildung 9 gibt eine Übersicht der verschiedenen weltweiten GDI-Ebenen und deren Initiativen (nicht abschließend). Innerhalb dieser werden auf horizontaler Ebene Absprachen und Vereinheitlichungen getroffen, teils rechtsverbindlich – teils als de-facto-Vereinbarungen. Wie durch die gesamteuropäische Initiative INSPIRE deutlich wird, haben einzelne ‚übergeordnete‘ Initiativen erheblichen Einfluss auf darunterliegende (vertikale Bezugsebene).

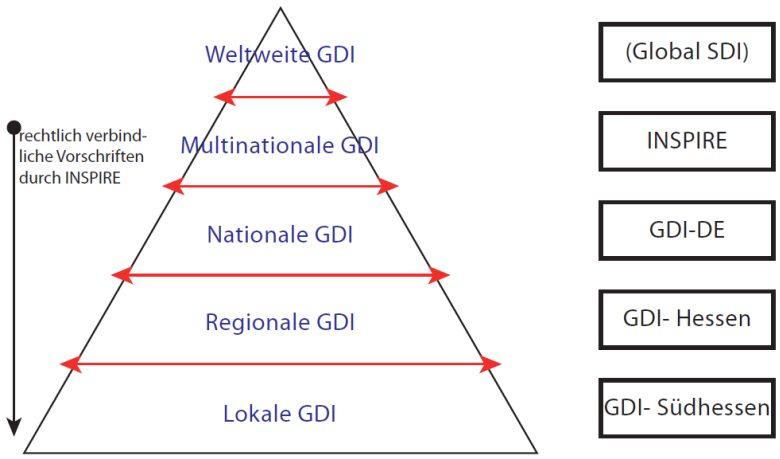

Abbildung 9: GDI-Hierarchie (Williamson et al. 2003, S. 30; Schnitzer 2011, S. 8)

Die Weiterentwicklungen von Geodateninfrastrukturen, weg von der reinen Datenbereitstellung, hin zu einer interoperablen, an den Anforderungen der Nutzer orientierten Infrastruktur, bringen zudem andere als die bekannten Anforderungen mit sich. Geodateninfrastrukturen müssen den neuen Anforderungen, als ein über Organisationen, Disziplinen und rechtlichen Zuständigkeiten hinweg verlässlich agierendes System (Netzwerk / Infrastruktur), gerecht werden. GDI ist dabei als ein dynamisches System zu verstehen welches die zugrunde liegenden konzeptuellen Modelle entsprechend der neuen Anforderungen, seien diese technologisch-, normativ- oder anwendungsgetrieben, aufgreifen und integrieren muss (Hennig und Belgiu 2011, S. 40). Zu unterscheiden ist dabei, dass das Ziel von Geodateninfrastrukturen die reine Bereitstellung von Geodaten ist und nicht die zentrale Verfügbarmachung von Analysefunktionalitäten (Hofer 2013, S. 750). Auch wurden Geodateninfrastrukturen anfangs primär für Fachanwender aus Verwaltung und Wirtschaft entwickelt, aktuellere Entwicklungen und der vermehrte Einsatz von Geodaten in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen rücken den Endanwender (u.a. auch die Bürger) vermehrt in den Fokus. Diese neue Gruppe von Anwendern hat andere Anforderungen hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit und Zugänglichkeit der Geodaten (Diaz et al. 2012, S. 396). Darüber hinaus bringt diese Gruppe an Anwendern möglichen zusätzlichen Input in eine Geodateninfrastruktur. Sei es auf der einen Seite die damit einhergehende (indirekte) Qualitätssicherung der bereitgestellten Daten (durch vermehrte Nutzung) als auch auf der anderen Seite die zukünftige Integration von durch Anwender selbst erfasste Daten (siehe hierzu u.a. Kapitel 3.2.4.).

3.1.3. Interoperabilität

> „*Interoperabilität* umschreibt die Fähigkeit, auf verteilte Datenressourcen zuzugreifen und die Daten nutzen zu können, die in unterschiedlichen Softwaresystemen erzeugt werden, in verschiedenen, d.h. vor allem proprietären Datenformaten vorliegen und die unterschiedlich modelliert sein können. Interoperabilität ist Datenaustausch und Datennutzen über Systemgrenzen.“ (de Lange 2013, S. 232)

Interoperabilität kann als Triebfeder einer GDI angesehen werden. War das anfängliche Ziel noch die übergreifende Nutzung von proprietären Geodatenformaten aus unterschiedlichen Geoinformationssystemen geht die heutige Zielsetzung hin zu einheitlichen Datenmodellen und offenen Datenformaten, d.h. solchen die von unterschiedlichsten Anbietern und Anwendern implementiert und genutzt werden können. BARTELME integriert zusätzlich die Anwender oder auch Endnutzer in den Begriff der Interoperabilität: „Interoperabilität ist die Fähigkeit zur Kommunikation, zur Ausführung von Programmen und zum Austausch von Daten zwischen funktionalen Einheiten in einer Art und Weise, die von Anwendern wenige oder gar keine Kenntnisse über die Besonderheiten dieser Einheiten erfordert.“ (Bartelme 2005, S. 363)

Somit ist es eine Vielzahl von Aspekten, die in das Gesamtkonstrukt einer Interoperabilität von Geoinformationen einwirkt. Staub 2009 nennt zusammenfassend fünf eng verknüpfte Faktoren der Interoperabilität im Bereich der Geoinformation: „Normen und Standards, Richtlinien und Gesetze, Datentransfer/Services, Profile/Datenmodellierung sowie semantische Transformation“, wobei diese in die zwei Hauptbereiche organisatorische Interoperabilität und technische Interoperabilität untergliedert werden können (Staub 2009, S. 20). Die folgende Abbildung charakterisiert das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren der Interoperabilität nach (Najar 2006) zitiert nach (Staub 2009, S. 20), erweitert um den Aspekt, dass auch die semantische Transformation keine rein technische Interoperabilität darstellt sondern vielmehr auch organisatorische Aspekte beinhaltet.

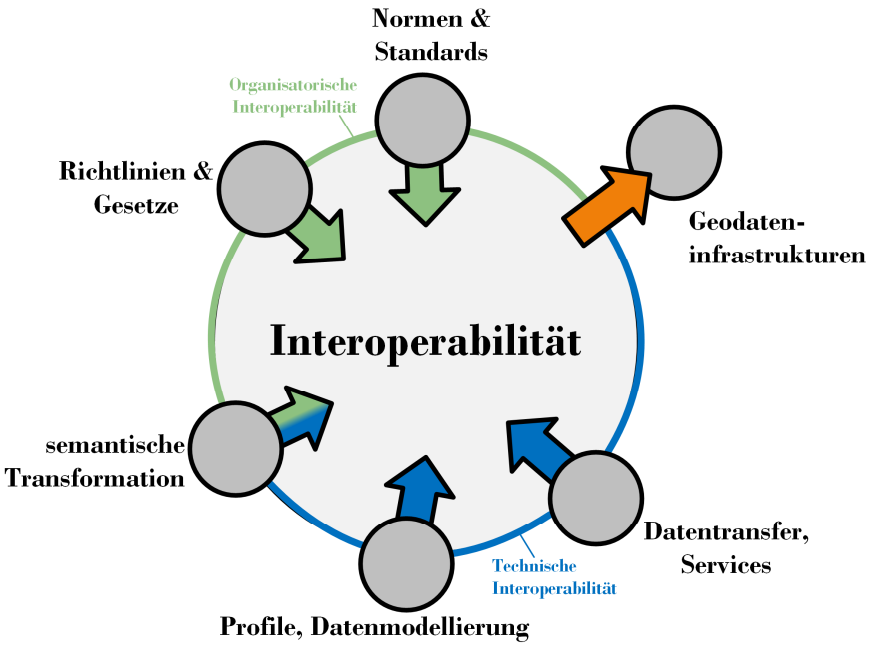

Abbildung 10: Charakterisierung von Interoperabilität – aus (Najar 2006) zitiert nach (Staub 2009, S. 20) - erweitert

Die organisatorische Interoperabilität ist dabei durch normative Festlegungen gekennzeichnet, diese sind gerade dann als essentiell anzusehen, wenn ein übergreifender, beispielsweise länderübergreifender, Datenaustausch stattfinden soll. Die technische Interoperabilität hingegen definiert einheitliche Datenmodellierungen und spezifiziert entsprechende Datenformte und Dienste zum Zugriff und damit Austausch der Daten. Hinsichtlich einer Betrachtung der Komplexität in einem GDI-Projekt steigt die organisatorische Interoperabilität im Gegensatz zur technischen mit zunehmender Anzahl von Akteuren erfahrungsgemäß stark an (Staub 2009, S. 21). Interoperabilität im Sinne der INSPIRE-RL bezeichnet eher allgemein „im Falle von Geodatensätzen ihre mögliche Kombination und im Falle von Diensten ihre mögliche Interaktion ohne wiederholtes manuelles Eingreifen und in der Weise, dass das Ergebnis kohärent ist und der Zusatznutzen der Datensätze und Datendienste erhöht wird.“ (Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007, Art. 3 Nr. 7)

3.1.3.1. Syntaktische & technische Interoperabilität

> „Die syntaktische Interoperabilität kennzeichnet die Struktur der Schnittstellen bzw. Datenformate zwischen beteiligten Systemen.“ (de Lange 2013, S. 232)

Der Bereich der technischen oder auch syntaktischen Interoperabilität von Geoinformationen geht wie beschreiben auf die initiale Zielsetzung einer anwendungsübergreifenden Nutzung von Geodaten zurück. Die technische Basis beruht dabei auf einheitlichen Spezifikationen, welche durch Normungsinstitutionen (Gremien) definiert werden. Als wichtigste für den Bereich Geodaten- und Dienste sind das OGC (Open Geospatial Consortium),

die ISO (International Organization for Standardization) als auch das W3C (World Wide Web Consortium) zu nennen. Zwischen den einzelnen Organisationen und ihren Normen und Standards bestehen enge Verbindungen, erlassene Standards stehen folglich nicht in Konkurrenz zueinander, sondern ergänzen sich vielmehr. Der Aufbau sowie die Funktionsweise von OGC-Webservices wird an dieser Stelle nicht weiter beschreiben, hier sei auf die einschlägigen Veröffentlichungen des OGC- und der komplementären ISO-Standards verwiesen (ISO/TC 211 et al. 2013; OGC et al. 2014; OGC 2012). Hinsichtlich der technischen Interoperabilität lässt sich jedoch festhalten, dass diese als Grundvoraussetzung für eine gemeinsame, standardisierte Nutzung von Geodaten, sowie darüber hinaus, angesehen werden kann (Deutscher Bundestag 2013b, S. 7). Die Syntaktische und technische Interoperabilität spielt im Rahmen der OGC und ISO Normierung die Hauptrolle, eine Umsetzung in unterschiedlichste Geoinformationssystem, ob Desktop oder Webbasiert, gewährleistet deren Nutzung. In Verbindung mit OGC-Webservices definiert sich die syntaktische Interoperabilität zusammenfassend wie folgt:

> „Syntaktische Interoperabilität mittels OGC Webservices erlaubt die interoperable Nutzung verfügbarer Daten über eine Standardschnittstelle. Diese Schnittstelle wird durch ein standardisiertes Protokoll angesprochen und die Informationen werden in einem Standardformat zurückgegeben. Abfrage und Auslieferung der Daten erfolgt in der Struktur des Anbietermodells. Die Datenstruktur der verfügbaren Daten ist vom Nutzer nicht beeinflussbar. Synonym: Interoperabilität der Systeme“ (Staub 2009, S. 25)

3.1.3.2. Semantische Interoperabilität

> „Die semantische Interoperabilität in der Geoinformatik beinhaltet, dass die Bedeutung (Semantik) der Begriffe, das Datenschema und die Modellierung der Geoobjekte in den beteiligten Systemen bekannt und nutzbar sind.“ (de Lange 2013, S. 232)

Die Etablierung von OGC-Services und einheitlichen Geodatenformaten haben vor allem das Ziel, den Datenaustausch über Systemgrenzen zu ermöglichen um damit eine syntaktische, aber keine semantische Interoperabilität zu schaffen (de Lange 2013, 232). Die semantische Interoperabilität hat vielmehr zum Ziel, dass die ausgetauschten Daten verschiedenster Herkunft gleiche Bedeutungen haben, bzw. deren Bedeutung interpretiert, transferiert und in Anwendung adaptiert werden kann. Damit kann gewährleitet werden, dass eine sinnvolle Weiterverarbeitung von Geodaten aus externen Quellen möglich ist (Deutscher Bundestag 2013b, S. 5). Synonym wird auch der Begriff „Interoperabilität der Konzepte“ verwendet (Staub 2009, S. 26). Verschiedene Dissertationen wie die von Najar 2006, Staub 2009 oder auch Feichtner 2011 beschäftigen sich mit Fragestellungen zur Semantischen Transformation von Geodaten, im Detail „der Erarbeitung von Klassifikationen, die eine systematische Beschreibung der Art der Heterogenität, der Art und Multiplizität der Korrespondenz zwischen Elementen in den Schemata sowie der benötigten Transformationsfunktionen in abstrakter Form ermöglichen.“(Feichtner 2011, S. 1)

Weitere aktuelle Projekte zur Lösung des übergreifenden Problems einer fehlenden semantischen Interoperabilität von Geodaten versuchen über die Entwicklung einer Theorie von sogenannten semantischen Referenzsystemen eine Vereinheitlichung und Verknüpfung der Daten herzustellen, befinden sich jedoch noch am Anfang (de Lange 2013, S. 233). Zur Lösung können hier eindeutige Terminologien und Metadaten verwendet werden und sogenannte „Ontologien aufgebaut werden, die der Repräsentation von Wissen dienen“ (de Lange 2013, S. 233). Auch Initiativen wie die Eingliederung von Geodaten in Anwendungen und Bestrebungen des Semantic Web (oder auch Web 3.0) und Linked Data können zukünftig vorhandene Probleme lösen, weisen derzeit jedoch noch größeren Abstimmungsbedarf der Fachrichtungen auf (Knibbe 2013). Unter anderem wurde hierzu eine Kooperation von OGC und W3C eingegangen (W3C 2015). Gerade das OGC nimmt sich diesem Thema vermehrt an, erste Ansätze sind vielversprechend, befinden sich aber noch einen sehr frühen Station der Spezifikation bzw. Ideenfindung, mit der Berufung einer ‚GeoSemantics Domain Working Group‘ ist ein erster Rahmen gesetzt (OGC 2015). In einer GDI sind damit zwei Aspekte der Interoperabilität entscheidend, zum einen die Transformation der Geodaten über Informations- und Kommunikationstechnologien sowie die Harmonisierung

der enthaltenen Geodaten. Die Datenharmonisierung ist dabei ein Prozess der semantischen und strukturellen Datenmodifizierung zur Erlangung einer Konformität zu festgelegten Spezifikationen (European Commission - Joint Research Centre - IES et al. 2012, S. 14).

3.1.4. INSPIRE

In Hinblick auf die zunehmend übergreifende Bedeutung von Geoinformationen stellt sich die Europäische Union mit der INSPIRE-Richtlinie der Herausforderung, den Rahmen für eine GDI innerhalb der Europäischen Gemeinschaft zu schaffen. INSPIRE steht als Abkürzung für ‚Infrastructure for Spatial Information in Europe', normativ handelt es sich um die Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung einer GDI innerhalb der Europäischen Gemeinschaft (EG), in Kraft getreten am 15. Mai 2007 (Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007). Die INSPIRE-Richtlinie ist ein verbindlicher europäischer Rechtsakt, welcher unter der Berücksichtigung der unterschiedlichen Gegebenheiten der Mitglieder den Zugang und die Nutzung von Geoinformationen harmonisiert und so die Grundlage für deren grenzüberschreitende Nutzung schafft. Dabei bezieht sich die Richtlinie nicht nur auf die grenzüberschreitende Nutzung der Mitgliedsländer, sondern auch auf die Überwindung von innerstaatlichen Barrieren zwischen nationalen-, regionalen- und kommunalen Institutionen (Janowsky 2010). Hauptanliegen bei der Schaffung von INSPIRE ist es, eine verlässliche Basis für eine gemeinsame Umweltpolitik auf europäischer Ebene zu schaffen. Bestehenden Problemen „bei der Verfügbarkeit, Qualität, Organisation, Zugänglichkeit und gemeinsamen Nutzung von Geodaten" sollen mit der Schaffung einer harmonisierten Geodatenbasis entgegengetreten werden. Ziel der INSPIRE-Richtlinie ist es, anderes als die ergänzende Umweltinformationsrichtlinie (UIG)(Europäische Kommission 2003), vor allem infrastrukturelle Voraussetzungen als sogenannte ‚lex specialis', zu schaffen (Martini und Damm 2013, S. 4). Weiter ist die Schaffung einer europäischen GDI eine grundlegende Voraussetzung für den Erfolg weiterer europäischer Vorhaben, wie dem satellitengestützten Navigationssystem Galileo oder GMES (Global Monitoring for Enviromental and Security) (siehe Erwägungsgründe - Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007). Auch wenn nicht direkt in den Erwägungsgründen zur Schaffung von INSPIRE vermerkt, so zielt die Richtlinie auch darauf ab, „eine Verbesserung der Möglichkeit zur Aktivierung des in den Geodaten der öffentlichen Verwaltung enthaltenen Wertschöpfungspotenzial zu erzielen." (Janowsky 2010) INSPIRE ist weltweit die zurzeit einzige multinationale GDI-Initiative, entfaltet damit auch einen Vorbildcharakter für ähnliche weltweite Bestrebungen zum Geodatenaustausch und deren Harmonisierung. Die Richtlinie selbst gibt der europäischen GDI einen groben Rahmen vor, enthält aber keine technischen Festlegungen zu Datenspezifikationen und Austauschinstrumenten. Die Richtlinie stellt viel mehr den normativen Rahmen zur Etablierung der GDI dar. Sie ermächtigt dabei die Europäische Kommission in den folgenden Bereichen zur Erlassung von rechtlich verbindlichen Durchführungsbestimmungen (Implementing Rules):

- Metadaten (Metadata)
- Interoperabilität von Geodatensätzen und Geodatendiensten (Data Specifications)
- Netzdienste (Network Services)
- Gemeinsame Nutzung von Daten (Data and Service Sharing)
- Koordinierung und ergänzende Maßnahmen (Monitoring & Reporting)

Die Trennung von technischen und allgemeinen Vorgaben soll es erleichtern, EU-weit eine schnellere politische Entscheidung herbeizuführen und hat dabei den entscheidenden Vorteil auf geänderte Rahmenbedingungen, neue Standards und technische Neuerungen reagieren zu können, ohne dabei die Inhalte der Richtlinie selbst ändern zu müssen (Janowsky 2010; Schnitzer 2011). Auf Basis der Richtlinie wurden von sogenannten ‚Drafting Teams' Durchführungsbestimmungen erarbeitet und diese anschließend als rechtlich verbindliche Dokumente veröffentlicht. Die Durchführungsbestimmungen entfalten, anders als die Richtlinie, direkt einen rechtlich verbindlichen Charakter innerhalb der Mitgliedsländer. Die erlassenen Durchführungsbestimmungen werden zum

einen von sogenannten ‚Guidelines' sowie begleitenden ‚Framework'-Dokumenten ergänzt. Diese entfalten keine rechtlich verbindliche Wirkung, beschreiben aber die konkrete Umsetzung der Vorgaben anhand der aktuellen technischen Möglichkeiten. Nach den allgemeinen Grundsätzen der EU, u.a. der Subsidiarität, soll INSPIRE nicht über das zur Erreichung der formulierten Ziele erforderliche Maß hinaus gehen, sondern vielmehr auf den in den Mitgliedstaaten bestehenden GDI-Initiativen basieren und einen Gesamtrahmen zur Nutzung von Synergien in einer gemeinschaftlichen GDI bereitstellen (Erwägungsgrund 35 Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007). Auch sieht es INSPIRE nicht vor neue Geodaten in den Mitgliedstaaten zu erfassen; Ziel ist es, das Potenzial, welches in einer harmonisierten Nutzung der vorhandenen Geodaten steckt zu wecken. INSPIRE ist als fortwirkender Prozess anzusehen, der Zeitplan gliedert sich in drei grobe Phasen:

2004 -2006 Vorbereitungsphase

- Abstimmung der Rahmenrichtlinie
- Vorbereitung der INSPIRE-Umsetzungsrichtlinie

2007 -2009+ Umsetzungsphase

- Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht der Mitgliedsstaaten
- Erarbeitung und Spezifizierung eines Technischen Rahmenwerks
- Erarbeitung und Verabschiedung der INSPIRE-Durchführungsbestimmungen

2009 -2020+ Implementierung

- Schrittweise Implementierung der Durchführungsbestimmungen
- Interoperable Publikation von Metadaten, Geodiensten etc.
- Europäisches Geoportal (INSPIRE-Geoportal)
- Pflege und Anpassung der INSPIRE-Spezifikationen (INSPIRE Maintenance)

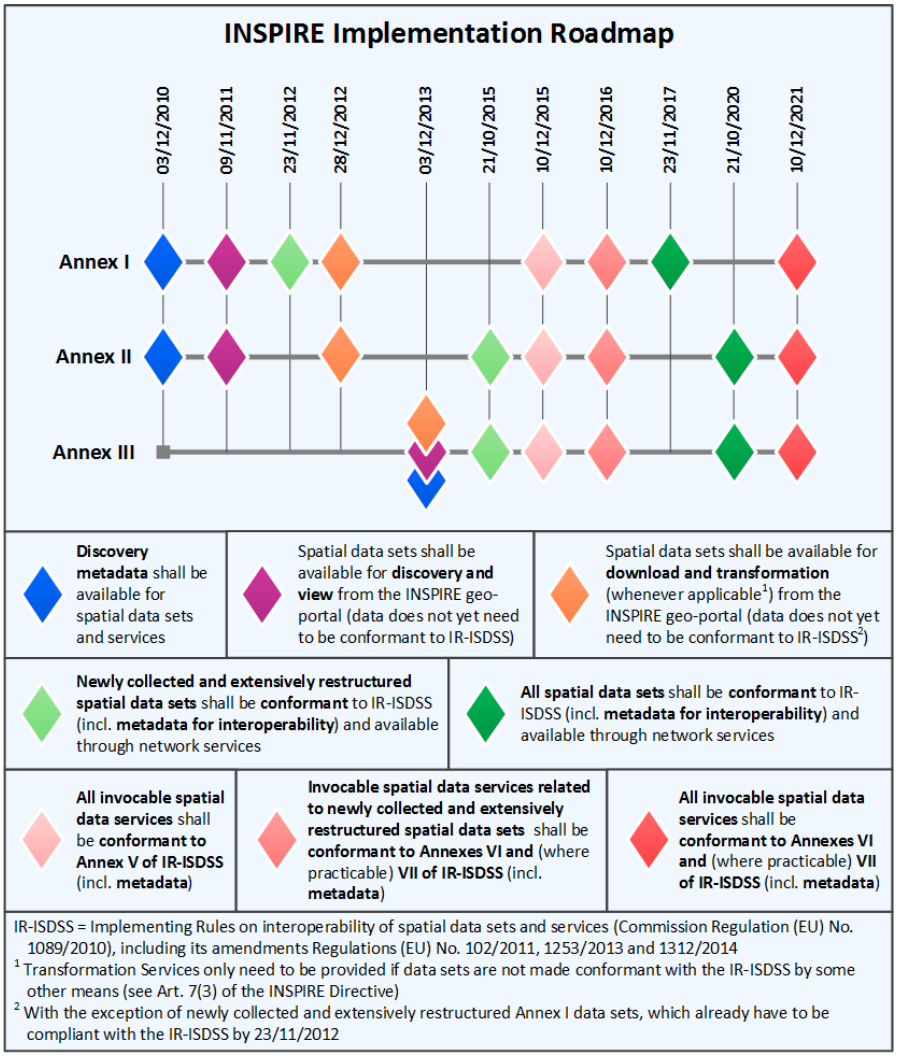

Abbildung 11: INSPIRE Roadmap (Europäische Kommission (Joint Research Center) 2019)

Die technischen Festlegungen aus INSPIRE orientieren sich in allen Bereichen sehr stark an aktuellen Spezifikationen von ISO und OGC, erweitern diese jedoch an verschiedenen Stellen. Eine beispielhafte Erweiterung aller INSPIRE-Services ist die zu unterstützende Mehrsprachigkeit. Die Festlegungen zur Interoperabilität können auch bei INSPIRE in technische und semantische unterschieden werden. So gehen die Festlegungen im Bereich der Netzdienste, der Metadaten als auch der Spezifikation hinsichtlich der Interoperabilität von Geodatensätzen und Geodatendiensten stark in die Richtung der technischen Interoperabilität. Gleichzeitig definieren die Durchführungsbestimmungen zu den Datenspezifikationen semantische Vereinheitlichungen. Festlegungen zur gemeinsamen Nutzung von Daten sowie das Monitoring & Reporting können in den Bereich der nichttechnischen Interoperabilität eingeordnet werden. Als relevante Durchführungsbestimmung zur direkten Bereitstellung von Geodaten und Geodatendiensten im Rahmen von INSPIRE ist die Verordnung zur Interoperabilität von Geodatendiensten (Europäische Kommission 2014b) zu nennen. Hervorgehend aus Artikel 11 und 16 der INSPIRE-RL werden hier die technischen Spezifikationen für INSPIRE-Netzdienste definiert. Solche Infrastrukturkomponenten werden im Sinne der Richtlinie unterschieden in: Geodatendienste zum Suchen und Finden von Geodatensätzen und Geodatendiensten (Discovery Services), zur Darstellung (View Services), zum Download (Download Services), zur Transformation (Transformation Service) von Geodatensätzen und Geodatendiensten sowie zum Abrufen von Geodatendiensten (Invoke Services). Zusammenfassend geben die Durchführungsbestimmung konkret vor, was von den geodatenhaltenden Stellen (entsprechend deren Identifizierung, Bund bis Kommune) bis zu welchem Zeitpunkt zu tun ist.

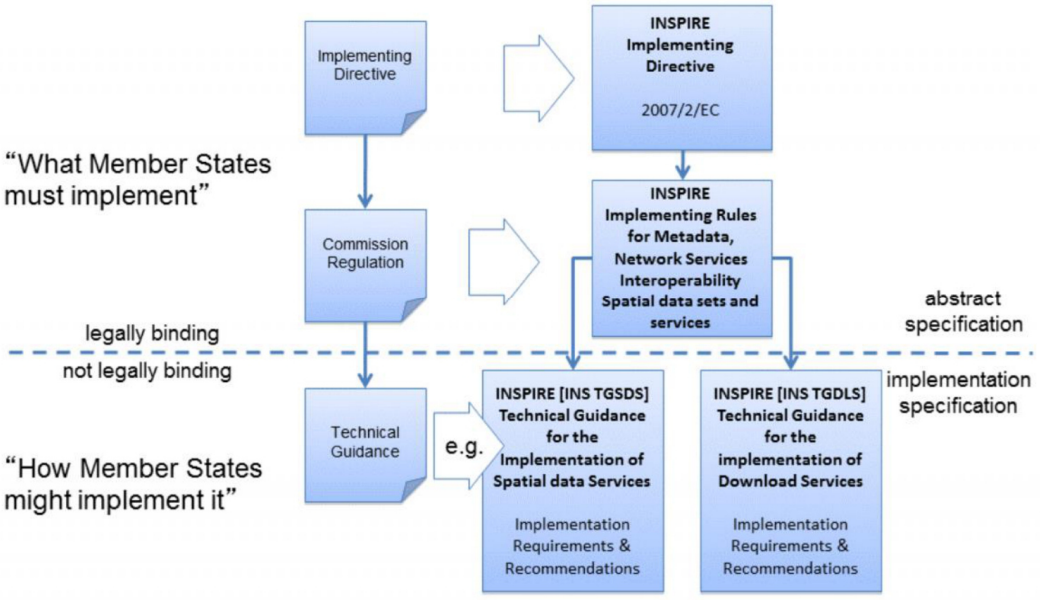

Abbildung 12: Beziehungen zwischen INSPIRE Durchführungsbestimmungen und Umsetzungsanleitungen (Europäische Kommission (Joint Research Center) 2017b)

3.1.4.1. INSPIRE Datenmodellierung

INSPIRE definiert, wie beschrieben, im Wesentlichen die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen. Hinsichtlich der Geodatenthemen beschränkt sich INSPIRE auf 34 Datenthemen, definiert als Anhänge (Annex) I-III in der Richtlinie (Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007). Die Datenthemen kommen aus den unterschiedlichsten Bereichen, während die Anhänge I und II einen klaren Fokus auf Basisdaten haben, werden die Datenthemen im Anhang III teils sehr konkret und detailreich. Geodaten, welche unter die Themen der Anhänge fallen, sind über die Geodateninfrastrukturen der EU-Länder (in Deutschland der GDI-DE sowie deren untergeordnete GDIen) in mehreren Zeitschritten zugänglich zu machen. INSPIRE ist mit den teils sehr konkreten Datenspezifikationen die einzige umfassende GDI, welche konkrete Datenmodelle zur Umsetzung bereitstellt und perspektivisch deren transformierte Bereitstellung einfordert. Hier geht die Harmonisierung klar über die Grenzen eines reinen interoperablen Zugangs zu Geodaten über standardisierte Dienste hinaus.

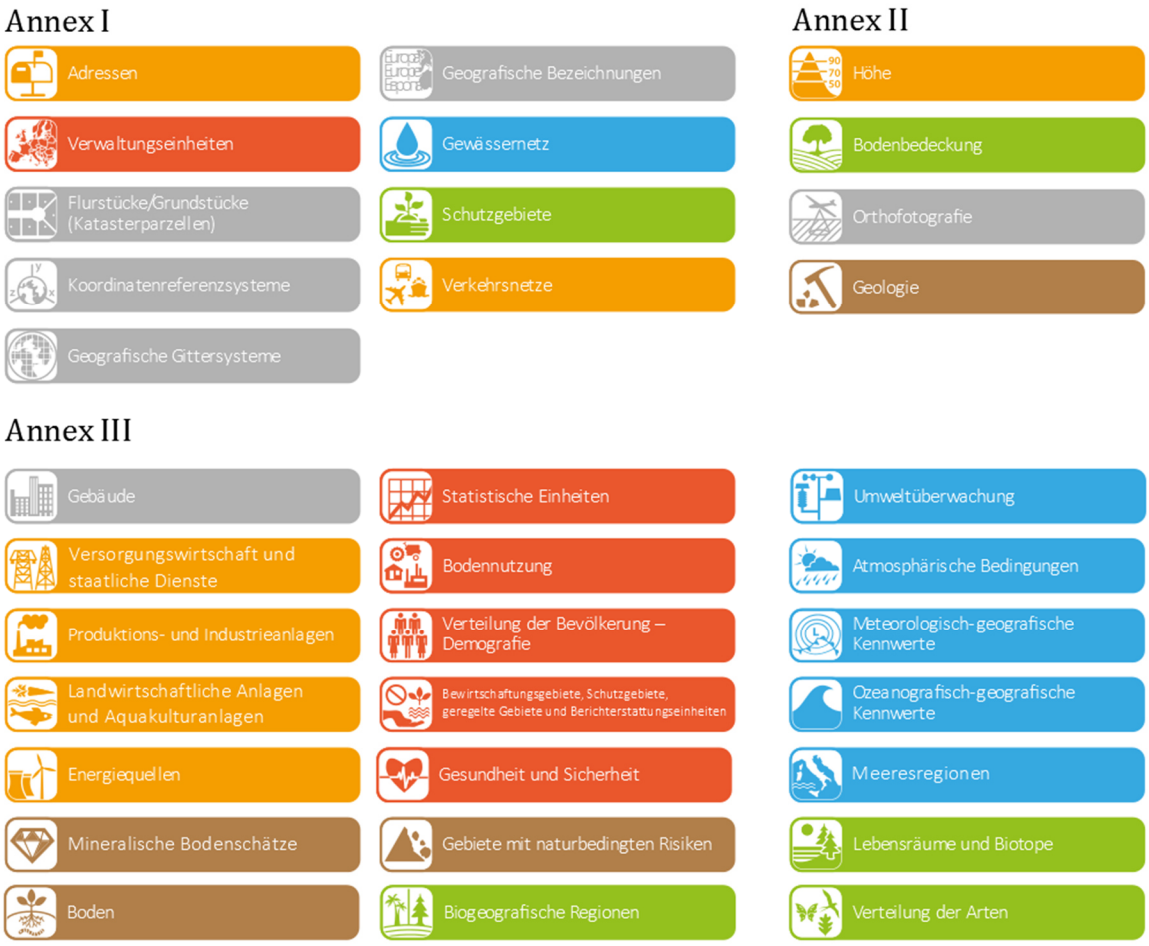

Abbildung 13: Datenthemen der INSPIRE Anhänge I-III (Eigene Darstellung - Quelle der Symbole: (INSPIRE Website 2014)

Es steht den Staaten der europäischen Gemeinschaft dabei frei, die hier getroffenen technischen Rahmenbedingungen auf weitere Datenthemen anzuwenden. Die Erarbeitung der Datenspezifikationen erfolgte durch von Experten der EU-Länder besetzten Arbeitsgruppen (Thematic Working Groups - TWG). Zu jedem Thema wurden Datenspezifikationen erarbeitet, diese enthalten das Datenmodell und die zugehörigen Objektarten. Nach mehrfachem Review-Prozess wurden die Datenspezifikationen für jedes der Themen final verabschiedet. Eine aktuelle Übersicht aller relevanten Regularien der Datenspezifikationen findet sich auf der INSPIRE-Webseite (INSPIRE Website 2014; INSPIRE Thematic Working Groups 2015). Neben den eigentlichen Spezifikationen wurden in Deutschland sogenannte Steckbriefe erarbeitet, welche in Kurzfassung die wesentlichen Inhalte und Anforderungen der Datenspezifikationen beschreiben (siehe Steckbriefe auf den Webseiten der GDI-DE (Koordinierungsstelle GDI-DE 2014a)). Im Besonderen bei der Identifizierung von INSPIRE-relevanten bzw. -betroffenen Geodatensätzen und deren Transformation in die INSPIRE-Zieldatenmodelle besteht ein sehr hoher, ebenen übergreifender Abstimmungsbedarf (Koordinierungsstelle GDI-DE 2015a, 2014b). Eine Informationsplattform zum Austausch und der gemeinsamen Identifizierung von betroffenen Geodatensätzen wurde mit dem GDI-DE Wiki (Fachnetzwerke INSPIRE) geschaffen (Koordinierungsstelle GDI-DE 2015a). Neben einer Übersicht zu aktuellen Referenzdokumenten der einzelnen Datenspezifikationen werden Best-Practice-Beispiele gesammelt, betroffene Datensätze identifiziert, Zuordnungslisten (sogenannte Mappingtabellen) erarbeitet sowie eine Vielzahl weiterer Fragen und Antworten zentral erfasst. Ziel ist es den Austausch der betroffenen Stellen und der Fachexperten zu ermöglichen und von zentraler Seite zu unterstützen. Die Fachnetzwerke sind kein feststehen-

des Gremium, sondern ein offenes Netzwerk (Koordinierungsstelle GDI-DE 2015a). Ein vergleichbares Vorgehen auf europäischer Ebene stellt die Vernetzung der geodatenhaltenden und –bereitstellenden Stellen sowie der möglicher Anwender durch die ‚INSPIRE Thematic Clusters collaboration platform' dar (INSPIRE Maintenance and Implementation Framework 2015). Die ‚Thematic Clusters' sind Teil des ‚INSPIRE Maintenance and Implementation Framework (MIF)', dass die Implementierung und Nutzung von INSPIRE in den Mitgliedstaaten begleiten und fördern soll. Nach einer offenen Ausschreibung im Jahr 2013 konnten sich eine Vielzahl von INSPIRE Experten in einem sogenannten ‚Pool of Experts' registrieren lassen. Die Plattform soll vor allem dem Austausch von Erfahrungen und Best-Practice-Beispielen dienen sowie die Möglichkeit bieten, eine aktive Diskussion themenspezifischer Fragestellungen anzuregen (INSPIRE Maintenance and Implementation Framework 2015). Aktuell umfasst der Pool of Experts ca. 350 Personen, davon 47 aus Deutschland.[3]

Aufbau der INSPIRE Data Specifications (Datenspezifikationen)

Mit der Veröffentlichung der Änderungsverordnungen der Netzdienste-Verordnung und der Änderungsverordnungen zur Interoperabilität wurden am 10.12.2014 die letzten rechtlichen Regelungen im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht (Koordinierungsstelle GDI-DE 2014a; Europäische Kommission 2014b). Damit ist die Umsetzung der Geodatendienste rechtlich geregelt. Entscheidende Verordnung für die Datenspezifikationen ist die am 10.12.2013 veröffentlichte Verordnung (EU) Nr. 1089/2010 (erstmalig veröffentlich 2010), geändert und ergänzt durch die Verordnung (EU) Nr. 1253/2013 2013 vom 21. Oktober 2013. Mit der schrittweisen Erweiterung der Verordnung wurden die Datenmodelle zu den Themen der Anhänge II und III der INSPIRE-Richtlinie ergänzt (Europäische Kommission 2013). „Neu erhobene bzw. weitgehend umstrukturierte Geodatensätze zu den Themen der Anhänge II und III sind gemäß dieser Verordnung bis zum 21.10.2015 und die zum Zeitpunkt der Verabschiedung der Änderungsverordnung vorhandenen Geodatensätze bis zum 21.10.2020 bereitzustellen."(Koordinierungsstelle GDI-DE 2014a) Aufbauend auf bereits existierenden Referenzmodellen (z.B. denen von ISO 19101-1 Geographic information -- Reference model), Anforderungsanalysen in den Mitgliedsländern sowie Fallbeispielen werden in den technischen Datenspezifikationen konzeptionelle Datenmodelle zu den Geodatenthemen beschrieben. Ziel der Datenspezifikationen für die jeweiligen thematischen Bereiche ist es das „Problem der Heterogenität der Datenmodelle der einzelnen Mitgliedsstaaten" zu lösen und harmonisierte, interoperable Datenmodelle zur Verfügung zu stellen (Gröger und Plümer 2014a, S. 90). Der Aspekt der Semantik spielt bei der Datenmodellierung eine wichtige Rolle, denn „ein inhaltlich kohärentes Ergebnis ist bei der Kombination von heterogenen Daten nur durch semantische Transformation in die im Rahmen von INSPIRE spezifizierten, europaweit einheitlichen Schemata erreichbar."(Feichtner 2011, S. 12) Auf die inhaltlichen Spezifika an dieser Stelle einzugehen ist auf Grund deren umfassender Beschreibung innerhalb der Verordnung nicht möglich, eine detaillierte Darstellung einzelner Datenthemen erfolgt innerhalb der Arbeit an gegebener Stelle. Entscheidend bei der Interpretation der INSPIRE-Datenspezifizierungen ist deren umfassender Ansatz. Die Modellierungen der einzelnen Datenthemen können durchaus individuell betrachtet und genutzt werden, greifen aber bewusst an einer Vielzahl von Stellen ineinander. So werden beispielsweise Attributwerte (Codelisten) für die aktuelle Nutzung innerhalb der Festlegung des Themas Gebäude nur sehr grob definiert, gleichzeitig aber auf die inhaltlich detaillieren Festlegungen von möglichen Nutzungen in den Themen ‚Industrie- und Produktionsanlagen' oder der ‚Versorgungswirtschaft' verwiesen (Europäische Kommission 2014b; INSPIRE TWG BU 2013). Auch haben Themen wie die der Adressen weitreichende Anknüpfungspunkte für verschiedenste weitere Datenthemen. Umfassend von Bedeutung sind das allen Modellierungen zu Grunde liegende ‚Generic Conceptual Model' (INSPIRE DT DS 2014; European Commission - Joint Research Centre - IES et al. 2012), hier sind grundlegende Konzepte für die Datenmodellierung (u.a. das INSPIRE UML-Profil) definiert sowie Anforderungen und Empfehlungen für jede der Interoperabilitäts-Komponenten (geometrischen Eigenschaften eines Objektes u.a.). Die ‚Guidelines for the Encoding of Spatial Data' (INSPIRE Drafting Team

[3] Stand 30.03.2015 - http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/5160/list/experts/expertise/

"Data Specifications" 2014) legen zudem Kodierungsregeln fest, nach denen die konzeptuellen Schemata in GML-Anwendungsschemata überführt werden können.

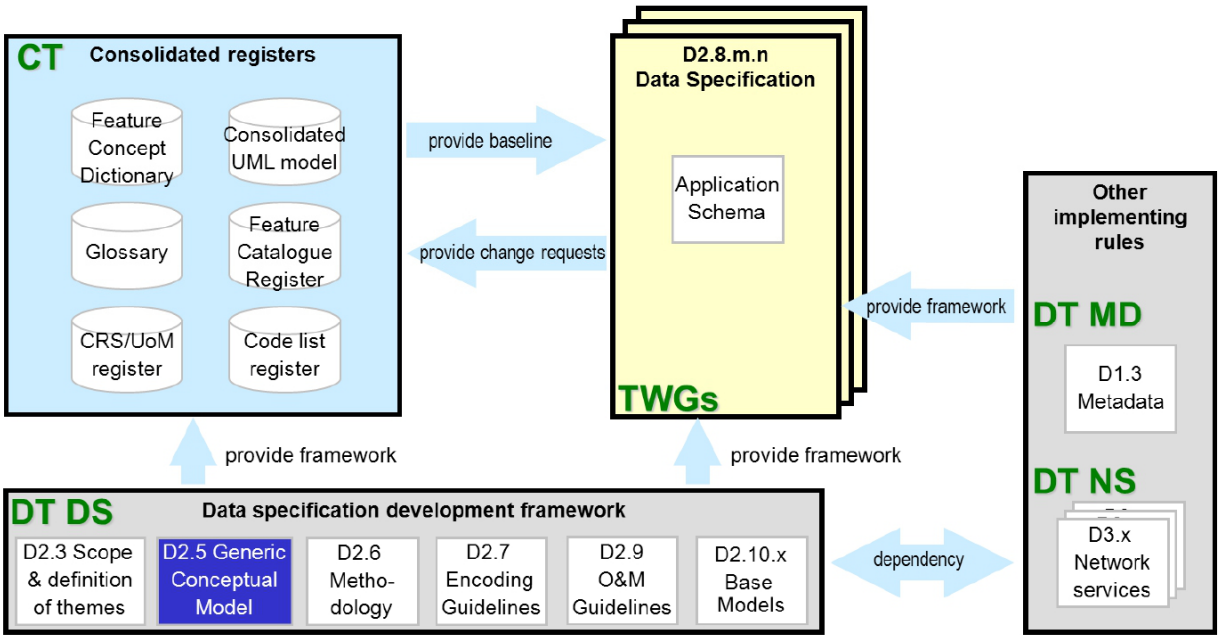

Abbildung 14: Beziehungen zwischen DS-Rahmenwerk und anderen Dokumenten der INSPIRE-Richtlinie (INSPIRE Drafting Team "Data Specifications" 2014, S. 4)

3.1.4.2. INSPIRE Registry

Im Rahmen der Implementierung von INSPIRE sind eine Reihe von Elementen, Informationen oder Schemata definiert, für diese ist eine übergreifende Referenzierung notwendig. Der Begriff „Register“ (en: register) ist dabei nach der DIN EN ISO 19135 wie folgt definiert:

„Menge an Dateien, welche Identifikatoren und Beschreibungen zu Einträgen enthalten.“ (DIN EN ISO 19135-1:2016-02) Als Identifikatoren (en: identifier) (ID) sind dabei „sprachlich unabhängige Zeichenkombination zur eindeutigen und permanenten Identifizierung“ zu verstehen.

Unter dem Begriff Registry versteht sich im Kontext ein Informationssystem, mit dem ein Register gepflegt wird (DIN EN ISO 19135-1:2016-02), also die technische Umsetzung des Register. Primäre Zielsetzung einer Registry innerhalb einer GDI wie INSPIRE ist es die INSPIRE-Themen, Codelisten, Anwendungsschemas oder Verweise auf Webdienste zu verwalten und strukturiert vorzuhalten. Das Register bietet dabei die Möglichkeit, Elementen und deren Namen, Definitionen und Beschreibungen (in unterschiedlichen Sprachen) eindeutige Identifikatoren zuzuweisen (Joint Research Centre | INSPIRE Registry 2017). Ziel ist es die Ressourcen klar zu beschreiben und durch eindeutige Identifikatoren referenzierbar zu machen. Der fachliche Inhalt des INSPIRE-Registers leitet sich dabei aus den Festlegungen der INSPIRE-Richtlinie, den Durchführungsbestimmungen und den Technischen Guidelines ab. Vorteilhaft sind solche Lösungsansätze bei der Definition von Nutzungskategorien für Bauwerke, welche damit europaweit – mehrsprachig – referenzierbar sind. Allgemein dienen Registry-Konzepte der „Verwaltung und der technischen Unterstützung übergreifender Anwendungen, um häufig benötigte, einheitliche Sachverhalte für eine Vielzahl von Nutzern bereitzustellen und zu verwalten (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE und Koordinierungsstelle GDI-DE 2010, S. 44). Die INSPIRE-Registry bietet den Zugriff über unterschiedliche Formate: HTML, XML, ATOM (Feeds), JSON sowie im RDF/XML. Ziel der unterschiedlichen Formate und der eindeutigen Referenzierung über URLs (Uniform Resource Locator) ist die nahtlose Integration der Informationen aus der Registry in daran anknüpfende Anwendung und Datenmodellierungen.

Register werden innerhalb der Europäischen GDI-Föderation auf unterschiedlichen Ebenen betrieben. Neben dem zentralen INSPIRE-Register sind es die Mitgliedsländer die eigene Register aufbauen. Teilweise sind die technischen Komponenten identisch mit denen von INSPIRE (z.B. Österreich (CCCA Datenzentrum 2016)) oder aber technische Eigenentwicklungen wie die der GDI-DE (Koordinierungsstelle GDI-DE 2016a). Zur Strukturierung dieser verschachtelten Register baut die EU eine INSPIRE Register Föderation auf (Europäische Kommission (Joint Research Center) 2017a).

Codelisten Register: INSPIRE Codelisten-Register

Codelisten dienen zur nicht abschließenden Sammlung und Verwaltung zulässiger Werte, welche von bestimmten Attributen angenommen werden können. Mit Hilfe der darin vorgehaltenen Codes werden Eigenschaften von Objekten beschrieben. Es ist zu beachten, dass im Rahmen von INSPIRE teilweise nur diejenigen Codes in Codelisten aufgenommen werden, welche aus gemeinsamer europäischer Sicht relevant sind. Sollten staatenspezifische Erweiterungen notwendig sein, können Codelisten, abhängig ihrer Definition der Erweiterbarkeit, national erweitert oder angepasst werden. Das INSPIRE Codelisten-Register beinhaltet dementsprechend internationalisierte Codelisten, die in den Durchführungsbestimmungen der INSPIRE-RL gefordert werden, und deren Werte. Es dient dem Zweck, eine Interoperabilität der Daten und Dienste zwischen den verschiedenen Mitgliedsstaaten zu gewährleisten. Die Codelisten können in mehr als 20 verschiedenen Sprachen abgefragt werden. Für jede Codeliste werden ID, Definition, Beschreibung, Thema, Anwendungsschema, Angaben zur Erweiterbarkeit, Regelungsebene und Status angegeben.

Als eindeutiger Identifikator und Zugriff auf die Werte der Registry dient die URL, beispielhaft für die „Art der Nutzung“ eines Gebäudes lautet diese (internationalisiert) wie folgt:

`http://inspire.ec.europa.eu/codelist/BuildingNatureValue`

Wobei sich die Hierarchie der Informationsablage aus dem Aufbau der URL ergibt.

Erweiterung der INSPIRE Codelisten

Vorhandene Codelisten können für die Anwender entweder nicht erweiterbar oder zur Erweiterung freigegeben sein. Die Erweiterbarkeit der einzelnen Codelisten ist in vier verschiedene Kategorien unterteilt:

- „Erweiterbar um beliebige Werte“ (open)
- „Erweiterbar um spezifischere Werte“ (narrower)
- „Nicht erweiterbar“ (none)
- „Leere Codeliste“ (any)

Letzteres bedeutet, dass für die Codeliste im INSPIRE Codelisten-Register (Joint Research Centre | INSPIRE Registry 2017) keine Werte spezifiziert und somit beliebige Werte zulässig sind. Wenn Codelisten durch einen Mitgliedstaat erweitert werden, müssen die zusätzlichen Werte (Erweitere Codelistenattribute) inklusiver einer Definition in einem frei zugänglichen Register eingetragen werden. Innerhalb Deutschlands kann dies beispielsweise in der nachfolgend erläuterten Registry der GDI-DE erfolgen (Koordinierungsstelle GDI-DE 2016a; Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2021). Zu finden ist die Registry GDI-DE beispielhaft unter: https://registry.gdi-de.org/codelist/de.adv-online.inspire/
(Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2021)

Von INSPIRE betroffene Geodatensätze in Deutschland

Von der INSPIRE-RL betroffen und somit von den geodatenhaltenden Stellen zugänglich zu machen sind solche Geodatensätze und –dienste sowie deren Metadaten, welche unter die Themen der Anhänge I bis III fallen. Die Betroffenheit unterliegt hierbei gewissen Einschränkungen. Veröffentlicht werden müssen Geodaten, die sich auf einen Bereich im Hoheitsgebiet des EU-Mitgliedstaates beziehen, in elektronischer Form vorliegen, behördliche Relevanz haben und eines der von der RL berührten Themen betreffen. Sofern von einem Datensatz Kopien

(Extrakte, Aggregate) an verschiedenen Stellen vorgehalten werden, so gilt die INSPIRE-RL nur für die Referenzversion, von der die Kopien abgeleitet sind. Die Sammlung neuer Daten wird derzeit explizit nicht vorgeschrieben. Für Geodatensätze, die bei einer Behörde der untersten Verwaltungsebene vorhanden sind, gilt die INSPIRE-RL nur, wenn ihre Sammlung oder Verbreitung durch eine nationale Rechtsvorschrift gefordert wird (Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007, Art. 4 & 5). Ausnahmen von der Veröffentlichungspflicht sind möglich, wenn nachteilige Auswirkungen beispielsweise auf die Vertraulichkeit von Behördenverfahren, internationale Beziehungen, die Vertraulichkeit von Geschäfts- oder Betriebsinformationen, Rechte des geistigen Eigentums, die Vertraulichkeit personenbezogener Daten oder den Schutz der Umweltbereiche, auf die sich die Informationen beziehen, entstehen könnten. Bei jeder Zugangsbeschränkung muss das öffentliche Interesse an der Veröffentlichung gegen das Interesse an der Beschränkung abgewogen werden (Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2007, Art. 13 Abs. 1). Die normative Bereitstellungspflicht, insbesondere auf der kommunalen Ebene (Kapitel 3.1.6 Kommunale Geodateninfrastruktur), weißt derzeit noch erhöhten Abstimmungsbedarf auf (Lojeski und Lwowski 2014b). eine umfassende Diskussion über die Betroffenheitsfrage einzelner Geodatensätze in Deutschland kann an dieser Stelle nicht geführt werden, teilweise befindet sich dieser Prozess auch nachwievor in kontroverseren Diskurs. Verwiesen wird daher auf die einschlägige Zusammenfassung des aktuellen Standes aller INSPIRE-Themen im Wiki der GDI-DE (INSPIRE Fachnetzwerke) (Koordinierungsstelle GDI-DE 2013c).

3.1.5. GDI in Deutschland (GDI-DE)

> „Der Weg von sektoralen Informationsdepots zu einer umfassenden Wissensvernetzung wird die Geodateninfrastruktur zum Motor der Wissensgesellschaft des 21. Jahrhunderts machen. (Deutscher Bundestag 2012, S. 11)“

Nicht erst durch die INSPIRE-Richtlinie ergibt sich auch für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland die Notwendigkeit zum Aufbau einer ebenenübergreifenden GDI. Die Geodateninfrastruktur Deutschland (kurz GDI-DE) ist dabei ein gemeinsames Vorhaben von Bund, Ländern und Kommunen. Es ergibt sich folglich eine vertikal verteilte Verpflichtung für die Bereitstellung von Geoinformationen sowie den Aufbau der GDI. Die GDI-DE als solche stellt eine übergeordnete Koordinierungsinstanz dar, rechtlich basierend auf der ‚Vereinbarung zwischen dem Bund und den Ländern zum gemeinsamen Aufbau und Betrieb der Geodateninfrastruktur Deutschland‘, erstmalig erlassen am 2006, aktuell in der Version 2013 (Verwaltungsvereinbarung GDI-DE 2013). Seit 2010 liegt die Umsetzung der GDI-DE im Verantwortungsbereich des IT-Planungsrates (IT-PLR) (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, S. 10), als wichtiger Baustein des nationalen E-Government (Schleyer et al. 2014). Die GDI-DE leistet hier durch die Bereitstellung von Geodaten einen wesentlichen Beitrag zu den E-Government-Initiativen von Bund, Ländern und Kommunen. Das Lenkungsgremium der GDI-DE (LG GDI-DE), zusammengesetzt aus Vertretern des Bundes, der Länder und der kommunalen Spitzenverbände nimmt dabei u.a. die Funktion der sogenannten nationalen Anlaufstelle im Sinne der INSPIRE-Richtlinie wahr (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b; Verwaltungsvereinbarung GDI-DE 2013). Die Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie in nationales Recht ((Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten 2009) sowie supplementär Ländergesetze) war ein wichtiger Impuls, um den in Deutschland bereits initiierten Aufbau einer nationalen GDI weiter voranzutreiben (Schleyer et al. 2014, S. 839). Erklärtes Ziel der GDI-DE ist: „[…] in Deutschland verteilt vorliegende Geodaten verschiedener Herkunft für Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Öffentlichkeit über Geodatendienste interoperabel verfügbar zu machen.“ (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, S. 12) Die einzelnen Geodateninfrastrukturen der Länder sowie Kommunen sind wiederrum integraler Bestandteile der GDI-DE. Die GDI-DE ist nicht als Individual- oder Insellösung zu verstehen sondern in den Gesamtrahmen GDI, damit auch INSPIRE, eingebettet, grenz- und ebenenübergreifend aber auch fach- sowie funktionsübergreifend (Schleyer et al. 2014, S. 829). Für das Zusammenspiel von INSPIRE und der GDI-DE gilt

dabei eine grundsätzlich enge Verzahnung. Nichtsdestotrotz sind die Datenthemen aus INSPIRE nicht abschließend für die GDI-DE. Werden Geodatenthemen nicht durch die INSPIRE Richtlinie (Anhänge I-III) behandelt, wird Interoperabilität innerhalb der GDI-DE insofern unterstellt, wenn die Geodaten allgemein mit etablierten Standards bereitgestellt werden. (AK INSPIRE des LG GDI-DE 2014)“

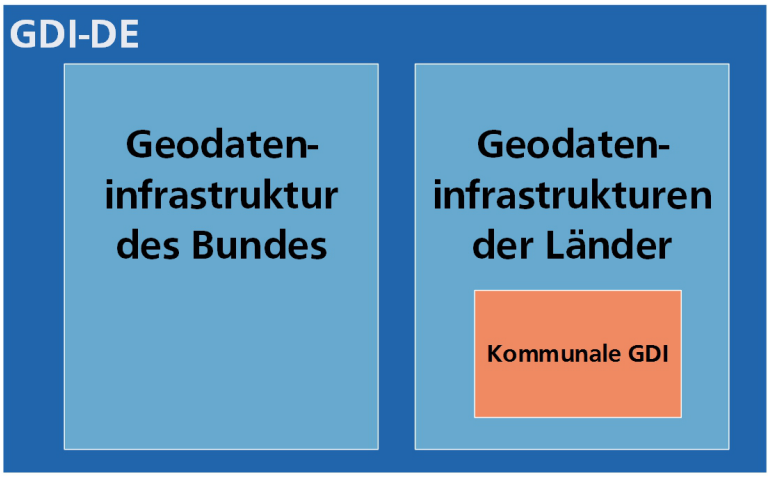

Abbildung 15: GDI-Hierarchie in Deutschland(Quelle Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, S. 12, 2014b)

Die bereits dargelegten Bestrebungen und Anforderungen aus INSPIRE haben weitreichenden Einfluss auf die Organisation und den Aufbau der GDI-DE. Im Hinblick auf die Ziele von INSPIRE und die der GDI-DE, soll diese hinsichtlich ihrer Entwicklung und Betrieb so ausgerichtet sein, dass:

- Geodaten auf der optimal geeigneten Ebene gespeichert, zugänglich gemacht und verwaltet werden.
- Die Erledigung von gesetzlichen Aufgaben auf allen Verwaltungsebenen unterstützt wird.
- Die Automation von Verwaltungsverfahren mit Raumbezug im Rahmen des E-Government vorangetrieben wird.
- Räumliche Daten für die unternehmerischen Aufgaben in der Wirtschaft, vor allem für die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle, von Unternehmen bereitstehen.
- Ein Beitrag zu einer raumbezogenen Wissensbasis für die Forschung geleistet wird.
- Die Öffnung der öffentlichen Verwaltung im Rahmen des Open Government durch Bereitstellung von Geodaten gefördert wird.
- Die Bedingungen für die Bereitstellung von Geodaten einer umfassenden Nutzung nicht in unangemessener Weise im Wege stehen.
- Geodaten leicht ermittelt und auf ihre Eignung hin geprüft werden können sowie
- die Nutzungsbedingungen leicht in Erfahrung zu bringen sind.
  (WEBSEITE GDI-DE 2010, (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, S. 13))

Die Umsetzung der GDI-DE orientiert sich dabei an einer Vielzahl von fachlichen Grundsätzen, die unterschiedlichen rechtlichen, fachlichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen werden in Form des Architekturkonzeptes der GDI-DE, bestehend aus Dokumenten zu grundsätzlichen Festlegungen (Ziele und Grundlagen, Technik sowie Maßnahmenplan) definiert. Dabei werden die nachfolgenden Grundsätze berücksichtigt (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, S. 13, 2014a):

Abbildung 16: Die fachlichen Grundsätze der GDI-DE (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2013, S. 15)

Die vielfältigen in Deutschland an der Umsetzung beteiligten Akteure werden von Seiten der GDI-DE in die nachfolgend aufgelisteten Gruppen eingeteilt. Hierzu gehören neben „den öffentlichen Stellen für die Daten- und Dienstebereitstellung auch privatrechtliche Organisationen, die im Sinne eines erweiterten Behördenbegriffs öffentliche Aufgaben wahrnehmen oder sich für eigene unternehmerische Zwecke an der Infrastruktur beteiligen möchten“ (Koordinierungsstelle GDI-DE im Auftrag des LG GDI-DE 2013, S. 13):

- national organisierte fachpolitische Interessensgruppen,
- Nachbarstaaten Deutschlands,
- wissenschaftliche Einrichtungen, die entweder von der gemeinsamen Infrastruktur für ihre eigenen Zwecke profitieren oder an ihrer Weiterentwicklung mitwirken sollen,
- die Öffentlichkeit. (Koordinierungsstelle GDI-DE im Auftrag des LG GDI-DE 2013, S. 13–14)

Die unterschiedlichen Akteure werden dabei in vier unterschiedliche Rollen untergliedert: Geodatenhaltende Stellen, Daten- und Dienstebereitsteller, Koordinatoren sowie Daten- und Dienstenutzer (Koordinierungsstelle GDI-DE im Auftrag des LG GDI-DE 2013, S. 14) Eine besondere Bedeutung kommt dabei Daten- und Dienstebereitstellern auf den unterschiedlichen Ebenen zu, hinsichtlich aktueller Hemmnisse und Probleme der Datenidentifizierung und Bereitstellung sei auf das Kapitel 3.1.7 verwiesen.

Rechtliche Umsetzung von INSPIRE in Deutschland

Für die rechtliche Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie trat im Februar 2009 das Geodatenzugangsgesetz des Bundes (Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten 2009) in Kraft. Auf Grund des föderalen Staatsaufbaus war es zur vollständigen rechtlichen Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie nötig, innerhalb der Bundesländer entsprechenden Gesetzgebungsverfahren durchzuführen. Das GeoZG gilt für geodatenhaltende Stellen des Bundes und der bundesunmittelbaren juristischen Personen des öffentlichen Rechts (§2 GeoZG). Die Umsetzung in Form der jeweiligen Ländergesetze wurde im Jahr 2010 abgeschlossen (GDI-DE 2015). In der überwiegenden Anzahl der Fälle wurde der Musterentwurf, erarbeitet unter Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), angepasst und zur Umsetzung ein neues Gesetz auf Landesebene

erlassen. Das Bundesland Hessen beispielsweise hat sich jedoch für eine Novellierung des Hessischen Vermessungs- und Geoinformationsgesetzes (HVGG) entschieden, indem die verankerten Regelungen zum öffentlichen Geoinformationswesen um die für INSPIRE erforderlichen Bestimmungen ergänzt worden sind (Schnitzer 2011, S. 55–57). Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht zum Zusammenhang der verschiedenen Dokumente, von der INSPIRE-Richtlinie bis zu den Umsetzungsanleitungen.

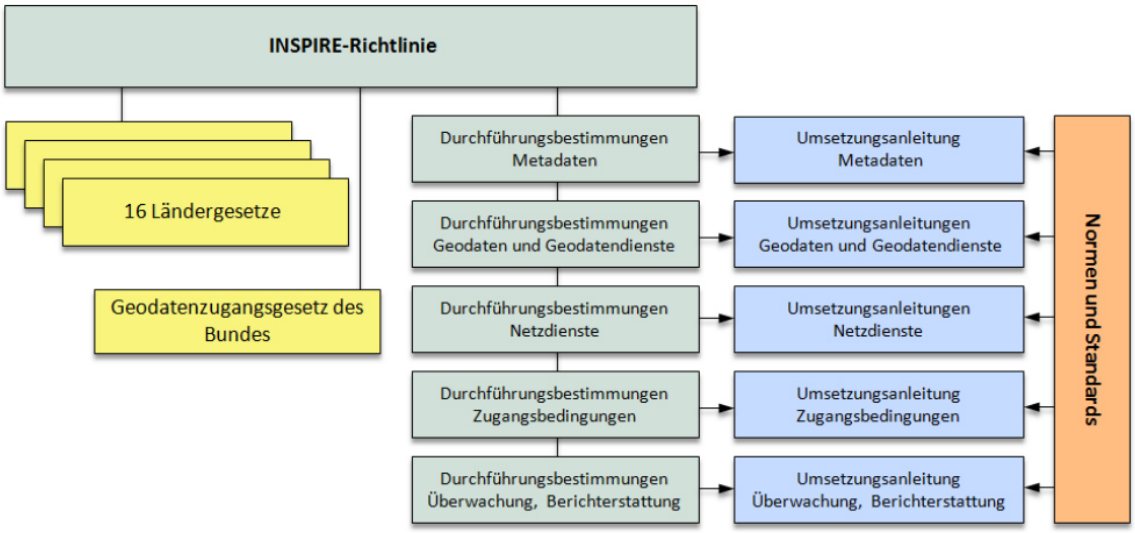

Abbildung 17: Dokumente im Zusammenhang mit der INSPIRE-Richtlinie (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, S. 16)

Ein wichtiger weiterer Meilenstein der effektiven Nutzung von INSPIRE in Deutschland war die Änderung des GeoZG vom 7.11.2012 (Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten 2009) sowie die Veröffentlichung der „Verordnung zur Festlegung der Nutzungsbestimmungen für die Bereitstellung von Geodaten des Bundes (GeoNutzV 2013). Waren von INSPIRE betroffene Geodaten des Bundes (nicht der Länder oder Kommunen) zuvor noch „Gegenstand ausgehandelter, privatrechtlicher Verträge, stehen sie fortan im Rahmen eines öffentlich-rechtlichen Zugangsregimes entgeltfrei zur Verfügung. (Martini und Damm 2013)“ Eine detaillierter Betrachtung der lizenzrechtlichen Zugänglichkeit von Geodaten und weiteren Daten der öffentlichen Verwaltung erfolgt im Kapitel 3.3 zu OpenData.

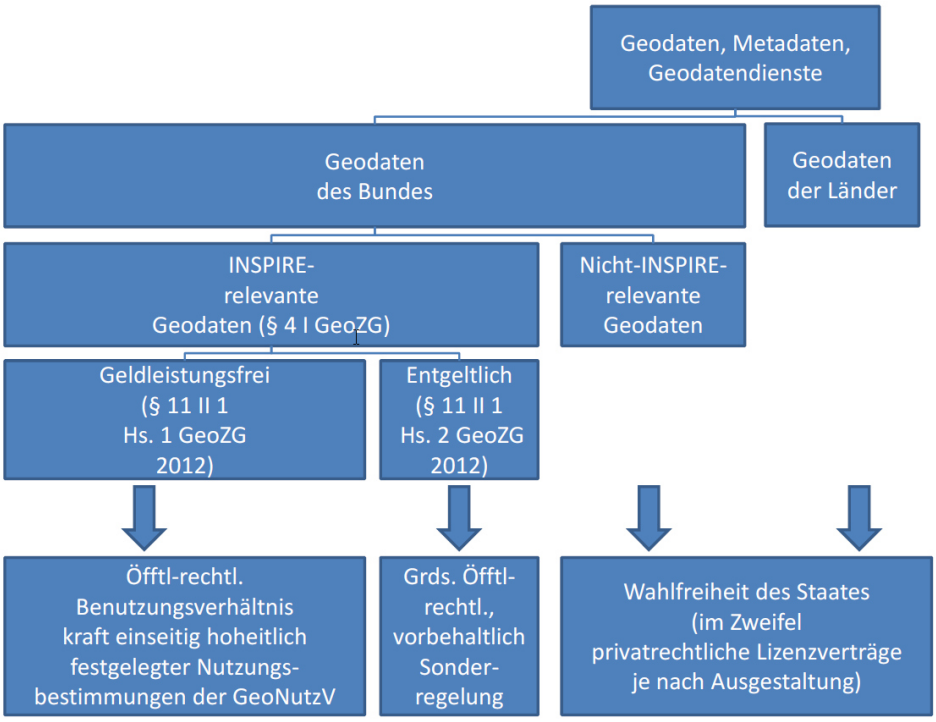

Abbildung 18: Wirkung der Festlegung zu OpenData im Kontext des GeoZG (Martini und Damm 2013, S. 14)

Eine Übersicht zum aktuellen Status der Umsetzung von INSPIRE in Deutschland geben die gemäß der Richtlinie auszuarbeitenden Monitoring & Reporting Berichte (Koordinierungsstelle GDI-DE 2010, 2012), derzeitig in der aktuellsten Fassung von 2014 (Koordinierungsstelle GDI-DE 2015b).

3.1.6. Kommunale Geodateninfrastruktur

Die kontrovers diskutierteste Ebene beim Aufbau der GDI innerhalb der Bundesrepublik Deutschland und insbesondere der Umsetzung von INSPIRE ist die kommunale (Kreisfreie Städte, Kreise, Gemeinden). Die Ursachen sind dabei vielschichtig, es lassen sich jedoch unterschiedliche Ausprägungen von kommunalen Geodateninfrastrukturen identifizieren. Im Besonderen sind es Organisationsstrukturen sowie Ansätze der INSPIRE Umsetzung welche derzeit stark variieren. Dies hängt oftmals von historischen, kulturellen, finanziellen und / oder politischen Faktoren ab (Vandenbroucke und Biliorius 2011). Konkret ist der Aufbau einer GDI für den kommunalen Bereich immer einem Spannungsfeld zwischen reiner Pflichterfüllung und der Sichtweise zum Aufbau einer Infrastrukturinvestition und Zukunftsinvestition mit strategischer Relevanz ausgesetzt (Lojeski und Lwowski 2014b, S. 10). Eine kommunale Geodateninfrastruktur zu etablieren heißt, im Gegensatz zu umfassenderen maßgeblich politisch initiieren Bestrebungen, praktische Aufgabenlösungen innerhalb einer kommunalen Stelle anzubieten (Lojeski und Lwowski 2014a, 2014b). Das die Bereitstellung von Geodaten für lokale Probleme nur durch die Bereitstellung von Geodaten auf der lokalen Ebene gelöst werden kann, stellt ein mögliches Leitmotiv dar. Die übergeordneten Ebenen können einen wichtigen Beitrag in der Definition der Datenmodelle und der allgemeinen Harmonisierung liefern, die Datenbereitstellung fokussiert sich hier jedoch meist auf Referenzdatenbestände.

> „Kommunale Geodaten stellen einen bedeutenden Anteil am Gesamtdatenaufkommen in Deutschland dar und beinhalten ein hohes Mehrwertpotenzial. Ohne kommunale Geodaten sind INSPIRE, GDI-DE und GDI-BW nicht denkbar, ebenso wenig wie ein modernes, auf qualitativ hochwertige Geodaten angewiesenes eGovernment. Dabei gibt es bei den kommunalen Stellen noch viel mehr Geodaten als bisher extern bereitgestellt werden.“ (Städtetag Baden-Württemberg et al. 2014, S. 44)

Grob lassen sich aktuelle Entwicklungstendenzen bei der Etablierung von Kommunalen GDI, ohne hierbei eine Wertung vorzunehmen, in drei Varianten unterscheiden. Siehe hierzu umfassend auch: (Schnitzer und Hickel 2013a, 2013b; Hickel 2010; Egert 2013; Rossmanith 2007).

Als erste Variante einer regionalen GDI lässt sich die „Regionale GDI-Kooperationen“, beispielhaft das Projekt der GDI-Südhessen festhalten. Merkmale einer solchen GDI sind oftmals eine etablierte kommunale Kooperation (teilweise historisch gewachsen), eine formelle (institutionalisierte) Organisationsstruktur sowie eine einhergehende wissenschaftliche Begleitung bzw. Kooperationen mit lokalen Wissensträgern. Der klare Fokus einer solchen GDI Kooperation liegt auf den Themen: Wissensaufbau (‚capacity building‘), Erfahrungs- und Wissensaustausch, dem erzielen von Synergieeffekten, der Umsetzung von GDI Beispielanwendungen sowie der Unterstützung der beteiligten Institutionen. Hinsichtlich der INSPIRE Pflichterfüllung ist die aktive Teilnahme an INSPIRE-Review-Verfahren zu nenne, die proaktive Identifizierung von kommunalen INSPIRE-Datensätzen sowie die hierzu notwendige Unterstützung politischer Willensbildung.

Als weitere Variante kann eine sogenannte ‚Stadt-GDI‘ genannt werden. Prägende Merkmale sind hierbei der Fokus einer GDI als Unterstützung der täglichen Arbeit, der individuellen Anpassung an politisch relevante Themen sowie die direkte Unterstützung politischer Entscheidungsfindung. Diese GDI-Initiativen sind oftmals nicht primär durch INSPIRE motiviert, sondern ziehen ihre Motivation aus konkreten Themenfelder in der Anwendung. Beispielhaft zu nennen sind hierbei: digitale ‚Bürgerservices‘ (z.B. Mängelmelder), die E-Government Integration, Sichtbarkeitsanalysen für Windkraftkraftanlagen sowie insbesondere der interne Geodatenaustausch. Die Stadt Frankfurt am Main hat hierzu beispielsweise, unter wissenschaftlicher Begleitung, einen „Masterplan GDI-FFM“ aufgestellt. Im Masterplan für den Aufbau der GDI Frankfurt am Main (GDI-FFM) werden so die „Anforderungen und erforderlichen Maßnahmen für eine erfolgreiche Umsetzung dieses Vorhabens formuliert.“ Weiter begründet der Masterplan die (auch politische) Notwendigkeit einer GDI, beschreibt die strategischen Ziele und gibt den organisatorischen Rahmen vor (Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main 2016). Wesentlich an einer solchen Stadt-GDI ist oftmals, dass diese auf bereits etablierte umfangreiche administrative Hierarchien innerhalb der Stadtverwaltung aufbaut und diese um den Bereich der Geodaten versucht zu erweitern (interne GDI).

Als dritte Variante einer regionalen GDI-Initiative sind eher informelle Initiativen zu nennen („Runder-Tisch-GDI“). Diese sind oftmals in eher strukturschwachen Regionen zu finden und haben den klaren Fokus auf einen pragmatischen Implementierungsansatz einer GDI. Dies sowohl allgemein als auch konkret für die geforderte INSPIRE-Umsetzung. Einfache und kosteneffiziente Lösungen zur Erfüllung der INSPIRE-Anforderungen sind hier gefordert (auch von höheren Verwaltungsinstanzen). Wesentlicher Treiber dieser Initiativen ist, dass andere Verwaltungsebenen beim Aufbau der GDI bereits weit voraus sind, eine Kooperation (auch interkommunal) notwendig und zielführend erscheint um Synergien zu nutzen und Mehrwerte generieren. Weiter ist es durch eine Institutionalisierung oftmals möglich Fördergelder zu akquirieren um der INSPIRE-Verpflichtung (normative Pflichterfüllung) nachzukommen.

Als Gemeinsamkeiten aller Varianten lassen sich eine starke Erwartungshaltung zu Unterstützung seitens der Landesverwaltungen und anderer übergeordneter Verwaltungseinheiten zur Umsetzung von INSPIRE festhalten. Zudem sind es vor allem Themen der Schematransformation, welche auf Grund geringer Kapazitäten hinsichtlich des vorhandenen Personals als schwierig angesehenen werden, da hier sowohl übergeordnetes (INSPIRE-Datenmodelle) als auch starkes lokales Wissen erforderlich ist. Die finanziellen Einschränkungen der Kommunen sowie ein damit einhergehender limitierter Rahmen für zusätzliche Aufgaben, gerne provokativ als ‚Kindergarten versus Geodateninfrastruktur‘ bezeichnet, spielt dementsprechend eine nicht unwesentliche Rolle. Viele der aufgezeigten Unterschiede haben einen ungleichen politischen Rückhalt (Verständnis), regional unterschiedliche Sichtweisen, unterschiedliche finanzielle Rahmenbedingungen sowie eine sehr große Heterogenität der gewachsenen GIS und Geodatenmanagementstrategie als Ursache. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt die Studie des DEUTSCHEN STÄDTETAGES ‚Einsatz von Geoinformationen in den Kommunen‘: Mangels

Koordination haben kommunale Entwicklungen unterschiedliche Philosophien als Grundlage, hier differieren die technologischen Konzepte zur Umsetzung mitunter erheblich. „Oft ist der Stellenwert von Geoinformationen in den Kommunen selbst zu gering eingeschätzt." (Deutscher Städtetag et al. 2013, S. 66)

Hinsichtlich INSPIRE stellt sich insbesondere die Frage nach der kommunalen Betroffenheit, also welche Geodaten unter die Bereitstellungspflicht (hier INSPIRE Annex I-III) fallen. Unter anderem hat zur INSPIRE-Identifizierung von möglichen Geodatenthemen die Koordinierungsstelle GDI-DE Handlungsempfehlungen herausgegeben (Koordinierungsstelle GDI-DE 2013b). Eine konkrete Orientierung und Auflistung möglicher Themen wurde durch den STÄDTETAG BADEN-WÜRTTEMBERG unter dem Titel ‚Kommunale Pflichtaufgaben beim Aufbau der europäischen Geodateninfrastruktur INSPIRE-Umsetzung im Rahmen der Geodateninfrastruktur Baden-Württemberg (GDI-BW)' ausgearbeitet. Hier spricht man von einem betroffenen Geodatensatz bei einer kommunalen Verwaltung wenn er die folgenden Bedingungen erfüllt (Städtetag Baden-Württemberg et al. 2014, S. 5):

1. noch in Verwendung steht (keine historischen Daten),
2. in elektronischer (digitaler) Form vorliegt,
3. einem der 34 INSPIRE-Themenbereiche zuzuordnen ist,
4. die originären Ausgangsdaten (keine Kopien) darstellt und
5. aufgrund rechtlicher Vorgaben zu führen ist.

Die kommunale Stelle ist bei Vorliegen der genannten Bedingungen als datenführende bzw. -haltende Stelle verpflichtet, diesen Geodatensatz bereitzustellen. Klar ist jedoch auch, dass dies eine Empfehlung seitens des Städtetags Baden-Württemberg darstellt, andere Interpretationen der kommunalen Bereitstellungspflicht sind daher möglich. Die Frage der kommunalen Betroffenheit und konkreten Datenbereitstellung wird weiterhin kontrovers diskutiert. Regionale GDI-Initiativen nehmen Stellung, welche Geodatensätze von einer Bereitstellung im Sinne von INSPIRE betroffen sind (Geodateninfrastruktur Südhessen (GDI-Südhessen) 2014; AK INSPIRE des LG GDI-DE 2014; Koordinierungsstelle GDI-DE 2013a; Kommunennetzwerk GDI 2015). Im Besonderen für das Land Hessen von Relevanz sind die Analysen des „Kommunennetzwerks im Einzugsbereich des Amtes für Bodenmanagement Heppenheim" (Kommunennetzwerk GDI 2015), hier erfolgt eine konkrete Prüfung einer möglichen Bereitstellungspflicht kommunaler Geodaten mit Bezug auf die hessische Gesetzgebung (HVGG 2007). Von Seiten des Lenkungsgremiums GDI-DE wurde zur weiteren Fokussierung und Priorisierung von Datenthemen die Handlungsempfehlung herausgegeben, übergreifend zusammengeführten Geodaten Vorrang vor solchen Daten einzuräumen die vor allem eine rein lokale oder regionale Bedeutung haben. Langfristig kann die INSPIRE-Richtlinie jedoch auch auf kommunaler Ebene zu Vereinfachungen durch die interoperable Verfügbarkeit von Geodaten führen (AK INSPIRE des LG GDI-DE 2014, S. 7). Die Studie des Deutschen Städtetags hat bereits verschiedenen Handlungsempfehlungen für die Umsetzung von GDI auf kommunaler Ebene dargelegt (Deutscher Städtetag et al. 2013, S. 82). Hier sind es vor allem Aspekte wie die Verbesserung der interkommunalen Vernetzung, eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit, die Verbesserung von Wirtschaftlichkeitsaspekten sowie die Bereitstellung der erforderlichen Ressourcen, welche als zentral angesehen werden. Gerade die Notwendigkeit den Widerspruch zwischen einer INSPIRE-Verpflichtung und der Freiwilligkeit oder gar Notwendigkeit eines Geodatenmanagements zu lösen ist einer der zentralen Punkte (Deutscher Städtetag et al. 2013, S. 82–83; Wanders 2013; Ostrau et al. 2013) „Bereits heute besteht eine Vielzahl interkommunaler Kooperationen auf Ebene der Kreise, kreisfreien Städte und Gemeinden. Sie stellen eine typische Ausprägung funktionierenden Geodatenmanagements dar und bieten die Chance ressourcensparender Aktivitäten im Bereich der kommunalen GDI."(Deutscher Städtetag et al. 2013, S. 81) Mittels interkommunaler Kooperationen eröffnen sich Möglichkeiten für die Zusammenarbeit mit anderen Partnern wie Landesinstitutionen oder der gemeinsamen Umsetzung mit Dienstleistern. „Der Anteil an den Gesamtkosten, der für die Datenbeschaffung, -konsolidierung und -harmonisierung aufgewendet werden muss, ist in vielen Projekten beträchtlich und könnte erheblich reduziert werden." (Lojeski und Lwowski 2014a) Eine erfolgreiche

überregionale Zusammenarbeit muss dabei aber auch immer auf klar definierten finanziellen, personellen und strukturellen Vereinbarungen beruhen. Wie es OSTRAU beschreibt ist es das Grundprinzip der Freiwilligkeit, kombiniert mit »sanftem« Gruppendruck, welches für nachhaltige Ergebnisse stehen kann (Ostrau et al. 2013, S. 320). Als zukunftsweisende Projektentwicklung kann hier die Bestrebung der GDI-Südhessen zum Aufbau einer ‚Zentralen GDI / INSPIRE-Plattform' angesehen werden. Ziel ist durch Hinzufügen harmonisierter Geodaten automatisiert eine INSPIRE konforme Datenpublikation (Datendienste und Metadaten) zu erreichen. Das Projekt befindet sich derzeit in der konkreten technischen Umsetzungsphase (Arbeitsgemeinschaft GDI-Südhessen 2017).

3.1.7. Zusammenfassung aktueller Stand beim Aufbau von Geodateninfrastrukturen

Die vollständige (nicht formelle), aber praxisnahe Umsetzung der INSPIRE-RL ist tatsächlich in der Paxis noch nicht abgeschlossen. Es wird jedoch an zahlreichen Stellen innerhalb und außerhalb der Verwaltung weiter an ihrer Umsetzung gearbeitet. Im 2016 erschienenen Bericht, der der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über die Durchführung der INSPIRE-RL wird u.a. festgehalten, dass die gemeldeten Durchführungskosten in den Mitgliedsländern zwischen 0,5 und 13,5 Mio. EUR/Jahr schwanken, wobei die meisten Mitgliedstaaten Kosten zwischen 2 und 3 Mio. EUR/Jahr in ihrem Bericht an die EU Kommission angaben. „In den meisten Fällen liegt dies unter den ursprünglichen Schätzungen in der anfänglichen Folgenabschätzung, die zwischen 4 und 8 Mio. EUR/Jahr lagen, was vermutlich damit zu tun hat, dass der Fortschritt hinter den Erwartungen zurückliegt." (Europäische Kommission 2016, S. 9) Bedeutender sind nicht zwingend die potenziell zu hohen Kosten, sondern viel mehr der fehlende Fortschritt einer technischen wie organisatorischen Umsetzung. Als größte Herausforderung nennt der Bericht die noch fehlende „Transformation von Geodaten, um Konformität mit gemeinsamen Datenmodellen zu erreichen". Bisher, so stellt der Bericht fest, ist das niedrige Konformitätsniveau der Daten nicht überraschend, müssten die Mitgliedstaaten den finalen Schritt der Datenharmonisierung erst bis 2020 abgeschlossen haben. (Europäische Kommission 2016, S. 7) Es wird an dieser Stelle jedoch die Forderung erhoben, die teils zu komplexen Datenmodelle zu reduzieren und die Anwendbarkeit der Modelle übergreifend in den Vordergrund zu stellen (Europäische Kommission 2016, S. 14). Hier befindet sich die INSPIRE-Umsetzung in einem schwer zu durchbrechendem Prozess. Fehlende konforme und werthaltige Datensätze zur freien Nutzung hindern massiv die Anwendung der Daten, die fehlende Anwendung wiederrum hindert die Motivation einer kurzfristigen und qualitativen Umsetzung der Datentransformation und Datenpublikation. Die teils sehr komplexen Datenmodelle hindern diesen Prozess auf beiden Seiten. „Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es wenige Endnutzeranwendungen, mit denen sich das Potential von Daten durch den Einsatz des INSPIRE-Ansatzes auf EU-Ebene ausschöpfen lässt." (Europäische Kommission 2016, S. 12)

Wie bereits die Darstellung aktueller kommunaler Umsetzungen von GDI und insbesondere INSPIRE gezeigt hat, bewegt sich die langfristige Implementierung in einem umfassenden Spannungsfeld zwischen aktuellen politischen und gesellschaftlichen Herausforderungen, normativen Anforderungen und der Abschätzung von Kosten- und Nutzeneffekten. Streuff warnt in seinem zusammenfassenden Credo zum allgemeinen Verständnis von INSPIRE (im übertragenen Sinne äquivalent für die Situation der GDI-DE) davor, in INSPIRE kein ‚allumfassendes' Allheilmittel zum Aufbau einer solchen Geodateninfrastruktur zu sehen. Eine Überfrachtung des Begriffes erscheint nicht zielführend, gerade in einer Phase, in welcher sich die Umsetzung noch am Anfang befindet (Streuff 2014, S. 377). Die grundlegenden Ziele und Visionen: „Mehr Transparenz und öffentliche Teilhabe", „Wachstumsimpulse durch Nutzung von Wertschöpfungspotenzialen" sowie „effizientes Verwaltungshandeln zur Politikunterstützung" sind nach wie vor Leitlinien der INSPIRE-Umsetzung. INSPIRE ist dabei als eine gemeinsame Aufgabe von Experten aus dem Umweltbereich und weiterer Fachverwaltungen, auf der einen Seite und Experten aus dem Geoinformationswesen (öffentlich wie privat) auf der anderen zu verstehen (Streuff 2014, S. 379). Neben diesen Aspekten sind es aber Implementierungsprobleme auf den unterschiedlichen Ebenen, welche die grundsätzliche Umsetzung des Gesamtrahmen verzögern. Gerade der, für eine EU-

weite GDI notwendige normative Gesamtrahmen wird wegen seiner fehlenden dynamischen Anpassungsmöglichkeit auf Entwicklungen anderer Informationsinfrastrukturen als bremsend charakterisiert (Wytzisk et al. 2013, S. 334). Mit Initiativen wie der Einrichtung von Arbeitsgruppen wie dem ‚INSPIRE Maintenance and Implementation Framework' wird genau dieser Anforderung Rechnung getragen. Im Besonderen ist es jedoch der für den Aufbau von Know-how für die INSPIRE-Umsetzung benötigte Aufwand und nicht die im Vergleich geringer einzuschätzenden Kosten einer technischen Implementierung, die auf kommunaler Ebene das wohl größte zu lösende Problem darstellen (LG GDI-DE 2013, S. 24). Im Zusammenhang mit den innerhalb von INSPIRE sehr spezifischen und für kommunale Aufgaben sehr komplexen Datenmodellen und Spezifikationen, der damit einhergehenden Aufwände, wird gerade auf kommunaler Ebene der entstehende Mehrwert und die Nutzbarkeit in eigenen Geodatenprozessen hinterfragt. „In der Praxis scheinen die komplexen Dienste nur begrenzt Anwendung zu finden, so dass auch deren Umsetzung vor dem Hintergrund aktueller Haushaltssituationen hinterfragt wird."(Lenkungsgremium Geodateninfrastruktur Deutschland (LG GDI-DE) 2013, S. 23) Die Umsetzung von INSPIRE kann hier nur als Teil eines Gesamtprozesses angesehen werden, die regionale GDI steht dabei als Basis für Geodaten-Interoperabilität, INSPIRE nur als Multiplikator und Motivator der lokalen Geodateninfrastruktur (Schnitzer und Hickel 2013a). Wozu die konkrete technische Umsetzung beitragen kann ist die vermehrte Dokumentation kommunaler Geschäftsprozesse mit Geodatenbezug und deren Verzahnung und Verknüpfung mit weiteren E-Government-Bestrebungen. Hierüber wird es möglich den Wiederspruch zwischen INSPIRE-Verpflichtung und der des Geodatenmanagements zu lösen (Wanders 2013). „Die INSPIRE-Umsetzung birgt aber nicht nur Pflichten, sondern auch beträchtliche Chancen. Hier geht es insbesondere um den Mehrwert, der mithilfe der vielfältigen kommunalen Geodaten zukünftig geschaffen werden kann."(Lojeski und Lwowski 2014a) Das Verständnis, Applikationen und zentrale GDI-Komponenten in die täglichen Arbeitsprozesse auch der internen Verwaltung zu integrieren kann einer der notwendigen Schritte für mehr Akzeptanz sein (Vandenbroucke et al. 2013, S. 59).

Diskussionen um die Weiterentwicklung von GDI gehen in ähnliche umfassendere Richtungen. GDI kann nicht als für sich stehende Lösung zum reinen Austausch von Geodaten angesehen werden, sondern muss sich viel mehr in vorhandenen generelle ‚Informationsinfrastrukturen' einbetten. GDI muss sich als dynamisches Netzwerk verstehen und sich anderen (Daten & Informations-) Infrastrukturen öffnen und entsprechende Anknüpfungspunkte aufbauen. Es bedarf hier eines Blickes nach Außen, nicht nach Innen (Erik de Man, W.H. 2007, S. 6–8). So nehmen auch aktuelle Entwicklungen um das Thema ‚Volunteered geographic information' (VGI) bereits jetzt Einfluss auf die Entwicklung von GDI (siehe Kapitel 3.2.4). Ansätze zur langfristigen Integration von sogenannten VGI in bereits bestehenden Geodatentöpfe sind damit unumgänglich. Dabei müssen VGI nicht als gegensätzlicher Part zu öffentlichen Geodaten angesehen werden, strategisch lassen sich diese innerhalb einer GDI ergänzend nutzten (Coetzee et al. 2013). Dem Potenzial von VGI innerhalb einer GDI wird dabei großes Potenzial in Bereichen einer verbesserten Entscheidungsunterstützung und lokalen Datenanalysen nachgesagt (Diaz et al. 2012, S. 369). Mit der Integration von VGI, aber auch der zukünftig vorstellbaren Integration von Geodaten der Privatwirtschaft, haben Geodateninfrastrukturen zusätzlich den Charakter eines Marktplatzes erhalten, der Transaktionen räumlicher Informationen in alle Bereiche der Wirtschaft und Gesellschaft erleichtern kann (Steudler und Rajabifard 2012b). Hier ist es vor allem auch der Einfluss von Open Government auf die Entwicklung von GDI, welcher ein zusätzlicher Faktor der zukünftigen Innovation darstellt. Der 2016 veröffentliche Evaluationsreport der Europäischen Kommission, zum aktuellen Umsetzungstand von INSPIRE, hebt exakt diese Anforderung hervor. Es bedarf eindeutig einer engeren Verzahnung der INSPIRE Umsetzung mit nationalen Open Data Bestrebungen. Insbesondere auf politischer Ebene:

"Komplexe und heterogene nationale Datenpolitiken und das Fehlen einer europaweiten Datenpolitik behindern den freien Datenfluss — eine Sorge, der auch der weiter gefasste digitale Binnenmarkt Rechnung trägt. Der am wenigsten effektive Teil des Durchführungsprozesses betrifft die Datenpolitiken. Viele Datensätze und Dienste sind immer noch nicht problemlos zugänglich (d. h. ohne rechtliche oder finanzielle Hindernisse), was

eine Voraussetzung für die Schaffung von Mehrwert durch diese Daten auf dem Binnenmarkt ist." (Europäische Kommission 2016, S. 8) Perspektivisch aufgegriffen wird dieser Punkt mit der Initiative „GreenData4All". Ab Ende 2021 plant die Europäische Kommission die Überarbeitung der INSPIRE-Richtlinie in direktem Zusammenhang mit der Richtline über den Zugang zu Umweltinformationen (PSI) (European Parliament and Council of the European Union 30.12.2003). Leitmotiv ist hierbei die Datenbereitstellung für den sogenannten „Green Deal (COM(2019) 640)", mit welchem sich Europa das ehrgeizige Ziel gesetzt hat bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent der Welt zu werden (Europäische Kommission 2020, S. 32).

3.2. Open Data

> *„Offenheit, Transparenz, Verantwortungsbewusstsein, Beteiligung, Zusammenarbeit, Kohärenz und (volks-) wirtschaftlicher Nutzen." (Lucke 2012, S. 2)*

Wie die vorangestellte Darstellung aktueller Bestrebungen zum Aufbau von Geodateninfrastrukturen gezeigt hat, spielen Nutzungsbedingungen, lizenzrechtliche Festlegungen und der übergeordnete Zugriff auf Geodaten der öffentlichen Verwaltung (und teilweise darüber hinaus) eine weitreichende Rolle in aktuellen gesellschaftlichen Entwicklungen. Verschiedene normative Initiativen (PSI-Richtlinie (European Parliament and Council of the European Union 30.12.2003), Informationsfreiheitsgesetzgebung, INSPIRE etc.) stellen die Notwendigkeit und Bedeutung des Zugangs zu Daten der öffentlichen Hand für die heutige Gesellschaft heraus. Ein Grundsatz der Demokratie ist der freie Zugang zu Informationen zur allgemeinen und persönlichen Meinungs- und Entscheidungsfindung. PETER SCHAAR (Bundesbeauftragter für den Datenschutz AD; 2013) charakterisierte den Wandel zur offenen und transparenten Bereitstellung von Daten als Bestandteil unserer Demokratie, wobei demokratische Kontrolle natürlich voraussetzt, dass in die, der Entscheidung zu Grunde liegenden Daten, Einsicht genommen werden kann. Hier gibt es aus seiner Sicht für die zukünftige Entwicklung eines freien und unbeschränkten Zugriffs auf Daten der Verwaltung kein Zurück mehr. Informationskanäle wie das Internet schaffen heute die technischen Möglichkeiten für eine solche Datenbereitstellung, anders als vor 20 oder 30 Jahren. Notwendig ist dabei langfristig eine aktive Datenbereitstellung, d.h. eine Plattform (das Internet) über die alle Daten allgemein zugänglich sind (Schaar, am 05.05.2013 im Deutschlandfunk 05.05.2013).

3.2.1. Definition von Open (Government) Data

Der Begriff ‚Open Data' wird oftmals auch synonym im deutschsprachigen Raum als ‚Offene Daten' bezeichnet. Open Government Data muss zum umfassenden Verständnis der Zielsetzung in den Gesamtkontext der Open Government Bestrebungen gestellt werden. Das Ziel von ‚Open Government' ist es ganz allgemein „Politik und Verwaltung für Bürger, Zivilgesellschaft und Wirtschaft zu öffnen und diese an staatlichen Entscheidungsprozessen zu beteiligen."(DStGB et al. 2014, S. 3) Open Government lediglich auf Open Data sowie auf den „Wert der frei zugänglichen Datenschätze der Verwaltung" zu reduzieren geht nach Lucke 2012, S. 1–2 nicht weit genug. Es geht vielmehr darum, die Transparenz staatlichen Handelns zu verbessern. Dieser Wunsch nach mehr Transparenz ist dabei Ausdruck eines sich veränderten Verhältnisses zwischen Staat und Bürger (Ladstätter 2015, S. 70). Dazu gehört, als ein elementarer Bestandteil, die Öffnung von Datenbeständen von Politik und Verwaltung. Open Government beschreibt die allgemeine Öffnung von Staat und Verwaltung gegenüber der Gesellschaft (extern), aber auch intern, in die eigenen Verwaltungsorgane hinein (Klessmann et al. 2012, S. 26). In der Gesamtdiskussion um Open Data geht es im umfassenderen Sinne auch um Daten aus Wissenschaft und Wirtschaft und nicht rein um Daten der Verwaltung und Politik (DStGB et al. 2014, S. 3). Als Stichwörter seien hier die Gesamtbestrebungen der ‚Open-Bewegung' wie, ‚Open Source', ‚Open Content', ‚Open Education', ‚Open Access' und weitere genannt (Seuß 2015, S. 63). Open Data kann dabei als übergeordnetes Schlagwort verstanden werden, unter dem sich Begriffe wie ‚Open Geo Data', ‚Open Government Data' oder auch etwas

abgegrenzt davon ‚Public Sector Information' (kurz PSI) einordnen lassen. Open Data ist dabei nicht ausschließlich auf Datenbestände der öffentlichen Verwaltung beschränkt, auch privatwirtschaftlich agierende Unternehmen, Bildungseinrichtungen und Rundfunksender sowie Non-Profit-Einrichtungen produzieren entsprechende Datensätze von Relevanz, die Grenzen sind oftmals fließend (von Lucke und Geoger 2010, S. 3).

Übergeordnet definiert sich ‚Offenes Wissen' ganz allgemein wie folgt:

> „Wissen ist offen, wenn jedeR darauf frei zugreifen, es nutzen, verändern und teilen kann – eingeschränkt höchstens durch Maßnahmen, die Ursprung und Offenheit des Wissens bewahren." (Open Knowledge Open Definition Group 2015 [sic])

Offene Daten (Open Data) hingegen konkret:

> „Offene Daten sind sämtliche Datenbestände, die im Interesse der Allgemeinheit der Gesellschaft ohne jedwede Einschränkung zur freien Nutzung, zur Weiterverbreitung und zur freien Weiterverwendung frei zugänglich gemacht werden."(von Lucke und Geoger 2010, S. 3)

Offene Verwaltungsdaten schränken diese Definition weiter ein: (Open Government Data - OGD):

> „Offene Verwaltungsdaten sind jene Datenbestände des öffentlichen Sektors, die von Staat und Verwaltung im Interesse der Allgemeinheit ohne jedwede Einschränkung zur freien Nutzung, zur Weiterverbreitung und zur freien Weiterverwendung frei zugänglich gemacht werden."(von Lucke und Geoger 2010, S. 5–6)

Im Weiteren wird der Begriff Open Data als übergeordnet verwendet und bezieht die unterschiedlichen Ausprägungen mit ein, Fokus der Betrachtung liegt auf den Daten der Verwaltung, also Open Government Data. Der Veröffentlichung und damit einhergehenden Weiterverwendung von Open Data wird neben den gesellschaftlichen Aspekten ein großes wirtschaftliches Potenzial nachgesagt. Schätzungen der Europäischen Kommission gehen im Zuge der Digitalen Agenda im Jahr 2012 von potenziellen wirtschaftlichen Werten in Höhe von 140 Milliarden EUR aus (Europäische Kommission 2012, S. 8). Das darin enthaltene wirtschaftliche Potenzial von Geoinformation wird vom Dachverband für Geoinformation als sehr hoch eingestuft (DDGI 2013). Konkrete Schätzung des wirtschaftlichen Potenzials müssen jedoch als schwierig angesehen werden; davon, dass von Open Data Bestrebungen positive makroökonomische Effekte eintreten werden, kann allerdings ausgegangen werden (Ladstätter 2015, S. 71). Die Bestrebungen und Initiativen zu Open Data sind historisch vor allem in den USA und England zu finden, weshalb viele der grundlegenden Definition hieraus hervorgegangen sind. Die Kriterien, wann Daten als Open Data bezeichnet werden können, ist von der Open Knowledge Open Definition Group definiert, hervorgegangen aus den von der Sunlight Foundation herausgegebenen Prinzipien zu offenen Regierungsinformationen (von Lucke und Geoger 2010, S. 4–5). Nach der Deutschen Übersetzung der opendefinition /od/1.1/de/ lauten die Prinzipien wie folgt:

1. Zugang

Das Werk soll als Ganzes verfügbar sein, zu Kosten, die nicht höher als die Reproduktionskosten sind, vorzugsweise zum gebührenfreien Download im Internet. Das Werk soll ebenso in einer zweckmäßigen und modifizierbaren Form verfügbar sein.

2. Weiterverbreitung

Die Lizenz darf niemanden hindern, das Werk entweder eigenständig oder als Teil einer Sammlung aus verschiedenen Quellen zu verschenken oder zu verkaufen. Die Lizenz darf keine Lizenzzahlungen oder andere Gebühren für Verkauf oder Verbreitung erfordern.

3. Nachnutzung

Die Lizenz muss Modifikationen oder Derivate erlauben, ebenso wie deren Weiterverbreitung unter den Lizenzbedingungen des ursprünglichen Werks.

4. Keine technischen Einschränkungen

Das Werk muss in einer Form zur Verfügung gestellt werden, die keine technischen Hindernisse für die Durchführung der oben genannten Nutzungen beinhaltet. Dies kann durch die Bereitstellung des Werks in einem offenen Datenformat erreicht werden, dessen Spezifikation öffentlich und frei verfügbar ist und das keine finanziellen oder anderen Hindernisse bezüglich der Nutzung auferlegt.

5. Namensnennung

Die Lizenz kann als Bedingung für Weiterverbreitung und Nachnutzung des Werkes die Nennung der Namen seiner Urheber und Mitwirkenden verlangen. Sollte diese Bedingung gestellt werden, darf sie nicht behindernd wirken. Zum Beispiel sollte, sofern eine Namensnennung verlangt wird, dem Werk eine Liste derjenigen Personen beigefügt sein, deren Namen zu nennen sind.

6. Integrität

Die Lizenz kann als Bedingung für die Verbreitung des Werkes in modifizierter Form verlangen, dass das Derivat einen anderen Namen oder eine andere Versionsnummer als das ursprüngliche Werk erhält.

7. Keine Diskriminierung von Personen oder Gruppen

Die Lizenz darf keine Einzelpersonen oder Personengruppen diskriminieren.

8. Keine Einschränkung der Einsatzzwecke

Die Lizenz darf niemanden daran hindern, das Werk zu einem beliebigen Zweck einzusetzen. Zum Beispiel darf die Nutzung des Werkes für kommerzielle Zwecke oder zur Genforschung nicht ausgeschlossen werden.

9. Lizenzvergabe

Die rechtlichen Bedingungen, denen ein Werk unterliegt, müssen bei der Weiterverteilung an alle Empfangenden übergehen, ohne dass diese verpflichtet sind, zusätzliche Bedingungen zu akzeptieren.

10. Die Lizenz darf nicht an eine spezifische Sammlung gebunden sein

Die rechtlichen Bedingungen, denen ein Werk unterliegt, dürfen nicht davon abhängen, ob das Werk Teil einer spezifischen Sammlung ist. Wenn das Werk der Sammlung entnommen und innerhalb deren Lizenzbestimmungen verwendet oder verbreitet wird, müssen alle Parteien, an die das Werk weiterverteilt wird, sämtliche Rechte erhalten, mit denen auch die ursprüngliche Sammlung ausgestattet war.

11. Die Lizenz darf die Verbreitung anderer Werke nicht einschränken

Die Lizenz darf anderen Werken, die mit dem lizensierten Werk gemeinsam weitergegeben werden, keine Beschränkungen auferlegen. Die Lizenz darf beispielsweise nicht dazu verpflichten, dass alle Werke, die auf demselben Medium enthalten sind, offen sind. (Vollzitat - Open Knowledge Open Definition Group 2015 v.1.1 DE)

Den 11 Kriterien folgend birgt das Themenfeld weitreichendes Diskussions- und Konfliktpotenzial. Primär sind es die Themenfelder Lizenzmodelle, Urheberrecht, Datenschutz, Refinanzierung der Datenerhebung, Haftung, Sicherheit und weitere, welche die prinzipielle Offenlegung von Daten derzeit erschweren und teilweise einschränken. Eine Abwägung der verschiedenen Interessen ist bei der Etablierung von Open Data zu berücksichtigen. Die Diskussion und Abwägung von Interessen kann an dieser Stelle jedoch nicht umfassend aufgegriffen werden.

3.2.2. Open Data in Deutschland

Die Umsetzung von Open Data in der Bundesrepublik Deutschland wird durch den übergreifenden Aufbau unterschiedlicher Open Government und Open Data Portale deutlich. Wichtiger Meilenstein bei der Umsetzung von Open Data in Deutschland ist der ‚Nationale Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der Open-

Data-Charta der G8‘ (Bundesministerium des Innern (BMI) 2014). Mit den fünf Prinzipien der auf dem G8-Gipfel im Juni 2013 beschlossenen ‚Open-Data-Charta‘ haben sich alle Staaten zu einer breiten Veröffentlichung von Verwaltungsdaten im Sinne von Open Data bekannt.

1. Standardmäßig offene Daten – Förderung der Erwartung, dass Verwaltungsdaten bei Beibehaltung des Schutzes der Privatsphäre öffentlich gemacht werden;
2. Qualität und Quantität – Freigabe qualitativ hochwertiger, aktueller und gut beschriebener offener Daten;
3. Von allen verwendbar – Freigabe so vieler Daten wie möglich in so vielen offenen Formaten wie möglich;
4. Freigabe von Daten für verbessertes verantwortungsbewusstes staatliches Handeln –Weitergabe von Expertise und Herstellung von Transparenz betreffend Datensammlung, Standards und Veröffentlichungsverfahren;
5. Freigabe von Daten für Innovation – Nutzer-Konsultationen und Unterstützung künftiger Generationen von Ideengebern. (Zitiert aus: Bundesministerium des Innern (BMI) 2014, S. 4)

Auf Bundesebene wird der Umsetzung mit dem ebenenübergreifenden Datenportal ‚GovData‘ Rechnung getragen. GovData wird als Onlineportal geschaffen, über das weiterverwendbare Daten aller Verwaltungsebenen von Bund, Ländern und Kommunen gebündelt zugänglich gemacht werden. Ziel ist es langfristig einen Beitrag zur Umsetzung des Regierungsprogramms ‚Vernetzte und transparente Verwaltung‘ und der Nationalen E-Government-Strategie zu leisten (GovData | Datenportal für Deutschland 2015). Der offene Dialog der Umsetzung wird durch Aktivitäten wie das ‚Öffentliche Fachgespräch‘ im Ausschuss für Digitale Agenda am 5. Nov. 2014 gestärkt. Hier wurden verschiedene Experten, aus Forschung, Verwaltung und OpenData Initiativen wie der Open Knowledge Foundation (OKNF) eingeladen, um über die zukünftige Ausrichtung in Deutschland zu diskutieren (Deutscher Bundestag 2014). Im Zuge der Umsetzung auf Bundesebene findet darüber hinaus ein offener Beteiligungsprozess zur Nutzung von offenen Verwaltungsdaten statt. Vorstellungen und Wünsche von primär bereitzustellenden Daten werden dabei gesammelt. Die Beteiligung findet unter der ‚Ideenplattform zum Open Data Aktionsplan‘ statt (BMI und Initiative D21 e.V. 2015). Eine umfassende Studie zu Open Government Data in Deutschland liegt mit der im Auftrag des BMI durchgeführten ‚Open Government Data Deutschland‘ Studie (Klessmann et al. 2012) vor. Schwerpunkte sind Geldleistungsmodelle, Governance und mögliche Betreibermodelle für eine Open-Government-Plattform (Klessmann et al. 2012, S. 5). Diese Studie stellt in gewisser Weise eine Vorstufe zur jetzigen Umsetzung des GovData Portal dar. Auf europäischer Ebene ist es die initiiere ‚Digitale Agenda‘, welche einer der Treiber in Richtung eines freien und digitalen Zugriffs auf Daten und Informationen des öffentlichen Sektors darstellt (Hansen et al. 2013, S. 167; Europäische Kommission 2012). Anfang 2015 wurde der Aufbau eines übergreifenden europaweiten Open Data Portals unter Federführung von ‚Capgemini Nederland BV‘ bekanntgegeben. An der Umsetzung - in einem internationalen Konsortium - beteiligt sind von deutscher Seite das Unternehmen con terra GmbH sowie Fraunhofer FOKUS (eGovernment Computing 2015). Die veranschlagten Kosten des Portals belaufen sich auf ca. 8 Millionen €, für die Umsetzung sind drei Jahre veranschlagt (Europäische Kommission 2014a). Von einem finalen Betrieb des Portals kann somit ab 2018 ausgegangen werden, prototypische Umsetzungen werden der finalen Umsetzung bereits vorgeschaltet.

Spezifisch für den Bereich der Kommunen haben der DStGB, KGSt und Vitako[4] ein Positionspapier zu Open Data in Kommunen verfasst (DStGB et al. 2014). Hier ist das klare Bekenntnis hin zu einer transparenten und vernetzten Verwaltung und der Verbreitung von Open Data zu finden (DStGB et al. 2014, S. 4). Potenziell

[4] DStGB: Deutscher Städte- und Gemeindebund, KGSt: Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement, Vitako: Bundes-Arbeitsgemeinschaft der Kommunalen IT-Dienstleister e.V.

offene Daten liegen auf allen föderalen Ebenen vor, ein Großteil auch bei den Kommunen. Allgemein ist der Umsetzungsstand von Open Data in Deutschland noch sehr heterogen, eine erste Orientierung erlauben die derzeitig betriebenen Open Data Portale. Zum Gegenwärtigen Zeitpunkt (Januar 2017) betreiben 50% aller Deutschen Bundesländer ein eigenes OpenData Portal. Ohne deren, sehr heterogen ausgeprägten, Inhalte im Detail auszuwerten zeigen sie doch ein klares Bekenntnis hin zur Öffnung der Verwaltungsdaten. Ende 2016 ist zudem, durch neue Gesetzgebungsinitiativen, eine neue Dynamik im Bereich der bundesweiten OpenData Gesetzgebung auszumachen. Die Konferenz der Regierungschefinnen und Regierungschefs von Bund und Ländern (Die Bundesregierung 2016) hat ihre klare Position für eine bundesweit einheitliche Gesetzgebung im Bereich Open Data deutlich gemacht: „Der Bund wird in Kürze ein Open Data Gesetz für seinen Kompetenzbereich vorlegen. Die Länder werden in ihrer Zuständigkeit - soweit noch nicht geschehen - ebenfalls Open Data Gesetze erlassen und dabei das Ziel verfolgen, in Anlehnung an die Bundesregelung bundesweit vergleichbare Standards für den Zugang zu öffentlichen Datenpools zu erreichen.“ (Die Bundesregierung 2016)

Weiter konkretisiert werden diese Bestrebungen durch den 2017 erschienenen 4. Geo-Fortschrittsbericht der Bundesregierung (Die Bundesregierung 2017), welcher als eine zentrale Maßnahme für die Weiterentwicklung des Geoinformationswesens in Deutschland die „Kostenfreie Bereitstellung der Geobasisdaten der Länder als Open Data“ definiert:

„Die Bundesregierung setzt sich nachdrücklich dafür ein, dass die Länder, soweit noch nicht geschehen, ihre Geobasisdaten ebenfalls kostenfrei als Open Data zur Verfügung stellen. Aus Sicht der Bundesregierung haben sich hierzu die Länder mit dem Beschluss der Konferenz der Regierungschefinnen und Regierungschefs von Bund und Ländern über die Neuregelung des bundesstaatlichen Finanzausgleichssystems am 14.10.2016 und der Entschließung des Bundesrates zur Teilnahme Deutschlands an der OGP politisch verpflichtet. Die Bundesregierung erwartet, dass die Länder die kostenfreie Bereitstellung der Geobasisdaten als Open Data als Maßnahme in den nationalen Aktionsplänen für die OGP benennen.“

Die sehr deutliche Forderung, im Besonderen durch den Föderalismus geprägte Differenzen der Datenbereitstellungen zu beseitigen ist damit normativ verankert. In wie fern eine umfassende und vor allem einheitliche Rechtslage innerhalb der föderalen Struktur der Bundesrepublik Deutschland mit dieser Initiative einhergeht ist derzeit noch nicht abzusehen. Gerade die unterschiedlichen föderalen Auslegungen und Freiheitsgrade stellen nach wie vor eines der zentralen Probleme eines einheitlichen Zugriffs aus Daten der Öffentlichen Verwaltung im Sinne des Open Data dar. Für die Bundesländer sind die Perspektiven hierbei als deutlich positiver anzusehen, auf Ebene der Landkreise, Städte und Gemeinden liegt die Umsetzungsquote von Open Data dagegen deutlich darunter. Einige positive Beispiel befinden sich jedoch auch auf dieser Ebene bereits in der Umsetzung (OpenData Portal Niederrhein 2015). Prinzipiell benötigt gerade die Kommunale Verwaltung nicht zwingend ein eigenständiges Open Data Portal zur Veröffentlichung ihrer Daten, auch die Publikation auf der eigenen Webseite oder in einem der übergeordneten Portale ist möglich. Einzelne Kommunen müssen daher nicht abwarten, bis das jeweilige Bundesland oder der Bund Gesetze, Regelungen oder technische Infrastrukturen vorgibt. Sie können ihre Daten auch in Eigeninitiative auf ihren derzeitigen Webseiten veröffentlichen. Verschieden Szenarien der Datenbereitstellung werden, auch aus technischer Sicht, im Positionspapier ‚Open Data in Kommunen‘ diskutiert (DStGB et al. 2014, S. 22–30). Essentiell erscheint es daher ein Open Data-Handbuch zur Datenbereitstellung für alle föderalen Ebenen zu erstellen und Standardlösungen für die Bereitstellung über eigene oder zentrale Open Data Portale (DDGI 2013). Die technische Umsetzung wird im Vergleich zu den anderen Herausforderungen als relativ einfach zu lösen beschreiben. Herausforderung ist der allgemeine Kulturwandel, welcher mit den Zielsetzungen des Open Government einhergeht.

3.2.3. Open Geo Data

> „Derzeit erschweren eine Vielzahl von Kostenregelungen und Nutzungsbedingungen den Einsatz von Geodaten. Bundesweit harmonisierte und einfache Regelungen würden deren Transparenz und Akzeptanz deutlich erhöhen.“ (Deutscher Bundestag 2012, S. 27)

Offene Geodaten (Open Geo Data) können als eine Untergruppe von Open Data angesehen werden. Das große Potenzial von offenen Geodaten ist bereits weitreichend diskutiert und kann an dieser Stelle nicht vertieft werden (Kulk und van Loenen 2012; Paderta 2011; Bauer 2012; DDGI 2013; Seuß 2015; Friedt und Luckhardt 2014; Ladstätter 2015; Jörg 2014). Geodaten wird mehrfach eine Vorreiterrolle in der Open Data Datenbereitstellung zugewiesen. Nicht nur das hier bereits eine Großzahl von Datenbeständen verfügbar ist, viel mehr wird u.a. die Geodatennutzungsverordnung (GeoNutzV 2013) des Bundes zur Geldleistungsfreiheit für Geodaten des Bundes, auch für die kommerzielle Nutzung, als ein Leuchtturmbeispiel der rechtlichen Umsetzung von Open Data in Deutschland hervorgehoben (Deutscher Bundestag 2014). Weiter ist die bereits seit längerem stattfindende proaktive Bereitstellung von Geodaten eine Ursache für deren Fokus. Der Bereich der Geodaten zeigt, dass ein zentrales Element der wirtschaftlichen Nutzung offener Daten deren Harmonisierung und Standardisierung ist. Die Frage der einheitlichen Formate ist im Bereich von Open Geo Data durch den Bedarf einer (historisch geprägten) übergreifenden Nutzung und damit einhergehenden interoperablen Festlegungen im technischen Sinne bereits weitgehend gelöst. Nicht einheitlich geregelt sind dagegen die Lizenzbedingungen, hierfür liegt die Entscheidung vielfach bei den jeweiligen Dateneigentümern (Bund – Länder – Kommune). Ein weiterer Grund für die hervorgehobene Bedeutung offener Geodaten ist deren ‚Basisfunktionalität‘. Ein Blick auf die Vielzahl von bereits entstandenen Open Data Anwendungen (‚Apps‘ / Applikationen) macht deren zentrale Komponente deutlich, eine Karte und die räumliche Verortung ist oftmals ein zentrales Element der Umsetzung. Die Einordnung des Begriffs gelingt über die Darstellung in Form eines Venn-Diagramms (Abbildung 19). Paderta 2011 gliedert hier die Aufteilung in Bezug auf Daten der Verwaltung, während Seuß 2015 hierüber eine entsprechende Ein- und Zuordnung des Begriffs im Gesamtrahmen der Open-Bewegung beschreibt.

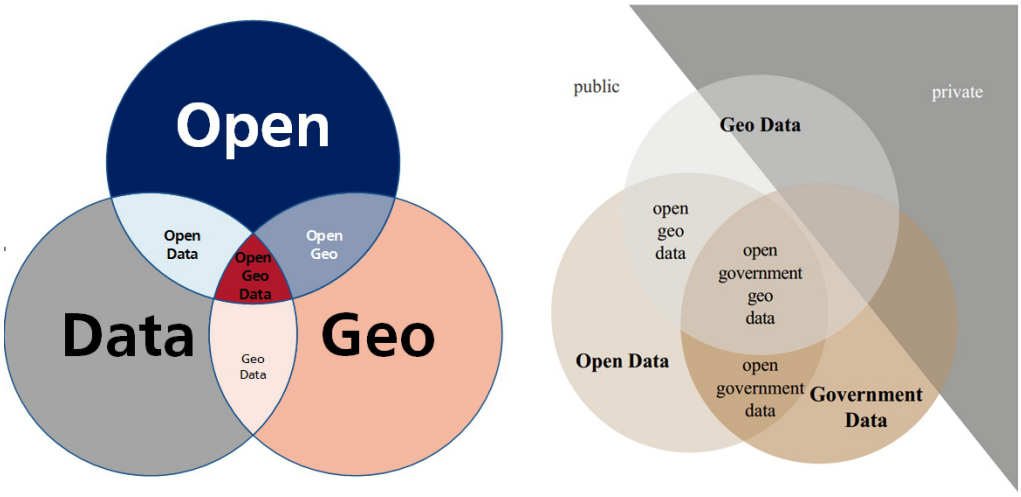

Abbildung 19: Open Geo Data als Venn-Diagramm – Links: (Seuß 2015, S. 63); Rechts: (Paderta 2011, S. 11)

Open Geo Data, definiert sich damit kurzgefasst als: Frei zugängliche raumbezogene (Roh-) Daten, welche ohne jedwede Einschränkung zur freien Nutzung, zur Weiterverbreitung und zur freien Weiterverwendung frei zugänglich sind. Wobei der Begriff ‚raumbezogen‘ hier weit gewählt werden kann, d.h. es werden nicht nur Daten eines direkten Raumbezugs, sondern auch solche mit indirektem inkludiert. Letztendlich ist der Bereich fließend, viele der Daten aus der Verwaltung (Open Gov (Geo)Data) weisen entweder einen direkten oder der wesentlich größere Anteil einen indirekten Raumbezug auf. Deutlich wird der fließende Übergang anhand von Bauakten, Unternehmensregistern, Steuerbescheiden etc., so fallen diese initial nur unter den Begriff Open

(Gov) Data. Liegen die Daten in Form einer räumlichen Zuordnung vor, beispielsweise im Zuge des E-Government mittels geokoodierten Adressen[5], können sie auch indirekt oder direkt den Open Geo Data zugeordnet werden. Eine isolierte Betrachtung des Bereichs Open Geo Data ist daher, wenn überhaupt im Themenfeld der Bereitstellung von Geobasisdaten möglich. Eine Abgrenzung erscheint dabei jedoch nicht zielführend.

Nach Christl 2014 lassen sich „offene Geodaten" hingegen wiederrum in vier Bereiche unterteilen, wobei gerade der Einbezug von Daten aus proprietären Datenbeständen (GoogleMaps etc.) nur in Bezug auf eine ‚offene' Nutzung in die Definition mit einbezogen werden können. Auch der Bereich der „Verwaltungs- Geodaten" kann weiter unterschieden werden, hier vor allem in frei nutzbare Daten in Form von Diensten (Bsp. Web-Atlas DE – ähnlich Freemium-Model zur Nutzung) und dem Bezug der Primärdaten (Geodaten in Rohform z.B. Stadtmodelle als CityGML). Demnach sind die vier Hauptgruppen von offenen Geodaten (Christl 2014):

- Proprietäre Geodaten in einem ‚Freemium Model' (GoogleMaps, BingMaps, HereMaps)
- Öffentliche & Verwaltungs- Geodaten (Open Gov Geodata)
- ‚Community Driven Data' (Beispielsweise VGI wie OSM)
- Forschungsdaten

Wie Seuß 2015 die aktuelle Situation zusammenfassend beschreibt, steht die breite Nutzung von Open (Geo) Data erst am Anfang, weißt jedoch ein großes Entwicklungspotenzial auf. Diskussionen auf allen unterschiedlichen Ebenen, der politischen, der bürokratischen, der ökonomischen aber auch der technologischen sind notwendig, um eine einheitliche und transparente Veröffentlichung von Geodaten sicherzustellen (Gonzalez-Zapata und Heeks 2015).

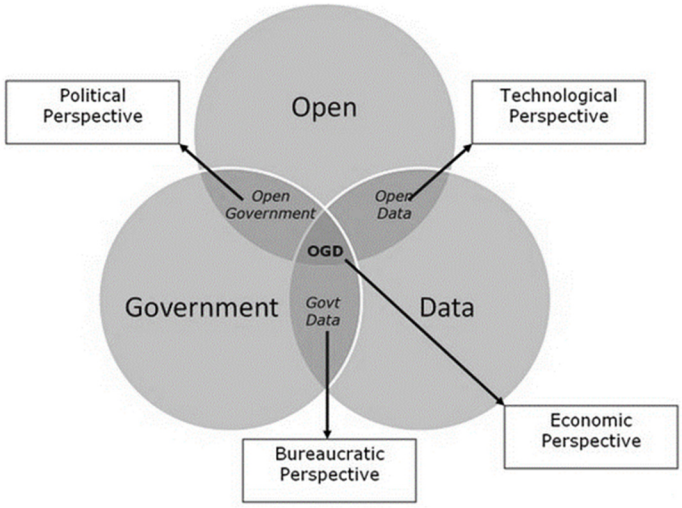

Abbildung 20: Differenzierte Perspektiven auf Open Governmenr Data - Quelle: (Gonzalez-Zapata und Heeks 2015)

3.2.4. Volunteered Geographic Information / OpenStreetMap

> „Der Begriff Volunteered Geographic Information (VGI) wurde von (Goodchild 2007, S. 211–221) geschaffen, der darin eine Sonderform eines weitaus allgemeineren Trends im World Wide Web sieht: Schaffen von sog. ‚user generated content', wofür das Erstellen, Sammeln und Verteilen von geographischen Informationen, die freiwillig im World Wide Web von zumeist privaten Personen bereitgestellt werden, kennzeichnend ist."(de Lange 2013, S. 227)

[5] Siehe hierzu die „Geokodierungsvorschrift" im E-Government-Gesetz (vgl. Art. 1, § 14 EGovG 2013)

Als das bekannteste und größte VGI-Projekt ist OpenStreetMap (OSM) zu bezeichnen, initiiert im Jahr 2004 und mit ca. 20.000 aktiven Nutzer im Monat (Jahr 2013) ist ein stetiger weltweiter Zuwachs von Daten zu verzeichnen (Neis und Zielstra 2014, S. 79–81). Die grundlegende Zielsetzung des OpenStreetMap Projektes ist es, räumliche Informationen in Form von Geodaten allgemein frei zur Verfügung zu stellen. Besonderer Fokus ist hier nicht nur die kartografische Ausprägung der Daten in Form von Kartenwerken, sondern auch die Möglichkeit des direkten Bezugs der Rohdaten in Form von Vektordaten mit attributiven Informationen. OSM unterscheidet hinsichtlich der geometrischen Datenmodellierung zwischen Punkten (nodes) und Linien (ways). Linien bestehen dabei aus einer Folge von Punkten. Komplexere Zusammenhänge werden in Form von Relationen (relations) abgebildet. Die einzelnen Elemente werden mit sogenannten Tags in beliebiger Anzahl beschrieben. Die Tags sind dabei vergleichbar mit Attributen und können von Sachinformationen bis zu Darstellungsvorschriften eine Vielzahl von Festlegungen enthalten. Die Erfassung der Daten erfolgt in der Regel entweder über Positionstracking mittels GNSS (globales Navigationssatellitensystem - Global Navigation Satellite System) oder der Digitalisierung von digitalen Orthophotos (DOPs). Weitere Datenimporte sind regionsspezifische Importe anderer (auch amtlicher) Geodatenbestände (Neis und Zielstra 2014, S. 80). Die Daten aus OSM liegen nach einer Lizenzumstellung, letztmalig im Jahr 2012, in der ODbL 1.0 (Open Data Commons | Open Database License (ODbL) v1.0 2015) vor. Eine ausführliche Beschreibung der Gründe, Folgen und zukünftigen Bedeutung der Lizenzumstellung von CC-BY-SA Lizenz 2.0 zu ODbL findet sich bei Zscheile 2014. Gemäß der Einordnung in unterschiedliche Ausprägungen offener Geodaten fallen Sie damit unter ‚Community Driven Open Data', sind damit nur mit der Einschränkung einer Namensnennung sowie des sogenannten ‚Copy Lefts' für ‚abgeleitete Datenbanken' frei in jedweder Art verwendbar.

Als ein wesentliches Hemmnis bei der Nutzung und Integration von VGI-Daten wie OSM werden die fehlende Qualität und hier vor allem effektive Mechanismen der Qualitätssicherung genannt. Das große Vertrauen, welches traditionell Geodaten der nationalen Vermessungsverwaltungen entgegengebracht wird ist hier nicht vorhanden (Goodchild 2007, S. 31). Auch sind durch die weltweite Abdeckung und große Unterschiede hinsichtlich der Vollständigkeit zwischen verschiedenen Ländern allgemeingültige Aussagen zur Qualität nicht möglich. Auch länderspezifisch sind große Unterschiede zwischen Großstädten und touristisch gut erschlossenen Gebieten im Vergleich zu ländlichen Räumen festzustellen (de Lange 2013, S. 230). Mit Forschungsarbeiten wie denen von Neis 2014 und Zielstra 2014 zur Untersuchung der Qualität sowie der Etablierung von Qualitätssicherungsmechanismen in OSM, mit dem Fokus auf Routing-Applikationen, sind erste Schritte zur langfristigen Etablierung solcher vorhanden. Für den Bereich des Gebäudebestandes liegen erste Betrachtungen der geometrischen und semantischen Genauigkeit mit Hecht et al. 2013 und Kunze 2013 vor. Die Vollständigkeit des OSM-Gebäudebestands in Deutschland wird mit unter 30 % als nicht annähernd vollständig beschreiben (Vergleichsdatensatz ALKIS im Nov 2012) (Hecht et al. 2013, S. 1086; Goetz und Zipf 2012). Das fehlende strikte Datenmodell in OSM macht es zudem schwierig etablierte Mechanismen der Qualitätssicherung von Geodaten anzuwenden (Neis und Zielstra 2014, S. 94–95). Verschiedene alternative Lösungsansätze wie die der ‚gamifaction' (Oderbolz und Hunziker 2015) oder die automatische Erkennung von Datenvandalismus (Neis 2014, S. 146–166) sind bereits umgesetzt und befinden sich in der weiteren Erprobung (Neis und Zielstra 2014, S. 95–96). Zukünftig sind Methoden denkbar welche Daten in OSM über einen Art ‚Vertrauensfaktor' des entsprechenden Mappers (OSM-Datenerfasser) individuell klassifizieren (Neis und Zielstra 2014, S. 96). Zudem ist bei jeglichen Aussagen zur Qualität von OSM-Datenbeständen die regionale Ausprägung zu betrachten, die Heterogenität ist nachweißlich regional sehr stark ausgeprägt. Analysen haben aber in Teilen nachgewiesen das OSM besser als herkömmliche Geodaten sein kann (Arsanjani et al. 2015, S. 321). Regionale und thematische Varianzen sind dabei jedoch weitreichend, eine allgemeine Aussage dieser Art kann schwer getroffen werden. OSM ist neben der Nutzung als webbasierte Basiskarte (Basemap) für verschiedenste Webprojekte mit räumlicher Komponente stark in den Fokus der Forschung gerückt. Einen weitreichenden Überblick über verschiedenste Forschungsdisziplinen, die sich Daten aus OSM zunutze machen, beispielhaft die Umsetzung von

OSM-Daten in 3D Visualisierungen (Goetz und Zipf 2012), findet sich vor allem in der aktuellen Publikation ‚OpenStreetMap in GIScience' (Arsanjani et al. 2015).

Neben dem Bereich der Forschung und Anwendung in verschiedensten räumlichen Applikationen nehmen aktuelle Entwicklungen um das Thema VGI bereits Einfluss auf die Entwicklung von GDI. Ansätze zur langfristigen Integration von VGI-Daten in bereits bestehende Geodatentöpfe (auch die der Verwaltung) sind damit unumgänglich. Dabei müssen VGI-Daten nicht als gegensätzlicher Part zu öffentlichen Daten angesehen werden, strategisch lassen sich diese innerhalb einer GDI ergänzend nutzten (Coetzee et al. 2013). So nennen bereits Wytzisk et al. 2013 „die Adaption des Web 2.0-Paradigmas hinsichtlich der Einbeziehung nutzergenerierter Informationen zum Aufbau neuer bzw. zur Validierung und Verdichtung bereits bestehender Datenbestände" eine der großen Chancen und Potenziale der Weiterentwicklung von Geodateninfrastrukturen. Mögliche Integrationen von VGI in bestehende Geodateninfrastrukturen diskutieren Ho und Rajabifard 2010 sowie Mooney und Corcoran 2011. Wie bereits zu beobachten ist, werden Daten aus OSM bereits zur Informationsanreicherung vorhandener (auch öffentlicher) Geodatenportale oder geobasierter Anwendung verwendend (z.B. POI-Suche). Die Vor- und Nachteile beider Datenbestände: klar definierte gegen offene Datenmodellierungen, hohe geometrische Genauigkeit und Verlässlichkeit gegen große Varianz der Genauigkeit aber auch oftmals nur sehr rudimentär erfasste semantische Informationen gegen beliebiges Detailreichtum bei OSM - um nur einige zu nennen - bieten enorme Möglichkeiten der inkludierten Nutzung.

3.2.5. Geodateninfrastrukturen und Open Data

Der Einfluss und Mehrwert einer kombinierten Betrachtung von GDI und OpenData Bestrebungen wird in der Vereinheitlichung von Datenmodellen und der Bereitstellung interoperabler Daten deutlich. Offene Verwaltungsdaten können in verschiedenen Anwendungen erst dann den propagierten Mehrwert erzeugen, wenn sie übergreifend, also standardisiert, regionsübergreifend genutzt werden können. Was damit an dieser Stelle bereits zusammenfassend festgehalten werden kann, ist die noch vorhandene Diskrepanz zwischen offenen nicht harmonisierten Rohdaten und einer vereinheitlichten Veröffentlichung von Daten für übergreifende Anwendungsszenarien und Datenzusammenführungen. Was der Open Data Bewegung bisher weitestgehend fehlt ist die Existenz von einheitlichen Datenmodellen und semantischen Festlegungen. Die aktuelle Forderung nach Rohdaten in offenen Datenformaten steht im Vordergrund. Eine Auswertung der Daten und Integration in Anwendungen und damit einhergehende Inwertsetzung der Rohdaten erfolgt meist mittels großem Aufwand Einzelner oder der Open Data Community. Meist ideell motiviert, in Form von lokalen ‚Hack-Treffen' (z.B. die OK Labs der OKNF 2015) oder losen Entwickler-Zusammenschlüssen, findet eine Nutzung der Daten statt. Auf Open Data fokussierte Unternehmen haben im Gegensatz zur Community meinst einen gewinnorientierten Grundgedanken bei der Umsetzung von Lösungen basierend auf Open Data. Die Evolution zu einheitlichen Standards, die Open Data in Form von definierten Modellen oder über den Linked Data Ansatz bereitstellen sind die nächsten Schritte hin zu mehr Interoperabilität. Der Linked Data Ansatz steht dabei jedoch noch am Anfang der Entwicklung, auch ist davon auszugehen, dass gerade die Umsetzung und Bereitstellung von Linked Data aus der Verwaltung heraus derzeit noch eine Vision darstellt. Geodaten aus Geodateninfrastrukturen sind hier schon einen Schritt weiter und damit eine besondere Ausprägung im Open Data Kontext. Für die Vision einer Übertragbarkeit der Anwendungen sind interoperable Datenmodelle und Beschreibungen unerlässlich. Dem Gedanken folgend, Anwendungen, welche Open Data auswerten und nutzen, übergreifend auszutauschen und gemeinsam zu entwickeln, um eine Übertragbarkeit zu Gewährleistung und damit die beschriebenen Synergieeffekte zu erzielen, macht die zentrale Stellung von gleichen Modellen (syntaktisch und semantisch) deutlich. Bereits jetzt wird in den Entwicklercommunity rund um Open Data an Festlegungen für einheitliche Modellierungen (Beispielsweise Kindertagesstätten und Schulen für Info-Apps, Adressen (OpenAddresses.io 2015)) gearbeitet. Wer letztendlich die vorhandenen Daten der Verwaltungen in diese Modelle transformiert ist noch offen. Die Definition der Zielmodelle ist dabei nicht zwingend Aufgabe der Open Data Community, IT-

Standards und einheitliche Normen, Verfahrensabläufe, Qualitätsstandards und damit auch Datenmodelle halten vermehrt übergreifend Einzug in Verwaltungsprozesse. Für eine gesteigerte Effektivität sind diese im Verbund mit Informations- und Kommunikationstechnologien (ITK) auch essenziell.

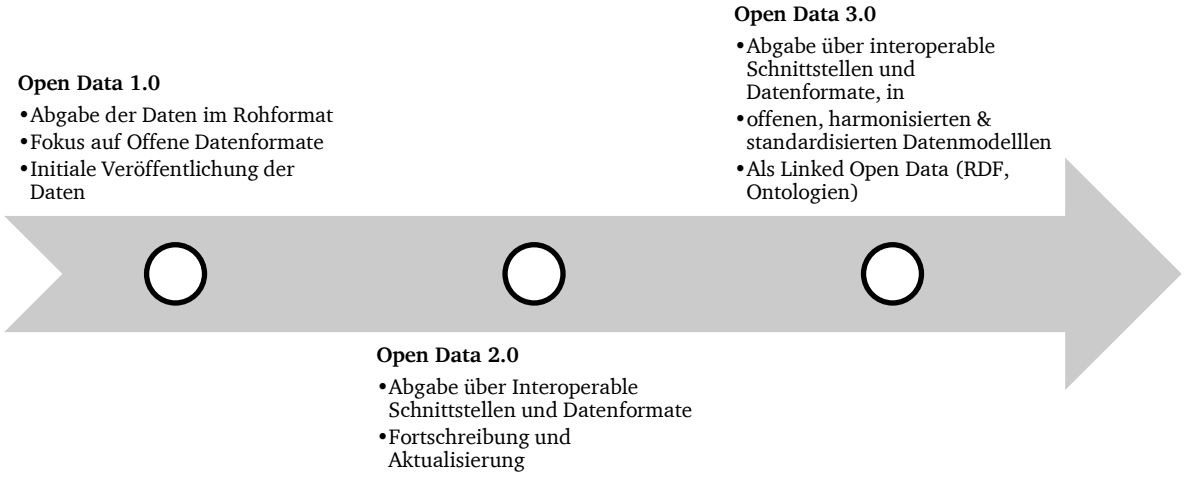

Abbildung 21: Open Data Evolutionsprozess (nach Seuß 2015, S. 65, erweitert)

Organisatorische Auswirkungen

Organisatorisch ergeben sich für den Aufbau und Betrieb der GDI-DE und Open Data Initiativen unterschiedliche Anknüpfungspunkte. Eine engere Verzahnung ist aus dargestellten Gründen bereits Ziel aktueller Bestrebungen und politischer Fokussierungen (Deutscher Bundestag 2012; Deutscher Bundestag 2013a, 2013b; Die Bundesregierung 2017). Einer der Vorreiter in der Integration von GDI und Open Data ist die Stadt Wien. In Deutschland haben die Städte Hamburg und Berlin, welche beide bereits einen Teil ihrer Geodaten unter einer freien Lizenz (aus der vorhandenen GDI heraus) veröffentlicht haben, eine Vorreiterrolle eingenommen. Den engen Zusammenhang formuliert treffend JÖRG für die Stadt Wien:

> „Faktum ist, dass die Stadt Wien eine Geodateninfrastruktur betreibt, mit oder ohne OGD[6], mit oder ohne INSPIRE. Diese Geodateninfrastruktur ist nämlich primär erforderlich, damit die Verwaltung selbst auf ihre eigenen Geodaten zugreifen kann." (Jörg 2014, S. 124)

Übergreifend sind die Zielsetzung von INSPIRE und Open Data zwar als historisch unterschiedlich zu beschreiben (zu differenzierende Entstehungsgeschichten), es ist jedoch im Interesse der Verwaltungen, die Synergien von OGD und INSPIRE konsequent zu nutzen und fördern (vgl. hierzu die Zieldefinitionen aus Österreich Cooperation OGD Österreich 2012, S. 1). INSPIRE-relevante Geodatensätze müssen nach den INSPIRE-Richtlinien veröffentlicht werden, was für Open Data nicht gilt, der Zugriff auf die harmonisierten Daten bringt jedoch nur umfassend positive Effekte auf die Open Data Bereitstellung mit sich. Auch der Nationale Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der Open-Data-Charta sieht eine starke Verknüpfung der Bereiche vor, bezogen auf die entstehenden Aufwände der Open Data Datenbereitstellung:

> „Ziel muss es daher sein, auf der Basis etablierter Verfahren und Standards diesen Aufwand zu verringern. Dies gilt insbesondere für die Geodateninfrastrukturen in Deutschland und Europa (GDI-DE und INSPIRE7)."(Bundesministerium des Innern (BMI) 2014, S. 7)

Deutlich werden diese Zielsetzungen bereits in der konkreten Anbindung von Geodatenkatalogen an vorhandene Open Data Portale, wie beispielhaft das GovData Portal. Technisch und organisatorisch sind hier noch

[6] Abkürzung für Open Government Data (Anmerkung des Autors)

entsprechende Lösungsvarianten zu erarbeiten und Festlegungen zu treffen (Metadaten, Fortführung etc.), den prinzipiellen Aufbau verdeutlicht die folgende Abbildung.

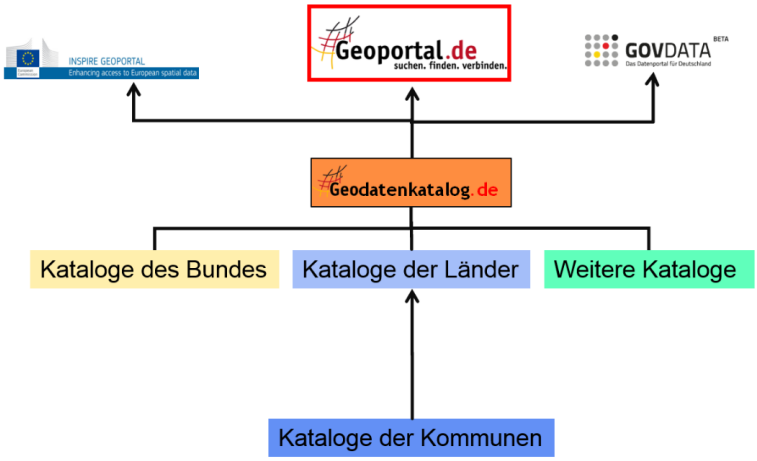

Abbildung 22: Organisation Geodatenkatalog-DE & GovData - Quelle: (Kutterer 2014, S. 18)

Die Bedeutung eines gesamtheitlichen Verständnis von Open Data, Open Geo Data und Geodateninfrastrukturen wird neben den Erfahrungsberichten der Stadt Wien (Jörg 2014) auch in internationalen Beschreibungen wie denen aus Dänemark (Hansen et al. 2011; Hansen et al. 2013; Kronborg Mazzoli 2013) deutlich. Treffend beschreibt Hansen et al. 2013 dabei die Notwendigkeit eines übergreifenden Einbezugs der verschiedenen Verwaltungsebenen, im Besonderen auch der Finanzverwaltungen. So waren es in Dänemark der starke Wille und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen des Finanzministeriums, welche als Top-Down Ansatz zur Öffnung der amtlichen Geodaten geführt hat (Hansen et al. 2013, S. 177–179). Den GDI-Bestrebungen zuvor war diese Umsetzung nicht in dieser Form gelungen. Für Deutschland sind wie beschrieben vergleichbare Ansätze feststellbar, basierend auf der föderalen Struktur und im Besonderen deren Bedeutung in der amtlichen Katasterverwaltung wird die Umsetzung vor weitaus diffizilere Herausforderungen gestellt. Es kann als weiterer positiver Aspekt und Anreiz davon ausgegangen werden, dass je höher die Nutzung der amtlichen Geodaten ist, desto eher Fehler in diesen erkannt und auch für die Verwaltung transparent werden. Ein solches Qualitätsmanagement, über die freie Zugänglichkeit und vermehrte Nutzung, tritt unumgänglich ein, ob dies auf allen Verwaltungsebenen prinzipiell als positiv bewertet, wird sei an dieser Stelle bewusst offengelassen. Potenziell steht hier eine große Menge an Rückmeldungen auch für eine Korrektur der Daten zur Verfügung. Der Verwaltung bzw. dem Datenerfasser kommt damit ein kostenfreies Qualitätsmanagement zugute, die Stadt Wien bewertet diese Perspektive durchweg positiv (Jörg 2014, S. 144). Zusammengefasst haben Bestrebungen zu Open Government und Open Data das Potenzial, in Kombination mit Daten und Diensten einer GDI (hier übergreifend vor allem INSPIRE) einen geordneten Raum an Optionen für neue Lösungen und Anwendungen in unterschiedlichen gesellschaftlich relevanten Themen zu schaffen. Ziel muss es sein, durch Anwendungen, basierend auf Open Gov Data allgemein und Open Geo Data (konkret), Mehrwertanwendungen zu erzeugen, um die Funktionen von Geodaten als Katalysator einer nationalen GDI herauszuarbeiten (Seuß 2015, S. 63). Im Zusammenhang mit den innerhalb von INSPIRE sehr spezifischen und für kommunale Aufgaben sehr komplexen Datenmodellen und Spezifikationen, der damit einhergehenden Aufwände, wird gerade auf kommunaler Ebene der entstehende Mehrwert und die Nutzbarkeit in eigenen Geodatenprozessen hinterfragt. Ziel muss es daher sein, Mehrwertanwendungen zu erzeugen, um die zentralen Funktionen von Geodateninfrastrukturen herauszuarbeiten. Anwendungen wie die eines Urban Mining Kataster können eine dieser oft geforderten Mehrwertanwendung, hervorgehend aus INSPIRE und zukünftig verknüpft mit Open Data Ansätzen, sein (Schnitzer und Köhler 2015, S. 5). Auch die Europäische Kommission hat diese Bestrebungen und notwendigen Synergien erst wieder hervorgerufen. Mit der Vorlage einer „europäischen Datenstrategie“ (Europäische Kommission 2020)

wird auf die Bedeutung einer gemeinsamen Betrachtung von Daten, Interoperabilität dieser und einheitlichen Zugriffbedingungen abgezielt. Konkret bezeichnet werden diese als „interoperable Datenräume“. Ziel ist es diese in strategischen Sektoren, basierend auf bereits verfügbaren Daten (z.B. aus INSPIRE und anderen) aufzubauen (Europäische Kommission 2020, 21, 32).

4. Ressourcenwirtschaft und Urban Mining

„Städtebau & Städterückbau“

4.1. Urbaner Metabolismus und Urbane Systeme

Der Urbane Metabolismus ist als Gesamtsystem oder auch Gesamtsystemverständnis zu beschreiben, welcher versucht Aspekte des ‚Urbanen‘ in Verbindung mit dem Ubiquitären zu beschreiben und zu analysieren. Die Beschreibung und das Verständnis des Urban Metabolismus ist somit ein weitreichendes und vielfach verzweigtes Forschungsfeld. Aktuelle Konzepte versuchen durch integrative Ansätze neben den Auswirkungen des menschlichen Handelns auf die umgebende Umwelt auch sozialwissenschaftliche Aspekte mit einzubeziehen (Prytula 2010, S. 116). Der Begriff geht zurück auf Wolman 1965, welcher mit ‚The Metabolism of Cities‘ den Begriff prägte und damit das Konzept der Stadt als Stoffwechselkreislauf erstmalig etablierte. Anfänglich war dies die Basis für eine Betrachtung mit Fokus auf die städtische Ver- und Entsorgung inklusive der zugehörigen Infrastruktur, weitete sich aber zunehmend auf den Gesamtkreislauf aus. Urbane Systeme lassen sich in diesem Kontext wie folgt definieren:

> „Das urbane System ist ein aus geogenen (erdgeschichtlich entstandenen) und anthropogenen (kulturell gestalteten) Subsystemen zusammengesetztes Groß System auf einer Fläche, die Hunderte bis Zehntausende von Quadratkilometern umfasst, und einer Dichte von Hunderten von Einwohnern pro Quadratkilometer. Es ist ein flächendeckendes dreidimensionales Netzwerk von vielfältigen sozialen und physiologischen Verknüpfungen. In den Knoten dieses Netzwerks bestehen relativ hohe Dichten von Menschen, Gütern und Informationen. Zwischen diesen Knoten unterschiedlicher Dichten finden hohe Flüsse von Personen, Gütern und Informationen statt.“ (Oswald et al. 2003, S. 46) zitiert in (Prytula 2011, S. 2–3) [sic!])

Der Urbane Metabolismus beschreibt somit kurzgefasst, wie die räumliche Beziehung von Städten und Stadtregionen mit deren Hinterland (umgebende Region) als auch globalen Ressourcen ausgestaltet ist (Kennedy et al. 2007; Kennedy und Hoornweg 2012). Es wird entsprechend versucht, ein- und ausgehende ‚Ströme‘ von Ressourcen (Energie, Wasser, Nahrung, Abfall) in einer Gesamtregion zu Beschreibung und deren Abhängigkeiten zu verstehen (Chrysoulakis et al. 2013). Mit dem Werk ‚Metabolism of the Anthroposphere‘ definieren (Baccini und Brunner 2012, 1991) erstmals 1991 eine grundlegende Methodik zur Beschreibung des regionalen Stoffhaushalts. Erst aus einem Gesamtverständnis und darauf aufbauenden Analysen lassen sich praktische Handlungsempfehlungen ableiten und somit letztendlich eine Entwicklung von einer Analyse- zur Planungsmethodik anstreben. Der Stoffwechsel von Städten ist dabei schwer zu quantifizieren und qualifizieren und stellt damit gleichzeitig hohe Anforderungen an die Ver- und auch Entsorgung von Abluft, Abwasser und Abfällen (Brunner und Kral 2012, S. 148; Baccini und Brunner 2012). Das Gesamtstofflager einer Stadt besteht dabei vorwiegend aus langlebiger Infrastruktur (Bauwerke, Straßen, Kanalisation und weitere Netzwerke) sowie Gebrauchsgütern (Fahrzeuge, Einrichtungsgegenstände und weitere mobile Güter). Für die Stadt Wien geht man hier davon aus, dass sich dieses anthropogene Lager in rund 50 Jahren verdoppeln wird (Brunner und Kral 2012, S. 249). Vom aktuellen und anhaltenden Trend des weltweiten Städtewachstums ausgehend, erlangen umfassende Bezugssysteme zur Erfassung der Energie- und vor allem Materialflüssen eine essentielle Bedeutung (Kennedy und Hoornweg 2012, S. 782).

> „Understanding energy and material flows through cities lies at the heart of developing sustainable cities. Such flows are inherent in the study of urban metabolism, which we define as “the sum total of the technical and socio-economic processes that occur in cities, resulting in growth, production of energy, and elimination of waste.” (Kennedy et al. 2007, S. 44; Kennedy und Hoornweg 2012, S. 780)

4.2. Urban Mining

„Sekundärrohstoffhandel“

Aus den übergeordneten Ansätzen des Urban Metabolismus kann das Themengebiet des ‚Urban Mining‘ abgeleitet werden. Aus dem englischen kommend lässt sich Urban Mining puristisch als ‚städtischer Bergbau‘ charakterisieren. Durch den weltweiten Wandel hin zu einer ‚urban‘ lebenden Gesellschaft und der damit einhergehenden steigenden Nachfrage nach Ressourcen findet eine stetige Verlagerung der Rohstoffe aus den initialen Lagerstätten hin in die Städte statt (vgl. Weichbrodt 2014; Hassler 2011; Kohler et al. 1999). Urban Mining versucht in diese Entwicklung Zielsetzungen der Nachhaltigkeit einzubeziehen. Eine allgemeingültige und weitreichend vereinheitlichte Definition des Begriffs Urban Mining ist derzeit in der Literatur nicht zu finden (Brunner 2011). So weitläufig das Thema ist, soweit werden auch die Begrifflichkeiten rund um Urban Mining verwendet. Rechberger und Clement 2011 nennen die oft verwendete Beschränkung des Urban Mining auf Siedlungsabfälle, Ersatzbrennstoffe, alte Elektrogeräte und dergleichen als zu kurz gegriffen. Vielmehr liegt die Masse des Rohstoffpotenzial in den Bauwerken unserer Gebauten Umwelt. Prinzipiell können alle theoretischen Sekundärrohstoffe unter das Themengebiet Urban Mining subsummiert werden, Bauwerke und Infrastruktur gehörten aber zwingend in das Kerngebiet des Urban Mining. Nakamura und Halada 2014 definieren den Begriff Urban Mining am Beispiel von Metallen:

> „We have two different types of stocks of metal. One is the primary stock which is still under the ground to be mined. This can be called as “underground stock”. The other stock is the secondary stock, which has been mined already and accumulated as products or waste in the human’s technosphere. The secondary stock is called as “on surface stock”. The basic potential of urban mining is estimating the secondary stock as the global cumulative volume which has been mined.”
> (Nakamura und Halada 2014, S. 9)

Erweitert man diese Definition auf alle Ressourcen definiert sich Urban Mining folglich als die Nutzung aller Sekundärstoffe welche bereits einen (durch Menschenhand) gesteuerten Gewinnungs- und Produktionsprozess hinter sich gebracht haben und als zu gewinnendes Potenzial in unserer Umwelt verfügbar sind. Vergleichbare Begriffe zum Urban Mining bzw. deren zugrundeliegende Ressourcen sind in der englischsprachigen Literatur auch unter den Begrifflichkeiten 'artificial deposits' (künstliche Ablagerungen) oder 'anthropogenic resources' (anthropoge Ressourcen) zu finden. Die Sekundärressourcen sind dabei solche, die bereits einen Prozess des Abbaus (in unterschiedlichster Art und Weise, in den meisten Fällen aus unterirdischen Quellen) hinter sich haben und akkumuliert, als ein Produktinventar in der Anthroposphäre vorliegen (Nakamura und Halada 2014, S. 9). Werden neben den Aspekten der reinen Existenz von Sekundärrohstoffen solche der potenziellen Rückgewinnung als auch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen einbezogen, muss die Definition von FLAMME Anwendung finden: „Urban Mining umfasst die Identifizierung anthropogener Lagerstätten, die Quantifizierung der darin enthaltenen Sekundärrohstoffe, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen vor dem Hintergrund der zur Verfügung stehenden technischen Rückgewinnungsvarianten und der derzeitig erzielbaren und zukünftig prognostizierten Erlöse, die wirtschaftliche Aufbereitung und Wiedergewinnung der identifizierten Wertstoffe sowie die integrale Bewirtschaftung anthropogener Lagerstätten.“ (Flamme et al. 2013, S. 260; Flamme et al. 2011) Eines der bedeutenden Kriterien für anthropogene Lagerstätten ist somit nicht nur deren Zugänglichkeit und Inventarisierung, sondern auch zu welchem Zeitpunkt bestimmte Rohstoffe (in welcher Form) für eine Rückgewinnung wieder zur Verfügung stehen bzw. stehen werden. Ein wesentlicher Aspekt, der in die Betrachtung mit einbezogen werden muss ist dabei, dass sich gerade Bereiche einer wirtschaftlichen Nutzung der Sekundärrohstoffe durch technische Entwicklungen schnell ändern können. Urban Mining ist also auch, „[…] eine systematische, zielorientierte Planung, Gestaltung und Mehrfachnutzung von anthropogenen Materialbeständen zum Zweck der optimalen Ressourcenschonung und des langfristigen Umweltschutzes.“ (Brunner und Kral 2012, S. 251)

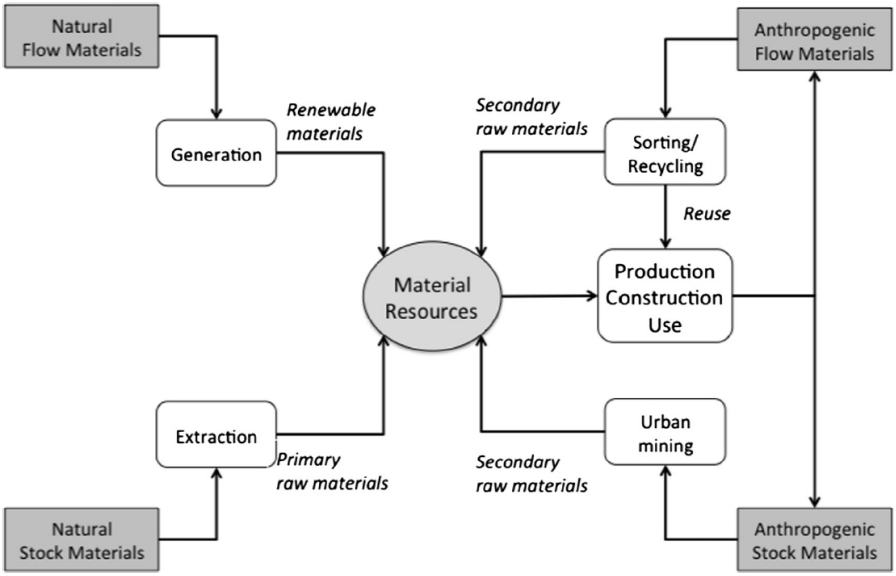

Abbildung 23: Schematische Abbildung zur Beschreibung der Materialflüsse aus unterschiedlichen Quellen (natürlich vs. anthropogen) sowie die dortige Einordnung des Urban Mining (Quelle: Cossu und Williams 2015, S. 2)

Im Kontext des Urban Mining lassen sich die potenziell zu gewinnenden Ressourcen in kurz- und langfristige ‚Urbane Minen' unterscheiden (Flamme et al. 2013). Können beispielsweise Ressourcen wie seltene Erden teilweise aus Mobiltelefonen mit relativ kurzen Nutzungszyklen (2-4 Jahre) gewonnen werden, stellen Gebäude und Infrastruktur eine langfristige urbane Ressource dar.

Tabelle 2: Unterteilung von kurz- und langfristigen urbanen Minen (FLAMME et al. 2013, 270) erweitert

Kurzfristige „urbane Minen"	**Langfristige „urbane Minen"**
Definition	
• Kurzfristige Konsum- und Produktionsgüter • Kurzfristige Lager kurzlebiger Konsum- und Produktionsgüter sowie deren Abfälle	• langlebige Konsum- und Produktionsgüter • langlebige Lager kurzlebiger Konsum- und Produktionsgüter sowie deren Abfälle
Beispiele (nicht abschließend)	
• Verpackungen • Elektrogräte • Abfälle aus Gewerbe und Produktion • Infrastrukturabfälle • Baueinrichtungen • Sonstige kurzlebige Konsum- und Produktionsgüter	• Gebäude • Infrastruktureinrichtungen • Abfalldeponien • Aschen im Straßenbau • Sonstige langlebige Konsum und Produktionsgüter

Die zukünftige Attraktivität der Nutzbarmachung, vor allem von langfristigen ‚Urbanen Minen' erläutern Rechberger und Clement damit, dass der Verbrauch an festen Gütern in der Vergangenheit durchgehend anstieg und von einer entsprechenden mittleren Verweilzeit der Güter von einigen Jahrzehnten (und länger) ausgegangen werden kann. Was wiederrum zu Folge hat, dass zukünftig von einem nahezu äquivalenten Anstieg der Abfallmassen auszugehen ist (Rechberger und Clement 2011, S. 212).

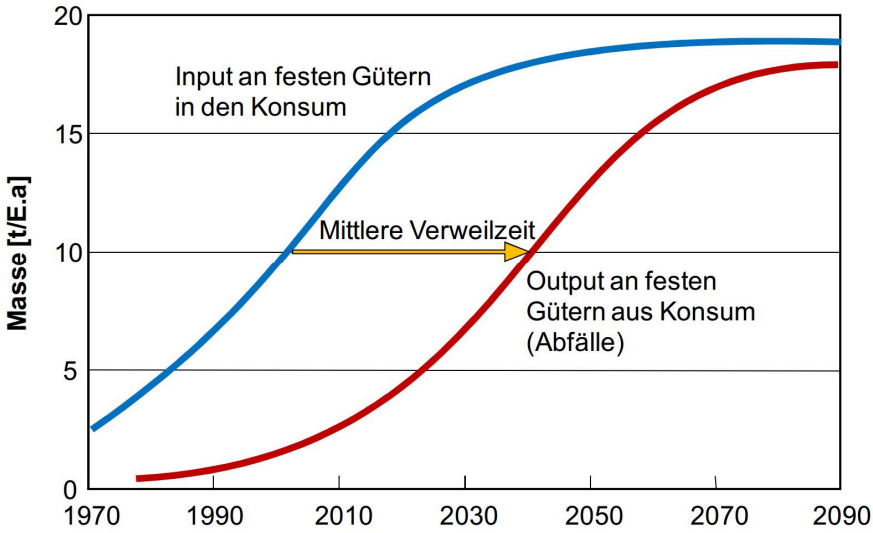

Abbildung 24: Zusammenhang Güter Input – Output und deren mittlere Verweildauer, Beispielhaft skizziert in Tonnen pro Einwohner und Jahr am Beispiel der Stadt Wien (Rechberger und Clement 2011, S. 212)

Im Kontext der Bauwirtschaft bleibend ist die prinzipielle Ressource für Bauprozesse der Zukunft somit nicht mehr die Natur, sondern der Bestand an sich ((Petzet und Hassler 1996) in (Kohler 1999, S. 34)). Da zukünftig immer mehr Rohstoffe im Bestand gebunden sein werden, erlangen andere Wege als die herkömmliche Gewinnung von Ressourcen zunehmenden an Bedeutung. Bei konstanten Verwertungsquoten von ca. 90 % bei Bau- und Abbruchabfällen (Umweltbundesamt (UBA) 2014) wird die zunehmende Bedeutung eines anthropogenen Rohstoffinventars weiter deutlich. Auch können die Betrachtungsräume beim Urban Mining beliebig erweitert werden. Geht man von der direkten Betrachtung des Gebäudeinventars weg, hin zu einem umfassenderen Ansatz, kann von Ressourcenkatastern der gebauten Umwelt gesprochen werden. Diese würde den Bereich der Gebäude um Infrastruktureinrichtungen und letztendlich alle direkten, immobilen Ressourcen erweitern. Ganzheitliche Ansätze des Urbanen Metabolismus ergänzen diese dann wiederrum um mobile Ressourcen. Als Beispiel die im Bereich der IT-Ausstattung mittlerweile in nahezu allen Komponenten verbauten RFID-Chips. Brunner stellt Urban Mining daher in einen übergreifenden Kontext aktueller Entwicklungen, namentlich den der Smart City (Brunner und Kral 2012). Da der Großteil des anthropogenen Lager in Bauwerken, der Infrastruktur und Gebrauchsgütern in unseren Städten vorliegt, stellt Urban Mining eine notwendige Strategie einer ‚Smart City' dar (Brunner und Kral 2012, S. 255).

Die vier Eckpfeiler eins Urban Mining lassen sich damit wie folgt zusammenfassen (Abbildung 25), in diesen gilt es Strategien zu definieren und umzusetzen: (Weichbrodt 2014, S. 14; Brunner und Kral 2012, S. 255)

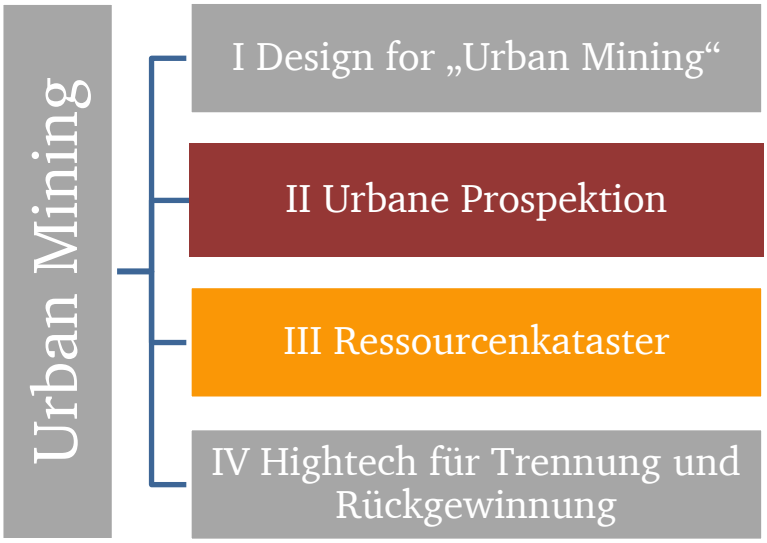

Abbildung 25: Eckpfeiler des Urban Mining nach Brunner und Kral 2012

Eine sich auf diese vier Pfeiler stützende ‚Bewirtschaftung von sekundären Rostoffen' geht weit über ein typisches Recycling hinaus und kann damit zu Recht mit dem Begriff Urban Mining bezeichnet werden (Brunner und Kral 2012). Wie bei vielen Vorhaben der Nachhaltigkeit braucht es oft auch einen ökonomischen Anreiz zur Umsetzung, diesen kann nur eine entsprechende Informationsbasis zum Urban Mining bieten (UNEP 2013, S. 25). Urban Mining ist dabei nicht nur Recycling, sondern ein Gesamtverständnis, ein Paradigmenwechsel in der Betrachtung unserer Rohstoffnachfrage. Entscheidende Faktoren für ein Urban Mining sind, dass zum einen die Rohstoffgewinnung aus Minen immer einen energieintensiven Prozess darstellt, große Fraktionen der dort abgebauten Rohstoffe letztendlich in den Städten verwendet werden und damit eine Rückgewinnung dieser Rohstoffe (vor allem solche mit strategischem Nutzen) interessant wird (Graedel 2011, S. 46). Zwei Bereiche des Urban Mining lassen sich als weitreichend definieren: Zum einen kann durch Urban Mining die Abhängigkeit von zu importierenden Rohstoffen langfristig reduziert werden, zum anderen stellen die Aufbereitung und der Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen eine potenzielle Wertschöpfungskette für die regionale Wirtschaft dar und leisten damit einen wichtigen Beitrag zu einer im gesamten als nachhaltig anzusehenden Entwicklung. Zusammenfassend für die Einführung des Begriffs und Abgrenzung des Urban Mining die Definition des UBA, 2017:

„Die Abfallwirtschaft beschäftigt sich im Kern mit dem Abfallaufkommen an sich, dessen Menge, Zusammensetzung und einer bestmöglichen und schadlosen Rückführung der Materialien in den Stoffkreislauf. Urban Mining bezieht dagegen den Gesamtbestand an langlebigen Gütern, deren Lagerbildung sich schwerer erfassen lässt, mit ein, um möglichst früh künftige Stoffströme prognostizieren zu können und bestmögliche Verwertungswege abzuleiten und zu etablieren, noch bevor die Materialien als Abfall anfallen." (Umweltbundesamt (UBA) 2017, S. 19)

4.2.1. Motivation zur Umsetzung eines Urban Mining im Bereich der Immobilienwirtschaft

Neben dem rein wissenschaftlichen Anreiz eines Systemverständnisses sind es vor allem die beschriebenen Aspekte der Nachhaltigkeit, damit einhergehender Ressourcenschonung als auch wirtschaftliche Gesichtspunkte, die zur Etablierung von Urban Mining motivieren. Vielfach wissen Bauherren sehr wenig darüber, welche Werte sie bei Abriss, Rückbau oder der Sanierung einem beauftragten Unternehmen überlassen. Diese wiederrum haben aus ihrem eigenen Erfahrungsschatz bessere Möglichkeiten einer Abschätzung, inwiefern die aufbereiteten Sekundärmaterialien gewinnbringend auf den Recyclingmärkten verkauft werden können. Ein Einbezug

des Verkaufserlöses von zu erwartenden Bauabfällen fließt derzeit kaum in die Kalkulation der Kosten für Abriss, Rückbau und (Teil-) Sanierung mit ein (Bringezu 2014). Ergebnisse verschiedener Studien zeigen, „dass in urbanen Systemen zunehmend Stofflager aufgebaut werden, obwohl das Bevölkerungswachstum in den betrachteten Regionen stagniert. Grundsätzlich ist der Aufbau von Stofflagern nicht problematisch, da urbane Systeme zukünftig durch Urban Mining verstärkt wieder als Ressourcenspender genutzt werden können." (Prytula 2011, S. 54) Dieses bereits oft theoretisch beschriebene Potenzial muss letztendlich aber auch tatsächliche genutzt und in zukünftige Entscheidungsprozesse eingezogen werden. Erst so werden die propagierten Vorteile greifbar. Die „traditionelle" Rohstoffgewinnung unterscheidet sich daher gemäß Abbildung 26 von der des ‚Urban Mining'.

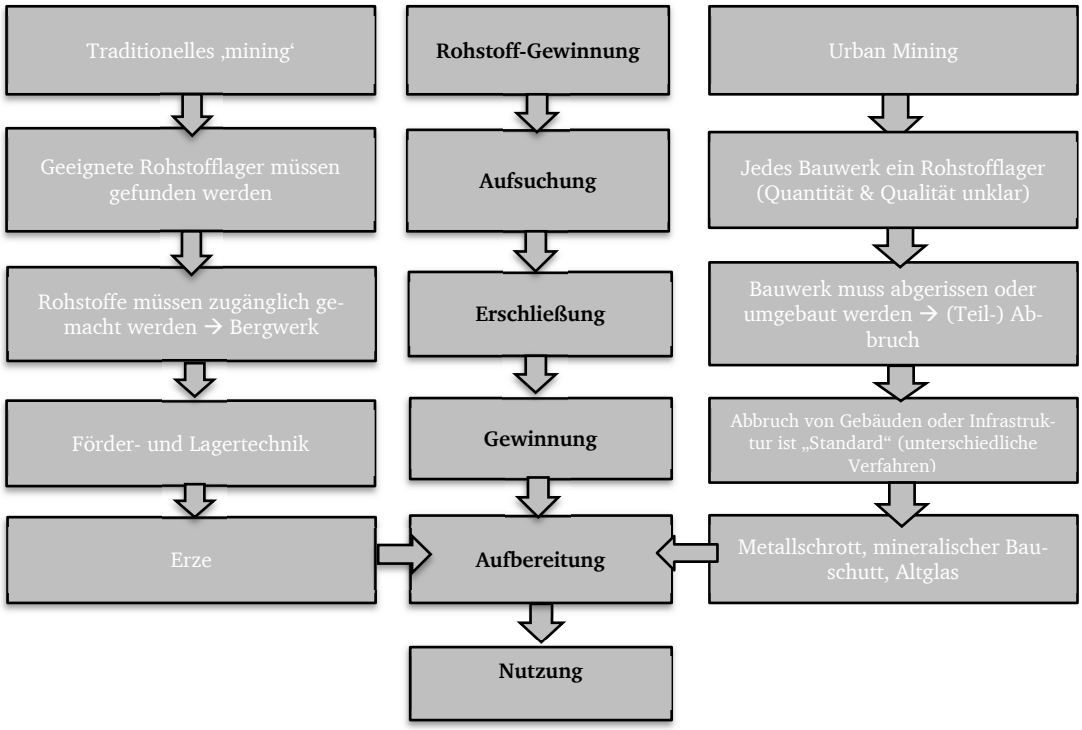

Abbildung 26: Zusammenfassung: Traditionelles ‚mining' und ‚urban mining' - angepasst (Schnitzer und Köhler 2014) nach WIESENMAIER 2013 (unveröffentlicht)

4.2.2. Der räumliche Aspekt des Urban Mining

Neben der Notwendigkeit zu wissen wie einzelne Materialien in Produkten, Bauwerken und der Infrastruktur verwendet werden (stoffliche Nutzung) nennt Brunner (Brunner 2011, S. 339–341) die Information darüber ‚Wo' diese Materialien letztendlich verwendet wurden und werden, als unerlässlich für eine nachhaltige Stoffstromwirtschaft im Sinne des Urban Mining. Flächendeckende Erfassungen des Sekundärrohstoffpotentials können so einen besseren Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung einer Region leisten. Hier liegt der Schwerpunkt bei einer möglichst exakten Beschreibung des materiellen Inventars, im Besonderen des Gebäudesektors. Der exakte räumliche Bezug und die Relevanz eines aktuellen Inventars und zukünftigen Recyclingpotenzial wird vor allem dann deutlich, wenn regionale Wertschöpfungsketten betrachtet werden. Bauabfälle wie beispielsweise Beton stellen nicht zu vernachlässigende Massen dar, welche für ein Recycling und Wiederverwertung oft über weite Strecken transportiert werden. Ziel eines räumlich begrenzten (regionalen) Urban Mining muss es daher sein, eine direkte Wiederverwertung in unmittelbarer Umgebung anzustreben, um damit lange Transportwege zu vermeiden.

Forschungsprojekte, welche sich mit der Untersuchung von Gebäudebeständen befassten, haben in der Vergangenheit immer wieder festgestellt, dass das vorhandene Datenmaterial meist sehr heterogen, lückenhaft und für komplexere Fragestellungen vor allem über größere Bestände gar nicht verfügbar ist (Schwaiger 2002, S. 111; Zhu 2014, S. 245; Schebek et al. 2016b; Schebek et al. 2016a; Schiller et al. 2015). Die Zielsetzung eines regionalen Urban Mining Katasters liegt daher auf der Hand: Zum einen werden über diesen Ansatz wesentlich verlässlichere, weil nachvollziehbarere, Berechnungen möglich, zum anderen bieten lokale Erfassungen ausführlichere und detaillierte Schlussfolgerungen. Fragestellungen, wo z.B. die Aufbereitung bestimmter Stoffgruppen für eine direkte Wiederverwendung stattfinden kann, sind durchaus von Bedeutung. Lange Transportwege werden so weitgehend vermieden. „Das anvisierte Ziel sind dynamische Ressourcenhaushaltsmodelle. Die Modelle sollen dazu beitragen, die physiologischen, d.h. stofflichen und energetischen Veränderungen und Potenziale einer konkreten Region in Abhängigkeit unterschiedlicher Entwicklungsszenarien besser zu verstehen.“ (Lichtensteiger 2006, III) Aus diesen Gründen wird oftmals auf den Aufbau von praxisnahen ‚Urban Mining Informationssystemen‘ verwiesen. Diese sollen den beteiligten Akteuren vor Ort zeigen, welche Mengen und Qualitäten von Rückbaumaterial in der Nähe eines geplanten Bauprojekts und während der geplanten Bauphase anfallen und genutzt werden könnten (Bringezu 2013, S. 119). Referenzdaten auf Bundesebene liefern hierzu Anknüpfungspunkte, wichtig ist jedoch auch relevante Informationen vor Ort zu erfassen, zu speichern und zugänglich zu machen (Bringezu 2013, S. 119). Mittel- bis langfristig können ‚Kataster für anthropogene Ressourcen‘ in Kombination mit Abbruch- und Rückbauszenarien als Planungsgrundlage für die Recyclingindustrie dienen (Rechberger und Clement 2011, S. 216). Am Ende des Prozesses eines Urban Mining Kataster kann schlussendlich auch eine, auf quantifizierten Mengen und Prognosen basierende, regionale Handelsbörse für (Alt)Stoffe stehen.

Insbesondere den industrialisierten Ländern werden große Potenziale im Bereich des Urban Mining nachgesagt, die Phase des Um- oder Neubaus ist hier aktuell deutlich früher erreicht als in wachsenden Regionen. Dieser Aspekt unterliegt jedoch gewissen kulturellen und regionalen Einschränkungen. In schnell wachsenden Regionen mit hohem zentralisierten Flächenbedarf in Stadtregionen zur Ansiedlung von immer mehr Bewohner ergeben sich zum Teil sehr schnelle Nutzungsänderungen mit einhergehendem Abriss und Neubau bestehender Immobilien. Durch sehr kurze Nutzungsdauern von Gebäuden und einer Kultur des Neu- anstelle des Umbauens ergeben sich weiter, zum Teil länderspezifisch, sehr kurze und dynamische Ressourcenkreisläufe, wie Lill 2015 am Beispiel von Tokio mit kaum längeren Nutzungszeiträumen von Gebäuden von 30 Jahren beschreibt. Regionalspezifische Aspekte nehmen daher einen nicht unwesentlichen Einfluss auf die Ressourcenkreisläufe aus dem Baubestand. Gerade für den Wohngebäudebestand wurden u.a. aus diesen Fragestellungen heraus bereits in der Vergangenheit Projekte initiiert, welche die regionalen „Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes - Deutschland 2050“ untersuchen (Gruhler und Böhm 2011a). Auf die Annahme fokussierend, dass erhebliche räumliche Disparitäten zu erwarten sind, welche sich in Form von demografischen und wirtschaftlichen Strukturveränderungen in Deutschland regional sehr unterschiedlich ausprägen werden (Schiller et al. 2010, S. 36), sind raumspezifische Anforderung an Ressourcenkataster abzuleiten. Gesamtdeutsche Analysen über Einwohnerzahlen auf kleine Raumtypen zu übertragen erscheint dabei nicht immer zweckmäßig, werden so doch gerade diese Einflussfaktoren außer Acht gelassen. Das für prosperierende Metropolregionen oftmals typische positive Verhältnis von Input- zu Outputstoffstrom in den Gebäudebestand kann sich in von Schrumpfung betroffenen Regionen ins Gegenteil verkehren. „Hieraus können regional sehr unterschiedliche Herausforderungen und Möglichkeiten für die Sekundärrohstoffwirtschaft erwachsen“(Schiller et al. 2010, S. 36).

Eine detaillierte individuelle räumliche Betrachtung ist somit essentiell. Durch die regional sehr unterschiedliche Entwicklung ist zu vermuten, dass in Zukunft in einigen Regionen große Mengen an Rohstoffen frei werden, welche wiederrum an anderer (oder gleicher) Stelle stark nachgefragt werden.

4.2.3. Definition „Urban Mining Kataster“

Der Begriff ‚Urban Mining Kataster‘ wird seit Beginn des 21. Jahrhunderts in unterschiedlichen Studien und Publikationen in synonymer Bedeutung verwendet. Obgleich eine der vier zentralen Säulen des Urban Mining, liegt bislang keine einheitliche und klare Definition innerhalb der Fachliteratur vor. Als synonyme Begriffe können, wie beschrieben, auch ‚Urban Mining Informationssystem‘ oder (regionales) ‚Ressourcenkataster‘ verwendet werden. Differenziert betrachtet definieren sich die enthaltenen Begriffe wie folgt:

Kataster:

Der Begriff ‚Kataster‘ ist nach STREUDLE (Steudle et al. 2014, S. 437) definiert als „ein Verzeichnis gleichartiger Gegenstände, sowohl körperlicher Dinge wie aber auch abstrakter Gegebenheiten“, im weiteren Sinne eine Sammlung (Register) von Dingen oder Sachverhalten, im konkreten Fall mit Raumbezug. Im Bereich der Geodäsie bezeichnet der Begriff ‚Kataster‘ im traditionellen Sinne das ‚Liegenschaftskataster‘. Der Begriff bezeichnet in erster Linie ein Verzeichnis von Grundstücken (Steudle et al. 2014, S. 437).

‚Urban Mining‘ umfasst, wie umfassend erläutert, die Erfassung bzw. Identifikation der Quantität und Qualität anthropogener Lagerstätten. Die integrale Bewirtschaftung in Form einer systematischen Erfassung sowie die zielorientierten Planung, Gestaltung und Mehrfachnutzung der anthropogenen Materialbeständen zum Zweck der optimalen Ressourcenschonung und des langfristigen Umweltschutzes sind maßgebliche Faktoren des Urban Mining (Baccini und Brunner 2012; Brunner und Kral 2012; Flamme et al. 2011; Flamme und Krämer 2013).

Zusammengefasst lässt sich ein „Urban Mining Kataster“ damit wie folgt definieren:

> **Ein Urban Mining Kataster stellt die räumlich quantitative und qualitative Inventarisierung der anthropogenen Lagerstätten dar, welche zum Zwecke der optimalen Ressourcennutzung, in Form eines deklarierten systematischen Verzeichnisses umfassend dokumentiert und zugänglich sind.**

4.2.4. Akteure des Urban Mining

Neben der Definition des Urban Mining Kataster in seiner Gesamtheit stellt sich weiter die Frage nach maßgeblichen Akteuren, welche auf der einen Seite von einer systematischen Dokumentation profitieren und auf der anderen Seite relevante Datenbereitsteller und Wissensträger darstellen. Als grundlegende Akteure sind all jene einzubeziehen die unmittelbar oder mittelbar nutzen aus der Etablierung eines Urban Mining Kataster ziehen können. Insbesondere ist hier Verwaltung, Politik (öffentliche Hand), (Privat-) Wirtschaft sowie die Wissenschaft zu nennen. Relevant für den Bereich der Gebäudestruktur sind weiter die Eigentümer der Immobilien, welche wiederum sowohl private als auch öffentliche Akteure umfassen können. Zudem relevant sind Akteure entlang der Verwertungskette: Abfallerzeuger, Sammler, Händler, Verwerter, Aufbereiter und Produzenten. (Umweltbundesamt (UBA) 2017, S. 48)

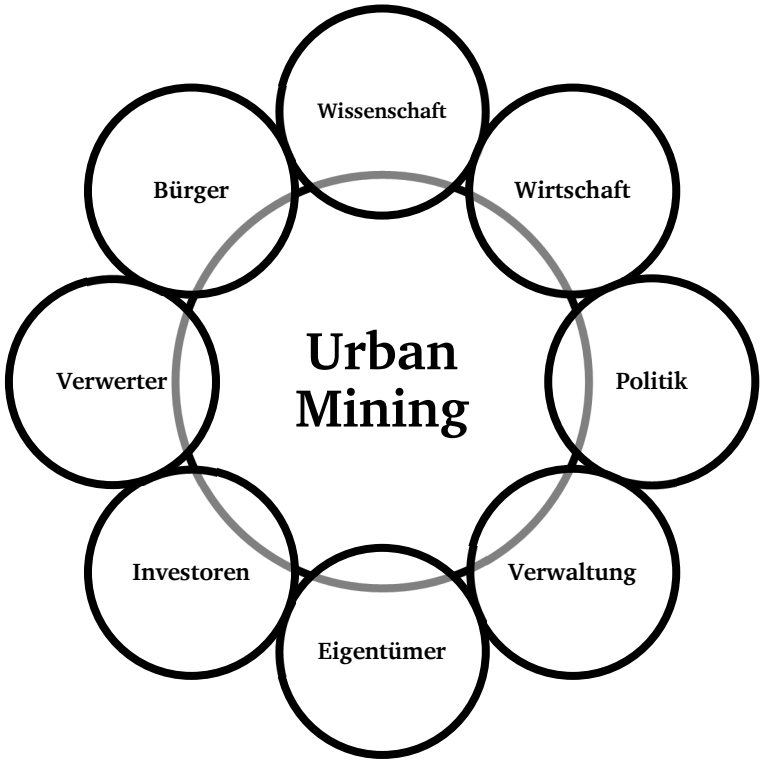

Abbildung 27: Akteursgruppen des Urban Mining (eigene Zusammenstellung)

Regulativen Einfluss auf das Themenfeld haben vordergründing europäische, nationale sowie regionale politische Strategien, Zielsetzungen und normative Regelungen. Unter die in Abbildung 27 genannten Akteursgruppen subsumieren sich die unterschiedlichsten Interessengruppen. Maßgebliche Akteure im Kontext des Urban Mining sind vielschichtig. Von Personen und Institutionen mit rein ideellen Interessen, wissenschaftlichen Fokussierungen bis hin zu rein wirtschaftlich orientierten Zielsetzungen. Die Interessen der verschiedenen Akteure sind dabei teilweise deckungsgleich, aber auch gegenläufig. Nachfolgend sollen einige der Hauptakteure aus den unterschiedlichen Bereichen kurz dargestellt werden.

Entsorgungsunternehmen, Abfallindustrie, Recyclingindustrie

Ein entscheidender Akteur im Gesamtkontext stellt die Abfallindustrie dar. Sie ist, zum Teil durch normative Vorgaben verpflichtet, dafür verantwortlich die aufkommenden Abfälle sachgerecht zu entsorgen bzw. einer Aufbereitung zur fachgerechten Weiternutzung zu unterziehen. Eine der großen Herausforderungen dabei stellt, im Bereich der Bauwirtschaft, die Abschätzung von zukünftig anfallenden Abfallmengen und insbesondere deren stofflicher Zusammensetzung dar. Weiter sind es hier auch räumliche Gesichtspunkte, welche von hoher Relevanz für entsprechende Planungen darzustellen. Insbesondere moderne Baustoffe und Materialien machen neuartige Recyclingprozessketten notwendig, dies geht oftmals mit notwendigen Investitionen in neue

Geräte für deren Aufbereitung einher. Eine zielgerichtete Planung im Kontext des Urban Mining ist daher aus Sicht der Abfallindustrie unerlässlich.

Stadt und Gemeinde (Politik & Verwaltung)

Städte und Gemeinden sind daran interessiert, dass brach-gefallene Flächen oder Flächen deren derzeitige Nutzung aufgegeben werden soll, schnellstmöglich wieder einer den Zielen der Gemeinde entsprechenden Nutzung zugeführt werden. Dabei steht, neben einer adäquaten Nutzung, im Vordergrund, dass der Kommunale Haushalt in möglichst geringem Umfang mit Kosten belastet wird. Die entstehenden Entwicklungskosten (z. B. für die Aufstellung des Bebauungsplans) sollen, sofern möglich, auf den bisherigen Eigentümer oder den Investor zu übertragen werden. Eine frühzeitige Wiedernutzbarmachtung von Flächen kann zudem den Vorteil mit sich bringen, die in den baulichen Anlagen enthaltenen Rohstoffpotenziale frühzeitig dem Stoffkreislauf zuführen und somit einem Diebstahl der hochwertigen und leicht zu demontierenden Rohstoffe aus leerstehenden Gebäuden vorzubeugen.

Eigentümer der Gebäude und Grundstücke

Der Eigentümer einer Immobilie ist unmittelbar mit den darin enthaltenen Rohstoffen und deren Potenzial einer Wieder- oder Weiternutzung verbunden. Ob aus eigenem Interesse der potenziellen Werthaltigkeit oder im späteren Prozess einer Nutzbarmachung bei Um-, Aus- oder Neubau bzw. Abriss liegt der Fokus hier maßgeblich im monetären Bereich.

Investoren

Ein potenzieller Investor, welcher in Flächen mit vorhandener Bausubstand investiert möchte die von ihm zur Verwirklichung des Vorhabens zu investierenden Mittel minimieren und ist daher an den monetär gebundenen Rohstoffen interessiert. Hinzukommt ein vordergründiges Interesse der Bergungskosten und Wiedernutbarmachung vorhandener Rohstoffe. Ziel ist hierbei die Minimierung der Baukosten.

Regionalplanung

Die Regionalplanung verfolgt überörtliche Entwicklungsstrategien. Die Nutzung von regionalen Synergien in der Bauabfallbehandlung und Wiederverwendung von Baustoffen steht somit im Fokus. Beispielsweise ist eine mögliche Rohstoffbörse für Bauabfälle, durch die größere Räumlichkeit, besser auf Ebene der Regionalplanung anzusiedeln als auf Gemeinde oder Stadtebene.

Immobilienwirtschaft

Ziel und Interesse der Immobilienwirtschaft ist ein Systemverständnis und insbesondere die potenziellen Auswirkungen auf Immobilienzyklen. Die Validität der Informationen und deren Prognosen sind relevante Aspekte. Weiter spielt die regionale Verfügbarkeit von Rohstoffen eine Rolle bei der langfristigen Ausrichtung von Investitionen.

Wissenschaft

Für die Wissenschaft ist auch das Systemverständnis die treibende Kraft bei der Betrachtung des Urban Mining. Die Forschung- und Entwicklung im Bereich der Abfall und Materialwissenschaften lässt sich zudem aus Ressourcen-Kartierungen ableiten und ggf. steuern. Für die Statistik ist ein Monitoring der Materialverwendung in Bauwerken eine relevante Größe. Der Versuch einer wissenschaftlichen Einordung und Stakeholderanalyse für die Rhein-Main Region findet sich bei Apel, 2019 (Apel 2019).

4.2.5. Urban Mining, Kommunale Planung & Smart City

> *„Die prinzipielle Ressource für Bauprozesse ist dadurch nicht mehr die Natur, sondern der Bestand an sich.“ (Petzet und Hassler 1996 zitiert nach Kohler 1999, S. 34)*

Davon ausgehend, die offene Fragestellung eines Urban Mining Katasters beantwortet und den erfolgreichen Aufbau eines solchen abgeschlossen zu haben, stellen sich eine Reihe weiterer Anknüpfungspunkte und Fragestellungen. Im eigentlichen Sinne sind der Aufbau und eine damit einhergehende mögliche Datenerfassung und Validierung nur der initiale Schritt. Weitreichende Forschungsansätze lassen sich erst aus der Sichtung und Auswertung der Daten ableiten. Ohne eine Wertung vorzunehmen, stellen die folgenden Aspekte einige mögliche Anknüpfungspunkte dar.

Frage des Umbaus und nicht die initiale Erfassung des Bestandes:

Schon um die 2000er Jahre stellten KOHLER UND KOHLER & HASSLER (Kohler und Hassler 2002, S. 226; Kohler et al. 1999) fest, dass in Zukunft der Umbau des Gebäudebestandes der dominierende Aspekt in der Bauwirtschaft sein wird und damit auch als der relevante Faktor in der Betrachtung von Stoffströmen anzusehen ist. Das Wissen über den aktuellen Gebäudebestand erhält dadurch eine hohe Bedeutung, aber darüber hinaus, ist ein detailliertes Wissen und die Definition von möglichen Szenarien zur Veränderung des Bestandes essentiell. Ein weitreichendes Verständnis der Dynamik der Baubestandsveränderung erhält somit besondere Relevanz.

“Brownfield development” (Brachflächenrevitalisierung)

Fragestellungen der Brachflächenrevitalisierung sind an vielen Stellen Herausforderrungen der kommunalen Planung. Die Ansätze zur Umnutzung sowie Neu- oder Rückentwicklung sind dabei vielfältig (Weitkamp 2013). Gerade Militärbrachen zeigen, dass bei weitem nicht nur eine anzunehmende Nutzungsdauer eines Gebäudes dessen tatsächlichen Lebenszyklus beeinflusst. Die Gründe hierfür sind oftmals komplex, oft fallen Gebäude leer, ohne eine weitere Nutzung anzustreben, aber auch ein Rückbau ist nicht relevant. Durch detaillierte Betrachtungen und Monitoring wäre es in der Zukunft denkbar teilweise einen gezielten Rückbau zu forcieren da die Materialzusammensetzungen bekannt sind und für Neu-Erschließungen (welcher Art auch immer) interessant werden (möglicherweise zukünftig aus rein finanziellen Gründen). Auch hier spielt die initiale Erfassung eine große Rolle.

Interkommunale Fragestellungen

Die zukünftige Fokussierung auf den Bereich Ressourcenwiederverwendung im kommunalen Bausektor kann nur über eine regionale Verständigung, über verschiedene Beteiligte hinweg, funktionieren. Unterschiedliche Stakeholder wie Bauherren, Baustoffhersteller, Baustoffhändler, Bauschuttrecycler, Bauunternehmen, Planer, Architekten und die Verwaltung müssen sich gemeinsam dem Thema Urban Mining annehmen (Lucas 2008, S. 406). Dieses gemeinsame Wirken kann in regionalen Strategien für den Aufbau eines in der Zukunft verlässlichen Ressourcenkatasters erfolgen. Geodatenbasierte Rohstoffkataster müssen dabei die Grundlage darstellen um die verschiedenartigen Informationen harmonisiert zusammenführen und Auswerten zu können. Gerade auch regionale Entwicklungstendenzen können in einem interkommunalen Monitoring der Industrie- & Gewerbegebiete beobachtet werden und damit Ressourcenkreisläufe gerade auch im Hinblick auf mögliche Umnutzungen und Nachnutzungen hin betrachtet werden (Bonny und Glaser 2005). Nur interkommunal erscheint es lösbar Wechselwirkungen zwischen den Gebietseinheiten zu verstehen. Warum fallen z.B. bestimmte Typen in bestimmten Regionen eher leer als in anderen und vor allem wie werden und lassen sich solche Prozesse beeinflussen. Diese fehlende Verknüpfung in einem gesamtem ‚urbanen System‘ muss weiter beschrieben, untersucht und verstanden werden.

Leerstandskataster

Leerstandskataster bauen derzeit auf Analysen von bereits brachliegenden Flächen auf. Ein Urban Mining Kataster könnte hier Anknüpfungspunkte geben Leerstände im Bereich der Gewerbe- und Industrie bereits im Vorfeld zu erkennen bzw. entsprechende Vermutungen und Szenarien aufzustellen.

Smart City

Schon in der Einleitung dieser Arbeit wurde auf die zukünftigen Perspektiven von Smart Cities eingegangen. Mit Projekten wie der am Reißbrett geplanten Stadt Songdo (Nahe der Südkoreanischen Hauptstadt Seoul, (Lobo 2014)), welche von Grund auf als ubiquitär vernetzte ‚Smart City' entworfen wird, ergeben sich völlig neue Möglichkeiten einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung von Städten. Die umfassend erhobenen und durchgehend in einem Monitoring erfassten Daten zu Energieverbräuchen, Verkehr und weiteren Umwelteinflüssen können in einem langfristigen Gesamtsystem einen umfassenden Datenpool für Analysen bereitstellen. So werden in die Planungen dieser Städte, per Top-Down-Prozess, bereits hohe Umweltstandards zur Wasserversorgung und Abfallbehandlung umfassend festgeschrieben. Denkbar sind damit auch Festlegungen nach dem „Cradle to Cradle[7]" Prinzip, also der umfassenden Betrachtung eines Gebäuderückbaus bereits während dessen Errichtung und des Betriebes. Innerhalb der Europäischen Union kann die SmartCity Initiative der Stadt Wien als zukunftsorientiertes Beispielprojekt genannt werden. In die Smart City Bestrebungen werden Zielsetzungen des Urban Mining integriert (Stadt Wien 2015). Auch arbeitet das OGC hat bereits an entsprechenden Konglomeraten von Standards zu Nutzung von Harmonisierten Geodaten in einer Smart City ‚OGC Smart Cities Spatial Information Framework' (OGC White Paper) gearbeitet. In Deutschland greifen gemeinsame Initiativen aus DIN und Kommunalen Spritzenverbänden die Diskussionen auf (DIN e.V. 2021). Die gesamten Bestrebungen im Bereich Smart Cities oder auch Smart Regions, auch in Deutschland, hier aufzugreifen würde zu weit führen. Es bleibt aber festzuhalten, dass das starke politische und gesellschaftliche Interesse zu mehr Digitalisierung in Städten zu einer erhöhten Datenverfügbarkeit führen wird. Damit wird auch das Portfolio an möglichen Anwendungen größer. Urban Mining spielt hier zwar keine unmittelbare Rolle in den Definitions- und Standardisierungsprozessen von Smart Cities, Informationen aus verteilten Sensoren, Infrastrukturen und Datenportfolios können jedoch in verschiedenen, durchaus relevanten, Prozessen genutzt werden.

[7] Siehe hierzu: McDonough und Braungart 2002; Braungart und McDonough 2011.

4.3. Ansätze zum Aufbau eines Urban Mining Kataster in der Praxis

Der weitere thematische Fokus liegt auf dem Bereich der regionalen Rohstoffkataster im Sinne eines ‚Urban Mining Kataster' mit primärem Bezug zum Bausektor. Damit soll die Relevanz der Rückgewinnung von Rohstoffen aus ‚mobilen' Inventaren wie Kraftfahrzeugen, Einrichtungen, Elektronikbauteilen nicht vernachlässigt werden, die individuelle Komplexität und deren Relevanz macht hier jedoch eine Fokussierung notwendig. Die folgenden Abschnitte beschreiben die methodischen Vorgehensweisen zur Kalkulation von Rohstoffinventaren und Materialflüssen in einer Gesamtübersicht. Grob lässt sich ein dreigeteilter Fokus in der Exploration von Güter- und Stofflagern ausmachen:

1. Informationen über die In- und Outputs (Güterflüsse - Gesamtbetrachtungen)
2. Untersuchungen über Lagerbestände (Exploration)
3. Dynamische Modellierung des Systems (Baccini 2006, S. 9)

Für die differenziert zu betrachtenden Ansätzen lassen sich unterschiedlichen Methoden anwenden. Die dynamische Modellierung des Gesamtsystems setzt dabei eine entsprechende Erfassung der Lagerbestände voraus. Für diese Erfassung wird im Sinne von Materialflussbetrachtungen in zwei Ansätze unterschieden: Die sogenannten ‚Top-Down' und ‚Bottom-Up' Ansätze. Neben der allgemeinen Beschreibung aktueller und vergangener Forschungsprojekte sowie wissenschaftlicher Veröffentlichungen zum methodischen Vorgehen, fokussiert die detaillierte Beschreibung solche Ansätze, welche einen klaren Fokus auf geodatengetriebene Methoden aufweist. Eine umfassende Übersicht zu verschiedenen Herangehensweisen sowie dem aktuellen Stand der Forschung, angewendet auf die Bunderepublik Deutschland, findet sich zudem u.a. bei (Heinrich 2018).

4.4. Beschreibungen aktueller Methoden

4.4.1. Top-Down

Ausgansinformationen für die sogenannten ‚Top-Down' Betrachtungen sind Daten aus allgemein verfügbaren und anwendungsneutral erhobenen Statistiken (Kohler et al. 1999, S. 35–39). Bereits aggregierte Daten der Bauwirtschaft, wie beispielweise spezifische Bauvolumen einzelner Jahre und entsprechende Leistungen der dazugehörigen Wirtschaftszweige, werden mittels geeigneter Aufschlüsselungen und Umrechnungen in Gesamt- und Teilgrößen zusammengefasst. Oft werden für die Berechnung der kumulierten Größen fehlende Daten durch Annahmen und Schätzungen ergänzt (Kohler et al. 1999, S. 35). Top-Down-Ansätze sollen Gesamtzahlen liefern, die vom Ganzen ausgehend einen groben Überblick ermöglichen (BMVBS und BBSR 2011, S. 125). Werden Materialflüsse aus Top-Down-Betrachtungen abgeleitet, ergeben sich Zu- oder Abnahmen aus Gesamtinput minus Gesamtoutput, bezogen auf das zu betrachtenden System (Müller et al. 2014, S. 2103). Einmalig berechnete Inventare werden daraus abgeleitet durch Zu- und Abnahme je Zeitrahmen fortgeschrieben. Die Top-Down Methode hat ihre Stärken bei umfassenden Betrachtungen auf Bundes- oder Landesebenen (Graedel 2011, S. 44). Problematisch wird die Anwendung, wenn längere und dynamische Zwischenlager vorhanden sind. Je länger und umfassender die zu beschreibenden Zeiträume definiert werden, desto schwieriger wird es, entsprechende Veränderung der Lager durch Statistiken des Im- und Exports oder spezifischer Wirtschaftsleistungen zu detektieren (Kohler et al. 1999, S. 35–37). Bezogen auf das Baugewerbe ergeben sich bei Top-Down Ansätzen z.B. Problematiken hinsichtlich der Betrachtung von Bauvorleistungen aus anderen Wirtschaftsbereichen (Kohler et al. 1999, S. 35). Gemeint sind damit solche Leistungen, die sich nicht direkt in den Statistiken des Baugewerbes wiederfinden, jedoch einen direkten Bezug zur Bauausführung haben. Auch ist davon auszugehen, dass Kleinbetriebe, welche im Baugewerbe einen nicht unerheblichen Anteil an der Gesamtleistungen haben, nicht im benötigten Detaillierungsgrad erfasst werden. Eine weitere Problematik von Ansätzen basierend auf Gesamtstatistiken ist, dass hier auf verlässliche Daten der Gesamt- Im- und Exporte oder der konkreten Wirtschaftsleistung einzelner Wirtschafszweige abgestellt wird. In einer globalisierten Welt, geprägt durch vielschichtige verteilte Produktionsprozesse und Logistik, machen Warenströme und Produktionszyklen nicht mehr an Länder- oder Regionalgrenzen halt. An dieser Stelle für eine transparente

Ermittlung der Güter zu sorgen ist aus diesen Gründen als sehr schwierig einzuschätzen (Nakamura und Halada 2014, S. 9). Sollen regional spezifische Analysen erfolgen bieten Top-Down-Erfassungen unterschiedliche Herangehensweisen: Idealtypisch liegen die zugrunde liegenden statistischen Informationen für die entsprechenden Gebietseinheiten direkt vor, was eine äquivalente Berechnung ermöglichen würde. Da an dieser Stelle oftmals Datenlücken vorhanden sind, werden alternative Ansätze der Verteilung, beispielsweise über die prozentuale Aufschlüsselung gemäß regional vorliegender Statistiken (oftmals der Wirtschafsleistung oder Einwohneranzahl) angewendet (Zhu 2014, S. 240–241). Zusammengefasst stellt die Top-Down-Methode einen einfachen und auch am meisten verbreiteten Ansatz dar, das Materialinventar basierend auf Zeitserien des In- und Outputs von Stoffen zu quantifizieren (Müller et al. 2014, S. 2106). Durch die Vielzahl an in die Berechnung einfließenden Annahmen und Schätzen werden Top-Down Methoden auch als „Black-Box"-Modelle beschrieben (Oezdemir et al. 2017, S. 2). Eine wichtige Funktion haben Top-Down Ansätze in der Validierung von Bottom-Up-Kalkulationen. Diese können mittels Betrachtungen einzelner Jahre validiert werden.

4.4.2. Bottom-Up

Die sogenannte ‚Bottom-Up-Methode' betrachtet im Gegensatz zur Top-Down-Methode nicht die Im- und Exporte von spezifischen Ressourcen im Gesamten, sondern beschreibt das vorhandene Inventar im Detail und prosperiert die Gesamtmenge aus diesen Teilmengen (Hochrechnung). Bottom-Up-Methoden nutzen somit zunächst möglichst konkrete Daten, um diese anschließend auf eine größere Einheiten hochzurechnen (BMVBS und BBSR 2011, S. 125). Damit wird das Ziel verfolgt Ressourcen direkt zu quantifizieren und letztendlich auch lokal adressierbar zu machen (Wallsten et al. 2013, S. 104). Im Bereich der Bauwirtschaft basiert der Ansatz damit auf einer Methode die darauf abzielt, spezifische Baustoffmengen einzelner Referenz- (oder Modell-) Gebäude auf eine gesamte Region hochzurechnen (Görg 1997, S. 77). Konkrete Anwendung, für gebäudebezogene Ressourcenkataster, findet die Bottom-Up-Methode unter anderem bei der sogenannten ‚ARK-Haus' Methode (Lichtensteiger und Baccini 2008, S. 41; Wittmer 2006; Lichtensteiger 2006). Für die Exploration von Ressourceninventaren wird hier auf die Kombination von Materialgehalten spezifisch für bestimmte Konstruktionsarten und Gebäudearten abgestellt (Lichtensteiger und Baccini 2008, S. 41). Der Bestand wird über individualisierte Teilbestände beschrieben und beispielsweise auf Basis der m² Nutzfläche nach DIN 277-1 (E DIN 277-1:2015-03) erfasst (Kohler et al. 1999, S. 20). Schwierigkeiten bei Bottom-Up-Ansätzen bestehen vor allem darin entsprechende Referenzobjekte zu definieren sowie zu spezifizieren. Die Definition der Referenzobjekte als möglichst wirklichkeitsgetreu und generalisiert übertragbar, ist einer der zentralen Schritte bei der Umsetzung und Anwendung dieser Methode. Weiter ist die detaillierte Erfassung der konkreten lokalen Daten eine Herausforderung, exakte Datengrundlagen sind hier die Grundvoraussetzung. Aus konkreten Geodaten ermittelte Werte, mit Ausnahme solcher der räumlichen Beschreibung von Statistiken, lassen sich somit in den Bereich der Bottom-Up Ansätze einordnen. Die in den letzten Jahren größer gewordene Anzahl an Publikationen und Initiativen lassen den Rückschluss zu, dass Bottom-Up Methoden eine gängige und nachvollziehbare Methode zur Abschätzung des Ressourcen-Inventars darstellen. Als ursächlich kann hier die immer besser zur Verfügung stehende Datenbasis vermutet werden.

4.4.3. Kombination beider Ansätze

In verschiedenen Forschungsprojekten wird bereits auf eine Kombination beider Ansätze abgestellt um Nachteile einer der Methoden auszugleichen (Deilmann 2014). Problematisch bei der Kombination beider Ansätze ist dabei die Harmonisierung des Betrachtungsrahmens bzw. deren Grenzen. Gerade Bezugsrahmen wie die der

Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR)[8] stellen eine umfassende Betrachtung dar, diese mit konkreten gebäudebezogenen Erhebungen aus dem Bottom-Up-Ansatz, insbesondere mit regionalen Bezugsrahmen, in Verbindung zu bringen stellt sich als schwierig dar. Projekte mit einem vergleichenden Fokus folgen im nächsten Kapitel.

4.5. Forschungsarbeiten zur Ressourceninventarisierung und des Urban Mining

Sowohl Bottom-Up, Top-Down, als auch Kombinationen beider Ansätze sind bereits seit einiger Zeit Schwerpunkt unterschiedlicher nationaler und internationaler Publikationen. Hierbei unterscheiden sich vor allem Betrachtungsrahmen, Detaillierungsgrade und räumliche Auflösung. Vor rein wissenschaftlichen Veröffentlichungen, welche die grundlegenden Methoden beschreiben (Materialinventare, Materialflüsse) müssen solche Arbeiten unterschieden werden, welche eine konkrete Umsetzung anhand einer Beispielregion exemplifizieren. Für eine umfassende Literaturübersicht unterschiedlichster relevanter Projekte kann auf folgende Studie (md stadtbaudirektion et al. 2015, S. 5), Studien des IÖR (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014, 2016) sowie die Dissertation von (Heinrich 2018) verwiesen werden.

4.5.1. Forschungsarbeiten im deutschsprachigen Raum

Für den deutschsprachigen Raum lassen sich aus der jüngsten Vergangenheit zwei richtungsweisende Forschungsprojekte im Bereich des Urban Mining für den Gebäudesektor identifizieren: Zum einen das im Auftrag des Umweltbundesamt vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) gemeinsam mit dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie durchgeführte Forschungsprojekt ‚Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft' (Deilmann 2014; Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014) und deren Nachfolgeprojekte (z.B.: (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2016). Auch als relevant einzustufen ist ein an der Technischen Universität Wien, am dortigen ‚Christian Doppler Labor' - Institut für ‚Anthropogene Ressourcen', zur Erfassung des anthropogenen Ressourcenlagers, mit Fokus auf die Stadt Wien durchgeführtes Forschungsprojekt (Kleemann 2014; Kleemann et al. 2014a; Kleemann et al. 2014b). Eine detaillierte Beschreibung dieser und anderer relevanter Projekte folgt nachfolgend, ergänzt um andere international relevante Projekte im Kontext.

4.5.1.1. Projekt des IÖR et. al.

Verschiedene Projekte des Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) verfolgen das Ziel einer umfassenden Ressourceninventarisierung. Verfolgt werden beide methodischen Ansätze, teilweise findet eine Kombination beider Ansätze statt. Ziel ist es die Wissensbasis zur Beschaffenheit und Dynamik des Lagers in Deutschland deutlich zu erweitern. Die „Top-Down-Analyse unter Nutzung von gesamtökonomischen Daten der Umweltökonomischen Gesamtrechnung sowie Daten der Produktionsstatistik" und die „Bottom-Up-Analyse, die ausgehend von definierten Gütergruppen mit Hilfe von Materialkoeffizienten Hochrechnungen vornimmt" (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014, S. 1). Mit der Zusammenführung von Bottom-Up und Top-Down-Ansätzen wird versucht, die jeweiligen Stärken beider Ansätze zu nutzen und damit

[8] „Die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) beschreiben die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft und Umwelt. Die UGR wurden als Satellitensystem zu den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) konzipiert. Sie verwenden - soweit sinnvoll und möglich - die gleichen Konzepte, Definitionen, Abgrenzungen und Gliederungen wie die VGR, umfassen anders als diese aber häufig physische Größen, beispielsweise Rohstoffeinsatz in Tonnen, Energieverbrauch in Joule oder Flächenbedarf in km²" Statistisches Bundesamt (Destatis) 2013b.

eine bessere Verlässlichkeit in die getätigten Aussagen zu bekommen (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014, S. 1–3; Hedemann et al. 2017). Die Ergebnisse beider Ansätze werden zu diesem Zweck güterspezifisch gegenübergestellt und Erklärungsmuster für deren Abweichungen gegeben. Basierend auf der Analyse der UGR werden Daten zum Nettobestandszuwachs für das Jahr 2010 ermittelt, dieser lag demnach bei 820 Mio. t (Gesamtgüter) (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014, S. 5). Für den Bereich der Baumaterialien wird auf Import- und Export- Daten der Eurostat-Datenbank zum internationalen Handel zurückgegriffen (Top-Down). Im Bereich der Bottom-Up-Analyse werden im Projekt Analysen für Materialverteilungen durchgeführt, um hieraus konvergierende Materialkennziffern zu ermitteln. Basierend auf diesen werden im Anschluss Hochrechnungen für die folgenden Bestände durchgeführt: Technische Infrastruktur (Tiefbau; Verkehr, Trink- und Abwasser, Energie, Telekommunikation), Bauwerke des Hochbaus (Wohn- und Nichtwohngebäude), Haustechnik (Wohngebäude, Nichtwohngebäude (nur Rohrleitungen)) sowie langlebige Güter (Konsum- und Kapitalgüter) (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014, S. 17–18). Als Erfassungen zur Quantität der genannten Bestände werden wiederrum Daten der amtlichen Statistik herangezogen. In einem Vorgänger-Projekt ‚MaRess' hat das Wuppertal Institut zudem bereits die aktuellen Lager, Inputs und Outputs aller Infrastruktursysteme in Deutschland bestimmt (Bringezu 2013, S. 118). Allgemein lässt sich festhalten, dass hinsichtlich der Datenbasis für die Berechnungen in diesem Projekt auf sehr umfassende statistische Erhebungen für großflächige Regionen abgestellt wird. Trotz Kombination von Bottom-Up- und Top-Down-Analysen ist durch den Bezug zu umfassenden Statistiken überwiegt die Anwendung der Top-Down-Methode. Das abgeschätzte Materialinventars des Nichtwohngebäudebestandes wird nach dieser Studie auf rund 6,8 Mrd. Tonnen geschätzt. Im Verhältnis zum Wohngebäudebestandes stellt dies eine Größenordnung von 42 bis 45 % dar (Gruhler und Deilmann 2015, S. 144).

Im Projekt, Kartierung des anthropogenen Lagers (KartAL 1 und 2) in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft' (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014; Hedemann et al. 2017) wird eine Bottom-Up Methode, nach dem folgenden Schema (Abbildung 28) am Beispiel der Nichtwohngebäude, für eine Hochrechnung des Gesamtbestandes angewendet:

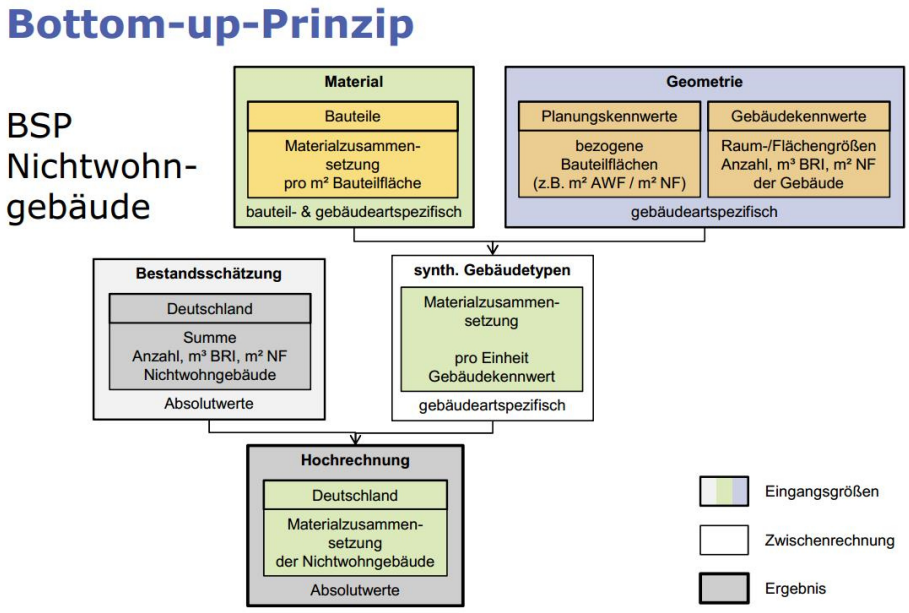

Abbildung 28: Darstellung der Bottom-Up Methode für Hochrechnung des Gesamtbestand deutscher Nichtwohngebäude (Schiller 2014, S. 19)

Relevant sind die Arbeiten des IÖR insbesondere im Bereich der Erfassung und Deklaration von Referenzgebäuden. Unterschiedliche Teilprojekte nehmen umfassende In-Situ Gebäudeaufnahmen vor und vergleichen Materialkoeffizienten mit denen der Statistik. Diese Datenbasis ist essenziell für unterschiedliche Ansätze der

Materialquantifizierung. (Institut Wohnen und Umwelt (IWU) et al. 2016; Gruhler et al. 2002; Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2014). In diversen Forschungsverbünden werden diese Daten in konkreten Anwendungen umgesetzt (Haberl et al. 2021) oder auch mit Daten aus anderen Projekte, wie z.B. der Stadt Wien, über neuartige Verfahren validiert (Lederer et al. 2021). Für eine vergleichende Analyse der Kennziffern sei auf Kapitel 7 dieser Arbeit verwiesen. Hier werden die Ergebnisse des IÖR umfassend dokumentiert.

4.5.1.2. Projekt PRRIG (Technische Universität Darmstadt)

Die Kurzbezeichnung PRRIG steht für „Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand“[9]. PRRIG hat die Gewinnung von Rohstoffen aus dem Abbruch bzw. Rückbau von Industrie- und Gewerbegebäuden in der Region Frankfurt / Rhein Main zum Ziel. Die Bearbeitung des Projektes gliedert sich in drei Projektbereiche (Schebek 2011):

A: Konzeptionelle Arbeiten

Hier werden konzeptionelle und methodische Grundlagen für ein Gebäudekataster, Materialflussmodell sowie Annahmen für Entwicklungsszenarien in der Region erarbeitet.

B: Praxisuntersuchungen

In praktisch durchgeführten Vor-Ort-Untersuchungen werden laufende Abbruch- und Rückbauprojekte von Seiten des Instituts für Baubetrieb (Technische Universität Darmstadt) begleitet und detaillierte gebäudebezogene Rohstoffkennwerte ermittelt.

C: Instrumente und Empfehlungen

Im Anschluss an die die Schaffung einer empirischen Datengrundlage werden kommunale Planungshilfen zur Steigerung der Ressourceneffizienz für Gebäudeeigentümer und regionale Planungsinstitutionen ausgearbeitet. Am Projekt sind für die Durchführung von Fallstudien unterschiedliche Gebäudeeigentümer aus der Region und Kooperationen mit regionalen Akteuren aus der Immobilienbranche vorhanden.

Bestandteil des Projektes ist der Aufbau eines „GIS-basierten Rohstoffkataster“, basierend auf den amtlichen Katasterdaten des Landes Hessens, sowie möglichen Auswertungen digitaler Orthophotos und Flächennutzungsplänen. Schnittstellen der vorliegenden Arbeit mit dem Projekt PRRIG ergeben sich in den folgenden Themenfeldern:

- Definition einer Gebäudetypologie für Nichtwohngebäude
- Anforderungs- und Datenbeschreibung (Input) für gebäudebezogene Materialflussmodelle
- Beschreibung / Modellierung der Datengrundlage eines GIS-basierten Rohstoffkataster (Kapitel 4)
- Rohstoffkennwerte zu spezifischen Nichtwohngebäuden (Rückkopplung mit Gebäudetypologie)
- Lebenszyklen von Industrie- und Gewerbegebäude einschließlich einer möglichen Weiternutzung der Immobilien
- Kontakte in der Projektregion

Verschiede Veröffentlichungen stellen die, auf den NWG-Bestand fokussierenden, Forschungsergebnisse dar (Schebek et al. 2016c; Schebek et al. 2016b; Schebek et al. 2016a; Schebek et al. 2016d). Der methodische Aufbau des Projektes findet sich in Abbildung 29.

[9] Webseite des Projekt: http://www.prrig.tu-darmstadt.de/ (24.02.2014)

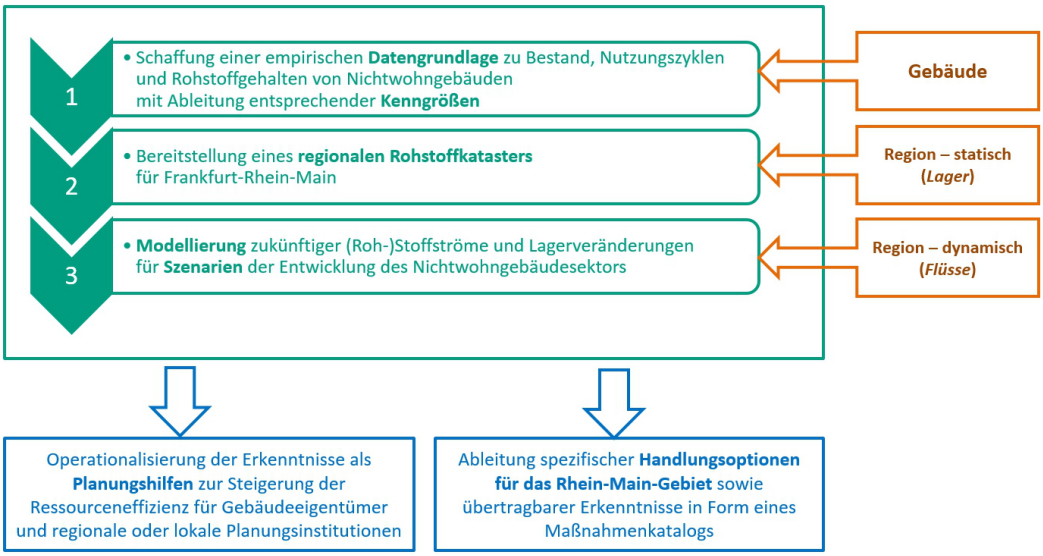

Abbildung 29: Zusammenfassung methodischer Aufbau im Projekt PRRIG - Quelle: Schebek et al. 2016d; Schebek et al. 2016a, S. 6

Neben den beschriebenen Anknüpfungspunkten beider Forschungsarbeiten grenzt sich die vorliegende Arbeit in der Dateninventarisierung und dem Aufbau eines Gebäudekatasters auf Basis einer GDI vom Projekt PRRIG ab. War es in PRRIG das Ziel, ein GIS-basiertes Gebäudekataster auf Basis der amtlichen Katasterdaten zu erstellen geht ein auf einer GDI-basierender Ansatz darüber hinaus. Ein harmonisierter Ansatz über GDI stellt umfassendere Anforderungen und gleichzeitig Möglichkeiten dar die vorhandenen Datenlücken zu schließen. Auch soll eine Übertragbarkeit mittels harmonisierter Datenmodelle auf andere als die Projektregion gegeben sein.

4.5.1.3. Urban Mining innerhalb der Stadt Wien

Forschungsansätze zum Urban Mining innerhalb in der Stadt Wien sind weitreichend. Forschungsbestrebungen des Christian Doppler Instituts der TU Wien erfassen vorhandene Ressourcen in Gebäuden sehr systematisch und umfassend. Hierbei werden unterschiedliche Verfahren der Bestandsaufnahmen untersucht und deren Ergebnisse verglichen. Eine Hochrechnung des Inventars erfolgt auch hier auf Basis von individuell zusammengefassten Geodaten der Stadtverwaltung. Fehlende Detaillierungsgrade werden dabei deutlich. Zwar stehen die Bestrebungen unter dem Stichwort eines "Kataster" eine systematische und standardisierte Erfassung und Beschreibung der Gebäude fehlt bislang (Kleemann et al. 2015a).

Die für die Stadt Wien zur Anwendung kommende Gesamtmethodik wird dabei wie folgt beschrieben: „Abhängig von Nutzung und Bauperiode wird eine bestimmte Materialzusammensetzung der Gebäude angenommen. Zur Bestimmung des Materiallagers der Gebäude Wiens werden GIS - Daten verschiedener Behörden sowie Informationen aus Fallstudien und Literatur verwendet.“ (Kleemann 2014) Die verschiedenen Arbeiten der Forschergruppe müden zu großen Teilen in der kumulativen Dissertation von Kleemann (Kleemann 2016). Ziel der Arbeit war es, anhand der Fallstudie der Stadt Wien, das Potenzial von Gebäuden als urbane Mine zu bewerten.

Um in einem ersten Schritt die Daten über die Materialbeschaffenheit von Gebäuden in Wien zu generieren, wurden Materialintensitäten für unterschiedliche Gebäudegruppen abgeleitet. Zur Anwendung kommen dabei unterschiedliche Informationsquellen und Methoden. Konkrete Erfassungen der Materialzusammensetzungen von Gebäuden wurden durchgeführt (Kleemann et al. 2014a). Hierbei wurden zwei Methoden getestet, um Gebäude hinsichtlich ihrer Materialzusammensetzung zu charakterisieren. „Methode A basiert auf der Analyse vorhandener Unterlagen (Pläne, Gutachten, etc.), Methode B auf Begehung und selektiver Beprobung der abzubrechenden Gebäude.“(Kleemann et al. 2014a, S. 69). Der hieraus abgeleitete Datensatz über spezifische

Materialintensitäten der Gebäudekategorien wird durch Literaturauswertungen gestützt (Kleemann 2016, S. 8). Die sehr umfassende Analyse nimmt hierbei Bezug auf 14 „Case Studies“ in der Stadt Wien, 40 Gebäudeanalysen aus Plänen und Statistiken, 12 neuerlich gebaute Gebäude (Konstruktionspläne / LCA) und einer umfassenden Literaturrecherche (Kleemann et al. 2016a, S. 4). Eine detaillierte Beschreibung der Vor-Ort Untersuchung einzelner Gebäude findet sich (Kleemann et al. 2015a). Für eine vergleichende Analyse der Materialkennziffern sei auf Kapitel 7.5.1 verwiesen. Hier werden die MKZ in eine vergleichende Analyse gestellt.

An die Gebäudedeklaration anschließend findet die Anwendung von Geodaten für die räumliche Analyse statt (Kleemann et al. 2016a). Der klare Fokus der Betrachtungen liegt aber nicht auf der GIS-basierten Erfassung der Gebäudesubstanz, sondern auf Methodenvergleichen zur Erfassung und Charakterisierung einzelner Gebäude. Die Erhebung der Gebäudestruktur in Wien wurde mit Daten der Verwaltung durchgeführt (md stadtbaudirektion et al. 2015). Hierbei wurden die Deklaration und Semantik der Geodaten der Verwaltung ohne weitere Harmonisierung angewandt. Das gesamte Vorgehen erläutert Abbildung 30 nach (Kleemann et al. 2016a):

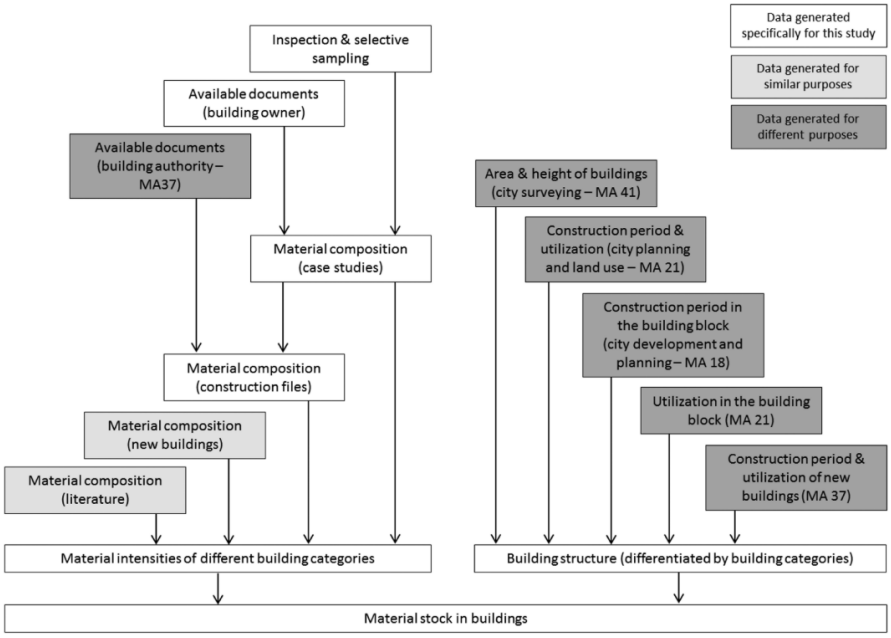

Abbildung 30: Informationsfluss der unterschiedlichen Forschungsbereiche bei (Kleemann et al. 2016a, S. 5)

In der finalen Analyse detektieren Kleemann et al. 360 M [t] in den Gebäuden gebundene Materialien (Kleemann et al. 2016a, S. 7). Das entspricht ca. 210 t je Einwohner der Stadt Wien.

Abgeschlossen werden die Forschungsarbeiten von Kleemann (Kleemann 2016) mit einer Veröffentlichung zur Fragestellung der Veränderungsdetektion (Kleemann et al. 2016b). Grundlage ist hier das aktuell klassifizierte Inventar, welches über Methoden der Veränderungsdetektion (Change Detektion) fortgeschrieben wird. Ziel ist es, über diese Verfahren Sekundärressourcen, welche durch gegenwärtige Abbrüche in Wien zur Verfügung stehen, abzuschätzen. Wie die Veröffentlichung eindrücklich zeigt, können Methoden der Fernerkundung gut dafür eingesetzt werden die Abbruchaktivität einer Region / Stadt zu erfassen (Kleemann et al. 2016b, S. 10). Ein weitreichend systematischer Ansatz des Einsatzes der Fernerkundung zur Gesamtinventarisierung ist hierbei jedoch nicht erfolgt. Neue Studien der Wiener Forschergruppe beschäftigen sich derzeit mit der Validierung und Neudefinition von MKZ (Lederer et al. 2021). Bessere und genauere Ergebnisse lassen sich durch eine gezieltere Auswahl der Referenzgebäude erzielen (zufällig ausgewählte Gebäuderepräsentanten) (Lederer et al. 2021, S. 14).

4.5.1.4. Metropol Region Rhein-Ruhr

Für die Metropolregion Rhein-Ruhr erstellen Oezdemir et al. 2017 ein Ressourcenkataster für den Wohngebäudesektor. Die dabei ermittelten Werte liegen zwischen 93 kt und 103,5 kt für die Gesamtregion, abhängig der verwendeten Daten (Oezdemir et al. 2017, S. 1). Die hier angewendete Methode orientiert sich stark an Bottom-Up Kalkulationen basierend auf der ARK-Haus Methode (Lichtensteiger und Baccini 2008; Kleemann et al. 2015c). Das Vorgehen gliedert sich in 5 Stufen: 1. Gebäudestrukturen im GIS analysieren, 2. Datenvalidierung, 3. Definition der Baujahre, 4. Ermittlung von Materialkennziffern (MKZ) aus bestehenden Studien, 5. Analyse der Materialintensitäten. Als grundlegende Geodaten kommen ALKIS Datensätze (AdV 2014a) zur Anwendung. Die Validierung der Geodaten zeigte auch hier, dass für die Region keine Informationen zu Baujahren der Gebäude in den Daten vorhanden waren (Oezdemir et al. 2017, S. 7). Um dieses Datenloch zu schließen, werden im Projekt partielle Nacherfassungen (on-site) durchgeführt sowie unterschiedliche Annahmen zum Lückenschluss getroffen. Die für die konkrete Region berechneten Ergebnisse basieren somit auf 380 Gebäuden in der Betrachtungsregion in einem für das Projekt spezifisch definierten – GIS spezifischen – Datenmodell. Zusammengefasst entwickeln Oezdemir et al. 2017 damit keine neue Methode, zeigen aber durch die exemplarische Umsetzung in der Rhein-Ruhr Region die Anwendbarkeit. Deutlich werden hier bestehende Datenlücken (Nichtwohngebäude, Baujahre, Gebäudehöhen, Materialkennziffern), eine fehlende Validierung der Ergebnisse sowie die nicht harmonisierte Modellierung von Geodaten, notwendig für die Berechnung von nachvollziehbaren Ressourceninventaren. Es zeigt sich weiter sehr deutlich, dass eine Umsetzung methodisch valide erfolgen kann. Die Datengrundlage und deren Systematisierung aber nach wie vor die größte Herausforderung darstellt.

4.5.1.5. Projekt UMKAT

Das von der Ressourcen Management Agentur (RMA) durchgeführte Projekt „UMKAT“ versucht das anthropogene Lager in der Steiermark anhand der Entwicklung eines Urban Mining Katasters zur quantifizieren (Daxbeck et al. 2015). Im Bereich der Geodatenbereitstellung und Aufarbeitung war das Stadtvermessungsamt der Stadt Graz beteiligt. Ausgewählte Daten werden in dieser Zusammenarbeit in Form eines „Urban Mining Kataster“ für eine Beispielregion visualisiert. (Daxbeck et al. 2009) (Czaja 2015) Wie das Projekt UMKAT gezeigt hat, kann ein idealtypischer Aufbau eines Urban Mining Kataster sehr detailliert auf Basis von Geodaten erfolgen. Für die Beispielregion wurden die offiziellen Katasterdaten als Grundlage verwendet jedoch weitreichend mit manuellen Aufnahmen ergänzt. Dabei wurden u.a. Informationen zur Dämmung, Fenster-Art, Art des Bauwerks, Material der Dachrinnen, Wärmedämmung und vieles mehr erfasst. Zur späteren Nachvollziehbarkeit wurden von einzelnen Objekten zusätzlich Fotos in der Datenbank hinterlegt. (Daxbeck et al. 2015) Das Projekt unterscheidet bei der Erfassung von MKZ jedoch nur in zwei Kategorien, Wohn- und Nichtwohngebäude. Verglichen mit den anderen hier vorgestellten Bottom-Up Ansätzen handelt es sich also um eine eher grobe Ressourceninventarisierung. Die grundlegende Anwendbarkeit konnte aber auch hier sehr anschaulich aufgezeigt werden.

4.5.1.6. Urban Mining - München-Freiham

Die Dissertation von Heinrich (Heinrich 2018) beschreibt sehr umfassenden den aktuellen Forschungsstand rund um ein Urban Mining Kataster und daran anknüpfende regionale sowie überregionale Stoffströme. Die Arbeit kann daher als Beschreibung des Status Quo in der Forschung herangezogen werden. In der Arbeit wird nicht nur die wissenschaftliche Basis fundiert aufbereitet und durch eigene Erhebungen ergänzt, sondern auch das in der Arbeit entwickelte Modell anhand des Stadtteils München / Freiham validiert. Für die Gebäudemodelle wurde auf ein bestehendes 3D-Stadtmodell der Stadt München zurückgegriffen und die Stoffintensitäten der jeweiligen Gebäudetypologien und Bauteile anhand von Baualter und Gebäudetyp zugeordnet. Als relevante Größen werden Baujahr und Gebäude aus dem Gebäudemodell referenziert. (Heinrich 2018, S. iii) Unterschieden wird bei Heinrich nur zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern (Heinrich 2018, S. 156). Diese beiden Typen

werden sehr detailliert aufbereitetet und können zu einem hohen Grad aus dem verfügbaren 3D-Stadtmodell abgeleitet werden. Eine weitere Unterscheidung wird nicht vorgenommen. Abbildung 31 stellt das Vorgehen, in Bezug auf die Anwendung der verfügbaren Geodaten, im Detail dar. Die Arbeit hat damit einen sehr starken Bezug zum hier vorgestellten Vorgehen, unterscheidet sich jedoch in der methodischen Ausrichtung. Heinrich versucht nicht einen allgemeingültigen Ansatz zu beschreiben, er verbindet viel mehr verfügbare Daten zu MKZ mit eigenen Erhebungen und der Zuordnung zu verfügbaren 3D-Stadtmodellen innerhalb einer Testregion. Eine unmittelbare Übertragbarkeit und Standardisierung finden nicht statt. Auch werden Nichtwohngebäude bisher nicht in die Analyse mit einbezogen. Dieser Forschungsbedarf wird jedoch klar benannt. (Heinrich 2018, S. 223)

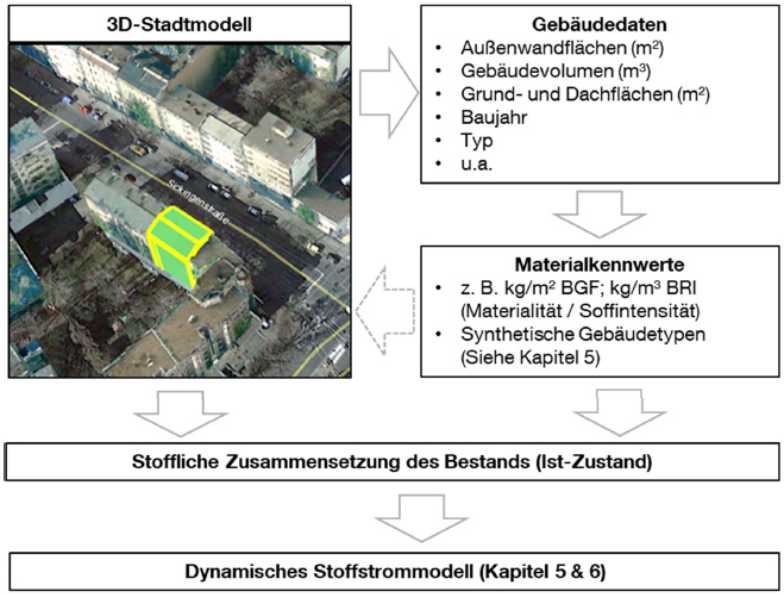

Abbildung 31: Vorgehen zum Aufbau eines Urban Mining Kataster nach Heinrich ((Heinrich 2018, S. 84)

In seiner Beschreibung zum 3D-Gebäudebestand nimmt Heinrich kurz Bezug auf die Harmonisierungsbestrebungen durch INSPIRE (Heinrich 2018, S. 24), wendet diese jedoch nicht an oder analysiert deren potenziellen Einsatz.

4.5.1.7. Weitere Projekte

In der Literatur sind noch eine Reihe von weiteren Studien und Untersuchungen zu finden, die sich mit der Ermittlung von Materialinventaren des Gebäudebestandes beschäftigen. In der Vergangenheit lag das Interesse dabei hauptsächlich auf übergreifenden Analysen des gesamtdeutschen Bestandes wie die im Auftrag der Enquête-Kommission zum Schutz des Menschen und der Umwelt: „Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen“, durchgeführt von Kohler et al. 1999. Erst einzelne neuere Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Aspekt der Rohstoffe und mit spezifischen Metallen im Gebäudebestand: Wittmer 2006 von der ETH Zürich betrachtet die Kupferlager in Infrastruktur und Gebäuden der Stadt Zürich. Die Modellbildung erfolgte anhand virtueller Häuser, die bezüglich der Größe und der stofflichen Zusammensetzung für die Schweiz repräsentativ sind. Für jeden Nutzungstyp wurden über die Funktionsgruppen Dachbereich, Stromanlage, Telekommunikationsanlage, Sanitäranlage und Heizungsanlage die durchschnittlich verbaute Materialmenge bestimmt und über die Anzahl der jeweiligen Gebäude das Kupferlager in den Gebäuden von Zürich berechnet. Die Methodik der virtuellen Häuser (‚ARK-Häuser‘) wurde im komplementären Forschungsprojekt von Lichtensteiger 2006 an der ETH Zürich entwickelt. Mit der Analyse von BERGSDAL werden für Norwegen Neubau und Abbruch über unterschiedliche dynamische Szenarien berücksichtigt (Bergsdal et al. 2007). Aufbauend auf dem Modell von Müller

2006 basieren die Analysen auf offiziellen Statistiken, einzig bezogen auf Gebäude des Wohnbausektors. Eine weitere umfassende Analyse für den Bezugsraum der Bundesrepublik Deutschland liefert die Studie im Auftrag des Umweltbundesamt (UBA) ‚Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung (2010)', durchgeführt vom IÖR. Konkrete Zahlen wurden über eine Top-Down-Analyse sowohl für den Wohn- als auch Nichtwohngebäudebestand ermittelt. Die Hochrechnung für Nichtwohngebäude beruht dabei auf unterschiedlichen Annahmen und Hypothesen, beispielsweise für das Verhältnis Konstruktionsvolumen zu Bruttorauminhalt (BRI), Baustoffanteilen sowie Dichten einzelner Baustoffgruppen (Schiller et al. 2010, S. 74). Weitere Studien zu Metallen beziehen sich auf Infrastrukturen wie beispielsweise Stromleitungen. Im durch das UBA geförderten Projekt MaRess werden metallische Rohstoffe und Infrastrukturen untersucht (MaRess 2010, 2011). Weitere Ansätze fokussieren sich auf die Anwendung von freien OpenStreetMap (OSM) Daten und validieren diese auf grober Ebene durch Fernerkundungsdaten (Haberl et al. 2021). Als Ergebnis entstehen so beeindruckende überregional Kartierungen des Ressourcenbestands, siehe Abbildung 32.

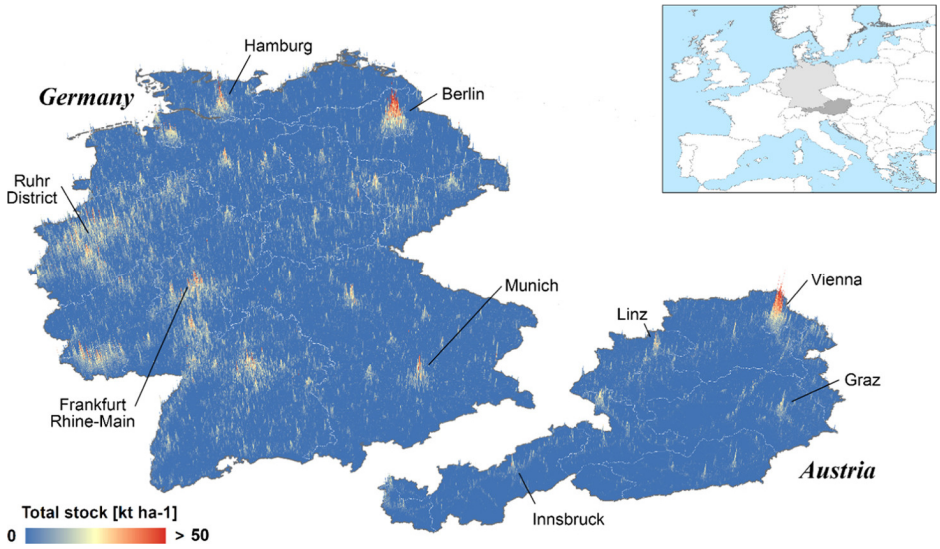

Abbildung 32: Dreidimensionale Karten der gesamten Materialvorräte in Gebäuden und Infrastrukturen in Deutschland und Österreich (2018; 100m-Auflösung) Quelle: (Haberl et al. 2021, S. 3374)

4.5.2. Internationale Forschungsarbeiten

Eine schwedische Untersuchung ermittelt in einer Fallstudie, GIS-basiert, für die Stadt Nörrköpping das Metalllager im Kabel- und Rohrleitungsnetzwerk (Krook et al. 2011; Wallsten et al. 2013). Ein Studie aus Japan (Nakamura und Halada 2014) bezieht für eine Gesamtrechnung des vorhandenen Metallinventars Daten aus Jahrbüchern des US Geological Survey und lokalen Jahrbüchern (Shigen Databook) in ihre Analyse ein. Diese Methode erlaubt es sehr grobe Entwicklungen und Inventare für ein Land zu kalkulieren. Die Autoren selbst weisen aber hier auf zu schließende Datenlücken hin, gerade was historische Daten anbelangt (Nakamura und Halada 2014, S. 10–11). Ein solcher Ansatz gibt einen Gesamtüberblick, konkrete Rückschlüsse auf regionale Materialinventare und im Besonderen Materialflüsse lassen sich damit nicht ziehen.

Mit der Beschreibung eines „4D-GIS" als Gesamtansatz beschreiben Tanikawa und Hashimoto 2009 eine sehr allgemein gültige Vorgehensweise für die Etablierung eines Bottom-Up Urban Mining. Geodatenbasierte Erfassungen spielen hierbei eine zentrale Rolle. Der grundsätzliche Aufbau des „4D-GIS", also dem Einbezug einer zeitlichen Komponente, zeigt das nachfolgende Schaubild (Abbildung 33). Neben dem Bereich der Gebäude werden Verkehrsinfrastruktur (Straßen, Schienen) sowie die Versorgungsinfrastruktur (Kanal) in das grundlegende Modell mit einbezogen.

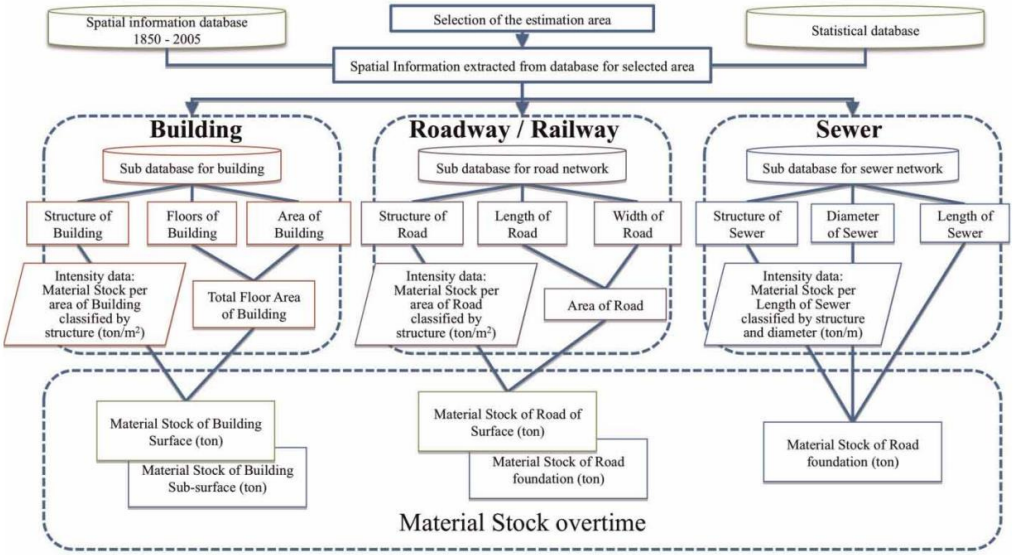

Abbildung 33: Grundzügiger Aufbau einer auf räumlichen Daten basierenden Urban Mining Inventarisierung (nach Tanikawa und Hashimoto 2009, S. 485)

Die exemplarische Umsetzung erfolgte am Beispiel eines Stadtteils von Manchester (UK) sowie einer Fläche von ca. 11 km² in Wakayama (Japan). (Tanikawa und Hashimoto 2009) Die zugrunde liegende Datenerfassung wurde beispielhaft in einem GIS umgesetzt, indem sowohl (nicht näher spezifizierte) Geodaten der Verwaltung als auch alte ‚Papier-Karten', Luftbilder und weitere historische Fotos manuell aufgenommen wurden (Tanikawa und Hashimoto 2009, S. 486). Die Typisierung der Gebäude umfasst vier Typen, wobei ein direkter Bezug zu japanischen Gebäudespezifika gegeben ist. Eine Beschreibung der Geodatenmodellierung erfolgt nicht, eine Übertragbarkeit des Ansatzes steht aber auch nicht im Fokus der Arbeit von Tanikawa. Festzuhalten ist, dass für die Übertragung spezifischer Ressourcenwerte auf ‚Intensitätsparameter' (Materialinventar je Gebäudefläche in t/m²) zurückgegriffen werden (Tanikawa und Hashimoto 2009).

Weitere, hier nicht näher beschriebene Ansätzen finden sich, nicht abschließend, bei: (Sartori et al. 2008; Wiedenhofer et al. 2015; Wittmer 2006; Görg 1997; Havránek 2009; Gerst und Graedel 2008; Marcellus-Zamora et al. 2016).

4.6. Eine Datenbasis für Urban Mining als Forschungsschwerpunkt

Wie dieses Kapitel gezeigt hat, sind Ansätze zum Aufbau eines Urban Mining Kataster vielseitig. Grundlegend zu unterscheiden sind die divergierenden Ansätze nach Top-Down und Bottom-Up Methoden. Diese bringen demzufolge gänzlich unterschiedliche Anforderungen mit sich. Der hier im Fokus der Betrachtung stehenden Gesamtansatz, basierend auf Geodaten bzw. Geodaten aus Geodateninfrastrukturen, ein Urban Mining Kataster strategisch ‚Bottom-Up' zu entwickeln, soll im Weiteren erläutert und entsprechende Anforderungen beschreiben werden. Der Begriff ‚Kataster' steht analog der Beschreibung von STEUDLE (Steudle et al. 2014, S. 437), als ein Verzeichnis gleichartiger Gegenstände, sowohl körperlicher Dinge wie aber auch abstrakter Gegebenheiten. Von hoher Relevanz ist der definierte Betrachtungsrahmen. Ansätze zur regionalspezifischen Inventarisierung haben andere Anforderungen an Detaillierungsgrade und Abstraktionsebenen als beispielsweise deutschland- oder gar europaweite Ressourceninventarisierungen. Im Fokus dieser Arbeit liegen besonders regionalspezifische Betrachtungen und die Anwendung verteilt vorliegender Geodaten.

Aus der vorrangegangenen Einleitung und Darstellung des Urban Mining lassen sich unterschiedliche Forschungsbereiche ableiten. Zum einen ist dort als zentrales Element die Modellierung von entstehenden und prognostizierten Stoffströmen über umfassende Materialflussmodelle zu nennen. Hier laufen die verschiedenen Parameter, seien es quantitative Erfassungen, Annahmen, Prognosen und Szenarien, zusammen. Unterschied-

liche Ansätze haben hierbei Vor- und Nachteile, sowohl im Betrachtungsrahmen als auch der angestrebten Detailtiefe. Der Fokus vergangener Betrachtungen liegt sehr stark auf dem Bereich der Wohngebäude. Erst neuere Untersuchungen thematisieren auch Gebäude aus dem Bereich Gewerbe, Industrie und Verwaltung (Gruppe der Nichtwohngebäude). Die Betrachtung von vorhandener Infrastruktur wird erst in wenigen Forschungsarbeiten thematisiert. Ausgangspunkt all dieser umfassenden Betrachtungen ist dabei immer eine möglichst genaue Beschreibung des Status-Quo (Bestandsinventarisierung). Erst eine verlässliche Datenbasis erlaubt es verschiedene Betrachtungen und Analysen darauf aufzubauen. Die benötigte empirische Datenbasis für Rohstoffmodelle lässt sich dabei grob in die folgenden Themengebiete unterteilen:

- Gebäudespezifische Rohstoffkennwerte und verwendete Materialien / Bauweisen
- Typische Nutzungszyklen von Gebäuden (Untergliederung nach dem Lebenszyklus der Gebäude) - Umbau, Sanierung, Abriss –
- Regionale Nachfragen und Zukunftsszenarien zur Bestandsentwicklung
- Umfassende Beschreibung des aktuellen Gebäudebestandes

Alle Themengebiete sind hinsichtlich ihres Grades zu vorliegenden Forschungsarbeiten sehr heterogen. Die größte Datenlücke liegt derzeit in der Beschreibung des Gebäudebestandes im Bereich der Nichtwohngebäude sowie korrespondierenden gebäudespezifischen Kennwerten. Bereits frühere Forschungsarbeiten an der Technischen Hochschule Darmstadt (jetzt Technische Universität Darmstadt) machten 1997 die Problematik hinsichtlich fehlender Informationen aus dem Nichtwohngebäudebestand (am Beispiel von Berlin) deutlich; „Die Datenbasis zu Gewerbe-, Industrie- und öffentlichen Bauten ist ausgesprochen defizitär“ (Görg 1997, S. 166). Gerade in Bezug auf die Dynamik des Bestandes, durch sich laufend ändernde Anforderungen der Nutzer, neue Energie- und Sicherheitsstandards, sind Nichtwohngebäude schwerer zu klassifizieren als Wohngebäude, welche ihre Nutzung meist über sehr lange Zeiträume unverändert beibehalten (Schwaiger 2002, S. 16). An dieser Feststellung aus dem Jahre 2002 hat sich auch heute grundlegend nichts verändert.

Auch aus diesen Gründen beschreiben Rechberger und Clement, dass es noch kein Patentrezept zu geben scheint, welches die einheitliche Charakterisierung des Gebäudebestandes für Urban Mining vorsieht, jedoch eine Kombination unterschiedlicher Ansätze und Informationsquellen diese Lücke schließen kann (Rechberger und Clement 2011, S. 214). Dies könnte beispielsweise aus einem „[...] Kataster und Register von Behörden oder Versicherungsunternehmen, Untersuchungen von repräsentativen Einzelobjekten, Methoden der Fernerkundung“ abgeleitet werden (Rechberger und Clement 2011, S. 214). Der Einsatz von Geodaten ergibt sich somit initial aus den beschriebenen Anforderungen. Weitere unterschiedliche Fragen für die Städte der Zukunft mit Fokus auf eine nachhaltige Ressourceneffizienz durch Urban Mining können aus den beschriebenen Aspekten abgeleitet werden:

- Wie können Rohstofflager erkannt und erfasst werden?
- Wie lassen sich die Lager der Zukunft harmonisiert beschreiben und wie lassen sich diese Informationen zugänglich machen?
- Wie kann das Lager in Zukunft gestaltet und auch beschrieben werden um eine flexible Nutzung für ganze Stadtregionen (Stadtteile) zu ermöglichen?
- Mit welchen aktuellen und zukünftigen Technologien und zu welchen Kosten können die Lager zugänglich gemacht werden? (Obernosterer et al. 2010, S. 57; erweitert)

Aus den genannten Fragestellungen lassen sich umfassende Anforderungen an die Bereitstellung und Nutzung von Geoinformationen ableiten, was im direkten Zuge zu Bestrebungen der Geodateninfrastruktur (GDI) führt.

4.7. Zusammenfassung und Bewertung aktueller ‚geodatengetriebener Ansätze'

Den Einsatz von GIS und Geodaten für Urban Mining beschreibt ganz allgemein ZHU in ‚GIS and Urban Mining' (Zhu 2014). Die Nutzung von GIS wird hier im Sinne der Verknüpfung von Gebäudeinformationen der öffentlichen Hand mit Konstruktionsmaterialien der Bauwirtschaft zur gebäudespezifischen Ermittlung von Ressourcenkennwerten erläutert (Zhu 2014, S. 240). GIS eigenen sich damit für explizit für die Umsetzung von Bottom-Up Betrachtungen (Zhu 2014, S. 241). Dabei wird festgehalten, dass derzeit kein standardisiertes oder etabliertes Systems vorhanden ist, welches Rohstoffwerte von Gebäuden und Infrastruktur in Verbindung mit Geoinformationstechnologie nutzt (Zhu 2014, S. 243). Einen konkreten Lösungsvorschlag entwickelt Zhu nicht, stellt aber die potenzielle Nutzbarkeit von verteilt vorliegenden Geodaten heraus:

„To address the data issues, a specific national spatial data infrastructure should be built to support urban mining. […] spatial data on material stocks and flows and infrastructure are dispersed and fragmented. They may be inconsistent in terms of data formats, data items, measurement units and geographical scales. These problems make it difficult to identify, access and to use available data from different sources."(Zhu 2014, S. 245)

Bereits vor der Etablierung von Geodateninfrastrukturen wurde die Anwendung von GIS zur Generierung von, wie es SCHWAIGER nennt, ‚Kumulationseffekten' in der Informationsgewinnung auf Gebäudeebene beschrieben. Im Zusammenhang ihrer Dissertation, der ‚Strukturellen und dynamischen Modellierung von Gebäudebeständen' (Schwaiger 2002), wird die prinzipielle Idee der Kumulation von Informationen aus Geodaten unterschiedlicher Datenquellen (hier u.a. ALK / ALB[10], Bauakten und weiterer) zur Ermittlung des Baubestands einer Stadt, Region oder ähnlicher räumlicher Aggregationen, definiert. Die Problematik eines fehlenden Zugangs zu harmonisierten Datenbeständen wird dabei in zweierlei Hinsicht deutlich; der eindeutigen Identifikation dieser sowie unterschiedlicher Formate: „Neben dem Problem der eindeutigen Identifikation wird die Datenergänzung oft durch unterschiedliche Formate erschwert." (Schwaiger 2002, S. 138)

Der allgemein am effektivsten für Bottom-Up Betrachtungen eingesetzte Ansatz lässt sich zusammenfassend anhand der von LICHTENSTEIGER UND BACCINI als ‚ARK-Haus'-Methode definierten Vorgehensweise beschreiben (Lichtensteiger und Baccini 2008, S. 41; Lichtensteiger et al. 2006). Dieser und vergleichbare Ansätze (Gruhler et al. 2002, S. 236–238) gehen zu Teilen auf das von KOHLER UND HASSLER (Kohler et al. 1999; Hassler et al. 1999) beschriebene Modell, basierend auf der Stoffflussanalyse von BACCINI (Baccini und Brunner 1991), zurück. Für die Exploration wurde eine Modellmatrix von vier Gebäudetypen mit je vier Baualtersklassen gewählt (Lichtensteiger 2006, S. 15–17). Je Nutzungstyp und Baualtersklasse wird ein fiktives (virtuelles) ‚ARK-Haus' als Repräsentant mit einem charakteristischen Gebäudevolumen, typischer Konstruktionsweise und Materialgehalten definiert. Für jeden Repräsentant wird wiederrum ein typisches Mengengerüst ermittelt. „Ein ARK-Haus bildet damit das Lager pro Gebäude dieses Nutzungstyps ab und wird in Verbindung mit der Gebäudestatistik auf das Gesamtsystem Schweiz hochgerechnet." (Prytula 2011, S. 123) Die nachfolgende Abbildung 34 zeigt den matrixhaften Zusammenhang der Gebäudetypen und Baualtersklassen.

[10] Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) und Automatisierte Liegenschaftsbuch (ALB)

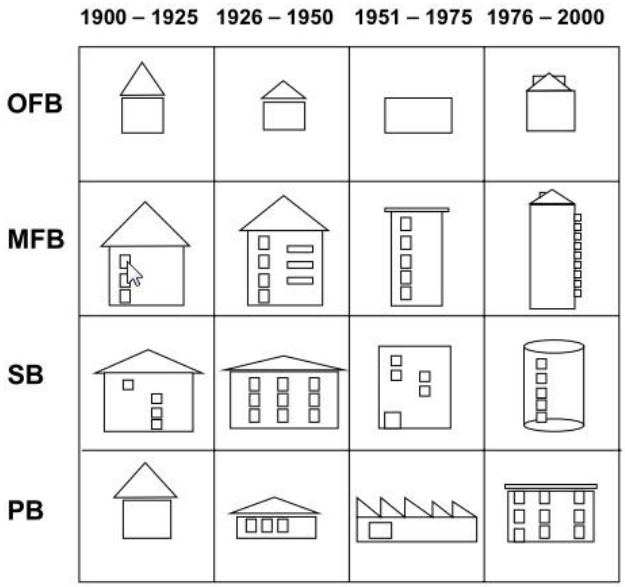

Abbildung 34: 4x4 Matrix der ARK-Haus Methode (Lichtensteiger und Baccini 2008, S. 43; Lichtensteiger 2006) OFB: Own-Family Building, MFB: Multi-Family Building, SB: Social Buidling, PB: Production Building

Festgehalten werden kann, dass die grundsätzliche Methodik, welche übergreifend für Bottom-Up Betrachtungen mit Einsatz von Geodaten angewendet wird, vergleichbaren Mustern folgt. Die Kernanforderung einer harmonisierten Geodatenbereitstellung lässt sich aus nahezu allen vergleichbaren Umsetzungen in ähnlicher Form ableiten. Eine praktische Anwendung von harmonisierten Geodatenmodellen findet bislang jedoch nicht statt. Den klarsten Bezug zu einer einheitlichen Anwendung von Geodaten stellen bisher jene Ansätze dar, welche die Nutzung von flächendeckenden, aus den Geobasisdaten verallgemeinert abgeleiteten Geodaten in Deutschland im Fokus haben. Diese stellen bisher, meist für übergreifende Analysen, auf die zentralen ‚Amtlichen Hauskoordinaten und Hausumringe' (Geobasis-DE)(ADV 2013) für Gesamtdeutschland ab. Deren Detaillierungsgrad weicht jedoch von denen in ALKIS oder ATKIS[11] ab. Hierbei ist jedoch festzuhalten, dass die Ansätze unabhängig der Datengrundlage entwickelt wurden. Das bedeutet, es wurde – anlassbezogen – nach lokal vorliegenden Daten recherchiert, ohne eine Modellierungsebene zu betrachten. Die Modelle aus ALKIS oder den AHK (Amtliche Hauskoordinaten) stellen eine relevante Quelle dar und wurden für die konkrete Fragestellung analysiert, bei Bedarf transformiert, ergänzt und somit nutzbar gemacht. Eine übergeordnete Betrachtung der Modellierung findet bisher nicht statt.

4.8. Zusammenfassung und Definition des weiteren Forschungsbedarfs

Wie die Beschreibung und Darstellung unterschiedlicher Methoden (Top-Down vs. Bottom-Up) sowie konkrete Forschungsprojekte gezeigt haben, kommt der initialen Datenbereitstellung und einer einheitlichen Modellierung eine essenzielle Bedeutung zu. Systematische Erfassungen, von, in Gebäuden verwendeten Rohstoffen und deren Systematisierung, ist derzeit ein offenes Forschungsfeld. Gerade die Systematisierung und eine mögliche Typenbildung stellt auf Grund der fehlenden umfassenden und vergleichbaren Informationen ein Problem dar. Einheitliche Standards, wie Gebäudepässe und ökologische Materialbeschreibungen (EPD), könnten hier in Zukunft Abhilfe schaffen, lösen jedoch nicht die Problematik der derzeitigen Bestandserfassung. Auch fehlt es an Wissen über die Lebenszyklen insbesondere von Nichtwohngebäuden, deren Einflüsse und vor allem auch vermuteten regional divergierenden Ausprägungen und Besonderheiten. Eine der großen Hürden ist nicht, dass für spezifische Analysen keine Daten vorhanden bzw. erhoben werden können, sondern viel mehr, dass diese jeweils auf unterschiedlichen Annahmen und Datenauswertungen basieren. Eine einheitliche und damit über

[11] Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS)

die Zeit vergleichbare Datengrundlage fehlt. Oftmals wird auch der Gebäudesektor unabhängig des Urban Mining oder Fragestellungen der energetischen Sanierung als Forschungsthema deklariert (Kohler und Hassler 2002, 2011). Leitmotiv ist dabei immer eine mögliche exakte Beschreibung des gesamten Gebäudeinventars. Insbesondere auch aus dem Bereich der Erneuerbaren Energien gibt es mögliche Anknüpfungspunkte, handelt es sich im Kern doch um vergleichbare Anforderungen an die Grunddatenbestände und eine einheitliche Modellierung dieser. (Resch et al. 2014, S. 682–683)

Die Ausgangsfragen dieser Arbeit können somit an dieser Stelle zur Definition des weiteren Forschungsbedarfes dienen. Für die Umsetzung bedarf es thematisch und struktureller Einschränkungen des Betrachtungsrahmens. Transdisziplinäre Fragestellungen können nicht in einer einzigen Arbeit umfassend beantwortet werden.

Abgeleitete Fragestellungen als Leitlinien für das weitere Vorgehen:

I Geodaten aus Geodateninfrastrukturen bilden die Basis für ein Urban Mining Kataster. (→ Forschungsfrage I)

II Geobasisdaten aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) enthalten, in der tatsächlichen Fassung, nicht den semantischen Detaillierungsgrad wie er für Analysen über den Gebäudebestand notwendig ist. (→ Forschungsfrage III)

III Die INSPIRE-Modellierung für Gebäude bietet die Möglichkeit ein umfassendes und flächendeckendes Urban Mining Kataster aufzubauen und damit eine harmonisierte Modellebene bereitzustellen (→ Forschungsfrage IV)

IV Die Kombination von Offenen Daten (Open Data) und Basisdaten aus Geodateninfrastrukturen können die Lücke der benötigten Informationen schließen. (→ Forschungsfrage IV)

Der Forschungsbedarf lässt sich somit klar im Bereich der harmonisierten Datenmodelle, der entsprechenden Datenbereitstellung und Zugänglichkeit feststellen. Modelle für die Umsetzung und Anwendung eines Urban Mining Kataster liegen in ausreichender Form vor. Alle adressieren jedoch gleichermaßen einen vergleichbaren Problembereich: Die Datenverfügbarkeit und Datenqualität.

Dieses geht, um im Bereich der Geoinformation zu bleiben, unmittelbar mit harmonisierten Datenmodellen einher. Das dies von den meisten Autoren nicht benannt wird liegt vermutlich am fehlenden Zugang zum Themenbereich.

4.9. Systemgrenze des weiteren Vorgehens

Wie bereits aus der Einleitung und der Beschreibung des Gesamtansatzes Urban Mining hervorgegangen ist, sind die zu betrachtenden Aspekte und Forschungsrichtungen im Kontext vielfältig. Für das weitere Vorgehen fokussiert sich diese Arbeit daher konkret auf die Anforderungsbeschreibung und Umsetzungsperspektive einer auf Geodaten basierenden Analyse der Ressourceninventare und darauf aufbauende Materialflussmodelle zur zukünftigen Prognostizierung dieser. Dabei werden die Themenfelder einer konkreten Umsetzung von Materialflussmodellen, der Erfassung von Rohstoffen und Ressourceninventare und auch die Entwicklung von Zukunftsszenarien zur Entwicklung der Gebäudenachfrage und davon abhängigen Lebenszyklen nicht betrachtet. Die nachfolgende Abbildung 35 verdeutlicht die Systemgrenzen im Gesamtkontext.

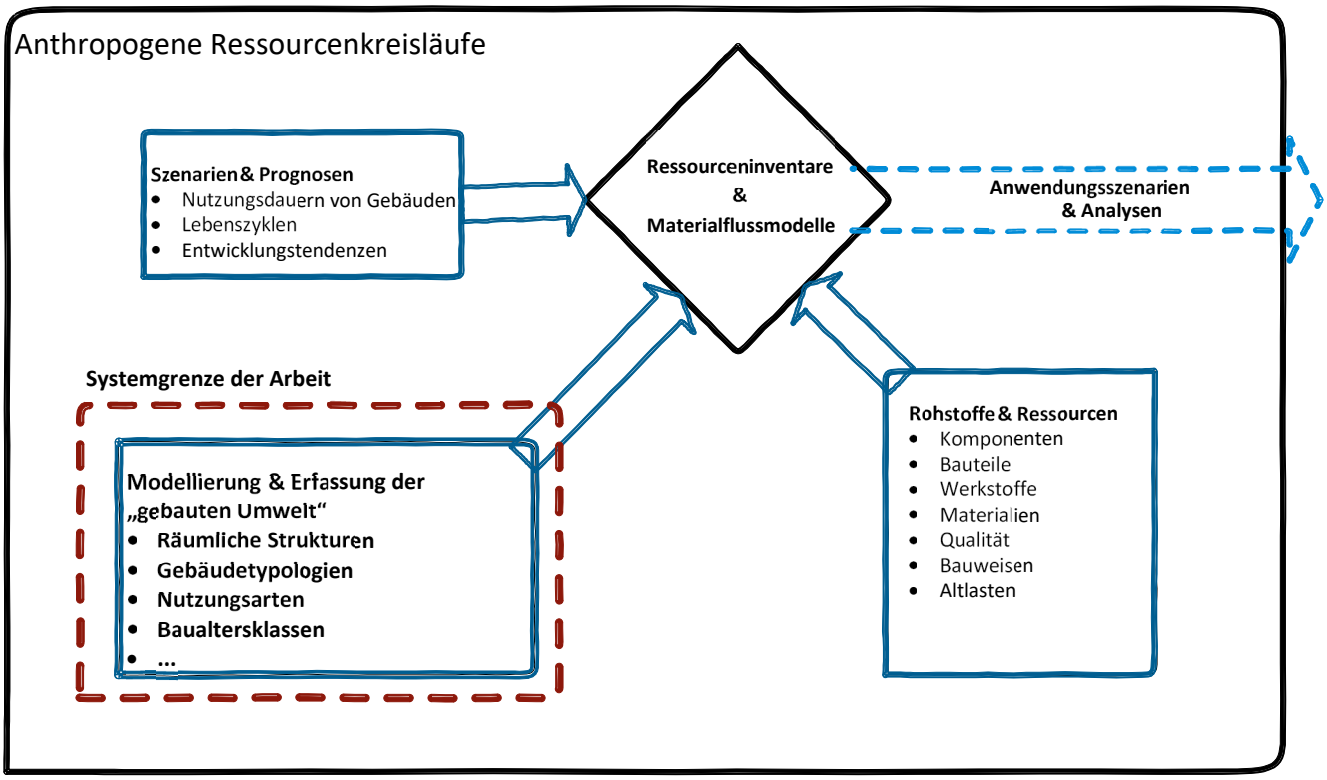

Abbildung 35: Gesamtbereiche des Urban Mining Stoffkreislaufes - Systemgrenze dieser Arbeit (Eigene Darstellung)

Die Definition eines Betrachtungsrahmens spielt bei einer späteren Analyse aller Aspekte des Urban Mining auch übergreifend eine bedeutende Rolle. In der hier vorliegenden Arbeit stehen harmonisierte Datengrundlagen und deren Modellierung im Fokus. Dabei können nicht alle Vorhaben und Ansätze der individuellen Datenintegration analysiert und verglichen werden. Ein Vergleich der Ansätze ist somit nicht Ziel dieser Arbeit. Im weiteren Verlauf wird, aufbauend auf einer Anforderungsanalyse und zusammenfassenden Definition eines Urban Mining Kataster, ein entsprechendes Grundlagenmodell entworfen, auf welchem Ressourceninventarisierungen und Materialflussmodelle aufsetzten können. Auch wenn deren Umsetzung nicht unmittelbar erfolgt, können anhand der zu definierenden Kriterien Bewertungen der spezifischen Geeignetheit erfolgen.

Annahmen für das weitere Vorgehen sind, wie die Systemgrenze der Arbeit aufzeigt, der klare Bezug auf die Geodatenmodellierung und deren Standardisierung. Im Gesamtprozess des Urban Mining können Geodaten und Geoinformationssysteme zur Erfassung und Analyse an unterschiedlichen Stellen zum Einsatz kommen. Dies beginnt zu Beginn des Prozesses bei der allgemeinen Quantifizierung des Bestandes und deren Lokalisierung. Im weiteren Verlauf, der Sammlung und Generierung von Informationen, können wiederum Geodaten verarbeitende Systeme indirekt zum Einsatz kommen. Die für den weiteren Ansatz angewendete Methode lässt sich dabei in die Bottom-Up Ansätze für Materialflussmodellierungen nach Brunner und Rechberger 2004 einordnen. Das heißt, dass anstelle von umfassenden Material In- und Outputs in die zu beobachtenden Betrachtungsregion, das Materialinventar, wenn möglich direkt anhand der vorhanden Bausubstanz quantifiziert wird und damit auch räumlich adressiert werden kann. Vergleichbare Ansätze finden sich bei den Bottom-Up Hochrechnung des IÖR (Schiller 2014, S. 19) und denen der Enquête-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt (Kohler et al. 1999). Die Zielsetzung ist es, mithilfe der aus einzelnen Gebäuden erstellten Typologie und unter Einbeziehung von Geodaten auf das Gesamtvolumen der in den Gebäuden vorhandenen Ressourcen rückzuschließen. Eine relevante Frage für das weitere Vorgehen ist der zu wählende Zielrahmen – horizontal als auch vertikal. Heinrich beschreibt diese wichtige Unterscheidung des Betrachtungsrahmen in seiner Darstellung „Stofflicher Austausch in Bezugsräumen und Wirtschaftssektoren“ sehr klar (Heinrich 2018, S. 8). Auch wenn der stoffliche Austausch zwischen den Ebenen vielschichtig ist, muss bei einer Inventarisierung – was ein Urban Mining Kataster darstellt – auf eine der Ebenen klar fokussiert werden. Sofern die Betrachtungsebene Gebäude darstellen, muss auf diese Mikroebenen in allen Belangen der Datenmodellierung und Erfassung referenziert werden. Dies hat wiederrum klare Auswirkungen auf die Art und Qualität der benötigten Daten und darüberhinausgehende notwendige Informationen. Wir befinden uns somit für die weitere Beschreibung auf einer horizontalen Mikroebene, vgl. Abbildung 36. Die Modellierung von Stoffströmen, welche sowohl horizontal als auch vertikal verlaufen liegt innerhalb der entsprechenden Fachdisziplinen.

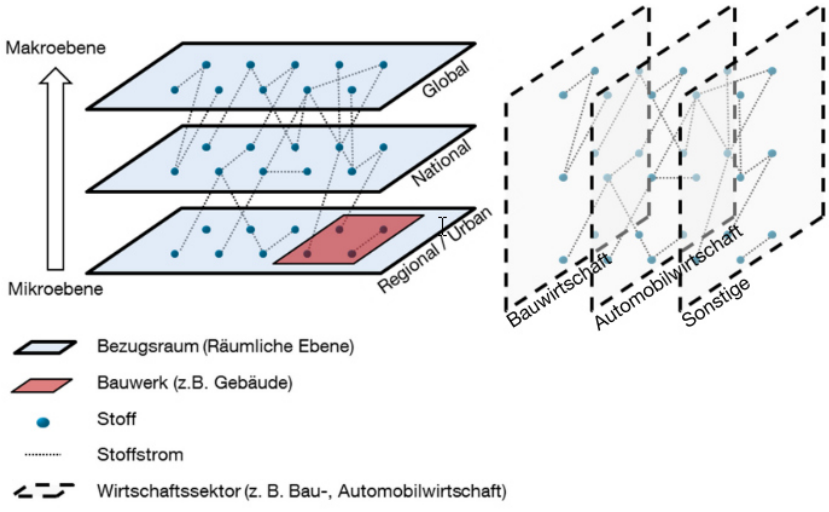

Abbildung 36: Mikro- und Makroebene - Stofflicher Austausch in Bezugsräumen und Wirtschaftssektoren (Heinrich 2018, S. 9)

Folgt man den Anforderungen für diese Ebene und nimmt die unter Kapitel 4 beschriebenen Ansätze als Referenzrahmen wird ein grundlegender Ansatz deutlich: Über den Bruttorauminhalt der Gebäude wird die aus der Typologie abzuleitenden Mengen an Baustoffreserven als konkrete Werte errechnet. Der Bruttorauminhalt

(BRI)[12] wird dabei exemplarisch nach DIN-277-1 bestimmt. In einem vereinfachten Verfahren kann dieser zum Beispiel aus der Gebäudegrundfläche (Kataster) und der Gebäudehöhe (aus 3D-Gebäudemodell, Minimum Level of Detail 1 – LOD1) ermittelt oder direkt aus dem 3D-Modell abgeleitet werden (vgl. hierzu Kapitel 6.1.5). Darauf aufsetzend können Materialflussmodelle und Stoffstrommodellierungen erstellt und somit Prognosen über zukünftige Stoffströme gegeben werden. Allgemein kann die Nutzung von Geodaten an den unterschiedlichen Stellen des Gesamtprozesses, siehe Abbildung 37, hervorgehoben werden. Eine große Vorauswahl modellierter Gebäude bildet die Grundlage für die Auswahl von Referenzgebäuden für die Bestandsmodellierung (siehe Kapitel 7.2 Gebäudetypologie). Die Gebäude können aufgrund ihrer Beschreibung ausgewählt und bei der Bestandsanalyse entsprechend dem Untersuchungsziel einbezogen werden (Detaillierungsgrade). Ebenfalls erfolgt eine Zuordnung oder Transformation vorhandener Geodatenbestände in das Zielschema. Aus der abschließenden Klassifikation aller Gebäude in der jeweiligen Betrachtungsregion erfolgt schlussendlich die Exploration des vorhandenen Ressourceninventars.

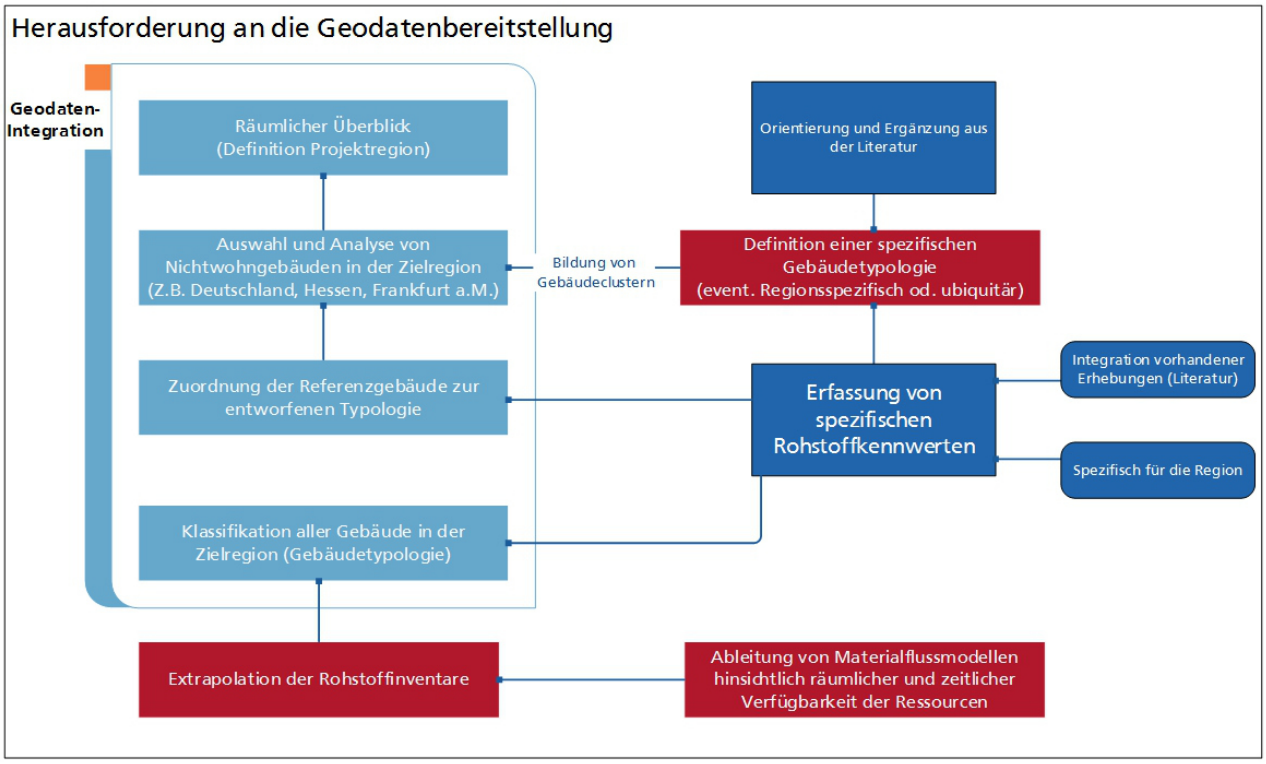

Abbildung 37: Umfassende Herausforderung an die Geodatenbereitstellung beim Urban Mining, in Anlehnung an (Schnitzer und Köhler 2014) am Beispiel der Nichtwohngebäude

Wie der grundlegende Aufbau zeigt, kann die Gebäudetypologie als der zentrale Punkt oder Integrationsknoten des Urban Mining Kataster verstanden werden. Die Typologie, bzw. die ihr entsprechend zugeordneten Gebäude bilden das Schlüsselelement für Um- und Hochrechnung der aus den Referenzgebäuden abgeleiteten Ressourcenparameter auf den Gesamtbestand der Zielregion. Die Gebäudetypologie hat dabei zwei zentrale Funktionen: Erstens dient sie als Zielsystem des Gebäudebestandes im Projektgebiet, das heißt, unterschiedliche Datenquellen zu Gebäuden sollen in die vereinheitlichte Gebäudetypologie überführt werden. Gemeinsam mit Daten zum Gebäudealter (in Form von Baualtersklassen) ergeben sich qualifizierte Daten zu allen Zielgebäuden

[12] „Zum Brutto-Rauminhalt (BRI) gehören die Rauminhalte aller Räume und Baukonstruktionen, die sich über den Brutto-Grundflächen (BGF) des Bauwerks befinden.

Der Brutto-Rauminhalt (BRI) wird von den äußeren Begrenzungsflächen der konstruktiven Bauwerkssohle, der Außenwände und der Dächer einschließlich Dachgauben oder Dachoberlichter umschlossen.“ E DIN 277-1:2015-03.

(Schnitzer und Köhler 2015). Für den Aufbau des hier grundsätzlich beschriebenen Urban Mining Katasters lassen sich zusammenfassend die nachfolgenden Schritte zur Umsetzung Identifizieren:

- Definition einer für das Urban Mining spezifischen Gebäudetypologie
- Modellbildung: Definition der Datenmodellierung / Identifizierung vorhandener Modellierungen zur Nutzung in einem Urban Mining Kataster
- Datenanalyse und Recherche
- Datenaufbereitung, Zusammenstellung und Zusammenführung
- Ausgabe und Aufbereitung der Daten zur anschließenden Berechnung des Ressourceninventars und darauf aufbauender Materialflussberechnungen

Diese eher abstrakte Beschreibung der einzelnen Verfahrensschritte bedarf in verschiedenen Bereichen einer klaren Konkretisierung und Bezugnahme zur Geodatenbereitstellung und Modellierung. Dieser Bezug findet nachfolgend über die Verknüpfung zu Bestrebungen zum Aufbau einer Geodateninfrastruktur statt. Vorher erfolgt jedoch eine Trennung der Betrachtungsbereiche. Um diese klare Trennung nachvollziehbar zu machen, muss zwischen einer Modell- oder auch Modellierungs- und einer Datenebene unterschieden werden. Es gilt jedoch erst zu klären in welcher Weise sich Geodateninfrastrukturen in dieses Modell einfügen.

5.1. Anforderungsbeschreibung an eine Geodateninfrastruktur

Primäres Ziel der Geodatenbereitstellung für ein Urban Mining Kataster ist es, ein möglichst exaktes Abbild aller Gebäude der Betrachtungsregion zu erhalten. Dies kann, im Idealfall, durch Datensätze mit möglichst detaillierter Gebäudemodellierung und semantischem Detailreichtum erfolgen. Da diese Informationen oft nur auf Modellebenen vorhanden sind, ergibt sich als Anforderung an die GDI die Zugänglichkeit zu potenziell allen Daten, über welche diese Informationen direkt oder indirekt abgeleitet werden können. Die Daten sollten dabei, gemäß dem ‚Publish-Find-Bind-Schema' möglichst genau beschreiben, auffindbar und nutzbar sein. Eine anschließende Zugänglichkeit der Daten muss über interoperable Schnittstellen ermöglicht werden und insbesondere deren Zusammenführung auch lizenzrechtlich möglich sein. Entscheidend für die weitere Definition erscheint daher die Festlegung der Abstraktionsebene, welche für ein Zielmodell des Urban Mining zielführend erscheint. Die definierte Zielsetzung ist eine flächendeckende Abschätzung des Ressourceninventars, was in logischer Konsequenz, jedes einzelne Gebäude (Gebäudeteile) in die Analyse einfließen lässt. Über die flächenhafte Betrachtung und einer generalisierten Abschätzung ist es notwendig eine Modellierung zu finden, die auf der einen Seite das benötigte Detailreichtum möglichst realitätsnah abbildet, auf der anderen Seite ausreichend generalisiert (abstrahiert) definiert ist, damit eine Informationsgewinnung und Aufbereitung möglich bzw. realistisch ist. In einer rein theoretischen Abhandlung wäre denkbar, eine Gebäudeinventarisierung auf bauteilgetreue BIM (Building Information Model) abzustellen, eine flächendeckende Verfügbarkeit dieser, gerade für den vorhandenen Gebäudebestand ist derzeit hingegen utopisch. Die Anforderungsbeschreibung lässt sich somit in zwei essenzielle Themenbereiche unterscheiden: die Datenmodellierung und Datengenerierung. Das Themenfeld einer späteren Aktualisierung sowie Fortschreibung kann nicht völlig aus der Betrachtung ausgeschlossen werden, wird zum jetzigen Zeitpunkt aber als nicht relevant erachtet. Eine Datenmodellierung kann sich dabei wiederum gemäß unterschiedlicher Abstraktionslevel unterscheiden. Im Vergleich zu einer hoch genauen Betrachtung auf Stadtteilebene kann für eine EU- weite Betrachtung z.B. eine andere Unschärfe akzeptiert werden. Dies muss auf der Modellebene definiert werden (Mikro- oder Makroebene).

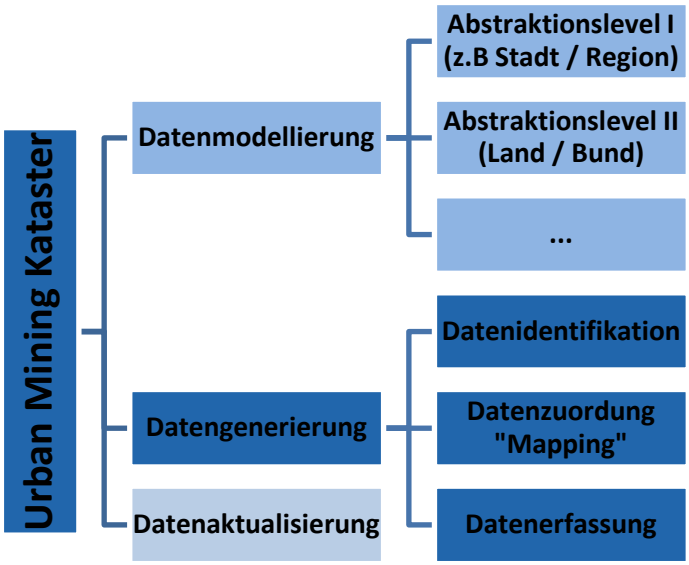

Abbildung 38: Anforderungsbereiche zum Aufbau des Urban Mining Kataster

Für die unterschiedlichen Anforderungsbereiche bedarf es, wie beschreiben, unterschiedlicher Herangehensweisen und/oder Betrachtungsräumen. Für eine konkrete Modellierung der Daten und eventuelle Genauigkeits- und Qualitätsanforderungen ist die Definition des späteren Betrachtungsraums im Sinne der Materialflussmodellierung von Bedeutung. Für die im Fokus stehende Datenmodellierung eines Urban Mining Kataster, sowie initiale Datenbereitstellung fokussiert sich diese Arbeit auf das Themenfeld der Datengenerierung für regionale Betrachtungsräume (Stadtteil bis Bundesland – Mikroebene). Eine Skalierung auf übergeordnete Ebenen ist damit immer denkbar. Es lassen sich daraus eine Reihe von Fragenstellungen ableiten:

- Welche Daten werden im Idealfall benötigt?
- Wie lassen sich diese Daten modellieren?
- Welche Abstraktionslevel der Datenmodellierung werden zur Beantwortung der Fragestellungen benötigt?
- Im Falle der Notwendigkeit einer Fortführung: wie kann die durchgängige Fortschreibung des Modells erfolgen?
- Wie sehen Schnittstellen für z.B. Materialfluss- oder Lebenszyklusanalysen aus, um auf die Daten im Zielmodell zuzugreifen?

Die weitere Identifikation und Beschreibung möglicher Informationskategorien für ein Urban Mining Kataster folgt grob dem Schema einer Anforderungsanalyse. Diese leitet sich nicht aus nutzerspezifischen Untersuchungen, z.B. nach (Behr 2014, S. 128) ab, sondern fasst die Anforderungen aus den beschreibenden Kapiteln dieser Arbeit zusammen (Literaturanalyse). Für eine umfassende Ist- / Sollanalyse sind die Anforderungen nicht in dem Sinne von umfassender Komplexität sowie von konvergierenden Zielsetzungen oder Nutzeranforderungen geprägt. Für die Definition kann daher auf vorhandene Projektergebnisse und Beschreibungen in der Fachliteratur zurückgegriffen werden. Aus der vorangegangenen Beschreibung lassen sich vereinfacht die folgenden Kerninformationen von hoher Relevanz ableiten:

- Geometrisch
    - räumliche Verortung / räumlicher Bezug
    - Fläche
    - Höhe
    - Bruttorauminhalt; Grund- und Nutzflächen

- Semantisch
    - Nutzungsart (-klasse) des Gebäudes (beliebige Detailierungsgrade)
    - Gebäudealter / Baujahr
    - Bau- oder Konstruktionsart

Die Kerninformationen stellen nur einen groben Bezugsrahmen dar und können in Form von konkreten Attributen mit deren Beschreibung zum jetzigen Zeitpunkt konkretisiert werden.[13]

Attributbasierte Darstellung (Idealtypisch – generalisiert):

Tabelle 3: Attributbasierte Darstellung der Kernelemente (Idealtypisch – generalisiert):

Attribut	*Beschreibung / Definition*
Gebäudeart	Spezifische Art eines Gebäudes
Gebäudetyp (Nutzung)	Gemäß vorhandener oder eigener Gebäudetypologie
Gebäudehöhe	Absolut (optional Stockwerke)
Volumen	Abgeleitet aus Gebäudehöhe des Gesamtgebäudes oder Teilhöhen der Gebäudeteile
Baujahr	Jahr der Ersterrichtung - Als Baujahr des Gebäudes gilt das Jahr der Bezugsfertigstellung (→ alternativ Baualtersklasse)
Baualtersklasse	Festlegung des Baujahrs in Form einer Baualtersklasse
Bauliche Veränderung	Informationen zu möglichen Umnutzungen, Sanierungen, Teilabrissen etc.
Tragwerk- / Konstruktions-merkmale	Optionale Informationen zum Gebäude
‚Virtuelles' Baujahr	Kann auch in ‚Baujahr' integriert sein, bei wesentlichen baulichen Veränderungen (siehe nachfolgende Beschreibung)
Rechtliche Bestimmungen	Besondere normative Bestimmungen oder Einschränkungen, welche eine direkte oder indirekte Auswirkung auf die Weiterentwicklung des Gebäudes ausüben (z.B. Denkmalschutz)

Die hervorgehobenen Attribute können als Kernanforderungen definiert werden. Optional einzustufende Informationen, wie mögliche bauliche Veränderungen sowie Konstruktionsmerkmale, sind für detaillierte Betrachtungsräume von Relevanz. Die vordergründige Anwendung der Daten stellt eine Übertragbarkeit anhand der zugeordneten Nutzung eines Gebäudes in den Vordergrund. Konstruktive Merkmale werden hierbei in die Definition der Gebäudetypen integriert (siehe Gebäudetypologie). Bei Um-, An- und Erweiterungsbauten, Sanierungen oder Modernisierungen am Gebäude (bauliche Veränderung) kann grundsätzlich zwischen zwei Varianten unterschieden werden: Zum einen die direkte Abhängigkeit in Form eins fiktiven Baujahrs, bzw. dem Jahr der letzten Baumaßnahme, zum anderen einer tatsächlichen Erfassung dieser und anschließender Beachtung im Modell. Oftmals zu Grunde gelegt wird hierbei die Annahme, dass anhand des ‚Baujahrs (der Ersterrichtung) auf Basis von Referenzgebäuden auf durchschnittliche bereits erfolgte bauliche Veränderungen

[13] An dieser Stelle ist eine detaillierte Modellierung in Form von Objektarten und möglichen Codelisten zur Definition und Einschränkung der Attribute nicht Ziel der Analyse. Die Beschreibung dient einer rein konzeptionellen Orientierung.

geschlossen werden kann (künstliche Alterung des Bestands). Infolgedessen hat das initiale Baujahr eines Gebäudes die höchste Priorität der Erfassung. Der Einbezug von ‚virtuellen Baujahren' ist abhängig vom gewählten Betrachtung- und Bezugsrahmen. Für eine ausführliche Diskussion der unterschiedlichen Modellierungsvarianten, hinsichtlich prinzipieller Erneuerungsmaßnahmen, materieller- oder konstruktiver Art an Bestandsgebäuden, sei an dieser Stelle auf die ausführlichen Beschreibung von Schwaiger (Schwaiger 2002, S. 47–55) sowie auf die Forschungsergebnisse des Projektes PRRIG (Schebek et al. 2016a) verwiesen.

Baujahr

Das Baujahr, als exakter Wert oder in Form von Baualtersklassen gehört zu den Schlüsselattributen. Die grundlegende Bedeutung wird in der Definition von SCHWAIGER deutlich:

> „Es bestimmt entscheidend die Konstruktion, die Materialverwendung, die Gebäude-Raumgeometrie und die Raumorganisation. Darüber hinaus ist das Baujahr eine wichtige Grundlage für die künstliche Alterung und damit der Feststellung der Lebenszyklusphase, in welcher sich ein Gebäude befindet."(Schwaiger 2002, S. 134)

Neben dem Baujahr lässt sich die Nutzungsart / Gebäudefunktion für viele Untersuchungen als weiteres Schlüsselattribut identifizieren. Kombiniert bilden Nutzungsart und Baujahr für viele Untersuchungsaspekte eine sinnvolle Beschreibung von Gebäudeteilbeständen (Schwaiger 2002, S. 100).

Die Datenanforderungen lassen sich weiter grob in zwei unterschiedliche Segmente unterteilen. Vordergründig relevant sind solche Informationen welche direkt die Ausprägung einzelner Gebäude (Größe, Nutzung, Alter etc.) beeinflussen. Weiter relevant sind flächenbezogene Kennwerte, welche zum Beispiel einen planungsrelevanten Charakter haben können (B-Plan oder Flächennutzungsplan (FNP) Festsetzungen) oder aber historische Entwicklungen charakterisieren. Auch können weitere gesetzliche Festlegungen, in Form einer konkreten je Gebäude oder aber auch flächenhafter Art relevant für die weitere Klassifizierung und Beschreibung des Gebäudebestandes sein. Beispielhaft sei hier der Denkmalschutz einzelner Gebäude oder ganzer Bauensemble genannt. Umfassende Such- und Identifizierungskriterien für unterschiedliche Geodatenbestände lassen sich aus den gesammelten Anforderungen ableiten. Da sich diese Liste beliebig fortführen ließe gilt es sich im Weiteren auf die in Tabelle 3 beschriebenen Kernelemente zu fokussieren. Eine klare Abgrenzung des Zielbereich ist dabei essenziell und macht es notwendig unterschiedliche Ebenen der Betrachtung klar zu definieren.

5.2. Modell- und Datenebene

Um das weitere Vorgehen klarer zu systematisieren ist es notwendig eine Unterteilung vorzunehmen. Ausgehend vom Ziel, einer konkreten Anwendung in Form eines Ressourcenkataster und darauf aufbauender MFA, ist es notwendig sich deutlich zu machen, dass nie alle Daten in einem ausreichenden Detailgrad vorhanden sein werden. Es ist, wie auch alle bisherigen Projekte in diesem Bereich gezeigt haben, notwendig entsprechende Modellannahmen für die konkrete Anwendung zu treffen. Diese können unter einer sogenannten „Modellierungsebene“ zusammengefasst werden (Abbildung 39). Diese Modellierungsebene füllt Lücken bzw. trifft Annahmen auf Basis der konkreten Datenebene. In der Datenebene werden verfügbare Datensätze zusammengetragen und in die Anwendung (auf der Modellierungsebene) gebracht. An dieser Stelle zusätzlich eingeführt wird die die „Modellebene Geodaten“. Diese wurde und wird in bisherigen Projekten nicht betrachtet. Bislang beginnt der Prozess in der Regel auf der Datenebene. Diese wird recherchiert, analysiert und für den Anwendungsfall zusammengetragen. Mögliche Datenlücken werden über die Modellierungsebene durch entsprechende Annahmen (hergleitet aus weiteren Daten oder Schätzwerten) geschlossen. Eine einheitliche Rückkoppelung auf die Modellebene findet nicht statt. Für den Bereich der Geodatenharmonisierung und insbesondere die Anwendung und Bezugnahme zu Geodateninfrastrukturen, ist diese Modellebene jedoch substanziell. Die einzelnen Ebenen sind dabei nicht singulär zu betrachten, sondern miteinander vernetzt. Wie eine solche aufgebaut und definiert werden kann wird die Beschreibung der nachfolgenden Kapitel im Detail darstellen.

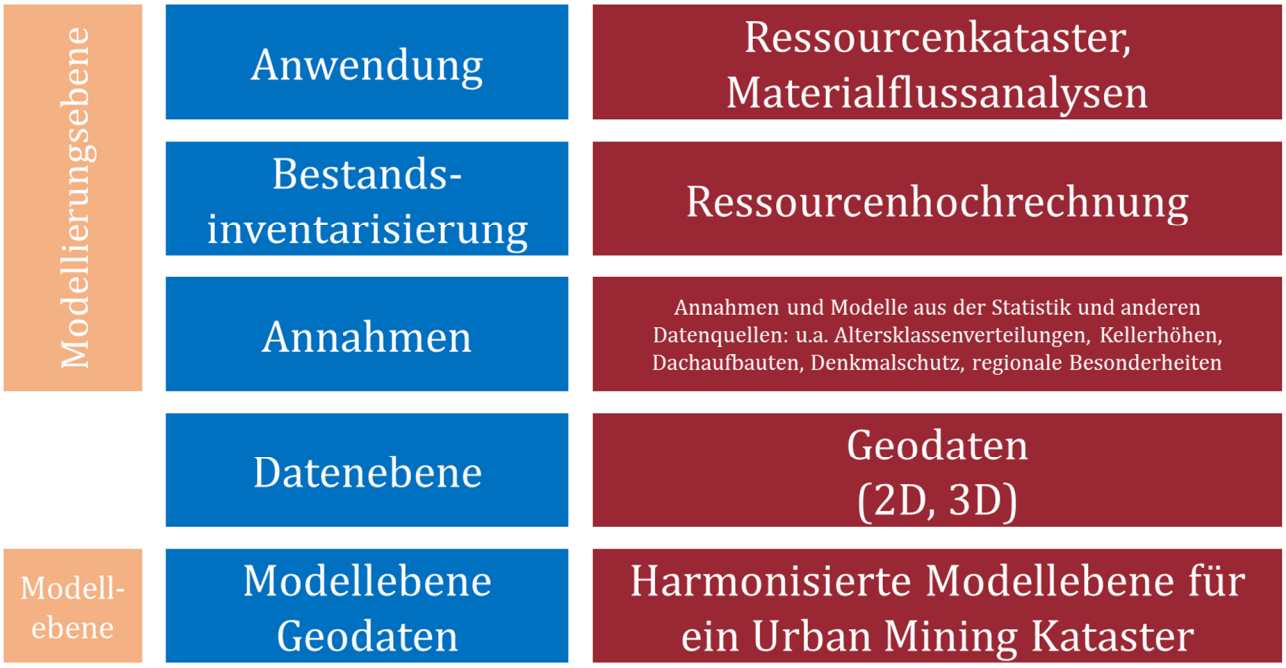

Abbildung 39: Trennung zwischen Modell-, Modellierungs- und Datenebene

Die Modellierungsebene für ein Urban Mining Kataster umfasst dabei verschiedene Bereiche, welche eine klare Systematisierung der Daten ermöglicht. Relevant sind hierbei:

- Begriffsdefinitionen und Deklarationen
- Typologien
- Codelisten
- semantische Festlegungen
- Modelle für MFA
- statistische Verfahren zum Lückenschluss und deren Anwendung.

Begriffsdefinitionen, Typologien und andere für die weitere Betrachtung notwendige Festlegungen werden in dieser Modellierungsebene für den konkreten Anwendungsfall definiert. Die Modellebene Geodaten umfasst darüber hinaus Geodatenstandards, Normen und Deklarationen. Eine nähere Beschreibung von relevanten Modellen findet sich im nachfolgenden Kapitel 6. Hinsichtlich einer geodatengetriebenen Modellierung sind dies insbesondere geometrische (wie z.B. 3D-Stadtmodelle) und semantische Definitionen. Semantische Festlegungen können u.a. in bereits erläuterten Codelisten (u.a. Typologien) festgelegt sein und somit eine unmittelbare Verknüpfung von Modell- und Modellierungsebene darstellen.

Datenebene

Neben der reinen Modellebene liegt für die konkrete Umsetzung ein weiterer Schwerpunkt auf der Datenebene. Hierbei steht im Vordergrund, in welcher Form und Detaillierung die Modellebene mit Inhalten gefüllt werden kann. Verschiedenste Ansätze sind hierbei möglich. Insbesondere im Kontext einer GDI kommt der Datenebene eine neue Rolle zu. Eine detaillierte Diskussion erfolgt im Kapitel der Geodatenszenarien in Kapitel 8.

5.3. Zusammenfassung: Bottom-Up als Geodatengetriebener Ansatz – Die Modellebene ‚Geodaten'

Die grundlegende Modellierung der Gebäude sollte möglichst anwendungsneutral sein und mit standardisierten und harmonisierten Datenmodellen erfolgen, um eine langfristige übergreifende Nutzung sicherzustellen. Alle beschriebenen Modellprojekte zum Aufbau eines Urban Mining Kataster haben in der Anwendung von Geodaten eines gemein: Sie beziehen sich auf die für die Region / das Betrachtungsgebiet konkret vorliegenden Geodaten. Damit werden auch keine Betrachtungen von Geodatenmodellen durchgeführt, sondern sich rein auf vorliegende und in der Anwendung befindliche Modelle abgestellt. Als Bottom-Up getriebene Modelle wird jedoch immer auf der kleinsten Ebenen auf möglichst genaue Gebäudemodelle referenziert. Fehlende Informationen werden entweder nacherfasst oder über Schätzungen und Annahmen ergänzt.

Offen bleibt an dieser Stelle die Frage nach einer klaren Systematisierung: Wie können harmonisierte Datenmodelle für ein Urban Mining Kataster nutzbar sein? Wenn ja, ist es INSPIRE, dass dieses einheitliche Datenmodell umfassend zur Verfügung stellen kann? Diese und anderen konkrete Fragestellung gilt es im Weiteren zu erörtern.

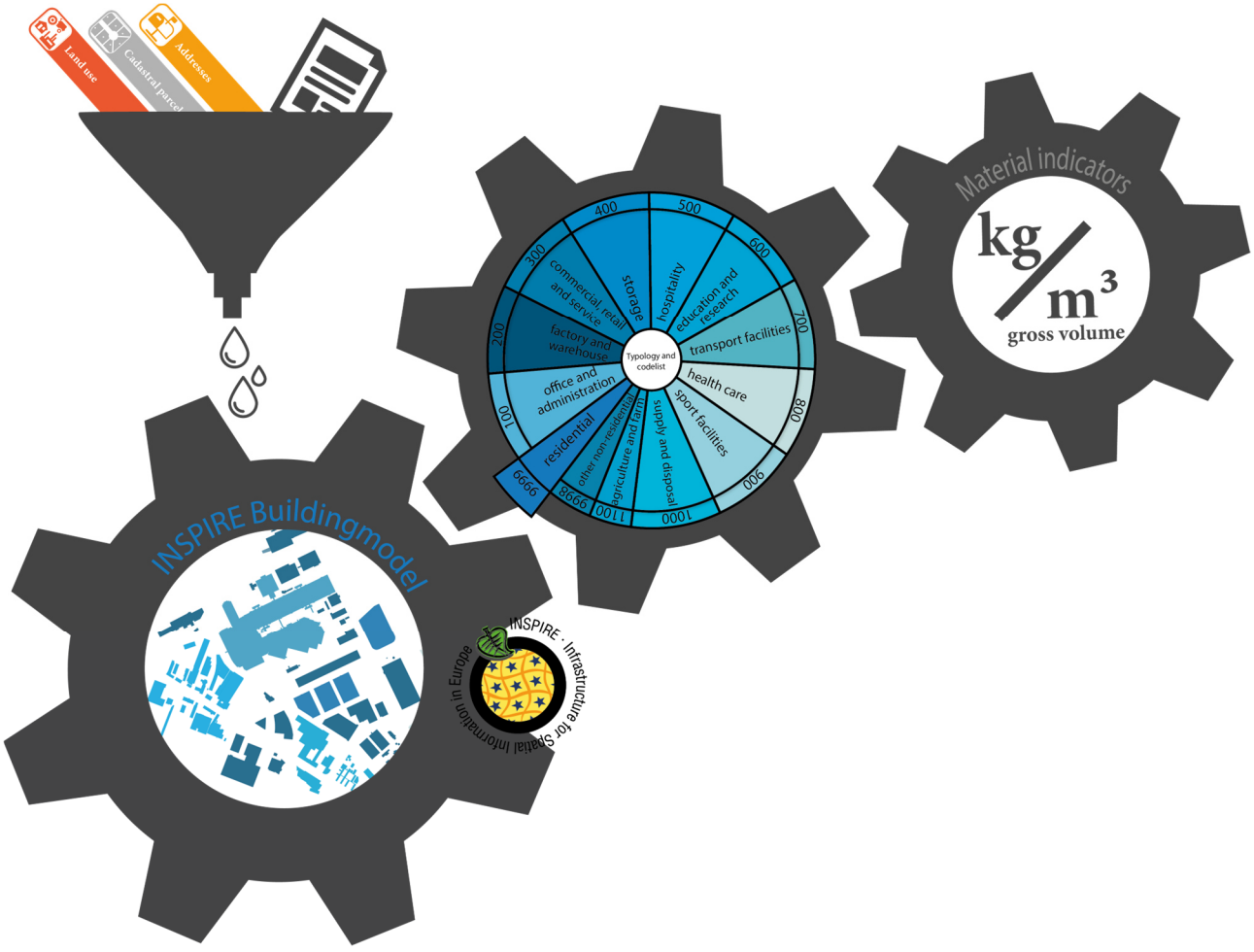

Abbildung 40: Ideenskizze für das weitere Vorgehen: INSPIRE als harmonisiertes Datenmodell für ein Urban Mining Kataster

6. Modellebene: Geodateninfrastrukturen - eine harmonisierte Basis für ein 'Urban Mining Kataster'

Wozu brauchen wir INSPIRE? Wir haben doch Google! (Streuff 2014, S. 377)

Wie aus der Anforderungsanalyse hervorgegangen ist, besteht bei der konkreten Umsetzung eines Urban Mining Kataster eine starke Notwendigkeit bzw. ein Regelungsbedürfnis in der Geodatenmodellierung (Modellebene). Etablierte Standards und ggf. korrespondierende Datensätze stehen hierbei im Fokus. Ziel dieses Kapitel ist es, maßgebliche Geodatenstandards für den Aufbau eines Urban Mining Katasters darzustellen und deren Anwendbarkeit zu prüfen. Ziel ist es, eine den Anforderungen gerecht werdende, Modellebene für die Geodatenbereitstellung zu identifizieren bzw. diese daraus abgeleitet zu definieren. Die abschließend darauf aufbauende Implementierungsebene stellt die konkrete Verknüpfung von Modell- und Datenebenen für einen spezifischen Anwendungsfall (Modellierungsebene) dar. Vor einer Konkretisierung an Anwendung sollen zunächst relevante Standards näher beschreiben werden.

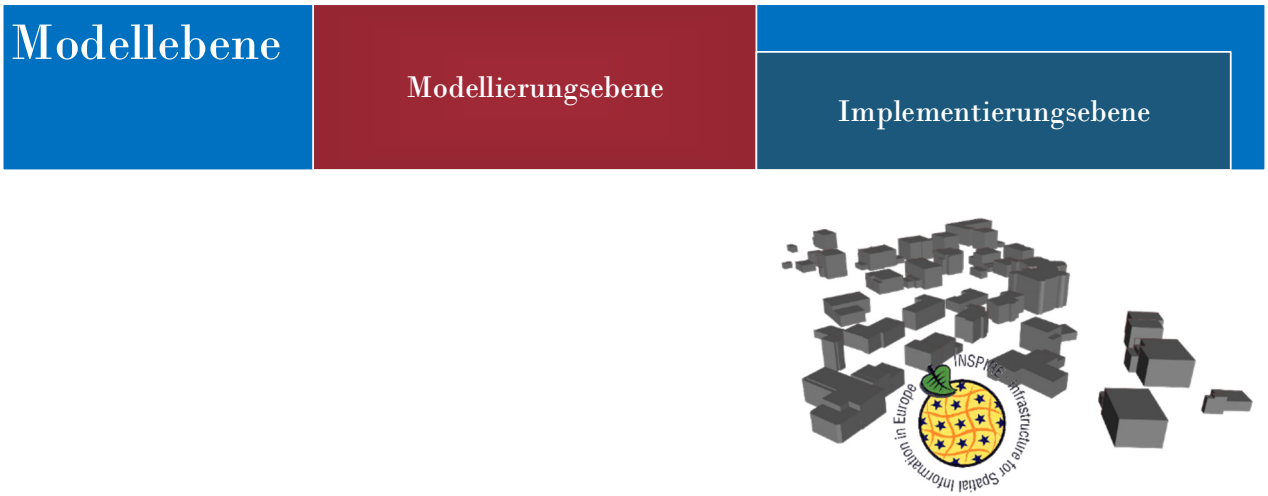

Abbildung 41: Die Modellebene und deren Implementierung mittels INSPIRE?

6.1. Geodatenstandards und Anwendungsschema für 3D-Stadtmodelle

> „Ein Anwendungsschema ist ein konzeptuelles Schema für Daten, die von einer oder mehreren Anwendungen benötigt werden. Ein Anwendungsschema liefert die formale Beschreibung für Datenstrukturen und Dateninhalte in einer oder mehreren Anwendungen. Zweck eines Anwendungsschemas ist es, ein gemeinsames und einheitliches Verständnis der Daten zu erreichen und die Dateninhalte für eine bestimmte Anwendungsumgebung so zu dokumentieren, dass eindeutige Informationen über die Daten erhalten werden.“ (Bill 2010, S. 19)

Die besondere Bedeutung von 3D-Stadtmodellen zur Visualisierung und als komplexe Datengrundlage wird derzeit vor allem in Bereichen der Energiewende, konkret der Energieversorgung, Bedarfsanalysen, Solarpotenzialanalysen und weiteren, diskutiert. Einen umfassenden Überblick, unterschiedlicher Anwendungsfälle und bereits erfolgter Umsetzungen, gibt u.a. der Leitfaden des Runden Tisch GIS e.V. ‚Leitfaden 3D-GIS und Energie‘ (Willkomm et al. 2015) . Als wesentliche Anwendungsfelder werden dabei die Lärmkartierung, Identifizierung möglicher Lückenbebauung, Klima-Belüftungsachsen, 3D-Visualisierung von Bebauungsplänen, Photovoltaik-Potenzialanalysen, Sichtachsen- und Lärmanalysen, Wärmebedarfsanalyse zur Simulation von Sanierungsszenarien und weitere angeführt (Kaden und Coors 2015, S. 12). Mit steigender Komplexität der Anwendungen steigt die geometrische als auch semantische Anforderung an vorhandene 3D-Stadtmodelle. Bisher lag der Fokus in der Anwendung meist auf der 3D-Visualisierungen (Biljecki et al. 2015). In der Weiterentwicklung verschieben sich die Anwendungsfälle mehr in die Richtung Analyse und Simulation, beispielsweise die oft als

Best-Practise Umsetzungen erwähnten Lärmkataster oder Solarpotentialanalysen (Wagner et al. 2014, S. 1–2; Yao und Kolbe 2014, S. 1). Die geometrisch und semantisch harmonisierte Modellierung von 3D-Stadtmodellen bringt dabei andere Anforderungen als jene zur reinen Visualisierung mit sich. Verschiedene aktuelle Studien aus der Forschung zeigen das große Potenzial von 3D-Stadtmodellen, welche Standardisiert im CityGML Format vorliegen. Eine umfassende Übersicht aller potenziellen Anwendungsfälle gibt (Biljecki et al. 2015), Coors et al. 2016 geben einen umfassenden Überblick zur Konzepten und Anwendungen von 3D-Stadtmodellen mit CityGML.

6.1.1. Standard CityGML

Die ‚City Geography Markup Language' (CityGML) ist ein durch das OGC standardisiertes XML-basiertes Austauschformat für 3D-Stadtmodelle (OGC 12-019), das als Anwendungsschema der Geographic Markup Language (GML) realisiert wurde. Mit dem auf XML (Extensible Markup Language) basierenden GML ist sichergestellt, dass die Beschreibung der raumbezogenen Objekte und insbesondere der verwendeten geometrischen Elemente konform zu den ISO-Standards 19107 (Spatial Schema) und 19137 (Core profile of Spatial Schema) ist (Coors 2015b, S. 18). In der aktuellen CityGML Version 2.0 von 2012 umfasst die Modellierung Gelände, Gebäude, Vegetation, Gewässer, Transportwege, Straßenmöblierung, Tunnel und Brücken. Bei der Definition von CityGML wurde somit berücksichtigt, dass Städte nicht nur aus Gebäuden als deren zentrales Element bestehen, sondern auch Brücken, Tunnel, Gewässer und Vegetation sowie Straßenraumaus-stattungen wie Straßenlaternen oder Bänke aufweisen können. Über sogenannte ADEs (Application Domain Extension) können CityGML-Modelle zudem beliebig erweitert werden. Beispielhaft genannt sei hier die CityGML Noise ADE oder die im Verbund entwickelte CityGML Energy ADE für Energiebedarfsanalysen (Nouvel et al. 2015). CityGML ist damit als ein geometrisch-semantisches Datenmodell zu verstehen (Löwner et al. 2012). Eine umfassende Beschreibung des Standards findet sich bei Löwner et al. 2012; Löwner et al. 2013; Coors 2005 und in der Dokumentation des Standards selbst OGC 12-019. Auch die neuste Version der GeoInfoDok, Version 7.0 (AdV 2014a) enthält zusätzlich eine 3D-Modellierung für Gebäude (LoD I-III) nach dem CityGML-Standard.

Mit dem Prinzip unterschiedlicher „Level of Detail" (LoD) wird dem Rechnung getragen, dass die in einem Modell enthaltenen Objekte abhängig von der Art und Weise der Modellgenerierung unterschiedliche Detaillierungsgrade besitzen können. CityGML erlaubt es deshalb nicht nur, für ein Objekt den LoD gemäß fünf zur Verfügung stehender Stufen zu definieren, sondern auch, für ein und dasselbe Objekt Repräsentationen für mehrere LoDs parallel zu speichern (CityGML Version 2.0). Die fünf verfügbaren LoDs werden im CityGML-Standard wie folgt voneinander abgegrenzt (Löwner et al. 2012; OGC 12-019):

- LoD0: zweieinhalbdimensionales Geländemodell, in welchem Gebäude durch ihre Grund- oder Dachfläche repräsentiert werden.
- LoD1: vielfach als „Klötzchenmodell" bezeichnet, da Gebäude als Quader ohne Dachformen dargestellt werden.
- LoD2: Dachstrukturen und thematisch differenzierte Grenzflächen werden dargestellt.
- LoD3: Architekturmodell mit detaillierten Dach- und Fassadenstrukturen.
- LoD4: häufig als Innenraummodell bezeichnet, zusätzlich zu LoD3 werden die inneren Strukturen der Gebäude, etwa Treppen, Räume und Möbel modelliert.

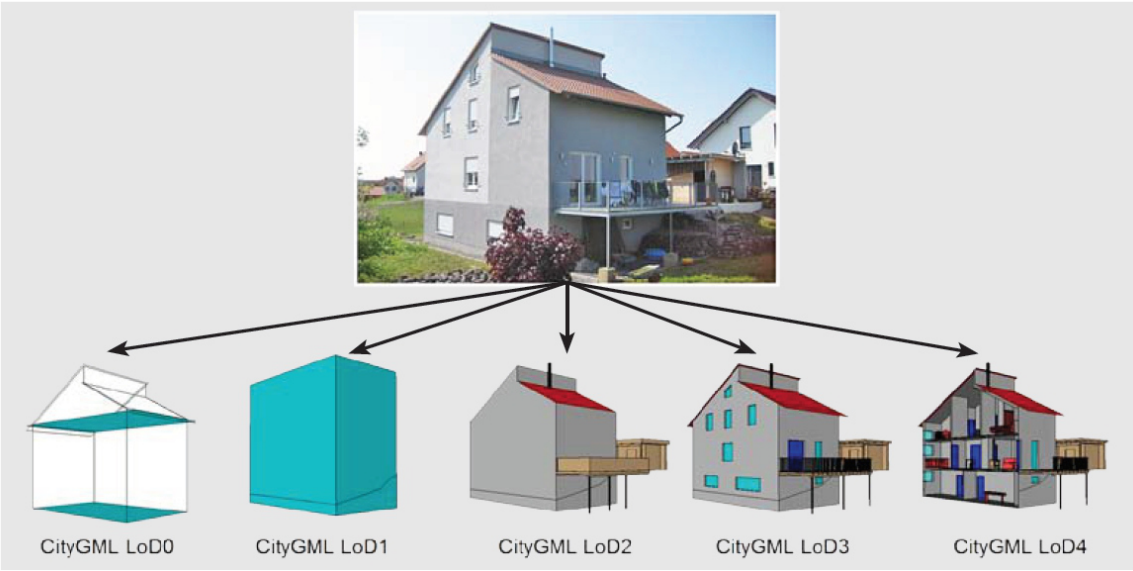

Abbildung 42: Repräsentation eines Gebäudes in den LoDs 0 bis 4 (mit Möbeln) (CityGML 2.0) Quelle: (Löwner et al. 2012, S. 343)

Über unterschiedliche Auslegungen der Detaillierungsgrade von LoDs liegen verschiedene Diskussionsansätze vor (Biljecki et al. 2014b; Biljecki 2017), auch deren Einfluss auf räumliche Analysen ist noch Gegenstand aktueller Untersuchungen (Biljecki et al. 2016b; Biljecki et al. 2014a). Weiter bestehen bereits Ansätze die LoD-Deklarationen weiter zu differenzieren (Biljecki et al. 2016a), auf detaillierte Diskussionsbeiträge des aktuellen Standardisierungsprozesses soll jedoch an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

6.1.2. Building Information Models (BIM)

Als weiteren relevanten Standard für die dreidimensionale semantische Modellierung von Gebäuden ist BIM zu nennen. Der durch die internationale Non-Profit Organisation ‚buildingSMART' definierte ISO-Standard zur Modellierung von Gebäuden im Bauwesen (ISO 16739:2013), legt seinen Fokus insbesondere auf die detaillierte Planung von Gebäuden. Als normiertes Austauschformat kommen die Industry Foundation Classes (IFC) zum Einsatz. Wie die folgende Abbildung zeigt, liegen CityGML und BIM hinsichtlich ihrer Anwendungsbereiche teilweise sehr nah beieinander. Forschungsbestrebungen zur Harmonisierung und dem Zusammenwirken von BIM und GIS (in Form von CityGML) gilt es zu beobachten, viele befinden sich jedoch noch am Anfang. Gerade für neu errichtete Gebäude, welche grundlegend in BIM modelliert werden ergeben sich hier, auch für Fragestellungen des Urban Mining, weitreichende Synergieeffekte. Erste Ansätze finden sich im Bereich der Energiebedarfsmodellierung für einzelne Gebäude (Resch et al. 2014, S. 675). Für den Bereich des Urban Mining liegen bereits ersten Ansätze vor, Ressourceninventare einzelner Gebäude im Detail in Form von sogenannten digitalen Ressourcenpässe zu erfassen (Petkova und Rüppel 2014; Petkova 2016).

Die zukünftigen Synergieeffekte aus detaillierten Gebäudemodellen in BIM und flächendeckenden CityGML 3D-Standmodellen sind sicher weitreichend (Liu et al. 2017), für den hier vorgestellten Ansatz jedoch derzeit nicht von Relevanz. Klarer Fokus vom BIM ist die Modellierung einzelner Gebäude zur Planung und Dokumentation des Lebenszyklus. Von einer direkten Erfassung ganzer Stadtteile oder auch Stadtregionen ist derzeit nicht auszugehen. Abbildung 43 zeigt die Integration von Geoinformationen in den unterschiedlichen Bereichen der Baumwerksmodellierung. GIS und BIM haben hierbei etwas andere Skalenebenen der Anwendung, die Interoperabilität und ein durchgängier Datenaustausch auf Basis von Standards sollte daher gegeben sein.

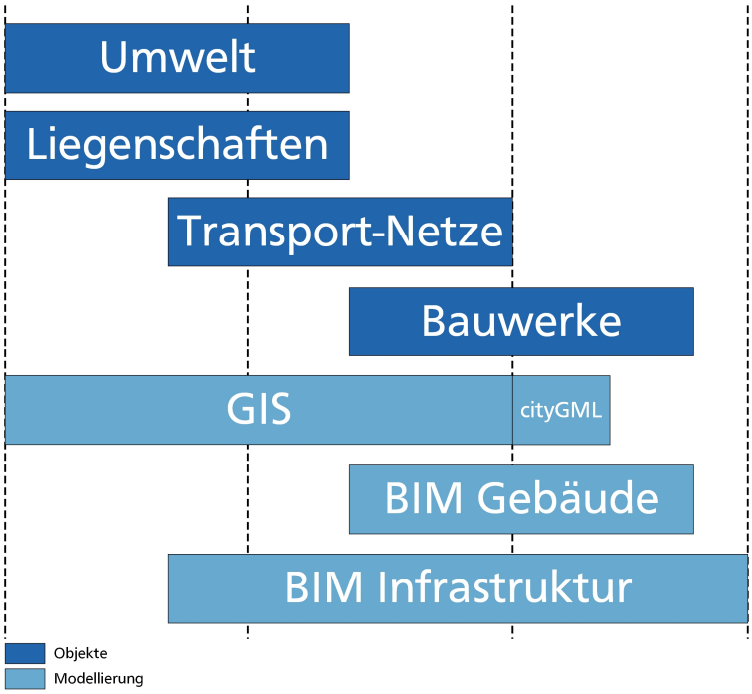

Abbildung 43: Zielsetzung und Integration von GIS und BIM, deren Zusammenwirken und die entsprechenden Anwendungsbereiche in der Bauwerksmodellierung (nach König 2015, S. 8)

Auch wenn die Integration von BIM in flächendeckende Datensätze noch ein längerer Prozess sein wird, sind die durch BIM sehr detailliert modellierten Gebäude, eine ideale Grundlage zur Beschreibung und Erfassung von Referenzgebäuden im Sinne des Urban Mining Katasters (Aufbau einer Ressourcendatenbank für Referenzgebäude).

6.1.3. CityGML in Deutschland

Bereits seit einigen Jahren wird in der föderal organisierten Katasterverwaltung in Deutschland an der Umsetzung eines flächendeckenden 3D-Katasters gearbeitet (Gruber et al. 2014). Ein 3D-Gebäudemodell in LoD I ist flächendeckend mit bundesweit über 51 Millionen Gebäudeobjekten verfügbar (AdV und Bezirksregierung Köln 2017). Als Datengrundlage werden hierbei die Gebäudegrundrisse aus ALKIS, sowie Höheninformationen aus Airborne Laserscaning (ALS) oder Photogrammetrie verwendet. Die AdV hat hierzu ein eigenes Profil der CityGML in Abstimmung mit ihren länderübergreifenden Arbeitsgruppen definiert (AdV 2015a; Gruber et al. 2014). Hierzu wurde das bestehende AAA-Modell der GeoInfoDok um 3D-Gebäudemodelle in CityGML erweitert. In einer ersten Stufe als 2,5D-Repräsentation in der GeoInfoDok 6.2, mit Einführung der GeoInfoDok 7.0 jedoch in Zukunft auch als vollständige 3D-Volumenkörper (jedoch nicht vor 2018; (Gruber et al. 2014)). Das derzeitige AdV-Profil der CityGML stellt somit ein Supplement des CityGML Standards in der Version 1.0 dar. Hierbei wurden Klassen, Attribute und Werte auf einen zulässigen Umfang aus der Produktdefinition reduziert und abweichende Kardinalitäten festgelegt (Gruber et al. 2014). Die Verfügbarkeit von LoD 2 Modellen unterscheidet sich derzeit je Bundesland. Der zentralisierte Datensatz der LoD Gebäude kann über die ZSHH (Zentrale Stelle Hauskoordinaten, Hausumringe und 3D-Gebäudemodelle) kostenpflichtig bezogen werden. Einige Bundesländer, wie beispielsweise Nordrhein-Westfalen und Thüringen oder auch vereinzelte Städte wie Berlin, Hamburg oder Dresden[14] bieten ihre 3D-Stadtmodelle im CityGML als OpenData an

[14] Aufzählung an dieser Stelle nicht abschließend

6.1.4. Hemmnisse bei der Nutzung aktueller CityGML-Modelle

Ein besonderes Problem aktueller 3D-Modelle ist deren fehlende geometrische Validität, u.a. die sogenannte ‚Wasserdichtigkeit' des 3D-Modells. So lassen sich in vielen Fällen, auf Grund von nicht durchgehenden Beziehungen zwischen Wänden und Dächern oder nicht vollständig geschlossenen Gebäuden (Lücken oder Löcher) keine Volumen direkt ableiten (Wagner et al. 2013a; Wagner et al. 2013b). Auf diese Problematik bezugnehmend beschäftigen sich verschiedene Forschungsinitiativen zum einen mit der Weiterentwicklung des CityGML-Standard, als auch, im Besonderen relevant für die dargestellten Problematiken, mit der automatisierten oder semi-automatisierten Validierung von CityGML-Modellen (Zhao et al. 2014; Wagner et al. 2013b; Alam et al. 2013). Hervorzuheben ist hier das Verbundprojekt ‚cityDoktor', mit dem Ziel der ‚Entwicklung von Methoden und Metriken zum Qualitätsmanagement virtueller Stadtmodelle' (Coors 2015a). In diesem Zusammenhang wird als nächster Evolutionsschritt von 3D-Stadtmodellen die Notwendigkeit einer besseren Qualität hervorgehoben. Die Datenqualität von 3D-Stadtmodellen gewinnt mit der wachsenden Vielfalt der Anwendungsszenarien somit zunehmend an Bedeutung (Wagner et al. 2014, S. 1). Hervorzugeben sind zudem die Bestrebungen des OGC ‚CityGML Quality Interoperablility Experiment', welches vergleichbare Zielsetzung der Qualitätsverbesserungen inne hat (Coors und Wagner 2015; Wagner et al. 2014). Letztendlich gehen aus den diversen Forschungsinitiativen jedoch nur Empfehlungen und technische Anwendungen hervor, welche im weiteren Verlauf in den Prozess der Erstellung und Fortführung der 3D-Standtmodell implementiert werden müssen.

Die Anforderung geschlossene Volumenkörper im 3D-Modell qualitätsgesichert vorzuhalten, ist eine der zentralen Anforderungen, gerade für Analysen aus dem Bereich der Energiebedarfsprognosen. Der hier vorgestellte Ansatz über den BRI entsprechende Ressourcenkennwerte zu übertragen bringt diese Anforderung ebenfalls mit sich. Auch wenn aktuelle Modelle diese Anforderung noch nicht flächendeckend erfüllen, ist, bezugnehmend zu den aktuellen Bestrebungen einer standardisierten Qualitätssicherung von 3D-Stadtmodellen, davon auszugehen, dass entsprechende Ausgangsdatensätze in der Zukunft existieren. Mögliche Lösungsansätze zur Ableitung des BRI, ohne zwingend auf valide 3D-Modelle abzustellen, werden im Rahmen der Umsetzung erläutert (Datenebene). Zudem gehen die derzeitigen Bestrebungen in Richtung immer detailreicherer 3D-Stadmodelle in Form höherer LoDs. Für Visualisierungen sind diese Bestrebungen sinnvoll, wie jedoch umfassende Untersuchungen gezeigt haben, ist das Potenzial der Ergebnisverbesserung für auf 3D-Standtmodellen basierende Analysen wesentlich höher, wenn auf eine bessere Qualität der Daten (LoD I) geachtet wird als höhere LoD-Level anzustreben (Biljecki et al. 2017, S. 13). Die deutlich höherer Kosten bei der Erfassung von LoD2-Modellen korrespondieren nicht im analytischen Sinne mit signifikant besseren Ergebnissen (Biljecki et al. 2017, S. 11).

6.1.5. Berechnung von Baukörpervolumen aus 3D Stadtmodellen (Exkurs)

Die valide Berechnung von 3D-Volumen aus 3D-Stadtmodellen stellt derzeit noch ein Problem dar. Die Ableitung bzw. initiale Generierung von 3D-Objektkörpern bei der Erstellung von 3D-Stadtmodellen hatte zu Beginn die Visualisierung im Fokus, der Aspekt valider 3D-Körper wurde erst im Zuge der Anwendung relevant. Relevante Anwendungen, welche valide Berechnungen der 3D Volumen aus 3D-Stadtmodellen notwendig erscheinen lassen sich vielseitig. Biljecki et. al. nennen hierbei unter anderem die räumliche Planung, das Abfallmanagement, Bevölkerungsschätzungen, Energiebedarfsprognosen oder eben Fragestellungen der in Gebäuden gebundenen Ressourcen (Biljecki et al. 2017, S. 9). Als ursächlich für Probleme bei der Volumenberechnung sind meist geometrische Fehler zu nennen (Coors 2017b, 2017a). Minimale Löcher in Geometrien, Überlappungen oder doppelte Linien in den Geometrien können dazu führen, dass die 3D-Berechnung der Volumen unkorrekte Ergebnisse liefert. Auch Kaden, 2017 konnte dies in Studien am Beispiel des Berliner 3D-Stadtmodells bei der Berechnung des Gebäude-Bruttovolumens feststellen und bezeichnet die valide Berechnung direkt aus dem 3D-Volumenkörper als schwierig (Kaden 2017, S. 22).

Coors (Coors 2017a) nennt u.a. drei mögliche Lösungsansätze zur Validierung der Ergebnisse:

1. Vor der Volumenberechnung ist die Geometrie auf Fehlerfreiheit zu prüfen und ggf. zu korrigieren (heilen des Modells). Dieser Ansatz ist für kleinere individuelle Modelle denkbar, für flächendeckende große Datenmengen stellt eine solche Validierung und anschließende Korrektur jedoch einen nicht unerheblichen Aufwand dar und stellt weiter hohe Anforderungen die Bearbeiter bzw. die Software zur automatischen Validierung (Rechenaufwand). Mögliche Ansätze in Zukunft bieten hier Projekte wie der CityDoctor (Coors 2015a) oder Initiativen zur Qualitätssicherung des OGC (Coors und Wagner 2015).
2. Geometrische Fehler akzeptieren und Algorithmen zur Volumenberechnung entwickeln die fehlertoleranter sind. Anwendbare Algorithmen sind hier jedoch bisher nicht verfügbar, bzw. in den entsprechenden Produkten bereits integriert aber nicht nachvollziehbar. So berechnet der „Volumen Calculator“ in der Software FME (Safe Software, FME 2015) das 3D-Volumen aus dem 3D-Modell, die exakten Berechnungsalgorithmen, sowie eventuelle Fehlertoleranzen sind nicht transparent dokumentiert (wenn überhaupt verwendet).
3. Geometrische Fehler in Modellen beheben bzw. diese in Zukunft vollständig vermeiden.
   Ein solches Vorgehen macht die Validierung der Modelle auf Ebene des Datenbereitstellers notwendig und sollte im Zuge der (automatischen) Ableitung des 3D-Modells erfolgen.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist somit bei der Anwendung von auf 3D-Volumenberechnungen aus 3D-Stadtmodellen immer auf diese derzeit bestehende Problematik hinzuweisen. Die Ergebnisse der Volumenberechnung können in unterschiedlichen Fällen teils erheblich abweichen. Da jedoch wenige bis keine verifizierbaren Referenzdaten vorliegen ist auch eine Validierung der berechneten Volumen schwierig. Verschiedene Tests legen die Vermutung nahe, dass bei geometrischen Fehlern eher zu geringe Volumen berechnet werden (Coors 2017a). Diese Vermutung konnte durch eigene Analysen bestätigt werden. Für CityGML LoD I Daten des Bundesland Hessen (HVBG Hessen 2014b), wurde eine Abweichung von 10% ermittelt. Dabei waren die durch FME aus den 3D-Volumenköpern berechneten Volumen um 10% geringer als die einfache Berechnung der 2D-Grundfläche multipliziert mit der Höhe. Die 2D Grundflächengeometrie (Footprint) wurde hierbei im Vorfeld aus dem 3D Daten abgeleitet und stellt damit nicht zwingend die exakte Grundfläche aus dem amtlichen Kataster (ALKIS) dar. Auch aus dieser Ableitung könnten sich, nicht weiter verifizierbare, Abweichungen ergeben.

Tabelle 4: Ergebnisse der Volumen-Summen für das Bundesland Hessen im m³ (Datengrundlage (HVBG Hessen 2014b)

Volumen (Fläche * Höhe)	Volumen (Kalkulation FME)	Differenz
3.587.139.764	3.220.153.232	-366.986.532

Am Beispiel des 3D-Stadtmodells in Berlin, für Fragestellungen der Energiebedarfe und Sanierungspotenziale von Wohngebäuden, wählte (Kaden 2017) einen vergleichbaren Ansatz zur Berechnung der Bruttovolumen. Eine eigens implementierter Berechnungsalgorithmus zerlegt hierbei das Gebäudemodell durch Projektion der einzelnen Dachflächen in Gebäudeteile, diese werden anschließend einzeln berechnet und aufsummiert (Kaden 2017, S. 22). Die oben beschriebene Vorgehensweise einer 2D-Grundrissgeometrie aus den 3D Daten stellt einen vergleichbaren Ansatz dar.

Weiter ist für die Ableitung des BRI aus 3D-Stadtmodellen zu beachten, dass sowohl komplexe Dachaufbauten als auch Kellergeschosse mit in die Berechnung des BRI einfließen müssen bzw. entsprechende Annahmen getroffen werden sollten.

6.2. INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude (INSPIRE BU)

Die INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude (INSPIRE-BU) stellt ein spezifisches INSPIRE-Supplement in der Spezifizierung von Gebäudeinformationen dar. Das fachspezifische Datenmodell für Gebäude ist essenzielle Grundlage beim themenübergreifenden Aufbau der europäischen GDI. Das Gebäudemodell, welches in Annex 3 definiert wird und sowohl zwei- als auch dreidimensionale Gebäudegeometrien abbildet, kann übergreifend als urbanes Informationsmodel verstanden werden und damit perspektivisch essentielle Grundlage für smarte Geodaten in Smart Cities darstellen (Coors 2015c). Die Datenspezifikation wurde seit 2010 von der ‚Thematischen Arbeitsgruppe für Gebäude' (TWG BU) erarbeitet. In der Arbeitsgruppe vertreten waren 15 Experten aus unterschiedlichen Vermessungs- oder Geoinformationsverwaltungen sowie aus dem Bereich der Forschung (Gröger und Plümer 2014a, S. 90). Initialer Ausgangspunkt bei der Entwicklung der Spezifikation waren konkrete Anwendungen für Gebäudedaten in den EU-Mitgliedsländern sowie bestehende Geodatenstandards. Nicht nur personelle Überschneidungen der beteiligten Experten führten somit zu einer großen Ähnlichkeit der Modellierung von Gebäuden in CityGML und INSPIRE. Die INSPIRE-Datenspezifikation baut zu Teilen auf der vorgestellten OGC-Spezifikation CityGML auf. „CityGML hat die Entwicklung des INSPIRE-Gebäudemodells maßgeblich beeinflusst. Umgekehrt ist auch eine Einflussnahme von INSPIRE auf zukünftige Versionen von CityGML abzusehen." (Löwner et al. 2013, S. 135) Die hohe Bedeutung der Semantik im Datenmodell verdeutlicht die nachfolgende Abbildung. Aus der Anforderungsanalyse der TWG hervorgehend, wurden die Benutzeranforderungen in unterschiedliche Anwendungsfälle (Use Cases), sowie deren Verfügbarkeit in bestehenden Datenmodellen in Europa unterteilt.

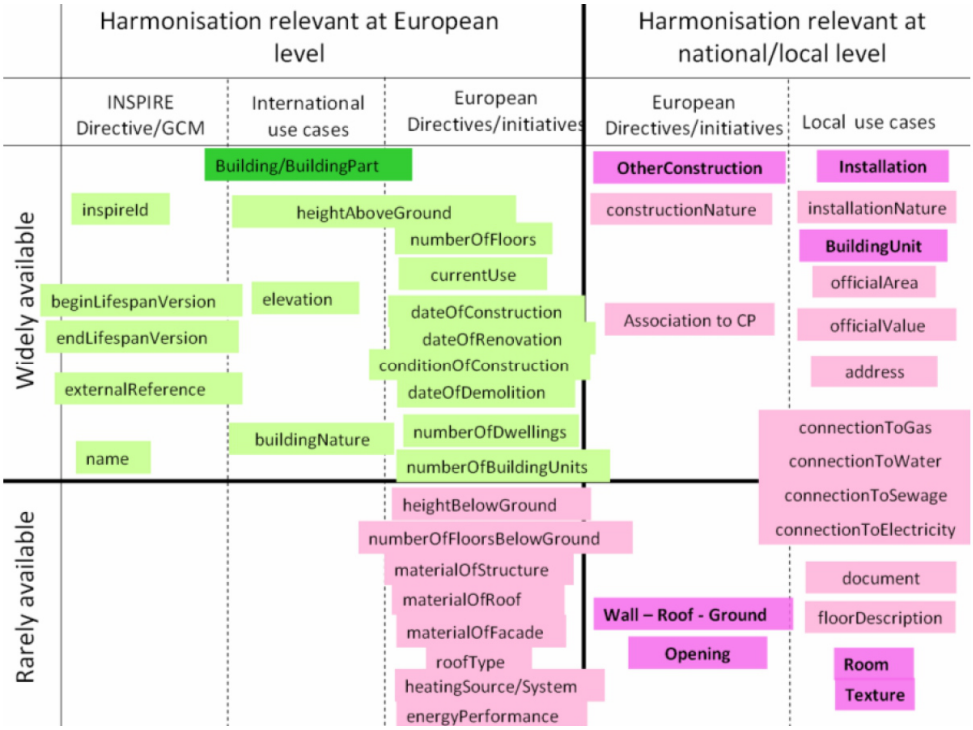

Abbildung 44: Hierarchie der Semantik – Quelle: (INSPIRE TWG BU 2013, S. 4)

Basierend auf dieser Klassifikation sind zwei Varianten von semantischen Gebäudeprofilen entstanden. Die normativen „Core-Profile" sowie informative „Extended-Profiles" (INSPIRE TWG BU 2013, S. 5). „Die Herausforderung bei der Entwicklung des INSPIRE-Gebäudemodells lagen darin, die sehr heterogenen Anforderungen der relevanten Anwendungen, die verschiedenen nationalen Gebäudemodelle in den Mitgliedsstaaten und die heterogene Verfügbarkeit von Gebäudedaten in einem Modell zu berücksichtigen. ([sic] Gröger und Plümer 2014a, S. 91)" Dieser komplexen Anforderung wurde versucht entgegenzuwirken, indem das INSPIRE-Gebäudemodell aus vier unterschiedlichen Profilen besteht. Diese Profile unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der semantischen wie aus geometrischen Detailtiefe und sollen damit die unterschiedlichen Anwendungsfälle und

Primärdatensätze abbilden. Die beiden „Core-Profile“ haben dabei normativen Charakter durch die Übernahme in die Durchführungsbestimmungen, die beiden erweiterten Profile hingeben sind ergänzende Empfehlungen für Daten und Anwendungsfälle, welche über die Detailtiefe der Core-Profile hinausgehen (Gröger und Plümer 2014a, S. 91; INSPIRE TWG BU 2013).

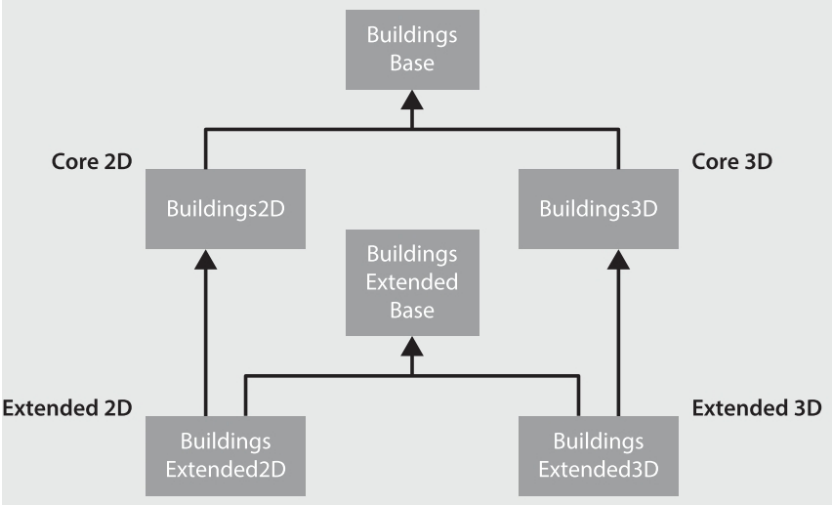

Abbildung 45: Struktur des Gebäudemodells. Die sechs Anwendungsschemata (graue Kästchen) definieren die vier Profile (schwarze Schrift). (Quelle: (Gröger und Plümer 2014a, S. 93; INSPIRE TWG BU 2013, S. 19)

Durch diese modulare Unterteilung des Gebäudemodells bieten sich den Mitgliedsstaaten unterschiedliche Implementierungsvarianten bei der Erfüllung der INSPIRE-Anforderungen. Aus der Spezifikation ergeben sich damit vier grundlegende Profile des INSPIRE-Gebäudemodells:

- Das Core 2D-Profil:
  Grundlegende 2D- bzw. 2,5D-Modell für Gebäude. Es sind nur die wichtigsten Attribute wie das Baujahr und die aktuelle Nutzung modelliert (optional). Dieses Profil ist normativ, d. h. es ist in den Durchführungsbestimmungen zu INSPIRE enthalten. (Gröger und Plümer 2014a, S. 93)
- Das Core 3D-Profil:
  Dieses ergänzt das Core 2D-Profil um eine dreidimensionale Repräsentation der Geometrie von Gebäuden. Hierzu wird auf die Modellierung von CityGML, insbesondere die LoDs 1-4 zurückgegriffen. Dieses Profil ist ebenfalls normativ (Gröger und Plümer 2014a, S. 93).
- Extended 2D-Profil:
  Erweitert das Core 2D-Profil um Bauwerke, die keine Gebäude sind (Other Construction), Installationen (z. B. Balkone) und in der Regel rechtlich definierte Einheiten in Gebäuden (BuildingUnits). Weiter werden im Extended Profil eine Vielzahl zusätzlicher semantischer Attribute definiert.
- Das Extended 3D-Profil
  Dieses vereinigt die Semantik des Extended 2D-Profils mit der 3D-Geometrie und den 3D-Geo-Objekten von CityGML (wie z. B. Wand-, Dach- und Bodenflächen, Türen, Fenster, Räume, 3D-Installationen) sowie Texturen (Gröger und Plümer 2014a, S. 93)

In der TWG-Buildings wurde weiter definiert, dass für viele Anwendungsfälle die Einschränkung auf ‚Gebäude‘ nicht ausreichend war. Der Anwendungsbereich des Themas wurde daher weitreichender gefasst und auf ‚Bauwerke‘ erweitert. Zur Definition von Bauwerken gehören somit z.B. auch Dämme oder Leitungsmasten (sofern diese nicht in anderen INSPIRE-Themen bereits gesondert modelliert sind). In der Datenspezifikation wird somit explizit zwischen Gebäuden (Buildings) und Bauwerken (Constructions bzw. Other Constructions) differenziert (Koordinierungsstelle GDI-DE 2016b). Für die Bereitstellung der Daten bzw. deren Transfer verlangt die INSPIRE-Datenspezifikation kein bestimmtes Format. GML (ISO 19136) wird jedoch als Standard-Kodie-

rung definiert, das entsprechende GML-Anwendungsschema kann als ‚INSPIRE BU'-Anwendungsschema bezeichnet werden (Aringer et al. 2016, S. 187). Neben der Bereitstellung im direkten ‚INSPIRE BU'-Anwendungsschema kann die Konformität auch über die sogenannte CityGML Application Domain Extension (ADE) erreicht werden. Die CityGML INSPIRE ADE erweitert den CityGML-Standard um jene Konzepte (Klassen, Attribute, Geometrien und Beziehungen) welche als Erweiterung zur Konformitätserreichung des INSPIRE-Datenmodell notwendig sind. „Konzepte aus dem INSPIRE-Gebäudemodell, die in CityGML nicht existieren, werden in der ADE aus den INSPIRE-Schemata übernommen." (Aringer et al. 2016, S. 187) Für eine ausführliche Analyse der Datenspezifikation sowie eine Beschreibung der detaillierten Beweggründe der Modellierung und Profil-Bildung sei an dieser Stelle auf die Spezifikation selbst (INSPIRE TWG BU 2013), das Datenmodell (INSPIRE Thematic Working Groups 2015), die explizit für Deutschland vorgenommen Analyse der Datenspezifikation (Ring 2011) sowie die ausführliche Beschreibung von (Gröger und Plümer 2014a) verweisen.

6.2.1. Building Core2D

Als grundlegendes europaweites Anwendungsschema für Gebäude kommt das INSPIRE-BU Core 2D in Betracht. Der grundlegende Aufbau der Profilbildung und die Verwendung von spezifischen Datentypen und Codelisten ist in allen Profilen einheitlich. Das Anwendungsschema ‚BuildingsBase' definiert dabei die grundlegenden Klassen, Typen, Attribute und Relationen, die in allen Profilen identisch sind. Die 2,5D-Repräsentation des INSPIRE-BU Core 2D entspricht dem CityGML-LoD0, stellt jedoch eine gewisse Verallgemeinerung dar. CityGML sieht im LoD0 nur horizontale Polygone vor, wohingegen INSPIRE durch das Zulassen nicht vertikaler Polygone ein allgemeineres Modell darstellt (Löwner et al. 2013, S. 134). Wie das nachfolgende UML-Diagramm beschreibt, ist das Gebäudemodell grundlegend in ‚Building und BuildingPart' modelliert. Diese Konzept wurden in INSPIRE in Anlehnung an CityGML verwendet. Ermöglicht wird damit die Modellierung komplexerer Gebäude, die in einzelne Bestandteile (BuildingParts) zerlegbar sind (Gröger und Plümer 2014a, S. 94). „Bestandteile können sich von anderen desselben Gebäudes durch Attributwerte (z. B. Höhe oder Nutzung) oder räumliche Eigenschaften (z. B. die Dachform) unterscheiden. Ein BuildingPart muss jedoch für sich die Eigenschaften eines Building erfüllen, insbesondere muss es auf dem Boden stehen." (Gröger und Plümer 2014a, S. 94) Das bedeutet, dass Building zwingend existieren muss und BuildingParts, welche Building in Gebäudeteile unterteilen, optional existieren können (INSPIRE TWG BU 2013, S. 62).

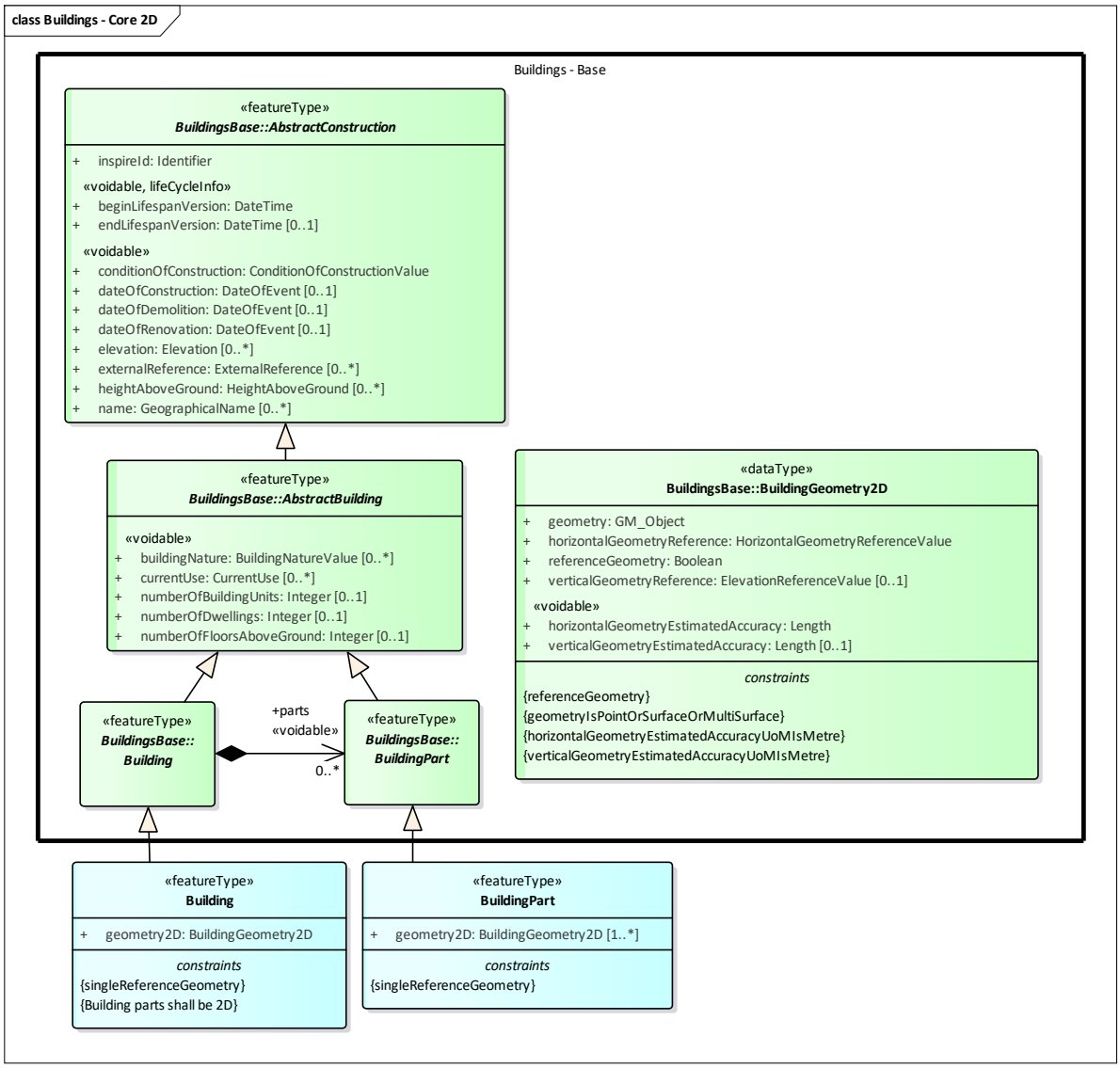

Abbildung 46: INSPIRE-BU Klasse Gebäude Core 2D (Quelle: (INSPIRE TWG BU 2013))

Neben der geometrischen Modellierung der Gebäude spielt insbesondere die semantische Definition eine entscheidende Rolle für den hier skizzierten Anwendungsfall. Hinsichtlich der geometrischen Modellierung, insbesondere für das Core3D-Modell sei an dieser Stelle auf die entsprechenden Normen und deren Interpretationen innerhalb der Fachliteratur verwiesen (Gröger und Plümer 2014a, 2014b; INSPIRE TWG BU 2013).

6.2.2. Datentypen & Semantische Codelisten

Die semantische Harmonisierung des Gebäudemodells in Form von Codelisten und Datentypen stellt die umfassendste Definition im Datenmodell dar. Einige der relevanten semantischen Definitionen sollen daher im nachfolgenden näher betrachtet werden. Die INSPIRE-BU Datenspezifikation definiert implizit sechs eigene Codelisten:

- BuildingNatureValue:
  Das ‚BuildungNatureValue' beschreibt den grundlegenden Charakter eines Gebäudes. Die Spezifikation nennt hier explizit zwei mögliche Anwendungsfälle: Zum einen können Gebäude Hindernisse in der Luftfahrt darstellen (obstacles) oder aber in der marinen Navigation als sogenannte ‚Landmarks' dienen. Beispielsweise Leuchttürme oder Windräder.

- CurrentUseValue
  Die aktuelle Nutzung eines Gebäudes, eine umfassende Beschreibung folgt im weiteren Verlauf dieses Kapitels.
- ConditionOfConstructionValue
  Diese Codeliste definiert den aktuellen Zustand eines Bauwerkes. Werte: declined (verfallen), demolished (vollständig abgerissen), functional (in Betrieb), projected (geplant), ruin (Ruine) und under construction (im Bau)
- HeightStatusValue
  Die Codeliste ‚HeightStatusValue' unterscheidet attributiv ob die Höhe eines Gebäudes gemessen oder abgeschätzt wurde.
- ElevationReferenceValue
  Das ElevationReferenceValue definiert, in welcher Form die Höhenangabe des Gebäudes definiert wurde. Die Spezifikation ermöglicht hier unterschiedliche Definitionspunkte an welche Stelle die Höhe eines Gebäudes gemessen oder abgeschätzt wurde.
- HorizontalGeometryReferenceValue
  Die Codeliste indiziert die horizontale Geometriereferenz.

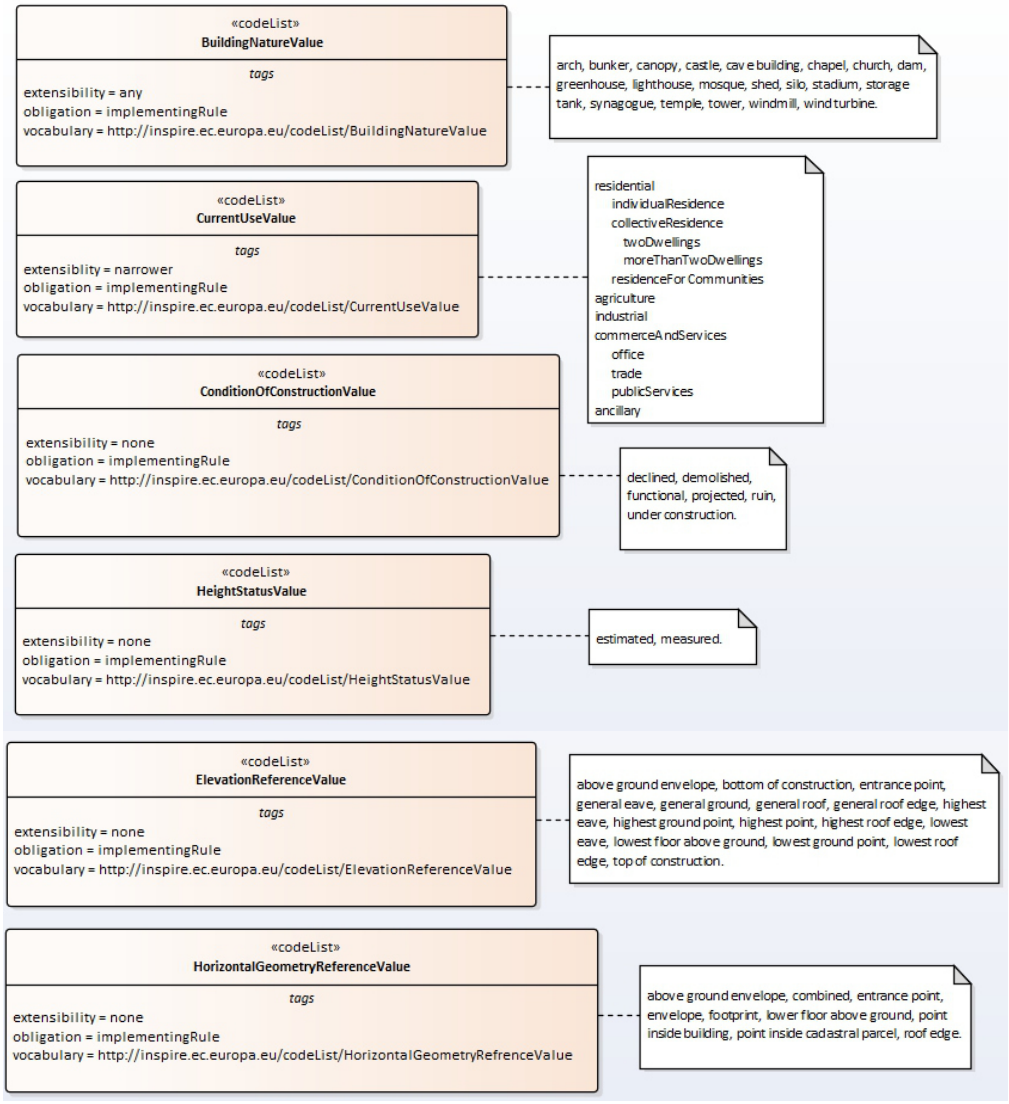

Abbildung 47: INSPIRE-BU Codelisten (INSPIRE TWG BU 2013)

Das INSPIRE-BU Modell definiert weiter die folgenden fünf grundlegenden Datentypen:

- Elevation (Höhe)
- DataOfEvent (Modellierung des Datums)
- HeigtAboveGround (Höhe über Grund)
- CurrentUse (aktuelle Nutzung)
- ExternalReference (Externe Referenz).

Die Datentypen selbst verweisen zum Teil wiederrum auf spezifische Codelisten, welche in der weiteren Erläuterung dargestellt werden (z.b. <CurrentUseValue>).

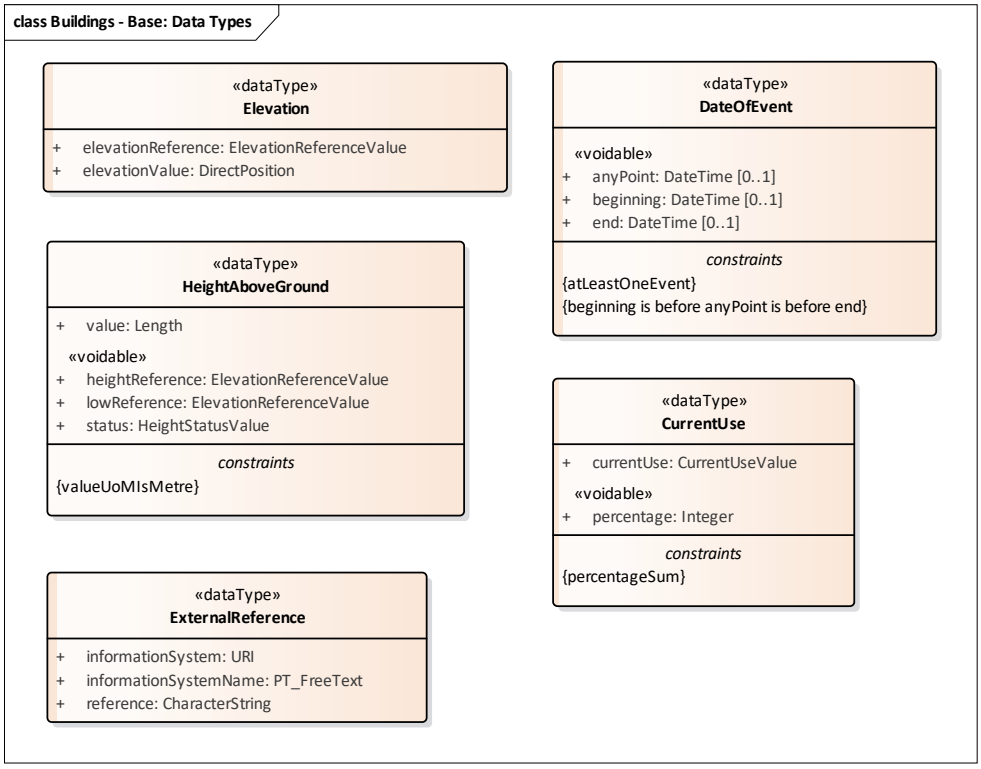

Abbildung 48: INSPIRE-BU Datentypen (BuildingBase-Anwendungsschema) Quelle: (INSPIRE TWG BU 2013)

Neben den innerhalb der INSPIRE-BU Datenspezifikation definierten Datentypen referenziert das Anwendungsschema auch solche, die für alle INSPIRE-Themen gleichermaßen gelten. Beispielsweise den Datentyp ‚Identifier'.

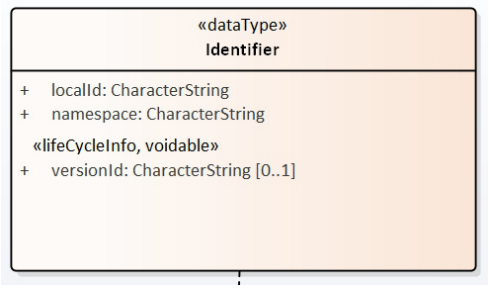

Abbildung 49: INSPIRE Datentyp 'Identifier' (INSPIRE DT DS 2014)

Übergreifende Datentypen sind im sogenannten ‚Generic Conceptual Model' (GCM) definiert. Das GCM stellt fachneutral Aspekte der Geometrie, Topologie, Zeit, Koordinatenreferenzsysteme (CRS), fachlicher Informationen, IDs, Relationen und Mehrsprachigkeit bereit und erlaubt so deren Konkretisierung in den einzelnen Fachmodellen der INSPIRE-Themen (Seifert et al. 2014, 882 ff.) Im GCM ist das Anwendungsschema Base Types enthalten, in dem z.B. der Datentyp ‚Identifier' festgelegt wird. Dieser Datentyp wird zur Belegung des Attributs

‚inspireId' verwendet. Es besteht wiederum aus den Attributen ‚localId', ‚namespace' sowie ‚versionId' und bezeichnet eine eindeutige Objekt-ID, die durch die ein Geo-Objekt veröffentlichende Stelle festgelegt werden muss. Diese ID darf während der gesamten Lebenszeit eines Geo-Objektes nicht verändert werden. Dabei gehört das Attribut ‚versionId' nicht unmittelbar zur ID, sondern dient lediglich zur Unterscheidung verschiedener Versionen des Geo-Objekts. Das Attribut ‚namespace' dient zur Identifizierung der Datenquelle und wird von deren Datenbereitsteller verwaltet. Das Attribut ‚localId' ist innerhalb eines solchen Namensraumes einmalig (INSPIRE DT DS 2014, 63 ff.)

Gegenwärtige Nutzung (CurrentUse)

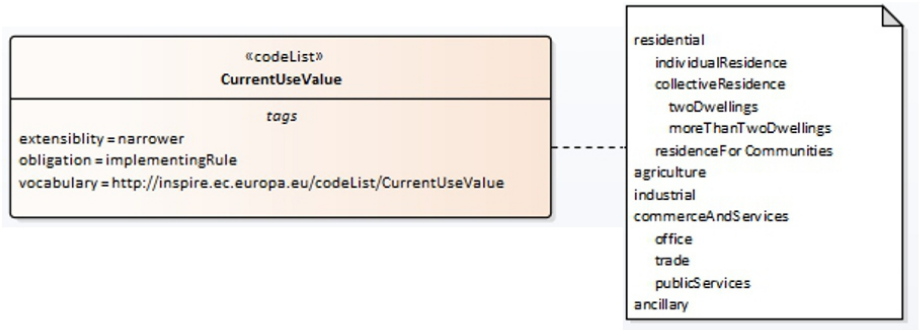

Abbildung 50: INSPIRE-BU Gegenwärtige Nutzung (CurrentUse) (INSPIRE TWG BU 2013)

Das Attribut ‚CurrentUse' fokussiert die gegenwärtige Nutzung eines Gebäudes bzw. Gebäudeteiles. Ziel ist es ‚Management-Anforderungen' zu erfüllen wie z.B. Bevölkerungsberechnungen oder Fragestellungen aus der Raumplanung. Die Schwierigkeit der INSPIRE-Typenbildung hat ein vergleichbares Problem wie viele andere Typenansätze, je größer Regionen werden, desto unterschiedlicher sind deren historischen und gesellschaftlichen Verflechtungen, was wiederrum völlig unterschiedliche Typen zur Folge hat. Diese sind nur schwer übergreifend zu vergleichen und vor allem zu vereinheitlichen. Der Detailgrad innerhalb der Datenspezifikation ist als sehr grob anzusehen. Als Intention wird angegeben, dass „detailliertere Werte den anderen fachspezifischen INSPIRE-Spezifikationen entnommen werden sollen." (Gröger und Plümer 2014a, S. 96) Beispielhaft genannt werden die Produktions- und Industrieanlagen den Wertebereich der Industriegebäude oder das Themengebiet ‚Versorgungswirtschaft und staatliche Dienste' für den Bereich Dienstleistung und Service. Nur der Bereich der Wohngebäude ist relativ detailliert ausdifferenziert. Grund hierfür ist, dass es kein eigenes INSPIRE-Thema für den Bereich Wohnen (im weiteren Sinne) gibt. Der Datentyp des ‚currentUse'-Attributs ist komplex, d.h. er besteht aus dem Wert und einem Anteil dieses Wertes an der Gesamtnutzung des Gebäudes (Gröger und Plümer 2014a; INSPIRE TWG BU 2013).

Die Codeliste ‚CurrentUse' ist als erweiterbar (extensibility = narrower) definiert, im Detail um spezifischere Werte. Eine Erweiterung der Codeliste kann aus unterschiedlichen Aspekten sinnvoll sein. Zum einen, da mögliche Ausgangsdatensätze einen wesentlich höheren Detaillierungsgrad vorweisen und diese Detaillierung bei einer Transformation verloren gehen würde. Auf der anderen Seite können spezifische Anwendungsfälle stehen, welche die Integration detaillierter Kategorien notwendig erscheinen lassen. Im Falle des Urban Mining Kataster erscheint Fall zwei vorwiegend zuzutreffen. Eine detaillierte Analyse der Codeliste findet im Rahmen der Typologie-Untersuchung in Kapitel 7.2 statt. Eine partielle Erweiterung der Codeliste um spezifische Werte wird an gleicher Stelle umfassend diskutiert und exemplarisch vorgenommen.

Attribut externe Refernenz (externalReference)

Das Attribute ‚externalReference' soll die Verknüpfung mit anderen Informationssystemen sicherzustellen. Die Anwendungsfälle sind hierbei vielseitig, die externe Referenz trägt hier dazu bei, eine Konsistenz zwischen „verschiedenen Ansichten oder unterschiedlichen Detaillierungsgraden an einem gleichen Objekt der realen Welt zu gewährleisten, was einer ausdrücklichen Anforderung der INSPIRE-Richtlinie entspricht. (Ring 2011)"

Vorstellbar für die Externe Referenz wären Verknüpfungen zur offiziellen Katasterinformationen (geschützte Eigentümerinformationen), externe Verweise auf Bauakten zu dokumentationszwecken oder aber auch der Verweis auf Ressourcenpässe der entsprechenden Gebäudeteile.

DateOfEvent

Der komplexe Datentyp ‚DateOfEvent' wird für die Attribute:

- dateOfConstruction: DateOfEvent [0..1],
- dateOfDemolition: DateOfEvent [0..1],
- dateOfRenovation: DateOfEvent [0..1] verwendet.

Mit ‚DateOfEvent' als komplexem Datentyp werden unterschiedliche Varianten der Datumsangabe (Wertebereiche) möglich. Es können sowohl fest definierten Daten als z.B. Baujahr (dateOfConstruction) angegeben werden aber auch Intervalle definiert werden. Durch die Unterteilung in ‚beginning', ‚end', sowie ‚anyPoint' sind die unterschiedlichen Varianten modelliert. Die Angabe eines Intervalls gestaltet sich damit beispielswiese wie folgt:

Baualtersklasse 1901 bis 1918:

beginning: 1901

end: 1918

anyPoint: void

Höheninformationen

Die absolute Höhe von Gebäuden und Gebäudeteilen ist durch das Attribut ‚elevation' realisiert (komplexer Datentyp). Der Datentyp enthält sowohl den Höhenwert (elevationValue) als auch die explizite Definition auf welches Niveau, relativ zum Gebäude er sich bezieht (Gröger und Plümer 2014a, S. 95). Werte für den Typ ElevationReferenceValue sind z. B.: 'top Of Construction', 'lowest Ground Point', 'bottom Of Construction'. Die nachfolgen Abbildung zeigt die unterschiedlichen Werte des ‚ElevationReferenceValue'.

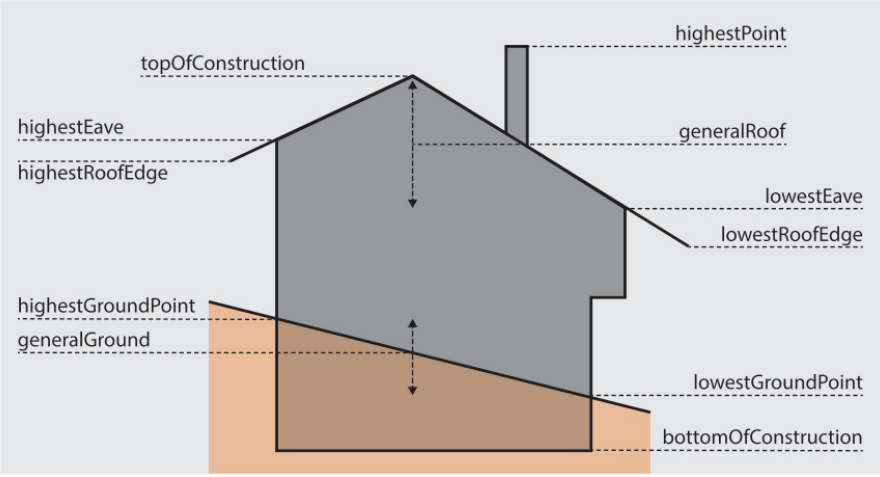

Abbildung 51: Werte des Typs ElevationReferenceValue (Gröger und Plümer 2014a, S. 95)

Im Gegensatz zur absoluten Höhe bezeichnet ‚heightAboveGround' die relative Höhe eines Gebäudes. Da meist unklar ist auf welches Höhnniveaus sich der obere und untere Referenzpunkt bei Angabe einer relativen Höhe bezieht, wird im INSPIRE-Gebäudemodell die relative Höhe als komplexer Datentyp HeightAboveGround spezifiziert (Höhe (value), (low Reference), (high Reference) angibt (vgl. Abbildung 48). Für unterschiedliche Anwendungsfälle, welche auf die Höheninformationen aus dem Gebäudemodell zurückgreifen sind diese semantischen Zusatzinformationen zur Abschätzung der Aussagekraft und Qualität damit von hoher Relevanz.

6.2.3. Datentransformation und Umsetzungstand in Deutschland

Der Themenbereich der INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude kann in unterschiedliche Teilbereiche aufgegliedert werden: Zum einen die Identifikation von möglichen Ausgangsdatensätzen und deren anschließende Transformation in das INSPIRE Zielmodell (Aringer et al. 2016). Hierbei sind die dargestellten Modellierungsvorschriften und dort enthalten Freiheitsgrade der Anpassung und Individualisierung von Bedeutung. Weiter relevant für die technische Umsetzung ist zum einen die Durchführung der Transformation (Mapping) sowie die sich daran anschließende Bereitstellung und auch Speicherung der Daten. Ausgehend von der normativen Betroffenheit des deutschlandweit flächendeckenden 3D-Gebäudebestand im LoD1 (Bundesländer & ZSHH) muss ein INSPIRE-konformer Datensatz bis zum Jahr 2020 bereitgestellt werden. Eine Übersicht der bisher als INSPIRE relevant gemeldeten Datensätze findet sich im jährlich aktualisierten Monitoring der GDI-DE (LG GDI-DE 2017; Europäische Kommission (Joint Research Center) 2020b).

6.2.3.1. INSPIRE-Datentransformation

Die interoperable Bereitstellung der INSPIRE-konformen Geodaten erfordert eine Überführung der Ausgansdaten in eine INSPIRE-konforme Form. Einzige Ausnahme sind solche Fälle, in denen die Primärdaten bereits im INSPIRE-Schema vorgehalten werden, was zum derzeitigen Stand der Umsetzung jedoch in keinem bekannten Fall vorliegt. Überführungen der Datenmodelle werden unter dem Oberbegriff der INSPIRE-Transformation zusammengefasst. Differenziert werden können drei Bereiche der Transformation, die fachliche Zuordnung der Datenmodelle, das Mapping, also deren konkrete Zuordnung, sowie abschließend die technische Transformation mittels geeigneter Software. Konzeptionelle und logische Datenmodelle, sowie die physischen Datensätze werden somit, ausgehend von einer fachlichen Zuordnung stufenweise in das Zielmodell überführt. Sowohl technische als auch semantische Aspekte spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Die Schwierigkeit bei der Transformation ist vorwiegend die Heterogenität der Ausgangs- und Zieldatenmodell. Eine Heterogenität der Modelle liegt vor, wenn Quell- bzw. Zielmodell von erheblich unterschiedlichem Umfang sind. Wenn Quell- und Zielmodell nicht den gleichen Umfang an geometrischer Detailtiefe (oder Modellierung) und Semantik abdecken kommt es bei der Transformation zum Verlust von Information. Vorwiegend tritt dies bei der semantischen Zuordnung auf, aber auch die geometrische Zuordnung kann betroffen sein. Je größer die Heterogenität zwischen den Datensätzen ist, desto schwieriger wird eine valide Transformation. Insbesondere semantische Mehrdeutigkeiten oder fehlende Granularitäten stellen eine plausible semantische Transformation vor größere Probleme. Sowohl fachliche Aspekte, inklusive der initialen Identifikation der Datensätze, als auch technische Lösungsroutinen zur Überführung der Datensätze sind nicht abschließend definiert. Umfassend auf das Thema der semantischen Datentransformation im Kontext von INSPIRE geht die Dissertation „Semantische Transformation im Kontext von INSPIRE- dargestellt am Beispiel der grenzüberschreitenden Bodenseeregion" von Feichtner 2011, ein. Den technologischen Aspekt und einen Vergleich aktueller Softwareprodukte gibt beispielhaft Kroiss 2015. Aktuelle Entwicklungen werden von den jeweiligen Expertengruppen und Arbeitskreisen im Wiki der GDI-DE dokumentiert (Koordinierungsstelle GDI-DE 2015a).

Ohne weiter auf die unterschiedlichen Diskussionspunkte und technischen Herausforderungen der INSPIRE-Transformation einzugehen sollen zwei diskussionswürdige Aspekte kurz beleuchtet werden. Im Besonderen

das semantische Mapping bietet an Stellen der unklaren Deklaration oder eines nicht möglichen 1:1 Mapping eine Vielzahl von Freiheitsgraden. Unterschiedliche Varianten bei der Überführung von Daten in das INSPIRE-Zielschema können zu weitreichenden Divergenzen in der Aussagekraft des Zieldatensatzes führen. Für semantische Informationen des INSPIRE-Datenmodells können die folgenden Fälle eintreten (nach (Ott 2017, S. 80 angepasst und erweitert):

- Semantische Informationen können in den originären Modellen bereits wie von INSPIRE gefordert vorkommen (Fall 1)
- Semantische Informationen können im originären Modell nicht vorliegen, aber für alle Datensätze einheitlich angegeben werden (Fall 2)
- Semantische Informationen können im originären Modell nicht vorliegen, aber für Datensätze gemäß bestimmter Bedingungen angegeben werden (z.B. durch Berechnungen) (Fall 3)
- Semantische Informationen können optional (ISO-Attribute) oder voidable (INSPIRE-Attribute) sein oder die Multiplizität ‚0' zulassen. Semantische Informationen können ungefüllt bleiben, wenn sie in den originären Daten nicht vorhanden oder aus diesen nicht abzuleiten sind. Fallspezifisch nur unter Angabe eines voidReasons (Grund) erlaubt (Fall 4)
- Semantische Informationen finden sich nicht im initialen Primärdatensatz, lassen sich jedoch durch räumliche oder attributive Zuordnung aus einem zweiten (optional durch INSPIRE betroffenen Datensatz) ableiten (Fall 5)

Sind die Fälle 1-4 in ihrer Definition, Interpretation und Wirkung auf die Transformation relativ klar, ist Fall fünf differenziert zu betrachten. Der einfache Fall eines Datensatzes, welcher sich 1:1 einem der INSPIRE-Themen zuordnen lässt und damit die normative Verpflichtung erfüllt ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Ein Ausgansdatensatz enthält alle notwenigen Informationen und erlaubt deren Überführung in das Zielmodell. Für fehlende Informationen kann einer der Fälle 1-4 angewendet werden.

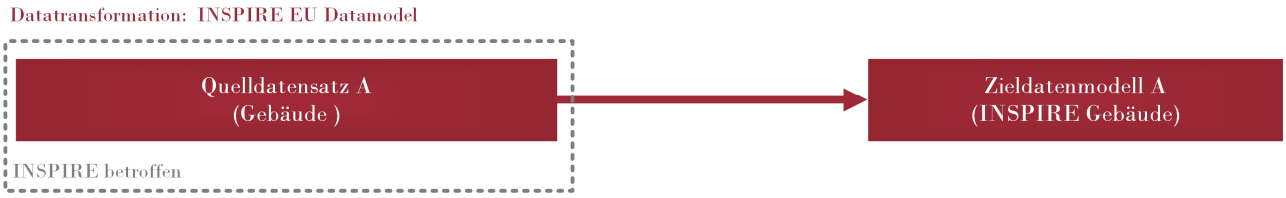

Abbildung 52: INSPIRE Datentransformation - Datensatz 1:1

Komplexer und damit diskussionswürdiger wird die Transformation, wenn unterschiedliche Datensätze für die direkte Zweckerfüllung in Betracht kommen. Hieraus ergeben sich verschiedene Varianten der Umsetzung. Der einfachste und vermutlich direkteste Weg bei mehreren Ausgansdatensätzen zu einem INSPIRE-Thema wäre deren multiple Bereitstellung (Variante 1). Unklar bleibt an dieser Stelle wann die INSPIRE-Verpflichtung als erfüllt angesehen werden kann. Nach direkter Auslegung der Richtlinie sind alle möglichen Datensätze zu einem Thema bereitzustellen. Individuelle Datensätze mit möglicherweise fehlenden (gegensätzlichen) semantischen Informationen erfüllen an dieser Stelle zwar die normativen Anforderungen, stellen jedoch kaum einen Mehrwert für die spätere Anwendung dar. Variante Zwei (V2) der Datenbereitstellung bringt die Komplexität an dieser Stelle nicht zum späteren Anwender, sondern zum Datenbereitsteller. Existieren unterschiedliche Datensätze zu einem identischen INSPIRE-Thema ist eine vorherige Datenaggregation möglich um im Zieldatensatz umfassende Informationen bereitzustellen. Diese kann in einfachen Fällen notwendig sein, wenn bestimmte Informationen an unterschiedlichen Stellen vorgehalten werden, sich aber prinzipiell eindimensional ergänzen. Komplexer wird diese Art der Datenintegration, wenn nahezu identische Informationen an unterschiedlichen Stellen für unterschiedliche Zwecke vorgehalten werden und eine Zusammenführung für das INSPIRE-Zielmodell sinnvoll erscheinen. Als konkretes Beispiel lässt sich hier das Baujahr eines Gebäudes anführen, welches

nicht zwingend im Kataster erfasst sein muss, jedoch durchaus in Form eines weiteren Datensatzes innerhalb der Verwaltung vorhanden sein kann.

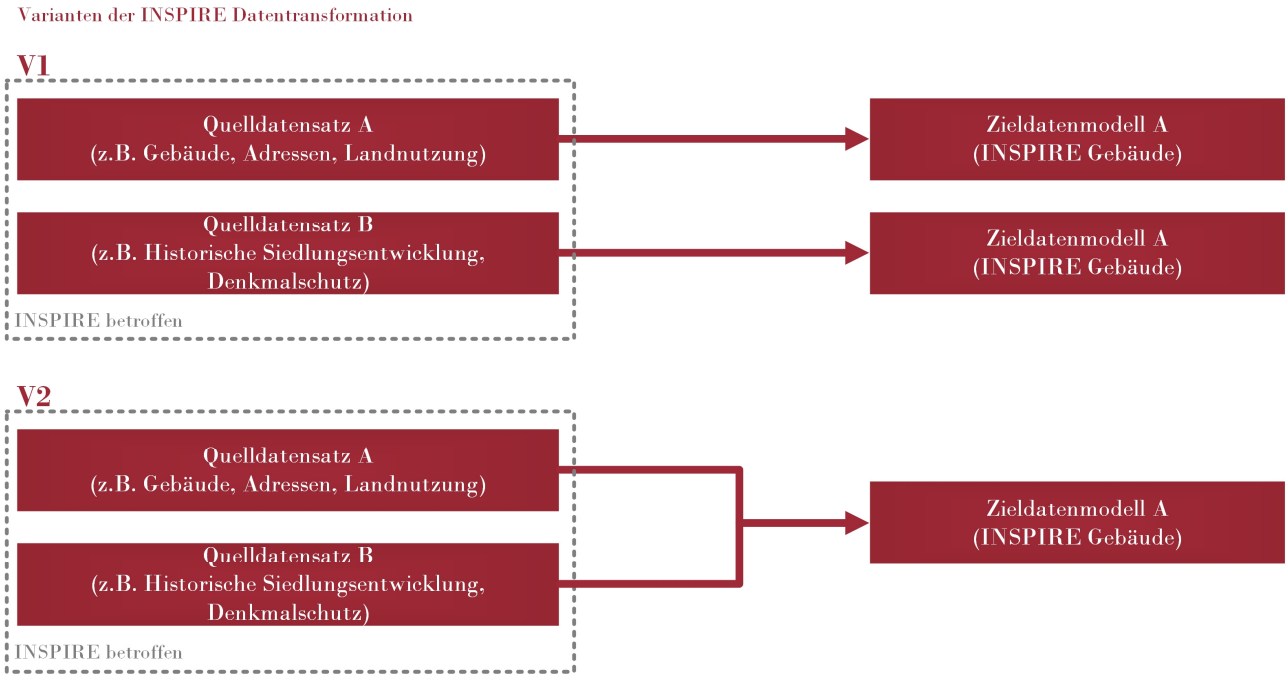

Abbildung 53: INSPIRE Datentransformation - Datenbereitstellung bei notwendiger Aggregation

Eine umfassende Diskussion, welcher der Transformationsfälle vorliegt und wie vorhandene Freiheitsgrade gefüllt werden können kann immer erst im konkreten Prozess des fachlichen und konzeptionellen Mappings stattfinden und ist hierbei insbesondere datensatzspezifisch. Die Ausführungen machen jedoch weiter deutlich, dass eine klare Unterscheidung von Modell-, Daten- und Modellierungsebene notwendig ist. Nur eine konkrete spezifizierte Modellebene kann die notwendige harmonisierte Datenbasis bereitstellen um verschiedenen Aspekte der Transformation und Zusammenführung von Datensätzen auf der Modellierungsebene durchzuführen.

6.2.3.2. ALKIS CityGML LoD I & INSPIRE BU in Deutschland

Für die konforme Bereitstellung von Gebäudeinformationen in Deutschland kommt der flächendeckend verfügbare ALKIS Grunddatenbestand in Betracht. Das AAA-Modell in der Version 6.0 sowie der zukünftigen Version 7.0 werden als maßgeblich für die Umsetzung die Deutschland angesehen (Gröger und Plümer 2014a; Aringer et al. 2016). Im Bereich des Core 2D-Profils entspricht die Klasse ‚AX_Gebaeude' dem INSPIRE ‚Building'. Eine vielzahl der Attribute beider Datenmodelle sind vergleichbar, unterscheiden sich jedoch oftmals im Detail (u.a. der Codelisten). Die Repräsentation der Geometrie ist allerdings in beiden Modellen identisch (Gröger und Plümer 2014a, S. 100).

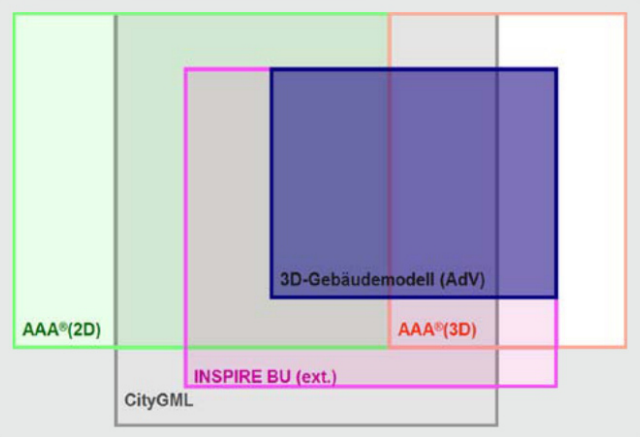

Abbildung 54: Schnittmengengröße der 3D-relevanten Datenmodelle im amtlichen Vermessungswesen in Deutschland (Quelle: (Löwner et al. 2013, S. 133)

Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der INSPIRE-BU Modellierung, dem CityGML-Standard sowie dem derzeitigen Umsetzungstand innerhalb des AAA-Modells findet sich umfassend bei (Löwner et al. 2013), weshalb an dieser Stelle nur auf einige Besonderheiten der Datentransformation eingegangen werden soll. Erste Bestrebungen zu einer harmonisierten Transformation liegen bereits vor. Im Auftrag der AdV wurde ein Mappingvorschlag zur Abbildung der Geoobjekttypen, Attribute und Relationen, basierend auf den AdV-Profilen für CityGML erstellt (Gröger und Plümer 2014a, S. 101). Den Status Quo der Datentransformation beschreibt umfassend Aringer in „Modellbasierte Transformation von 3D-Gebäudemodellen nach INSPIRE“ (Aringer et al. 2016). Eine Publikation von Roschlaub und Batscheider 2016 beschreibt einen für die Zukunft relevanten Ansatz der Datentransformation bezugnehmend zur GeoInfoDok 7.0 und der INSPIRE-konformen Datenerfassung mittels LiDAR und Bildauswertung. Grundsätzlich festgehalten wird, dass eine konforme Transformation der Ausgangsdatensätze des deutschen Vermessungswesens mit derzeitigen Softwareprodukten technologisch durchführbar ist.

Das konkrete Vorgehen einer Transformation nach einheitlichem Schema beschreibt die nachfolgende Abbildung. Aufbauend auf den Vorarbeiten einer definierten Mappingtabelle (AdV-CityGML-Profil) (AdV 2015c) wurde im Rahmen einer Forschungskooperation der Bayerischen Vermessungsverwaltung und der Technischen Universität München (TUM) der praktische Nachweis einer möglichen Transformation erbracht. In die Transformation inkludiert wurden verschiedene Prüfkriterien und Berichte. Beispielhaft erfolgte die Transformation ausgehend von CityGML LoD2 Datensätzen.

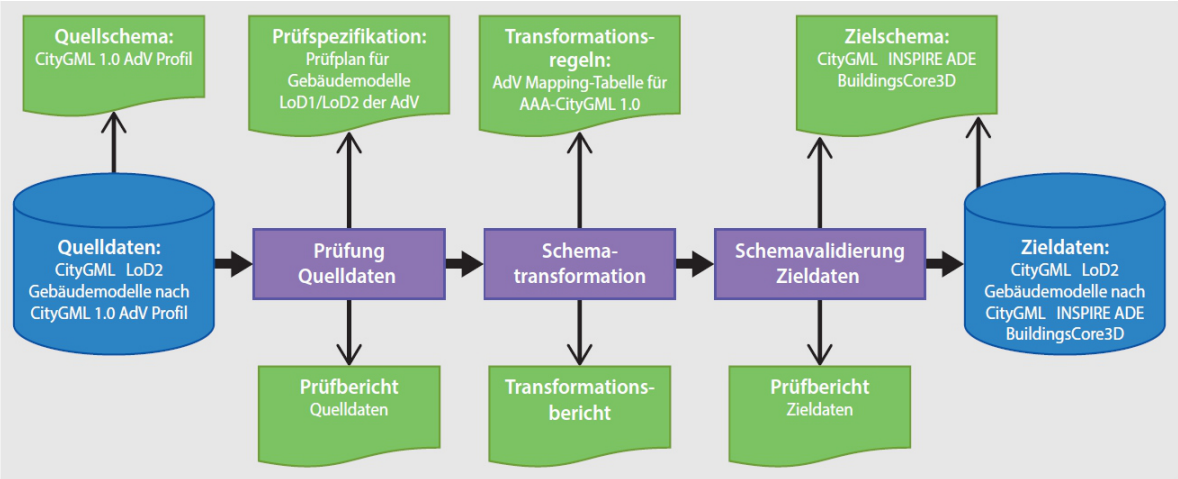

Abbildung 55: Konzept für eine semantische Transformation vom 3D-Gebäuden aus CityGML nach INSPIRE-BU (Quelle: Aringer et al. 2016, S. 186)

Die beispielhafte Transformation von Aringer et. al. hat hierbei gezeigt, dass die INSPIRE-Anforderungen aus technologischer und semantischer Sicht für das Themenfeld der Gebäude umgesetzt werden können (Aringer et al. 2016, S. 191). Im Zuge der Durchführung wurden jedoch einige Unklarheiten und zuklärende Punkte in den aktuellen Mappingtabellen und Zielschema aufgedeckt. Weiter wurden fehlende Zuordnungslisten von Codelisten für einige Attribute erstellt. Eine umfassende Transformation und Prüfung von landesweiten Datensätzen könnte damit zwar exemplarisch gezeigt werden, eine Umsetzung innerhalb der einzelnen Landesverwaltungen ist damit jedoch noch nicht erfolgt. Die Umsetzung konkreter Transformationen wird vermutlich auch erst nahe dem notwendigen Erfüllungstermin im Jahr 2020 erfolgen, ein hoher Abstimmungsbedarf innerhalb der Bund-Länderkooperationen, u.a. der AdV liegt zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch vor.

Codeliste Current Use

Von besonderer Bedeutung für die weitere Diskussion des vorliegenden Anwendungsfalls ist die Codeliste ‚CurrentUse“ (Tatsächliche Nutzung). Eine ausführliche Beschreibung der semantischen Inhalte sowie des hierarchischen Aufbaus der Codeliste findet sich im Kapitel der Typologien (7.2).

Die möglichen Werte der Codeliste werden in der INSPIRE-Registry verwaltet und sind nach nachfolgendem Schema aufgebaut: (Joint Research Centre | INSPIRE Registry 2017):
`http://inspire.ec.europa.eu/codelist/`**`CurrentUseValue`**`/`**`residential`**

Die Codeliste gehört zum INSPIRE-Thema Gebäude (Anwendungsschema: Gebäude – Basis) und hat die Erweiterbarkeit: Erweiterbar um spezifischere Werte. Für den vorgestellten Transformationsfall der ALKIS-Daten liegt zum aktuellen Zeitpunkt noch keine abstimmte Zuordnung der Nutzungsarten vor (Stand: 2018). Auch eine, spezifisch für das AAA-Modell, vorgenommene Erweiterung der Codeliste um spezifischere Werte zur Anpassung an den ALKIS-Objektartenkatalog ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht in der Diskussion. Die Codeliste kann in der Theorie um alle spezifischeren Werte des ALKIS-Objektartenkatalog erweitert werden, um eine vollständige Abbildung der ALKIS-Gebäudenutzungen zu gewährleisten. Die bisherigen Datentransformationen von (Aringer et al. 2016) sowie die Mappingtabelle der ADV (AdV 2015c) greifen die Thematik einer einheitlichen Zuordnung der Gebäudenutzungen nicht auf. Eine Diskussionsbeitrag im Wiki der GDI-DE zum aktuellen Sachstand einer abgestimmten Mappingtabelle führt zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine relevanten Arbeiten und Ergebnisse zu hervor (Schnitzer 2017).

Neben der technischen Zuordnung einzelner Objektgruppen im Rahmen der Transformation ist es insbesondere die abgestimmte semantische Zuordnung der Wertebereiche (hier Codelisten) welche eine einheitliche Transformation erschweren. Besonders die in den Bundeländern unterschiedliche Nutzung der ALKIS-Codeliste für

AX_Gebäude (gebaeudefunktion) (AdV 2015b) erschwert ein harmonisiertes Vorgehen und macht damit umfassendere Abstimmungsprozesse notwendig. Die von der AdV in Auftrag gegebene Mappingtabelle zur Evaluation einer Umsetzung von INSPIRE-konformen 3D-Gebäudemodellen liegt für die Fragestellung einer bundesweit standardisierten Zuordnung der Attributwerte (AX_Gebauedefunktion zu INSPIRE CurrentUse) derzeit nicht vor (Gruber 2017).

Als Vorschlag zur weiteren Diskussion und Abstimmung wurde eine Zuordnung der ‚AX_Gebauedefunktion' aus ALKIS und der (nicht erweiterten) INSPIRE-Codeliste CurrentUse erstellt. Der Aufbau der Zuordnungstabelle ist nachfolgend dargestellt. Die gesamte Tabelle aller Gebäudefunktionen und deren Zuordnung findet sich in Anhang 6-1 (Mappingtabelle INSPIRE-BU Current-Use und ALKIS AX_Gebäude).[15]

Insbesondere zu Problemen bei der einheitlichen Zuordnung führen Objektklassen, welche im Ausgangsmodell mehrere Nutzungsarten aggregierten (z.B. Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe). Diese gehen in den beiden Klassen ‚industrial' und ‚commerce and service' der INSPIRE-Typisierung auf, können hier also nicht eindeutig zugeordnet werden. Eine abschließende Diskussion dieser Problematik sowie eine beispielhafte Zuordnung findet im Kapitel der Datenebene statt. Der hohe Abstimmungsbedarf, insbesondere von bundeseinheitlicher Datensätze hoher Qualität, auch im Kontext von INSPIRE, wird an dieser Stelle deutlich.

Tabelle 5: Mappingtabelle INSPIRE-BU Current-Use und ALKIS AX_Gebäude (Auszug aus Anhang 6-1)

* - Zweideutige Typisierung

ALKIS CODE	Bezeichner	Beschreibung	INSPIRE _Main	INSPIRE _Sub	INSPIRE _Sub_2	Kommentar	Anmerkung
1000	Wohngebäude	'Wohngebäude' ist ein Gebäude, das zum Wohnen genutzt wird.	residential				
1010	Wohnhaus	'Wohnhaus' ist ein Gebäude, in dem Menschen ihren Wohnsitz haben.	residential				
1020	Wohnheim	Wohnheim' ist ein Gebäude, das nach seiner baulichen Anlage und Ausstattung zur Unterbringung von Studenten, Arbeitern u.a. bestimmt ist.	residential	residence for communities			
1021	Kinderheim		residential	residence for communities			
1022	Seniorenheim		residential	residence for communities			
1023	Schwesternwohnheim		residential	residence for communities			
1024	Studenten-, Schülerwohnheim		residential	residence for communities			

[15] Der Zuordnungsvorschlag wurde im Rahmen der Arbeit zu freien Kommentierung im Wiki der GDI-DE verlinkt Schnitzer 2017.

1025	Schul-land-heim	Schullandheim' ist ein Gebäude in ländlicher Region, in dem sich Schulklassen jeweils für einige Tage zur Erholung und zum Unterricht aufhalten.	residential	residence for communities		
1100	Gemischt genutztes Gebäude mit Wohnen	Gemischt genutztes Gebäude mit Wohnen' ist ein Gebäude, in dem sowohl gewohnt wird, als auch Teile des Gebäude zum Anbieten von Dienstleistungen, zur Durchführung von öffentlichen oder privaten Verwaltungsarbeiten, zur gewerblichen oder industriellen Tätigkeit genutzt werden.	residential*		Ergänzend alle anderen Gebäudetypen	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
…						
2000	Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe' ist ein Gebäude, das der Produktion von Waren, der Verteilung von Gütern und dem Angebot von Dienstleistungen dient.	industrial / commerce and service		Unklar, beide Kategorien zutreffend	

6.3. Modellannahmen – Definitionen zur Schließung von Datenlücken

Wie aus der Beschreibung unterschiedlicher Geodatenstandards für Gebäude hervorgeht sind gewisse Datenlücken nicht prinzipiell durch individuelle Datensätze zu decken. Für eine konkrete Umsetzung eines Urban Mining Kataster sind daher an unterschiedlichen Stellen Festlegungen zu treffen, welche die auf der Modellebene aufbauende Datenebene ergänzen. Ein entscheidender Parameter ist die in 3D-Gebäudemodellen in der Regel nicht modellierte Unterkellerung von Gebäuden. Verschiedene Studien lassen hier eine Ableitung von möglichen Annahmen zu. Auf Basis von Expertenbefragungen wurden unter anderem in der Stadt Wien durchschnittliche Höhen für Keller und Dachaufbauten für die unterschiedlichen Gebäudetypen erfragt (md stadtbaudirektion et al. 2015) sowie (Kleemann et al. 2016a). Diese Werte stellen im konkreten Anwendungsfall nur eine erste Orientierung dar, zeigen aber den grundlegenden Ansatz vorhandene Datenlücken zu schließen. Alternativ kann neben Expertenbefragungen auch auf Daten aus der Statistik oder beispielsweise der BKI zurückgegriffen werden. Die Analyse von Gruhler und Deilmann 2015 wertet für die relevanten NWG auch Daten zur durchschnittlichen Unterkellerung der Gebäude aus. Relevante Werte sind hierbei die prozentualen Unterkellerungen bestimmter Gebäudetypen. Auch diese Informationen können als Interpolationswerte in späteren Betrachtungen angewandt werden.

Tabelle 4 Gebäudekategorien nach Bauperiode und Nutzung sowie addierte Höhen für Keller und Dach.

Kategorie	addierte Höhe [m] Keller	addierte Höhe [m] Dach
Erbaut vor 1918, Wohnnutzung	3,75	2,42
Erbaut vor 1918, gewerbliche Nutzung	2,21	2,42
Erbaut vor 1918, industrielle, Nutzung	0,57	1,83
Erbaut zwischen 1919 und 1945 Wohnnutzung	3,50	2,42
Erbaut zwischen 1919 und 1945 gewerbliche Nutzung	1,79	2,42
Erbaut zwischen 1919 und 1945 industrielle Nutzung	0,71	1,83
Erbaut zwischen 1946 und 1976 Wohnnutzung	3,43	2,33
Erbaut zwischen 1946 und 1976 gewerbliche Nutzung	1,79	1,75
Erbaut zwischen 1946 und 1976 industrielle Nutzung	0,57	1,08
Erbaut zwischen 1977 und 1996 Wohnnutzung	4,43	2,25
Erbaut zwischen 1977 und 1996 gewerbliche Nutzung	2,00	1,58
Erbaut zwischen 1977 und 1996 industrielle Nutzung	0,50	0,50
Erbaut nach 1996, Wohnnutzung	5,21	2,25
Erbaut nach 1996, gewerbliche Nutzung	2,43	0,67
Erbaut nach 1996, industrielle, Nutzung	0,50	0,42
Mittelwert vor 1918	2,18	2,22
Mittelwert 1919 - 1945	2,00	2,22
Mitterwert 1946 - 1976	1,93	1,72
Mittelwert 1977 - 1996	2,31	1,44
Mittelwert nach 1996	2,71	1,11
Mittelwert Wohnen	4,06	2,33
Mittelwert Gewerbe	2,04	1,77
Mittelwert Industrie	0,57	1,13
Mittelwert Gesamt	2,23	1,74

Abbildung 56: Addierte Gebäudehöhen (md stadtbaudirektion et al. 2015, S. 28)

Table S11 Expert estimation about average height of basements floors and roofs of different building categories (sample size: 9)

Category		Average height basement floor(s) [m]	Average height roof [m]	standard deviation basement	standard deviation roof
Before 1918	Residential	3.75	2.42	0.40	0.34
	Commercial	2.21	2.42	1.96	0.34
	Industrial	0.57	1.83	1.40	0.90
1919-1945	Residential	3.50	2.42	0.38	0.34
	Commercial	1.79	2.42	1.56	0.34
	Industrial	0.71	1.83	1.75	0.90
1946-1976	Residential	3.43	2.33	0.42	0.37
	Commercial	1.79	1.75	1.56	0.75
	Industrial	0.57	1.08	1.40	0.45
1977-1996	Residential	4.43	2.25	1.37	0.48
	Commercial	2.00	1.58	1.75	0.61
	Industrial	0.50	0.50	1.22	0.50
After 1997	Residential	5.21	2.25	1.96	0.75
	Commercial	2.43	0.67	2.43	0.75
	Industrial	0.50	0.42	1.22	0.45

Abbildung 57: Expertenschätzung zu addierten Gebäudehöhen (Kleemann et al. 2016a, supporting Informations)

Exemplarisch anwendbar sind die aus der Expertenschätzung von (Kleemann et al. 2016a) hervorgegangenen durchschnittlichen Keller- und Dachhöhen. Je nach verwendetem LoD der zur weiteren Berechnung angewendeten 3D-Gebäudemodelle sind Dachhöhen mit in die Kalkulation einzubeziehen. Relevant für die Interpretation ist im INSPIRE-Datenmodell die Referenz ‚ElevationReferenceValue'. Kellergeschosse sind in aktuellen 3D-Gebäudemodellen nicht modelliert und erfasst.

Tabelle 6: Zu addierende Gebäudehöhen (Kellergeschosse) nach (Kleemann et al. 2016a), zugeordnet zur INSPIRE-Typologie CurrentUse

INSPIRE							
Maintype	**Sub-Type**	**Sub-Sub-Type**	Mittel-wert	Mittel-wert	Mittel-wert	Mittel-wert	Mittel-wert
residential			3,75	3,5	3,43	4,43	5,21
	individual residence						
	collective residence						
		two Dwellings					
		more than two Dewllings					
	residence for communities						
agriculture							
industrial			0,57	0,71	0,57	0,5	0,5
commerce and service			2,21	1,79	1,79	2	2,43
	office						
	trade						
	public services						
ancillary							

6.4. Modellebene: Geodateninfrastrukturen - eine harmonisierte Basis für ein 'Urban Mining Kataster'

Aus der vorangegangenen Beschreibung aktueller Standards für die Modellierung von 3D-Gebäudemodellen gehen die CityGML sowie INSPIRE-BU Modellierung als wesentliche Standards hervor. Relevant für die weitere Anwendung ist insbesondere die INSPIRE-BU Modellierung. Der modulare Aufbau, die EU-weit vereinheitlichte Semantik sowie unterschiedliche Profile der Detaillierung lassen ihn für den beschriebenen Anwendungsfall des ‚Urban Mining Kataster' als geeignet erscheinen. Die bereits erfolgte exemplarische Überführung der LoD Modelle des AAA-Models nach INSPIRE zeigen zudem die Möglichkeit einer zukünftig zu erwartenden flächendeckenden Verfügbarkeit. Die optionale Erweiterung und Anpassung des Modells eröffnet spezifischen Anwendungsfällen zudem die Möglichkeit einer Nutzung. Vergleichbare Erweiterungen sind im AAA-Modell nicht vorgesehen.

Offen für das weitere Vorgehen bleibt damit die konkrete Anwendung der INSPIRE-BU Modellierung für den Anwendungsfall des Urban Mining Kataster (Modellebene). Die Datenspezifikation selbst deklariert nur ein Austauschformat bzw. die Bereitstellung der Daten als Darstellungs- oder Downloaddienst konform zu den INSPIRE-Durchführungsbestimmung für Netzdienste (IOC Task Force Network Services 2013a, 2013b). Eine Vorgabe wie Daten gespeichert und intern modelliert werden erfolgt nicht. Fraglich für die Durchführung einer Datentransformation größerer Datenmengen ist zudem deren Zwischenspeicherung.[16] Bisher liegt keine Möglichkeit vor, INSPIRE-Gebäudedaten vollständig konform zur Spezifikation in einer Geodatenbank zu speichern, auf diese zuzugreifen und weiterführende Analysen und sowie Anpassungen vorzunehmen. Die INSPIRE-Daten werden in der Regel im GML-Anwendungsschema als Austauschformat bereitgestellt und anschließend wieder in entsprechende interne Anwendungsschemas überführt. Insbesondere für die Anwendung und Nutzung der Daten ist ein umfassender Zugriff auf die Daten für Analyse und Datenaggregation notwendig. Das im Projekt GeoSmartCity erstellte PostGIS[17]-Datenbankschema mit entsprechender Erweiterung für Energiebedarfsprognosen stellt hierzu einen möglichen Ansatz dar (GeoSmartCity 2017a). Ein Zugriff auf die Daten erfolgt im Projekt nur beispielhaft über das ETL-Tool HALE[18]. Eine konkrete Nutzung und Analyse der Daten im Datenbankschema erfolgt nicht. Weitere direkte Umsetzungen oder Best-Practice Beispiele mit umfassenden Datensätzen konform zur INSPIRE-BU-Modellierung liegen nicht vor. GML als XML-basiere Auszeichnungssprache erscheint weiter gänzlich ungeeignet für die Speicherung von großen Mengen Geodaten, wenn diese in gleichem Zuge bearbeitet und analysiert werden sollen. Als reines Austauschformat, was im Fokus von INSPIRE steht, ist es hingegen aufgrund seiner klaren Modellierung ideal. Auch der Monitoringbericht der GDI-DE bezieht klar Stellung zur aktuellen Komplexität der GML-Anwendungsschemata in INSPIRE. „Es entstehen vielfach Probleme, die komplexen GML-Daten zu verarbeiten und auszuliefern." (Lenkungsgremium GDI-DE 2016, S. 23). Vielfach sind zudem die derzeit am Markt verfügbaren Softwaren zur Geodatenverarbeitung noch nicht dazu in der Lage die komplexen GML-Daten unmittelbar zu verarbeiten. Es wird in der Regel immer ein Zwischenschritt der Transformation durchgeführt.

Für das weitere Vorgehen wird daher ein Modell definiert, welches klar an der INSPIRE-BU-Datenmodellierung (insbesondere der Semantik und grundlegenden Geometrie) orientiert ist, jedoch zur einfachen Bearbeitung und Fortführung in einer konformen Struktur innerhalb einer performanten Geodatenbank abgelegt werden kann (Modellebene). Wie die Beschreibung in Kapitel 5.2 gezeigt hat, ist für den Aufbau des Urban Mining

[16] Zum gegenwärtigen Zeitpunkt der INSPIRE-Umsetzung ist davon auszugehen, dass eine vorgelagerte Transformation der Datensätze notwendig ist, da keine flächendeckenden INSPIRE-BU Datensätze ad-hoc für Analysen im Rahmen des vorliegenden Use-Case zur Verfügung stehen.

[17] PostGIS 2016.

[18] hale studio 2017.

Kataster eine Modellebene zu definieren, welche abgestufte Aggregierungsprozesse auf der Datenebene zulässt. Die damit einhergehende Notwendigkeit eines dynamischen und performanten Direktzugriffes auf die Geodaten macht zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Zwischenebene zur Speicherung der Gebäudedaten notwendig. Als solche Zwischenebenen wird auf der Modellebene somit das „INSPIRE BU 2D Simple“ (IN-BU-Sim) Modell eingeführt. Das ‚IN-BU-Sim‘ modelliert die Kernanforderungen der Semantik in einer PostGIS-Datenbank, notwendige Erweiterungen, wie solche der vergleichenden Volumenberechnung fließen in diese Modellierung mit ein. Wie die nachfolgende Abbildung 58 verdeutlicht, dient das IN-BU-Sim damit als analytische Zwischenebene. Klar definierte Transformationsprozesse, sowohl für die initiale Nutzung der CityGML LoD1-Daten des AAA-Modells, als auch konforme Datensätze der INSPIRE-BU Datenspezifikation lassen sich in der analytische Zwischenebene für den skizierten Anwendungsfall nutzen. Vorteil dieser Lösung ist, dass auf Seite der initialen Befüllung der verschiedenen Ausgangsdatensätze (siehe hierzu Varianten der INSPIRE-Datentransformation) Verfahren der Geodatenaggregation genutzt werden können. Das Datenmodell ist als komplexe Modellierung und als standardisiertes Austauschformat definiert. Für die tatsächliche Nutzung sind die komplexen Datentypen nicht in dem Sinne geeignet und notwendig. Sinnvoll erscheint es die INSPIRE-Struktur zu modellieren und nah am Zielmodell eine Datenintegration durchzuführen. Die finale Ausgabe in Form eines INSPIRE-konformen, bzw. erweiterten und angepassten Modells zur integralen und übergreifenden Weiternutzung der Daten erscheint sinnvoll. Eine anschließende Transformation von und in das konforme INSPIRE-BU Datenmodell ist ohne weiteres möglich, da die Ebene der semantischen und konzeptionellen Transformation der Datensätze bereits stattgefunden hat. Eine rein technische Überführung in ein INSPIRE-konformes Anwendungsschema in Form von GML ist hierbei ein vergleichbar kleiner Transformationsschritt.

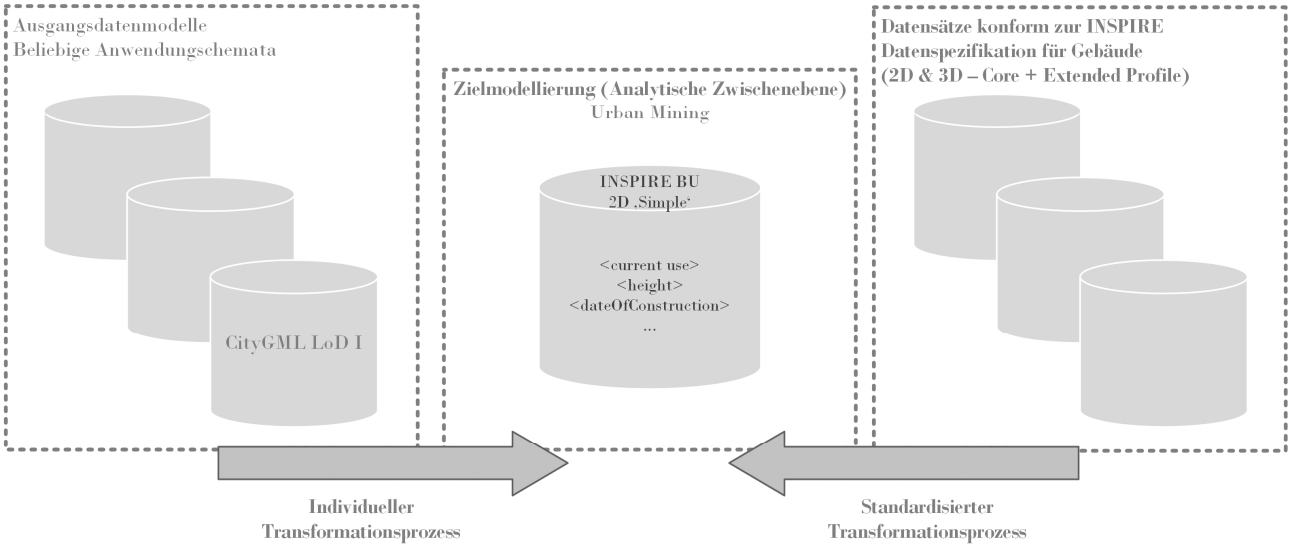

Abbildung 58: Aufbau der INSPIRE BU 2D Simple Zwischenmodellierung

6.5. Definition des INSPIRE BU 2D Simple Model für ein Urban Mining Kataster

Die detaillierte Modellierung und Definition des IN-BU-Sim Models erfolgt anhand den in Kapitel 5 und 6 definierten Anforderungen. Ein grundlegendes INSPIRE-BU-Modell kann über die interaktive „Find my Scope“ Anwendung des JRC (Joint Research Centre 2016) erstellt werden. Die Basisanforderungen, basierend auf dem INSPIRE-BU-Modell werden hierbei ausgewählt und konform der Beschreibung der INSPIRE-Datenspezifikation (INSPIRE TWG BU 2013) heruntergeladen. Mögliche Erweiterungen, Anpassungen sowie ein anschließendes Mapping auf das Ausgangs- oder im diesem Fall Zielmodell (IN-BU-Sim) erfolgt in einer vorgegebenen Tabellenstruktur (Mappingtable). Im vorliegenden Anwendungsfall handelt es sich bei den Ausgangsdatensätzen um LoD0 oder LoD1 Gebäudemodelle, eine Nutzung des INSPIRE CORE 2D Modells ist daher als zielführend anzusehen um unnötige Komplexitäten zu vermeiden. Die Modellierung der Geometrien im INSPIRE-BU-Modell sind

jedoch grundsätzlich unabhängig der spezifizierten Semantik, womit eine Erweiterung und spezifisch modulare Anpassung je nach Ausgansdatensatz ermöglicht wird. Sofern LoD2-Modelle Anwendung finden und damit auch wesentlich exaktere Berechnungen von Gebäudevolumen möglich sind (detaillierte Dachformen), ist eine Erweiterung des Modells partiell notwendig.

Zusammengefasst ist es Ziel dieses Modells, eine INSPIRE-BU nahe Geodatenhaltung in einer PostGIS-Datenbank vorzunehmen. Dieser Zwischenschritt ist notwendig, da eine reine Modellierung des INSPIRE-Anwendungsschemas, z.B. in Form von konformen GML-Dateien nicht handhabbar ist, um weitere geometrische und attributive Analysen und Datenaggregationen vorzunehmen. Das IN-BU-Sim ist somit auf der einen Seite Ziel- und Zwischenmodell für den hier umgesetzten Transformations- und Aggregationsprozess, und ebenso umgekehrt Ziel- und Zwischenmodell für alle auf in Zukunft verfügbaren INSPIRE-konformen Datensätzen. Alle relevanten Attribute und Geometrien des INSPIRE-BU-2D Schemas werden dabei berücksichtigt. Im Gegensatz zum komplexen Datenmodell wird jedoch auf komplexe und theoretisch erlaubte mehrfach vorkommende Attribute verzichtet. Beispielsweise wurde der Datentyp <DateOfEvent> mit seinen einzelnen Attributen (beginning, end, anypoint) nur in einer flachen Struktur umgesetzt. Vorteil dieses flachen Datenbankmodells ist es, eine Bearbeitung, Analyse und Datenanreicherung mittels gängiger Geoinformationssysteme umzusetzen. Da zum jetzigen Zeitpunkt noch keine flächendeckenden INSPIRE Datenmodellkonformen Datensätze vorhanden sind, muss eine Modellierung nach INSPIRE vorgenommen werden und eine entsprechende Transformton in die Zieldatenmodelle durchgeführt werden. Weiter sind für eventuelle Zwischenschritte und vergleichende Analysen zusätzliche Attribute notwendig. Beispielhaft sei hier auf unterschiedliche Varianten der Volumenberechnung von 3D-Gebäudemodellen verwiesen. Möglicherweise unterschiedliche Ergebnisse der Berechnung müssen zwischenzeitlich gespeichert und für weitere vergleichende Analysen vorgehalten werden. Auch gilt es bei einer Datenaggregation und unklaren lizenzrechtlichen Fragestellungen Metadaten je Objekt zur Datenherkunft zu speichern. Die INSPIRE-Modellierung sieht solche Erweiterungen der Modelle im späteren Verlauf der Entwicklung für harmonisierte Anwendungsfälle vor, beispielhaft sei hier auf das gemeinsame Pilotprojekt von Geonovum, dem JRC und der European Environmental Agency, durchgeführt von wetransform verwiesen (wetransform 2017).

Aufbau des INSPIRE BU 2D Simple Model

Zentrales Element bei der Definition und Beschreibung des Anwendungsschemas ist die sich in Anhang 6-3 befindliche Tabelle. Alle relevanten Attribute, Verweise und Codelisten des INSPIRE BU Schema finden sich auf der linken Seiten. Angegeben ist deren Definition nach INSPIRE inklusive der Verweise auf bestehenden Enumerationen und deren Multiplizität. Dem zugeordnet und definiert, finden sich auf der rechten Zuordnungsseite die konkreten Attributnamen im PostGIS-Schema des IN-BU-Sim-Modells. Weitere Anmerkungen zu den entsprechenden Wertebereichen und Feldtypen sind hier ebenso aufgeführt wie die Verweise auf konkrete Deklarationen aus der INSPIRE-Registry. In einem letzten Schritt erfolgt zudem die direkte Zuordnung zu allen Attributen des AdV LoD1-Datenmodell für 3D-Gebäudemodelle in Deutschland. Als Erläuterung und Vorbereitung des technischen Mappings findet an dieser Stelle bereits eine Definition der Transformationsfälle gemäß der vorangegangenen Beschreibung statt (Fall 1-5).

Angelehnt an CityGML bietet das INSPIRE-Gebäudemodell die Möglichkeit Gebäude in Form eines „Building“ oder unterteilt in jeweilige „Building-Parts“ zu modellieren, die semantische Beschreibung gilt gleichbedeutend. In der Mappingtabelle wird die Zuordnung exemplarisch für die Klasse „Building“ vorgenommen, gilt aber identisch für deren „BuildingParts“.

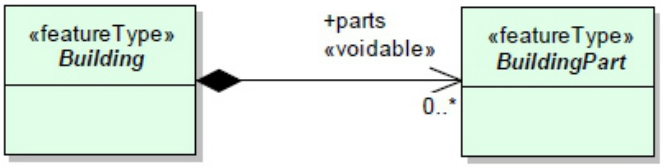

Abbildung 59: INSPIRE BU (Building und Building-Parts) (INSPIRE TWG BU 2013)

Die Modellierung im PostGIS-Schema kann an dieser Stelle äquivalent umgesetzt werden. Einige Attribute wurden für die PostGIS-Modellierung in Einzelteile untergliedert oder verallgemeinert. So sieht <currentUse> laut INSPIRE-Spezifikation eine prozentuale Aufteilung der Nutzung vor (komplexer Typ). Im IN-BU-Sim wurde auf diese Modellierung verzichtet und <currtent use> als einfaches Attribut, ohne der Option einer prozentualen Aufteilung, modelliert. Eine Erweiterung der Codeliste wird in Kapitel 7.7 INSPIRE Codeliste CurrentUse diskutiert und eingeführt.

Zusätzliche Attribute

Neben der Definition der INSPIRE-Anforderungen wurden am Ende der Mappingtabelle einige zusätzliche Attribute zum Aufbau des Urban Mining Kataster eingeführt. Diese liegen außerhalb des konkreten INSPIRE-Modells, bewegen sich aber im Definitionsrahmen der Datenspezifikationen. Vergleichbare Projekte, wie solche der Energiebedarfsprognosen (GeoSmartCity 2007-2013) verwenden einen vergleichbaren Ansatz (GeoSmartCity 2017a). Bezeichnet wird diese Erweiterung, angelehnt an die CityGML-Modellierung, als Urban Mining ADE (um_ade). Als wesentliche Attribute der sind die folgenden zu nennen:

Tabelle 7: Zusätzliche Attribute im IN-BU-Sim - Urban Mining ADE

Attributname	**Standardwert**	**Type**	**Quelle**	**Beschreibung**
um_ade_volume.value_{}		double	Berechnung	Volumen des Gebäudes
um_ade_volume.type_{}	gross volume	varchar		Definition des Volumentyps
um_ade_volume.source_{}		varchar	z.B. 3D- Geometrie- FME Berechnung	Quelle der Berechnung (Art / Methode)
um_ade_alkis_building_function		varchar		Original ALKIS Gebäudefunktion
um_ade_gemeindeschluessel		varchar		ALKIS Gemeindeschluessel
um_materials.mineral		double	Berechnung	Attribut für die spätere Berechnung des Materials im Gebäude
um_materials.metal		double	Berechnung	Attribut für die spätere Berechnung des Materials im Gebäude
um_materials.organic		double	Berechnung	Attribut für die spätere Berechnung des Materials im Gebäude

Die vollständige technische Umsetzung und Modellierung der Datenbank erfolgt mittels der Software pgModeler 0.8.2 (Raphael A. Silva 2016). Ein vollständiges SQL-Skript, welches zum Anlegen der Datenbank verwendet werden kann, findet sich in Anhang 6-5.

Abbildung 60: INSPIRE BU Simple 2D - PostGIS Model (aus Anhang 6-4)

7. Modellierungsebene: Typologien, Virtuelle Gebäude und Materialkennziffern (MKZ)

Neben der Definition der Modellebene der Geodatenmodellierung spielt die einheitliche Festlegung der Semantik hinsichtlich der Beschreibung von Gebäuden eine große Rolle. Modell- und Modellierungsebene gehen hier, für den entsprechenden Anwendungsfall ineinander über. Typologien, der in der Forschung oft verwendete Begriff der „virtuellen Gebäuden“ sowie darauf anzubringende Materialkennziffern stehen daher im Fokus dieses Kapitels. Wie unterschiedliche aktuelle Studien zeigen ist die Materialintensität zwischen verschiedenartigen Gebäudetypen sehr heterogen. Eine detailliert ausgestaltetet Gebäudetypologie ist zwingend erforderlich, diese Typologie muss für den vorliegenden Anwendungsfall die semantischen Codelisten der Modellebenen begründen und definieren.

7.1. Begriffsdefinitionen

Für die weitere Beschreibung unterschiedlicher Typologien sowie der Festlegung von Materialkennziffern (MKZ) für eine spätere Ressourceninventarbetrachtung ist die Vereinheitlichung einiger Begriffe notwendig. Oftmals werden identische Inhalte mit differenzierten Begriffen und Definitionen in der Literatur verwendet. Insbesondere auch unterschiedliche Sprachen der primären Fachliteratur machen eine Vereinheitlichung für das weitere Vorgehen notwendig.

7.1.1. Bauköperspezifische Definitionen und Kenngrößen

Brutto-Rauminhalt (BRI) (Englisch: gross cubic content (GCC), gross volume), ist definiert als das „Gesamtvolumen des Bauwerks“ (E DIN 277-1:2015-03).

> „Zum Brutto-Rauminhalt (BRI) gehören die Rauminhalte aller Räume und Baukonstruktionen, die sich über den Brutto-Grundflächen (BGF) des Bauwerks befinden. Der Brutto-Rauminhalt (BRI) wird von den äußeren Begrenzungsflächen der konstruktiven Bauwerkssohle, der Außenwände und der Dächer einschließlich Dachgauben oder Dachoberlichter umschlossen.“

Auch äquivalent mit dem Begriff BRI ist der in der Vergangenheit verwendete Begriff „Umbauter Raum“. Der Begriff Umbauter Raum wurde 1950 in der DIN 277 verwendet und in späteren Definitionen durch den BRI ersetzt.

Zur Ermittlung des BRI definiert die (E DIN 277-1:2015-03) folgendes Vorgehen:

> „Beim untersten Geschoss des Bauwerks gilt als Höhe der Abstand von der Unterseite der konstruktiven Bauwerkssohle bis zur Oberseite des Deckenbelags der darüber liegenden Grundrissebene. Bei Bauwerken oder Bauwerksteilen, die von nicht vertikalen oder nicht waagerechten Flächen begrenzt werden, ist der Rauminhalt nach entsprechenden geometrischen Formeln zu ermitteln.“

Brutto-Grundfläche (BGF) (Englisch gross floor Area) (E DIN 277-1:2015-03)

Gesamtfläche aller Grundrissebenen des Bauwerks.

Bebaute Fläche (BF) (Englisch: built-up area) (E DIN 277-1:2015-03)

Teilfläche der Grundstücksfläche, die durch Bauwerke oberhalb der Geländeoberfläche überbaut bzw. überdeckt oder unterhalb der Geländeoberfläche unterbaut ist.

Virtuelle Gebäude, Synthetische Gebäude

Virtuelle oder auch Synthetische Gebäude sind nicht real existierende, gemittelte Gebäude, welche aus einem größeren Datenbestand mittels z.B. Materialaufwandsberechnungen gebildet werden. Synthetische Gebäude stellen dabei Informationen zum durchschnittlichen Materialaufwand (z.B. in kg/m³ BRI) für den entsprechenden Gebäudetyp zur Verfügung.

‚Indexgebäude', ‚Gebäude-Repräsentanten ' bzw. ‚Typenvertreter

Von ‚virtuellen' oder ‚synthetischen' Gebäuden abzugrenzen sind die der Typvertreter oder auch Repräsentanten. Diese stellen ein für eine bestimmte Gebäudeklasse typisches Gebäude dar und sind damit real existent. Virtuelle Gebäude oder synthetische Gebäudetypen hingegeben stellen eine verallgemeinerte Beschreibung dar, bestehen in der Regel jedoch nicht in der Realität.

Das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) definiert Gebäude-Repräsentanten wie folgt:

> "Ein Gebäude-Repräsentant ist (als real/fiktiv existierendes Gebäude) ein typischer Vertreter einer Gebäude-Gruppe (hier Baualtersgruppe). Er hat alle charakteristischen Merkmale dieser Gruppe." (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2017)

Referenzgebäude lassen sich nach SCHWAIGER wie folgt definieren:

> „Repräsentanten sind real existierende Gebäude, die stofflich, räumlich und semantisch umfangreich beschrieben und modelliert in der Datenbank abgelegt werden." (Schwaiger 2002, S. 95)

Synthetische Gebäude lassen sich damit wie folgt definieren:

> „Synthetische Gebäude werden aus einer unterschiedlichen Anzahl einzelner konkreter Bauobjekte gebildet und berechnet. Sie spiegeln damit den Durschnitt dieser Menge von Gebäuden wider und werden sozusagen synthetisch definiert. (Definition in Anlehnung an: (Gruhler und Deilmann 2015, S. 9))

Rohstoffintensitäten, Materialkennziffern, Durchschnittlicher Materialaufwand

Die Material- bzw. Rohstoffgehalte je vereinheitlichter Bezugsgröße. Beispielsweise je Brutto-Rauminhalt (BRI) gemäß DIN 277-1. Als Einheit ergibt sich daraus z.B.: [kg/m³ BRI].

7.1.2. Rohstoff- und Materialgruppen

Neben der theoretischen Definition von Gebäudetypen und zusammenfassenden Typologien stellt sich die Frage nach sogenannten Materialintensitäten der einzelnen Gebäudegruppen. Eine einheitliche Definition der Rohstoffgruppen liegt in der Literatur derzeit nicht vor. Einzig festzuhalten ist, dass Bottom-Up Ansätze meist Verbundstoffe bzw. Abfallprodukte in die Betrachtung einbeziehen während Top-Down Ansätze sich auf die Rohmaterialien (Primärrohstoffe) fokussieren. Hinsichtlich der Kategorisierung von Baustoffmaterialien kann auf die Struktur von (Kleemann et al. 2016a) zurückgegriffen werden. Diese unterteilt die Rohstoffe für Bottom-Up Betrachtungen, ähnlich vergangener Studien zum Materialgehalt von Gebäuden, in die drei Hauptkategorien: mineralisch, organisch und metallisch. Eine Zuordnung der entsprechend untergeordneten Gruppen findet sich in der nachfolgenden Tabelle, erweitert um weitere in der Literatur verwendete Subkategorien und deren Zuordnung zur Hauptkategorie. Die hierarchische Gruppierung ermöglicht unterschiedliche Detaillierungsgrade und eine Zuordnung verschiedener Nomenklaturen unterschiedlicher Publikationen zu den drei vereinheitlichten Hauptgruppen.

Tabelle 8: Rohstoff-, Baustoff- und Materialgruppen (mineralisch, organisch, metallisch)

Hauptkategorie		**Subkategorie**		**PRRIG (Schebek et al. 2016a) Verwendete Rohstoffgruppen im Forschungsprojekt PRRIG**
Englisch	Deutsch	Englisch	Deutsch	
mineral	mineralisch			
		Concrete	Beton	concrete
		Gravel/sand	Kies, Sand	
		Bricks	Backsteine, Ziegel	masonry, brick, tiles
		Mortar/plaster	Mörtel	
		Mineral fill	mineralischer Füllstoff	
		Slag fill	Schlacke	
		Hollow bricks	Hohlziegel	
		Foamed clay bricks	geschäumte Lehm Ziegel	
		Plaster boards/gypsum	Gipskarton	
		Glass	Glas	glass
		Ceramics	Keramik	
		Natural stone	Steine	
		Mineral wool	Mineralwolle	
		Mineral wool boards	Mineralwolle-Platten	
		(Cement) asbestos	Asbestzement	
		sealing sheets	Beläge, Dichtungsbahnen	
		roof cover	Dachdeckungen	
		building panel	Bauplatten	
organic	organisch			
		Wood	Holz	wood
		Heraklit	Heraklit	
		Paper/Cardboard	Papier	
		PVC	PVC	
		Various plastics	Plastik	
		Carpet	Teppich	
		Laminate	Laminat	
		Linoleum	Linoleum	
		Asphalt	Asphalt	
		Bitumen	Bitumen	
		Polystyrene	Styropor	
		heat insulator	Wärmedämmstoffe	
Metal	metallisch			
		Iron/Steel	Eisen / Stahl	FE-Metalls
		Aluminium	Aluminium	Aluminium
		Copper	Kupfer	Copper
		Lead	Blei	
		Brass	Messing	
				Others

7.2. Typologien und Codierungen

Typologien für Gebäude spielen in verschiedenen Bereichen eine bedeutende Rolle. Eine Vielzahl von Forschungsinitiativen beschäftigen sich mit einer harmonisierten Typisierung.

Für diese Arbeit von Bedeutung sind insbesondere solche Typologien, welche, aus Forschungsprojekten hervorgehend, versuchen eine syntaktisch und semantisch einheitliche Beschreibung der Gebäudestruktur vorzunehmen. Zum anderen sind solche relevant, die aus dem Bereich der Geodatenmodellierung eine Anwendungsneutrale Typisierung vornehmen. Besonderer Fokus der weiteren Betrachtung liegt demnach auf der technischen Umsetzbarkeit und Anwendbarkeit der Typologie in Bezug auf Geodatenmodellierungen.

7.2.1. Ziel einer Gebäudetypologie im Kontext des Urban Mining

Eine auf die Spezifika des Urban Mining angepasste Gebäudetypologie spielt eine entscheidende Rolle bei der Hochrechnung von Rohstoffinventaren nach der hier beschriebenen Bottom-Up Methode. Über typabhängige Materialkennziffern sollen entsprechende Rohstoffinventare auf typgleiche (oder ähnliche) Gebäude übertragen werden.

Ansätze zur Modellierung von Gebäudebeständen haben oft spezifische Zielsetzungen, wie beispielsweise die Abschätzung des Heizenergiebedarfs oder des energetischen Sanierungsstandes. Die Notwenigkeit eines darüberhinausgehenden Verständnisses und der systematischen Modellierung des Gebäudebestandes wird durch Fragestellungen der allgemeinen Bilanzierung, Bedarfsberechnungen, der Unterhaltung von Bauwerken (Kosten sowie Ressourcen), potenziellen Schadstoffen sowie einem Ressourcen-Inventar deutlich. Die Vielzahl dieser Anforderungen hebt hervor inwieweit eine integrierte und initial nicht anforderungsspezifische (spezielle) Modellierung anzustreben ist. Diesen Anspruch haben in der Regel die in der Geodatenmodellierung verwendete Typisierungen. Mit der Definition von fachspezifischen Gebäudetypologien werden oftmals Ansätze vorangetrieben die meist sehr anwendungs- oder nutzungsspezifische Modellierungen darstellen. Eine umfassende, anwendungsneutrale Modellierung ist in verschiedener Hinsicht schwer umzusetzen. Die Nachteile von Gebäudetypologien liegen daher auf der Hand. Typologien können meist nur einen Aspekt idealtypisch abbilden und vergleichen, beispielsweise die Konstruktionsweise, Nutzungsklassen, regionale Besonderheiten, Energieverbrauch oder verbaute Ressourcen. Die Aufgabe einer gewissen Realitätsnähe lässt sich somit nicht gänzlich vermeiden (Hassler und Kohler 2011b, S. 17–18; Kohler 1999). Trotz der großen Heterogenität von Gebäuden und Anwendungen sind verschiedenartige Gemeinsamkeiten vorhanden. Diese Gemeinsamkeiten sind Ausgangspunkt zur Definition einzelner repräsentativer Gebäudetypen. Oftmals ist es die Nutzung bzw. Funktion der Gebäude, welche die oberste Gliederungsebene von Gebäudetypologien darstellt. Grundannahme ist, dass die maßgebliche Nutzungsart eines Gebäudes auch deren grundsätzliche Gestalt prägt. Industrie- und Gewerbegebäude unterscheiden sich in unterschiedlichster Form, z.B.: Nutzung, Gebäudealter, Technischer Gebäudeausrüstung (TGA), Konstruktionsart, verwendeter Materialien. Von Relevanz bei der Definition von Typologien sind zudem kulturelle Unterschiede und Gemeinsamkeiten, die Definition von Betrachtungsregionen ist daher zusätzliches Kriterium. Übertragbarkeiten sind damit prinzipiell, aber nicht ubiquitär gegeben. Ziel einer Typologie ist es, für die weitere Nutzung der Daten eine semantisch harmonisierte Beschreibung von, in diesem Fall, Gebäuden zu generieren:

> „Ziel der Gebäudetypologie ist es, die Grundgesamtheit der bestehenden Gebäude in Teilgesamtheiten aufzugliedern, die, trotz Heterogenität zwischen den einzelnen Gebäuden, in sich homogen sind.“ (Gruhler et al. 2002, S. 16)

Eine spezifische Gebäudetypologie für das Themengebiet des ‚Urban Mining‘ liegt zum jetzigen Zeitpunkt nicht vor.

7.2.2. Wohngebäudetypologien

Mit der sogenannten ‚Deutschen Gebäudetypologie' oder auch ‚IWU-Typologie' (Loga et al. 2011; Loga et al. 2012; Deutsche Wohngebäudetypologie 2015) liegt für den Bereich der Wohngebäude in Deutschland eine weitgehend anerkannte Typologie vor. Seit 1989 liegt der Fokus der IWU-Typologie auf Wohngebäuden, kategorisiert nach Gebäudetypen und Baualtersklassen, insbesondere für energetische Gesichtspunkte. Eine umfassende europaweite Analyse und Weiterentwicklung der IWU-Typologie liegt mit dem EPISCOPE / TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) Forschungsbericht (Stein et al. 2016) vor. Fokussiert ist hierbei eine einheitliche Energiebilanzierung. Dabei wurden bereits existierende Ansätze in den EU-Ländern auf ein auf europäischer Ebene abgestimmtes Konzept für Gebäudetypologien vereinheitlicht. Veröffentlicht und Zugänglich ist die abgestimmte Typologie und darauf aufbauende Energetische Analysewerkzeuge über die dazugehörige Webseite (Institut Wohnen und Umwelt (IWU) 2016). Weitere Typologien, welche auf übergreifenden Ebenen von Relevanz sind, sind solche der Statistik. Maßgeblich für den Bereich der Gebäude, dabei sehr detailreich, ist die Eurostat Klassifikation für Konstruktionstypen (eurostat 1997) sowie für Deutschland der Bauwerkszuordnungskatalog (Bauministerkonferenz 2010) der amtlichen Statistik.

Eine anerkannte Typologie, welche konstruktive Merkmale und im Besonderen Ressourceninventare im Fokus hat, fehlt bisher. Relevant für den Bereich des Urban Mining sind daher nicht zwingend bereits in der Literatur definierte Typologien, sondern solche die bereits für Ressourceninventarisierungen angewendete. Hervorzuheben sind hierbei die in Kapitel 4.5 beschriebenen Studien. Festzustellen ist hierbei, dass diese Typisierungen zum jetzigen Stand meist sehr grob gegliedert sind. Eine tabellarische Gegenüberstellung findet sich am Ende dieses Abschnittes.

7.2.3. Nichtwohngebäudetypologien

Der Forschungsschwerpunkt Nichtwohngebäude liegt aus unterschiedlichen Gründen auf der Hand. Der Kenntnisstand zum Wohngebäudesektor ist, hervorgerufen durch öffentliche Förderung und wegen der hohen sozialen Bedeutung, gegeben durch die Notwendigkeit einer ausreichenden Versorgung der Gesellschaft mit Wohnraum, wesentlich detaillierter als der der Nichtwohngebäude (Hassler 2004, S. 88). So ist es zudem die „morphologische und konstruktive Diversität" im Nichtwohngebäudebestand, welche eine einheitliche Abbildung dessen wesentlich erschwert. Hinzukommen kürzere Zyklen in der Änderung der Nutzungsanforderungen im Vergleich zum Wohngebäudebestand (Hassler 2004, S. 88–89). Kontinuierliche Veränderungen der Nutzungsanforderungen sind durchaus im gesamten Gebäudebestand gegeben. Wirtschaftliche und vor allem technische Entwicklungen, damit einhergehende Optimierungen sowie Änderungen haben auf die Beschaffenheit von Nichtwohngebäuden eine größere und kurzweiligere, damit direktere Auswirkung. „Der Bestand an Nichtwohngebäuden ist durch eine Vielzahl an spezifischen funktionalen, morphologischen und konstruktiven Eigenschaften und Kennwerten sowie Nutzungsprofilen geprägt. Vor allem aufgrund der großen Nutzungsvielfalt sind Ansätze zur Typisierung des Nichtwohngebäudesegments im Vergleich zum Wohngebäudebestand deutlich komplexer." (Stein et al. 2015, S. 3)

Anknüpfend ist es insbesondere die Dynamik, in welcher größere Unterschiede festzustellen sind. „Während Wohngebäude bedingt durch den stetigen Bedarf meist einer relativ langfristigen und homogenen Dynamik unterliegen, ist diese bei Nichtwohngebäuden wesentlich heterogener. Die Unterschiede in der Dynamik werden überwiegend durch die Anforderungen sowie Interessen der Akteure bestimmt (Schwaiger 2002, S. 16)." Auch das Themenfeld des Leerstands ist von differenziert zu betrachtender Relevanz, in Gewerbe- und Industriebranchen wird funktionaler Leerstand bis zu einem gewissen Grad durchaus toleriert, erlaubt er damit doch auf kurzfristige Änderungen der Anforderungen (Wachstum oder sich ändernde Prozesse), zu reagieren (Hassler 2004, S. 88). Zudem ist gerade im Bereich der Nichtwohngebäude über die Zeit ein immer komplexerer Mate-

rialeinsatz zu verzeichnen, damit auch hinsichtlich darin möglicherweise verwendeter Schadstoffe. Die Diversität von Nichtwohngebäuden wird in aktuellen Studien auch im gesamteuropäischen Kontext hervorgehoben. Ursache ist hier die hohe Komplexität und Heterogenität der Gebäude auf EU-Ebene (Buildings Performance Institute Europe (BPIE), S. 32).

Nichtwohngebäude lassen sich nach der Definition des Statistischen Bundesamtes wie folgt beschreiben:

> „Nichtwohngebäude sind Gebäude, die überwiegend (mindestens zu mehr als der Hälfte der Nutzfläche) Nicht- wohnzwecken dienen. Zu den Nichtwohngebäuden zählen Anstaltsgebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude, land- wirtschaftliche Betriebsgebäude, nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude (wie Fabrikgebäude, Handelsgebäude, Hotels u. dgl.) und sonstige Nichtwohngebäude (wie Schulgebäude, Kindertagesstätten, Sporthallen).“(Statistisches Bundesamt (Destatis) 2012)

Eine neuere Definition im Rahmen des derzeitigen Forschungsprojektes ENOP (Institut Wohnen und Umwelt (IWU) et al. 2016) wurde hinsichtlich der klaren Abgrenzung von NWG getroffen:

> „Bei Nichtwohngebäuden handelt es sich um Gebäude, die auf mehr als der Hälfte der Nutzfläche Nichtwohnzwecken gewidmet sind.
> Als einzelne Gebäude gelten neben freistehenden Gebäuden diejenigen Gebäude, die in zeitlichem Zusammenhang auf Basis einer einheitlichen architektonischen Planung errichtet wurden zuzüglich nachträglich ergänzter, nicht eigenständig nutzbarer Gebäudeteile, die hinsichtlich der Erschließung und der Nutzung aus funktionalen Gründen dem Gebäude zuzurechnen sind.
> Alle Gebäudeteile eines Nichtwohngebäudes müssen miteinander baulich verbunden sein.“
> (Institut Wohnen und Umwelt (IWU) 2017)

Aus den dargestellten und nachvollziehbaren Gründen lag der Fokus in der Vergangenheit auf der Betrachtungsebene der Wohngebäude, eine detaillierte Erweiterung auf den Gesamtbestand, damit im Bereich der Forschung eine stärkere Fokussierung auf Nichtwohngebäude, ist die logische Konsequenz. Neuere Forschungsprojekte wie beispielsweise das Projekt PRRIG (Schebek et al. 2016a) sowie versuche einer Typologie-Vereinheitlichung (Kretzschmar et al. 2019) machen diese Fokussierung weiter deutlich.

7.2.4. PRRIG Gebäudetypologie für Nichtwohngebäude

Im Rahmen des Forschungsprojektes PRRIG wurde der Versuch unternommen eine einheitliche Gebäudetypologie für Nichtwohngebäude zu definieren. Im Fokus standen hierbei ressourcenbezogene Kennwerte. Unterschiedliche bereits vorhandene Typologien wurden untersucht und auf ihre Anwendbarkeit geprüft. Relevante Typologien waren dabei die des BMVBS (BMVBS 2013; BMVBS und BBSR 2011) sowie eine Weiterführung der IWU-Typologie (Loga et al. 2012; Stein et al. 2012) der Bauwerkszuordungskatalog (Bauministerkonferenz 2010), die BKI (BKI Baukosteninformationszentrum 2013) sowie die Systematik der Bauwerke (Statistisches Bundesamt (Destatis) 1978, 2014). Analysiert und zusammengefasst ist dabei eine sehr detaillierte Typologie spezifisch für die Fragestellungen des Urban Mining, mit dem Fokus auf die Rhein-Main Region entstanden. Die Besonderheit der PRRIG-Typologie liegt darin, dass bei ihrer Entwicklung nahezu alle gängigen veröffentlichten Nichtwohngebäudetypologien nebeneinandergestellt und den Anforderungen entsprechend zusammengefasst bzw. adaptiert wurden. Allen Typologien gemeinsam ist, dass die aktuelle Nutzung / Funktion eines Gebäudes die oberste Gliederungsebene darstellt. Immer davon ausgehend, dass sie die grundsätzliche Gestalt des Gebäudes maßgeblich differenziert. Aus den theoretischen Überlegungen und der Definition der Typologie zeigte die konkrete Umsetzung im weiteren Verlauf des Projektes jedoch, dass für flächendeckende Gebäudeinventarisierungen eine solch detailgenaue Typisierung nicht umsetzbar ist. Die zur Verfügung stehenden Datensätze und korrespondierende Referenzgebäude konnten dieses Komplexitätslevel in keiner Weise abbilden. Eine konkrete Praxistauglichkeit ist somit leider nicht gegeben (Schebek et al. 2016a).

7.2.5. ALKIS Gebäudefunktion

Mit dem AAA-Anwendungsschema (AFIS –ALKIS –ATKIS) liegt für die Geobasisdaten des amtlichen Vermessungswesens in Deutschland eine standardisierte Datenmodellierung u.a. für Gebäude vor (AdV 2008a). Eine detaillierte Beschreibung der Modellierung von Gebäuden und dem Hintergrund der ALKIS-Modellierung findet sich in Kapitel 6.2.3.2 dieser Arbeit.

Von Bedeutung für die Nutzungstypisierung von Gebäuden ist der ALKIS-Objektartenkatalog, hier insbesondere die der Objektklasse ‚AX_Gebäude' ('Gebäudefunktion'). Die Gebäudefunktion in ALKIS ist definiert als: „[…]die zum Zeitpunkt der Erhebung vorherrschend funktionale Bedeutung des Gebäudes (Dominanzprinzip)." (AdV 2008b)[19]

Neben der Attributart Gebäudefunktion befindet sich in ALKIS unter „weitereGebaeudefunktion" eine zusätzliche Gebäudetypisierung. Die „Weitere Gebäudefunktion" ist dabei definiert als: „[…] die Funktion, die ein Gebäude neben der dominierenden Gebäudefunktion hat."

Eine umfassende Anwendung der „Weiteren Gebäudefunktion" findet in den meisten Bundesländern nicht statt. Das Bundeland Hessen führt hierzu beispielsweise generell keine Werte. Von Bedeutung für die Betrachtung ist daher die Gebäudefunktion, welche im ALKIS Basisobjektartenkatalog über 200 unterschiedliche Gebäudefunktionen in einer hierarchischen Gliederung enthält. Die Bundeländer bedienen sich dieser Typisierung und erstellen eigene länderspezifisch angepasste Objektartenkataloge, Beispielhaft das Land Hessen mit dem „Objektartenkatalog ALKIS in Hessen - Version 3.1" (HVBG Hessen 2014a). Eine umfassende Übersicht des Grunddatenbestand und insbesondere der länderspezifischen Inhalte findet sich bei der AdV (AdV 2015b). Die Auslegung der Objektartenkataloge unterscheidet sich hierbei teilweise recht weitreichend. Wie die Analyse von Clausnitzer zeigt, sind z.B. in der Stadt Essen 201 Gebäudefunktionen definiert, in Düsseldorf dagegen nur 79 (Clausnitzer et al. 2014, S. 58). In Hessen sind es derzeit 22 (HVBG Hessen 2014a, 99 ff.)

Aufgebaut ist Gebäudefunktion nach dem Schema der nachfolgenden Tabelle (Beispielhafter Auszug einiger Gebäudefunktionen).

Tabelle 9: ALKIS Gebäudefunktion (Auszug) (AdV 2008b)

ALKIS CODE	ALKIS Bezeichner	Beschreibung
1000	**Wohngebäude**	'Wohngebäude' ist ein Gebäude, das zum Wohnen genutzt wird.
1010	**Wohnhaus**	'Wohnhaus' ist ein Gebäude, in dem Menschen ihren Wohnsitz haben.
1020	**Wohnheim**	Wohnheim' ist ein Gebäude, das nach seiner baulichen Anlage und Ausstattung zur Unterbringung von Studenten, Arbeitern u.a. bestimmt ist.
1021	**Kinderheim**	
1022	**Seniorenheim**	
2000	**Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe**	Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe' ist ein Gebäude, das der Produktion von Waren, der Verteilung von Gütern und dem Angebot von Dienstleistungen dient.
2010	**Gebäude für Handel und Dienstleistungen**	Gebäude für Handel und Dienstleistungen' ist ein Gebäude, in dem Arbeitsleistungen, die nicht der Produktion von materiellen Gütern dienen, angeboten werden. Dazu gehört u.a. der Handel (Ankauf, Transport, Verkauf) mit Gütern, Kapital oder Wissen.

Für eine umfassende Übersicht der länderspezifischen Inhalte des ALKIS Grunddatenbestandes sei an dieser Stelle auf die fortlaufende aktualisierte Veröffentlichung der AdV verwiesen (Stand Mai 2015) (AdV 2015b)

[19] Alle hier beschriebenen Ausprägungen beziehen sich auf die derzeit gültige Version 6 des ALKIS Anwendungsschema

7.2.6. INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude

INSPIRE definiert eine Typisierung von Gebäuden innerhalb der Datenspezifikation für Gebäude (INSPIRE TWG BU 2013). Für eine umfassende Beschreibung der INSPIRE Datenspezifikation sei an dieser Stelle auf Kapitel 6.1.5 verwiesen. Die Datenspezifikation definiert hierbei eine einfache Klassifikation der Gebäude auf Basis der aktuellen Nutzung (codelist: Gegenwärtige Nutzung / CurrentUse). Eine Erweiterung der Codeliste um spezifischere Werte ist dabei gewährleitet. Die Codeliste orientiert sich zu teilen an der Eurostat Klassifikation für Konstruktionen (eurostat 1997), wobei sich diese nur in Ansätzen und sehr vereinfacht in der INSPIRE Typisierung wiederfindet. Die INSPIRE-Typisierung sieht in ihrer Grundstruktur bereits drei Gliederungsebenen vor. Einzig der Haupttyp „residential" definiert derzeit bereits die dritte Gliederungsebene für den Bereich der „collective residence".

Tabelle 10: INSPIRE - Gebäude - Gegenwärtige Nutzung (INSPIRE TWG BU 2013)

Maintype	Sub-Type	Sub-Sub-Type	Beschreibung
residential			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird zu Wohnzwecken genutzt.
	individual residence		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich nur eine Wohnung. NOTE: This value includes detached houses such as bungalows, villas, chalets, forest lodges, farmhouses, country houses, summer houses, weekend houses and semi-detached or terraced houses, with each dwelling having its own roof and its own entrance directly from ground surface.
	collective residence		Mehrfamilienwohnhaus In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich mehr als eine Wohnung.
		two Dwellings	In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich zwei Wohnungen. NOTE: This class includes detached houses, semi-detached or terraced houses, with two dwellings.
		more than two Dewllings	In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich mindestens drei Wohnungen. NOTE: This class includes flat blocks, apartment houses, with three or more dwellings but excludes residence for communities.
	residence for communities		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich ein Wohnheim. (This class includes residential buildings for communities, including residences and service residences for the elderly, students, children and other social groups.)
agriculture			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für landwirtschaftliche Zwecke genutzt.
industrial			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Tätigkeiten des Sekundärsektors (Industrie) genutzt.
commerce and service			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Dienstleistungszwecke genutzt. Dieser Wert betrifft Gebäude und Gebäudekomponentee, die für Aktivitäten des Tertiärsektors (Handel und Dienstleistungen) bestimmt sind. NOTE: This value includes both ternary sector (commercial activities) and quaternary sector (non-commercial, charity sector).
	office		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich Büros.
	trade		Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Handelszwecke genutzt. EXAMPLE: Shops, supermarkets, hotels, restaurants.
	public services		Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für öffentliche Dienstleistungen genutzt. Öffentliche Dienstleistungen sind tertiäre Dienstleistungen zum Nutzen der Bürger. Public services

		are often ruled by public governments or on behalf of them. EXAMPLES: Schools, hospitals, governmental buildings, prisons, rescue stations, transport station. NOTE: in case of a building being both office and public service (e.g. a city hall), the building should be classified preferably as public service.
ancillary		Ein kleines Gebäude (oder eine kleine Gebäudekomponente), das nur in Verbindung mit einem anderen größeren Gebäude (oder Gebäudekomponente) genutzt wird und im Allgemeinen nicht dieselben Funktionen und Eigenschaften wie das Gebäude (oder Gebäudekomponente), mit dem es/er verbunden ist, aufweist. A summer house or garage (ancillary use) in the garden of a dwelling (residential use).

7.2.7. Verwendete Gebäudetypologien im Kontext des Urban Mining und deren Gegenüberstellung

Wie aus der Einleitung zu diesem Kapitel bereits hervorgegangen ist, hat sich für Bottom-Up Betrachtungen derzeit noch keine Typisierung von Gebäuden etabliert. Unterschiedliche, in Kapitel 4 dieser Arbeit vorgestellte, Forschungsarbeiten wenden meist „datengetriebene Gebäudetypologien“ an. Datengetriebene Typologien unterscheiden sich in der Art von den bisher vorgestellten Typologien, indem sich diese in der Regal aus, für den konkreten Anwendungsfall vorliegenden Datensätzen (z.B. lokale Geodatensätze zu Gebäuden oder Statistiken), ableiten und nicht zwingend vorliegende, theoretisch und wissenschaftlich etablierte und beschriebene, Typologien nutzen. Insbesondere für die nachfolgende Zuordnung von bereits erfassten Materialkennziffern spielen diese jedoch eine wichtige Rolle. Als relevant sind die Arbeiten von (Ortlepp et al. 2015), (Gruhler und Deilmann 2015) und (Kleemann et al. 2016a; Kleemann et al. 2015a) insbesondere für den Bereich der Nichtwohngebäude, sowie (Lichtensteiger 2006; Buschmann et al. 2015; Daxbeck et al. 2015) für den Bereich der Wohngebäude anzusehen. Internationale Studien wie solche von (Tanikawa et al. 2015) werden an dieser Stelle nicht weiter in die Analyse einbezogen. Hier erfasste Materialkennwerte finden für den Bereich Deutschlands oder auch der Europäischen Union nur schwer Anwendung. Gemeinsam haben alle angewandten Typisierungen vordergründig eine recht flache und einfach abzubildende Struktur und unterscheiden sich damit recht stark von sehr detaillierten Codelisten wie solche von EUROSTAT oder ALKIS. Diese wurden daher an dieser Stelle nicht in die vergleichende Tabelle aufgenommen. Ein Rückgriff auf die konkrete ALKIS-Typisierung findet im späteren Verlauf des Funktionsmapping statt.

Die nachfolgende Tabelle (Anhang 7-1) stellt in einer Übersicht der in der relevanten Literatur verwendeten Gebäudetypisierungen gegenüber. Zentrale Zielzuordnungstypologie ist die aktuelle Nutzung aus INSPIRE. Wie sich zeigt, liegen gerade im Bereich der einfachen und flachen Typisierungen relativ einheitliche Typdefinitionen vor. Auf eine Übersetzung der primären Literatur (aus dem Englischen) wurden an dieser Stelle der Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit wegen verzichtet. Was sich zum jetzigen Zeitpunkt festhalten lässt ist, dass, was die grundlegende Oberkategorisierung anbelangt, hinsichtlich der INSPIRE Typisierung eine relative Deckungsgleichheit herzustellen ist. Nicht alle Klassen lassen sich eins zu eins zuordnen, wodurch im Detail Unstimmigkeiten auftreten können. Diese müssen bei der konkreten Zuordnung von Datensätzen zu Modellgebäuden betrachtet werden. In nahezu allen Fällen finden sich jedoch klar korrespondierende Klassen. In wie weit eine Erweiterung der INSPIRE Typisierung notwendig und sinnvoll erscheint, gilt es im weiteren Verlauf zu diskutieren.

Tabelle 11: Gegenüberstellung der Gebäudetypologien (eigene Zusammenstellung)

Maintype	Sub-Type	Sub-Sub-Type	Beschreibung	INSPIRE Registry	**Kleemann et. al. 2016** Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2016): GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings. In: Journal of Industrial Ecology.	**Ortlepp et. al. 2015 / 2016** Ortlepp et. al. (2015): Material stocks in Germany's non-domestic buildings. A new quantification method. In: Building Research & Information Ortlepp et. al. (2016): Grundlagen für materialeffizientes Planen und Bauen. In: Bautechnik.	**Lichtensteiger & Baccini 2008** Lichtensteiger, Thomas; Baccini, Peter (2008): Exploration of urban stocks. In: Detail : Zeitschrift für Architektur + Baudetail 5 (6)	**Wiedenhofer et. al. 2015** Wiedenhofer et. al. (2015): Maintenance and Expansion. Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25. In: Journal of Industrial Ecology 19 (4)	**Daxbeck et. al. 2015** Daxbeck et. al. (2015): Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters. Land Steiermark inklusive Fallstudie Graz. Projekt UMKAT - Endbericht.	**Gruhler & Deilmann, 2015** Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden Fraunhofer IRB Verlag (Reihe Wissenschaft, 45).	**EPISCOPE . EU** EPISCOPE / TABULA IWU, 2016
						(only non-residential)	(Switzerland)	for EU - only Residential Buildings - (metric tons per building)	Graz (UMKAT)	Keine Inventarisierung, aber Bildung von Synthetischen Nichtwohngebäuden	Nur Wohngebäude (Keine Inventarisierung)
residential			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird zu Wohnzwecken genutzt.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/residential	residential						
	individual residence		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich nur eine Wohnung. NOTE: This value includes detached houses such as bungalows, villas, chalets, forest lodges, farmhouses, country houses, summer houses,	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/individualResidence			One-family buildings	single family houses	Residential		Einfamilienhaus (EFH) Reihenhaus (RH)

			weekend houses and semi-detached or terraced houses, with each dwelling having its own roof and its own entrance directly from ground surface.									
	collective residence		Mehrfamilienwohnhaus In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich mehr als eine Wohnung.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/collectiveResidence			multi-familiy buildings	multi family houses				
		two Dwellings	In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich zwei Wohnungen. NOTE: This class includes detached houses, semi-detached or terraced houses, with two dwellings.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/twoDwellings								Mehrfamilienhaus (MFH)
		more than two Dewllings	In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich mindestens drei Wohnungen. NOTE: This class includes flat blocks, apartment houses, with three or more dwellings but excludes residence for communities.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/moreThanTwoDwelling				*high-rise buildings*				großes Mehrfamilienhaus (GMH) Hochhaus (HH)
	residence for communities		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich ein Wohnheim. (This class includes residential buildings for communities, including residences and service residences for the elderly, students, children and other social groups.)	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/residenceForCommunities				*high-rise buildings*				
agriculture			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente)	http://inspire.ec.europa.eu/codelist		Agricultural buildings			Non-residential	Landwirtschaftliche Hallen		

		wird für landwirtschaftliche Zwecke genutzt.	/CurrentUseValue/agriculture							
industrial		Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Tätigkeiten des Sekundärsektors (Industrie) genutzt.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/industrial	industry	Factory and workshop buildings	production buildings			Produktionshallen Lagerhallen	
commerce and service		Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Dienstleistungszwecke genutzt. Dieser Wert betrifft Gebäude und Gebäudekomponentee, die für Aktivitäten des Tertiärsektors (Handel und Dienstleistungen) bestimmt sind. NOTE: This value includes both ternary sector (commercial activities) and quaternary sector (non-commercial, charity sector).	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/commerceAndServices	commercial	Hotels and restaurants Institutional buildings	service buildings			Büro- und Verwaltungsgebäude	
	office	In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich Büros.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/office		Office and administrative buildings					
	trade	Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Handelszwecke genutzt. EXAMPLE: Shops, supermarkets, hotels, restaurants.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/trade		Trade and storage buildings					
	public services	Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für öffentliche Dienstleistungen genutzt. Öffentliche Dienstleistungen sind tertiäre Dienstleistungen zum Nutzen der Bürger. Public services are often ruled by public governments or on behalf of them.EXAMPLES: Schools, hospitals,	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices						*Allgemeinbildende SchulenSport- und Mehrzweckhallen*	

		governmental buildings, prisons, rescue stations, transport station.NOTE: in case of a building being both office and public service (e.g. a city hall), the building should be classified preferably as public service.								
ancillary		Ein kleines Gebäude (oder eine kleine Gebäudekomponente), das nur in Verbindung mit einem anderen größeren Gebäude (oder Gebäudekomponente) genutzt wird und im Allgemeinen nicht dieselben Funktionen und Eigenschaften wie das Gebäude (oder Gebäudekomponente), mit dem es/er verbunden ist, aufweist. A summer house or garage (ancillary use) in the garden of a dwelling (residential use).	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/ancillary							
				no information	Other non-domestic buildings				Tiefgaragen	
				excluded					Parkhäuser und Parkdecks	

7.2.8. Bewertung von Gebäudetypologien im Urban Mining

Wie die vorangegangene Gegenüberstellung der unterschiedlichen Gebäudetypologien in der rein theoretischen Betrachtungsweise, der konkreten Anwendung im Urban Mining und Geodatenmodellierungen wie INSPIRE gezeigt hat, liegen evidente Überschneidungen vor. Die Gegenüberstellung zeigt, dass insbesondere die Oberkategorien „residential“, „Commerce and Service“, sowie „Industrial“ in nahezu allen Betrachtungen in vergleichbarer Art und Weise vorkommen.

Es kann somit an dieser Stelle bereits festgehalten werden, dass die INSPIRE-Grundtypologie als grundsätzliche Schnittmenge der unterschiedlichen Ansätze in Frage kommt. Partielle Anpassungen und Erweiterungen sind an entsprechenden Stellen zu diskutieren. Zu zeigen ist zudem, ob eine Zuordnung von MKZ zu den hier allgemein definierten Gebäudetypisierungen in INSPIRE möglich ist.

7.3. Baualtersklassen

Ein zusätzlich entscheidendes Untergliederungsmerkmal von Gebäuden ist deren Baujahr bzw. das Gebäudealter. Baujahre können dabei in Form konkreter Jahreszahlen erfasst oder aber in Baualtersklassen (Kohorten) zusammengefasst werden. Als Baujahr gilt nach dem Statistischen Bundesamt „das Jahr der Bezugsfertigstellung. Bei Gebäuden, die im Laufe der Zeit erneuert oder teilweise wiederhergestellt wurden, gilt das Jahr der ursprünglichen Errichtung, bei total zerstörten oder zumindest ab Kelleroberkante wieder aufgebauten Gebäuden das Jahr des Wiederaufbaus als Baujahr (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2013a, S. 5).

Grundannahme für die Definition vom Baualtersklassen ist, dass jede Epoche der Baugeschichte die jeweils errichteten Gebäude mit charakteristischen Merkmalen prägt, welche dann als typisch für diese Altersklasse gelten können. Typische Merkmale sind dabei Konstruktionsarten, typische Fenstergrößen und Arten, definierte Größen für die jeweiligen Anforderungen z.B. (Wohntypen) oder Frei- und Aufenthaltsflächen in Bürogebäuden sowie typischerweise verwendete Materialien. Neben diesen, mehr Komponenten und bauphysikalisch geprägten Kriterien, sind Baualtersklassen zudem von historischen Einschnitten, wie z.B. dem Zweiten Weltkrieg (Nachkriegsjahre mit Materialmangel) oder der Ölkrise in den 1970er Jahren geprägt. Weiter sind es insbesondere Veränderungen relevanter Bauvorschriften, Richtlinien und Normen welche die Definition von Baualtersklassen maßgeblich beeinflussen (Klauß et al. 2009, S. 7). Aus den verwendeten Komponenten der jeweiligen Epochen lassen sich zudem bereits erfolgte Veränderungen im Bestand nachbilden (Dynamik der Modernisierung; vgl. (Schwaiger 2002)).

Verschiedene Typisierungen von Baualtersklassen nehmen die oben genannten Aspekte in Betracht, unterscheiden sich jedoch in der Abgrenzung der Kohorten. Das Statistische Bundesamt (Destatis) definiert für die Statistik des Bauabgangs die nachfolgende Ausprägung:

Tabelle 12: Baualtersklassen nach (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2013a)

Baualtersklassen	bis 1900	1901 bis 1918	1919 bis 1948	1949 bis 1962	1963 bis 1970	1971 bis 1980	nach 1980

Die umfassende Studie von Kohler et. al. zu Stoffströmen und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen aus dem Jahr 1999 verwendet für die anschließende Stoffstromermittlung mit dem Referenzjahr 1991 die folgende Altersklasseneinteilung:

Tabelle 13: Baualtersklassen nach Kohler et. al. (Kohler et al. 1999, S. 23)

Baualtersklassen	1871-1918	1919-1948	1949-1965	1966-1978	1979-1990

Eine anerkannte Zusammenfassung von Baualtersklassen stellt die Definition des IWU dar (Klauß et al. 2009, S. 7–9). Diese wurde zwar initial nur für Wohngebäude entworfen, lässt sich auf Grund ihrer Orientierung an oben genannten Kriterien auch auf weitere Gebäudetypen anwenden. Die Klassen sind nicht vollständig deckungsgleich mit den Einteilungen des Statischen Bundesamtes oder der Studie von Kohler et. al., die in zwei Gliederungsebenen unterteilte Klassifizierung ermöglicht jedoch eine größere Flexibilität (Schebek et al. 2016a).

Tabelle 14: Definition von Baualtersklassen in PRRIG (Hörner 2011; Deutsche Wohngebäudetypologie 2015)

Baualters-klassen	**vor 1918**	**1919-1948**			**1949-1978**			**1979-1994**		**1995-2001**	**ab 2002**	
Subkategorien	1850-1918	1919-1928	1929-1938	1939-1948	1949-1957	1958-1968	1969-1978	1979-1983	1984-1994	1995-2001	2002-2009	ab 2010

Die Studie von Kleemann et. al. unterteilt für die Stadt Wien in 5 Baualtersklassen. Mit einer Abweichung von zwei bis drei Jahren je Altersklasse ist diese nahezu deckungsgleich mit Klassifizierung der Deutschen Wohngebäudetypologie.

Tabelle 15: Definition von Baualtersklassen nach (Kleemann et al. 2016a)

Baualters-klassen	**vor 1918**	**1919-1945**	**1946-1976**	**1977-1996**	**Nach 1997**

Hinsichtlich der Baualtersklassen ist allgemein festzuhalten, dass diese immer eine mögliche Ausprägung des Informationsgehaltes darstellen. Im Fokus einer Datenmodellierung und Datenakquise sollte das exakte Baujahr eines Gebäudes stehen, die Überführung in entsprechende Klassen ist im Zuge der Auswertung ohne weiteres möglich. Datenmodelle wie ALKIS sehen auch eine reine Erfassung konkreten Baujahren vor und keine Kohorten. Die INSPIRE Modellierung dagegen bietet beide Möglichkeiten. Eine Gruppierung von Baujahren unterscheidet sich maßgeblich von der Zuordnung zu Gebäudetypen. Diese lassen sich im Gegensatz nicht rechnerisch in Ober- und Unterkategorien zusammenfassen. Alle oben genannten Klassendefinitionen eigenen sich jedoch gleichermaßen für eine spätere Eingruppierung der Gebäude.

7.4. Definition Referenzgebäude (Virtuelle Gebäude)

Neben einer Gebäudetypologie und der Definition von Baualtersklassen spielt die Definition der sogenannten virtuellen Gebäude und deren korrespondierenden MKZ eine bedeutende Rolle für Bottom-Up Ressourceninventarisierungen. Referenzgebäude sind Teil der Modellierungsebene. Verschiedene Studien zur Erfassung repräsentativer stofflicher und energetischer Kennwerte für Gebäudetypen der Wohnbebauung wurden als Grundlage für ein Stoffstrommanagement oder Ressourceninventare bereits erarbeitet. Beispielhaft sei hier auf die Arbeiten von Gruhler et al. verwiesen, welche 18 repräsentative Gebäudetypen der Wohnbebauung untersucht haben (Gruhler et al. 2002). Die Charakterisierung des Nichtwohngebäudebestandes ist hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung bislang deutlich weniger erfasst. Verschiedene aktuelle Forschungsarbeiten versuchen diese Lücke zu schließen. Ein umfassenden Überblick vieler derzeit verfügbaren Studien zu Materialgehalten geben (Ortlepp et al. 2015) sowie (Kleemann et al. 2016a). Immer in die Betrachtung einbezogen werden muss die lokale Komponente der erfassten Materialintensitäten. Aus diesem Grund sind MKZ aus außereuropäischen Ländern nur mit Einschränkung einzubeziehen. Weiter liegen den definierten MKZ oftmals Annahmen oder auch Schätzungen bzw. Aggregierungen zu Grunde. Diese sind bei der Bewertung und Zusammenstellung der MKZ zu beachten.

Die Definition sowie Ableitung von spezifischen Kennwerten der Referenzgebäude kann über unterschiedliche Verfahren stattfinden. Eine detaillierte Diskussion der Vorgehensweisen kann an dieser Stelle nicht erfolgen, es lassen sich jedoch grundlegend zwei unterschiedliche Verfahrensweisen festhalten: Die Analyse über konkret vorhandene Realgebäude, z.B. durch Abbruchdokumentationen und Erhebungsmethoden welche Vor-Ort (In-situ) durchgeführt werden und zum anderen die Erfassung über Baudokumentationen und Statistiken zu in spezifischen Gebäudetypen verwendeten Baumaterialien. Auch stellen aktuelle Forschungsarbeiten unterschiedliche Ergebnisse der verschiedenen Verfahren zur Bestandausnahme fest, welche noch genauerer Untersuchungen bedürfen (Kleemann et al. 2014a, S. 72). Weiter scheinen sich verschiedene Erfassungsmethoden je nach zu erfassenden Materialien zu unterscheiden. Kleemann et al. halten hierzu fest, „dass Unterlagen besonders geeignet sind, um Matrixmaterialien wie Ziegel, Beton, Sand und Kies, teilweise Metalle (Stahl) und teilweise Holz zu quantifizieren.“ Hingegen sind Begehungen und selektive Beprobungen notwendig um nur in geringem Maße vorhandene Materialien (z. B. Kupfer, Aluminium, Holz, Kunststoffe) zu erfassen. (Kleemann et al. 2015a, S. 21). Je nach Anwendungsgebiet und Zielsetzung bieten sich Kombinationen der beiden Ansätze an, immer in Anbetracht der vorliegenden Informationen sowie der Gebäudezugänglichkeit. Die beiden grundsätzlich angewandten Vorgehen zur Erfassung von Referenzgebäuden, stellt die nachfolgende Abbildung dar.

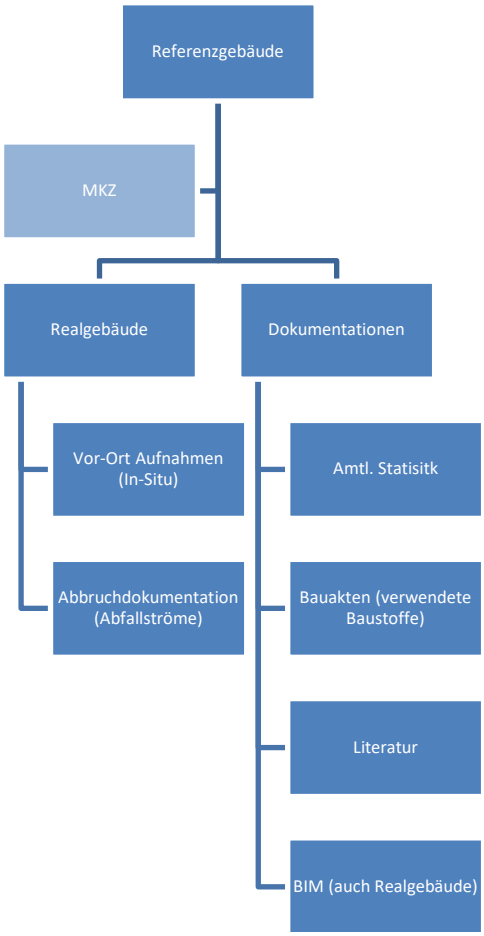

Abbildung 61: Vorgehen bei der Definition und Erfassung von Referenzgebäuden

Was Erfassungen von Referenzgebäuden selten vorweisen sind vereinheitlichte Definitionen und einheitliche Dokumentationen der Ergebnisse. Relevant erscheint hier in Zukunft eine standardisierte Beschreibung von Referenzgebäuden über Forschungsprojekte hinweg, z.B. in Form von harmonisierten Gebäudesteckbriefen. Anhaltspunkt zu einer Standardisierung kann hier insbesondere durch die detailliere Gebäudedokumentation und Modellierung mittels BIM (Building Information Model) erfolgen. Eine solche Arbeit, jedoch immer nur auf einzelne Gebäude bezogen, finden sich konzeptionell bei Petkova 2016.

7.5. Zusammenfassung aktueller Studien zur Erfassung von MKZ in Gebäuden

Zur späteren Definition von exemplarisch anwendbaren MKZ wurde eine umfassende Literaturanalyse durchgeführt. Hierbei wurden insbesondere in bereits erfolgten Gebäudematerialinventarisierungen angewandte Kennziffern betrachtet. Weiter wurden Forschungsarbeiten und Statistiken zur Erfassung und Beschreibung der konkreten Bausubstanz untersucht. Unterschiedliche Fachrichtungen, von Material- und Kreislaufwissenschaftlern, Historikern, Architekten, Baustoffhändler, Abfallwirtschaftlicher als auch Bauingenieure beschäftigen sich in unterschiedlicher Art und Weise und Detailtiefe mit in Gebäuden verwendeten Rohstoffen / Materialien. Als relevante Quellen können nur solche herangezogen werden die konkrete Massenangaben enthalten. Auswertung der Bauabgangsstatistik, welche nur die prozentuale Verteilung der Hauptsächlich verwendeten Baustoffe erfasst können daher nicht in Betracht gezogen werden (z.B. (Gruhler und Böhm 2011b). Für die vorliegende Fragestellung muss eine Umrechnung der Kennwerte in Masse pro Raumeinheit möglich sein.

7.5.1. Forschungsarbeiten zum Ressourceninventar der Stadt Wien

Verschiedene Arbeiten der Forschergruppe des Christian Doppler Labor für "Anthropogene Ressourcen" an der TU Wien haben sowohl aktuell vorliegende Studien zu MKZ in Gebäuden ausgewertet als auch umfassende eigene Erfassungen vorgenommen. Innerhalb der Stadt Wien wurden so beispielsweise in einer Studie 14 unterschiedliche Gebäude untersucht. Die Analyse erfolgte vor dem Abriss der Gebäude. Alle Materialien wurden in kg/m³ BRI erfasst. Weitere 40 Gebäude wurden zudem anhand der Abbruchstatistik der Stadt Wien untersucht. Die Unterteilung erfolgte in 3 Kategorien: Residential, Commerical, Industrial (Kleemann et al. 2015c, S. 107–108). Bei der weiteren Definition der für die Studie in Wien definierten Werte wurden umfassende Materialintensitätserfassungen aus der Literatur ausgewertet (Kleemann et al. 2016a, S. 4). Im Zuge dessen wurden nur Gebäudetypen in die Analyse einbezogen, welche einen Bezug zur Wiener Gebäudesubstanz darstellen. Daten zu typischen DDR -Baublöcken (Deutsche Demokratische Republik) wurden so beispielsweise ausgeschlossen. Für eine genaue Beschreibung zum Vorgehen der MKZ-Erfassung sei auf die relevanten Publikationen zur Methodik verweisen (Kleemann et al. 2015a; Kleemann et al. 2015b; Kleemann et al. 2015d; Kleemann et al. 2014a).

Für die weitere Auswertung der MKZ hinsichtlich einer Anwendung für den hier vorgestellten Ansatz wurde auf die zusammenfassende Publikation von (Kleemann et al. 2016a) zurückgegriffen. In den veröffentlichten Anhängen der Publikation (Supporting Information) findet sich eine umfassende Auswertung aller für die Studie verwendeten MKZ, sowohl aus der Literatur als auch eigene Aufnahmen. Je Gebäudetyp und Altersklasse wurden entsprechende Median-Werte aller vorliegenden Kennwerte verwendet.

Tabelle 16: Zusammengefasste MKZ aus Kleemann et. al. 2016 (Kleemann et al. 2016a)

	Residential					**Commercial**					**Industrial**				
	Before 1918	1919–1945	1946–1976	1977–1996	After 1997	Before 1918	1919–1945	1946–1976	1977–1996	After 1997	Before 1918	1919–1945	1946–1976	1977–1996	After 1997
Mineral	390	410	430	430	380	430	340	350	380	320	280	320	340	170	290
Organic	19	13	6,5	6,7	10	3,7	7,1	7,6	1	5,7	5,8	28	7,6	1	5,6
Metals	3,1	4,8	7,3	7,1	15	4,4	6	5,7	13	10	8,8	5,8	13	15	13
Total (paper)	410	430	450	460	410	440	360	360	400	340	300	350	350	180	310

kg/m³ GV = kilograms per cubic meter gross volume.

7.5.2. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)

Unterschiedliche Forscher-/Innen des IÖR (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung) beschäftigen sich bereits über einen längeren Zeitraum mit der Fragstellung des Materialaufwandes von Gebäuden. Verschiedene Studien nehmen teilweise ganz konkrete einzelne Gebäudegruppen in den Fokus, z.B. NWG (Gruhler und Deilmann 2015; Gruhler und Böhm 2011b) oder aber grob kalkulatorische Annahmen für die gesamte Kreislaufwirtschaft Deutschlands (Deilmann et al. 2014). Der übergreifende Fokus der Projekte, mit divergierenden Fragestellungen ist, dass eine methodisch gut beschriebene Bildung von synthetischen Gebäudetypen hinterlegt wird. Angefangen bei Projekten aus dem Jahr 2002, „Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe - Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen“ (Gruhler et al. 2002), über konkrete Betrachtungen von Wohngebäuden im Kontext der Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes (Gruhler und Böhm 2011a) bis hin zum Materialaufwand von Nichtwohngebäuden (Gruhler und Deilmann 2015). Die unterschiedlichen Forschungsarbeiten laufen in einem für die Zukunft relevanten Projekt des IÖR zusammen. Die sogenannte „IÖR-Bauwerksdatenbank“ bietet einen Überblick über alle vom IÖR durchgeführten Gebäudeerfassungen und präsentiert diese strukturiert im Netz. Die Informationen zu Gebäuden werden aktuell eingestellt (Stand November 2016) und sollen sukzessive ergänzt werden (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 2017). Was der Datenbank fehlt ist ein technischer Zugriff bzw. eine Schnittstelle um auf die dahinterliegenden Daten strukturiert zuzugreifen. Eine automatische Weiternutzung der Informationen ist so leider nicht möglich. Im aktuellsten Zwischenbericht werden jedoch sehr weitreichende Analysen zum NWG Bestand in Deutschland publiziert. (Hartmann 2020)

Für die hier vorgenommene weitere Auswertung relevanter MKZ wurde daher auf die entsprechenden Basisstudien zurückgegriffen. Insbesondere die Veröffentlichung zum Materialaufwand von Nichtwohngebäuden (Gruhler und Deilmann 2015) stellt eine erste sehr umfassende und systematische Bildung von synthetischen NWG dar. Hierbei wurden Informationen der BKI-Datenbank (Baukosteninformationszentrum) zu NWG analysiert, ausgewertet und in der Zusammenfassung synthetische NWG mit charakteristischen Material-, Flächen- und Volumen-Kennwerten gebildet. Aus den gegebenen Daten konnten entsprechende Kennwerte in kg/m³ BRI abgeleitet werden. Die in der Auswertung ausführlich untersuchten und gebildeten synthetischen Gebäudetypen umfassen die folgenden Typen: Büro- und Verwaltungsgebäude, Allgemeinbildende Schulen, Sport- und Mehrzweckhallen, Produktionshallen, Lagerhallen, Landwirtschaftliche Hallen, Tiefgaragen, Parkhäuser und Parkdecks. Hervorzuheben ist an dieser Stelle insbesondere, dass es sich bei den hier definierten Typen um solche handelt die in bisherigen Publikationen kaum differenziert betrachtet wurden. Zum Teil ergeben sich jedoch umfassende Abweichungen der MKZ. Eine Übersicht der ausgewerteten MKZ der NWG findet sich in Anhang 7-3.

Auf eine Analyse der MKZ zu Wohngebäuden, insbesondere Gruhler et al. 2002 wurde in dieser Arbeit verzichtet, da diese bereits in der zusammenfassenden Studie von (Kleemann et al. 2016a) enthalten sind. Die Gebäudesteckbriefe in Gruhler und Böhm 2011a, welche nicht umfassend in der MKZ-Zusammenfassung von KLEEMANN ET. AL enthalten sind, wurden analog der NWG ausgewertet. Die detaillierte Auswertung der synthetischen Gebäudesteckbriefe sowie Umrechnung der MKZ findet sich in den Tabellen in Anhang 7-4.

7.5.3. MKZ – Projekt PRRIG

Eine Übersicht der im Rahmen des Forschungsprojekt PRRIG erfassten Nichtwohngebäude findet sich bei (Schebek et al. 2016a) vollumfänglich. Fokus der Bestandsaufnahmen lag im Bereich der Lagergebäude, die absoluten Zahlen der Gebäudeaufnahmen waren jedoch nur für vereinzelte Gebäudetypen repräsentativ. Die Ableitung von, für diese Arbeit relevanten und nachvollziehbaren Materialkennwerten, konnte aufgrund der geringen und sehr heterogenen Menge an Gebäuden nicht erfolgen. Einzig festzuhalten ist, dass der Großteil

der individuell untersuchten Materialkennwerte einzelner Gebäude innerhalb der Regionen der in anderen Studien ermittelten Werte lag (Schebek et al. 2016b).

7.5.4. 2007 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (BDZ)

Der „Arbeitskreis Marktforschung“ des Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. hat bis ins Jahr 2009 über mehr als zehn Jahre Erhebungen zur Baustoff-Massenermittlung im Hochbau durchgeführt. An den Erhebungen haben über 500 Planungsbüros mit ihren Daten teilgenommen. Ziel war es insbesondere den Baustoffeinsatz von mineralischen Baustoffen zu erfassen. Mit Ausnahme von Holz, als organischem Baustoff, wurden nur mineralische Baustoffe in die Erfassung aufgenommen (u.a. Ziegel, Betonstein, Ortbeton, Betonfertigteile), metallische Baustoffe oder auch Bewährungen sind in den Daten nicht expliziert aufgeführt. Die Daten liefern somit keinen vollständigen Überblick über verwendete Baustoffe im Hochbau, jedoch für mineralische Baustoffe eine relativ umfassende und damit valide Datenbasis (Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. 2007, 2008, 2009). Eine Differenzierung der Daten erfolgt in den Gebäudegruppen: Nicht-Wohnbau (wohnähnlich), Nicht-Wohnbau (Betriebsgebäude), Eigenheime sowie Mehrfamilienhaus. Die Baumassen werden in der Form $m^3/1.000\ m^3$ angegeben was eine Umrechnung in kg/m^3 BRI für die weitere Anwendung notwendig macht. Über durchschnittlich anzunehmende Dichten der Baustoffe konnte eine solche Umrechnung vorgenommen werden.[20] Beispielhaft seien an dieser Stelle die berechneten Werte für Eigenheime aufgeführt. Die relativ kleine zeitliche Auflösung der Daten (1995 – 2007) ermöglicht es nur für die Alterskohorte 1995 bis 2007 Median bzw. Mittelwerte der MKZ zu bilden.

Tabelle 17: Eigenheime - Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [kg / m³] (Berechnet nach Dichte) Quelle: BDV 2007, 2008, 2009

kg/m³							**Mittelwert**	**Median 1995 -2007**
	1995	**1999**	**2002**	**2004**	**2006**	**2007**		
Kalksandstein	50,4	47,6	54,2	64,6	46,6	47	52	49
Ziegel	105,5	81,4	77,8	59,0	70,2	71,8	78	75
Porenbeton	7,9	7,0	8,6	10,5	14,8	12,4	10	10
Betonstein	17,6	24,0	21,6	19,1	6,7	8,9	16	18
Ortbeton	144,4	162,0	114,4	143,4	156,0	142,6	144	144
Betonfertigteil	20,4	38,6	87,4	40,8	45,1	49,0	47	43
Beton insgesamt (Summe der Einzelwerte))	182,4	224,6	223,4	203,3	207,8	200,4	207	206
Holz	7,2	7,8	8,9	9,8	8,9	3,7	8	8,3
Gibskarton (nur 2007)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0	0
Insgesamt	353,5	368,3	372,8	347,2	348,3	336,9	355	351
Gesamt mineralisch	346	361	364	337	339	332	347	**343**
Gesamt organisch	7,2	7,76	8,88	9,76	8,88	3,68	8	**8,3**

Auch wenn die Daten des BDZ nur für einen sehr kleinen Teilbereich der MKZ Verwendung finden können, lässt sich nach der Analyse der Daten festhalten, dass die umgerechneten MKZ in kg/m^3 BRI sich für mineralische und organische Baustoffe weitestgehend innerhalb der Wertebereiche der anderen Studien befinden. Bei

[20] Die Kennwerte der Umrechnung finden sich in Anhang 7-5 der Arbeit.

der recht großen Stichprobe der BDZ Analyse (über 1000 Projekte) (Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. 2007) lässt sich damit eine gewisse Validierung der Datenbasis durchführen. Die gesamte Auswertung sowie Umrechnung findet sich in Anhang 7-5 dieser Arbeit.

7.5.5. Weitere potenzielle Datengrundlagen und Methoden

Neben den beschriebenen Studien listet Heinrich 2018 eine Vielzahl von Methoden, welche zur weiteren Ermittlung von MZK angewendet werden können (Heinrich 2018, S. 102):

- Datenauswertung von Abbruchmaßnahmen und gezielte Erfassung von Bauabfällen
- Ökobilanzstudien, z.B. als Bestandteil von Gebäudezertifizierungen
- Leistungsverzeichnisse und detaillierte Endabrechnungen von Baumaßnahmen
- Auswertung der Datenbank des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architekten (BKI)
- Materielle Erfassung und Bauteil-Beprobung vor Ort
- Erfassung anhand von Bestandsplänen und Bauakten
- Auswertungen von Abbruchkonzepten und Schadstofferkundungen
- Auswertungen von angefallenen Abbruchmassen aus Gebäudeabbrüchen
- Abschlussrechnungen von Bauanträgen

Viele der dargestellten Methoden setzen dabei einen hohen personellen und zeitlichen Aufwand voraus, welcher vermutlich nur in umfassenden Forschungsprojekten erfolgen kann. An dieser Stelle sei erneut auf die Bedeutung einer übergreifenden Systematik hingewiesen.

7.6. Zuordnung bestehender Materialerfassung von Referenzgebäuden zur INSPIRE Gebäudetypisierung (CurrentUse)

Übergeordnete Zielsetzung dieses Kapitels ist es relevante MKZ für die Zieltypologie (hier INSPIRE) aus vorhandener Literatur festzulegen. Die vorangegangene Analyse derzeitiger Studien bietet ein umfassendes, aber nicht vollständig abschließendes Bild, von verifizierbaren MKZ. Insbesondere im Bereich der NWG und eventueller altersspezifischer Unterscheidungen liegen größere Datenlücken vor. Wie umfassende Studien zu Materialgehalten in Wohn- und Nichtwohngebäuden gezeigt haben, variieren diese stark hinsichtlich des betrachteten Gebäudetyps. Unterschiedliche Betrachtungsaspekte der Forschungsfragen bringen daher differenzierte Typologien der Gebäudenutzungen (bzw. Arten) hervor. Die grobe Gliederung der Gebäudetypisierung in INSPIRE weist jedoch große Schnittmengen zur Gebäudetypisierung einer Vielzahl von Studien auf. Aufgrund unterschiedlicher Spezifika der MKZ scheint eine Erweiterung und Anpassung der Inventare, als auch der Gebäudetypisierung an einigen Stellen notwendig. Hierbei kann die optionale Erweiterung der INSPIRE-Codelisten angewendet werden. Exemplarisch sind dies insbesondere solche Gebäudegruppen, welche in der Studie von Gruhler und Deilmann 2015 zum Materialaufwand von Nichtwohngebäuden deutliche Abweichungen zu übergeordneten Gebäudegruppen aufweisen. Eine Erweiterung der INSPIRE-Codierung findet somit exemplarisch für die folgenden NWG-Typen statt:

- Parkdecks (Parkhäuser)
- underground parking (Tiefgaragen)
- warehouse (Warenhäuser)
- sport and multipurpose halls (Sport- und Mehrzweckhallen)
- schools (Schulen und Bildungsgebäude)

Schwierig hinsichtlich einer Zuordnung zeigen sich die neuen Gebäudetypen „parkdecks“ und „underground parking“. Die INSPIRE-Codeliste erlaubt keine zusätzlichen Oberkategorien einzuführen, d.h. bei einer Erweiterung muss eine passende Oberkategorie gefunden werden. Bei Parkhäusern im Allgemeinen ist eine solche

Zuordnung in die vorhandene Typisierung schwierig. Grundlegend passend wäre die Einordnung unter „ancillary“, Nebengebäude, die Definition lässt jedoch klar auf „kleine Gebäude“ oder „kleine Gebäudekomponenten“ rückschließen. Diese Definition einer Oberkategorie lässt sich auf Parkhäuser nur bedingt ausweiten. Der Zuordnung von Kleemann et al. 2016a für Wien folgend, können Parkhäuser, fokussierend auf die bauliche Substanz Industriegebäuden zugeordnet werden. Diese Zuordnung ist nicht durchgängig passend, stellt aber an dieser Stelle die zutreffendste Möglichkeit dar.

Wie die Tabelle in Anhang 7-6 zeigt, liegen für die Oberklassen der INSPIRE-Typologie (residential, industrial, commerce and service) nachvollziehbar herzuleitende Werte vor. Die zu betrachtenden Unterkategorien weisen an einigen Stellen jedoch deutliche Informationslücken auf. Insbesondere die Gebäudetypen „trade“ sowie „public services“ sind in keiner der Studien ausreichend erfasst. Anwendbare Kennziffern lassen sich hier nicht festhalten. Für die erweiterten INSPIRE-Kategorien liegen Werte für die neueren Baualtersklassen vor. Eine deutliche Abweichung der Daten der unterschiedlichen Studien ist in der Gebäudeklasse „industrial“, Baujahre ab 1977 festzustellen. Die Studie von Gruhler und Deilmann 2015 gibt hier deutlich höhere Werte für alle drei Materialgruppen im Gegensatz zu Kleemann et al. 2016a aus. Als robustere Werte sind an dieser Stelle die von Gruhler und Deilmann 2015 anzusehen. Die Auswertung von Kleemann et al. 2016a verweist für die Klasse der Industriegebäude ab dem Jahr 1977 nur auf eine einzige Primärquelle und dort erfasste Gebäude. GRUHLER ET. AL. hingegen werten in ihrer Studie eine Vielzahl von Gebäuden der BKI aus. Für diese Klasse sind diese Werte somit als verlässlicher zu bewerten. Ausgangspunkt für die nachfolgende Zusammenstellung sind somit die Mediane [kg/m³ BRI] aus der umfassenden Zusammenfassung von Kleemann et al. 2016a. Diese deckt die drei grundlegenden Gebäudetypen residential, industrial, commerce and service ab. Nachfolgende Studien, insbesondere für den relevanten Bereich der NWG wurden mit Gruhler und Deilmann 2015 integriert, vordergründig für neuere Baualtersklassen. Für den detaillierten Bereich der Wohngebäude wurden die umgerechneten Kennwerte von Gruhler und Böhm 2011a integriert (individual residence, collective residence). Daten des Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. 2007 finden in der finalen Datenzusammenstellung keine Anwendung mehr, dienten jedoch zur Verifikation der Kennwerte. Exemplarisch sei darauf hingewiesen, dass die Werte im Bereich der anderen Studien liegen.[21]

Interpolation von Datenlücken (Anhang 7-6)

Wie die Gegenüberstellung in Anhang 7-6 zeigt, ist es nicht möglich für alle Gebäudegruppen und Altersklassen MKZ direkt zuzuordnen. An einigen Stellen ist eine Interpolation oder abweichende Zuordnung der MKZ notwendig um für exemplarische Hochrechnungen vollständige Werte vorliegen zu haben. Neben der individuellen Zuordnung kann jedoch auch auf die Oberkategorien der Nutzungstypisierung verwiesen werden. Sofern möglich und nachvollziehbar erfolgt an dieser Stelle eine Interpolation der Datenlücken.

Für die Typisierung „collective residence“ als Untergruppe von „residential“ werden MKZ der Kategorie "more than 2 Dewllings" verwendet. Der Definition der Ausgangstypisierung von Gruhler und Böhm 2011a folgend ist eine weitgehende Zuordnung zur Oberkategorie der Mehrfamilienwohnhäuser gegeben. Für die Typen „two dwellings“ können die MKZ der „individual residence“ angewendet werden, diese sind in der Primärquelle als Ein- und Zweifamilienhäuser ebenso passend. Für den Gebäudetyp „residence for communities“ liegen in keiner Studie passende Werte vor, hier ist die am ehesten passende Zuordnung mit der Oberkategorie „collective residence“ gegeben.

„Office“, „Trade“ sowie „Public Services“ sind diejenigen NWG-Typen, welche keine verlässlichen Werte in den verschiedenen Studien aufweisen. Auch eine Interpolation von MKZ ist an dieser Stelle schwierig. Derzeit bietet sich hier somit nur die Möglichkeit auf die übergeordneten Werte von „Commerce and Service“ ganz allgemein

[21] Beispielhaft seien die Werte für „indvidual residence“ und Baujahren ab 1997 genannt: mineral: 343 kg/m³, organic: 8,3 kg/m³, metal: keine Daten.

zurückzugreifen, insbesondere für ältere Baualtersklassen. Für neuere Gebäude der Kategorie „public services“ können Mittelwerte aus "Sports and Multipurpose" und "schools", hervorgehend aus der Studie von Gruhler und Deilmann 2015 angebracht werden. Für alle neu eingeführten Gebäudetypen der INSPIRE-Typologie sind nachfolgend nur die Werte aufgeführt, welche direkt aus der Primärquelle abzuleiten sind. Weitere Interpolationen können ggf. im Zuge der Hochrechnung erfolgen.

Die nachfolgende Tabelle findet sich umfassend in **A**nhang 7-6.

Tabelle 18: Zusammenfassung der MKZ hinsichtlich INSPIRE (kg/m³ BRI)

INSPIRE			-1918			1919-1945			1946-1976			1977-1996			1997-			Unbekannte Baualtersklassen (Median der Jahresklassenwerte)			Interpolation von Daten
Maintype	Sub-Type	Sub-Sub-Type	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	
residential			390	19	2,8	410	13	4,6	430	6,5	7	430	6,7	6,8	380	10	15	410	10	6,8	
	individual residence		437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	388	16,0	17,91	437	18	20,53	
	collective residence		430	17,0	0,39	475	7,0	12,04	453	7,0	26,19	477	5,0	32,55	470	10,0	28,95	470	7	26,19	"more than 2 Dewllings"-Werte
		two Dwellings	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	388	16,0	17,91	437	18	20,53	Werte von "individual residence" - bei Gruhler et. al. (Ein- und Zweifamilienhäuser)
		more than two Dwellings	430	17,0	0,39	475	7,0	12,04	453	7,0	26,19	477	5,0	32,55	470	10,0	28,95	470	7	26,19	
	residence for communities		430	17,0	0,39	475	7,0	12,04	453	7,0	26,19	477	5,0	32,55	470	10,0	28,95	470	7	26,19	Werte von "collective residence"
agriculture												280	9	15	280	9	15	280	9	15	
industrial			280	5,8	8,8	320	28	5,8	340	7,6	13	310	5	21	310	5	21	310	5,8	13	Ab 1977 Verwendung der werte von Gruhler et. al. 2011
commerce and service			430	3,7	4,3	340	7,1	6	350	7,6	5,7	380	1	13	320	5,7	10	350	5,7	6	
	office											426	18	26	426	18	26	426	18	26	
	trade																				commerce and service Werte
	public services											444	17,5	25,00	444	17,5	25,00	443,5	17,5	25	Mittelwerte aus "Sports and Multipurpose" und "schools"
ancillary																					
New INSPIRE Types																					
industrial	parkdecks											662	1	52	662	1	52	662	1	52	
	underground parking											1065	4	56	1065	4	56	1065	4	56	
	warehouse											305	4	24	305	4	24	305	4	24	
commerce and service	public services																				
		sport and multipurpose halls										349	17	18	349	17	18	349	17	18	
		schools										538	18	32	538	18	32	538	18	32	

Quellen:		Info:
[1]	Quelle: Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2016)	Mediane [kg/m³ BRI] auf zwei signifikante Stellen gerundet ('-' = Keine Daten) BRI mit Keller und Dachgeschossen
[2]	Quelle: Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden. Verfahrensschritte	
[3]	2007 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. Der spezifische Baustoffverbrauch im Hochbau	
[4]	Deilmann, Clemens; Krauß, Norbert; Gruhler, Karin (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau. Endbericht Stand 17. Juli 2014.	
[5]	Quelle: Gruhler, Karin; Böhm, Ruth (2011): Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes - Deutschland 2050. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (Reihe Wissenschaft, 25).	
Interpolierte oder anderweitig zugeordnete Werte		

7.7. INSPIRE Codeliste CurrentUse – Erweiterung und Aufbau einer Registry

Wie die Definition der INSPIRE-Typologie und korrespondierende MKZ gezeigt haben ist eine partielle Erweiterung der Codeliste CurrentUse notwendig. INSPIRE schreibt in solchen Fällen vor, dass entsprechende Erweiterungen der Codelisten in frei zugänglichen Registern abgelegt und dokumentiert werden müssen. Die nutzbaren Codelisten orientieren sich dabei an der Definition der INSPIRE-Registry (Kapitel 3.1.4.2).

Eine Erweiterung der Codeliste CurrentUse wurde bereits im Projekt GeoSmartCity exemplarisch gemäß den Vorgaben von INSPIRE vorgenommen und in einer eigenen Registry, basierend auf der INSPIRE-Anwendung, umgesetzt (GeoSmartCity 2017b). Ziel dieses europäischen Projektes ‚GeoSmartCity', war die Datenintegration von „offenen urbanen Daten" mit Dritt- oder Fremddaten aus dem öffentlichen wie auch privatwirtschaftlichen Sektor sowie ‚Crowdsourced' Daten. Mit dem ‚Green Energy Scenario' zielt eines der Projektziele auf den energetischen Umbau des Gebäudebestandes ab. Die Codeliste-Erweiterung ist Teil des erweiterten INSPIRE BU Anwendungsschema „GSC - Building2D-Energy". Beispielhafte Werte sind Hotels, Schulen oder Polizeistationen.

Aufbau einer Registry für das Urban Mining

Ein identisches Vorgehen wurde auch für die Erweiterung der Codeliste im Rahmen der Urban Mining Betrachtung gewählt. Die aus der Definition der MKZ hervorgegangene Notwendigkeit einer Erweiterung um spezifische Werte (z.B. Parkhäuser und Schulen) wurde in Kapitel 7.6 eingeführt.

Zu öffentlichen Dokumentation wurde unter der URL http://www.urban-mining-kataster.de/ eine Registry für die spezifischeren Werte der Codeliste hinterlegt. Aufbau und Inhalt orientieren sich dabei an den Vorgaben der INSPIRE-Registry.

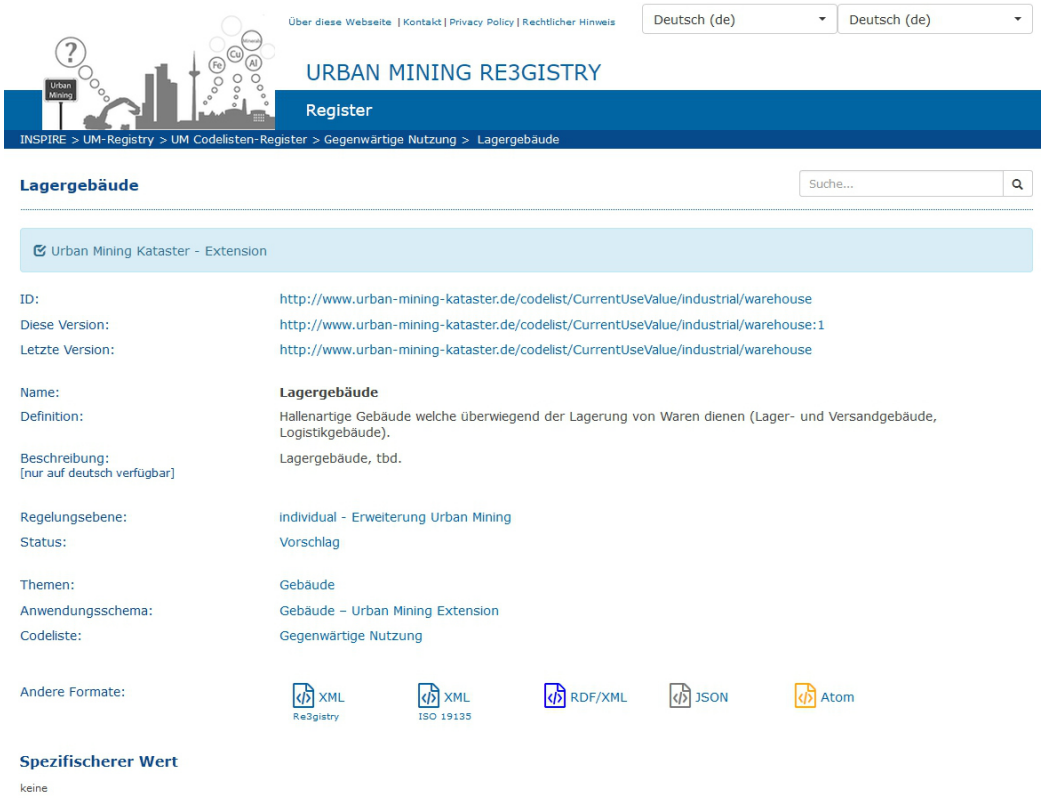

Abbildung 62: Exemplarische Umsetzung einer Registry zur Verwaltung der Urban Mining Codeliste-Erweiterung

Die folgenden Werte sind dabei in der Registry enthalten, eine Mehrsprachigkeit der Dokumentation wurde zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht umgesetzt. Die Dokumentation und Beschreibung findet sich vollständig in Anhang 8-1 (INSPIRE-BU Current-Use (Erweitertes UM Profil))

Tabelle 19: Einträge der Registry http://www.urban-mining-kataster.de/ (Codelist CurrentUse)

parkdecks	Parkhäuser und Parkdecks	Parkhäuser und Parkdecks sind Gebäude welche zum Parken und Abstellen von Fahrzeugen dienen.	http://www.urban-mining-kataster.de/codelist/CurrentUseValue/industrial/parkdecks
underground parking	Tiefgarage	Tiefgaragen sind Gebäude welche zum Parken und Abstellen von Fahrzeugen dienen und dabei unter die Erdoberfläche gebaut sind.	http://www.urban-mining-kataster.de/codelist/CurrentUseValue/industrial/underground_parking
warehouse	Lagergebäude	Hallenartige Gebäude welche überwiegend der Lagerung von Waren dienen (Lager- und Versandgebäude, Logistikgebäude).	http://www.urban-mining-kataster.de/codelist/CurrentUseValue/industrial/warehouse

sport and multipurpose halls	Sport- und Mehrzweck-halle	Sport- und Mehrzweckhallen beeinhalten einfache Schulturn-hallen und komplexe Mehr-zweckhallen mit aufwändiger Architektur. Inkludiert sind Ne-bennutzräume wie Wasch- und Umkleideräume, Toiletten und Technikräume.	http://www.urban-mining-katas-ter.de/codelist/CurrentUseValue/com-merceAndServices/sport_and_multipurpo se_halls
schools	Schule	Schulgebäude bestehen im all-gemeinen aus Unterrichtsräu-men sowie Fachräumen zur Aus- und Weiterbildung von Personen.	http://www.urban-mining-katas-ter.de/codelist/CurrentUseValue/com-merceAndServices/schools

Fazit zur INSPIRE Gebäudetypologie und dazugehöriger MKZ

Die INSPIRE-Typologie ‚CurrentUse' scheint bei ihrem Entwurf keine konkreten Anwendungsfälle in Betracht gezogen zu haben. Eine Anlehnung an die Eurostat-Typologie ist zwar gegeben, jedoch nicht deckungsgleich. Durch die gezwungene kleinteiligere Erweiterung (Type: narrow) fällt eine Einordnung bestimmter Typen sehr schwierig. Beispielhaft sei hier auf die Problematik der Parkhäuser sowie der Obergruppe „Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke sowie das Bildungs- und Gesundheitswesen" verwiesen. Diese würden jeweils eine sinnvolle, für sich stehende Untergruppe der NWG darstellen, eine Einordnung in Landwirtschaft, Industrie, Handel und Dienstleistung oder Nebengebäude ist hingegen nicht vollumfänglich passend. Die Bedeutung von exakt definierten und wissenschaftlich fundierten Typologien wird in den Auswertungen der betrachteten Studien deutlich. Die vorliegende Diskrepanz zwischen wissenschaftlicher Modelldefinition und Nachvollziehbarkeit sowie grob vereinheitlichten Geodatenmodellierungen (in diesem Fall INSPIRE-Codelisten) wird hierbei deutlich. Eine Anwendbarkeit, einer um spezifischere Werte erweiterte INSPIRE-Codeliste für ‚CurrentUse' scheint jedoch durchaus gegeben. Etwaige Einschränkungen und damit einhergehende Datenungenauigkeiten gilt es im weiteren Verlauf zu betrachten. Problematisch an einer jeweils individuellen Erweiterung der Codeliste, wie in diesem Fall vorgenommen, ist, dass erneut individuelle Datensätze entstehen, welche nicht auf vereinheitlichten Typisierungen bestehen. Eine Interoperabilität über Anwendungsszenarien hinaus ist somit wieder nur partiell gegeben.

7.8. Weiterentwicklungsmöglichkeiten der MKZ Definition

Langfristiges Ziel muss es sein die Informationsgehalte von MKZ in Form einer Gebäude-Referenzdatenbank zu verbessern. Detaillierte Ressourceninventar-Analysen und darauf aufbauende Stoffstromanalysen machen, neben der flächendeckenden Beschreibung des Gebäudeinventars, eine möglichst genaue Erfassung der in Referenzgebäuden verwendeten Baustoffe unerlässlich. Zielsetzung ist es hier, idealerweise Forschungsprojektübergreifend, eine solche Referenzdatenbank aufzubauen. Hinsichtlich moderner, sich aktuell im Bau befindlicher Gebäude, sind Ansätze der Informationsgewinnung aus BIM denkbar. Auch diese müssen zentralisiert und standardisiert erfasst werden. Wichtig beim Aufbau einer solchen Datenbank sind einheitliche Festlegungen zu den Begrifflichkeiten, Nutzungen, Typologien, Komponenten und möglichen Modellierungen. Auch der Unterscheidung und Dokumentation von erfolgten baulichen Veränderungen (Entkernung, Sanierung, Umnutzung etc.) kommt eine zentrale Rolle zu (Stichwort: Komponentenmodell). Die bereits seit langem existierende Forderung nach einheitlichen ‚Gebäudepässen' unterstützt das Vorhaben einer transparenten Dokumentation. Diese wird seit etwa 20 Jahren diskutiert, bisher ist jedoch nur die verpflichtende Einführung eines ‚Energieausweises' gelungen. Die Etablierung eines vereinheitlichten und möglicherwiese zentral in einem Kataster erfassten Gebäudepasses wird angesichts zunehmender Komplexität der verwendeten Baustoffe in modernen Gebäuden immer relevanter (Rat für Nachhaltige Entwicklung 2014, S. 48). Sollte sich die Einführung von Gebäudepässen für Neubauten in Zukunft etablieren, ist deren Georeferenzierung und Erfassung bzw. Anbindung an vorhandene Kataster obligatorisch. Insbesondere für den Bereich der Nichtwohngebäude ist das

Verbundprojekt ENOB „Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude“, gemeinsam durchgeführt vom Institut Wohnen und Umwelt (IWU), dem Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) und der Bergische Universität Wuppertal zu nennen, welches für die Zukunft eine einheitliche Nomenklatur und Datenbasis erhoffen lässt (Institut Wohnen und Umwelt (IWU) et al. 2016; Hartmann 2020).

Relevant für den hier vorgestellten Ansatz ist eine relevante Zuordnung der Referenzdatenbank für Gebäude zur INSPIRE-Typisierung. Hierbei bedarf es jedoch sicherlich einer weitaus breiteren Nutzung sowie eines höheren Bekanntheitsgrades von INSPIRE.

Was, um der abschließenden Bewertung vorzugreifen, einer der grundlegenden Probleme von INSPIRE aufzeigt: Ohne die Verfügbarkeit von Daten ergeben sich keine Anwendungen. Ohne einer konkreten Anwendung findet aber gleichermaßen keine zielgerichtete, an der Realität der Anforderungen verifizierte, Datenmodellierung statt.

Zum Themenbereich der Gebäudetypologien kann an dieser Stelle aber positiv festgehalten werden, dass die Modellebene mittels zuordbaren MKZ aus der Literatur gefüllt werden kann.

8. Datenebene: Urban Mining Kataster –Bestandsdatenerfassung

Nach der umfassenden Definition einer Modellebene mit dazugehöriger Datenmodellierung sowie der Herleitung geeigneter MKZ stellt sich die Frage nach konkreten Datensätzen, welche in der Datenebene das Zielmodell füllen. Unterschiedliche Datensätze, aus den verschiedenen Bereichen der Verwaltung, Forschung und Privatwirtschaft kommen hierbei in Frage. Zentraler Fokus, insbesondere im Bereich einer Anwendung orientiert an den harmonisierten Geodaten aus INSPIRE, spielen Daten der öffentlichen Verwaltung. Hierbei ausdrücklich solche, die innerhalb der normativen Verpflichtungen von INSPIRE von einer Bereitstellung- und Harmonisierungspflicht betroffen sind.

Nachfolgend stellt die Arbeit einige Datengrundlagen im Detail dar, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Das hier vorgestellte Modell fokussiert sich auf der Modellebene auf eine Harmonisierung und deren Anwendbarkeit. Die konkrete „Befüllung“ dieser Ebene obliegt den jeweiligen praxisnahen Umsetzungen, welche nicht Teil dieser Arbeit sind.

8.1. Bestandsaufnahme – Geodatenidentifikation (Basisdaten)

> „Als Datenqualität kann die Menge von Datenmerkmalen umschrieben werden, die den Einsatz der Daten für eine konkrete Aufgabe ermöglichen ("quality = fitness for use").“ (de Lange 2013, S. 259)

Basierend auf der Anforderungsbeschreibung können unterschiedliche potenzielle Datensätze identifiziert werden. Zu unterscheiden ist dabei, ob es sich um grundlegende Basisdaten oder weitere Fachdaten zur Integration handelt.

8.2. Geobasisdaten in Deutschland - AFIS-ALKIS-ATKIS

Wesentliche Grundlage der Geodateninfrastruktur in Deutschland stellen die amtlichen Geobasisdaten dar, die als „fachneutrale Kernkomponenten der nationalen Geodateninfrastruktur gesetzlich festgelegt worden sind und somit den datentechnischen Standard zum Aufbau von Fachinformationssystemen darstellen.“(Ostrau 2010, S. 16) Der Begriff der Geobasisdaten ist dabei definiert als:

„Geobasisdaten sind Daten des amtlichen Vermessungswesens, welche die Landschaft, die Liegenschaften und die Georeferenzierung auf der Grundlage eines einheitlichen Raumbezugs anwendungsneutral darstellen und beschreiben. Sie sind Grundlage für Fachanwendungen mit Raumbezug.“(AdV AK Liegenschaften, zitiert aus: Ostrau 2010, S. 16) Das AFIS-ALKIS-ATKIS (AAA) Modell wird auch als die nationale Geodatenbasis in Deutschland bezeichnet. Die sogenannten ‚Objektartenkataloge‘ stellen eine möglichst einheitliche Realweltmodellierung dar und wurden in einem umfassenden Prozess „sinnvoll semantisch harmonisiert“ (AdV 2008a, S. 6–7). Ziel des AAA-Modells ist es weiter eine hinreichend konforme Datenbasis für die Erfüllung der INSPIRE-Verpflichtungen vorzubereiten (als fachneutrale Kernelemente der nationalen Geodateninfrastruktur)(GEOINFODOK 6.0.1 AdV 2008a, S. 7; Ostrau 2010, S. 3)(GeoInfoDok 6.0.1).

Für eine detaillierte Darstellung des AAA-Modells sei an dieser Stelle auf die entsprechende Fachliteratur sowie zugrunde liegende Spezifikationen verwiesen (AdV 2014a, 2012, 2014b, 2008a; Kummer et al. 2014). Als grundsätzlich homogener, flächendeckender amtlicher Geobasisdatenbestand stellen die ALKIS-Daten die logische Grundlage zum Aufbau des hier skizzierten Urban Mining Kataster in Deutschland dar. Auch und insbesondere da die Betroffenheit von ALKIS für INSPIRE innerhalb der Verwaltung unstrittig ist. Es gilt jedoch einige Einschränkungen bereits an dieser Stelle festzuhalten: in ersten praxisnahen Untersuchungen (u.a. Schebek et al. 2016a)wird festgestellt, dass die Verfügbarkeit der Informationen über die Gebäudefunktion in ALKIS, welches wiederrum die semantische Basis der 3D-Stadtmodell im CityGML und INSPIRE darstellt, sehr eingeschränkt ist. Oftmals wird nur die Unterscheidung von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden zum AdV-Grunddatenbestand getroffen. Detailliertere Angaben sind länderspezifisch abweichend. Es kann daher festgestellt werden, dass eine Kombination von verschiedenen Daten und Erfassungsmethoden notwendig wird, um

eine ausreichende Datenbasis zu gewährleisten. Weitere Daten und Ansätze zu Verknüpfung dieser müssen somit in die Diskussion einbezogen werden.

8.3. INSPIRE Datenthemen als Datengrundlage zur synergetischen Geodatenfusion

Ziel der nachfolgenden Analyse ist es relevante INSPIRE-Datenspezifikationen kurz zu beschrieben und dahingehend zu untersuchen, ob deren Inhalte eine relevante Datengrundlage für die definierten Anforderungen darstellen können. Auf die konkrete Datensätze aus Anhang 3 – Thema Gebäude (INSPIRE TWG BU 2013) wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Diese leiten sich in Deutschland aus den unter 8.2 beschriebenen ALKIS Daten ab und werden nicht als neuer und unabhängig zu betrachtender Datensatz geführt.

Thema INSPIRE Produktions- und Industrieanlagen

Anders als die Gebäude könnten Datensätze aus der Gruppe der Produktions- und Industrieanlagen insbesondere für den Bereich der NWG von Relevanz sein. Definiert ist dieser Themenbereich wie folgt: Standorte für industrielle Produktion, einschließlich durch die Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung [1] erfasste Anlagen und Einrichtungen zur Wasserentnahme sowie Bergbau- und Lagerstandorte. Als potenziell in Deutschland betroffene Datensätze sind im Wiki der GDI-DE folgende gemeldet: Kaltlagerung (Butter, Rindfleisch), Lagerung (Getreide, Sprühmagermilchpulver), Zerlegebetriebe für Rindfleisch, IVU-Anlagen, BImSchG-Anlagen, Blockheizkraftwerke (BHKW-Anlagen), Großfeuerungsanlagen, Windkraftanlagen, Photovoltaikanlagen, Biogasanlagen, Produktions- und Industrieanlagen. Gerade letzteres „Produktions- und Industrieanlagen“ ist hier sehr allgemein formuliert. Wie erste Analysen zeigen, ist die Relevanz dieses Datensatz in der Fläche leider nicht gegeben, für das Bundesland Hessen weißt der Datensatz ca. 400 Standorte aus (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) 2016). Im Verhältnis zum gesamten Gebäudebestand sind diese Daten daher zu vernachlässigen.

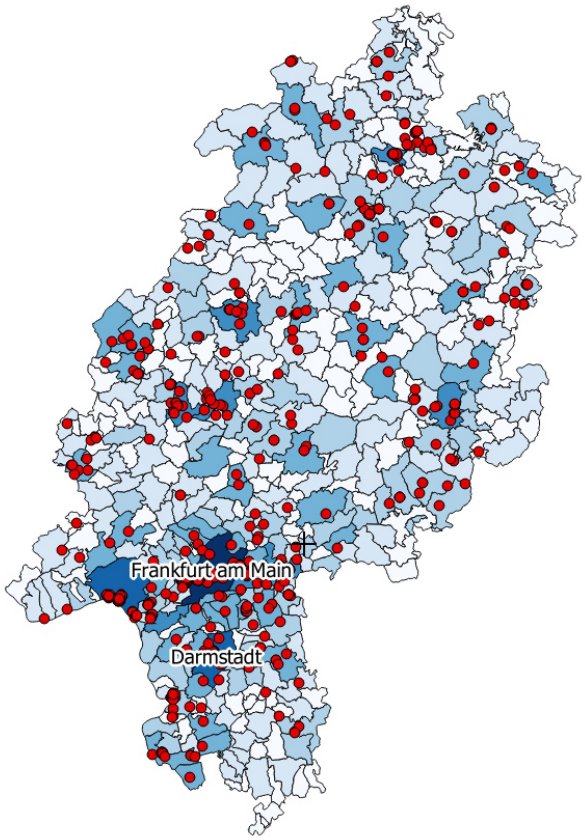

Abbildung 63: INSPIRE Produktions- und Industrieanlagen in Hessen. Datengrundlage: HVBG 2016 / (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) 2016)

Sofern eine Datenintegration angestrebt und auf Grund einer veränderten Datenlage sinnvoll für ein potenzielles Projektgebiet wird, lässt sich eine solche Verschneidung über traditionelle GIS Funktionalitäten bewerkstelligen. Eine Integration der Daten kann auf der Modellierungsebene durchgeführt werden und die zusätzliche Information innerhalb des definierten Datenmodell (INSPIRE BU-SIM) erfasst werden. Beispielhaft wird in der Abbildung 63 eine solche Datenintegration skizziert.

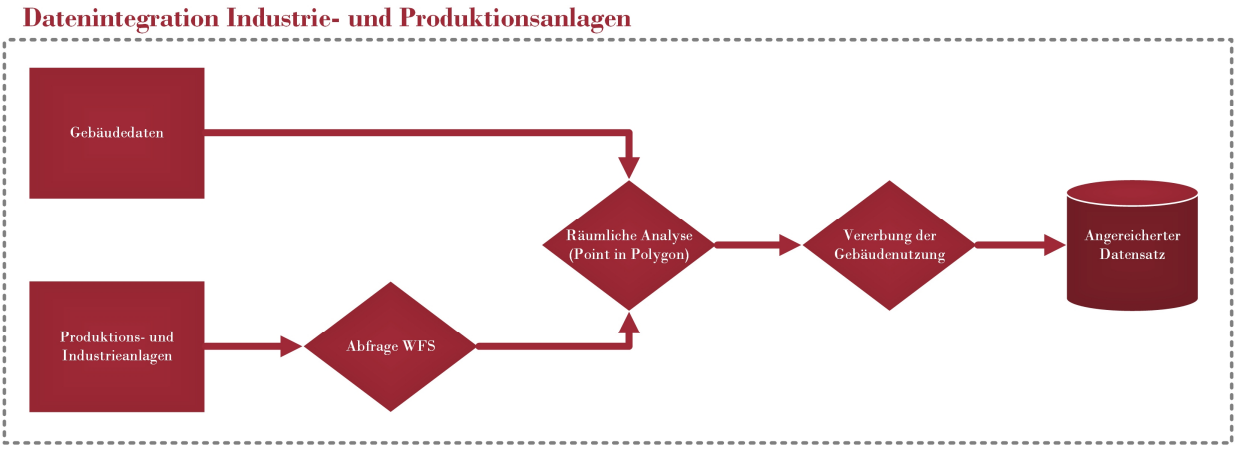

Abbildung 64: Beispielhafte Datenintegration - INSPIRE Produktions- und Industrieanlagen

Weiter Themen von Relevanz können, je nach Ausprägung und räumlichen Vorkommen die Themen „Landwirtschaftliche Anlagen und Aquakulturanlagen“ oder auch „Versorgungswirtschaft und staatliche Dienste“ sein. Die Verfahren zu Integration wären vergleichbar vorstellbar wie für Produktions- und Industrieanlagen. Im Verhältnis zum gesamten Gebäudebestand (hier am Beispiel Hessen) sind auch hier nur marginale Detaillierungen zu erwarten.

Wie gezeigt wurde, stellt die konkrete Umsetzung von INSPIRE einen längeren Prozess dar. Die jährlichen Monitoringberichte der Mitgliedsstaaten bieten einen weitreichenden Informationspool zu unterschiedlichsten Geodatensätzen und möglicherweise in Zukunft relevant werdenden Datensätze für eine Integration.

8.4. OpenStreetMap

Neben den in Kapitel 3.2.4 bereits erläuterten Problemstellungen einer gesicherten Datenqualität in OSM besteht die größte Herausforderung bei einer Integration in ein Urban Mining Kataster darin, die durchaus in großer Relevanz vorhandenen heterogenen Informationen (in Form von ‚Tags‘) den Zielkategorien zuzuordnen. Die heterogene Datenlage zwischen urbanen und eher ländlich geprägten Gebieten muss bei der Anwendung zusätzlich beachtet werden. Gerade für die Anwendung in automatisierten Prozessen sowie bei großflächigen Gebieten (Hecht et al. 2013, S. 1086) stellt dies die größte Problematik dar.

Eine isolierte Nutzung der OSM-Daten, als alleinige Grundlage zum Aufbau eines Urban Mining Katasters zu verwenden kann derzeit nicht in Betracht gezogen werden. Die Informationslage, gerade was Gebäudefunktionen, exakte Grundrisse aber im Besonderen Gebäudehöhen anbelangt reicht hier nicht aus (Hecht et al. 2013, S. 1087). Gebäudehöhen spielen derzeit in OSM noch eine sehr untergeordnete Rolle. Zwar sind Ansätze zur 3D-Visualisierung von OSM bereits vorhanden, Analysen des gesamtdeutschen Gebäudebestandes belegen jedoch, dass derzeit nur unter 1 % der Gebäude eine absolute gemessene Höhe oder Geschossanzahl aufweisen (Hecht et al. 2014, S. 64). Weitere Analysen aus dem Jahr 2012 zeigen für den deutschen OSM-Bestand, dass auch Werte zur Angabe von Stockwerken wie ‚building:levels‘, ‚building:levels:aboveground‘ nur für unter 1 % der Gebäude definiert sind (Goetz und Zipf 2012, S. 4). Relevant erscheinen Informationen aus OSM hingegen was die aktuelle Nutzung und Funktion von Gebäuden anbelangt. Die zum Teil sehr hohe Aktualität von aktuellen Nutzungen (POIs wie Geschäfte zur Nahversorgung) sind in amtlichen Daten nicht vorhanden. Eine semantische Integration dieser in den Zieldatensatz kann damit Informationsgewinne erzeugen. Eine erste

Orientierung zur technologischen Umsetzung bietet die Diplomarbeit von KUNZE (Kunze 2013). Im Zusammenhang der Fragestellung einer Detektion von Mischnutzungen in Wohngebäuden wurde u.a. eine Zuordnungstabelle für OSM-Tags für Funktionen der Nichtwohngebäudenutzung erarbeitet (Kunze 2013, Anhang 2). Die hier erfolgten Zuordnungen lassen sich somit als Ausgangspunkt zur Integration in Datenbestände zur Charakterisierung von Nichtwohngebäuden nutzen.

Wohnnutzung und Mischnutzung			Industrie- und Gewerbe			Besondere funktionale Prägung/ öffentliche Gebäude		
building	=	apartments; house; residential; terrace; dormitory; cabin	building	=	commercial; industrial; retail; warehouse; train_station; farm_auxiliary; hanger	building	=	civic
landuse	=	residential	landuse	=	commercial; industrial; retail	amenity	=	public_building
						landuse	=	military
			Beherbergung			**Verwaltung**		
			building	=	hotel	amenity	=	courthouse; embassy; public_building; townhall
			tourism	=	alpine_hut; camp_site; caravan_site; chalet; guest_house; hostel; hotel; motel; wilderness_hut	office	=	administrative; employment_agency; government; foundation; political_party
			Gastronomie			**Bildung und Forschung**		
			amenity	=	bar ; biergarten; café; fast_food; food_court; ice_cream; pub; restaurant	building	=	school; university
			Handel und Dienstleistung			amenity	=	college; school; university; driving_school
			amenity	=	brothel; animal_boarding; swingerclub; stripclub; nightclub; cinema; bureau_de_change; bank; fuel; car_wash; car_sharing; car_rental	office	=	educational_institution; research
						Kultur		
						tourism	=	museum; theme_park; zoo
						amenity	=	library; place_of_worship; crypt; theatre; studio; arts_centre; monastery
			aerialway	=	station			
			aeroway	=	aerodrome; terminal; hanger			
			public_transport	=	station	building	=	cathedral; chapel; church
			railway	=	station	historic	=	castle
			craft	=	agricultural_engines; basket_maker;	office	=	newspaper

Abbildung 65: OSM-Tag Zuordnungstabelle nach (Kunze 2013, Anhang 2 ff.)

Festzuhalten bleibt, dass ein allgemein anerkanntes Mapping von Funktionen aus OSM in z.B. amtliche Datensätze bisher nicht vorliegt und aus unterschiedlichsten dargestellten Gründen auch nicht direkt zielführend erscheint. Neben der schwer umzusetzenden automatischen Integration der Daten sind unterschiedliche Ansätze der manuellen oder semi-automatischen Integration, bzw. hier vollem der Qualitätssicherung vorstellbar. Aufbereitete, bereits zugeordnete Datensätze, können über OSM-Abfragen oder Kartenüberlagerungen verifiziert werden. Die Möglichkeit, die frei verfügbaren OSM-Daten sowohl in Desktop wie WebGIS-Applikationen einzubinden und mit eigenen Datensätzen zu überlagern, ist aus technischer Sicht ohne weiteres möglich (Schnitzer und Bodirsky 2016a). Zukünftig können Ansätze des ‚Linked Data' in Verbindung mit OSM eine Umsetzung der semantischen Integration ermöglichen. Erste Ansätze sind hier Entwicklungen aus dem ‚GeoKnow' Forschungsprojekt (Lehmann 2015). Ziel des Projektes ist es, existierende Strukturen vorhandener Geodaten mit Zielsetzungen des ‚Web of Data' in Verbindung zu bringen. Automatische Datenfusion und Aggregation basierend auf Algorithmen des Maschinellen Lernens sind ein Teilziel des Projektes (Lehmann 2015). Mit der Erweiterung ‚OSMRec' für den OSM-Editor ‚JOSM'[22] wurde bereits eine erste prototypische Umsetzung veröffentlicht, welche basierend auf einer Ähnlichkeitsanalyse von Gebäuden aus einem Referenzdatensatz (Trainingsgebiet) für neu angelegte Objekte automatisch Vorschläge für entsprechende ‚Tags' ableitet. Die Klassifikation basiert dabei auf ‚Support Vector Machines' (Athanasiou et al. 2014). Im Besonderen Ansätze dieser Art lassen eine zukünftig mögliche automatische Integration von OSM-Daten in andere (z.B. amtliche) Datensätze aus technologischer Sicht lösbar erscheinen. Zudem ist von einer zunehmenden Detaillierung und Qualitätssteigerung der OSM Datensätze auszugehen. Wie eine aktuelle Studie von Fonte et. al. gezeigt hat, kann mittels der Datenfusion von OSM und anderen VGI Datensätzen (Facebook und Forcesquere) eine 80% Definition der Gebäudefunktion vorgenommen werden. Die hauptsächlichen Informationen kamen in dieser beispielhaften Umsetzung

[22] https://josm.openstreetmap.de/

aus OSM. Weitere Datenquellen waren eher nebensächlich. Eine abschließende Validierung der Ergebnisse wurde in dieser Studie jedoch nicht durchgeführt. (Fonte et al. 2018, S. 215)

Weiter sei auf die Arbeit von Bodirsky verwiesen, welche aufzeigt, wie eine semiautomatische Datenverknüpfung von amtlichen Daten und OSM unter Nutzung eines WebGIS stattfinden kann (Bodirsky 2015; Schnitzer und Bodirsky 2016b, 2016a). Auch zur Qualitätssicherung sind Workflows ähnlich dem in der Anwendung von Bodirsky entwickelten WebGIS vorstellbar. (Bodirsky 2015; Schnitzer und Bodirsky 2016a)

Festzuhalten ist, dass mittels OSM und anderen Datensätze weitreichende Datendetaillierungen hinsichtlich der Gebäudefunktion vorgenommen werden kann. Qualitative Aspekte einer solchen Ableitung machen jedoch weitere Validierungen notwendig.

8.5. Weitere öffentliche & private Geodaten (Erweiterbarkeit)

Die Integration weiterer Geodaten aus unterschiedlichen Bereichen ist ebenfalls ein noch offenes Themenfeld. Nachfolgend werden deshalb weitere Datensätze sowie aktuelle übergreifende Bestrebungen von möglicher Relevanz kurz dargestellt.

Denkmäler in Hessen

Über die Geodaten-Recherche im Geoportal Hessen wurde ein Datensatz zu Denkmälern in Hessen identifiziert. Das Landesamt für Denkmalpflege Hessen ist zuständig für die Inventarisierung aller hessischen Denkmäler. Im Rahmen ihrer gesetzlichen Aufgabe inventarisiert das Hessische Landesamt für Denkmalpflege alle Kulturdenkmäler und Gesamtanlagen für die wissenschaftliche Erforschung und Dokumentation. (Landesamt für Denkmalpflege Hessen 2015)

Über die Webseite der Denkmalpflege in Hessen ist eine konkrete Suche, z.B. nach allen Baudenkmälern in der Stadt Frankfurt, möglich. Die Ergebnisse werden umfassend und detailliert aufgelistet. Zum überwiegenden Teil sind die Einträge zudem georeferenziert. Leider ist es nicht möglich die Daten zu exportieren und in eigenen Anwendungen zu nutzen. Eine weitere Evaluierung der Nutzung dieser Daten erscheint jedoch erstrebenswert. Offen ist auch hier, inwieweit mögliche Lizenzen die Nutzung der Daten einschränken.

Bauanträge

Die Idee Bauanträge einer Gemeinde auszuwerten wurde im Rahmen des Forschungsprojektes PRRIG am Beispiel der Stadt Hanau evaluiert (Schebek et al. 2016a). Wie bereits BADER 2002 feststellt ist die Dokumentation von Bauanträgen sehr heterogen und meist nur in unstrukturierter Form vorhanden (Bader et al. 2002, S. 28). Ein möglicher Ansatz könnte sein bereits vorhandene stadtinterne Prozesse zu betrachten und vorhandene Strukturen zur Fortführung der Geodatenbestände zu nutzen. So wird die vom Stadtvermessungsamt der Stadt Frankfurt geführte digitale Stadtgrundkarte (DSGK) mit jährlich ca. 1200-1600 neuen Gebäudeflächen aus Bauanträgen, ergänzt sowie ca. 150 – 250 Gebäudeflächen aufgrund von Gebäudeabbruchmeldungen aus dem Datenbestand gelöscht. Diese Daten werden zudem seit kurzer Zeit historisiert (Hecker 2014). Die hier bereits vorhandenen Prozesse könnten somit in den eines Urban Mining Kataster integriert werden.

Daten der Feuerversicherungen

BADER ET AL. beschreibt bereits die exemplarische Einbindung von Daten der Feuerversicherung (Bader et al. 2002, S. 28). Diese enthalten u.a. die folgenden Merkmale: Nutzung, Baujahr, Dachform, Material der Dachbedeckung. In der Studie aus dem Jahr 2002 lagen diese Daten jedoch nicht standardisiert vor, es erfolgte somit nur eine exemplarische Validierung vorhandener Daten. Zu vermuten ist, dass auch hier digitale Datenbanken zur Speicherung Einzug gehalten haben, eine Nutzung wäre zu evaluieren.

Unternehmensregister / Handelsregister

In der Bundesrepublik Deutschland ist ein zentrales Handelsregister, online zugänglich über ein ‚Gemeinsames Registerportal der Länder' vorhanden (Gemeinsames Registerportal der Länder 2015). Die einfache Nutzung des Portals und die Suche nach niedergelassenen Unternehmen ist kostenfrei. Einfache Basisinformationen sind

über die Recherche zugänglich, zur Lokalisierung von Unternehmen dient die Adresse. Eine umfassende Nutzung, beispielsweise Massenabrufe, sind dagegen derzeit kostenpflichtig. Im Rahmen der Ideenplattform zu Open Data in Deutschland (BMI und Initiative D21 e.V. 2015) wurde u.a. stark für die Öffnung des Register plädiert. Eine solche Öffnung von offizieller Seite ist bisher nicht erfolgt. Als alternativer Zugriff auf die Daten wurde Anfang 2019 ein Projekt der Open Knowledge Foundation und Open Corporates veröffentlicht, welches den gesamten Datenbestand des Deutschen Handelsregisters unter einen freien Datenlizenz veröffentlicht (Semsrott 2019). Dieser offene Zugriff auf die Daten stellt eine weitere Möglichkeit dar über automatisierte Verfahren eine Datenanreicherung zur Gebäudenutzung zu evaluieren. Weiter relevant könnte in diesem Zusammenhang die bereits beschriebene ‚Geokodierungsvorschrift' des EGovG (EGovG 2013) sein. Ob und inwieweit diese auf ein solches Register Anwendung findet, ist derzeit unklar.

Geodatenbestände der Wirtschaft

Eine zusätzliche Ergänzung des Zieldatensatzes kann über die Integration privatwirtschaftlich erhobener Geodatenbestände erfolgen. Die Identifikation dieser Datenbestände, eine Abschätzung von deren Qualität und anschließende Integration muss jedoch im Einzelfall geprüft werden. Bisher sind z.B. nur sehr wenige private Geodatenbestände in den einschlägigen Geodatenportalen zu finden und mit entsprechenden Metadaten beschrieben. Von Unternehmen wie der Deutschen Post AG liegen aber beispielweise flächendeckende Daten aus dem Segment des Geomarketing vor (Deutsche Post Direkt 2015). Diese sind teilweise manuell erfasst und in der Regel auf die internen Prozesse (hier die Zustellung) fokussiert. Als weitere Datenquellen, welche für eine Integration prinzipiell in Fragen kommen könnten, lassen sich zudem die Folgenden identifizieren: Daten der Deutschen Post AG, infas 360 GmbH (infas 360 GmbH 2015), Microm und Immocheck (Auflistung nicht abschließend). Problematisch bei der Nutzung privater Geodaten ist, dass die Datenbasis bzw. deren Ergebung in der Regel nicht transparent ist (im wissenschaftlichen Sinne). In Fällen, ohne amtlicher Alternative (z.B. der Baujahre), ist es letztendlich ein abzuwägendes Qualitätskriterium.

Offene oder Crowdsourced Fotos

Neben den Daten der Privatwirtschaft oder OSM können weitere offene Datenquellen für beispielhafte Integrationen herangezogen werden. Ein Beispiel wäre das offene Projekt ‚Mapillary' – ‚Crowdsourced Street Level Photos' (Mapillary AB 2015), eine Art freies GoogleStreetView. Alle Daten des Projektes stehen unter einer offenen Lizenz (CC BY-SA 4.0) und können somit ohne weiteres in die Anwendung integriert werden. Gerade StreetView-Aufnahmen eigenen sich beispielsweise gut zur Validierung von bereits kartierten Gebäudenutzungen. Auch werden in Fotoportalen wie z.B. Flicker vermehrt Fotos mit Georeferenzierung hinterlegt. Eine Nutzung dieser stellt eine weitere Integrationsmöglichkeit dar.

8.6. Umsetzungsskizze der Modell- und Datenebene

Um den Themenbereich Datenebenen abzuschließend soll ein mögliches Umsetzungsszenario diskutiert werden. Die Analysen und insbesondere konzeptionellen Umsetzungen aus Kapitel 7 haben gezeigt, dass mit INSPIRE ein Datenmodell vorliegt, welches die Anforderungen an ein Urban Mining Kataster nahezu vollständig erfüllt. Singuläre Erweiterungen sind notwendig aber durch die offene Modellierung gegeben. Eine konkrete Umsetzung und Anwendung der Schemas kann mittels der INSPIRE BU SIM erfolgen. Auch ist es möglich MKZ für die in INSPIRE Anwendung findenden Gebäudetypen aus der Literatur zu deklarieren. Nach der nicht abschließenden Identifikation potenzieller Datensätze stellt sich somit die Frage einer Integration der verschiedenen Ergebnisse. Abbildung 66 soll dieses Vorgehen grundlegende beschreiben. Unterschiedlichste Ausgangsdatensätze (hier beispielhaft gelistet) fließen innerhalb einer Datentransformation in die Zielmodellierung (INSPIRE BU SIM) ein. Dieser Prozess kann einzelne Datensätze unmittelbar transformieren oder aber auch eine Verknüpfung unterschiedlicher Datensätze bzw. eine Datenaggregation darstellen. Wichtig ist, dass dieser Prozess klar umschreiben und nachvollziehbar sind. Auch sei hier bereits auf das Thema der Lizenzbedingungen hingewiesen (siehe dazu: 9.4). Der so erzeugt Datensatz kann, gemäß der Typisierungen, mit den

Informationen zu MKZ verbunden werden und somit das Urban Mining Kataster initial abgeleitet werden. Die Anwendung, bzw. Publikation der Ergebnisse wiederrum erfolgt über interoperable Datensätze nach INSPIRE, einfache Webapplikationen oder auch statistische Auswertung für spezifische Anwendungsfälle. Hier greift der Ansatz interoperabler Datenmodellierungen.

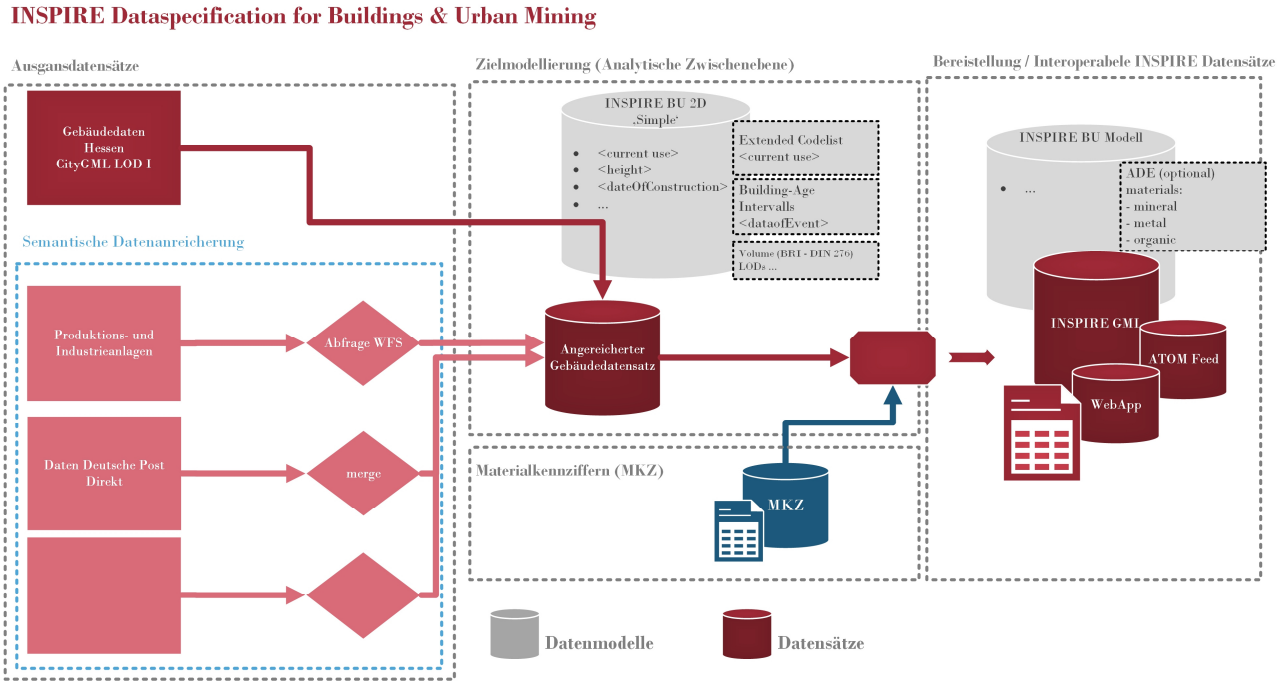

Abbildung 66: INSPIRE BU SIM - und deren Anwendung für ein Urban Mining Kataster

Wirkliche Mehrwerte der Anwendung entstehen immer dann, wenn verteilt vorliegende Datensätze über die GDI erst identifiziert und anschließend (durch die interoperable Definition dieser) in die Zielmodellierung eingefügt werden können. Dieser Prozess wird nicht voll automatisch erfolgen können, jedoch gewährleisten Ansätze einer verteilten GDI und die damit einhergehende Transparenz der Geodatenbereitstellung, erstmalig die grundlegende Anwendbarkeit. Erst die Erzeugung solcher „Mehrwertdatensätze" für einen konkreten (gewinnbringenden) Anwendungsfall, wie den eines Urban Mining Kataster, zeigen diese weitreichenden Möglichkeiten transparent auf.

9. Fazit

„Die gebaute Umwelt ist das größte physische, soziale und kulturelle Kapital einer Gesellschaft, aber auch das größte ökonomische Kapital“ Uta Hassler (Hassler 2011, S. 33)

Die vorliegende Arbeit konnte wesentliche Synergien zwischen Urban Mining und Geodateninfrastrukturen aufzeigen. Zur Ableitung eins übergreifenden Fazit, sowie einem weitergehenden Ausblick sollen die folgenden vier Leitmotive zur Orientierung dienen:

- Die Anwendbarkeit,
- Optimierungsmöglichkeiten,
- Erweiterbarkeit und
- Übertragbarkeit.

Der aktuelle Stand der Forschung rund um das Thema des Urban Mining führen in technologischer Hinsicht dazu, die übergreifenden Zielsetzungen einer GDI als logische Konsequenz eines strategisch Bottom-Up entwickelten Urban Mining Katasters anzusehen. Wurden Geodateninfrastrukturen anfangs mit der Zielsetzung eines einheitlichen Zugriffs auf Daten der öffentlichen Verwaltungen entwickelt sind die Bezugsrahmen heute wesentlich umfassender. Deutlich wird dies u.a. anhand der sehr offenen Definition der DIN/CEN (2014):

> Eine Geodateninfrastruktur ist kein sorgfältig ausgelegtes und spezifisches Informationssystem, sondern ein gemeinsamer Rahmen ungleicher Informationssysteme, die Ressourcen enthalten, deren gemeinsame Nutzung für die Beteiligten von Interesse ist. Die übergreifende Gemeinsamkeit der GDI-Ressourcen, bei denen es sich um Daten oder Dienste handeln kann, ist ihre Räumlichkeit.

(S. 5)

Die unterschiedlichen in dieser Arbeit vorgestellten Aspekte verteilter Geodaten (von amtlich bis VGI) werden damit als prinzipiell verfügbare Ressource eines Urban Mining Kataster deutlich. Die derzeitige Ermittlung des Ressourceninventars über die Bottom-Up-Methode, entsprechend einer Verbindung über eine Gebäudetypenmatrix und anschließende Hochrechnung über aus 3D-Geodaten abgeleiteten Bruttorauminhalten, hat hohe Anforderungen an die Geodatenbereitstellung aus eben solchen ungleichen Informationssystemen. Diese gilt es zukünftig vollumfänglich zu lösen. Eine erste Basis für ein hierfür grundlegend geeignetes, durchgängiges und übertragbares Konzept konnte mit dieser Arbeit geschaffen werden. Weitere Fragestellungen, wie die einer durchgängigen Geodatenintegration wurden in Ansätzen beleuchtet, konnten hier jedoch nicht in allen Facetten betrachtet oder umgesetzt werden.

Wie sich gezeigt hat, sind je nach Anforderung und Betrachtungsrahmen (Scope) unterschiedliche Detailgrade und Informationsdichten im Bereich der Gebäudemodellierung notwendig. Über den Ansatz der Datenverknüpfung mittels einer GDI konnte gezeigt werden inwieweit eine fachunabhängige Datenbasis im Rahmen der Geodateninfrastruktur geschaffen und langfristig operational nutzbar gemacht werden kann. Die Zusammenführung unterschiedlicher Geodaten in ein standardisiertes Geodatenmodell konnte mittels Beschreibung, Analyse und Umsetzungsskizze exemplifiziert werden. Die Gesamtzielsetzung, Synergien zwischen Urban Mining und Geodateninfrastrukturen aufzuzeigen und eine exemplarische Umsetzung von Anwendungsvarianten darzustellen konnte die Arbeit somit erfüllen.

9.1. Datenungenauigkeit und Zuordnung (Optimierungsmöglichkeiten)

Wie die Arbeit gezeigt hat, lässt sich das prinzipielle Vorgehen zum Aufbau eines auf Geodaten basierten Urban Mining Kataster methodisch gut beschreiben und durch relevante Fachliteratur zum Thema substanziieren. Wie jedoch nicht erst die eigene Analyse gezeigt hat, liegen insbesondere in den Daten des amtlichen Liegenschaftskataster teils erhebliche Datenlücken vor. Diese beziehen sich sowohl auf die reine Existenz der Informationen selbst als auch die sich daran anschließende Schwierigkeit einer Zuordnung zum Zielmodell. Deutlich wird hierbei, dass bei der Auswahl der Nutzungsarten in Hessen (ALKIS Profil (HLBG 2013a, 2013b)) nie an eine Anwendung in Richtung Ressourcenkataster oder auch Fragestellungen aus dem Bereich der energetischen Sanierung gedacht wurde. Die Daten sind auf diese Weise allein von ihrer grundlegenden Beschaffenheit immer mit einer entsprechenden Ungenauigkeit behaftet. In geometrischer Hinsicht stellt der ALKIS-Datenbestand einen ausreichenden Basisdatensatz dar, nicht aber in den geforderten semantischen Detaillierungsgraden. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass erst eine Fusion unterschiedlicher Datensätze eine ausreichend valide Datenbasis für regional Urban Mining Kataster darstellen kann.

9.2. INSPIRE-Datenspezifikation für Gebäude und deren Anwendung als Urban Mining Kataster

Die Komplexität der INSPIRE-Datenmodelle führt zum aktuellen Zeitpunkt zu einer erheblichen Verzögerung der Datenbereitstellung. Anstelle die Daten, in der Art und Weise ihres Vorliegens, bereitzustellen, wird auf die Umsetzung und Transformation in die Zieldatenmodelle gewartet. Die übergeordnete Zielrichtung sowie der modulare Aufbau der INSPIRE-BU Spezifikation kann positiv bewertet werden, jedoch ist, ohne Datennacherfassung oder der Förderung einer konkreten Erstellung qualitativer Datensätze, nicht davon auszugehen, dass sich die erhofften Anwendungsfälle finden. Die Notwendigkeit zur Etablierung eines auf dem INSPIRE-Modell aufsetzenden Analysemodell zeigt, inwieweit die INSPIRE-Datenspezifikation nur dem initialen Ziel eines Datenaustauschformates gerecht werden kann, aber nicht direkte als Datenmodellspezifikation für Applikationen angewendet werden kann. Diese Feststellung ist hinsichtlich der vielen INSPIRE-Themen differenziert zu betrachten. Sinnvoll im vorliegenden Anwendungsfall war es auf das normative INSPIRE-Modell (Core 2D) abzustellen und nur in optionalen Fällen auf das umfangreichere 3D-Modell zu schauen. Forderungen nach einfacheren Datenmodellen und der damit ermöglichten konkrete Anwendungen dieser sind zu unterstützen (Europäische Kommission 2016). Es kann jedoch festgehalten werden, dass mit dem INSPIRE-Datenmodell für Gebäude, welches als modular aufgebautes Modell verschiedene Profile (CORE und Extended) beinhaltet, ein umfangreiches europaweit harmonisiertes Datenmodell zur Verfügung steht. Essenziell erscheint eine solche Modellierung, um eine Übertragbarkeit der Methodik sicherzustellen. Die grundlegende Modellierung der Gebäude sollte möglichst anwendungsneutral sein und mit standardisierten und harmonisierten Datenmodellen erfolgen, um eine langfristige übergreifende Nutzung sicherzustellen. Auch die dringende Identifizierung und Umsetzung aussagekräftiger Beispiele zur Nutzung von INSPIRE-Daten und -Netzdiensten (unter Berücksichtigung der aktuellen Haushaltslage der Datenbereitsteller) könnte damit erfolgen bzw. eine potenzielle Nutzung evaluiert werden. Im Zusammenhang mit den innerhalb von INSPIRE sehr spezifischen und für kommunale Aufgaben sehr komplexen Datenmodellen und Spezifikationen und der damit einhergehenden Aufwände, wird gerade auf kommunaler Ebene der entstehende Mehrwert und die Nutzbarkeit allgemein hinterfragt. Ziel kann es daher sein, Mehrwertanwendungen zu erzeugen um die Funktionen von Geodateninfrastrukturen als Katalysator herauszuarbeiten. Anwendungen wie die eines ‚Urban Mining Kataster' können eine dieser oft geforderten Mehrwertanwendungen, hervorgehend aus INSPIRE und zukünftig verknüpft mit Open Data-Ansätzen sein.

Wie bei vielen Vorhaben die sich in den Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit einordnen lassen, braucht es auch bei Ressourcenkatastern einen ökonomischen Anreiz für deren Umsetzung (UNEP 2013, S. 25). Sollte dieser mit der Rückgewinnung von Ressourcen aus dem Baubestand ermöglicht werden, werden Urban Mining Kataster zukünftig eine zentrale Rolle bei jeglichen Entwicklungen in der Ressourcenwirtschaft spielen. Die enge Kopplung an harmonisierte Geodaten stellt an dieser Stelle für alle einen großen Mehrwert dar.

Die große Frage bei der Anwendung von INSPIRE bleibt an dieser Stelle jedoch die initiale Datenherkunft. Eine detailliere Modellierung, mit unterschiedlichsten Anwendungsszenarien ist erfolgt. Eine Neuerfassung von Daten ist explizit nicht vorgesehen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist davon auszugehen, dass die INSPIRE-Zieldatensätze aller Voraussicht nach nicht über den geometrischen und semantischen Informationsgehalt möglicher Ausgangsdatensätze in den Mitgliedsländern hinausgehen werden. Inwiefern sich die damit angestrebten Anwendungen umsetzen lassen kann, also in vielen Bereichen leider noch bezweifelt werden. Fraglich ist zudem, wer in solch übergreifenden Szenarien und Zusammenhängen eine koordinierende Funktion wahrnehmen kann. Hier sind, mit Bezug auf übergreifende Themenstellungen einer nachhaltigen Entwicklung in Europa, die europäische Legislative, sowie mögliche daran anknüpfende finanzielle Förderprogramme gefordert.

Ob ansonsten die idealtypische GDI, in der Form wie sie die INSPIRE-Vision sieht, umgesetzt wird, muss an dieser Stelle leider ebenfalls hinterfragt werden.

9.3. Mehrwerte von Geodateninfrastrukturen und Open Data

Entscheidend für die Weiterentwicklung von Geodateninfrastrukturen wird sein, die vorhandenen Hemmnisse einer übergreifenden Nutzung zu lösen. Nach wie vor besteht ein verstärktes Regelungsbedürfnis, neben einer technischen und semantischen, auch eine gleichgestellte rechtliche Interoperabilität von Geodatensätzen und -diensten herzustellen. Klare und eindeutige Lizenzbedingen, mit hohen Freiheitsgraden sind dafür essenziell. Die Einschränkung, Daten zwar individuell nutzen zu können, jedoch nicht mit anderen zu neuen ‚Anwendungen' oder gar Datensätzen zusammenführen zu können, erscheint nicht zielführend. An dieser Stelle wird nur am Rande Bezug zur Problematik der unterschiedlichen Lizenzmodelle bei der Datenintegration genommen. Das vorgestellte prinzipielle Vorgehen, also die Zusammenführung unterschiedlichster Datenquellen, amtlicher Geodaten, freier Geodaten, Statistiken und weiterer (auch teils proprietärer) Daten macht aber die Bedeutung von klaren und freien Lizenzmodellen deutlich. Die Möglichkeit einer gemeinsamen Nutzung unterschiedlicher Lizenzen schließt sich z.B. durch Vorgaben des sogenannten ‚Copyleft' (also der Weitergabe unter gleichen Bedingungen (z.B. Open Data Commons | Open Database License (ODbL) v1.0 2015)) und entsprechender Einschränkungen anderer Lizenzen, wie denen der amtlichen Geobasisdaten, derzeit aus (Ladstätter 2015, S. 75). Diese und weitere Fragen gilt es deshalb zu beantworten, wenn Verfahren eines automatischen oder semiautomatischen ‚Datamining' über verschiedene Datensätze hinweg angewendet werden sollen. Im Besonderen die Anwendung solcher Verfahren außerhalb des Bereichs der Forschung, also auch einer langfristigen außeruniversitären oder gar kommerziellen Nutzung machen klare Regelungen evident. Als gutes Beispiel kann hingegen die ‚Datenlizenz Deutschland' in ihrer Ausprägung ‚Zero – Version 2.0'[23] genannt werden. Sie erlaubt die kommerzielle und nichtkommerzielle Nutzung „ohne Einschränkungen oder Bedingungen". Damit ist weder eine Namensnennung notwendig noch die teils einschränkende Verpflichtung des ‚copy left'.

Der Idee einfacher und offener Lizenzbedingungen folgend könnten nach dem Motto „Weniger Taktiken, mehr Strategien" handelnde Personen in der Verwaltung dazu animiert werden proaktiver und mit überschaubaren Aufwänden eigene (derzeit noch verwaltungsinterne) Datensätze überhaupt erstmalig zu identifizieren und anschließend bereitzustellen. Eine Bereitstellung dieser Daten kann wiederrum von Anwender- bzw. Nutzerseite zur Integration, beispielhaft in die eines Urban Mining Kataster, erfolgen und die oftmals propagierten Mehrwerte generieren. Essenziell erscheint, die Handlungsspielräume für die entsprechenden Personen in der Verwaltung zu schaffen und somit interne, aber auch externe Synergien zu erzielen. Die Betrachtungsweise der Wirtschaftsförderung, Open Data zunehmend eine höhere Bedeutung als sogenannten weichen Standortfaktor beizumessen, kann diesen Prozess auch von politischer Seite her unterstützen (DStGB et al. 2014, S. 4).

[23] Datenlizenz Deutschland – Zero – Version 2.0 - https://www.govdata.de/dl-de/zero-2-0

Offene Geodaten sind damit die logische Weiterentwicklung von Geodateninfrastrukturen. Erst durch die offene Bereitstellung der Daten werden die durch eine Implementierung von GDI erhofften Mehrwerte für internationale, aber vor allem regionale Geodateninfrastrukturen greifbar. Die letztendliche Verfügbarmachung von Daten schafft die Basis für Mehrwertapplikationen wie die eines Ressourcenkatasters. Durch die Kombination von amtlichen Geobasisdaten, oft als Basisdatensätze verwendet, und entsprechenden Mehrwertdatensätzen in Form von Open Data ist es möglich weitreichende Informationsgewinne zu erzielen. Ein wichtiger Aspekt dieser Entwicklung ist der enge Dialog zwischen originären Bereitstellern von Geodaten und aktuell immer aktiver werdenden Initiativen rund um Open Data. Die Idee, Mehrwerte über die Integration von ‚Social Open Data' zu generieren ist vielversprechend.

9.4. Die Relevanz von Open Data für ein Urban Mining Kataster

Aus zwei sich ergänzenden Gesichtspunkten kann das Themenfeld Open Data weitreichende Relevanz für den Aufbau eines Urban Mining Kataster entfalten. Der primäre Faktor ist hierbei sicherlich die mögliche Nutzung und Integration einer Vielzahl von Daten und Informationen der Verwaltung, der Öffentlichkeit (Crowdsourcing) als auch der Privatwirtschaft für die Informationsgewinnung in einem Urban Mining Kataster (Datenebene). Sicherlich erster Anknüpfungspunkt ist hier die notwendigerweise essenzielle Generierung von Informationen über den Gebäudebestand und dessen zeitliche Entwicklung. Als sekundärer, dabei aber nicht unwesentlicher Faktor, kann die offene Verfügbarkeit von Geodaten (beginnend bei den Geobasisdaten) bis hin zu den Informationen aus einem Urban Mining Kataster für eine notwendige Transparenz eines Ressourcenkreislaufes im Sinne des Urban Mining dienen. Diese potenzielle Wertschöpfung der Informationen, beispielsweise durch die Bau- und Recyclingwirtschaft steht dabei sicherlich erst am Ende des Entwicklungspfades.

Fokussierend auf den primären Faktoren lassen sich beispielhaft die folgenden Datensätze mit potenzieller Relevanz für den Aufbau eines Urban Mining Kataster identifizieren. Eine Wertung der Geeignetheit muss dabei ausführlich und individuell für die einzelnen Datensätze erfolgen (Auflistung nicht abschließend).

- Geodaten aus dem AAA-Modell (u.a. Flurstücke, Flurstücksnummer, Tatsächliche Nutzung, Gebäude, Bauwerke, Adressen)
- 3D-Stadtmodelle
- Verwaltungsgrenzen
- Landnutzung
- Digitale Orthophotos
- Öffentliche Einrichtungen (z.B. Kita-Datenbank, Schulstandorte)
- Hochwasser / Überschwemmungsgebiete
- Baugenehmigungen (inkl. Abbruch)
- Geltungsbereiche (und Festsetzungen) von Bebauungsplänen
- Denkmal- und Kulturschutzkataster
- Erfassungen zu Gebäudezuständen

Weiter lohnt auch ein Blick auf internationale Aktivitäten und deren Datensätze. So wurde in Frankreich bekanntgeben das, dass landesweite Unternehmensregister als Open Data freigegeben werden soll. „The Registre national du commerce et des sociétés (RNCS - National Registry of Commerce and Companies)" enthält dabei zentralisierte Informationen über alle Unternehmen (Kapital, Typ, Unternehmensergebnisse, Besitzer etc.) (Chausson). Ähnliche Forderungen zur Veröffentlichung solcher Daten existieren auch in Deutschland, wie die von BMI gemeinsam mit der Initiative D21 gestartete Initiative „Ideenplattform zu Open Data Aktionsplan" zeigt (BMI und Initiative D21 e.V. 2015). In einem letzten Schritt kann immer er eine konkrete Sichtung der

Offenen Daten dazu führen deren Anwendungspotenzial zu evaluieren. Hierzu konkrete Aussagen bereits im Vorfeld eventueller Bereitstellungen zu treffen ist schwierig. Essenziell erscheint die Forderung nach der Veröffentlichung von Datensätzen als OpenData, hier insbesondere unter Lizenzen mit hohen Freiheitsgraden, in der Weiternutzung der Daten. In Situationen, in welchen Aggregationen und Kombinationen von Daten vorgenommen werden sollen und diese wiederrum für Folgeanwendungen zur Verfügung stehen sollen, sind offene Lizenzierungen unerlässlich.

9.5. Die Problematik des Datenschutzes

Bei der allgemeinen Betrachtung nicht gänzlich außer Acht gelassen werden können datenschutzrechtliche Bedenken. Im konkreten Anwendungsfall eines Urban Mining Kataster sind es vordergründig direkte Sachinformationen über Gebäude (in Form raumbezogener semantischer Informationen). Der deutsche Datenschutz unterscheidet bei der Schutzwürdigkeit maßgeblich in Personen- und Sachbezogene Daten. Diese Unterscheidung ist essenziell, wenn es um die Frage der Schutzwürdigkeit eines Datums geht. Personenbezogene Daten unterliegen dabei naturgemäß einem besonderen Schutzbedürfnis. Fraglich ist daher der direkte und indirekte Bezug von Sach- zu Personendaten. Simitis hält dabei fest: "Da Sachen typischerweise in multiplen und über die Zeit variablen Beziehungen zu einer Mehrzahl von Personen stehen, fehlt Sachdaten eine exklusive Zuordnung zu einer Person und damit eine wesentliche strukturelle Voraussetzung, um sie generell einer exklusiven Verfügungsbefugnis zu unterstellen." Ein Selbstbestimmungsrecht für isoliert verarbeitete Sachdaten ist damit nicht konkret gegeben (Simitis und Dammann 2014, S. 58).

Für jegliche Geodaten ist der Bezug von Sach- zu möglicherweise direkt personenbezogenen Daten über räumliche Beziehungen in der Geodatenverarbeitung augenfällig. "Der genuine Gemeinschaftsbezug von Sachdaten ist bei Geoinformationen besonders evident." Denn „Raumbezogene Informationen können ihrer Natur nach in vielfältigen Beziehungen zu zahlreichen Personen gesehen werden.“ (Simitis und Dammann 2014, S. 59)

So wird aber festgehalten, dass nur die Tatsache, dass eine Verknüpfung von Sachdaten mit personenbezogenen Daten möglich ist, nicht zu einem schützenswerten Datum wird. Dies kann für Gebäudefunktionen und weitere semantische Gebäudeinformationen als Orientierung angebracht werden. Der Datenschutz sieht dabei eine Entscheidung in Abhängigkeit der Anwendung vor. Diese bei der Veröffentlichung von Geodaten, unabhängig der späteren Nutzung, vorzunehmen erscheint schwierig bzw. nahezu unmöglich. Simitis empfiehlt hierbei eine pragmatische Betrachtung. „Haben Sachangaben im gegeben Kontext Auswirkungen auf die rechtliche, wirtschaftliche oder soziale Position des Betroffenen oder eignen sie sich zur Beschreibung seiner individuellen Verhältnisse, so sind sie ihm als eigene, personenbezogene Daten zuzurechnen, andernfalls bleiben es reine Sachdaten.“ (Simitis und Dammann 2014, S. 59)

Übertragen auf Daten zu z.B. dem Gebäudealter lässt sich nach diesem Bewertungsmaßstab festhalten, dass es sich im eigentlichen Sinne nur um Sachdaten handeln kann. Ein konkreter Personenbezug ist zwar im Einzelfall möglich (über die Eigentumsdaten des Katasters oder eine Vorort-Aufnahme der Nutzer (Bewohner) eines Gebäudes), daraus jedoch einen direkten Rückschluss auf die „rechtliche, wirtschaftliche oder soziale Position des Betroffenen“ oder sogar dessen „soziale Position“ vorzunehmen erscheint zu weitreichend. Eine abschließende rechtliche Beurteilung des Sachverhaltes ist jedoch im Zweifel juristisch zu prüfen.

9.6. Übertragbarkeit der Gesamtmethodik

Die Übertragbarkeit auf andere Regionen stellt eine weitere offene Frage des vorgestellten Ansatzes dar. Gerade die Abschätzung von Rohstoffpotenzialen ist nicht nur regional interessant sondern auch in einem umfassenden räumlichen Kontext relevant. Fraglich ist daher, ob eine Übertragbarkeit der vorgestellten Methodik, beispielsweise auf die Gesamtregion Deutschland, möglich ist:

Für die räumliche Ebene ist, durch die einheitliche Modellierung von INSPIRE, eine Übertragbarkeit gegeben. Hierbei wird jedoch die Diskrepanz zwischen einheitlichen Datenmodellen und deren Bereitstellung in Form der eigentlichen Datensätze ewident. Was die In-Situ Ebene anbelangt, also die konkrete Erfassung von Gebäudespezifischen Kennwerte, ist auf regionale Diversitäten zu achten und damit ggf. Anpassungen notwendig. Hierfür sind verschiedene regional spezifische Merkmale hinsichtlich deren Verallgemeinerung zu prüfen. Die Beispielregion Frankfurt / Rhein-Main zeichnet sich durch spezielle Bauweisen und damit auch gebäudespezifische Ressourcenkennwerte aus. Von einer Übertragbarkeit der Kennwerte von Gebäuderepräsentanten ist hingegen auszugehen, wenn diese in vergleichbarer Form in anderen Regionen vorkommen. Im Gegensatz dazu sind gerade Lebenszyklen von Gebäuden in Verbindung mit deren Angebot und Nachfrage sehr stark regionsspezifisch. Um regional ausgeprägte Immobilienzyklen genauer verstehen zu können, sind an dieser Stelle weitere Forschungsarbeiten notwendig.

Die entscheidende Frage für eine Übertragbarkeit ist aber die Ausgestaltung einer weiteren Harmonisierung von Geodatenbeständen. Wie gezeigt wurde, können harmonisierte Geodaten eine ideale Datenbasis darstellen. Aktuell vorhandene Freiheitsgrade in der Ausgestaltung, beispielsweise über Bundeslandgrenzen hinweg, machen eine automatisierbare zentrale Auswertung noch immer schwierig bis unmöglich. Wie die Arbeit gezeigt hat, ist es derzeit notwendig sich intensiv mit den teilweise sehr unterschiedlich interpretierten und genutzten Ausprägungen von ALKIS zu beschäftigen um diese als Basisdatensatz in Deutschland zu nutzen. Erst die vollumfängliche Umsetzung des INSPIRE-Gebäudemodells in Deutschland verspricht hier eine Besserung.

Wie die Analyse von CLAUSNITZER zeigt, sind z.B. in Essen 201 Gebäudefunktionen definiert, in Düsseldorf dagegen nur 79 (Clausnitzer et al. 2014, S. 58). In Hessen sind es dagegen ca. 22 (HVBG Hessen 2014a, S. 99–103). Erste Analysen lassen darüber hinaus bezweifeln, dass gleichartige Gebäude in unterschiedlichen Regionen vergleichbar eingestuft werden. Eine Analyse weiterer Attributierungstiefen von Geodatenbeständen, beispielsweise auch solche größerer Städte (z.B. der Stadt Frankfurt, Stadt Wiesbaden), können hier interessante Unterschiede und mögliche Gemeinsamkeiten hervorbringen. Hier ist die Idee einer idealtypisch harmonisierten GDI sicherlich noch nicht Realität geworden. Der auf anwendungsneutralen Datenmodellen aufbauende Ansatz mit der darin enthaltenen Nutzung flächendeckender 3D-Modelle sowie der Versuch, über dezentrale Geodateninfrastrukturen die vorhandene Datenlücke zu schließen, lässt zum jetzigen Zeitpunkt die Feststellung zu, dass eine prinzipielle Übertragbarkeit auf andere Regionen gegeben ist.

Es konnte gezeigt werden, dass mit der Kombination von harmonisierten Geodaten einer GDI zusammen mit offenen Daten aus der Verwaltung sowie externer (Community Data) weitreichende Synergieeffekte auch für Prozesse mit erheblicher Relevanz für öffentliche Aufgaben, hier am Beispiel des Ressourcenkataster, erzeugt werden können. Darüber hinaus kann die praktische und zielgerichtete Beantwortung aktueller und zukünftiger Fragestellungen die notwendige Transparenz in die Zielsetzung der sich im Aufbau befindlichen Geodateninfrastrukturen bringen. Nur durch eine solche prototypische Umsetzung und detaillierten Beschreibungen von potenziellen Mehrwerten lassen sich aktuell vorhandene Ressentiment und Hemmnisse in der Datenbereitstellung überwinden. Noch sind einige offene Fragestellungen zu lösen, die Perspektiven und damit möglichen Effekte sind weitreichend.

9.7. Beantwortung der Forschungsfragen

Die zu Beginn aufgestellten Thesen konnte alle samt im Rahmen der Arbeit bestätigt werden. Einzige Einschränkung kann bei These 1 angeführt werden. Hier müssen bestehenden Geodateninfrastrukturen noch den faktischen Nachweis erbringen, dass sie die Zugänglichkeit zu, in der Realität nachweißlich vorliegenden Geodaten, umfassend ermöglichen. Im Bereich von INSPIRE ist dies, zumindest derzeit noch nicht abschließend der Fall.

Gesamthypothese der Arbeit:

Die Informationen zum Gebäudebestand, welche für den Aufbau eines Urban Mining Kataster benötigt werden, sind vorhanden, es fehlt an einer harmonisierten Modellierung sowie ubiquitären Zugänglichkeit dieser Informationen. Die fehlende Zugänglichkeit und Transparenz umfasst dabei sowohl technische als auch organisatorische Aspekte.

These I:

Geodateninfrastrukturen stellen eine valide Basis für ein Urban Mining Kataster dar.

These II:

Geobasisdaten aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) enthalten, in der tatsächlichen Form, nicht den semantischen Detaillierungsgrad, wie er für Analysen über den Gebäudebestand notwendig ist.

These III:

Die INSPIRE-Modellierung für Gebäude bietet die Möglichkeit ein umfassendes und flächendeckendes Urban Mining Kataster aufzubauen.

These IV:

Die Kombination von Open Data (Offenen Daten) und Daten aus Geodateninfrastrukturen können die Lücke der benötigten Informationen schließen.

These V:

Nur Anwendungsfälle, wie beispielsweise ein Ressourcenkataster, machen den Mehrwert zum Aufbau von Geodateninfrastrukturen transparent, nur hierüber entsteht die Motivation zur weiteren Umsetzung.

These VI:

Materialkennziffern (MKZ) zur Hochrechnung / Prospektion sind für den Wohngebäudebestand in Deutschland nachvollziehbar herzuleiten und zu belegen, für den Bereich der Nichtwohngebäude liegen noch kaum verlässlichen Daten vor.

Forschungsfragen

I Wie lassen sich regionale Ressourceninventare aus dem vorhandenen Gebäudebestand quantitativ erfassen? Welche Rolle können Geodaten dabei spielen?

Geodaten spielen bei der Betrachtung von regionalen Ressourceninventaren bzw. dem Aufbau eines Urban Mining Katasters eine elementare Rolle. Für übergreifende, z.B. Deutschlandweite Ansätze kann auf statistische Verfahren und Top-Down Methoden zurückgegriffen werden. Diese lassen sich jedoch für regionale Anwendungen nicht nutzen. Sofern also die Betrachtungsebenen auf den Bereich der Mikroebene (u.a. konkrete Gebäude) ausgeht, sind Geodaten die effektivste und verlässlichste Datengrundlage.

II Ergänzen sich Geodateninfrastrukturen und OpenData hinsichtlich einer harmonisierten Datenintegration?

Wie die Umsetzungsskizze (8.6.) gezeigt hat ist für eine verlässliche Datenbasis eine Verknüpfung unterschiedlicher Geodatensätze notwendig. In diesem Fall werden offene Lizenzen unerlässlich. Erst die lizenzrechtliche Option, Datensätze zu aggregieren und damit potenziell neue Datensätze zu erzeugen, diese wiederrum (unter vergleichbaren Bedingungen) unter einer offenen Lizenz zur Verfügung zu stellen, ermöglichen es, dass gesamte Potenzial nutzbar zu machen. Strikte Lizenzbedingungen können eine solche Zusammenführung verhindern.

III Ist die inhaltliche Detailtiefe von Geobasisdaten in Deutschland (im ALKIS-Datenmodell) ausreichend zum Aufbau eines Urban Mining Kataster?

Die Frage konnte im Rahmen der Arbeit nicht abschließend beantwortet werden. Der Fokus lag mehr auf der Modellbildung als auf der konkreten Untersuchung unterschiedliche Datensätze. Verfügbare Studien und eigene Stichproben lassen jedoch die Vermutung zu, dass die ALKIS-Datensätze allein nicht die ausreichende inhaltliche Detailtiefe mitbringen. Insbesondere in den Bereichen der Nichtwohngebäude sowie zu Baujahren der Gebäude. Diese Aussage divergiert jedoch sehr stark innerhalb der einzelnen Bundeslänger und sogar Regionen.

IV Können mittels Geodateninfrastrukturen die vorhandenen Datenlücken geschlossen werden und harmonisierte Geodaten als verlässlicher Input in Materialflussanalysen zum Baubestand dienen?

Geodateninfrastrukturen sind die logische Datengrundlage für diesen Lückenschluss. Sofern die Schritte einer Harmonisierung (durch INSPIRE oder regionaler GDI Initiativen) zeitnah abgeschlossen werden und mit einer weitreichenden Öffnung der Datensätze (auch unstrukturierter) begonnen wird, lässt sich die Frage verlässlich beantworten. Die Grundannahme, dass die Daten verfügbar aber zu teilen einfach noch nicht zugänglich sind bleibt derzeit noch bestehen.

V Sind Geodateninfrastrukturen das zukünftige Datenvehikel für ein ressourcenfokussiertes Gebäudemanagement?

Die Frage kann nur differenziert beantwortet werden: Für die regionale Betrachtungsebenen sind Geodateninfrastrukturen die Datengrundlage der Zukunft. Was die Betrachtung einzelner Gebäude angeht lässt sich ein weiterer Trend erkennen. Die Bestrebungen zur Betrachtung ganzer Gebäudelebenszyklen mittels BIM nehmen hier eine Vorreiterrolle ein. Diese beiden Welten weiter zu verknüpfen, muss daher Ziel zukünftiger Initiativen sein.

10. Ausblick

Betrachtung der Infrastruktur

Identische methodische Ansätze bieten die Möglichkeit neben Gebäuden auch die Infrastruktur zu betrachten. Diverse individuelle Ansätze sind bereits in der Literatur zu finden (Wallsten et al. 2013; MaRess 2010), ein harmonisierter Ansatz besteht jedoch bisher nicht. Da die Infrastruktur, neben den Gebäuden, das wohl größte bauliche Inventar darstellt und auch entsprechenden Lebenszyklen der Nutzung unterliegt wäre die systematische Betrachtung dieser ein logischer nächster Schritt. Auch auf der Ebene der Geodaten liegen hier bereits harmonisierte Datensätze und entsprechende Datenmodelle vor. Mit der Version 4 der Industry Foundation Classes (IFC) (ISO 16739:2013) sind viele Infrastrukturobjekte auf der Modellebene bereits standardisiert (u.a. Brücken und Tunnel), eine Anwendung dieser Modell ist damit für die Betrachtung der dort verwendeten Ressoucen denkbar.

Geodatenfusion und interoperable Datenmodelle in Geodateninfrastrukturen

Wie die verschiedenen Umsetzungsszenarien gezeigt haben, ist auf Basis von technologisch und semantisch interoperablen Geodatensätzen eine Generierung von Mehrwerten in Form eines Urban Mining Kataster grundsätzlich möglich. Die Verfügbarkeit einer Vielzahl von Datensätzen durch Open Data, privater Geodatenanbieter und auch VGI führt dazu, dass über Wege der automatischen Zusammenführung nachgedacht werden muss. Erst damit wird es möglich weitergehende Informationsgewinne zu erzielen. Die beschriebenen Bestrebungen eines ‚Semantik Web', und der damit einhergehenden Möglichkeit einer automatisierbaren Zusammenführung stehen jedoch noch am Anfang. Da bisher wenige Datensätze in der dafür notwendigen Form publiziert sind fehlt es insbesondere an produktiv nutzbaren Beispielen. Die Verknüpfung dieser Daten untereinander ist eine der Zielsetzung der sog. ‚Open linked Data' (Diaz et al. 2012, S. 391). Die perspektivische Anwendung dieser Technologien stellt ein großes Potenzial dar und kann übergreifend den Forschungsfragen der Geosemantik, also der geometrischen und semantischen Integration verschiedener Geodaten in ein Zielmodell, zugeordnet werden. Ein derzeit nicht abschließend gelöstes Problem ist die nahtlose Zusammenführung unterschiedlicher Geodatensätze. Über einen gemeinsamen ‚Raumbezug' ist die Kombination von unterschiedlichsten interoperablen Geodaten zwar grundsätzlich möglich, eine widerspruchsfreie geometrische und semantische Integration der Daten stellt indes hohe Anforderung an mögliche Lösungsroutinen. Unterschiedliche Ansätze und Bestrebungen sind hier bereits festzustellen. So kann beispielsweise auch die als ‚Geodatenfusion' zu charakterisierende Zusammenführung von verschiedenartigen Geodaten, über eine GDI, nach WIEMANN als zusätzliche „Abstraktionsebene zwischen Datendiensten und Anwenderschicht gesehen werden." (Wiemann 2014, S. 3)

Methoden wie die Integration und Fusion von Geodaten aus einer GDI mit Technologien des ‚Semantik Web' befinden sich noch am Anfang. Hauptentwicklungsaspekte liegen hier in standardisierten Vokabularen für die Beschreibung von Geodaten und Relationen sowie „Möglichkeiten zur Mediation der unterschiedlichen Datenstrukturen." (Wiemann 2014, S. 3–8) Verschiedene Methoden der Geosemantik vergleicht bereits SESTER (Sester 2007). Viele der Ansätze stammen derzeit aus dem Bereich der Rasterdatenverarbeitung, dabei insbesondere der automatischen Erkennung von Veränderungen (Change Detection). Der Fokus liegt vorwiegend auf der geometrischen Fusion von Geodaten. Mit Fragestellungen einer komplexen semantischen Beschreibung der Datensätze entstehen neue Herausforderungen.

Für die Fortentwicklung einer semantisch harmonisierten Geodatenbasis in Deutschland sind insbesondere auch die weiteren Bestrebungen der GDI-DE relevant. Im Januar 2015 wurde die Einführung eines neuen Arbeitskreises ‚AK Geodaten' zur Umsetzung der in § 4 Nr. 7 der Verwaltungsvereinbarung GDI-DE (Verwaltungsvereinbarung GDI-DE 2013) beschriebenen Aufgabe ‚zur Gewährleistung der Interoperabilität von Geodaten' beschlossen (Taggeselle und Seifert 2015). Die Ziele und Aufgaben des Arbeitskreises gestalten sich dabei wie folgt:

„Die Herstellung von (weitgehender) semantischer und syntaktischer Interoperabilität zwischen Geodaten, insbesondere im Hinblick auf die Vielfalt der vorhandenen Datenmodelle und Erfassungsmethoden, ist aus Sicht des AK Architektur eine eigenständige und dauerhaft zu bearbeitende Fragestellung in der GDI-DE.“(Taggeselle und Seifert 2015) Dem AK Geodaten werden dabei Aufgaben wie die Erarbeitung, Veröffentlichung und Pflege von Handlungsempfehlungen und Rahmenvorschlägen für „die Modellierung von Geodaten in der GDI-DE (die über INSPIRE Dokumente hinausgehen) übertragen.“ Besonderer Fokus soll hierbei auf der „Förderung von Interoperabilität zwischen bereits etablierten Datenmodellen“ liegen. Es ist hierbei nicht das Ziel ein zentrales Datenmodell der GDI-DE zu entwickeln, sondern viel mehr die Harmonisierung vorhandener (z.B. ALKIS und INSPIRE) voranzutreiben. Auch sind „die Konzeption der Registrierung von Datenmodellen und Transformationsregeln zu deren zentraler Verwaltung in der GDI-DE Registry“ zu entwickeln. Bereits das INSPIRE zu Grunde liegende ‚conceptual framework‘ definiert die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Datenthemen innerhalb einer GDI wie INSPIRE als langfristiges Ziel, sogenannte „cross-theme interoperability“ (European Commission - Joint Research Centre - IES et al. 2012, S. 52).

Viele der dort genannten Zielsetzungen greifen Problematiken und Fragestellung auf, die auch diese Arbeit im Bereich der Zusammenführung unterschiedlicher Geodatensätze hervorgebracht hat. Die Bestrebungen der GDI-DE gilt es weiter zu verfolgen und in mögliche weiterführende Arbeiten zu integrieren. Mit den beiden Themenbereichen der Geodatenfusion, über Ansätze des Semantic Web sowie der weiteren Etablierung semantisch und syntaktisch harmonisierter Geodatenmodelle (mit einheitlichen Transformationen zwischen den Modellen) können einige der offenen Problemstellungen in Zukunft möglicherweise stark vereinfacht werden.

Datenvalidierung und ‚Crowdsourcing‘

Ein weiterer kurzfristig zu realisierender Lösungsansatz zur Zusammenführung dieser, in Ihrer Rohform teilweise unstrukturierter Daten, ist eine semiautomatische Erfassung der Informationen. Basierend auf einem Zielschema und entsprechender Erfassungsmasken können unterschiedliche Geodaten (mit direktem oder indirektem Raumbezug) integriert werden. Zielsetzung kann hierbei ein webbasiertes Framework sein, welches Daten aus OSM, von privaten Geodatenanbietern (Google, Microsoft BingMaps, Deutsche Post AG und weiterer) und durch GDI recherchierbare Geodaten (z.B. historische Siedlungsentwicklungen) über einen einheitlichen Raumbezug visualisiert und somit eine integrierte Erfassung oder Validierung von Gebäudeinformationen ermöglicht.

Zum aktuellen Zeitpunkt scheint, unter Betrachtung der vorhandenen Datenbestände, ein kombiniertes Vorgehen von automatischer und semiautomatischer Datenerfassung am zielführendsten. Mit der automatischen Klassifikation und Verschneidung unterschiedlicher Datenbestände (Mapping) kann eine valide Datenbasis eines Urban Mining Katasters geschaffen werden. Wie die unterschiedlichen Analysen ergeben haben, liegen in den verschiedenen Datenbeständen jedoch weiter Inkonsistenzen und datenbestandsübergreifend möglicherweise Widersprüche vor. Zur qualifizierten Typisierung erscheinen daher eine nachträgliche Validierung und teilweise Neuerfassung unausweichlich. Hier bietet die Geoinformatik bereits eine Vielzahl technischer Möglichkeiten, welche eine solche Anwendung erleichtern können. Idealtypisch sind dies WebGIS-Anwendungen die von unterschiedlichen Nutzern mit der Möglichkeit verschiedenartige Geoinformationen zu kombinieren, eingesetzt werden können. Zum praktischen Aufbau ist daher ein mehrstufiges Vorgehen vorzuschlagen. Zu Beginn werden unterschiedliche Daten einer GDI recherchiert und aufbereitet. Die Aufbereitung der Daten erfolgt nach vorgestelltem Vorgehen, weitestgehend über die automatische Kombination harmonisierter Datenmodellierungen. In Zukunft sind hier Vereinfachungen durch einheitliche konzeptuelle Datenmodelle zu erwarten. Auch lassen sich angesprochene Konzepte der semantischen Datenintegration und Methoden des ‚Semantik Web‘ einbeziehen. Als letzte Stufe ist die Verifizierung der Daten über Crowdsourcing denkbar. Lösungswege für semiautomatische Erfassungen von energierelevanten Geodaten via Crowdsourcing werden in der Literatur bereits beschrieben und prototypisch umgesetzt. Mobile Applikationen wie z.B. die ‚STELAapp‘

können dazu genutzt werden Photovoltaikflächen zu erfassen und somit zu detaillierten, lokal spezifischen Energieszenarien beitragen (Sagl et al. 2014).

Digitale Zwillinge - Digital Twin

Auch wenn sich, wie in der Arbeit klar wurde, Geodateninfrastrukturen an vielen Stellen nach wie vor im Aufbau befinden, gehen die Entwicklungen in der Forschung und Anwendung weiter. Einen weiterführenden und übergreifenden Blick auf den Themenkomplex nehmen sogenannte „Digitale Zwillinge“. Hierbei geht es um mehr als die reine digitale Abbildung von 3D-Stadtumgebungen. Erkennbar ist eine Entwicklung hin zu vollständig digitalisierten und dynamischen Datenräumen. Auch neue Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI), der Sensorintegration (IoT) und der unmittelbaren Veränderung und Anpassungen von Modellen steht hier im Vordergrund. Definiert werden Digitale Zwillinge wie folgt: „Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Modell z.B. eines Prozesses, eines Produkts oder einer Dienstleistung, welches die reale und virtuelle Welt verbindet. Digitale Zwillinge verwenden reale Daten von installierten Sensoren […]. Diese Kopplung der virtuellen und realen Welten ermöglicht die Analyse von Daten und die Überwachung von Systemen, z.B. Probleme verstehen und bearbeiten, bevor sie überhaupt auftreten, […]“ (Gabler Wirtschaftslexikon 2021). Diese Definition findet heute auch Anwendung auf Geodateninfrastrukturen. Digitale Zwillinge fokussieren sich somit unmittelbar auf den Lebenszyklus und die Veränderung von Objekten. In der Geodäsie bzw. Geoinformatik finden diese Modelle und Ansätze auch vermehrt ihre Anwendung und werden als logische Weiterentwicklung bestehender Geodateninfrastrukturen angesehen (Ostrau und Kany 2020, S. 212). Relevant für den Bereich der Urban Mining Kataster werden Digitale Zwillinge in zweierlei Hinsicht: Zum einen ist davon auszugehen, dass Initiativen (auch durch andere Fachdisziplinen initiiert) dazu führen werden, die Datengrundlage zu Gebäuden und Infrastruktur zu verbessern. Wie diese Arbeit gezeigt hat, liegt hier noch ein großes Hemmnis für eine flächendeckende Umsetzung von Urban Mining Katastern. Weiter wird das Thema relevant, wenn es um die Betrachtung von konkreten Lebenszyklen ganzer Gebäude oder auch einzelner Bauteile geht. Je genauer und spezifischer die gebaute Umwelt in digitalen Modellen erfasst ist und konkret Sensoren mit der Möglichkeit einer unmittelbaren Daten- / Informationskopplung genutzt werden können, je detaillierter können Ressourceninventare a priori abgeschätzt und darauf aufbauend in ihrer Verfügbarkeit modelliert werden. Weitere Forschungsansätze im Bereich der Anwendung eines Digitalen Zwilling und Fragestellungen des Urban Mining sind daher dringend zu entwickeln und können viele der aufgezeigten und noch offenen Probleme einer konkreten Umsetzung lösen. Um den Kontext abschließend noch zu erweitern, ließe sich auch über „Datenräume für Ressourcenkataster“ sprechen. Diese, als synergetischen Datenraum, einer sich immer weiter digitalisierenden und vernetzenden Welt zu schaffen, dabei unterschiedliche Ansätze von BIM, X-Planung, XÖV, INSPIRE, Sensoren und IoT in Modellen über Ansätze der Künstlichen Intelligenz zusammenzuführen, stellt ein weitreichendes Feld für die Forschung dar.

Die Zukunftsperspektive eines systematischen Urban Mining Kataster beschreiben schon Lichtensteiger et al. 2006, diese ist 2021 nach wie vor aktuell:

„Für das Urban Mining könnte ein solchermassen systematisiertes Vorgehen einen ähnlichen Quantensprung bedeuten wie die Einführung der systematischen Exploration bezüglich der geogenen Lagerstätten. Als Instrument der Früherkennung […] mit dem strikten Bezug zur physisch vorhandenen Lebensgrundlage könnte es zu einer nachhaltigen Entwicklung der Siedlungsräume beitragen.“ (Lichtensteiger et al. 2006, S. 25 [sic])

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auf Sand basierende Landentwicklungen in Dubai (Satellitenaufnahme) (UNEP GEAS 2014) ____ 7
Abbildung 2: Einstufung von ausgewählten Rohstoffen nach deren ökonomischer Bedeutung und Versorgungssicherheit (Europäische Kommission 2010, 6) _____ 8
Abbildung 3: Relative Preisentwicklung für wichtige Industriemetalle und Erdöl seit 2003 (BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2018, 7) _____ 8
Abbildung 4: McKelvey Box (nach Smil 2003, 182; Wallsten, et al. 2013, 104), Übersetzung durch den Autor __ 9
Abbildung 5: Klassifikation anthropogener Lager nach (Umweltbundesamt (UBA) 2017, 43) _____ 11
Abbildung 6: Aufbau der Arbeit _____ 14
Abbildung 7: Kernkomponenten einer GDI (Rajabifard 2008, 13; Williamson, et al. 2003) _____ 20
Abbildung 8: Kernbestandteile einer GDI (Birth & Schleyer 2010, 604) erweitert durch (Schnitzer 2011, 8) ___ 21
Abbildung 9: GDI-Hierarchie (Williamson, et al. 2003, 30; Schnitzer 2011, 8) _____ 22
Abbildung 10: Charakterisierung von Interoperabilität – aus (Najar 2006) zitiert nach (Staub 2009, 20) - erweitert _____ 23
Abbildung 11: INSPIRE Roadmap (Europäische Kommission (Joint Research Center) 2019) _____ 27
Abbildung 12: Beziehungen zwischen INSPIRE Durchführungsbestimmungen und Umsetzungsanleitungen (Europäische Kommission (Joint Research Center) 2017b) _____ 28
Abbildung 13: Datenthemen der INSPIRE Anhänge I-III (Eigene Darstellung - Quelle der Symbole: (INSPIRE Website 2014) _____ 29
Abbildung 14: Beziehungen zwischen DS-Rahmenwerk und anderen Dokumenten der INSPIRE-Richtlinie (INSPIRE Drafting Team "Data Specifications" 2014, 4) _____ 31
Abbildung 15: GDI-Hierarchie in Deutschland(Quelle Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, 12; Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b) _____ 34
Abbildung 16: Die fachlichen Grundsätze der GDI-DE (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2013, 15) _____ 35
Abbildung 17: Dokumente im Zusammenhang mit der INSPIRE-Richtlinie (Arbeitskreis Architektur der GDI-DE 2014b, 16) _____ 36
Abbildung 18: Wirkung der Festlegung zu OpenData im Kontext des GeoZG (Martini & Damm 2013, 14) ____ 37
Abbildung 19: Open Geo Data als Venn-Diagramm – Links: (Seuß 2015, 63); Rechts: (Paderta 2011, 11) ____ 47
Abbildung 20: Differenzierte Perspektiven auf Open Governmenr Data - Quelle: (Gonzalez-Zapata & Heeks 2015) _____ 48
Abbildung 21: Open Data Evolutionsprozess (nach Seuß 2015, 65, erweitert) _____ 51
Abbildung 22: Organisation Geodatenkatalog-DE & GovData - Quelle: (Kutterer 2014, 18) _____ 52
Abbildung 23: Schematische Abbildung zur Beschreibung der Materialflüsse aus unterschiedlichen Quellen (natürlich vs. anthropogen) sowie die dortige Einordnung des Urban Mining (Quelle: Cossu & Williams 2015, 2) _____ 56
Abbildung 24: Zusammenhang Güter Input – Output und deren mittlere Verweildauer, Beispielhaft skizziert in Tonnen pro Einwohner und Jahr am Beispiel der Stadt Wien (Rechberger & Clement 2011, 212) _____ 57
Abbildung 25: Eckpfeiler des Urban Mining nach Brunner & Kral 2012 _____ 58
Abbildung 26: Zusammenfassung: Traditionelles ‚mining' und ‚urban mining' - angepasst (Schnitzer & Köhler 21.6.2014) nach WIESENMAIER 2013 (unveröffentlicht) _____ 59

Abbildung 27: Akteursgruppen des Urban Mining (eigene Zusammenstellung) 62
Abbildung 28: Darstellung der Bottom-Up Methode für Hochrechnung des Gesamtbestand deutscher Nichtwohngebäude (Schiller 2014, 19) 69
Abbildung 29: Zusammenfassung methodischer Aufbau im Projekt PRRIG - Quelle: Schebek, et al. 2016d; Schebek, et al. 2016a, 6 71
Abbildung 30: Informationsfluss der unterschiedlichen Forschungsbereiche bei (Kleemann, et al. 2016a, 5) 72
Abbildung 31: Vorgehen zum Aufbau eines Urban Mining Kataster nach Heinrich ((Heinrich 2018, 84) 74
Abbildung 32: Dreidimensionale Karten der gesamten Materialvorräte in Gebäuden und Infrastrukturen in Deutschland und Österreich (2018; 100m-Auflösung) Quelle: (Haberl, et al. 2021, 3374) 75
Abbildung 33: Grundzügiger Aufbau einer auf räumlichen Daten basierenden Urban Mining Inventarisierung (nach Tanikawa & Hashimoto 2009, 485) 76
Abbildung 34: 4x4 Matrix der ARK-Haus Methode (Lichtensteiger & Baccini 2008, 43; Lichtensteiger 2006) OFB: Own-Family Building, MFB: Multi-Family Building, SB: Social Buidling, PB: Production Building 79
Abbildung 35: Gesamtbereiche des Urban Mining Stoffkreislaufes - Systemgrenze dieser Arbeit (Eigene Darstellung) 81
Abbildung 36: Mikro- und Makroebene - Stofflicher Austausch in Bezugsräumen und Wirtschaftssektoren (Heinrich 2018, 9) 82
Abbildung 37: Umfassende Herausforderung an die Geodatenbereitstellung beim Urban Mining, in Anlehnung an (Schnitzer & Köhler 21.6.2014) am Beispiel der Nichtwohngebäude 83
Abbildung 38: Anforderungsbereiche zum Aufbau des Urban Mining Kataster 85
Abbildung 39: Trennung zwischen Modell-, Modellierungs- und Datenebene 88
Abbildung 40: Ideenskizze für das weitere Vorgehen: INSPIRE als harmonisiertes Datenmodell für ein Urban Mining Kataster 90
Abbildung 41: Die Modellebene und deren Implementierung mittels INSPIRE? 91
Abbildung 42: Repräsentation eines Gebäudes in den LoDs 0 bis 4 (mit Möbeln) (CityGML 2.0) Quelle: (Löwner, et al. 2012, 343) 93
Abbildung 43: Zielsetzung und Integration von GIS und BIM, deren Zusammenwirken und die entsprechenden Anwendungsbereiche in der Bauwerksmodellierung (nach König 04.03.2015, 8) 94
Abbildung 44: Hierarchie der Semantik – Quelle: (INSPIRE TWG BU 2013, 4) 97
Abbildung 45: Struktur des Gebäudemodells. Die sechs Anwendungsschemata (graue Kästchen) definieren die vier Profile (schwarze Schrift). (Quelle: (Gröger & Plümer 2014a, 93; INSPIRE TWG BU 2013, 19) 98
Abbildung 46: INSPIRE-BU Klasse Gebäude Core 2D (Quelle: (INSPIRE TWG BU 2013)) 100
Abbildung 47: INSPIRE-BU Codelisten (INSPIRE TWG BU 2013) 101
Abbildung 48: INSPIRE-BU Datentypen (BuildingBase-Anwendungsschema) Quelle: (INSPIRE TWG BU 2013) 102
Abbildung 49: INSPIRE Datentyp 'Identifier' (INSPIRE DT DS 08.04.2014) 102
Abbildung 50: INSPIRE-BU Gegenwärtige Nutzung (CurrentUse) (INSPIRE TWG BU 2013) 103
Abbildung 51: Werte des Typs ElevationReferenceValue (Gröger & Plümer 2014a, 95) 104
Abbildung 52: INSPIRE Datentransformation - Datensatz 1:1 106
Abbildung 53: INSPIRE Datentransformation - Datenbereitstellung bei notwendiger Aggregation 107

Abbildung 54: Schnittmengengröße der 3D-relevanten Datenmodelle im amtlichen Vermessungswesen in Deutschland (Quelle: (Löwner, et al. 2013, 133) 108
Abbildung 55: Konzept für eine semantische Transformation vom 3D-Gebäuden aus CityGML nach INSPIRE-BU (Quelle: Aringer, et al. 2016, 186) 109
Abbildung 56: Addierte Gebäudehöhen (md stadtbaudirektion, et al. 2015, 28) 112
Abbildung 57: Expertenschätzung zu addierten Gebäudehöhen (Kleemann, et al. 2016a, supporting Informations) 112
Abbildung 58: Aufbau der INSPIRE BU 2D Simple Zwischenmodellierung 115
Abbildung 59: INSPIRE BU (Building und Building-Parts) (INSPIRE TWG BU 2013) 117
Abbildung 60: INSPIRE BU Simple 2D - PostGIS Model (aus Anhang 6-4) 119
Abbildung 61: Vorgehen bei der Definition und Erfassung von Referenzgebäuden 135
Abbildung 62: Exemplarische Umsetzung einer Registry zur Verwaltung der Urban Mining Codeliste-Erweiterung 143
Abbildung 63: INSPIRE Produktions- und Industrieanlagen in Hessen. Datengrundlage: HVBG 2016 / (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) 2016) 147
Abbildung 64: Beispielhafte Datenintegration - INSPIRE Produktions- und Industrieanlagen 148
Abbildung 65: OSM-Tag Zuordnungstabelle nach (Kunze 2013, Anhang 2 ff.) 149
Abbildung 66: INSPIRE BU SIM - und deren Anwendung für ein Urban Mining Kataster 152

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Ressourcen, nach (Nakamura & Halada 2014, 4) angepasst und erweitert 10
Tabelle 2: Unterteilung von kurz- und langfristigen urbanen Minen (FLAMME et al. 2013, 270) erweitert 56
Tabelle 3: Attributbasierte Darstellung der Kernelemente (Idealtypisch – generalisiert):.....86
Tabelle 4: Ergebnisse der Volumen-Summen für das Bundesland Hessen im m³ (Datengrundlage (HVBG Hessen 2014b).....96
Tabelle 5: Mappingtabelle INSPIRE-BU Current-Use und ALKIS AX_Gebäude (Auszug aus Anhang 6-1) 110
Tabelle 6: Zu addierende Gebäudehöhen (Kellergeschosse) nach (Kleemann, et al. 2016a), zugeordnet zur INSPIRE-Typologie CurrentUse 113
Tabelle 7: Zusätzliche Attribute im IN-BU-Sim - Urban Mining ADE 118
Tabelle 8: Rohstoff-, Baustoff- und Materialgruppen (mineralisch, organisch, metallisch) 122
Tabelle 9: ALKIS Gebäudefunktion (Auszug) (AdV 11.04.2008) 126
Tabelle 10: INSPIRE - Gebäude - Gegenwärtige Nutzung (INSPIRE TWG BU 2013).....127
Tabelle 11: Gegenüberstellung der Gebäudetypologien (eigene Zusammenstellung) 129
Tabelle 12: Baualtersklassen nach (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2013a) 133
Tabelle 13: Baualtersklassen nach Kohler et. al. (Kohler, et al. 1999, 23).....133
Tabelle 14: Definition von Baualtersklassen in PRRIG (Hörner 17.11.2011; 2015a) 134
Tabelle 15: Definition von Baualtersklassen nach (Kleemann, et al. 2016a) 134
Tabelle 16: Zusammengefasste MKZ aus Kleemann et. al. 2016 (Kleemann, et al. 2016a) 136
Tabelle 17: Eigenheime - Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [kg / m³] (Berechnet nach Dichte) Quelle: BDV 2007, 2008, 2009.....138
Tabelle 18: Zusammenfassung der MKZ hinsichtlich INSPIRE (kg/m³ BRI) 142
Tabelle 19: Einträge der Registry http://www.urban-mining-kataster.de/ (Codelist CurrentUse).....143

Abkürzungsverzeichnis

3DCityDB	3D City Database
AAA-Modell	AFIS-ALKIS-ATKIS-Modell
AD	Anno Domini
ADE	Application Domain Extension (CityGML)
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AHK	Amtliche Hauskoordinaten
AK	Arbeitskreis
ALB	Automatisierte Liegenschaftsbuch
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem
ALS	Airborne Laserscanning
API	Application Programming Interface
ATKIS	Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem
ATOM (Feeds)	Atom Syndication Format (ASF), ein XML-Format
BDZ	Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.
BIM	Building Information Modeling
BKI	
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
B-Plan	Bebauungsplan
CEN	Comité Européen de Normalisation
CityGML	City Geography Markup Language
CSV	Comma-Separated Values (Dateiformat)
CSW	Catalogue Service Web
DOP	Digitale Orthophotos
DStGB	Deutscher Städte- und Gemeindebund
EFTA	Europäische Freihandelsassoziation
EPSG	European Petroleum Survey Group
ETL	Extract Transform Load
ETRS89	Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989
FIG	Fédération Internationale des Géomètres (International Federation of Surveyors)
FME	Feature Manipulation Engine
FNP	Flächennutzungsplan
GCM	Generic Conceptual Model
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library
GDI	Geodateninfrastruktur
GDI BW	GDI Baden-Württemberg
GDI-DE	Geodateninfrastruktur Deutschland
GEMIS	Globale Emissions-Modell integrierter Systeme
GeoJSON	JavaScript Object Notation mit Geokoordinaten Erweiterung
ggf.	Gegebenenfalls
GIF	Graphics Interchange Format
GIS	Geographisches Informationssystem
GML	Geography Markup Language
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem - Global Navigation Satellite System
GSDI	Global Spatial Data Infrastructure (Globale Geodateninfrastruktur)
GWZ	Gebäude- und Wohnungszählungen

HLBG	Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HVGG	Hessisches Gesetz über das öffentliche Vermessungs- und Geoinformationswesen (Hessisches Vermessungs- und Geoinformationsgesetz)
ID	Identifikator
IFC	Industry Foundation Classes
IN-BU-Sim	INSPIRE BU 2D Simple (adaptiertes Modell der INSPIRE BU Datenmodellierung)
INSPIRE	INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe (EU-Richtlinie 2007/2/EG)
INSPIRE-BU	INSPIRE Datenspezifikation für Gebäude
INSPIRE-RL	INSPIRE Richtlinie
IÖR	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
ITK	Informations- und Kommunikationstechnologien
JRC	Joint Research Centre
JSON	JavaScript Object Notation
KGSt	Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement
Kst. GDI-DE	Koordinierungsstelle der Geodateninfrastruktur Deutschland
LG GDI-DE	Lenkungsgremium GDI-DE
LoD	Level of Detail (CityGML)
M&R	Monitoring & Reporting
MaRess	Materialeffizienz und Ressourcenschonung (Synonym für ein Forschungsprojekt)
MFA	Materialflussanalysen
MIG	Maintenance and Implementation Group
MIR	INSPIRE Maintenance and Implementation Framework
MKZ	Materialkennziffern
NAS	Normbasierte Datenschnittstelle (ALKIS)
NGDB	Nationale Geodatenbasis
NSDI	Nationale Geodaten-Infrastruktur
NUTS	Nomenclature of Territorial Units for Statistics
NWG	Nichtwohngebäude
OGC	Open Geospatial Consortium
OGD	Open Government Data
OKNF	Open Knowledge Foundation
OSM	OpenStreetMap
POI	Point of interest (Punkte von besonderem Interesse, z.B. Sehenswürdigkeiten)
PRRIG	Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand
RDF	Resource Description Framework
RegFNP	Regionaler Flächennutzungsplan
SDI	Spatial Data Infrastructure – siehe GDI (Geodateninfrastruktur)
SEG	raumkundige Regierung (Spatially Enabled Government)
SES	raumkundige Gesellschaft (Spatially Enabled Society)
sog.	sogenannt
SQL	Structured Query Language
TWG	Thematische Arbeitsgruppen (Thematic Working Groups)
TWG BU	Thematischen Arbeitsgruppe für Gebäude
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt

UGR	Umweltökonomischen Gesamtrechnung
UML	Unified Modeling Language
UN-GGIM	UN - Global Geospatial Information Management
URL	Uniform Resource Locator
UTM	Universale Transversale Mercator-Projektion
VGI	Volunteered geographic information
Vitako	Bundes-Arbeitsgemeinschaft der Kommunalen IT-Dienstleister e.V.
W3C	World Wide Web Consortium
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WFS-G	Web Feature Service Gazetteer
WMS	Web Map Service
WPS	Web Processing Service
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language
ZSHH	Zentrale Stelle Hauskoordinaten, Hausumringe und 3D-Gebäudemodelle

Literaturverzeichnis

AdV (Hg.) (2008a): GeoInfoDok. Version 6.0.1. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter http://www.adv-online.de/AAA-Modell/Dokumente-der-GeoInfoDok/, zuletzt geprüft am 14.11.2014.

AdV (Hg.) (2008b): Objektartenkatalog: AFIS-ALKIS-ATKIS Fachschema. AFIS-ALKIS-ATKIS Fachschema. Versionsnummer: 6.0, zuletzt geprüft am 05.04.2017.

AdV (Hg.) (2012): Tätigkeitsbericht 2011/2012. Unter Mitarbeit von Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Online verfügbar unter http://www.adv-online.de/icc/extdeu/binarywriterservlet?imgUid=0f21f354-887e-8316-b1e5-02172e13d633&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111, zuletzt geprüft am 07.12.2012.

AdV (2013): Amtliche Hausumringe. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter http://www.adv-online.de/icc/extdeu/med/b65/b65704b3-ccd9-c541-bfd4-7387072e13d6,11111111-1111-1111-1111-111111111111, zuletzt geprüft am 20.02.2017.

AdV (Hg.) (2014a): GeoInfoDok Version 7.0.1. 3D-Gebäude-Objektartenkatalog LoD1, LoD2, LoD3. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Version 7.0.1. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/ALKIS/binarywriterservlet?imgUid=78860f61-34ab-4a41-52cf-b581072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111, zuletzt geprüft am 31.03.2017.

AdV (Hg.) (2014b): GeoInfoDok Version 7.0.1. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter http://www.adv-online.de/AAA-Modell/Dokumente-der-GeoInfoDok/binarywriterservlet?imgUid=85860f61-34ab-4a41-52cf-b581072e13d6&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111, zuletzt geprüft am 31.03.2017.

AdV (Hg.) (2015a): AdV-CityGML-Profile für 3D-Gebäudemodelle. Ergebnisse der PG „3D-Gebäudemodelle“ der AdV, zuletzt geprüft am 10.06.2017.

AdV (Hg.) (2015b): ALKIS - Grunddatenbestand und länderspezifische Inhalte. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/Download/, zuletzt geprüft am 12.04.2017.

AdV (2015c): Mapping-Tabelle für AAA-CityGML1.0. vom 22.05.2015. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Online verfügbar unter http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Beispielsammlungen/, zuletzt geprüft am 20.08.2016.

AdV; Bezirksregierung Köln (Hg.) (2017): Datenformatbeschreibung 3D-Gebäudemodell LoD1 Deutschland (LoD1-DE). Für die Datenabgabe aus dem Datenbestand der Zentralen Stelle Hauskoordinaten und Hausumringe (ZSHH). GeoBasis-DE, zuletzt geprüft am 09.06.2017.

AK INSPIRE des LG GDI-DE (Hg.) (2014): Leitlinien: Priorisierung von Geodaten für ihre INSPIRE-interoperable Bereitstellung. Handlungsempfehlung für GDI-Koordinierungsstellen und geodatenhaltende Stellen. GDI-DE. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Leitlinien-Priorisierung_Geodaten_fuer_INSPIRE_interoperable_Bereitstellung.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt aktualisiert am 26.11.2014, zuletzt geprüft am 26.11.2014.

Alam, Nazmul; Wagner, Detlev; Wewetzer, M.; Falkenhausen, J. von; Coors, Volker; Pries, M. (2013): Towards automatic validation and healing of CITYGML models for geometric and semantic consistency. In: *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* II-2/W1, S. 1–6. DOI: 10.5194/isprsannals-II-2-W1-1-2013.

Angerer, Gerhard; Mohring, Alexandra; Marscheider-Weidemann, Frank; Wietschel, Martin (2010): Kupfer für Zukunftstechnologien. Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Projektergebnisse aus dem Projekt Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Karlsruhe. Online verfügbar unter http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Bericht_FSEM_Cu.pdf, zuletzt geprüft am 22.01.2015.

Apel, Lara (2019): Urban Mining als Basis für ein Geschäftsmodell – akteursfokussierte Stakeholder- und Potentialanalyse in der Rhein-Main-Region. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, zuletzt geprüft am 12.10.2019.

Arbeitsgemeinschaft GDI-Südhessen (2017): GDI-InspireUmsetzer. GDI-Südhessen. Online verfügbar unter https://www.gdi-inspireumsetzer.de/#/home, zuletzt aktualisiert am 17.03.2017, zuletzt geprüft am 30.05.2017.

Arbeitskreis Architektur der GDI-DE (2013): Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland - Ziele und Grundlagen. Review3.

Arbeitskreis Architektur der GDI-DE (2014a): Architektur der GDI-DE | Version 3.1 - Technik. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/GDI-DE_Architektur_Version_3_1_Technik.pdf?__blob=publicationFile.

Arbeitskreis Architektur der GDI-DE (2014b): Architektur der GDI-DE | Version 3.1 - Ziele und Grundlagen. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Architektur3_Ziele_und_Grundlagen_v3_1.pdf?__blob=publicationFile.

Arbeitskreis Architektur der GDI-DE und Koordinierungsstelle GDI-DE (2010): Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland Version 2.0. Konzept zur fach- und ebenenübergreifenden Bereitstellung und Nutzung von Geodaten im Rahmen des E-Government in Deutschland. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/GDI-DE%20Architekturkonzeptv2.pdf?__blob=publicationFile.

Aringer, Klement; Donaubauer, Andreas; Kolbe, Thomas H.; Roschlaub, Robert (2016): Modellbasierte Transformation von 3D-Gebäudemodellen nach INSPIRE. In: *zfv* 141 (3), S. 184–191. Online verfügbar unter 10.12902/zfv-0113-2016.

Arsanjani, Jamal Jokar; Zipf, Alexander; Mooney, Peter; Helbich, Marco (2015): OpenStreetMap in GIScience. Experiences, research, and applications: Springer (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography).

Athanasiou, Spiros; Giannopoulos, Giorgos; Karagiannakis, Nikos; Skoutas, Dimitris; Ngonga, Axel; Sherif, Mohamed (2014): Deliverable 3.3.1: Prototype for Spatial Knowledge Aggregation. GeoKnow. Online verfügbar unter http://svn.aksw.org/projects/GeoKnow/Public/D3.3.1_Prototype_for_spatial_knowledge_aggregation.pdf.

Baccini, Peter (2006): Die Entwicklung urbaner Systeme. Exploration urbaner Lagerstätten. In: Thomas Lichtensteiger (Hg.): Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme; ein Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten; [Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt ARK 04 - Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften der ETH Zürich und der Eawag]. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, S. 1–12.

Baccini, Peter; Brunner, Paul H. (1991): Metabolism of the anthroposphere. Berlin: Springer.

Baccini, Peter; Brunner, Paul H. (2012): Metabolism of the anthroposphere. Analysis, evaluation, design. 2nd ed. Cambridge: MIT Press.

Bader, Guido; Schwaiger, Bärbel; Ferrara, Claudio (2002): Methoden zur Analyse von Gebäudebeständen, Alterungsmodelle und Prognose von Stoffströmen mit Anwendung auf den Gebäudebestand der Stadt Ettlingen. Karlsruhe. Online verfügbar unter http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:swb:90-AAA23120025, zuletzt geprüft am 18.11.2014.

Bartelme, Norbert (2005): Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. 4. Aufl. Berlin: Springer.

Bauer, Rainer (2012): Open Government - Geodaten schaffen Transparenz. In: *fub - Flächenmanagement und Bodenordnung* 2012 (6), S. 260–266.

Bauministerkonferenz (2010): Bauwerkszuordnungskatalog. Online verfügbar unter http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/gesetzestexte/de/download/bauen/abau/Bauwerkszuordnungskatalog.pdf, zuletzt geprüft am 23.05.2014.

Behr, Franz-Josef (2014): Strategisches GIS-Management. 3., neu bearb. Aufl. Heidelberg: Wichmann.

Bergsdal, Håvard; Brattebø, Helge; Bohne, Rolf A.; Müller, Daniel B. (2007): Dynamic material flow analysis for Norway's dwelling stock. In: *Building Research & Information* 35 (5), S. 557–570. DOI: 10.1080/09613210701287588.

Bernard, Lars (Hg.) (2005): Geodateninfrastruktur. Grundlagen und Anwendungen Bernard … (Hrsg.). Heidelberg: Wichmann.

BGR (2013): Rohstoffsituationsbericht 2012. Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, zuletzt geprüft am 06.03.2014.

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2018): Deutschland – Rohstoffsituation 2017, zuletzt geprüft am 12.10.2019.

Biljecki, Filip (2017): Level of detail in 3D city models. Dissertation. Delft University of Technology.

Biljecki, Filip; Heuvelink, Gerard B.M.; Ledoux, Hugo; Stoter, Jantien (2017): The effect of acquisition error and level of detail on the accuracy of spatial analyses. In: *Cartography and Geographic Information Science*, S. 1–21. DOI: 10.1080/15230406.2017.1279986.

Biljecki, Filip; Ledoux, Hugo; Stoter, Jantien (2014a): Height references of CityGML LOD1 buildings and their influence on applications. In: Proceedings of the ISPRS 3D GeoInfo 2014 conference. Dubai. Online verfügbar unter http://3dgeoinfo.bk.tudelft.nl/biljecki/pub/Biljecki2014wg.pdf, zuletzt geprüft am 30.01.2015.

Biljecki, Filip; Ledoux, Hugo; Stoter, Jantien (2016a): An improved LOD specification for 3D building models. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 59, S. 25–37. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005.

Biljecki, Filip; Ledoux, Hugo; Stoter, Jantien; Vosselman, George (2016b): The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses. In: *ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING* 116, S. 42–54. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.03.003.

Biljecki, Filip; Ledoux, Hugo; Stoter, Jantien; Zhao, Junqiao (2014b): Formalisation of the level of detail in 3D city modelling. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 48, S. 1–15. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2014.05.004.

Biljecki, Filip; Stoter, Jantien; Ledoux, Hugo; Zlatanova, Sisi; Çöltekin, Arzu (2015): Applications of 3D City Models: State of the Art Review. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2015. DOI: 10.3390/ijgi4042842.

Bill, Ralf (2010): Grundlagen der Geoinformationssysteme Ralf Bill. Berlin [u.a.]: Wichmann.

Bill, Ralf (Hg.) (2011): Geodateninfrastrukturen: Drehscheibe für Wirtschaft und Verwaltung. Tagungsband zum 7. GeoForum MV ; Warnemünde, 11. und 12. April 2011, Bildungs- und Konferenzzentrum des Technologieparks Warnemünde. GeoForum MV <7, 2011, Warnemünde>. Berlin: Gito.

Birth, Konrad; Schleyer, Andreas (2010): 13 Geodateninfrastruktur. In: Klaus Kummer und Josef Frankenberger (Hg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen. Themenschwerpunkte 2010: Gesellschaftliche Verankerung und institutionelles Gefüge ; Aufgabenfelder und Wirkungsbereiche ; Technische Netzwerke und Transfer ; Forschung und Lehre. Heidelberg: Wichmann, S. 601–637.

BKI Baukosteninformationszentrum (Hg.) (2013): BKI Baukosten Gebäude 2013. Statistische Kostenwerte Teil 1. BKI, zuletzt geprüft am 24.07.2014.

BMI; Initiative D21 e.V. (2015): Ideenplattform zu Open Data Aktionsplan. Online verfügbar unter https://www.open-data-aktionsplan.de/de, zuletzt geprüft am 06.04.2015.

BMVBS (Hg.) (2013): Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO2-Minderungspotenzialen. BMVBS-Online-Publikation 27/2013. Unter Mitarbeit von Clemens Deilmann, Martin Behnisch, Stefan Dirlich, Karin Gruhler und Ulrike Hagemann. BBSR; BBR, zuletzt geprüft am 07.04.2014.

BMVBS; BBSR (Hg.) (2011): Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011. Online verfügbar unter http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2011_dirlich_bmvbs-online-publ16.pdf, zuletzt geprüft am 17.10.2014.

Bodirsky, Eike (2015): WebGIS zur semiautomatischen Datenerfassung von Gebäudeinformationen. Master-Thesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.

Bonny, Werner; Glaser, Jürgen (2005): Standort- und Gewerbeflächenmonitoring. Ein Instrument zur Beobachtung und zum Management der regionalen Gewerbeflächenentwicklung. In: *disP 161* 2005 (2), S. 28–39.

Braungart, Michael; McDonough, William (2011): Einfach intelligent produzieren. Cradle to cradle: die Natur zeigt, wie wir die Dinge besser machen können. 7. Aufl. Berlin: Berliner Taschenbuch-Verl. (BvT, 0183).

Bringezu, Stefan (2013): Potenziale und Perspektiven für Urban Mining. In: 13. Münsteraner Abfallwirtschaftstage. Münster: FH Münster, S. 115–120. Online verfügbar unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-47605.

Bringezu, Stefan (2014): Urban Mining: Der verkannte Ressourcenschatz - WiWo Green. In: *WirtschaftsWoche* 2014, 29.12.2014. Online verfügbar unter http://green.wiwo.de/urban-mining-der-verkannte-ressourcenschatz/, zuletzt geprüft am 07.01.2015.

Brunner, Paul H. (2011): Urban Mining. A Contribution to Reindustrializing the City. In: *Journal of Industrial Ecology* 15 (3), S. 339–341. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00345.x.

Brunner, Paul H.; Kral, Ulrich (2012): "Urban Mining" und "Letzte Senken": Schlüsselelemente einer Smart City. In: Helmut Widmann (Hg.): Smart city. Wiener Know-how aus Wissenschaft und Forschung. Unter Mitarbeit von Astrid Kuffner und Jürgen Hatzenbichler. Wien: Schmid, S. 248–255. Online verfügbar unter http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_217673.pdf.

Brunner, Paul H.; Rechberger, Helmut (2004): Practical handbook of material flow analysis. Boca Raton, FL: CRC/Lewis (Advanced methods in resource and waste management, 1). Online verfügbar unter http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10144139.

Buildings Performance Institute Europe (BPIE): Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings. Online verfügbar unter http://www.europeanclimate.org/documents/LR_%20CbC_study.pdf, zuletzt geprüft am 02.07.2014.

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2021): GDI-DE Registry. Online verfügbar unter https://registry.gdi-de.org/codelist/de.adv-online.inspire/, zuletzt aktualisiert am 27.06.2021, zuletzt geprüft am 27.06.2021.

Bundesministerium des Innern (BMI) (Hg.) (2014): Nationaler Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der Open-Data-Charta der G8. Online verfügbar unter http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/2014/aktionsplan-open-data.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 29.11.2014.

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (Hg.) (2007): Der spezifische Baustoffverbrauch im Hochbau. Erhebungen zur Baustoff-Massenermittlung im Neu- und Ausbau im Jahre 2006. Berlin. Online verfügbar unter https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/bdz/Intern/Marktforschung/ZV_Hochb_2006.pdf?sword_list=Baustoffverbrauch&no_cache=1&L=.

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (Hg.) (2008): Baustoffverbrauch in Eigenheimen. Ergebnisse einer Erhebung zum Baustoffverbrauch nach Bauteilen. Berlin. Online verfügbar unter https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/bdz/Intern/Marktforschung/Verbrauch_Eigenheim_Bauteile_2007.pdf?sword_list=Baustoffverbrauch&no_cache=1&L=.

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (Hg.) (2009): Baustoffverbrauch in Nicht-Wohnbauten 2009 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. Ergebnisse einer Erhebung zum Baustoffverbrauch nach Bauteilen. Berlin. Online verfügbar unter https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/bdz/Intern/Marktforschung/Baustoffverbrauch_NWB_2009.pdf?sword_list=Baustoffverbrauch&no_cache=1&L=.

Buschmann, Heinz; Daxbeck, Hans; Gassner, Andreas (2015): Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters (Projekt UMKAT). Zukunftsakademie - Land OÖ - Zukunftsthema Urban Mining. Zukunftsakademie - Land OÖ, 2015. Online verfügbar unter http://www.ooe-zukunftsakademie.at/Praesentation_Buschmann.pdf.

CCCA Datenzentrum (2016): Austrian INSPIRE Registry. CCCA Datenzentrum. Online verfügbar unter http://registry.inspire.gv.at/registry, zuletzt geprüft am 17.01.2017.

Chausson, Cyrille: Open Data: national company register data now freely accessible. Online verfügbar unter https://joinup.ec.europa.eu/community/opengov/news/open-data-national-company-register-data-now-freely-accessible, zuletzt geprüft am 31.03.2015.

Christl, Arnulf (2014): Open Data in the Geospatial Context. Online verfügbar unter http://metaspatial.net/conferences/opendata.html, zuletzt aktualisiert am 28.11.2014, zuletzt geprüft am 09.04.2015.

Chrysoulakis, Nektarios; Lopes, Myriam; San José, Roberto; Grimmond, Christine Susan Betham; Jones, Mike B.; Magliulo, Vincenzo et al. (2013): Sustainable urban metabolism as a link between bio-physical sciences and urban planning: The BRIDGE project. In: *Landscape and Urban Planning* 112 (0), S. 100–117. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.12.005.

Clausnitzer, Klaus-Dieter; Eikmeier, Bernd; Janßen, Karen; Rohde, Clemens; Steinbach, Jan (2014): Datenquellen zur Erfassung statistischer Basisdaten zum Nichtwohngebäudebestand. Fraunhofer IFAM; Fraunhofer ISI. Online verfügbar unter http://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/FP/Weitere/EKF/DatenbasisNWG/DL_DatenquellenNWG.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 17.05.2015.

Coetzee, Serena; Harvey, Francis; Iwaniak, Adam; Cooper, Antony K. (2013): Sharing and coordinating SDIs in the age of crowdsourcing and mobile technologies. In: Proceedings of the 26th International Cartographic Conference. Dresden, 25-30 August 2013. Dresden: ICC. Online verfügbar unter http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/_extendedAbstract/56_proceeding.pdf, zuletzt geprüft am 06.02.2014.

Cooperation OGD Österreich (Hg.) (2012): Positionspapier: OGD – INSPIRE. Online verfügbar unter www.data.gv.at/wp-content/uploads/2012/03/Positionspapier-OGD-INSPIRE.pdf, zuletzt geprüft am 31.03.2017.

Coors, Volker (Hg.) (2005): 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Heidelberg: Wichmann.

Coors, Volker (2015a): CityDoctor. Entwicklung von Methoden und Metriken zum Qualitätsmanagement virtueller Stadtmodelle. Forschungsprojekt. Online verfügbar unter http://citydoctor.hft-stuttgart.de/index.php?lang=deutsch, zuletzt geprüft am 28.05.2015.

Coors, Volker (2015b): Offene 3D-Datenformate. In: Philipp Willkomm, Robert Kaden, Volker Coors und Thomas H. Kolbe (Hg.): Leitfaden 3D-GIS und Energie. Version 1.0.

Coors, Volker (2015c): Ohne smarte Geodaten keine smarten Städte. In: *zfv* 140 (4), S. 244–248. DOI: 10.12902/zfv-0076-2015.

Coors, Volker (2017a): Qualitätsprüfung von 3D-Stadtmodellen. 16. Internationale 3D-Forum Lindau. Lindau, 2017. Online verfügbar unter http://www.3d-forum.li/, zuletzt geprüft am 26.05.2017.

Coors, Volker (2017b): Überblick zum Stand der 3D-Stadtmodelle. 21. Workshop Kommunale GIS 2017. IKGIS e.V. Darmstadt, 01.03.2017.

Coors, Volker; Andrae, Christine; Böhm, Karl-Heinz (2016): 3D-Stadtmodelle. Konzepte und Anwendungen mit CityGML. Berlin, Offenbach: Wichmann.

Coors, Volker; Wagner, Detlev (2015): CityGML Quality Interoperability Experiment des OGC. In: Thomas P. Kersten (Hg.): 35. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. Bridging Scales - Skalenübergreifende Nah- und Fernerkundungsmethoden. Köln, 16-18.3.2015. DGPF.

Cossu, Raffaello; Williams, Ian D. (2015): Urban mining: Concepts, terminology, challenges. In: *Waste Management* 45, S. 1–3. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.09.040.

Czaja, Wojciech (2015): Die Stadt als Rohstofflager lesen. In: *Der Standard* 2015, 18.06.2015. Online verfügbar unter http://derstandard.at/2000017620579/Die-Stadt-als-Rohstofflager-lesen, zuletzt geprüft am 18.06.2015.

Daxbeck, Hans; Buschmann, Heinz; Gassner, Andreas; Kapfenberger-Pock, Anneliese (2015): Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters. Land Steiermark inklusive Fallstudie Graz. Projekt UMKAT - Endbericht.

Daxbeck, Hans; Neumayer, Stefan; Schindl, Georg; Kisliakova, Nathalia (2009): Urban Mining. Die Stadt-das Bergwerk der Zukunft. In: *RAUM. Österreichische Zeitschrift für Raumplanung und Regionalpolitik* 73 (09), S. 28–31. Online verfügbar unter http://www.geologie-ist-alles.at/PDFs_Raum/RAUM7309_Thema_Art3.pdf.

DDGI (Hg.) (2013): Positionspapier Open Government Data – Verwaltungsdaten frei für Wirtschaft und Gesellschaft. Online verfügbar unter http://www.ddgi.de/positionspapiere/ogd, zuletzt aktualisiert am 12.10.2013, zuletzt geprüft am 12.10.2013.

de Lange, Norbert (2013): Geoinformatik. In Theorie und Praxis von Norbert Lange. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum.

Deilmann, Clemens (Hg.) (2014): Forschungsprojekt: Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Forschungsbereich: Ressourceneffizienz von Siedlungsstrukturen. Online verfügbar unter http://www.ioer.de/projekte/aktuelle-projekte/antropogenes-lager/, zuletzt geprüft am 08.01.2015.

Deilmann, Clemens; Krauß, Norbert; Gruhler, Karin (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau. Endbericht Stand 17. Juli 2014. BBSR; BBR. Online verfügbar unter www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2013/Kreislaufwirtschaftspotenzial/Endbericht.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2015.

Deutsche Post Direkt (2015): microdialog. Deutsche Post AG. Online verfügbar unter https://www.deutsche-post.de/de/d/deutsche-post-direkt/microdialog.html, zuletzt geprüft am 03.05.2015.

Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden (2015). Unter Mitarbeit von Tobias Loga, Britta Stein, Nikolaus Diefenbach und Rolf Born. neue Ausg. Darmstadt: Wohnen und Umwelt.

Deutscher Bundestag (Hg.) (2012): 3. Geo-Fortschrittsbericht der Bundesregierung. Vorsprung durch Geoinformationen. Dritter Bericht der Bundesregierung (17. Wahrperiode) über die Fortschritte zur Entwicklung der verschiedenen Felder des Geoinformationswesens im nationalen, europäischen und internationalen Kontext. Bundesministerium des Innern (BMI). Online verfügbar unter http://www.imagi.de/download/3_Fortschrittsbericht.pdf, zuletzt geprüft am 10.12.2012.

Deutscher Bundestag (2014): Öffentliches Fachgespräch zum Thema Open Data am 5. November 2014. Ausschusses Digitale Agenda. Online verfügbar unter http://dbtg.tv/cvid/4064978.

Deutscher Bundestag, 17 Wahrperiode (2013a): Schlussbericht der Enquete-Kommission „Internet und digitale Gesellschaft“*. Drucksache 17/12550, zuletzt geprüft am 27.05.2013.

Deutscher Bundestag, 17 Wahrperiode (2013b): Zehnter Zwischenbericht der Enquete-Kommission „Internet und digitale Gesellschaft“*. Interoperabilität, Standards, Freie Software. Online verfügbar unter http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/124/1712495.pdf, zuletzt geprüft am 28.05.2013.

Deutscher Städtetag; Deutscher Landkreistag; Deutscher Städte- und Gemeindebund (Hg.) (2013): Einsatz von Geoinformationen in den Kommunen. Ergebnisse der Umfrage Good Practice Beispiele Handlungsempfehlungen. Unter Mitarbeit von Kommunales Koordinierungsgremium GDI-DE, zuletzt aktualisiert am 22.03.2013, zuletzt geprüft am 28.03.2013.

Deutschlandfunk (05.05.2013): Gläserne Verwaltung oder vorgetäuschte Transparenz? Die Diskussion um die Offenlegung von Daten im Netz. Online verfügbar unter http://www.dradio.de/dlf/sendungen/hintergrundpolitik/2095979/.

Diaz, Laura; Remke, Albert; Kauppinen, Tomi; Degbelo, Auriol; Foerster, Theodor; Stasch, Christoph et al. (2012): Future SDI – Impulses from Geoinformatics Research and IT Trends. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* (7), S. 378–410. DOI: 10.2902/1725-0463.2012.07.art18.

Die Bundesregierung (2008): Zwischenbilanz der Rohstoffaktivitäten der Bundesregierung. (Schwerpunkt nichtenergetische Rohstoffe). Online verfügbar unter http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/XYZ/zwischenbilanz-der-rohstoffaktivitaeten-der-bundesregierung,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 27.01.2015.

Die Bundesregierung (2016): Konferenz der Regierungschefinnen und Regierungschefs von Bund und Ländern am 14. Oktober 2016 in Berlin - Beschluss. Pressemitteilung: 369. Online verfügbar unter https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Pressemitteilungen/BPA/2016/10/2016-10-14-beschluss-bund-laender.html, zuletzt geprüft am 13.01.2017.

Die Bundesregierung (Hg.) (2017): 4. Geo-Fortschrittsbericht der Bundesregierung. Geoinformationen einfach genutzt. Vierter Bericht der Bundesregierung über die Fortschritte zur Entwicklung der verschiedenen Felder des Geoinformationswesens im nationalen, europäischen und internationalen Kontex, zuletzt geprüft am 14.06.2017.

Die Grenzen des Wachstums. Bericht des "Club of Rome" zur Lage der Menschheit (1973). Unter Mitarbeit von Dennis L. Meadows. Reinbek: Rowohlt-Verlag.

E DIN 277-1:2015-03, 2015: DIN 277-1.

DIN e.V. (Hg.) (2021): Technologie und Mensch in der Kommune von morgen. Impulspapier II zu Normen und Standards – Smart City. Online verfügbar unter https://www.din.de/resource/blob/800430/9f1e5a97a9a1012a98209c10d5170d1a/smart-cities-impulspapier-2021-web-data.pdf, zuletzt geprüft am 12.12.2021.

DStGB; KGSt; VITAKO (Hg.) (2014): Positionspapier Open Data in Kommunen. Positionspapier von DStGB, KGSt und Vitako. Unter Mitarbeit von Mark Groß, Franz-Reinhard Habbel und Tina Siegfried. Online verfügbar unter http://www.vitako.de/Publikationen/Documents/Positionspapier%20Open%20Data%20Vitako_KGSt_DStGB.pdf, zuletzt geprüft am 24.05.2014.

Egert, Susanne (2013): INSPIRE und Kommunen. Einschätzung zum aktuellen Stand. Gesprächsreihe GIS Rhein-Main. Frankfurt am Main, 2013.

eGovernment Computing (2015): Startschuss für Open Government und Open Data. EU-Kommission gibt europaweites Open-Data-Portal in Auftrag. In: *eGovernment Computing* 2015, 2015. Online verfügbar unter http://www.egovernment-computing.de/kommunikation/articles/474993/, zuletzt geprüft am 14.04.2015.

EGovG (2013): EGovG. Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung sowie zur Änderung weiterer Vorschriften, vom 25.07.2013. Fundstelle: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013. Online verfügbar unter http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Themen/OED_Verwaltung/Informationsgesellschaft/egovg_verkuendung.pdf;jsessionid=69E4A2896B11DC6F78028D202B7086DA.2_cid287?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 01.08.2013.

Erik de Man, W.H. (2007): Beyond Spatial Data Infrastructures there are no SDIs – so what. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*. Online verfügbar unter http://ijsdir.jrc.ec.europa.eu/index.php/ijsdir/article/view/26/20, zuletzt geprüft am 15.01.2014.

Europäische Kommission (2003): UIG 2003/4/EG, 2003/4/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen, vom 28.01.2003. In: Amtsblatt der Europäischen Union.

Europäische Kommission (Hg.) (2010): Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Unter Mitarbeit von Fraunhofer ISI. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf, zuletzt geprüft am 04.09.2014.

Europäische Kommission (31.07.2012): Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. Questionable paradigms, vom COM(2012) 433 final. Fundstelle: COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0433:FIN:DE:PDF, zuletzt geprüft am 22.01.2015.

Europäische Kommission (Hg.) (2012): Die Digitale Agenda für Europa – digitale Impulse für das Wachstum in Europa. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen (784), zuletzt aktualisiert am 18.12.2012, zuletzt geprüft am 09.04.2013.

Europäische Kommission (2013): EG 1089/2010. Verordnung (EG) Nr. 1089/2010 der Kommission vom 23. November 2010 zur Durchführung der Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Interoperabilität von Geodatensätzen und -diensten. Letze Änderung durch: Verordnung (EU) Nr. 1253/2013 vom 21. Oktober 2013. Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02010R1089-20131230&from=DE, zuletzt geprüft am 25.01.2011.

Europäische Kommission (Hg.) (2014a): Implementation of the pan-European Open Data Portal: new EC call for tenders. ePSIplatform. Online verfügbar unter http://www.epsiplatform.eu/content/implementation-pan-european-open-data-portal-new-ec-call-tenders, zuletzt geprüft am 17.04.2015.

Europäische Kommission (2014b): Verordnung zur Interoperabilität von Geodatendiensten. Verordnung (EU) Nr. 1312/2014 der Kommission vom 10. Dezember 2014 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1089/2010 zur Durchführung der Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Interoperabilität von Geodatendiensten (L 354/8). Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.354.01.0008.01.DEU, zuletzt geprüft am 29.03.2015.

Europäische Kommission (Hg.) (2016): Bericht der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. über die Durchführung der Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE) (Bericht gemäß Artikel 23 der Richtlinie). COM(2016) 478 final. Brüssel. Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2016:478:FIN.

Europäische Kommission (Hg.) (2020): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Eine europäische Datenstrategie. COM(2020) 66 final (DE). Unterrichtung durch die Europäische Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter http://dipbt.bundestag.de/dip21/brd/2020/0096-20.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2020.

Europäische Kommission (Joint Research Center) (2017a): INSPIRE Register Federation. Online verfügbar unter http://inspire-regadmin.jrc.ec.europa.eu/ror/, zuletzt geprüft am 08.02.2017.

Europäische Kommission (Joint Research Center) (2017b): INSPIRE Technical Guidance | INSPIRE. Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/inspire-technical-guidance/57753, zuletzt geprüft am 08.06.2017.

Europäische Kommission (Joint Research Center) (2019): INSPIRE Road Map. Hg. v. Joint Research Centre. Online verfügbar unter https://inspire.ec.europa.eu/road-map-graphic/32443, zuletzt geprüft am 31.03.2020.

Europäische Kommission (Joint Research Center) (2020a): Indicators in support of Commission Decision (EU) 2019/1372 implementing Directive 2007/2/EC (INSPIRE) as regards to monitoring and reporting. Monitoring Germany 2020. Online verfügbar unter https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/mr2020_details.html?country=de, zuletzt aktualisiert am 08.03.2021, zuletzt geprüft am 27.06.2021.

Europäische Kommission (Joint Research Center) (2020b): INSPIRE Geoportal. Indicators in support of Commission Decision (EU) 2019/1372 implementing Directive 2007/2/EC (INSPIRE) as regards to monitoring and reporting. Online verfügbar unter https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/mr2019_details.html?country=de, zuletzt aktualisiert am 01.10.2020, zuletzt geprüft am 02.04.2021.

Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2007): INSPIRE - 2007/2/EG, Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der

Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE), vom L 108/2. In: Amtsblatt der Europäischen Union. Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32007L0002.

European Commission - Joint Research Centre - IES; Tóth, Katalin; Portele, Clemens; Illert, Andreas; Lutz, Michael; Nunes de Lima, Maria (2012): A Conceptual Model for Developing Interoperability Specifications in Spatial Data Infrastructures // A conceptual model for developing interoperability specifications in spatial data infrastructures. Luxembourg: Publications Office (EUR, Scientific and technical research series, 25280), zuletzt geprüft am 14.07.2012.

European Parliament and Council of the European Union (30.12.2003): Directive 2003/98/EC. PSI, vom 17.11.2003. Fundstelle: Offical Journal of the European Union. Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:345:0090:0096:EN:PDF, zuletzt geprüft am 21.06.2013.

eurostat (1997): Classification of Types of Constructions (1998) (CC). EUROSTAT - RAMON - Reference And Management Of Nomenclatures, zuletzt geprüft am 05.04.2017.

Feichtner, Astrid (2011): Semantische Transformation im Kontext von INSPIRE. Dargestellt am Beispiel der grenzüberschreitenden Bodenseeregion. Dissertation. Universitätsbibliothek der TU München, München. Online verfügbar unter http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20110908-1079893-1-9.

Flamme, Sabine; Geiping, Julia; Krämer, Peter (2013): Das Rohstoffpotential durch Urban Mining. In: W. Axel Zehrfeld und Ingrid Voigt (Hg.): Ressourceneffizienz. Der Innovationstreiber von morgen. Band II der Reihe "Mittelstand im Fokus". Frankfurt, M.: Frankfurter Allg. Buch (Band … der Reihe \"Mittelstand im Fokus\", 2), S. 260–279.

Flamme, Sabine; Krämer, Peter (2013): Mining the Cities - Infrastruktur und Produktverantwortung? Isserlohn, 2013. Online verfügbar unter http://urban-mining-kongress.de/fileadmin/pdfs/vortraege_2012/Flamme-Mining_Cities_de.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2014.

Flamme, Sabine; Krämer, Peter; Walter, G. (2011): 12. Münsteraner Abfallwirtschaftstage. [Termin: 15.02. bis 16.02.2011, Ort: Halle Münsterland, Münster]. 1. Aufl. Münster: LASU (Münsteraner Schriften zur Abfallwirtschaft, 14).

Fonte, C. C.; Minghini, M.; Antoniou, V.; Patriarca, J.; See, L. (2018): Classification of Building Function using available sources of VGI. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLII-4, S. 209–215. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-209-2018.

Freeden, Willi; Rummel, Reiner (Hg.) (2016): Handbuch der Geodäsie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Friedt, Michael; Luckhardt, Thomas (2014): Open Data: Zukunftsorientierte Bereitstellung von amtlichen Geodaten im Land Berlin. In: *zfv* 139 (5), S. 296. DOI: 10.12902/zfv-0039-2014.

Gabler Wirtschaftslexikon (Hg.) (2021): Definition: Digitaler Zwilling. Unter Mitarbeit von Stefan Grösser. Online verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371/version-277410, zuletzt geprüft am 02.04.2021.

GDI-DE (2015): Die Richtlinie und ihre rechtliche Umsetzung. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE/INSPIRE/Direktive/direktive.html?lang=de, zuletzt aktualisiert am 15.05.2013, zuletzt geprüft am 27.03.2015.

Gemeinsames Registerportal der Länder (2015). Online verfügbar unter https://www.handelsregister.de/rp_web/welcome.do, zuletzt geprüft am 03.05.2015.

Geodateninfrastruktur Südhessen (GDI-Südhessen) (2014): INSPIRE-Identifizierung von Landkreisdaten. Online verfügbar unter http://www.gdi-suedhessen.de/arbeitsergebnisse/inspire-identifizierung-von-landkreisdaten, zuletzt geprüft am 24.02.2015.

2014: Geoinformation – Geodateninfrastrukturen – Teil 1: Referenzmodell; Deutsche Fassung CEN/TR 15449-1:2012.

DIN EN ISO 19135-1:2016-02, 2016: Geoinformation - Registrierungsverfahren für geographische Informationseinheiten - Teil 1: Grundsätze 19135-1:2016-02.

GeoNutzV (2013), Verordnung zur Festlegung der Nutzungsbestimmungen für die Bereitstellung von Geodaten des Bundes vom 19. März 2013 (BGBl. I S. 547), vom 19.03.2013. In: Bundesministerium der Justiz (Hg.): Bundesgesetzblatt 2013. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/geonutzv/gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2014.

GeoSmartCity (2007-2013): GeoSmartCity. GeoSmartCity is a CIP 2007-2013 ICT-PSP funded project. Online verfügbar unter http://www.geosmartcity.eu, zuletzt aktualisiert am 06.03.2014, zuletzt geprüft am 09.01.2015.

GeoSmartCity (Hg.) (2017a): GeoSmartCity-CIP/Buildings-SQL-Data-Model. SQL implementation of the INSPIRE “Buildings” data themes, extended with extra properties related to energy. Online verfügbar unter https://github.com/GeoSmartCity-CIP/Buildings-SQL-Data-Model, zuletzt geprüft am 09.06.2017.

GeoSmartCity (2017b): Registry: CurrentUse. Online verfügbar unter http://hub.geosmartcity.eu/registry/codelist/CurrentUseValue/, zuletzt aktualisiert am 15.04.2016, zuletzt geprüft am 02.03.2017.

Gerst, Michael D.; Graedel, T. E. (2008): In-Use Stocks of Metals: Status and Implications. In: *Environ. Sci. Technol.* 42 (19), S. 7038–7045. DOI: 10.1021/es800420p.

Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten (2009): GeoZG, vom Geändert durch Art. 1 G v. 07.11.2012. Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/geozg/, zuletzt geprüft am 24.03.2015.

Goetz, Marcus; Zipf, Alexander (2012): OpenStreetMap in 3D–Detailed Insights on the Current Situation in Germany. In: AGILE (Hg.): Proceedings of the AGILE 2012 International Conference on Geographic Information Science. Online verfügbar unter http://koenigstuhl.geog.uni-heidelberg.de/publications/2012/Goetz/Goetz-Zipf_2012_OSM-3D.pdf.

Gonzalez-Zapata, Felipe; Heeks, Richard (2015): The multiple meanings of open government data. Understanding different stakeholders and their perspectives. In: *Government Information Quarterly* 32 (4), S. 441–452. DOI: 10.1016/j.giq.2015.09.001.

Goodchild, Michael F. (2007): Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 2007 (Vol. 2.). Online verfügbar unter http://ijsdir.jrc.ec.europa.eu/index.php/ijsdir/article/view/28/22, zuletzt geprüft am 15.01.2014.

Görg, Horst (1997): Entwicklung eines Prognosemodells für Bauabfälle als Baustein von Stoffstrombetrachtungen zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt. Schriftenreihe WAR.

GovData | Datenportal für Deutschland. Bundesministerium des Innern (BMI) (2015). Online verfügbar unter https://www.govdata.de/, zuletzt geprüft am 09.04.2015.

Graedel, T. E. (2011): The Prospects for Urban Mining. In: *The Bridge - National Academy of Engeneering* 2011 (Vol 41. No. 1), S. 43–50. Online verfügbar unter http://www.nae.edu/Publications/Bridge/43180/47182.aspx, zuletzt geprüft am 23.05.2014.

Graedel, T. E.; Bertram, M.; Fuse, K.; Gordon, R. B.; Lifset, R.; Rechberger, Helmut; Spatari, S. (2002): The contemporary European copper cycle: The characterization of technological copper cycles. In: *Ecological Economics* 42 (1–2), S. 9–26. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00101-5.

Gröger, Gerhard; Plümer, Lutz (2014a): Das Gebäudemodell der Initiative INSPIRE. In: *zfv* 139 (2), S. 90–102. DOI: 10.12902/zfv-0011-2014.

Gröger, Gerhard; Plümer, Lutz (2014b): The Interoperable Building Model of the European Union. In: Alias Abdul Rahman, Pawel Boguslawski, François Anton, Mohamad Nor Said und Kamaludin Mohd Omar (Hg.): Geoinformation for Informed Decisions. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography), S. 1–17.

Gruber, Ulrich (2017): Mapping-Tabelle CityGML - INSPIRE BU - <current use>, 2017. E-Mail vom 21.03.2017 an Benjamin Schnitzer.

Gruber, Ulrich; Riecken, Jens; Seifert, Markus (2014): Germany on the Way to 3D-Cadastre. In: *zfv* 139 (4), S. 223–228. DOI: 10.12902/zfv-0028-2014.

Gruhler, Karin; Böhm, Ruth (2011a): Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes - Deutschland 2050. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (Reihe Wissenschaft, 25).

Gruhler, Karin; Böhm, Ruth (2011b): Ressourcenbezogene Kennwerte von Nichtwohngebäuden. Analyse und Aufarbeitung von Daten der Statistik \"Bauen und Wohnen\". Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (Reihe Wissenschaft, Bd. 30).

Gruhler, Karin; Böhm, Ruth; Deilmann, Clemens; Schiller, Georg (2002): Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe - Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen. Institut für Ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden: Inst. für Ökologische Raumentwicklung (IÖR-Schriften, Bd. 38). Online verfügbar unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-151378.

Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden. Verfahrensschritte zur Abbildung der Ressourceninanspruchnahme des Nichtwohnbau-Bestandes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Reihe Wissenschaft, 45).

Haberl, Helmut; Wiedenhofer, Dominik; Schug, Franz; Frantz, David; Virág, Doris; Plutzar, Christoph et al. (2021): High-Resolution Maps of Material Stocks in Buildings and Infrastructures in Austria and Germany. In: *Environmental science & technology* 55 (5), S. 3368–3379. DOI: 10.1021/acs.est.0c05642.

hale studio (2017): hale studio. (Spatial) data harmonisation with hale studio (formerly HUMBOLDT Alignment Editor). Online verfügbar unter https://github.com/halestudio/hale/, zuletzt geprüft am 26.06.2017.

Hansen, Henning Sten; Hvingel, Line; Schrøder, Lise (2013): Open Government Data - A Key Element in the Digital Society. In: Andrea Kő, Christine Leitner, Herbert Leitold und Alexander Prosser (Hg.): Technology-enabled innovation for democracy, government and governance. Second Joint International Conference on Electronic Government and the Information Systems Perspective, and Electronic Democracy, EGOVIS/EDEM 2013, Prague, Czech Republic, August 26-28, 2013 : proceedings (LNCS sublibrary. SL 3, Information systems and application, incl. Internet/Web and HCI, 8061), S. 167–180.

Hansen, Henning Sten; Schrøder, Lise; Hvingel, Line; Christiansen, Jesper Skovdal (2011): Towards Spatially Enabled e-Governance – A Case Study on SDI implementation. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* (Vol 6.), S. 73–96. DOI: 10.2902/1725-0463.2011.06.art4.

Hartmann, André (2020): Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland. Unter Mitarbeit von Martin Behnisch, Robert Hecht und Gotthard Meinel. 03 ET1315 B. Online verfügbar unter https://datanwg.de/fileadmin/user/iwu/201216_IOER_E1-4-3_Zwischenbericht_Gebaeudemerkmale_final.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2021.

Hassler, Uta (1999): Umbau, Sterblichkeit und langfristige Dynamik. In: Uta Hassler, Niklaus Kohler und Wilfried Wang (Hg.): Umbau. Über die Zukunft des Baubestandes. Tübingen u.a.: Wasmuth, S. 39–59.

Hassler, Uta (2004): Das Verschwinden der Bauten des Industriezeitalters. Lebenszyklen industrieller Baubestände und Methoden transdisziplinärer Forschung. Tübingen u.a.: Wasmuth.

Hassler, Uta (Hg.) (2011): Langfriststabilität. Beiträge zur langfristigen Dynamik der gebauten Umwelt = Towards a sustainable development of the built environment. Institut für Denkmalpflege und Bauforschung. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

Hassler, Uta; Kohler, Niklaus (2011a): Stabile Systeme und der Stolz auf die Geschwindigkeit des Bauens. In: Uta Hassler (Hg.): Langfriststabilität. Beiträge zur langfristigen Dynamik der gebauten Umwelt = Towards a sustainable development of the built environment. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, S. 24.

Hassler, Uta; Kohler, Niklaus (2011b): Umbau - die Zukunft des Bestandes. In: Uta Hassler (Hg.): Langfriststabilität. Beiträge zur langfristigen Dynamik der gebauten Umwelt = Towards a sustainable development of the built environment. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, S. 14–21.

Hassler, Uta; Kohler, Niklaus; Wang, Wilfried (Hg.) (1999): Umbau. Über die Zukunft des Baubestandes. Tübingen u.a.: Wasmuth.

Havránek, M. (Hg.) (2009): ConAccount 2008. Urban metabolism: measuring the ecological city. Charles University Environment Center. Prag.

Hecht, Robert; Kunze, Carola; Hahmann, Stefan (2013): Measuring Completeness of Building Footprints in OpenStreetMap over Space and Time. In: *IJGI* 2, S. 1066–1091. DOI: 10.3390/ijgi2041066.

Hecht, Robert; Kunze, Carola; Hahmann, Stefan (2014): Zur Vollständigkeit des Gebäudedatenbestandes von OpenStreetMap. Fachvortrag der DGFK Sektion Mittelrhein. DGFK Sektion Mittelrhein. Bonn - Bad Godesberg, 06.03.2014. Online verfügbar unter http://www.dgfk-mittelrhein.de/files/f-vortrag06032014.pdf.

Hecker, Lothar (2014): Nutzung der ALKIS Stadtgrundkarte der Stadt Frankfurt am Main. Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main. 133. DVW-Seminar. DVW AK 2. Mainz, 2014.

Hedemann, Jan; Meinshausen, Ingo; Ortlepp, Regine; Schiller, Georg; Liebich, Axel; Möller, Andreas (2017): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland. Entwicklung eines dynamischen Stoffstrommodells und Aufbau einer Datenbank zur Prognose des Sekundärrohstoffaufkommens (KartAL II). Abschlussbericht TEXTE 58/2017, zuletzt geprüft am 09.02.2020.

Heinrich, Matthias Arnold (2018): Erfassung und Steuerung von Stoffströmen im urbanen Wohnungsbau. Am Beispiel der Wohnungswirtschaft in München-Freiham. Dissertation. Technische Universität München, München.

Hennig, Sabine; Belgiu, Mariana (2011): User-centric SDI: Addressing Users Requirements in Third- Generation SDI. The Example of Nature-SDIplus. In: *Perspektiv nr. 20, 2011*, 2011.

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) (2016): Produktions- und Industrieanlagen (INSPIRE Darstellungsdienst, WMS). Online verfügbar unter http://www.hlnug.de/themen/geografische-informationssysteme/geodienste/luft.html, zuletzt geprüft am 07.11.2016.

Hickel, Christian (2010): Participation of municipalities in a regional SDI. The pilot project turns into an institution. INSPIRE Conference 2010 - Krakow, 2010.

HLBG (Hg.) (2013a): Signaturenkatalog ALKIS Hessen (SigK ALKIS - HE) - Teil 1. Hessisches Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation.

HLBG (Hg.) (2013b): Signaturenkatalog ALKIS Hessen (SigK ALKIS - HE) - Teil 2. Hessisches Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation.

Ho, Serene; Rajabifard, Abbas (2010): Learning From the Crowd: The Role of Volunteered Geographic Information in Realising a Spatially Enabled Society. In: *GSDI 12 World Conference-Realizing spatially enabled societies,* zuletzt geprüft am 26.11.2013.

Hofer, Barbara (2013): Geospatial Cyberinfrastructure and Geoprocessing Web—A Review of Commonalities and Differences of E-Science Approaches. In: *IJGI* 2 (3), S. 749–765. DOI: 10.3390/ijgi2030749.

Hörner, Michael (2011): Typologiegestützte Analyseinstrumente für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude. 47. AKE Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Darmstadt, 17.11.2011. Online verfügbar unter http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/ake47/AKE47-3_111116_TypoNWG.pdf, zuletzt geprüft am 24.10.2014.

HVBG Hessen (2014a): OK ALKIS - HE V3.1. Objektartenkatalog ALKIS in Hessen - Version 3.1 auf der Basis der GeoInfoDok Version 6. Wiesbaden. Online verfügbar unter http://www.hvbg.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HMWVL_15/HVBG_Internet/med/016/01670093-72a2-b331-f012-f31e2389e481,22222222-2222-2222-2222-222222222222, zuletzt geprüft am 17.02.2015.

HVBG Hessen (2014b): Produktbeschreibung 3D-Gebäudemodelle Hessen.

HVGG (2007): HVGG. Hessisches Gesetz über das öffentliche Vermessungs- und Geoinformationswesen, vom 27.09.2012. Fundstelle: GVBl. I 2007, 548.

infas 360 GmbH (2015): infas Geodaten. Online verfügbar unter http://infas-geodaten.infas360.de/, zuletzt geprüft am 03.05.2015.

INSPIRE Drafting Team "Data Specifications" (2014): D2.7: Guidelines for the encoding of spatial data, Version 3.3. Version for Annex II/III data specifications v3.0. Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/D2.7_v3.3.pdf.

INSPIRE DT DS (2014): D2.5: Generic Conceptual Model, Version 3.4. Version for Annex II/III data specifications v3.0. Drafting Team Data Specifications. Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/D2.5_v3.4.pdf.

INSPIRE Maintenance and Implementation Framework (2015): INSPIRE Thematic Clusters. Online verfügbar unter https://themes.jrc.ec.europa.eu/, zuletzt geprüft am 30.03.2015.

INSPIRE Thematic Working Groups (2015): INSPIRE Data Specifications > Data Models. Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2/list/datamodels, zuletzt geprüft am 05.05.2015.

INSPIRE TWG BU (Hg.) (2013): Data Specification on Buildings – Technical Guidelines. INSPIRE Data Specification for the spatial data theme Buildings. Unter Mitarbeit von INSPIRE Thematic Working Group Buildings. Europäische Kommission (Joint Research Center), zuletzt geprüft am 25.02.2014.

INSPIRE Website (2014): Data Specifications. Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2/list/2, zuletzt aktualisiert am 2014, zuletzt geprüft am 29.03.2015.

Institut Wohnen und Umwelt (IWU) (Hg.) (2016): Website of the IEE Projects EPISCOPE and TABULA. Online verfügbar unter http://episcope.eu/index.php?id=97, zuletzt geprüft am 04.04.2017.

Institut Wohnen und Umwelt (IWU) (Hg.) (2017): ENOB DataNWG: Definition Nichtwohngebäude. Forschungsprojekt ENOB:dataNWG. Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Online verfügbar unter http://datanwg.de/index.php?id=64, zuletzt geprüft am 12.01.2017.

Institut Wohnen und Umwelt (IWU); Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR); Bergische Universität Wuppertal (2016): ENOB:DataNWG. Projekt: Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Fkz.: 03ET1315 - Dezember 2015 bis Mai 2019. Unter Mitarbeit von Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) und Bergische Universität Wuppertal. Online verfügbar unter http://datanwg.de, zuletzt geprüft am 12.01.2017.

IOC Task Force Network Services (Hg.) (2013a): Technical Guidance for the implementation of INSPIRE Download Services. Published, Version 3.1. Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/documents/technical-guidance-implementation-inspire-download-services.

IOC Task Force Network Services (Hg.) (2013b): Technical Guidance for the implementation of INSPIRE View Services. Version 3.11. Initial Operating Capability Task Force Network Services. Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/documents/technical-guidance-implementation-inspire-view-services-1.

ISO 16739:2013: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries (16739:2013). Online verfügbar unter https://www.iso.org/standard/51622.html, zuletzt geprüft am 12.06.2017.

ISO/TC 211; OGC; IHO (Hg.) (2013): The UN-GGIM inventory of issues and geographic information standardization, zuletzt geprüft am 15.08.2013.

Janowsky, Dagmar von (2010): Geodateninfrastrukturrecht in Bund und Ländern. Systematische Erläuterungen. Wiesbaden: Kommunal- und Schul-Verl.

Joint Research Centre (Hg.) (2016): INSPIRE Interactive Data Specifications. Unter Mitarbeit von INSPIRE Interactive Data Specifications - v2.2.1. Online verfügbar unter http://inspire-regadmin.jrc.ec.europa.eu/dataspecification/FindYourScope.action, zuletzt geprüft am 26.06.2017.

Joint Research Centre | INSPIRE Registry (2017): INSPIRE Registry (Re3gistry 1.3). Online verfügbar unter http://inspire.ec.europa.eu/registry/, zuletzt aktualisiert am 01.01.2017, zuletzt geprüft am 18.01.2017.

Jörg, Wolfgang (2014): ViennaGIS® verschenkt seine Geodaten – Können wir uns das leisten? In: *Vermessung & Geoinformation* 2014 (3), S. 138–145. Online verfügbar unter https://www.data.gv.at/wp-content/uploads/2015/01/VGI_2014_3_ViennaGIS_Joerg.pdf, zuletzt geprüft am 07.01.2015.

Kaden, Robert (2017): Webbasierte Berechnung der Energiebedarfe und Sanierungspotenziale von Wohngebäuden. In: *gis.Science* (1), S. 20–27.

Kaden, Robert; Coors, Volker (2015): Einleitung. Motivation für den Leitfaden. In: Philipp Willkomm, Robert Kaden, Volker Coors und Thomas H. Kolbe (Hg.): Leitfaden 3D-GIS und Energie. Version 1.0.

Kennedy, Christopher; Cuddihy, John; Engel-Yan, Joshua (2007): The Changing Metabolism of Cities. In: *Journal of Industrial Ecology* 11 (2), S. 43–59. DOI: 10.1162/jie.2007.1107.

Kennedy, Christopher; Hoornweg, Daniel (2012): Mainstreaming Urban Metabolism. In: *Journal of Industrial Ecology* 16 (6), S. 780–782. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00548.x.

Klauß, Swen; Kirchhof, Wiebke; Gissel, Johanna (2009): Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. Bericht 06 / 214 FO 20. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V, zuletzt geprüft am 04.12.2014.

Kleemann, Fritz (2014): Evaluierung der Materialzusammensetzung von Gebäuden. 4. DGAW- Wissenschaftskonferenz „Abfall- und Ressourcenmanagement“. CD Labor für Anthropogene Ressourcen, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien. Münster, 2014. Online verfügbar unter http://www.dgaw.de/files/uploaded/Kleemann_DGAW2014.pdf, zuletzt geprüft am 09.01.2015.

Kleemann, Fritz (2016): Gebäude als potenzielle Urbane Rohstofflager: Quantitative, qualitative und räumliche Analyse für Wien. Dissertation. TU Wien, Wien.

Kleemann, Fritz; Aschenbrenner, P.; Lederer, Jakob; Fellner, Johann; Rechberger, Helmut (2014a): Evaluierung der Materialzusammensetzung von Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen anhand unterschiedlicher Methoden. In: A. Bockreis, M. Faulstich, S. Flamme, M. Kranert, M. Nelles, G. Rettenberger und S. Rotter (Hg.): 4. Wissenschaftskongress Abfall- und Ressourcenwirtschaft. Münster, S. 69–72.

Kleemann, Fritz; Aschenbrenner, Philipp; Lederer, Jakob (2015a): Methode zur Bestimmung der Materialzusammensetzung von Gebäuden vor dem Abbruch. In: *Österr Wasser- und Abfallw* 67 (1-2), S. 21–27. DOI: 10.1007/s00506-014-0203-x.

Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Aschenbrenner, Philipp; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2015b): A method for determining buildings’ material composition prior to demolition. In: *Building Research & Information* 44 (1), S. 51–62. DOI: 10.1080/09613218.2014.979029.

Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Fellner, Johann (2015c): Buildings as an Urban Mine - The case study of vienna. In: Jakob Lederer, D. Laner, Helmut Rechberger und Johann Fellner (Hg.): Mining the Technosphere. Drivers and Barriers, Challenges and Opportunities. International Workshop. Mining the Technosphere. Wien, 01.-02.10.2015. TU Wien, S. 105–108. Online verfügbar unter http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_240970.pdf.

Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2014b): Methodology to predict future generation of demolition waste in the city of Vienna. Vortrag: SUM2014, 2nd Symposium on Urban Mining, Bergamo, Italy; 19.05.2014 - 21.05.2014. In: Symposium proceedings / 2nd Symposium on Urban Mining. International Waste Working Group. Padova: Eurowaste.

Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2015d): Bestimmung der Gebäudezusammensetzung. – Prognose zukünftiger Quantitäten und Qualitäten von Baurestmassen –. In: K. J. Thomé-Kozmiensky (Hg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2 - Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen. Neuruppin: TK Verlag; TK, S. 669–679. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/2015_mna/2015_MNA_669-680_Kleemann.pdf.

Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2016a): GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings. In: *Journal of Industrial Ecology*. DOI: 10.1111/jiec.12446.

Kleemann, Fritz; Lehner, Hubert; Szczypińska, Anna; Lederer, Jakob; Fellner, Johann (2016b): Using change detection data to assess amount and composition of demolition waste from buildings in Vienna. In: *Resources, Conservation and Recycling*. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.06.010.

Klessmann, Jens; Denker, Philipp; Schieferdecker, Ina; Schulz, Sönke E. (2012): Open Government Data Deutschland. Eine Studie zu Open Government in Deutschland im Auftrag des Bundesministerium des Inneren. Hg. v. Bundesministerium des Innern (BMI). Online verfügbar unter http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Themen/OED_Verwaltung/ModerneVerwaltung/opengovernment.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 01.08.2012.

Knibbe, Frans (2013): Linked Data and geoinformatics a gap analysis. Position Paper for the workshop 'Linking Geospatial Data'. Online verfügbar unter http://www.w3.org/2014/03/lgd/papers/lgd14_submission_4.

Kohler, Niklaus (1999): Modelle und Lebenszyklus des Gebäudebestandes. In: Uta Hassler, Niklaus Kohler und Wilfried Wang (Hg.): Umbau. Über die Zukunft des Baubestandes. Tübingen u.a.: Wasmuth, S. 24–38.

Kohler, Niklaus; Hassler, Uta (2002): The building stock as a research object. In: *Building Research & Information* 30 (4), S. 226–236. DOI: 10.1080/09613210110102238.

Kohler, Niklaus; Hassler, Uta (2011): The Building Stock as a Research Object. In: Uta Hassler (Hg.): Langfriststabilität. Beiträge zur langfristigen Dynamik der gebauten Umwelt = Towards a sustainable development of the built environment. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

Kohler, Niklaus; Hassler, Uta; Paschen, Herbert (Hg.) (1999): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Enquête-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer Nachhaltig Zukunftsverträglichen Entwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Konzept Nachhaltigkeit).

Köhler, Sonja Tine; Schnitzer, Benjamin (2014): Urban Mining Cadastre – a Geospatial data challenge (6946). In: International Federation of Surveyors (Hg.): XXV FIG Congress 2014. Engaging the Challenges, Enhancing the Relevance. Kuala Lumpur, Malaysia, 16-21 Juni 2014. FIG (2014). Online verfügbar unter http://www.fig.net/pub/fig2014/papers/ts09h/TS09H_schnitzer_koehler_6946.pdf.

Kommunennetzwerk GDI (Hg.) (2015): Identifizierung von Geodaten der Kommunen, die durch INSPIRE betroffen sind. Version 20.02.2015. AfB Heppenheim.

König, Markus (2015): Integration von Geoinformationen für die Planung und Errichtung von Gebäuden und Infrastrukturen. 19. KGIS Workshop. IKGIS e.V. Darmstadt, 04.03.2015. Online verfügbar unter http://www.ikgis.de/veranstaltungen/kgis-workshops/19-kgis-workshop-2015/#c204.

Koordinierungsstelle GDI-DE (Hg.) (2010): INSPIRE Monitoring-DE 2009. Bericht Deutschland Monitoring & Reporting 2009. GDI-DE. Frankfurt am Main, zuletzt geprüft am 17.11.2010.

Koordinierungsstelle GDI-DE (Hg.) (2012): INSPIRE Monitoring-DE 2012. GDI-DE. Frankfurt am Main.

Koordinierungsstelle GDI-DE (2013a): Handlungsempfehlungen zur Identifizierung INSPIRE relevanter Geodaten für geodatenhaltende Stellen. Version 1.0, zuletzt geprüft am 08.11.2013.

Koordinierungsstelle GDI-DE (Hg.) (2013b): Identifizierung INSPIRE relevanter Geodaten. Version 2.0. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2.0.). Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Handlungsempfehlung_v2_Identifizierung_INSPIRE_relevanter_Geodaten.pdf;jsessionid=12EEB70C4583C041117B8E011C55097E?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 13.02.2013.

Koordinierungsstelle GDI-DE (2013c): INSPIRE-Umsetzung. Wiki der GDI-DE. Unter Mitarbeit von Daniela Hogrebe. Hg. v. GDI-DE. Online verfügbar unter https://wiki.gdi-de.org/display/insp/INSPIRE-Umsetzung, zuletzt geprüft am 17.04.2015.

Koordinierungsstelle GDI-DE (2014a): INSPIRE Durchführungsbestimmung Data Specifications. Allgemeine Informationen. Geoportal. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE/INSPIRE/Interoperabilitaet/interoperabilitaet.html?lang=de, zuletzt geprüft am 07.11.2016.

Koordinierungsstelle GDI-DE (Hg.) (2014b): Vernetzung der an der Umsetzung von INSPIRE beteiligten Akteure. Nationale Fachnetzwerke zu den INSPIRE-Themen. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE/INSPIRE/Vernetzung/vernetzung.html%3bjsessionid=9832809AF526B57BB1F9D169BFC35A98?lang=de, zuletzt aktualisiert am 10.02.2015, zuletzt geprüft am 30.03.2015.

Koordinierungsstelle GDI-DE (Hg.) (2015a): GDI-DE Wiki - INSPIRE Fachnetzwerke. GDI-DE. Online verfügbar unter https://wiki.gdi-de.org/display/fn/INSPIRE+Fachnetzwerke, zuletzt geprüft am 30.03.2015.

Koordinierungsstelle GDI-DE (2015b): INSPIRE Monitoring - DE 2014. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/monitoring2014/DE_gdi-de.html, zuletzt aktualisiert am 07.05.2015, zuletzt geprüft am 18.05.2015.

Koordinierungsstelle GDI-DE (2016a): GDI-DE Registry. GDI-DE Registry - zentrales Register für geodatenbezogene Inhalte. Online verfügbar unter https://registry.gdi-de.org/, zuletzt geprüft am 08.02.2017.

Koordinierungsstelle GDI-DE (Hg.) (2016b): GDI-DE Wiki - Fachnetzwerk Gebäude. Online verfügbar unter https://wiki.gdi-de.org/display/bu, zuletzt geprüft am 16.06.2017.

Koordinierungsstelle GDI-DE im Auftrag des LG GDI-DE (Hg.) (2013): Bericht Mitgliedstaat: Deutschland, 2013. Monitoring und Reporting. GDI-DE. Online verfügbar unter http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/inspire/reporting/envuztk9g/INSPIRE_Bericht_Mitgliedstaat_DE_2013.pdf.

Kretzschmar, Daniel; Schiller, Georg; Weitkamp, Alexandra (2019): Nichtwohngebäude in Deutschland - Typisierung eines dynamischen Marktes. In: *zfv* 3. DOI: 10.12902/zfv-0250-2019.

Kroiss, Sebastian (2015): Datenmodelltransformationswerkzeuge für Geodaten - ein Vergleich anhand ausgewählter Anwendungsfälle. Master Thesis. Technische Universität München, München. Lehrstuhl für Geoinformatik.

Kronborg Mazzoli, Ulla (2013): How INSPIRE helped free our data. Head of Function, Danish ministry for the Enviroment. INSPIRE Conference 2013 - Firenze. Danish Geodata Agency, 01.07.2013. Online verfügbar unter http://inspire.jrc.ec.europa.eu/events/conferences/inspire_2013/pdfs/27-06-2013_ROOM-5_09.00%20-%2010.30_173-Ulla%20Kronborg%20Mazzoli_Ulla-Kronborg-Mazzoli.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2013.

Krook, Joakim; Carlsson, Annica; Eklund, Mats; Frändegård, Per; Svensson, Niclas (2011): Urban mining: hibernating copper stocks in local power grids. In: *Journal of Cleaner Production* 19 (9-10), S. 1052–1056. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.01.015.

Kulk, Stefan; van Loenen, Bastiaan (2012): Brave New Open Data World? In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* (Vol 7), S. 196–206. DOI: 10.2902/1725-0463.2012.07.art10.

Kummer, Klaus; Frankenberger, Josef (Hg.) (2010): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen. Themenschwerpunkte 2010: Gesellschaftliche Verankerung und institutionelles Gefüge ; Aufgabenfelder und Wirkungsbereiche ; Technische Netzwerke und Transfer ; Forschung und Lehre. Heidelberg: Wichmann. Online verfügbar unter http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3355249&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.

Kummer, Klaus; Kötter, Theo; Eichhorn, Andreas (Hg.) (2014): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2015. Themenschwerpunkte Gesellschaftliche Verankerung und institutionelles Gefüge; Aufgabenfelder und Wirkungsbereiche; Technische Netzwerke und Transfer; Forschung und Lehre Klaus Kummer … (Hrsg.). Berlin [u.a.]: Wichmann.

Kunze, Carola (2013): Nutzung semantischer Informationen aus OSM zur Beschreibung des Nichtwohnnutzungsanteils in Gebäudebeständen. Technische Universität Dresden, Diplomarbeit. Institut für Kartographie. Online verfügbar unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-118332.

Kutterer, Hansjörg (2014): Geoportal.de - Schaufenster der GDI-DE. In: Mario Martini, Georg Thiel und Astrid Röttgen (Hg.): Geodaten und open government. Perspektiven digitaler Sachlichkeit. Speyer: Dt. Forschungsinst. für Öffentliche Verwaltung (Speyerer Forschungsberichte, 280).

Ladstätter, Peter (2015): Geschäftsmodelle für Open Data Strategien des amtlichen Geoinformationswesens. In: *zfv* 2015 (2), S. 70–75. DOI: 10.12902/zfv-0052-2015.

Landesamt für Denkmalpflege Hessen (2015): Kulturdenkmäler in Hessen. Land Hessen. Online verfügbar unter http://denkxweb.denkmalpflege-hessen.de/cgi-bin/mapwalk.pl?session=1741687&event=Status, zuletzt geprüft am 29.05.2015.

Lederer, Jakob; Fellner, Johann; Gassner, Andreas; Gruhler, Karin; Schiller, Georg (2021): Determining the material intensities of buildings selected by random sampling: A case study from Vienna. In: *Journal of Industrial Ecology*. DOI: 10.1111/jiec.13100.

Lehmann, Jens (2015): GeoKnow. Project - Making the Web an Exploratory for Geospatial Knowledge. Online verfügbar unter http://geoknow.eu/Project.html, zuletzt geprüft am 15.05.2015.

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) (Hg.) (2014): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungskennzahl (UFOPLAN) - Arbeitspapier für das Fachgespräch am 06.05.2014. Unter Mitarbeit von Georg Schiller, Norbert Krauß, Regine Ortlepp, Sören Steger, Helmut Schütz, José Acosta Fernandez et al. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR), zuletzt geprüft am 26.06.2014.

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) (2016): Bauwerksdatenbank - Gebäude, Infrastruktur, bauliche Anlagen. Forschungsbereich: Ressourceneffizienz von Siedlungsstrukturen. Laufzeit bis 12/2018. Unter Mitarbeit von Regine Ortlepp, Karin Gruhler und Reinhard Schinke. Online verfügbar unter https://www.ioer.de/projekte/bauwerksdatenbank/, zuletzt geprüft am 29.11.2016.

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) (2017): IÖR-Bauwerksdatenbank. Physis der gebauten Umwelt - Bauwerksdatenbank. Online verfügbar unter http://bdat.ioer.eu/, zuletzt geprüft am 05.04.2017.

Lenkungsgremium GDI-DE (2016): Bericht Mitgliedstaat: Deutschland, 2016. Bericht zum Aufbau der Geodateninfrastruktur Deutschland nach Artikel 21 Absatz 3 der INSPIRE-Richtlinie. Unter Mitarbeit von Bund, Länder, kommunale Spitzenverbände, Kst. GDI-DE. Online verfügbar unter https://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/INSPIRE_Bericht_Mitgliedstaat_DE_2016.pdf?__blob=publicationFile.

Lenkungsgremium Geodateninfrastruktur Deutschland (LG GDI-DE) (2013): INSPIRE Bericht Mitgliedstaat: Deutschland, 2013. Bericht zum Aufbau der Geodateninfrastruktur Deutschland nach Artikel 21 Absatz 3 der INSPIRE-Richtlinie. Unter Mitarbeit von Bund, Länder, Kommunale Spitzenverbände und Kst. GDI-DE. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/INSPIRE_Bericht_Mitgliedstaat_DE_2013.pdf;jsessionid=EA4AAE6B8D5C8CCFE3942C60CC429100?__blob=publicationFile.

LG GDI-DE (2013): INSPIRE Bericht Mitgliedstaat: Deutschland, 2013. Bericht zum Aufbau der Geodateninfrastruktur Deutschland nach Artikel 21 Absatz 3 der INSPIRE-Richtlinie. Hg. v. Lenkungsgremium Geodateninfrastruktur Deutschland (LG GDI-DE). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/INSPIRE_Bericht_Mitgliedstaat_DE_2013.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 12.06.2013.

LG GDI-DE (2017): INSPIRE Monitoring 2016. Thema Gebäude, zuletzt geprüft am 31.03.2019.

Lichtensteiger, Thomas (Hg.) (2006): Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme; ein Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten; [Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt ARK 04 - Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften der ETH Zürich und der Eawag]. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

Lichtensteiger, Thomas; Baccini, Peter (2008): Exploration of urban stocks. In: *Detail : Zeitschrift für Architektur + Baudetail* 5 (6), S. 16. Online verfügbar unter http://ser.cienve.org.tw/download/18-1/jeeam18-1_41-48.pdf.

Lichtensteiger, Thomas; Baccini, Peter; Henseler, A.; Wittmer, Dominic (2006): Exploration regionaler Gebäudelager. In: Thomas Lichtensteiger (Hg.): Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme; ein Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten; [Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt ARK 04 - Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften der ETH Zürich und der Eawag]. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, S. 13–26.

Lill, Felix (2015): Tokio - Gib mir die Abrissbirne. In Tokio steht kaum ein Haus länger als 30 Jahre. Was treibt die Japaner zum ständigen Neubau? In: *Die Zeit* 2015, 2015 (01/2015). Online verfügbar unter http://www.zeit.de/2015/01/tokio-haeuser-abriss-neubau, zuletzt geprüft am 19.01.2015.

Liu, Xin; Wang, Xiangyu; Wright, Graeme; Cheng, Jack; Li, Xiao; Liu, Rui (2017): A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). In: *IJGI* 6 (2), S. 53. DOI: 10.3390/ijgi6020053.

Lobo, Rita (2014): Could Songdo be the world's smartest city? In: *Worls Finance* 2014, 21.01.2014 (Online). Online verfügbar unter http://www.worldfinance.com/inward-investment/could-songdo-be-the-worlds-smartest-city, zuletzt geprüft am 26.01.2015.

Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2011): Deutsche Gebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt GmbH.

Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Stein, Britta (Hg.) (2012): Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project. – Final Project Report –. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Darmstadt.

Lojeski, Hilmar; Lwowski, Harald (2014a): Geodaten-Management: Chance INSPIRE. In: *Kommune21-E-Government* 2014, 2014. Online verfügbar unter http://www.kommune21.de/meldung_19636_Chance+INSPIRE.html, zuletzt geprüft am 28.08.2014.

Lojeski, Hilmar; Lwowski, Harald (2014b): Nutzung von Geodaten: Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie der EU in den Kommunen – Rahmenbedingungen und Wirkungen. In: *Städtetag aktuell* 2014 (9). Online verfügbar unter http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/veroeffentlichungen/dst_aktuell/2014/9_2014_staedtetag_aktuell.pdf.

Löwner, Marc-O; Benner, Joachim; Gröger, Gerhard; Gruber, Ulrich; Häfele, Karl-Heinz; Schlüter, Sandra (2012): CityGML 2.0 – Ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle. Teil 1: Datenmodell. In: *zfv* 2012 (6), S. 340–349. Online verfügbar unter http://geodaesie.info/zfv/heftbeitrag/1035, zuletzt geprüft am 17.04.2015.

Löwner, Marc-O; Casper, Egbert; Becker, Thomas; Benner, Joachim; Gröger, Gerhard; Gruber, Ulrich et al. (2013): CityGML 2.0 – Ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle. Teil 2: CityGML in der Praxis. In: *zfv* 2013 (2), S. 131–143. Online verfügbar unter http://geodaesie.info/zfv/heftbeitrag/1220, zuletzt geprüft am 17.04.2015.

Lucas, Rainer (2008): Kreisläufe schließen. Die Renaissance der Regionen. In: Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt : ein Anstoß zur gesellschaftlichen Debatte; eine Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verl, S. 395–426.

Lucke, Jörn von (2012): Memorandum zur Öffnung von Staat und Verwaltung (Open Government). Positionspapier der Fachgruppe Verwaltungsinformatik und des Fachbereichs Informatik in Recht und öffentlicher Verwaltung der Gesellschaft für Informatik. Hg. v. Gesellschaft für Informatik e.V. Fachgruppe Verwaltungsinformatik. Online verfügbar unter http://fb-rvi.gi.de/fileadmin/gliederungen/fg-vi/FGVI-121016-GI-PositionspapierOpenGovernment.pdf, zuletzt aktualisiert am 12.10.2012, zuletzt geprüft am 15.04.2013.

Mapillary AB (2015): Mapillary | Crowdsourced Street Photos. Online verfügbar unter https://www.mapillary.com/, zuletzt aktualisiert am 01.05.2015, zuletzt geprüft am 03.05.2015.

Marcellus-Zamora, Kimberlee A.; Gallagher, Patricia M.; Spatari, Sabrina; Tanikawa, Hiroki (2016): Estimating Materials Stocked by Land-Use Type in Historic Urban Buildings Using Spatio-Temporal Analytical Tools. In: *Journal of Industrial Ecology* 20 (5), S. 1025–1037. DOI: 10.1111/jiec.12327.

MaRess (Hg.) (2010): Indikatoren / Bottom-up-Modelle und Szenarien. Abschlussbericht des Arbeitspakets 6 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess). Unter Mitarbeit von Stefan Bringezu. Online verfügbar unter http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess_AP6_7_AbschlussBer.pdf, zuletzt geprüft am 27.01.2015.

MaRess (Hg.) (2011): Metallische Rohstoffe, weltweite Wiedergewinnung von PGM und Materialien für Infrastrukturen. Abschlussbericht des Arbeitspakets 2 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess). Unter Mitarbeit von Stefan Bringezu und Sören Steger. Wuppertal. Online verfügbar unter http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess_AP2_8_AbschlussBer.pdf, zuletzt geprüft am 27.01.2015.

Martini, Mario; Damm, Matthias (2013): Auf dem Weg zum Open Government: Zum Regimewechsel im Geodatenrecht. In: *Deutsches Verwaltungsblatt : DVBL* 128 (1).

McDonough, William; Braungart, Michael (2002): Cradle to cradle. Remaking the way we make things. 1st ed. New York: North Point Press.

md stadtbaudirektion; CD Labor Anthropogene Ressourcen (TU Wien); Magistratsabteilung 22 (Hg.) (2015): Ergebnisbericht des Projektes Hochbauten als Wertstoffquelle. Ein Projekt der md Stadtbaudirektion Gruppe Umwelttechnik & behördliche Verfahren, Gruppe Hochbau und TU Wien, CD Labor Anthropogene Ressourcen und Magistratsabteilung 22 Umweltschutz. Unter Mitarbeit von Fritz Kleemann, Jakob Lederer und Johann Fellner. Wien. Online verfügbar unter http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_238867.pdf.

Mooney, Peter; Corcoran, Padraig (2011): Can Volunteered Geographic Information Be a Participant in eEnvironment and SDI? In: Jiří Hřebíček, Gerald Schimak und Ralf Denzer (Hg.): Environmental Software Systems. Frameworks of eEnvironment, Bd. 359. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (IFIP Advances in Information and Communication Technology), S. 115–122.

Müller, Daniel (2006): Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands. In: *Ecological Economics* 59 (1), S. 142–156. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.09.025.

Müller, Esther; Hilty, Lorenz M.; Widmer, Rolf; Schluep, Mathias; Faulstich, Martin (2014): Modeling metal stocks and flows: a review of dynamic material flow analysis methods. In: *Environ. Sci. Technol.* 48 (4), S. 2102–2113. DOI: 10.1021/es403506a.

Najar, Christine Ruth (2006): A model-driven approach to management of integrated metadata-spatial data in the context of spatial data infrastructures. Dissertation. ETH Zürich. Online verfügbar unter http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/diss/fulltext/eth16474.pdf.

Nakamura, Takashi; Halada, Kohmei (2014): Urban Mining Systems. Dordrecht: Springer (SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology).

Neis, Pascal (2014): Analysis of User-generated Geodata Quality for the Implementation of Disabled People Friendly Route Planning. Dissertation. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Heidelberg. Naturwissenschaftlich-Mathematischen Gesamtfakultät. Online verfügbar unter http://www.geog.uni-heidelberg.de/md/chemgeo/geog/gis/dissertation_pascal_neis_reduced.pdf, zuletzt geprüft am 25.03.2015.

Neis, Pascal; Zielstra, Dennis (2014): Recent Developments and Future Trends in Volunteered Geographic Information Research: The Case of OpenStreetMap. In: *Future Internet* 6 (1), S. 76–106. DOI: 10.3390/fi6010076.

Nouvel, Romain; Kaden, Robert; Bahu, Jean-Marie; Tournaire, Olivier; Scartezzini, Jean-Louis; Munoz, Esteban et al. (2015): Genesis of the CityGML Energy ADE. September 9-11, 2015 - Lausanne, Switzerland. In: *CISBAT*. DOI: 10.5075/epfl-cisbat2015-931-936.

Obernosterer, R.; Karitnig, A.; Lepuschitz, B. (2010): Urban Future. Erhebung von Forschungsfragen zum Thema „Resource Efficient City of Tomorrow“. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 83/2010). Online verfügbar unter http://www.rma.at/sites/new.rma.at/files/Urban%20Future%20Endbericht%20BMVIT.pdf.

Oderbolz, Stefan; Hunziker, Jürg (2015): Kort - An OpenStreetMap Game. Online verfügbar unter http://www.kort.ch/, zuletzt aktualisiert am 13.02.2015, zuletzt geprüft am 25.03.2015.

OECD (2015): The Metropolitan Century. Understanding urbanisation and its consequences. Paris: OECD Publishing; OECD.

Oezdemir, Oezlem; Krause, Karina; Hafner, Annette (2017): Creating a Resource Cadaster—A Case Study of a District in the Rhine-Ruhr Metropolitan Area. In: *Buildings* 7 (45), S. 1–17. DOI: 10.3390/buildings7020045.

OGC (2012): OGC Market Report Open Standards and INSPIRE. Unter Mitarbeit von Steven Ramage und Andy Bray. Open Geospatial Consortium (OGC), zuletzt aktualisiert am 25.04.2012, zuletzt geprüft am 15.01.2013.

OGC (2015): OGC calls for participation in GeoSemantics Summit. Open Geospatial Consortium (OGC). Online verfügbar unter http://www.opengeospatial.org/pressroom/pressreleases/2214, zuletzt aktualisiert am 30.04.2015, zuletzt geprüft am 30.04.2015.

OGC; ISO; IHO (2014): A Guide to the Role of Standards in Geospatial Information Management. Background Document Prepared cooperatively by the Open Geospatial Consortium (OGC) The International Organization for Standards (ISO), Technical Committee 211 Geographic information/Geomatics and the International Hydrographic Organization (IHO). Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. Online verfügbar unter http://ggim.un.org/docs/meetings/GGIM4/E-C20-2014-8_Essential%20Standards%20Guide%20for%20UNGGIM.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2014.

OGC 12-019, 04.04.2012: OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard - Version 2.0.0.

OGC White Paper, 2015: OGC Smart Cities Spatial Information Framework. Online verfügbar unter https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=61188.

OKNF (Hg.) (2015): Code for Germany. Open Knowledge Foundation Deutschland e.V. (OKFN). Online verfügbar unter http://codefor.de/, zuletzt aktualisiert am 15.04.2015, zuletzt geprüft am 15.04.2015.

Open Data Commons | Open Database License (ODbL) v1.0 (2015): Open Database License (ODbL) v1.0. Open Data Commons. Online verfügbar unter http://opendatacommons.org/licenses/odbl/1.0/, zuletzt geprüft am 11.04.2015.

Open Knowledge Open Definition Group (2015): Open Definition (Definition: Offenes Wissen). Version v.1.1. Online verfügbar unter http://opendefinition.org/od/1.1/de/, zuletzt aktualisiert am 17.03.2015, zuletzt geprüft am 08.04.2015.

OpenAddresses.io (2015): OpenAddresses.io. Online verfügbar unter http://openaddresses.io/, zuletzt aktualisiert am 18.03.2015, zuletzt geprüft am 15.04.2015.

OpenData Portal Niederrhein (2015). Online verfügbar unter http://offenesdatenportal.de/, zuletzt geprüft am 17.04.2015.

Ortlepp, Regine; Gruhler, Karin; Schiller, Georg (2015): Material stocks in Germany's non-domestic buildings. A new quantification method. In: *Building Research & Information*, S. 1–24. DOI: 10.1080/09613218.2016.1112096.

Ostrau, Stefan (2010): Konzept zur Harmonisierung und Präsentation von Nutzungsdaten auf Grundlage des 3A-Modells. Dissertation, Bonn.

Ostrau, Stefan; Kany, Christoph (2020): Vernetzte Digitalisierung als Grundlage der heutigen Wissensgesellschaft – Kommunale Datenräume, Geointelligenz und Digitale Zwillinge. In: *zfv* 145 (4), S. 205–212. DOI: 10.12902/zfv-0309-2020.

Ostrau, Stefan; Koneberg, Sigrid; Frisch, Ulrich; Huber, Ulrich (2013): Geoinformationen in den Kommunen – Ergebnisse und Umsetzungsaspekte der neuen GDI-Studie. In: *zfv* 2013 (5), S. 313–324. Online verfügbar unter http://geodaesie.info/zfv/heftbeitrag/1943, zuletzt geprüft am 17.04.2015.

Oswald, Franz; Baccini, Peter; Michaeli, Mark (2003): Netzstadt. Einführung in das Stadtentwerfen. Basel: Birkhäuser.

Ott, Johanna (2017): Datenbereitstellung zur Umsetzung der EU-Richtlinie 2007/2/EG (INSPIRE) im Zuständigkeitsbereich des HLNUG. Masterthesis. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Fachgebiet Landmanagement.

Paderta, Damian (2011): Open Geo Data. Online verfügbar unter http://paderta.com/wp-content/uploads/2012/04/Open-Data-raumbezogene-Daten.pdf, zuletzt geprüft am 14.12.2012.

Petkova, P. J.; Rüppel, Uwe (2014): A graph-based prediction method for electrical wiring in old redidential buildings as a part of BIM for Urban Mining purposes. Technische Universität Darmstadt. In: Ardeshir Mahdavi, Bob Martens und Raimar Scherer (Hg.): eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction. ECPPM 2014. Hoboken: Taylor and Francis, S. 109–115.

Petkova, Philipa (2016): Digitales Urban Mining von Gebäuden: Entwicklung informationstiefen-abhängiger Ressourcenpässe. 1. Auflage. Aachen: Shaker (Berichte des Instituts für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen, 2016,2).

Petzet, Michael; Hassler, Uta (1996): Das Denkmal als Altlast? Auf dem Weg in die Reparaturgesellschaft ; Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Lehrstuhls für Denkmalpflege und Bauforschung der Universität Dortmund auf der Kokerei Hansa, Dortmund-Huckarde, 11. - 13. Oktober 1995. München: Lipp (Cahiers du Comité National Allemand, 21).

PostGIS (2016): PostGIS — Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL. Online verfügbar unter http://postgis.net/, zuletzt geprüft am 26.06.2017.

Prytula, Michael (2010): Der Urbane Metabolismus. Ganzheitliche Betrachtungen zum Ressourcenhaushalt Urbaner Systeme. In: *Arch + Zeitschrift für Architektur und Städtebau* 2010 (196/197), S. 116–117. Online verfügbar unter http://www.urbaner-metabolismus.de/prytula_2010_urbaner_metabolismus.pdf, zuletzt geprüft am 22.01.2015.

Prytula, Michael (2011): Ein integrales Energie- und Stoffstrommodell als Grundlage zur Bewertung einer nachhaltigen Entwicklung urbaner Systeme. Techn. Univ., Diss.--Berlin, 2011. Berlin: Univ.-Verl. der TU Univ.-Bibliothek.

Rajabifard, Abbas (2008): A Spatial Data Infrastructure for a spatially enabled government and society. In: Joep Crompvoets, Abbas Rajabifard, Bastiaan van Loenen und Tatiana Delgado Fernández (Hg.): A multi-view framework to assess SDIs: Wageningen University, RGI, S. 1.

Rajabifard, Abbas; Crompvoets, Joep; Kalantari, Mohsen; Kok, Bas (Hg.) (2010): Spatially Enabling Society. Research, Emerging Trends and Critical Assessment. Leuven University Press. Leuven (Belgium): GSDI Association Press; Leuven University Press, zuletzt geprüft am 27.11.2013.

Randers, Jørgen (2013): Der neue Bericht an den Club of Rome; eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre; [40 Jahre nach "Die Grenzen des Wachstums"]. 2. Aufl. München: Oekom-Verl.

Raphael A. Silva (2016): pgModeler - PostgreSQL Database Modeler. Version 0.8.2. Online verfügbar unter https://www.pgmodeler.com.br/, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

Rat für Nachhaltige Entwicklung (Hg.) (2014): Ressourcenmanagement und Siedlungsabfallwirtschaft. Challenger Report für den Rat für Nachhaltige Entwicklung. Unter Mitarbeit von Henning Friege (texte Nr. 48). Online verfügbar unter http://www.nachhaltigkeitsrat.de/uploads/media/Challenger_Report_Ressourcenmanagement_und_Siedlungsabfallwirtschaft_texte_Nr_48_Januar_2015_01.pdf.

Rauch, Jason N. (2012): The present understanding of Earth's global anthrobiogeochemical metal cycles. In: *Miner Econ* 25 (1), S. 7–15. DOI: 10.1007/s13563-011-0011-8.

Rechberger, Helmut; Clement, David (2011): Urban Mining – städtebauliche Rohstoff-Potenziale. Beitrag 21. In: 1. Internationaler BBB-Kongress, Bd. 2011: Dresden. Online verfügbar unter http://www.bbb-kongress.de/images/Tagungsband_Beitrag21_Rechberger.pdf, zuletzt geprüft am 05.09.2014.

Resch, Bernd; Sagl, Günther; Törnros, Tobias; Bachmaier, Andreas; Eggers, Jan-Bleicke; Herkel, Sebastian et al. (2014): GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information* 3 (2), S. 662–692. DOI: 10.3390/ijgi3020662.

Ring, Joachim (2011): Analyse der Datenspezifikation zum INSPIRE-Thema „Gebäude“ (Building), Version 2.0 (DS BU, v. 2.0). Zentrale Stelle GDI-RP/LVermGeo RP. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Steckbrief_Gebaeude.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 25.02.2014.

Roschlaub, R.; Batscheider, J. (2016): An INSPIRE-konform 3D Building Model of Bavaria using cadastre information, lidar and image matching. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLI-B4, S. 747–754. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-747-2016.

Rossmanith, Thomas (2007): Prototypische Realisierung einer kommunalen Geodateninfrastruktur auf Landkreisebene Thomas Rossmanith. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2007. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt Geodätisches Institut (Schriftenreihe, 25).

Safe Software, FME (2015). Version 2015: Safe Software Inc.

Sagl, Günther; Resch, Bernd; Summa, Anja; Mayer, Christoph, Sun, Sen, Minji Lee, Maria (2014): Crowdsourcing Energy Data for Participatory Renewable Energy Planning and Modeling. In: Georg Gartner und Haosheng Huang (Hg.): Proceedings of the 11th International Symposium on Location-Based Services. Wien, 26-28.11.2014, S. 247–260.

Sartori, Igor; Bergsdal, Håvard; Müller, Daniel B.; Brattebø, Helge (2008): Towards modelling of construction, renovation and demolition activities: Norway's dwelling stock, 1900–2100. In: *Building Research & Information* 36 (5), S. 412–425. DOI: 10.1080/09613210802184312.

Schebek, Liselotte (2011): Projektskizze (BMBF) Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand. PRRIG. Technische Universität Darmstadt. unveröffentlicht.

Schebek, Liselotte; Linke, Hans-Joachim; Motzko, Christoph (2016a): Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude- Bestand – PRRIG Techno-Ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude- Bestand – PRRIG. r3-

Verbundprojekt. Projektlaufzeit: 01.04.2013 bis 30.06.2016. Unter Mitarbeit von Benjamin Schnitzer, Britta Miekley und Jan Wöltjen. TIB - Technische Informationsbibliothek Universitätsbibliothek Hannover.

Schebek, Liselotte; Schnitzer, Benjamin; Blesinger, Daniel; Köhn, Antonia; Miekley, Britta; Linke, Hans-Joachim et al. (2016b): Material stocks of the non-residential building sector: the case of the Rhine-Main area. In: *Resources, Conservation and Recycling*. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.06.001.

Schebek, Liselotte; Schnitzer, Benjamin; Miekley, Britta; Blesinger, Daniel; Köhn, Antonia; Linke, Hans-Joachim et al. (2016c): 25. PRIGG - Rohstoffpotenziale des Gewerbe- und Industriegebäudebestands im Rhein-Main-Gebiet. In: G. Gräbe, C.P Brandstetter, A. Dürkoop und L. Rentsch (Hg.): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Strategische Metalle und Mineralien. Mit CD-ROM. Ergebnisse der Fördermaßnahme r3. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 377–388.

Schebek, Liselotte; Schnitzer, Benjamin; Miekley, Britta; Dell, A.; Köhn, Antonia; Blesinger, Daniel et al. (2016d): Das Rohstofflager von Gebäuden. In: *ReSource* 29 (3/2016), S. 16–22.

Schiller, Georg (2014): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Re-source 2014. Wien, 2014. Online verfügbar unter http://www.re-source2014.at/fileadmin/inhalte/resource2014/Schiller_Resouce2014.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2014.

Schiller, Georg; Deilmann, Clemens; Reichenbach, Jan; Gruhler, Karin; Röhm; Patric et al. (2010): Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. Berichtsnummer UBA-FB 001401. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden (56/2010), zuletzt geprüft am 08.11.2013.

Schiller, Georg; Ortlepp, Regine; Krauß, Norbert; Steger, Sören; Schütz, Helmut; Fernández, José Acosta et al. (2015): Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. 83/2015. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf, zuletzt geprüft am 20.10.2015.

Schleyer, Andreas; Luckhardt, Thomas; Thiel, Franz; Welzel, Rolf-Werner (2014): Geodateninfrastruktur. In: Klaus Kummer, Theo Kötter und Andreas Eichhorn (Hg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2015. Themenschwerpunkte Gesellschaftliche Verankerung und institutionelles Gefüge; Aufgabenfelder und Wirkungsbereiche; Technische Netzwerke und Transfer; Forschung und Lehre Klaus Kummer … (Hrsg.). Berlin [u.a.]: Wichmann, S. 829–872.

Schnitzer, Benjamin (2008): Konzeption und Aufbau der GDI-Testplattform. Bachelorarbeit. FH Frankfurt, Frankfurt am Main. Labor für Geoinformation, zuletzt geprüft am 20.03.2013.

Schnitzer, Benjamin (2011): Monitoring in Geodateninfrastrukturen unter Berücksichtigung der normativen Anforderungen. Masterthesis. Hochschule RheinMain, Wiesbaden, zuletzt geprüft am 20.03.2013.

Schnitzer, Benjamin (2017): ALKIS Mapping - AX_Gebauedefunktion & INSPIRE CurrentUse - Fachnetzwerk Gebäude - GDI-DE Wiki. Wiki GDI-DE. Koordinierungsstelle GDI-DE. Online verfügbar unter https://wiki.gdi-de.org/pages/viewpage.action?pageId=291274766, zuletzt geprüft am 19.06.2017.

Schnitzer, Benjamin; Bodirsky, Eike (2016a): Dank GIS-Daten: auferstanden aus Ruinen. In: *gis.Business* (4), S. 24–26.

Schnitzer, Benjamin; Bodirsky, Eike (2016b): Web-GIS zur semiautomatischen Datenerfassung von semantischen Gebäudeinformationen im Kontext des Urban Mining. In: *AGIT - Journal für Angewandte Geoinformatik* 2-2016, S. 560–565. DOI: 10.14627/537622074.

Schnitzer, Benjamin; Hickel, Christian (2013a): INSPIRE at local and municipal level in the state of Hesse (Germany). - acceptance and challenges -. INSPIRE Conference 2013 - Firenze. Florence, 2013.

Schnitzer, Benjamin; Hickel, Christian (2013b): “INSPIRE kommunal” - Integrierte Entwicklung von GDI & INSPIRE. 4. Veranstaltung "GIS RheinMain". Regionalverband FrankfurtRheinMain. Frankfurt am Main, 2013. Online verfügbar unter http://www.region-frankfurt.de/media/custom/2005_1339_1.PDF, zuletzt geprüft am 13.01.2015.

Schnitzer, Benjamin; Köhler, Sonja Tine (2014): Urban Mining Cadastre - a Geospatial data challenge (6946). International Federation of Surveyors - XXV FIG Congress 2014. FIG. Kuala Lumpur, Malaysia, 21.06.2014.

Schnitzer, Benjamin; Köhler, Sonja Tine (2015): Regionale Ressourcenkataster - Urban Mining und Geodateninfrastrukturen. In: Josef Strobl und Thomas Blaschke (Hg.): Angewandte Geoinformatik 2015. Beiträge zum 27 AGIT-Symposium. 27 Bände: Wichmann.

Schwaiger, Bärbel (2002): Strukturelle und dynamische Modellierung von Gebäudebeständen. Dissertation. Universität Karlsruhe (TH). Fakultät für Architektur.

Seifert, Markus; Jäger, Ernst; Weber, Marcel (2014): Normung, Standardisierung und Qualitässichrung. In: Klaus Kummer, Theo Kötter und Andreas Eichhorn (Hg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2015. Themenschwerpunkte Gesellschaftliche Verankerung und institutionelles Gefüge; Aufgabenfelder und Wirkungsbereiche; Technische Netzwerke und Transfer; Forschung und Lehre Klaus Kummer … (Hrsg.). Berlin [u.a.]: Wichmann, S. 873–927.

Semsrott, Arne (2019): Das Handelsregister: Endlich offene Daten! Netzpolitik.org. Hg. v. netzpolitik.org e.V. Online verfügbar unter https://netzpolitik.org/2019/das-handelsregister-endlich-offene-daten/, zuletzt geprüft am 07.02.2019.

Sester, Monika (2007): Semantische und Geometrische Integration von Geodaten. In: *Kartographie als Baustein moderner Kommunikation, Symposium 2007* 2007 (Band 14. Bonn: Kirschbaum Verlag).

Seuß, Robert (2015): Open Geo Data – grenzenlos nutzbar? In: *zfv* 2015 (2). DOI: 10.12902/zfv-0054-2015.

Simitis, Spiros; Dammann, Ulrich (Hg.) (2014): Bundesdatenschutzgesetz Spiros Simitis [Hrsg.]. Ulrich Dammann. Baden-Baden: Nomos-Verl.-Ges (NomosKommentar).

Smil, Vaclav (2003): Energy at the crossroads. Global perspectives and uncertainties. 1. MIT Press paperback ed. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Stadt Wien (2015): Smart City Wien - Urban Mining. Online verfügbar unter https://smartcity.wien.gv.at/site/projekte/umwelt-klimaschutz/urban-mining/, zuletzt geprüft am 01.01.2016.

Städtetag Baden-Württemberg; Landkreistag Baden-Württemberg; Gemeindetag Baden-Württemberg (Hg.) (2014): Kommunale Pflichtaufgaben beim Aufbau der europäischen Geodateninfrastruktur INSPIRE Umsetzung im Rahmen der Geodateninfrastruktur Baden-Württemberg (GDI-BW). Positionspapier mit Handlungsempfehlungen der kommunalen Landesverbände in Baden-Württemberg Version 1.0 vom Januar 2014. Version 1.0. Online verfügbar unter http://www.geoportal-bw.de/geoportal/export/sites/default/galleries/downloads/INSPIRE-Kommunale-Betroffenheit-BW_V1.0_final_20140108.pdf, zuletzt geprüft am 07.02.2014.

Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main (2016): Kurzfassung Masterplan GDI-FFM. Runder Tisch Geodaten, zuletzt geprüft am 30.05.2017.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (1978): Systematik der Bauwerke. Stuttgart, Mainz: Kohlhammer (Systematische Verzeichnisse / Statistisches Bundesamt).

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2012): Qualitätsbericht der Statistik der Baugenehmigungen. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Qualitaetsberichte/Bauen/Bautaetigkeit/BauenBaugenehmigungen.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 08.04.2014.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2013a): Statistik des Bauabgangs 2012. Metadaten. www.forschungsdatenzentrum.de (2013). Online verfügbar unter http://www.forschungsdatenzentrum.de/bestand/bauabgang/gwap_kdfv/fdz_bauabgang_metadaten_2012.pdf, zuletzt geprüft am 23.05.2014.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2013b): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Einführung in die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Methoden/EinfuehrungUGR.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 13.03.2015.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2014): Systematik der Bauwerke. 1978, Version 2014. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftklassifikationen/Bau78V14erl.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 24.11.2014.

Staub, Peter (2009): Über das Potenzial und die Grenzen der semantischen Interoperabilität von Geodaten. Ein operationelles Verfahren zur Nutzung verteilter Systeme in Geodaten-Infrastrukturen. Diss. ETH Nr. 18201, zuletzt geprüft am 14.07.2012.

Stein, Britta; Dascalaki, Elena; Popiołek, Małgorzata; Kwiatkowski, Jerzy; Amtmann, Maria; Georgiev, Zdravko (2012): Typology Approaches for Non-Residential Buildings in Five European Countries. - Existing Information, Concepts and Outlook -. - TABULA Thematic Report N° 3 -. Online verfügbar unter http://episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_TR3_D9_NonResidentialBuildings.pdf, zuletzt geprüft am 11.07.2014.

Stein, Britta; Hörner, Michael; Jedek, Christoph; Ihrig, Maximilian (2015): Typologie-gestützte Kennwerte für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude. am Beispiel von 10 Gerichts-, Verwaltungs- und Polizeidienstgebäuden // Am Beispiel von 10 Gerichts-, Verwaltungs- und Polizeidienstgebäuden ; eine Untersuchung ; Endbericht Autoren Britta Stein ; Michael Hörner. IWU, Institut Wohnen und Umwelt. im Auftrag d. Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft u. Verbraucherschutz (HMUELV). Darmstadt: IWU. Online verfügbar unter http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/typo_NWG/IWU_2015_Typologiegest%C3%BCtzte_Kennwerte_NWG.pdf.

Stein, Britta; Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus (Hg.) (2016): Monitor progress towards climate targets in European housing stocks. Main results of the EPISCOPE Projekt final project report (deliverable D1.2) Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks, EPISCOPE ; authors Britta Stein (editor) [und weitere]. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.

Steudle, Günther; Ehrmanntraut, Ewald; Zurhorst, Michael (2014): Liegenschaftskataster und Liegenschaftsvermessung. In: Klaus Kummer, Theo Kötter und Andreas Eichhorn (Hg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2015. Themenschwerpunkte Gesellschaftliche Verankerung und institutionelles Gefüge; Aufgabenfelder und Wirkungsbereiche; Technische Netzwerke und Transfer; Forschung und Lehre Klaus Kummer … (Hrsg.). Berlin [u.a.]: Wichmann.

Steudler, Daniel; Rajabifard, Abbas (Hg.) (2012a): Raumkundige Gesellschaft Spatially Enabled Society. FIG. Online verfügbar unter http://www.fig.net/pub/figpub/pub58/figpub58_german.pdf, zuletzt geprüft am 01.09.2014.

Steudler, Daniel; Rajabifard, Abbas (2012b): Spatially enabled society. Joint publication of FIG-Task Force on "Spatially enabled society" in cooperation with GSDI Association and with the support of Working Group 3 of the PCGIAP. Copenhagen: International Federation of Surveyors (FIG publication FIG report, 58).

Streuff, Hartmut J. (2014): INSPIRE als Grundlage einer zukunftsorientierten Umweltberichterstattung. In: *zfv* 139 (6), S. 377–379. DOI: 10.12902/zfv-0045-2014.

Taggeselle, Jörg; Seifert, Markus (2015): 23. Sitzung des LG GDI-DE am 28./29. April 2015 TOP 13.1 Einrichtung eines AK Geodaten. Version 1.0. Hg. v. AK Architektur. GDI-DE Wiki.

Tanikawa, Hiroki; Fishman, Tomer; Okuoka, Keijiro; Sugimoto, Kenji (2015): The Weight of Society Over Time and Space. A Comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan, 1945-2010. In: *Journal of Industrial Ecology*, S. n/a-n/a. DOI: 10.1111/jiec.12284.

Tanikawa, Hiroki; Hashimoto, Seiji (2009): Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS. In: *Building Research & Information* 37 (5-6), S. 483–502. DOI: 10.1080/09613210903169394.

Umweltbundesamt (UBA) (2014): Verwertungsquoten der wichtigsten Abfallarten. 2000 - 2012. Daten Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_verwertungsquoten_2014-09-02.pdf, zuletzt geprüft am 03.03.2015.

Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2016): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2016. Unter Mitarbeit von Stephan Lutter, Stefan Giljum, Mirko Lieber und Christopher Manstein. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/the-use-of-natural-resources, zuletzt geprüft am 14.11.2016.

Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2017): Urban Mining. Ressourcenschonung im Anthropozän. Fachgebiet III 2.2 – Ressourcenschonung.

UNEP (Hg.) (2013): Metal Recycling. Opportunities, Limits, Infrastructure. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Online verfügbar unter http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metal_Recycling_Full_Report.pdf, zuletzt geprüft am 19.01.2015.

UNEP GEAS (2014): Sand, rarer than one thinks. March 2014. UNEP Global Enviroment Alert Service (GEAS). Online verfügbar unter http://na.unep.net/geas/getUNEPPageWithArticleIDScript.php?article_id=110, zuletzt geprüft am 28.11.2014.

UN-GGIM (2013): Future trends in geospatial information management: the five to ten year vision, July 2013. United nations initiative on global Geospatial Information Management. Unter Mitarbeit von John Carpenter und Jevon Snell. Online verfügbar unter http://ggim.un.org/docs/meetings/3rd%20UNCE/UN-GGIM-Future-trends.pdf, zuletzt geprüft am 29.07.2013.

Vandenbroucke, Danny; Biliorius, Dimitrios (2011): Spatial Data Infrastructures in Germany: State of play 2011. INSPIRE State of Play. Unter Mitarbeit von Danny Vandenbroucke, Dimitrios Biliorius, Katleen Janssen und Joep Crompvoets. K. U. Leuven (SADL + ICRI).

Vandenbroucke, Danny; Dessers, Ezra; Crompvoets, Joep; Bregt, Arnold K.; van Orshoven, Jos (2013): A methodology to assess the performance of spatial data infrastructures in the context of work processes. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 38, S. 58–66. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2012.12.001.

Verwaltungsvereinbarung GDI-DE (2013): Verwaltungsvereinbarung GDI-DE. Vereinbarung zwischen dem Bund und den Ländern zum gemeinsamen Aufbau und Betrieb der Geodateninfrastruktur Deutschland, zuletzt geprüft am 27.03.2015.

von Lucke, Jörn; Geoger, Christian P. (2010): Open Government Data - Frei verfügbare Daten des öffentlichen Sektors. Gutachten für die Deutsche Telekom AG zur T-City Friedrichshafen. Zeppelin University Friedrichshafen. Online verfügbar unter http://www.zu.de/deutsch/lehrstuehle/ticc/TICC-101203-OpenGovernmentData-V1.pdf, zuletzt aktualisiert am 02.12.2010, zuletzt geprüft am 22.03.2013.

W3C (2015): W3C and OGC to Collaborate to Integrate Spatial Data on the Web. Online verfügbar unter http://www.w3.org/2015/01/spatial.html.en, zuletzt aktualisiert am 06.01.2015, zuletzt geprüft am 13.03.2015.

Wagner, Detlev; Alam, Nazmul; Coors, Volker (2013a): Geometric Validation of 3D city models based on standardized quality criteria. In: Claire Ellul, Sisi Zlatanova, Massimo Rumor und Robert Laurini (Hg.): Urban and Regional Data Management. UDMS Annual 2013. Hoboken: CRC Press.

Wagner, Detlev; Kolbe, Thomas H.; Coors, Volker (2014): Spezifikation von Prüfplänen und Prüfergebnissen zur Validierung von 3D-Stadtmodellen. In: Eckhardt Seyfert, Eberhard Gülch, Christian Heipke, Jochen Schiewe und Monika Sester (Hg.): 34. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 62. Deutscher Kartographentag der DGfK, Geoinformatik 2014 der GfGI und des GIN. Online verfügbar unter http://citydoctor.hft-stuttgart.de/PDF/Paper_Wagneretal_Hamburg_OnlinePDF.pdf.

Wagner, Detlev; Wewetzer, Mark; Bogdahn, Jürgen; Alam, Nazmul; Pries, Margitta; Coors, Volker (2013b): Geometric-Semantical Consistency Validation of CityGML Models. In: Jacynthe Pouliot, Sylvie Daniel, Frédéric Hubert und Alborz Zamyadi (Hg.): Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography), S. 171–192.

Wallsten, Björn; Carlsson, Annica; Frändegård, Per; Krook, Joakim; Svanström, Stefan (2013): To prospect an urban mine – assessing the metal recovery potential of infrastructure “cold spots” in Norrköping, Sweden. In: *Special Volume: Urban and Landfill Mining* 55 (0), S. 103–111. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.05.041.

Wanders, Ingo (2013): INSPIRE und kommunale Geodateninfrastrukturen eine Zwischenbilanz … Rhein-Neckar-Kreis KoKo GDI-DE. Frankfurt am Main, 2013. Online verfügbar unter http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Vortraege/Infoveranstaltung_INSPIRE_2013/Vortrag_Wanders.pdf; jsessionid=B7BAC42D2A579339725B9886E37BAC63?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 24.01.2014.

Weichbrodt, Rainer (2014): Urban Mining - Strategien zur Nutzung der städtischen Rohstofflager. In: *Müll und Abfall. Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen* 46 (1), S. 13–16.

Weitkamp, Alexandra (2013): Brachflächenrevitalisierung. In: Josef Frankenberger und Klaus Kummer (Hg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2014. Themenschwerpunkte 2014: Stadtentwicklung und Städtebau - Stadterneuerung und Stadtumbau - Flächenmanagement und Bodenordnung - Immobilienmärkte und Grundstückswertermittlung; Handlungsfelder und Strukturen, Strategien, Modelle und Instrumente. Berlin: Wichmann.

wetransform (2017): INSPIRE data specification extensions. Online verfügbar unter http://inspire-extensions.wetransform.to/, zuletzt aktualisiert am 26.06.2017, zuletzt geprüft am 29.06.2017.

Wiedenhofer, Dominik; Steinberger, Julia K.; Eisenmenger, Nina; Haas, Willi (2015): Maintenance and Expansion. Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25. In: *Journal of Industrial Ecology* 19 (4), S. 538–551. DOI: 10.1111/jiec.12216.

Wiemann, Stefan (2014): Geodatenfusion im Kontext von GDI und Semantic Web. In: Eckhardt Seyfert, Eberhard Gülch, Christian Heipke, Jochen Schiewe und Monika Sester (Hg.): 34. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 62. Deutscher Kartographentag der DGfK, Geoinformatik 2014 der GfGI und des GIN. Online verfügbar unter http://www.dgpf.de/neu/Proc2014/proceedings/papers/Beitrag252.pdf.

Williamson, Ian P.; Rajabifard, Abbas (2007): Towards a spatially enabled society. Melbourne: Dept. of Geomatics, University of Melbourne.

Williamson, Ian P.; Rajabifard, Abbas; Feeney, Mary-Ellen F. (2003): Developing spatial data infrastructures: from concept to reality: CRC Press.

Willkomm, Philipp; Kaden, Robert; Coors, Volker; Kolbe, Thomas H. (Hg.) (2015): Leitfaden 3D-GIS und Energie. Version 1.0. Runder Tisch GIS e.V.

Wittmer, Dominic (2006): Kupfer im regionalen Ressourcenhaushalt. ein methodischer Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten. Dissertation, Nr. 16325. Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Zürich, zuletzt geprüft am 05.09.2014.

Wolman, Abel (1965): The Metabolism of Cities. In: *Sci Am* 213 (3), S. 178–190. DOI: 10.1038/scientificamerican0965-178.

Wytzisk, Andreas; Schmidt, Benno; Nüst, Daniel (2013): Echtzeitinformation und Kollaboration in Geodateninfrastrukturen. In: *zfv* 2013 (5), S. 333–338. Online verfügbar unter http://geodaesie.info/sites/default/files/privat/zfv_2013_5_Wytzisk_Schmidt_Nuest.pdf.

Yao, Zhihang; Kolbe, Thomas H. (2014): Cloud-basierter Webclient für kollaboratives Arbeiten auf semantischen 3D-Stadtmodellen. In: Eckhardt Seyfert, Eberhard Gülch, Christian Heipke, Jochen Schiewe und Monika Sester (Hg.): 34. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 62. Deutscher Kartographentag der DGfK, Geoinformatik 2014 der GfGI und des GIN. Online verfügbar unter http://www.dgpf.de/neu/Proc2014/proceedings/papers/Beitrag234.pdf.

Zhao, Junqiao; Stoter, Jantien; Ledoux, Hugo (2014): A Framework for the Automatic Geometric Repair of CityGML Models. In: Manfred Buchroithner, Nikolas Prechtel und Dirk Burghardt (Hg.): Cartography from Pole to Pole. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography), S. 187–202.

Zhu, Xuan (2014): GIS and Urban Mining. In: *Resources* 3 (1), S. 235–247. DOI: 10.3390/resources3010235.

Zielstra, Dennis (2014): Assessing the quality, suitability and usability of user generated content for routing applications. Dissertation. University of Florida. Online verfügbar unter http://flrec.ifas.ufl.edu/geomatics/docs/Zielstra_D.pdf, zuletzt geprüft am 25.03.2015.

Zscheile, Falk (2014): Die Änderung des Lizenzmodells von Open Street Map – Eine Zwischenbilanz Open Street Map. In: Mario Martini, Georg Thiel und Astrid Röttgen (Hg.): Geodaten und open government. Perspektiven digitaler Sachlichkeit. Speyer: Dt. Forschungsinst. für Öffentliche Verwaltung (Speyerer Forschungsberichte, 280), S. 37–80. Online verfügbar unter http://192.124.238.248/fbpdf/fb-280.pdf.

Eidesstattliche Erklärung

Herrn Benjamin Christopher Schnitzer

Erklärung zur Promotion gemäß § 22, Abs. 7 APB

Hiermit versichere ich, die vorliegende Promotion ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher Form oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

_____ _____

Ort und Datum Benjamin Schnitzer

Anhang – Übersicht

Anhang 6-1 Mappingtabelle INSPIRE-BU Current-Use und ALKIS AX_Gebäude

Anhang 6-2 Zu addierende Gebäudehöhen (Kellergeschosse)

Anhang 6-3_INSPIRE_BU_SIM Model – Tabellarische Übersicht

Anhang 6-4_INSPIRE_BU_ SIM PostGISModel - UML

Anhang 6-5_INSPIRE_BU_ SIM PostGISModel_SQL-Script

Anhang 7-1: Gegenüberstellung der Gebäudetypologien (eigene Zusammenstellung)

Anhang 7-2: MKZ aus Kleemann et. al. 2016

Anhang 7-3: MKZ Nichtwohngebäude (Gruhler et. al. 2015)

Anhang 7-4: Synthetische Wohngebäude aus Gruhler et. al. 2011 (ergänzt um eigene Berechnungen)

Anhang 7-5: 2007 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.

Anhang 7-6: Zusammenfassung der MKZ hinsichtlich INSPIRE

Anhang 7-7 Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden.

Anhang 7-8 PRRIG Gebäudetypologie mit Kodierung

Anhang 7-9: E-Mail, 2017 Gruber, Ulrich - AW: Mapping-Tabelle CityGML - INSPIRE BU - <current use>

Anhang 8-1 Mappingtabelle INSPIRE-BU Current-Use und ALKIS Hessen (Erweitertes UM Profil)

Anhang 6-1 Mappingtabelle INSPIRE-BU Current-Use und ALKIS AX_Gebäude

Stand: 19.06.2017 **Bearbeiter: Benjamin Schnitzer** **Kontakt** schnitzer@geod.tu-darmstadt.de

* - Zweideutige Typisierung

ALKIS CODE	Bezeichner	Beschreibung	INSPIRE _Main	INSPIRE _Sub	INSPIRE _Sub_2	Kommentar	Anmerkung
1000	**Wohngebäude**	'Wohngebäude' ist ein Gebäude, das zum Wohnen genutzt wird.	residential				
1010	**Wohnhaus**	'Wohnhaus' ist ein Gebäude, in dem Menschen ihren Wohnsitz haben.	residential				
1020	**Wohnheim**	Wohnheim' ist ein Gebäude, das nach seiner baulichen Anlage und Ausstattung zur Unterbringung von Studenten, Arbeitern u.a. bestimmt ist.	residential	residence for communities			
1021	**Kinderheim**		residential	residence for communities			
1022	**Seniorenheim**		residential	residence for communities			
1023	**Schwesternwohnheim**		residential	residence for communities			
1024	**Studenten-, Schülerwohnheim**		residential	residence for communities			
1025	**Schullandheim**	Schullandheim' ist ein Gebäude in ländlicher Region, in dem sich Schulklassen jeweils für einige Tage zur Erholung und zum Unterricht aufhalten.	residential	residence for communities			
1100	**Gemischt genutztes Gebäude mit Wohnen**	Gemischt genutztes Gebäude mit Wohnen' ist ein Gebäude, in dem sowohl gewohnt wird, als auch Teile des Gebäude zum Anbieten von Dienstleistungen, zur Durchführung von öffentlichen oder privaten Verwaltungsarbeiten, zur gewerblichen oder industriellen Tätigkeit genutzt werden.	residential*			Ergänzend alle anderen Gebäudetypen	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1110	**Wohngebäude mit Gemeinbedarf**		residential*			Ergänzend: public services	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1120	**Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen**		residential*			Ergänzend: trade	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1121	**Wohn- und Verwaltungsgebäude**		residential*			Ergänzend: public services	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1122	**Wohn- und Bürogebäude**		residential*			Ergänzend: office	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1123	**Wohn- und Geschäftsgebäude**	Wohn- und Geschäftsgebäude' ist ein Gebäude, in dem gewohnt wird und in dem sich ein oder mehrere Geschäfte befinden, in denen Waren zum Verkauf angeboten werden.	residential*			Ergänzend: trade	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1130	**Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie**		residential*			Ergänzend: industrial	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1131	**Wohn- und Betriebsgebäude**		residential*			Ergänzend: industrial	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1210	**Land- und forstwirtschaftliches Wohngebäude**		residential*			Ergänzend: aggriculture	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1220	**Land- und forstwirtschaftliches Wohn- und Betriebsgebäude**		residential*			Ergänzend: aggriculture	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1221	**Bauernhaus**	'Bauernhaus' ist das Wohn- und Betriebsgebäude eines Landwirts.	residential*			Ergänzend: aggriculture	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1222	**Wohn- und Wirtschaftsgebäude**		residential*			Ergänzend: commerce and service	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
1223	**Forsthaus**	Forsthaus' ist ein Gebäude, das gleichzeitig Wohnhaus und Dienststelle der Försterin oder des Försters ist.	residential				
1310	**Gebäude zur Freizeitgestaltung**		residential				
1311	**Ferienhaus**		residential				
1312	**Wochenendhaus**	Wochenendhaus' ist ein Gebäude, in dem dauerhaftes Wohnen möglich, aber nicht gestattet ist. Es dient nur zum zeitlich begrenzten Aufenthalt in der Freizeit, beispielsweise am Wochenende oder im Urlaub und steht i.d.R. in einem besonders dafür ausgewiesenen Gebiet (Wochenendhausgebiet).	residential				
1313	**Gartenhaus**	Gartenhaus' ist ein eingeschossiges Gebäude in einfacher Ausführung, z.B.ohne Feuerstätte und ohne Toilette. Es dient hauptsächlich dem Unterbringen von Gartengeräten oder dem Überwintern von Pflanzen. Stellt es bei der Nutzung des Gartens eine Ruhe oder Erholungsstätte dar, ist es nur zum vorübergehenden Aufenthalt gedacht, nicht jedoch zum Wohnen oder Übernachten.	ancillary				

2000	**Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe**	Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe' ist ein Gebäude, das der Produktion von Waren, der Verteilung von Gütern und dem Angebot von Dienstleistungen dient.	industrial / commerce and service		unklar, kann beides	
2010	**Gebäude für Handel und Dienstleistungen**	Gebäude für Handel und Dienstleistungen' ist ein Gebäude, in dem Arbeitsleistungen, die nicht der Produktion von materiellen Gütern dienen, angeboten werden. Dazu gehört u.a. der Handel (Ankauf, Transport, Verkauf) mit Gütern, Kapital oder Wissen.	commerce and service			
2020	**Bürogebäude**	Bürogebäude' ist ein Gebäude, in dem private Wirtschaftunternehmen ihre Verwaltungsarbeit durchführen.	commerce and service	office		
2030	**Kreditinstitut**	Kreditinstitut' ist ein Gebäude, in dem Unternehmen gewerbsmäßig Geldgeschäfte (Verwaltung von Ersparnissen, Vergabe von Krediten) betreiben, die einen kaufmännisch eingerichteten Geschäftsbetrieb erfordern.	commerce and service	office		
2040	**Versicherung**	Versicherung' ist ein Gebäude, in dem Versicherungsunternehmen gewerbsmäßige Versicherungsgeschäfte betreiben.	commerce and service	office		
2050	**Geschäftsgebäude**	Geschäftsgebäude' ist ein Gebäude, in dem Ein- und Verkauf von Waren stattfindet.	commerce and service	trade		
2051	**Kaufhaus**	Kaufhaus' ist ein Gebäude, meist mit mehreren Stockwerken, in dem breite Warensortimente zum Kauf angeboten werden.	commerce and service	trade		
2052	**Einkaufszentrum**	Einkaufszentrum' ist ein Gebäude oder Gebäudekomplex, in dem mehrere Geschäfte untergebracht sind.	commerce and service	trade		
2053	**Markthalle**		commerce and service	trade		
2054	**Laden**		commerce and service	trade		
2055	**Kiosk**	Kiosk' ist ein kleines in meist leichter Bauweise errichtetes Gebäude, das als Verkaufseinrichtung für ein beschränktes Warenangebot dient.	commerce and service	trade		
2056	**Apotheke**	Apotheke' ist ein Geschäft, in dem Arzneimittel hergestellt und verkauft werden.	commerce and service	trade		
2060	**Messehalle**	Messehalle' ist ein Gebäude, das zur Ausstellung von Kunstgegenständen oder Wirtschaftsgütern dient.	commerce and service			
2070	**Gebäude für Beherbergung**		commerce and service	trade		
2071	**Hotel, Motel, Pension**	Hotel, Motel, Pension' ist ein Gebäude mit Beherbergungs- und/oder Verpflegungsbetrieb nach Service, Ausstattung und Qualität in verschiedene Kategorien eingeteilt. Das Motel ist besonders eingerichtet für Reisende mit Kraftfahrzeug an verkehrsreichen Straßen.	commerce and service	trade		keine weitere Untergliederung für Hotels etc. in INSPIRE
2072	**Jugendherberge**	Jugendherberge' ist eine zur Förderung von Jugendreisen dienende Aufenthalts- und Übernachtungsstätte.	residential	residence for communities		
2073	**Hütte (mit Übernachtungsmöglichkeit)**	Hütte (mit Übernachtungsmöglichkeit)' ist ein Gebäude außerhalb von Ortschaften, meist in den Bergen, in dem Menschen übernachten und Schutz suchen können.	ancillary			
2074	**Campingplatzgebäude**		commerce and service	trade		
2080	**Gebäude für Bewirtung**		commerce and service	trade		
2081	**Gaststätte, Restaurant**	Gaststätte, Restaurant' ist ein Gebäude, in dem gegen Entgelt Mahlzeiten und Getränke zum Verzehr angeboten werden.	commerce and service	trade		
2082	**Hütte (ohne Übernachtungsmöglichkeit)**		ancillary			
2083	**Kantine**		commerce and service	trade		nicht ganz passend
2090	**Freizeit- und Vergnügungsstätte**	Freizeit- und Vergnügungsstätte' ist ein Gebäude, in dem man in seiner Freizeit bestimmte Angebote wahrnehmen kann.	commerce and service	trade		
2091	**Festsaal**		commerce and service			nicht ganz passend, Unterkategorie event. sinnvoll
2092	**Kino**		commerce and service			nicht ganz passend, Unterkategorie event. sinnvoll
2093	**Kegel-, Bowlinghalle**		commerce and service			nicht ganz passend, Unterkategorie event. sinnvoll
2094	**Spielkasino**		commerce and service			nicht ganz passend, Unterkategorie event. sinnvoll
2100	**Gebäude für Gewerbe und Industrie**	Gebäude für Gewerbe und Industrie' ist ein Gebäude, dass vorwiegend gewerblichen oder industriellen Zwecken dient.	industrial			
2110	**Produktionsgebäude**	Produktionsgebäude' ist ein Gebäude, das zur Herstellung von Wirtschaftsgütern dient.	industrial			
2111	**Fabrik**	Fabrik' ist ein Gebäude mit technischen Anlagen zur Herstellung von Waren in großen Mengen.	industrial			
2112	**Betriebsgebäude**	Betriebsgebäude' ist ein Gebäude, in dem Arbeitskräfte und Produktionsmittel zusammengefasst sind, um Leistungen zu erbringen oder Güter herzustellen.	industrial			
2113	**Brauerei**		industrial			

2114	**Brennerei**		industrial			
2120	**Werkstatt**		industrial			
2121	**Sägewerk**		industrial			
2130	**Tankstelle**	Tankstelle' ist ein Gebäude, in dem hauptsächlich Kfz-Kraftstoffe, Schmiermittel und Zubehör verkauft werden, meist mit Einrichtungen zur Durchführung von Wartungs- und Pflegearbeiten von Kraftfahrzeugen.	commerce and service	trade		
2131	**Waschstraße, Waschanlage, Waschhalle**		commerce and service	trade		
2140	**Gebäude für Vorratshaltung**		commerce and service			nicht ganz passend
2141	**Kühlhaus**		commerce and service			nicht ganz passend
2142	**Speichergebäude**		indutrial			nicht ganz passend
2143	**Lagerhalle, Lagerschuppen, Lagerhaus**	Lagerhalle, Lagerschuppen, Lagerhaus' ist ein Gebäude zur Vorratshaltung von Gütern (z. B. Material, Fertigerzeugnissen).	commerce and service			nicht ganz passend
2150	**Speditionsgebäude**	Speditionsgebäude' bezeichnet ein Gebäude mit technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Einrichtungen, die der Beförderung von Gütern über räumliche Entfernungen dienen.	commerce and service			nicht ganz passend
2160	**Gebäude für Forschungszwecke**	Gebäude für Forschungszwecke' ist ein Gebäude, in dem Forschung betrieben wird.	commerce and service	office / school		nicht ganz passend, Unterkategorie event. sinnvoll
2170	**Gebäude für Grundstoffgewinnung**		industrial			
2171	**Bergwerk**		industrial			
2172	**Saline**	Saline' ist eine Anlage zur Gewinnung von Kochsalz.	industrial			
2180	**Gebäude für betriebliche Sozialeinrichtung**		commerce and service	public services		
2200	**Sonstiges Gebäude für Gewerbe und Industrie**		industrial			*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
2210	**Mühle**		industrial			
2211	**Windmühle**	Windmühle' ist ein Gebäude, dessen wesentlicher Bestandteil die an einer Achse befestigten Flächen (Flügel, Schaufeln) sind, die von der Windkraft in Drehung versetzt werden. Sie dient zum Mahlen von Getreide, zum Pumpen von Wasser oder zur Erzeugung von Strom.	industrial			
2212	**Wassermühle**	Wassermühle' ist ein Gebäude mit einem Mühlrad, das von Wasser angetrieben wird.	industrial			
2213	**Schöpfwerk**	Schöpfwerk' ist ein Gebäude, in dem Pumpen Wasser einem höher gelegenen Vorfluter zuführen u. a. zur künstlichen Entwässerung von landwirtschaftlich genutzten Flächen.	industrial			
2220	**Wetterstation**	Wetterstation' ist ein Gebäude, in dem meteorologische Daten erfasst und ausgewertet werden.	commerce and service			
2310	**Gebäude für Handel und Dienstleistung mit Wohnen**		commerce and service		Ergänzend: residential	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
2320	**Gebäude für Gewerbe und Industrie mit Wohnen**		commerce and service		Ergänzend: residential	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
2400	**Betriebsgebäude zu Verkehrsanlagen (allgemein)**		commerce and service			
2410	**Betriebsgebäude für Straßenverkehr**		commerce and service			
2411	**Straßenmeisterei**	Straßenmeisterei' ist das Verwaltungsgebäude einer Dienststelle, die für den ordnungsgemäßen Zustand von Straßen verantwortlich ist.	commerce and service	public services		
2412	**Wartehalle**		commerce and service	public services		
2420	**Betriebsgebäude für Schienenverkehr**		commerce and service			
2421	**Bahnwärterhaus**		residential			
2422	**Lokschuppen, Wagenhalle**		commerce and service			
2423	**Stellwerk, Blockstelle**	Stellwerk, Blockstelle' ist ein Gebäude, von dem aus die Signale und Weichen im Bahnhof und auf der freien Strecke für die Züge gestellt werden.	commerce and service	office		
2424	**Betriebsgebäude des Güterbahnhofs**		commerce and service			
2430	**Betriebsgebäude für Flugverkehr**		commerce and service			
2431	**Flugzeughalle**	Flugzeughalle' ist ein Gebäude, in dem Flugzeuge abgestellt, inspiziert und repariert werden.	commerce and service			
2440	**Betriebsgebäude für Schiffsverkehr**		commerce and service			
2441	**Werft (Halle)**		industrial			
2442	**Dock (Halle)**		industrial			
2443	**Betriebsgebäude zur Schleuse**		commerce and service			
2444	**Bootshaus**		commerce and service			
2450	**Betriebsgebäude zur Seilbahn**		commerce and service			
2451	**Spannwerk zur Drahtseilbahn**		commerce and service			
2460	**Gebäude zum Parken**		?		unklar	

2461	**Parkhaus**	Parkhaus' ist ein Gebäude, in dem Fahrzeuge auf mehreren Etagen abgestellt werden.	?	unklar	
2462	**Parkdeck**		?	unklar	
2463	**Garage**	Garage' ist ein Gebäude, in dem Fahrzeuge abgestellt werden.	ancillary		Je nach Größe "nur" Nebennutzung?
2464	**Fahrzeughalle**	Fahrzeughalle' ist ein Gebäude, in dem Fahrzeuge abgestellt, inspiziert und repariert werden.	commerce and service		
2465	**Tiefgarage**	Tiefgarage' ist ein Bauwerk unter der Erdoberfläche, in dem Fahrzeuge abgestellt werden	?	unklar	
2500	**Gebäude zur Versorgung**		industrial		
2501	**Gebäude zur Energieversorgung**		industrial		
2510	**Gebäude zur Wasserversorgung**		industrial		
2511	**Wasserwerk**		industrial		
2512	**Pumpstation**	Pumpstation' ist ein Gebäude an einem Rohrleitungssystem, in dem eine oder mehrere Pumpen eingebaut sind.	industrial		
2513	**Wasserbehälter**	Wasserbehälter' ist ein Gebäude, in dem Wasser gespeichert wird, das zum Ausgleich der Differenz zwischen Wasserzuführung und -abgabe dient.	industrial		
2520	**Gebäude zur Elektrizitätsversorgung**		industrial		
2521	**Elektrizitätswerk**		industrial		
2522	**Umspannwerk**		industrial		
2523	**Umformer**	Umformer' ist ein kleines Gebäude in dem ein Transformator zum Umformen von Gleichstrom in Wechselstrom oder von Gleichstrom in Gleichstrom anderer Spannung untergebracht ist.	industrial		
2527	**Reaktorgebäude**	Reaktorgebäude' ist ein zentrales Gebäude eines Kernkraftwerkes, in dem aus radioaktivem Material mittels Kernspaltung Wärmeenergie erzeugt wird.	industrial		Anknüpfung an weitere INSPIRE Themen
2528	**Turbinenhaus**	Turbinenhaus' ist ein Gebäude, in dem eine Kraftmaschine die Energie von strömendem Dampf, Gas, Wasser oder Wind unmittelbar in elektrische Energie umsetzt.	industrial		
2529	**Kesselhaus**		industrial		
2540	**Gebäude für Fernmeldewesen**		industrial		
2560	**Gebäude an unterirdischen Leitungen**		industrial		
2570	**Gebäude zur Gasversorgung**		industrial		
2571	**Gaswerk**		industrial		
2580	**Heizwerk**		industrial		
2590	**Gebäude zur Versorgungsanlage**		industrial		
2591	**Pumpwerk (nicht für Wasserversorgung)**		industrial		
2600	**Gebäude zur Entsorgung**		industrial		
2610	**Gebäude zur Abwasserbeseitigung**		industrial		
2611	**Gebäude der Kläranlage**		industrial		
2612	**Toilette**		ancillary		
2620	**Gebäude zur Abfallbehandlung**		industrial		
2621	**Müllbunker**		industrial		
2622	**Gebäude zur Müllverbrennung**	Gebäude zur Müllverbrennung' ist ein Gebäude in dem Abfälle mit chemisch/physikalischen und biologischen oder thermischen Verfahren oder Kombination dieser Verfahren behandelt werden.	industrial		
2623	**Gebäude der Abfalldeponie**		industrial		
2700	**Gebäude für Land- und Forstwirtschaft**	Gebäude für Land- und Forstwirtschaft' ist ein Gebäude, das land- und forstwirtschaftlichen Zwecken dient.	aggriculture		
2720	**Land- und forstwirtschaftliches Betriebsgebäude**		aggriculture		
2721	**Scheune**	Scheune' ist ein Gebäude zur Lagerung landwirtschaftlicher Güter (z. B. Stroh, Heu und Getreide).	aggriculture		
2723	**Schuppen**		aggriculture		
2724	**Stall**	Stall' ist ein Gebäude, in dem Tiere untergebracht sind.	aggriculture		
2726	**Scheune und Stall**		aggriculture		
2727	**Stall für Tiergroßhaltung**		aggriculture		
2728	**Reithalle**		aggriculture	unklar	
2729	**Wirtschaftsgebäude**		aggriculture		
2732	**Almhütte**	Almhütte' ist ein einfaches, hoch in den Bergen gelegenes Gebäude, das überwiegend weidewirtschaftlichen Zwecken dient und hauptsächlich im Sommer genutzt wird.	aggriculture		
2735	**Jagdhaus, Jagdhütte**		ancillary		
2740	**Treibhaus, Gewächshaus**	Treibhaus, Gewächshaus' ist ein Gebäude mit lichtdurchlässigem Dach und Wänden, das durch künstliche Klimagestaltung der Aufzucht oder Produktion von Pflanzen dient.	aggriculture		

2741	**Treibhaus**	Treibhaus' ist ein Gebäude mit lichtdurchlässigem Dach und Wänden, das durch künstliche Klimagestaltung der Aufzucht oder Produktion von Pflanzen dient.	aggriculture		
2742	**Gewächshaus, verschiebbar**		aggriculture		
3000	**Gebäude für öffentliche Zwecke**	Gebäude für öffentliche Zwecke' ist ein Gebäude das der Allgemeinheit dient.	commerce and service	public services	
3010	**Verwaltungsgebäude**	Verwaltungsgebäude' ist ein Gebäude, in dem Verwaltungstätigkeiten durchgeführt werden.	commerce and service	public services	
3011	**Parlament**	Parlament' ist ein Gebäude, in dem die gesetzgebende Volksvertretung (Bundestag, Landtag) tagt.	commerce and service	public services	
3012	**Rathaus**	Rathaus' ist ein Gebäude, in dem der Vorstand einer Gemeinde seinen Amtssitz hat und/oder Teile der Verwaltung untergebracht sind.	commerce and service	public services	
3013	**Post**	Post ist ein Gebäude, in dem die Post Dienstleistungen anbietet.	commerce and service	public services	
3014	**Zollamt**	Zollamt' ist ein Gebäude für die Zollabfertigung an der Staatsgrenze (Grenzzollamt) oder im Inland (Binnenzollamt).	commerce and service	public services	
3015	**Gericht**	Gericht' ist ein Gebäude, in dem Rechtsprechung und Rechtspflege stattfinden.	commerce and service	public services	
3016	**Botschaft, Konsulat**	Botschaft, Konsulat' ist ein Gebäude, in dem eine ständige diplomatische Vertretung ersten Rangs eines fremden Staates oder einer internationalen Organisation untergebracht ist.	commerce and service	public services	
3017	**Kreisverwaltung**		commerce and service	public services	
3018	**Bezirksregierung**		commerce and service	public services	
3019	**Finanzamt**		commerce and service	public services	
3020	**Gebäude für Bildung und Forschung**	Gebäude für Bildung und Forschung' ist ein Gebäude, in dem durch Ausbildung Wissen und Können auf verschiedenen Gebieten vermittelt werden bzw. wo neues Wissen durch wissenschaftliche Tätigkeit gewonnen wird.	commerce and service	public services	
3021	**Allgemein bildende Schule**	Allgemein bildende Schule' ist ein Gebäude, in dem Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen durch planmäßigen Unterricht Wissen vermittelt wird.	commerce and service	public services	
3022	**Berufsbildende Schule**		commerce and service	public services	
3023	**Hochschulgebäude (Fachhochschule, Universität)**	Hochschulgebäude (Fachhochschule, Universität)' ist ein Gebäude, in dem Wissenschaften gelehrt und Forschung betrieben wird.	commerce and service	public services	
3024	**Forschungsinstitut**	Forschungsinstitut' ist ein Gebäude, in dem Forschung betrieben wird.	commerce and service	public services	
3030	**Gebäude für kulturelle Zwecke**	Gebäude für kulturelle Zwecke' ist ein Gebäude, in dem kulturelle Ereignisse stattfinden sowie ein Gebäude von kulturhistorischer Bedeutung.	commerce and service	public services	
3031	**Schloss**	Schloss' ist ein Gebäude, das als repräsentativer Wohnsitz vor allem des Adels dient oder diente.	residential		unklar
3032	**Theater, Oper**	Theater, Oper' ist ein Gebäude, in dem Bühnenstücke aufgeführt werden.	commerce and service	public services	
3033	**Konzertgebäude**	Konzertgebäude' ist ein Gebäude, in dem Musikaufführungen stattfinden.	commerce and service	public services	
3034	**Museum**	Museum' ist ein Gebäude, in dem Sammlungen von (historischen) Objekten oder Reproduktionen davon ausgestellt werden.	commerce and service	public services	
3035	**Rundfunk, Fernsehen**	Rundfunk-, Fernsehen' ist ein Gebäude, in dem Radio- und Fernsehprogramme produziert und gesendet werden.	commerce and service		
3036	**Veranstaltungsgebäude**	Veranstaltungsgebäude' ist ein Gebäude, das hauptsächlich für kulturelle Zwecke wie z.B. Aufführungen, Ausstellungen, Konzerte genutzt wird.	commerce and service	public services	
3037	**Bibliothek, Bücherei**	Bibliothek, Bücherei' ist ein Gebäude, in dem Bücher und Zeitschriften gesammelt, aufbewahrt und ausgeliehen werden.	commerce and service	public services	
3038	**Burg, Festung**	Burg, Festung' ist ein Gebäude innerhalb einer befestigten Anlage.	?		unklar
3040	**Gebäude für religiöse Zwecke**		commerce and service	public services	unklar
3041	**Kirche**	Kirche' ist ein Gebäude, in dem sich Christen zu Gottesdiensten versammeln.	commerce and service	public services	unklar
3042	**Synagoge**		commerce and service	public services	unklar
3043	**Kapelle**	Kapelle' ist ein kleines Gebäude (Gebets-, Tauf-, Grabkapelle) für (christliche) gottesdienstliche Zwecke.	commerce and service	public services	unklar
3044	**Gemeindehaus**		commerce and service	public services	
3045	**Gotteshaus**	Gotteshaus' ist ein Gebäude, in dem Gläubige einer nichtchristlichen Religionsgemeinschaft religiöse Handlungen vollziehen.	commerce and service	public services	unklar
3046	**Moschee**		commerce and service	public services	
3047	**Tempel**		commerce and service	public services	
3048	**Kloster**		commerce and service	public services	
3050	**Gebäude für Gesundheitswesen**	Gebäude für Gesundheitswesen' ist ein Gebäude, das der ambulanten oder stationären Behandlung und Pflege von Patienten dient.	commerce and service	public services	
3051	**Krankenhaus**	Krankenhaus' ist ein Gebäude, in dem Kranke behandelt und/oder gepflegt werden.	commerce and service	public services	
3052	**Heilanstalt, Pflegeanstalt, Pflegestation**		commerce and service	public services	

3053	**Ärztehaus, Poliklinik**	Ärztehaus, Poliklinik' ist ein Gebäude, in dem mehrere Ärzte unterschiedlicher Fachrichtung Kranke ambulant behandeln und versorgen.	commerce and service	public services		
3060	**Gebäude für soziale Zwecke**	Gebäude für soziale Zwecke' ist ein Gebäude, in dem ältere Menschen, Obdachlose, Jugendliche oder Kinder betreut werden.	commerce and service	public services		
3061	**Jugendfreizeitheim**		commerce and service	public services		
3062	**Freizeit-, Vereinsheim, Dorfgemeinschafts-, Bürgerhaus**		commerce and service	public services		
3063	**Seniorenfreizeitstätte**		commerce and service	public services		
3064	**Obdachlosenheim**		commerce and service	public services		
3065	**Kinderkrippe, Kindergarten, Kindertagesstätte**	Kinderkrippe, Kindergarten, Kindertagesstätte' ist ein Gebäude, in dem Kinder im Vorschulalter betreut werden.	commerce and service	public services		
3066	**Asylbewerberheim**		commerce and service	public services		
3070	**Gebäude für Sicherheit und Ordnung**	Gebäude für Sicherheit und Ordnung' ist ein Gebäude, das für Personen und Gegenstände dient, die zur Verhütung oder Bekämpfung von Rechtsverletzungen und zum Katastrophenschutz eingesetzt werden, oder zur Unterbringung von Strafgefangenen.	commerce and service	public services		
3071	**Polizei**	Polizei' ist ein Gebäude für Polizeibedienstete, die in einem bestimmten Gebiet für Sicherheit und Ordnung zuständig sind.	commerce and service	public services		
3072	**Feuerwehr**	Feuerwehr' ist ein Gebäude der Feuerwehr, in dem Personen und Geräte zur Brandbekämpfung sowie zu anderen Hilfeleistungen untergebracht sind.	commerce and service	public services		
3073	**Kaserne**	Kaserne' ist ein Gebäude zur ortsfesten Unterbringung von Angehörigen der Bundeswehr und der Polizei sowie deren Ausrüstung.	commerce and service	public services		
3074	**Schutzbunker**	Schutzbunker' ist ein Gebäude zum Schutz der Zivilbevölkerung vor militärischen Angriffen.	commerce and service	public services		
3075	**Justizvollzugsanstalt**	Justizvollzugsanstalt' ist ein Gebäude zur Unterbringung von Untersuchungshäftlingen und Strafgefangenen.	commerce and service	public services		
3080	**Friedhofsgebäude**	Friedhofsgebäude' ist ein Gebäude, das zur Aufrechterhaltung des Friedhofbetriebes dient (z.B. Verwaltung, Leichenhalle, Krematorium).	commerce and service	public services		
3081	**Trauerhalle**		commerce and service	public services		
3082	**Krematorium**		industrial			
3090	**Empfangsgebäude**	Empfangsgebäude' ist ein Gebäude mit Wartesaal, Fahrkarten- und Gepäckschalter zur Abwicklung des Straßen-, Schienen-, Seilbahn-, Luft- und Schiffsverkehrs.	commerce and service			
3091	**Bahnhofsgebäude**		commerce and service	public services		
3092	**Flughafengebäude**		commerce and service	public services		
3094	**Gebäude zum U-Bahnhof**		commerce and service	public services		
3095	**Gebäude zum S-Bahnhof**		commerce and service	public services		
3097	**Gebäude zum Busbahnhof**	Gebäude zum Busbahnhof' ist ein Gebäude auf dem Busbahnhof, das zur Abwicklung des Busverkehrs dient.	commerce and service	public services		
3098	**Empfangsgebäude Schifffahrt**		commerce and service	public services		
3100	**Gebäude für öffentliche Zwecke mit Wohnen**		commerce and service	public services	unklar, mehrfachnutzung?	*ALKIS = Dominanzprinzip; INSPIRE = % Aufteilung*
3200	**Gebäude für Erholungszwecke**	Gebäude für Erholungszwecke' ist ein Gebäude zur Freizeitgestaltung mit dem Ziel der Erhaltung und Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit des Menschen.	commerce and service	public services		
3210	**Gebäude für Sportzwecke**	Gebäude für Sportzwecke' ist ein Gebäudes, in dem verschiedene Sportarten ausgeübt werden.	commerce and service	public services		
3211	**Sport-, Turnhalle**	Sport-, Turnhalle' ist ein Gebäude, das für den Turnunterricht und für sportliche Betätigungen in der Freizeit errichtet und dementsprechend ausgestattet ist.	commerce and service	public services		
3212	**Gebäude zum Sportplatz**		commerce and service	public services		
3220	**Badegebäude**		commerce and service	public services		
3221	**Hallenbad**	Hallenbad' ist ein Gebäude mit Schwimmbecken und zugehörigen Einrichtungen (z. B. Umkleidekabinen).	commerce and service	public services		
3222	**Gebäude im Freibad**		ancillary			
3230	**Gebäude im Stadion**		ancillary			
3240	**Gebäude für Kurbetrieb**		commerce and service	public services		
3241	**Badegebäude für medizinische Zwecke**		commerce and service	public services		
3242	**Sanatorium**	Sanatorium' ist ein Gebäude mit zugehörigen Einrichtungen, das klimagünstig gelegen ist, unter fachärztlicher Leitung steht und zur Behandlung chronisch Kranker und Genesender bestimmt ist, für die kein Krankenhausaufenthalt in Frage kommt.	commerce and service	public services		
3260	**Gebäude im Zoo**		ancillary			

3261	**Empfangsgebäude des Zoos**		commerce and service	public services	
3262	**Aquarium, Terrarium, Voliere**	Aquarium, Terrarium, Voliere' ist ein Gebäude, in dem Fische und Wasserpflanzen, Reptilien und Amphibien oder Vögel gehalten und gezüchtet werden.	commerce and service	public services	
3263	**Tierschauhaus**		commerce and service	public services	
3264	**Stall im Zoo**		ancillary		
3270	**Gebäude im botanischen Garten**		ancillary		
3271	**Empfangsgebäude des botanischen Gartens**		ancillary		
3272	**Gewächshaus (Botanik)**		aggriculture		
3273	**Pflanzenschauhaus**		aggriculture		
3280	**Gebäude für andere Erholungseinrichtung**		commerce and service	public services	
3281	**Schutzhütte**	Schutzhütte' ist ein Gebäude zum Schutz vor Unwetter.	ancillary		
3290	**Touristisches Informationszentrum**	Touristisches Informationszentrum' ist eine Auskunftsstelle für Touristen.	commerce and service	public services	
	Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren	Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren' bedeutet, dass keine Aussage über die Werteart gemacht werden kann.	?		unklar

Anhang 6-2: Zu addierende Gebäudehöhen (Kellergeschosse)

Quelle: Kleemann et. al. (2016): GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings. In: Journal of Industrial Ecology. DOI: 10.1111/jiec.12446.

INSPIRE			**in meter**				
Maintype	Sub-Type	Sub-Sub-Type	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
residential			3,75	3,5	3,43	4,43	5,21
	individual residence						
	collective residence						
		two Dwellings					
		more than two Dewllings					
	residence for communities						
agriculture							
industrial			0,57	0,71	0,57	0,5	0,5
commerce and service			2,21	1,79	1,79	2	2,43
	office						
	trade						
	public services						
ancillary							
New INSPIRE Types							
industrial	**parkdecks**						
	underground parking						
	warehouse						
commerce and service	**public services**						
		sport and multipurpose halls					
		schools					

Anhang 6 - 3

INSPIRE BU Model - Based on INSPIRE TWG BU (Hg.) (2013): INSPIRE Data Specification for the spatial data theme Buildings. Europäische Kommission (Joint Research Center), "Find My Scope"

Mapping zu INSPIRE BU Simple 2D for Urban Mining
Benjamin Schnitzer, 2017
Version 1.0

Type	Documentation	Attribute Association role Constraint	Attribute Association role Constraint documentation	Vaues/ Enumerations	Multiplicity	Voidable/ Non-voidable	Attribute Name PostGIS IN-BU-Sim	standard value	Type	Type Value (Source)	Remarks	Extended Remarks - Transformation Case (HE Example)
INSPIRE Application Schema 'Building Base' (version 4.0)							Application Schema <INSPIRE BU 2D Simple PostGIS Model>					
Building **Subtype of:** **AbstractBuilding**	-- Definition -- A Building is an enclosed construction above and/or underground, used or intended for the shelter of humans, animals or things or for the production of economic goods. A building refers to any structure permanently constructed or erected on its site.	**building Nature - AbstractBuilding**	Characteristic of the building that makes it generally of interest for mappings applications. The characteristic may be related to the physical aspect and/or to the function of the building.	BuildingNatureValue	0...*	voidable	**building_nature**	unpopulated	**varchar**	**codelist** **http://inspire.ec.europa.eu/codelist/BuildingNatureValue**	not present is HE ALKIS dataset, could be aggregatet via current_use (eg. Church)	**Case 4**
		current Use - AbstractBuilding	Activity hosted within the building. This attribute addresses mainly the buildings hosting human activities.	CurrentUse	0...*	voidable	**current_use**		**varchar**	**codelist + extended*** **http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue** extended codelist	The current use. Flat model, only one value for each building part	**Case 5**
		number Of Dwellings - AbstractBuilding	Number of dwellings.	Integer	0...1	voidable	**number_of_dwellings**	unpopulated	**integer**			**Case 4**
		number Of Building Units - AbstractBuilding	Number of building units in the building. A BuildingUnit is a subdivision of Building with its own lockable access from the outside or from a common area (i.e. not from another BuildingUnit), which is atomic, functionally independent, and may be separately sold, rented out, inherited, etc.	Integer	0...1	voidable	**number_of_building_units**	unpopulated	**integer**			**Case 4**
		number Of Floors Above Ground - AbstractBuilding	Number of floors above ground.	Integer	0...1	voidable	**number_of_floors_above_ground**	unpopulated	**integer**			**Case 4**
		begin Lifespan Version - AbstractConstruction	Date and time at which this version of the spatial object was inserted or changed in the spatial data set.	DateTime		1 voidable	**begin_lifespan**	unpopulated	**timestamp**			**Case 1**
		condition Of Construction - AbstractConstruction	Status of the construction.	ConditionOfConstructionValue		1 voidable	**condition_of_construction**	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/ConditionOfConstructionValue/functional	**varchar**	**codelist**		**Case 2**
		date Of Construction - AbstractConstruction	Date of construction.	DateOfEvent	0...1	voidable						
			Date and time when the event begun.				**date_of_construction.begin**		**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 5**
			Date and time when the event ended.				**date_of_construction.end**		**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 5**
			A date and time of any point of the event, between its begining and its end.				**date_of_construction.anypoint**		**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 5**
		date Of Demolition - AbstractConstruction	Date of demolition.	DateOfEvent	0...1	voidable						
			Date and time when the event begun.				**date_of_demolition.begin**	unpopulated	**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 4**
			Date and time when the event ended.				**date_of_demolition.end**	unpopulated	**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 4**
			A date and time of any point of the event, between its begi ing and its end.				**date_of_demolition.anypoint**	unpopulated	**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 4**
		date Of Renovation - AbstractConstruction	Date of last major renovation.	DateOfEvent	0...1	voidable						
			Date and time when the event begun.				**date_of_renovation.begin**	unpopulated	**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 4**
			Date and time when the event ended.				**date_of_renovation.end**	unpopulated	**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 4**
			A date and time of any point of the event, between its begi ing and its end.				**date_of_renovation.anypoint**	unpopulated	**timestamp**	**yyyy**	not present is HE ALKIS Dataset	**Case 4**
		elevation - AbstractConstruction	Vertically-constrained dimensional property consisting of an absolute measure referenced to a well-defined surface which is commonly taken as origin (geo? water level, etc.).	Elevation	0...*	voidable					Element where the elevation was measured.	
							elevation.reference	unpopulated	**varchar**	**codelist**	Elevation Reference Value	**Case 4**
							elevation.value	unpopulated	**double**		Value of the elevation.	**Case 4**
		end Lifespan Version - AbstractConstruction	Date and time at which this version of the spatial object was superseded or retired in the spatial data set.	DateTime	0...1	voidable	**end_lifespan**	unpopulated	**timestamp**		flat model	**Case 4**
		external Reference - AbstractConstruction	Reference to an external information system containing any piece of information related to the spatial object.	ExternalReference	0...*	voidable						
							external_reference.uri	unpopulated	**varchar**		Uniform Resource Identifier of the external information system.	**Case 4**
							external_reference.name	unpopulated	**varchar**		The name of the external information system.	**Case 4**
							external_reference.reference	unpopulated	**varchar**		Thematic identifier of the spatial object or of any piece of information related to the spatial object.	**Case 4**
		height Above Ground - AbstractConstruction	Height above ground.	HeightAboveGround	0...*	voidable						
							height_above_ground.height_reference	generalRoof	**varchar**	**codelist**	Element used as the high reference.	**Case 1**
							height_above_ground.low_reference	generalGround	**varchar**	**codelist**	Element as the low reference.	**Case 1**
							height_above_ground.status	measured	**varchar**	**codelist**	The way the height has been captured.	**Case 1**
							height_above_ground.height_value		**double**		Value of the height above ground.	**Case 1**
		inspire Id - AbstractConstruction	External object identifier of the spatial object.	Identifier		1						
							inspire_local.id	gml_id	**varchar**		A local identifier, assigned by the data provider. The local identifier is unique within the namespace, that is no other spatial object carries the same unique identifier.	**Case 1**
							inspire_id.namespace	dc.he.um	**varchar**		Namespace uniquely identifying the data source of the spatial object. Needs to be coordinated with data owner and publishing agency	**Case 2**
							inspire_id.version	1.0	**varchar**		The identifier of the particular version of the spatial object, with a maximum length of 25 characters. If the specification of a spatial object type with an external object identifier includes life-cycle information, the version identifier is used to distingisih between the different versions of a spatial object. Within the set of all versions of a spatial object, the version identifier is unique.	**Case 2**
		name - AbstractConstruction	Name of the construction.	GeographicalName	0...*	voidable	**void**					**Case 4**

		parts - from Building	-- Definition -- A BuildingPart is a sub-division of a Building that might be considered itself as a building. -- Description -- NOTE 1: A BuildingPart is homogeneous related to its physical, functional or temporal aspects. NOTE 2: Building and BuildingPart share the same set of properties.EXAMPLE: A building may be composed of two building parts having different heights above ground.	**Building Part (See Association)**	0..*	voidable	**void**					**Case 4**
Application Schema 'Building 3D' (version 4.0)							**Application Schema <provide the name of the application schema>**					
Building	-- Definition -- A Building is an enclosed construction above and/or underground, used or intended for the shelter of humans, animals or things or for the production of economic goods. A building refers to any structure permanently constructed or erected on its site.	**geometry2 D**	2D or 2.5D geometric representation.<font color="#0f0f0f">	BuildingGeometry2D	0..*	voidable	**vertical_geom_estimated_accuracy_2d**	+/- 5 meter	**varchar**	**Length**	The estimated absolute positional accuracy of the Z coordinates of the building geometry, in the INSPIRE official Coordinate Reference System. Absolute positional accuracy is defined as the mean value of the positional uncertainties for a set of positions where the positional uncertainties are defined as the distance between a measured position and what is considered as the corresponding true position.	**Case 2**
Subtype of: Building							**geom**		**multipolygon**		2D or 2.5D geometric representation	**Case 1**
							reference_geometry_2d	true	**boolean**		The geometry to be taken into account by view services, for portrayal.	**Case 2**
							horizontal_geometry_reference_2d	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/HorizontalGeometryReferenceValue/footPrint	**codelist**	**HorizontalGeometryReferenceValue**	Element of the building that was captured by (X,Y) coordinates.	**Case 2**
							vertical_geometry_reference _2d	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/ElevationReferenceValue/generalRoof	**codelist**	**ElevationReferenceValue**	Element of the building that was captured by vertical coordinates.	**Case 2**
							horizontal_geometry_estimated_accuracy _2d	AAA-Standard	**varchar**		The estimated absolute positional accuracy of the (X,Y) coordinates of the building geometry, in the INSPIRE official Coordinate Reference System. Absolute positional accuracy is defined as the mean value of the positional uncertainties for a set of positions where the positional uncertainties are defined as the distance between a measured position and what is considered as the corresponding true position.	**Case 2**
		geometry3 D Lo D1	3D geometric representation at level of detail (LoD) 1, consisting of the generalized representation of the outer boundary by vertical lateral surfaces and horizontal base polygons.	BuildingGeometry3DLoD1	0...1							
		geometry3 D Lo D2	3D geometric representation at level of detail (LoD) 2, consisting of the generalized representation of the outer boundary by vertical lateral surfaces and a prototypical roof shape or cover (from a defined list of roof shapes)	BuildingGeometry3DLoD2	0...1							
		geometry3 D Lo D3	3D geometric representation at level of detail (LoD) 3, consisting of the detailed representation of the outer boundary (including protrusions, facade elements and window recesses) as well as of the roof shape (including dormers, chimneys).	BuildingGeometry3DLoD	0...1							
		geometry3 D Lo D4	3D geometric representation at level of detail (LoD) 4, consisting of the detailed representation of the outer boundary (including protrusions, facade elements, and window recesses) as well as of the roof shape (including dormers, chimneys).	BuildingGeometry3DLoD	0...1							
		building Nature - AbstractBuilding	Characteristic of the building that makes it generally of interest for mappings applications. The characteristic may be related to the physical aspect and/or to the function of the building.	BuildingNatureValue	0...*	voidable						
		current Use - AbstractBuilding	Activity hosted within the building. This attribute addresses mainly the buildings hosting human activities.	CurrentUse	0...*	voidable						
		number Of Dwellings - AbstractBuilding	Number of dwellings.	Integer	0...1	voidable						
		number Of Building Units - AbstractBuilding	Number of building units in the building. A BuildingUnit is a subdivision of Building with its own lockable access from the outside or from a common area (i.e. not from another BuildingUnit), which is atomic, functionally independent, and may be separately sold, rented out, inherited, etc.	Integer	0...1	voidable						
		number Of Floors Above Ground - AbstractBuilding	Number of floors above ground.	Integer	0...1	voidable						
		begin Lifespan Version - AbstractConstruction	Date and time at which this version of the spatial object was inserted or changed in the spatial data set.	DateTime	1	voidable						
		condition Of Construction - AbstractConstruction	Status of the construction.	ConditionOfConstructionValue	1	voidable						
		date Of Construction - AbstractConstruction	Date of construction.	DateOfEvent	0...1	voidable						
		date Of Demolition - AbstractConstruction	Date of demolition.	DateOfEvent	0...1	voidable						
		date Of Renovation - AbstractConstruction	Date of last major renovation.	DateOfEvent	0...1	voidable						
		elevation - AbstractConstruction	Vertically-constrained dimensional property consisting of an absolute measure referenced to a well-defined surface which is commonly taken as origin (geo? water level, etc.).	Elevation	0...*	voidable						
		end Lifespan Version - AbstractConstruction	Date and time at which this version of the spatial object was superseded or retired in the spatial data set.	DateTime	0...1	voidable						
		external Reference - AbstractConstruction	Reference to an external information system containing any piece of information related to the spatial object.	ExternalReference	0...*	voidable						
		height Above Ground - AbstractConstruction	Height above ground.	HeightAboveGround	0...*	voidable						
		inspire Id - AbstractConstruction	External object identifier of the spatial object.	Identifier	1							
		name - AbstractConstruction	Name of the construction.	GeographicalName	0...*	voidable						
		Building parts shall be 3D	/*The parts of the building shall be represented using the BuildingPart type of the Buildings3D package.*/inv: self.parts->oclIsKindOf(Buildings3D::BuildingPart)									
		GeometryWhenNoParts	/*If a Building does not have any BuildingParts, at least the geometry3DLoD1 or geometry3DLoD2 or geometry3DLoD3 or geometry3DLoD4 attributes shall be provided.*/									

	parts **- from Building**	-- Definition -- A BuildingPart is a sub-division of a Building that might be considered itself as a building. -- Description -- NOTE 1: A BuildingPart is homogeneous related to its physical, functional or temporal aspects. NOTE 2: Building and BuildingPart share the same set of properties.EXAMPLE: A building may be composed of two building parts having different heights above ground.	**Building Part (See Association)**	0..*	voidable					
Additional Attributes -						**volume**				complex typ, 0..*	
					voidable	um_ade_volume.value_1		double			**Case 3**
Out of INSPIRE Scope										Total volume delimited by the external	
Subtype of: Building					voidable	um_ade_volume.type_1	gross volume	varchar		building dimension. <VolumeTypeValue>: NetVolumen, GrossVolume	
Urban Mining ADE (um_ade)					voidable	um_ade_volume.source_1	3d geom calculation FME	varchar	3D Geometry - FME Calculation	<volumeSourceValue>: 3D Geometry Calculation, 2D and height Calculation	
					voidable	um_ade_volume.value_2		double			**Case 3**
Metadata - Sources										Total volume delimited by the external	
					voidable	um_ade_volume.type_2	gross volume	varchar		building dimension. <VolumeTypeValue>: NetVolumen, GrossVolume	
					voidable	um_ade_volume.source_2	simple building footprint * height	varchar	Building Footprint * height	<volumeSourceValue>: 3D Geometry Calculation, 2D and height Calculation	
					voidable	um_ade_volume.value_3		double			**Case 3**
					voidable	um_ade_volume.type_3		varchar			
					voidable	um_ade_volume.source_3	simple building footprint * height incl. basement estimations	varchar	Building Footprint * (height + basement est.)		
					voidable	um_ade_alkis_building_function		varchar		original ALKIS Building Function	**Case 1**
					voidable	um_ade_gemeindeschluessel		varchar		ALKIS Gemeindeschluessel	**Case 1**
					voidable	um_ade_source_datasets{}		varchar		credits of source dataset	**Case 2**
					voidable	**um_materials{}**		double		calculated material reference values	
					voidable	um_materials.mineral		double		calculated material reference values	
					voidable	um_materials.metal		double		calculated material reference values	
					voidable	um_materials.organic		double		calculated material reference values	

Anhang 6-4 INSPIRE BU Simple 2D PostGIS SQL

Anhang 6-5 – INSPIRE BU Simple 2D PostGIS SQL

```
-- Database generated with pgModeler (PostgreSQL Database Modeler).
-- pgModeler  version: 0.8.2
-- PostgreSQL version: 9.5
-- Project Site: pgmodeler.com.br
-- Model Author: Benjamin Schnitzer
-- Version: 1.9
-- Date: 29.06.2017


-- Database creation must be done outside an multicommand file.
-- These commands were put in this file only for convenience.
-- -- object: inspire_eu_buildings_2d | type: DATABASE --
-- -- INSPIRE EU Buildings, based on Dataspecification v3.0. - Application Schema Buildings2D  --
-- -- DROP DATABASE IF EXISTS inspire_eu_buildings_2d;
-- CREATE DATABASE inspire_eu_buildings_2d
--   ENCODING = 'UTF8'
-- ;
-- -- ddl-end --
--

-- object: public.building_he | type: TABLE --
-- DROP TABLE IF EXISTS public.building_he CASCADE;
CREATE TABLE public.building_he(
     internal_id serial NOT NULL,
     building_root_id integer,
     building_parent_id integer,
     building_nature varchar,
     current_use varchar,
     number_of_dwellings smallint,
     number_of_building_units smallint,
     number_of_floors_above_ground smallint,
     begin_lifespan timestamp,
     condition_of_construction varchar,
     "date_of_construction.begin" timestamp,
     "date_of_construction.end" timestamp,
     "date_of_construction.anypoint" timestamp,
     "date_of_demolition.begin" timestamp,
     "date_of_demolition.end" timestamp,
     "date_of_demolition.anypoint" timestamp,
     "elevation.reference" varchar,
     "elevation.value" double precision,
     end_lifespan timestamp,
     "external_reference.uri" varchar,
     "external_reference.name" varchar,
     "external_reference.reference" varchar,
     "height_above_ground.height_reference" varchar,
     "height_above_ground.low_reference" varchar,
     "height_above_ground.status" varchar,
     "height_above_ground.height_value" double precision,
     "inspireid.local_id" varchar,
     "inspireid.namespace" varchar,
     "inspireid.version" varchar(25),
     vertical_geom_estimated_accuracy_2d double precision,
     reference_geometry_2d boolean,
     vertical_geometry_reference_2d varchar,
     horizontal_geometry_reference_2d varchar,
     horizontal_geometry_estimated_accuracy_2d varchar,
     "um_ade_volume.value_1" double precision,
     "um_ade_volume.type_1" varchar,
     "um_ade_volume.source_1" varchar,
     "um_ade_volume.value_2" double precision,
     "um_ade_volume.type_2" varchar,
     "um_ade_volume.source_2" varchar,
     "um_ade_volume.value_3" double precision,
     "um_ade_volume.type3" varchar,
```

```
    "um_ade_volume.source_3" varchar,
    "um_ade_source.datasets" varchar,
    um_ade_alkis_building_function varchar,
    um_ade_gemeindeschluessel varchar,
    "um_materials.mineral" double precision,
    "um_materials.metal" double precision,
    "um_materials.organic" double precision,
    geom geometry(MULTIPOLYGON, 25832),
    CONSTRAINT building_pk PRIMARY KEY (internal_id)
     WITH (FILLFACTOR = 100)

);
-- ddl-end --
COMMENT ON TABLE public.building_he IS 'INSPIRE BU 2D Simple Model (IN-BU-Sim2D)';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.internal_id IS 'internal ID - serial';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.building_nature IS '<codelist> Building Nature Value';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.current_use IS 'INSPIRE <codelist> Current Use';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.number_of_dwellings IS 'Number of dwellings';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.number_of_building_units IS 'Number of building units in the
building. A BuildingUnit is a subdivision of Building with its own lockable access from the outside
or from a common area (i.e. not from another BuildingUnit), which is atomic, functionally independent,
and may be separately sold, rented out, inherited, etc.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.number_of_floors_above_ground IS 'Number of floors above
ground';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.begin_lifespan IS 'Date and time at which this version of the
spatial object was inserted or changed in the spatial data set.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.condition_of_construction IS '<codelist> Status of the
construction.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."date_of_construction.begin" IS 'Date and time when the event
begun.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."date_of_construction.end" IS 'Date and time when the event
ended.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."date_of_construction.anypoint" IS 'A date and time of any point
of the event, between its begining and its end.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."elevation.reference" IS '<codelist> Elevation Reference Value';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."elevation.value" IS 'Value of the elevation.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.end_lifespan IS 'Date and time at which this version of the spatial
object was superseded or retired in the spatial data set.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."external_reference.uri" IS 'Uniform Resource Identifier of the
external information system.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."external_reference.name" IS 'The name of the external
information system.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."external_reference.reference" IS 'Thematic identifier of the
spatial object or of any piece of information related to the spatial object.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."height_above_ground.height_reference" IS '<codelist> Element
used as the high reference.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."height_above_ground.low_reference" IS '<codelist> Element as
the low reference.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."height_above_ground.status" IS '<codelist> The way the height
has been captured.';
-- ddl-end --
```

```
COMMENT ON COLUMN public.building_he."height_above_ground.height_value" IS 'Value of the height above
ground';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."inspireid.local_id" IS 'A local identifier, assigned by the data
provider. The local identifier is unique within the namespace, that is no other spatial object carries
the same unique identifier.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."inspireid.namespace" IS 'Namespace uniquely identifying the
data source of the spatial object.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."inspireid.version" IS 'The identifier of the particular version
of the spatial object, with a maximum length of 25 characters. If the specification of a spatial object
type with an external object identifier includes life-cycle information, the version identifier is
used to distinguish between the different versions of a spatial object. Within the set of all versions
of a spatial object, the version identifier is unique.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.vertical_geom_estimated_accuracy_2d IS 'The estimated absolute
positional accuracy of the Z coordinates of the building geometry, in the INSPIRE official Coordinate
Reference System. Absolute positional accuracy is defined as the mean value of the positional
uncertainties for a set of positions where the positional uncertainties are defined as the distance
between a measured position and what is considered as the corresponding true position.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.reference_geometry_2d IS 'The geometry to be taken into account
by view services, for portrayal.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.vertical_geometry_reference_2d IS '<codelist> Element of the
building that was captured by vertical coordinates.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.horizontal_geometry_reference_2d IS '<codelist> Element of the
building that was captured by (X,Y) coordinates.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.horizontal_geometry_estimated_accuracy_2d IS 'The estimated
absolute positional accuracy of the (X,Y) coordinates of the building geometry, in the INSPIRE official
Coordinate Reference System. Absolute positional accuracy is defined as the mean value of the positional
uncertainties for a set of positions where the positional uncertainties are defined as the distance
between a measured position and what is considered as the corresponding true position.';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."um_ade_volume.value_1" IS 'Part of Urban Mining Extension -
calculated Volume of Building Part';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."um_ade_volume.type_1" IS 'Total volume delimited by the external
building dimension. <VolumeTypeValue>: NetVolumen, GrossVolume';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."um_ade_volume.source_1" IS '<volumeSourceValue>: 3D Geometry
Calculation, 2D and height Calculation';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."um_ade_volume.value_2" IS 'Part of Urban Mining Extension -
calculated Volume of Building Part';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."um_ade_volume.type_2" IS 'Total volume delimited by the external
building dimension. <VolumeTypeValue>: NetVolumen, GrossVolume';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."um_ade_volume.source_2" IS '<volumeSourceValue>: 3D Geometry
Calculation, 2D and height Calculation';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he."um_ade_source.datasets" IS 'Credits Source Dataset';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.um_ade_alkis_building_function IS 'original ALKIS Building
Function';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.um_ade_gemeindeschluessel IS 'ALKIS Gemeindeschluessel';
-- ddl-end --
COMMENT ON COLUMN public.building_he.geom IS '2D or 2.5D geometric representation (only Polygons)';
-- ddl-end --

-- object: building_indx | type: INDEX --
-- DROP INDEX IF EXISTS public.building_indx CASCADE;
CREATE INDEX building_indx ON public.building_he
     USING btree
     (
       internal_id
```

```
    );
-- ddl-end --

-- object: geom_indx | type: INDEX --
-- DROP INDEX IF EXISTS public.geom_indx CASCADE;
CREATE INDEX geom_indx ON public.building_he
    USING gist
    (
      geom
    );
-- ddl-end --

-- -- object: postgis | type: EXTENSION --
-- -- DROP EXTENSION IF EXISTS postgis CASCADE;
-- CREATE EXTENSION postgis
--       WITH SCHEMA public;
-- -- ddl-end --
--
-- object: building_parent_fk | type: CONSTRAINT --
-- ALTER TABLE public.building_he DROP CONSTRAINT IF EXISTS building_parent_fk CASCADE;
ALTER TABLE public.building_he ADD CONSTRAINT building_parent_fk FOREIGN KEY (building_parent_id)
REFERENCES public.building_he (internal_id) MATCH FULL
ON DELETE NO ACTION ON UPDATE CASCADE;
-- ddl-end --

-- object: building_root_fk | type: CONSTRAINT --
-- ALTER TABLE public.building_he DROP CONSTRAINT IF EXISTS building_root_fk CASCADE;
ALTER TABLE public.building_he ADD CONSTRAINT building_root_fk FOREIGN KEY (building_root_id)
REFERENCES public.building_he (internal_id) MATCH FULL
ON DELETE NO ACTION ON UPDATE CASCADE;
-- ddl-end --
```

Anhang 7-1: Gegenüberstellung der Gebäudetypologien (eigene Zusammenstellung)

INSPIRE

Data Specification on Buildings – Technical Guidelines

Maintype	Sub-Type	Sub-Sub-Type	Beschreibung	INSPIRE Registry	**Kleemann et. al. 2016** Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2016): GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings. In: Journal of Industrial Ecology.	**Ortlepp et. al. 2015 / 2016** Ortlepp et. al. (2015): Material stocks in Germany's non-domestic buildings. A new quantification method. In: Building Research & Information Ortlepp et. al. (2016): Grundlagen für materialeffizientes Planen und Bauen. In: Bautechnik.	**Lichtensteiger & Baccini 2008** Lichtensteiger, Thomas; Baccini, Peter (2008): Exploration of urban stocks. In: Detail : Zeitschrift für Architektur + Baudetail 5 (6)	**Wiedenhofer et. al. 2015** Wiedenhofer et. al. (2015): Maintenance and Expansion. Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25. In: Journal of Industrial Ecology 19 (4)	**Daxbeck et. al. 2015** Daxbeck et. al. (2015): Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters. Land Steiermark inklusive Fallstudie Graz. Projekt UMKAT - Endbericht.	**Gruhler & Deilmann, 2015** Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden. Verfahrensschritte zur Abbildung der Ressourceninanspruchnahme des Nichtwohnbau-Bestandes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Reihe Wissenschaft, 45).	**EPISCOPE . EU** EPISCOPE / TABULA IWU, 2016
								for EU - only Residential Buildings - (metric tons per building)		Keine Inventarisierung, aber Bildung von Synthetischen Nichtwohngebäuden	Nur Wohngebäude (Keine Inventarisierung)
residential			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird zu Wohnzwecken genutzt.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/residential	residential	(only non-residential)	(Switzerland)		Graz (UMKAT)		
	individual residence		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich nur eine Wohnung. NOTE: This value includes detached houses such as bungalows, villas, chalets, forest lodges, farmhouses, country houses, summer houses, weekend houses and semi-detached or terraced houses, with each dwelling having its own roof and its own entrance directly from ground surface.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/individualResidence		One-family buildings	single family houses	Residential		Einfamilienhaus (EFH) Reihenhaus (RH)
	collective residence		Mehrfamilienwohnhaus In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich mehr als eine Wohnung.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/collectiveResidence			multi-familiy buildings	multi family houses			
		two Dwellings	In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich zwei Wohnungen. NOTE: This class includes detached houses, semi-detached or terraced houses, with two dwellings.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/twoDwellings							Mehrfamilienhaus (MFH)
		more than two Dewllings	In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich mindestens drei Wohnungen. NOTE: This class includes flat blocks, apartment houses, with three or more dwellings but excludes residence for communities.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/moreThanTwoDwelling							großes Mehrfamilienhaus (GMH) Hochhaus (HH)
	residence for communities		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befindet sich ein Wohnheim. (This class includes residential buildings for communities, including residences and service residences for the elderly, students, children and other social groups.)	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/residenceForCommunities				*high-rise buildings*			
agriculture			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für landwirtschaftliche Zwecke genutzt.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/agriculture		Agricultural buildings			Non-residential	Landwirtschaftliche Hallen	
industrial			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Tätigkeiten des Sekundärsektors (Industrie) genutzt.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/industrial	industry	Factory and workshop buildings	production buildings			Produktionshallen Lagerhallen	
commerce and service			Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Dienstleistungszwecke genutzt. Dieser Wert betrifft Gebäude und Gebäudekomponentee, die für Aktivitäten des Tertiärsektors (Handel und Dienstleistungen) bestimmt sind. NOTE: This value includes both ternary sector (commercial activities) and quaternary sector (non-commercial, charity sector).	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/commerceAndServices	commercial	Hotels and restaurants Institutional buildings	service buildings			Büro- und Verwaltungsgebäude	
	office		In dem Gebäude (oder Gebäudekomponente) befinden sich Büros.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/office		Office and administrative buildings					
	trade		Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für Handelszwecke genutzt. EXAMPLE: Shops, supermarkets, hotels, restaurants.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/trade		Trade and storage buildings					
	public services		Das Gebäude (oder der Gebäudekomponente) wird für öffentliche Dienstleistungen genutzt. Öffentliche Dienstleistungen sind tertiäre Dienstleistungen zum Nutzen der Bürger. Public services are often ruled by public governments or on behalf of them. EXAMPLES: Schools, hospitals, governmental buildings, prisons, rescue stations, transport station. NOTE: in case of a building being both office and public service (e.g. a city hall), the building should be classified preferably as public service.	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices						*Allgemeinbildende Schulen* *Sport- und Mehrzweckhallen*	
ancillary			Ein kleines Gebäude (oder eine kleine Gebäudekomponente), das nur in Verbindung mit einem anderen größeren Gebäude (oder Gebäudekomponente) genutzt wird und im Allgemeinen nicht dieselben Funktionen und Eigenschaften wie das Gebäude (oder Gebäudekomponente), mit dem es/er verbunden ist, aufweist. A summer house or garage (ancillary use) in the garden of a dwelling (residential use).	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/ancillary							
					no information	Other non-domestic buildings				Tiefgaragen	
					excluded					Parkhäuser und Parkdecks	

Anhang 7-2: MKZ aus Kleemann et. al. 2016

Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2016): GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings. In: Journal of Industrial Ecology. DOI: 10.1111/jiec.12446.

Mediane [kg/m³ BRI] auf zwei signifikante Stellen gerundet ('-' = Keine Daten)

Material [kg/m³ BRI]		-1918				1919-1945				1946-1976				1977-1996				1997-			
		residential	commercial	industrial	N/A	residential	commercial	industrial	N/A	residential	commercial	industrial	N/A	residential	commercial	industrial	N/A	residential	commercial	industrial	N/A
Mineral	**Mineralisch**	**390**	**430**	**280**		**410**	**340**	**320**		**430**	**350**	**340**		**430**	**380**	**170**		**380**	**320**	**290**	
Concrete	Beton	22	23	48		100	120	110		240	270	250		300	350	150		360	310	-	
Gravel/sand	Kies, Sand	-	-	-		5,8	-	-		10	-	-		28	2,4	-		4,3	-	-	
Bricks	Backsteine, Ziegel	220	270	170		180	220	180		150	170	31		100	12	9		58	6,1	-	
Mortar/plaster	Mörtel	92	81	52		93	73	29		72	44	51		50	16	3,6		2,7	7,5	-	
Mineral fill	mineralischer Füllstoff	33	33	-		33	33	-		4,9	2,3	-		14	-	-		4,9	-	-	
Slag fill	Schlacke	14	-	-		5,6	-	-		3,7	-	-		24	-	-		-	-	-	
Hollow bricks	hohlziegel	-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-	
Foamed clay bricks	geschäumte Lehm Ziegel	-	0,6	0,38		16	-	0,38		2,6	-	-		-	-	-		-	-	-	
Plaster boards/gypsum	Gipskarton	0,15	1,4	-		0,15	0,17	-		0,15	7,4	-		0,82	4,2	-		9,3	3	-	
Glass	Glas	0,26	0,32	0,68		0,49	0,49	0,27		0,54	0,58	-		0,55	0,86	-		0,89	0,62	-	
Ceramics	Keramik	0,47	0,54	0,092		0,58	0,47	-		2	0,9	-		1,8	0,81	-		0,092	0,34	-	
Natural stone	Steine	0,017	0,017	46		0,017	2,1	-		1	1,6	-		0,78	2,8	7,2		0,47	0,63	-	
Mineral wool	Mineralwolle	0,017	0,21	0,016		0,017	0,14	-		0,62	0,55	-		1,3	0,32	-		1,3	1,2	-	
Mineral wool boards	Mineralwolle-Platten	-	0,053	0,047		-	-	0,047		0,084	0,33	-		-	-	-		-	-	-	
(Cement) asbestos	Asbestzement	0,28	0,13	0,14		1,9	-	0,14		1,8	0,046	-		1,6	0,0057	-		-	1,3	-	
Organic	**Organisch**	**19**	**3,7**	**5,8**		**13**	**7,1**	**28**		**6,5**	**7,6**	-		**6,7**	**1**	-		**10**	**5,7**	**5,6**	
Wood	Holz	18	3,3	5,8		13	6,6	28		5,9	3,6	-		5,4	1,2	-		4,3	0,84	-	
Heraklit	Heraklit	0,27	0,065	-		0,99	0,065	-		0,82	0,065	-		0,42	-	-		0,067	-	-	
Paper/Cardboard	Papier	-	-	-		0,22	-	-		0,2	-	-		0,67	-	-		0,056	-	-	
PVC	PVC	0,2	0,17	0,0072		0,1	-	0,0072		0,52	0,27	-		-	0,12	-		-	0,18	-	
Various plastics	Plastik	0,34	0,13	0,069		0,34	0,35	-		0,85	0,13	-		0,94	0,11	-		5,1	0,84	-	
Carpet	Teppisch	-	-	-		1,1	-	-		1,1	-	-		1,2	-	-		0,057	-	-	
Laminate	Laminat	-	-	-		-	-	-		0,33	-	-		-	-	-		-	-	-	
Linoleum	Liloleum	0,04	0,04	-		0,04	0,04	-		0,03	0,045	-		0,01	-	-		0,046	-	-	
Asphalt	Asphalt	-	-	-		-	-	-		-	3,7	-		-	-	-		5,2	-	-	
Bitumen	Bitumen	0,023	0,058	0,14		0,023	0,023	0,14		0,11	2,7	-		0,2	0,63	-		1,1	2,4	-	
Polystyrene	styropor	-	-	0,0028		-	-	0,0028		0,23	0,18	-		0,18	-	-		1,2	0,38	-	
Metal	**Metal**	**2,8**	**4,3**	**8,8**		**4,6**	**6,00**	**5,80**		**7**	**5,7**	**13,00**		**6,8**	**13**	**15,00**		**15**	**10**	**13,00**	
Iron/Steel	Eisen / Stahl	2,7	4,1	8,6		4,6	6	5,8		6,9	5,7	12		6,7	13	14		15	9,5	-	
Aluminium	Aluminium	0,019	0,051	0,031		0,019	0,12	0,028		0,033	0,12	-		0,14	0,54	-		0,15	0,22	-	
Copper	Kupfer	0,063	0,071	0,02		0,063	0,092	0,031		0,026	0,067	0,16		0,028	0,2	0,18		0,026	0,029	-	
Lead	Blei	0,008	0,008	-		0,008	0,008	-		0,005	0,0017	-		0,005	-	-		-	0,001	-	
Brass	Messing	0,0055	-	-		0,018	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-	
Total		**410**	**440**	**290**		**430**	**360**	**350**		**450**	**360**	**350**		**460**	**400**	**180**		**410**	**340**	**310**	

Anhang 7-3: MKZ Nichtwohngebäude (Gruhler et. al. 2015)

Quelle: Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden. Verfahrensschritte zur Abbildung der Ressourceninanspruchnahme des Nichtwohnbau-Bestandes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Reihe Wissenschaft, 45).

Die Auswertung basiert auf Daten der BKI. Im Rahmen der Studie findet weiter eine Auswertung hinsichlich der Bauteilgruppen (Gründung, Außen- und Innenwände, Decken und Dächern) statt.
Definitionen nach DIN 277

Baualter der Gebäude		1976 bis 2006		1990 bis 2009		1976 bis 2010		1977 bis 2009		1980 bis 2010		1992 bis 2003		1975 bis 1993		1979 bis 2004	
Typologie nach Gruhler & Deilmann		**Büro- und Verwaltungsgebäude**		**Allgemeinbildende Schulen**		**Sport- und Mehrzweckhallen**		**Produktionshallen**		**Lagerhallen**		**Landwirtschaftliche Hallen**		**Tiefgaragen**		**Parkhäuser und Parkdecks**	
Typologie Zuordnung INSPIRE		**commerce and service**	**office**	**commerce and service**	**public services**	**commerce and service**	***public services***	**industrial**		**industrial**	***x**	**aggriculture**		**ancillary**	***x**	**ancillary**	***x**
		in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**
Mineralisch		0,426	**426**	0,538	**538**	0,349	**349**	0,31	**310**	0,305	**305**	0,28	**280**	1,065	**1065**	0,662	**662**
	Putze, Estriche, Mörtel	0,055	**55**	0,062	**62**	0,027	**27**	0,022	**22**	0,012	**12**	0,002	**2**	0,057	**57**	0,064	**64**
	Betone	0,237	**237**	0,314	**314**	0,163	**163**	0,145	**145**	0,134	**134**	0,094	**94**	0,699	**699**	0,507	**507**
	Mauersteine	0,063	**63**	0,115	**115**	0,043	**43**	0,013	**13**	0,014	**14**	0,005	**5**	0,023	**23**	0,016	**16**
	Bauplatten	0,004	**4**	0,003	**3**	0,002	**2**	0,001	**1**	0,001	**1**	0,001	**1**		**0**		**0**
	Dachdeckungen*(2)	0,001	**1**	0,003	**3**	0,002	**2**		**0**		**0**		**0**		**0**		**0**
	Sonstige. Stoffe, Schüttungen *(3)	0,066	**66**	0,041	**41**	0,112	**112**	0,129	**129**	0,144	**144**	0,178	**178**	0,286	**286**	0,075	**75**
Organisch		0,018	**18**	0,018	**18**	0,017	**17**	0,005	**5**	0,004	**4**	0,009	**9**	0,004	**4**	0,001	**1**
	Holz, Holzwerkstoffe	0,01	**10**	0,007	**7**	0,008	**8**	0,001	**1**	0	**0**	0,007	**7**		**0**		**0**
	Wärmedämmstoffe*(1)	0,008	**8**	0,011	**11**	0,009	**9**	0,004	**4**	0,004	**4**	0,002	**2**		**0**		**0**
	Beläge, Dichtungen	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0,004	**4**	0,001	**1**
Metalle		0,026	**26**	0,032	**32**	0,018	**18**	0,021	**21**	0,024	**24**	0,015	**15**	0,056	**56**	0,052	**52**
	Metalle	0,026	**26**	0,032	**32**	0,018	**18**	0,021	**21**	0,024	**24**	0,015	**15**	0,056	**56**	0,052	**52**
Sonstige																	
	Sonstige	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**
Gesamt		0,47	**470**	0,588	**588**	0,384	**384**	0,336	**336**	0,333	**333**	0,304	**304**	1,125	**1125**	0,715	**715**

		85 Objekte, vorwiegend aus den Bundesländern: Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen	33 Objekte, vorwiegend aus Baden-Württemberg	48 Objekte, vorwiegend aus Baden-Württemberg und Bayern	47 Objekte, vorwiegend aus Baden-Württemberg und Bayern	19 Objekte, vorwiegend aus Bayern	7 Objekte	9 Objekte	4 Objekte
	Analysemenge	54 von 85	8 von 33	26 von 48	31 von 47	12 von 19	7 von 7	9 von 9	3 von 4

*(1): Zuordnung der Materialgruppe ist nicht 100% eindeutig, Teile der BKI-Untergruppen fallen auch in die Fraktion Mineralisch
*(2): Zuordnung der Materialgruppe ist nicht 100% eindeutig, Teile der BKI-Untergruppen fallen auch in die Fraktion Organisch (Stroh, Holzschindel)
*(3): Überwiegend mineralische Baustoffe

***x**: An dieser Stelle wird deutlich warum für Materialbetrachtungen eine Erweiterung der INSPIRE Codelisten notwendig erscheint. Die Materialinventare unterscheiden sich an einigen Stellen deutlich. Diese werden in der Typologie derzeit nicht abgedeckt.

Anhang 7-4: Synthetische Wohngebäude aus Gruhler et. al. 2011 (ergänzt um eigene Berechnungen)

Quelle: Gruhler, Karin; Böhm, Ruth (2011): Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes - Deutschland 2050. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (Reihe Wissenschaft, 25).

Anmerkung zur Quelle: Alle Daten (Tabellen) sind aus der Primärquelle entnommen, einzig die Berechnung der MKZ je BRI wurden ergänzt.

Synthetische Gebäudetypen (Auswahl an passenden Gebäudetypen)

A.1 Bestandstypen (bis 2000) – Mehrfamilienhäuser (MFH)

A.1.1 Synthetischer Gebäudetyp MFH bis 1918 für Ost- und Westdeutschland

Quelle: Tabelle A.2: MFH bis 1918 für Ost- und Westdeutschland – Kennwerte

Flächen und Volumen

		Belegung (Wohnung/Gebäude)	
		Berechneter Wert	Statistischer Wert
Hauptnutzfläche	403 m2	Ostdeutschland:	Ostdeutschland:5,20
Nutzfläche	610 m2	6,55	
Oberfläche (A o)	855 m2	Westdeutschland:	Westdeutschland:4,90
Bruttorauminhalt	**2.537 m3**	6,55	

Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	268	145	74.517	46.049	91.605
Betone	65	27	12.028	18.810	15.422
Mauersteine	593	320	380.656	107.465	242.246
Bauplatten	0	0	0	0	0
Holz, Holzwerkstoffe	39	66	105.268	27.924	104.835
Wärmedämmstoffe	5	12	5.835	1.567	9.034
Dachdeckungen	6	5	6.218	2.436	7.878
Beläge, Dichtungsbahnen	1	0	6.857	557	1.901
Sonst. Stoffe, Schüttungen	157	94	7.388	2.239	13.570
Metalle	1	0	6.295	1.746	5.364
Summe	1135	669	605.062	197.494	491.854

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	**t**	**kg/m³**
mineralisch	1090	430
organisch	44	17
metal	1	0,39

A.1.2 Synthetischer Gebäudetyp MFH 1919-1948 für Ost- und Westdeutschland

Quelle: Tabelle A.4: MFH 1919-1948 für Ost- und Westdeutschland – Kennwerte

Flächen und Volumen

		Belegung (Wohnung pro Gebäude)	
		Berechneter Wert	Statistischer Wert
Hauptnutzfläche	433 m2	Ostdeutschland:	Ostdeutschland:
Nutzfläche	669 m2	8,60	5,40
Oberfläche (A o)	882 m2	Westdeutschland:	Westdeutschland:
Bruttorauminhalt	**2.408** m³	8,60	4,90

Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	277	151	76.887	46.019	92.914
Betone	168	70	37.090	23.831	47.473
Mauersteine	528	303	371.896	101.655	229.754
Bauplatten	0	0	0	0	0
Holz, Holzwerkstoffe	13	22	33.351	8.977	33.960
Wärmedämmstoffe	3	5	3.247	774	7.452
Dachdeckungen	4	2	4.971	1.951	6.283
Beläge, Dichtungsbahnen	2	1	23.598	42.949	6.989
Sonst. Stoffe, Schüttungen	164	87	7.311	2.292	13.183
Metalle	29	4	185.925	51.580	158.446
Summe	1188,000	645	744.276	239.160	596.455

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	**t**	**kg/m³**
mineralisch	1143	475
organisch	16	7
metal	29	12,04

A.1.3 Synthetischer Gebäudetyp MFH 1949-1978 für Ostdeutschland

Quelle: Tabelle A.6: MFH 1949-1978 für Ostdeutschland – Kennwerte

		Belegung (Wohnung pro Gebäude)	
		Berechneter Wert	Statistischer Wert
Hauptnutzfläche	552 m2	Ostdeutschland:	Ostdeutschland:
Nutzfläche	732 m2	10,60	9,80
Oberfläche (A o)	927 m2		

Bruttorauminhalt 2.631 m3
Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	219	119	60.902	34.984	72.168
Betone	599	257	167.650	100.632	246.458
Mauersteine	260	144	185.084	50.498	114.149
Bauplatten	0	0	0	0	0
Holz, Holzwerkstoffe	6	10	14.781	4.023	15.211
Wärmedämmstoffe	10	27	19.034	4.214	25.786
Dachdeckungen	3	2	3.426	1.345	4.331
Beläge, Dichtungsbahnen	3	2	42.181	4.048	13.233
Sonst. Stoffe, Schüttungen	39	21	6.597	2.192	11.395
Metalle	61	8	392.832	108.981	334.771
Summe	1199	590	892.487	310.918	837.501

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	t	kg/m³
mineralisch	1123	427
organisch	16	6
metal	61	23,19

A.1.4 Synthetischer Gebäudetyp MFH 1949-1978 für Westdeutschland
Quelle: Tabelle A.8: MFH 1949-1978 für Westdeutschland – Kennwerte

Flächen und Volumen

Belegung (Wohnung pro Gebäude)
Berechneter Wert Statistischer Wert
Westdeutschland: Westdeutschland:
10,83 6,80

Hauptnutzfläche 618 m2
Nutzfläche 790 m2
Oberfläche (A o) 964 m2
Bruttorauminhalt 2.787 m3
Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	212	118	58.775	31.212	66.881
Betone	726	312	207.378	124.412	305.724
Mauersteine	270	145	158.320	48.063	101.572
Bauplatten	4	3	11.777	4.428	23.224
Holz, Holzwerkstoffe	7	12	18.943	5.122	19.321
Wärmedämmstoffe	13	41	33.673	6.543	38.992
Dachdeckungen	2	1	2.515	986	3.183
Beläge, Dichtungsbahnen	4	3	59.786	6.132	19.763
Sonst. Stoffe, Schüttungen	44	24	9.174	2.938	13.814
Metalle	73	9	469.042	130.123	399.718
Summe	1356	668	1.029.383	359.958	977.598

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	t	kg/m³
mineralisch	1262	453
organisch	20	7
metal	73	26,19

A.1.6 Synthetischer Gebäudetyp MFH 1979-1990 für Westdeutschland
Quelle: Tabelle A.12: MFH 1979-1990 für Westdeutschland – Kennwerte

Flächen und Volumen

Belegung (Wohnung pro Gebäude)
Berechneter Wert Statistischer Wert
Westdeutschland: Westdeutschland:
11,53 7,00

Hauptnutzfläche 674 m2
Nutzfläche 831 m2
Oberfläche (A o) 1.040 m2
Bruttorauminhalt 2.919 m3
Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	196	113	51.978	26.566	58.908
Betone	800	335	202.834	131.028	264.640
Mauersteine	323	188	152.325	52.664	102.593
Bauplatten	13	9	33.523	12.354	24.789
Holz, Holzwerkstoffe	8	12	19.791	5.279	19.802
Wärmedämmstoffe	8	71	77.101	13.674	42.734
Dachdeckungen	3	2	22.706	1.421	4.575
Beläge, Dichtungsbahnen	4	3	61.837	8.267	24.971
Sonst. Stoffe, Schüttungen	54	30	9.907	3.108	14.199
Metalle	95	12	610.141	169.267	519.962
Summe	1504	776	1.223.057	423.627	1.077.172

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	t	kg/m³
mineralisch	1393	477
organisch	16	5
metal	95	32,55

A.1.7 Synthetischer Gebäudetyp MFH 1991-2000 für Ost- und Westdeutschland
Quelle: Tabelle A.14: MFH 1991-2000 für Ost- und Westdeutschland – Kennwerte

Flächen und Volumen

Belegung (Wohnung pro Gebäude)
Berechneter Wert Statistischer Wert
Ostdeutschland: Ostdeutschland:
8,53 10,00
Westdeutschland: Westdeutschland:
8,53 7,90

Hauptnutzfläche 536 m2
Nutzfläche 725 m2
Oberfläche (A o) 988 m2
Bruttorauminhalt 2.349 m³
Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	162	93	42.558	21.131	46.823
Betone	516	231	135.187	87.386	167.908
Mauersteine	358	202	152.933	56.416	105.832
Bauplatten	6	6	7.065	2.087	5.624
Holz, Holzwerkstoffe	14	23	36.526	9.632	36.388
Wärmedämmstoffe	10	111	112.342	19.249	60.436
Dachdeckungen	6	3	10.145	3.527	11.028
Beläge, Dichtungsbahnen	3	2	50.527	7.068	21.226
Sonst. Stoffe, Schüttungen	54	30	9.314	2.931	13.576
Metalle	68	9	435.702	120.874	371.305
Summe	1196	711	992.410	330.299	840.146

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	t	kg/m³
mineralisch	1105	470
organisch	24	10
metal	68	28,95

Daten sind deckungsgleich mit denen der IÖR Bdat:
http://bdat.ioer.eu/bauwerksdaten/wohngebaeude/mfh-1991-2010/

A.2 Bestandstypen (bis 2000) – Ein- und Zweifamilienhäuser (E/ZFH)

A.2.1 Synthetischer Gebäudetyp E/ZFH bis 2000 für Ost- und Westdeutschland

Quelle: A.16: E/ZFH bis 2000 für Ost- und Westdeutschland – Kennwerte

Flächen und Volumen

Hauptnutzfläche	120	m²
Nutzfläche	196	m²
Oberfläche (A o)	350	m²
Bruttorauminhalt	682	m³

Belegung (Wohnung pro Gebäude)

Berechneter Wert	Statistischer Wert
Ostdeutschland:	Ostdeutschland:
1,07	1,22
Westdeutschland:	Westdeutschland:
1,07	1,25

Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	49	27	13.219	7.192	15.078
Betone	141	59	33.739	21.939	42.841
Mauersteine	81	53	36.435	14.251	26.255
Bauplatten	0	0	343	96	277
Holz, Holzwerkstoffe	8	14	22.938	6.033	22.558
Wärmedämmstoffe	4	21	19.158	4.029	12.433
Dachdeckungen	3	1	2.048	957	2.591
Beläge, Dichtungsbahnen	1	1	13.766	1.843	5.452
Sonst. Stoffe, Schüttungen	23	13	2.534	788	3.882
Metalle	14	2	90.915	25.222	77.478
Summe	324	191	235.098	82.350	209.244

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	t	kg/m³
mineralisch	298	437
organisch	12	18
metal	14	20,53

Synthetische Gebäudetypen Neubautypen (ab 2001) – Mehrfamilienhäuser (MFH) sowie Ein- und Zweifamilienhäuser (E/ZFH)

A 3.1. Synthetischer Gebäudetyp MFH 2001 bis 2010 für Ost- und Westdeutschland

Dieser Gebäudetyp ist dem MFH 1991 bis 2000 für Ost- und Westdeutschland identisch (vgl. Gliederungspunkt A.1.7, Tab. A.13, Tab. A.14).

A.3.2. Synthetischer Gebäudetyp E/ZFH 2001-2010 für Ost- und Westdeutschland

Quelle: Tabelle A.18: E/ZFH 2001-2010 für Ost- und Westdeutschland – Kennwerte

Flächen und Volumen

Hauptnutzfläche	126	m2
Nutzfläche	203	m2
Oberfläche (A o)	324	m2
Bruttorauminhalt	670	m³

Belegung (Wohnung pro Gebäude)

Berechneter Wert	Statistischer Wert
Ostdeutschland:	Ostdeutschland:
1,00	1,10
Westdeutschland:	Westdeutschland:
1,00	1,17

Stoff- und Umweltkennwerte

Baustoffgruppen	Stoff-Daten			Umwelt-Daten	
	[t]	[m3]	KEA[kWh]	CO 2-Äquiv.[kg]	SO 2-Äquiv.[g]
Putze, Estriche, Mörtel	48	27	15.565	8.473	17.723
Betone	118	49	26.403	17.190	33.605
Mauersteine	72	51	57.607	18.223	37.486
Bauplatten	1	2	1.513	405	1.237
Holz, Holzwerkstoffe	7	12	27.878	47.300	27.319
Wärmedämmstoffe	4	29	27.799	5.716	17.618
Dachdeckungen	3	1	1.875	838	2.371
Beläge, Dichtungsbahnen	1	1	21.186	2.538	7.854
Sonst. Stoffe, Schüttungen	17	9	2.403	775	4.188
Metalle	12	2	69.348	19.239	59.098
Summe	284	182	251.578	80.688	20.850

Berechnete Kennwerte (Eigene Zusammenstellung)	t	kg/m³
mineralisch	260	388

organisch	11	16
metal	12	17,91

Anhang 7-5: 2007 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.
Der spezifische Baustoffverbrauch im Hochbau
Erhebungen zur Baustoff-Massenermittlung im Neu- und Ausbau im Jahre 2006

Tabelle 1: Neubau – Basisdaten der Bauobjekte

	Gebäude	Wohnungen	Umbauter Raum	
			pro Gebäude [m³]	insgesamt [1.000 m³]
Wohngebäude	850	2.221	1.118	950
Ein-/Zweifamilienhaus	736	826	759	538
Mehrfamilienhaus	114	1.395	3.434	391
Nicht-Wohngebäude	447	2.807	12.940	5784
„wohnähnlich“				
Wohn-Geschäftsgebäude	40	577	6.269	251
Wohnheim/Anstaltsgebäude	48	2.230	9.770	469
Büro-/Verwaltungsgebäude	68	-	8.125	536
"nicht-wohnähnlich"				
Landwirtsch. Betriebsgebäude	15	-	4.337	65
Nicht-landwirtsch. Betriebsgebäude	171	-	20.313	4374
Sonstige Nicht-Wohngebäude	107	-	9.249	989
Insgesamt	1297	5028	5.129	6734

Umrechnungsfaktoren	
Kalksandstein	2000
Ziegel	1800
Porenbeton	650
Betonstein	1200
Ortbeton	2000
Betonfertigteil	2400
Holz	800
Gibskarton (nur 2007)	625

Tabelle 2: Baustoffverbrauch der erfassten Objekte (Neubau)

2006	Eigenheim		Mehrfamilienhaus		Nicht-Wohnbau (wohnähnlich)		Nicht-Wohnbau (Betriebsgelände)	
	[1.000 m³]	[%]	[1.000 m³]	[%]	[1.000 m³]	[%]	[1.000 m³]	[%]
Kalksandstein	11,4	11,5	14,4	20,2	17,5	8,9	20	4,4
Ziegel	20,8	20,9	4,6	6,4	9	4,6	8,4	1,9
Porenbeton	11,5	11,5	2,9	4,1	11,8	6	13,3	2,9
Betonstein	2,7	2,7	2,3	3,3	8,2	4,2	3,1	0,7
Ortbeton	37,8	37,9	34	47,6	98,9	50,3	330,9	73,4
Beton-fertigteil	9	9,1	11,5	16,2	48,7	24,8	70	15,5
Betongesamt	49,5	49,7	47,8	67,1	155,8	79,3	404	89,6
Holz	6,4	6,4	1,7	2,4	2,5	1,3	5,4	1,2
Insgesamt	99,7	100	71,5	100	169,6	100	451,1	100

Tabelle 3: Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [m³/1.000 m³], Eigenheim

	1995	**1999**	**2002**	**2004**	**2006**	**2007**
Kalksandstein	25,2	23,8	27,1	32,3	23,3	23,5
Ziegel	58,6	45,2	43,2	32,8	39	39,9
Porenbeton	12,2	10,7	13,3	16,2	22,7	19,1
Betonstein	14,7	20	18	15,9	5,6	7,4
Ortbeton	72,2	81	57,2	71,7	78	71,3
Betonfertigteil	8,5	16,1	36,4	17	18,8	20,4
Beton insgesamt	***95,4***	***117,1***	***111,6***	***104,6***	***102,4***	*99,2*
Holz	9	9,7	11,1	12,2	11,1	4,6
Gibskarton (nur 2007)						2,5
Insgesamt	200,5	206,5	206,1	198,1	197,4	188,7

Eigenheime - Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [kg / m³] (Berechnet nach Dichte)

	1995	**1999**	**2002**	**2004**	**2006**	**2007**
Kalksandstein	50,4	47,6	54,2	64,6	46,6	47
Ziegel	105,48	81,36	77,76	59,04	70,2	71,82
Porenbeton	7,9	7,0	8,6	10,5	14,8	12,4
Betonstein	17,64	24	21,6	19,08	6,72	8,88
Ortbeton	144,4	162	114,4	143,4	156	142,6
Betonfertigteil	20,4	38,64	87,36	40,8	45,12	48,96
Beton insgesamt (Summe der Einzelwerte))	**182**	**225**	**223**	**203**	**208**	**200**
Holz	7,2	7,76	8,88	9,76	8,88	3,68
Gibskarton (nur 2007)	0	0	0	0	0	1,5625
Insgesamt	**353**	**368**	**373**	**347**	**348**	**337**
Gesamt Mineralisch	346	361	364	337	339	332
Gesamt organisch	7,2	7,8	8,9	9,8	8,9	3,7

Tabelle 4: Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [m³/1.000 m³], Mehrfamilienhaus

Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [kg / m³], Mehrfamilienhaus

	1995	1999	2002	2004	2006	2007 fehlt
Kalksandstein	33,8	42,6	40,8	39,8	41,9	
Ziegel	33,1	23,2	21,2	19,2	13,9	
Porenbeton	8,5	17,5	20,4	17,3	9,4	
Betonstein	11,9	10,4	2,3	12,5	1,9	
Ortbeton	87,6	83,8	63,4	70,1	79,8	
Betonfertigteil	10,1	13,2	36,9	21,3	27,4	
Beton insgesamt	**109,6**	**107,4**	**102,6**	**103,9**	**109,1**	
Holz	5,7	6,5	9,2	6	5,1	
Insgesamt	190,7	197,3	194,1	186,1	179,3	

Tabelle 5: Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [m³/1.000 m³], Nicht-Wohnbau – wohnähnlich

	1995	1999	2002	2004	2006	2009
Kalksandstein	12,3	24,5	21,4	22,1	17,2	29,2
Ziegel	8,6	18,2	19,1	19,2	11,1	23,6
Porenbeton	13,1	5	9,7	10,9	11,3	8,3
Betonstein	1,6	7	7,9	7,2	4,1	2,9
Ortbeton	87,2	80,2	77,9	61,4	82,5	49,4
Betonfertigteil	12,4	15,2	18,7	35,1	35,1	50
Beton insgesamt	101,2	102,4	104,5	103,7	120	102,9
Holz	1	4,9	7,8	5,7	3,4	1,4
Insgesamt	136,2	154,9	162,3	161,6	164,7	165,4

Tabelle 6: Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [m³/1.000 m³], Nicht-Wohnbau – Betriebsgebäude

	1995	1999	2002	2004	2006	2009
Kalksandstein	14,1	26,9	11,9	16,1	6,4	10,4
Ziegel	5,3	6,8	13,5	13	5,1	9,6
Porenbeton	2,5	6,8	10,4	10,5	5,8	6,8
Betonstein	6,1	0,9	1,3	0,9	0,9	5,6
Ortbeton	89,3	70,8	66,8	60,1	84,6	52,7
Betonfertigteil	7,9	14,4	17,5	14	15,9	31,1
Beton insgesamt	103,3	86,1	85,6	75	101,4	89,4
Holz	2,5	2,5	5,8	5,5	3,5	5,2
Insgesamt	127,7	129	127,2	120,1	122,2	121,4

Tabelle 7: Spezifischer Baustoffeinsatz im Altbau [1.000 m³]

2006	Eigenheim	Mehrfamilienhaus	Nicht-Wohnbau – wohnähnlich	, Nicht-Wohnbau – Betriebsgebäude
Kalksandstein	8,7	5	9,2	4,2
Ziegel	26,9	8,2	8,9	4,8
Porenbeton	13,7	2,2	5,8	6,8
Betonstein	3,4	0	0,2	0,5
Ortbeton	39,7	8,1	21,4	25,3
Betonfertigteil	9	1,5	4,5	5,5
Beton gesamt	52,1	9,6	26,1	31,3
Holz	10,3	5,6	2,2	3,3
Insgesamt	111,6	30,7	52,1	50,5

	1995	**1999**	**2002**	**2004**	**2006**	**2007 fehlt**
Kalksandstein	67,6	85,2	81,6	79,6	83,8	
Ziegel	59,6	41,8	38,2	34,6	25,0	
Porenbeton	5,5	11,4	13,3	11,2	6,1	
Betonstein	14,3	12,5	2,8	15,0	2,3	
Ortbeton	175,2	167,6	126,8	140,2	159,6	
Betonfertigteil	24,2	31,7	88,6	51,1	65,8	
Beton insgesamt (Summe der Einzel	**213,7**	**211,8**	**218,1**	**206,3**	**227,6**	
Holz	4,6	5,2	7,4	4,8	4,1	
Gesamt Mineralisch	346	350	351	332	343	
Gesamt organisch	4,6	5,2	7,4	4,8	4,1	

Tabelle 5: Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch kg / m³], Nicht-Wohnbau – wohnähnlich

	1995	**1999**	**2002**	**2004**	**2006**	**2009**
Kalksandstein	24,6	49,0	42,8	44,2	34,4	58,4
Ziegel	15,5	32,8	34,4	34,6	20,0	42,5
Porenbeton	8,5	3,3	6,3	7,1	7,3	5,4
Betonstein	1,9	8,4	9,5	8,6	4,9	3,5
Ortbeton	174,4	160,4	155,8	122,8	165,0	98,8
Betonfertigteil	29,8	36,5	44,9	84,2	84,2	120,0
Beton insgesamt (Summe der Einzelwerte))	206,1	205,3	210,2	215,7	254,2	222,3
Holz	0,8	3,9	6,2	4,6	2,7	1,1
Insgesamt						
Gesamt Mineralisch	255	290	294	302	316	329
Gesamt organisch	0,8	3,9	6,2	4,6	2,7	1,1

Tabelle 6: Neubau – Spezifischer Baustoffverbrauch [kg / m³], Nicht-Wohnbau – Betriebsgebäude

	1995	**1999**	**2002**	**2004**	**2006**	**2009**
Kalksandstein	28,2	53,8	23,8	32,2	12,8	20,8
Ziegel	9,5	12,2	24,3	23,4	9,2	17,3
Porenbeton	1,6	4,4	6,8	6,8	3,8	4,4
Betonstein	7,3	1,1	1,6	1,1	1,1	6,7
Ortbeton	178,6	141,6	133,6	120,2	169,2	105,4
Betonfertigteil	19,0	34,6	42,0	33,6	38,2	74,6
Beton insgesamt (Summe der Einzelwerte))	204,9	177,2	177,2	154,9	208,4	186,8
Holz	2,0	2,0	4,6	4,4	2,8	4,2
Insgesamt						
Gesamt Mineralisch	244	248	232	217	234	229
Gesamt organisch	2,0	2,0	4,6	4,4	2,8	4,2

Tabelle 7: Spezifischer Baustoffeinsatz im Altbau kg / m³

2006	Eigenheim	Mehrfamilienhaus	Nicht-Wohnbau – wohnähnlich	, Nicht-Wohnbau – Betriebsgebäude
Kalksandstein	17,4	10,0	18,4	8,4
Ziegel	48,4	14,8	16,0	8,6
Porenbeton	8,9	1,4	3,8	4,4
Betonstein	4,1	0,0	0,2	0,6
Ortbeton	79,4	16,2	42,8	50,6
Betonfertigteil	21,6	3,6	10,8	13,2
Beton insgesamt (Summe der Einzelwerte))				
Holz	8,2	4,5	1,8	2,6
Insgesamt				
Gesamt Mineralisch	180	46	92	86
Gesamt organisch	8,2	4,5	1,8	2,6

Anhang 7-6: Zusammenfassung der MKZ hinsichtlich INSPIRE

INSPIRE			-1918			1919-1945			1946-1976			1977-1996			1997-			Unbekannte Baualtersklassen (Median der Jahresklassenwerte)			Interpolation von Daten
Maintype	Sub-Type	Sub-Sub-Type	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	Mineral	Organic	Metal	
residential			390	19	2,8	410	13	4,6	430	6,5	7	430	6,7	6,8	380	10	15	410	10	6,8	
	individual residence		437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	388	16,0	17,91	437	18	20,53	
	collective residence		430	17,0	0,39	475	7,0	12,04	453	7,0	26,19	477	5,0	32,55	470	10,0	28,95	470	7	26,19	"more than 2 Dewllings"-Werte
		two Dwellings	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	437	18,0	20,53	388	16,0	17,91	437	18	20,53	Werte von "individual residence" - bei Gruhler et. al. (Ein- und Zweifamilienhäuser)
		more than two Dewllings	430	17,0	0,39	475	7,0	12,04	453	7,0	26,19	477	5,0	32,55	470	10,0	28,95	470	7	26,19	
	residence for communities		430	17,0	0,39	475	7,0	12,04	453	7,0	26,19	477	5,0	32,55	470	10,0	28,95	470	7	26,19	Werte von "collective residence"
agriculture												280	9	15	280	9	15	280	9	15	
industrial			280	5,8	8,8	320	28	5,8	340	7,6	13	310	5	21	310	5	21	310	5,8	13	Ab 1977 Verwendung der werte von Gruhler et. al. 2011
commerce and service			430	3,7	4,3	340	7,1	6	350	7,6	5,7	380	1	13	320	5,7	10	350	5,7	6	
	office											426	18	26	426	18	26	426	18	26	
	trade																				commerce and service Werte
	public services											444	17,5	25,00	444	17,5	25,00	443,5	17,5	25	Mittelwerte aus "Sports and Multipurpose" und "schools"
ancillary																					
New INSPIRE Types																					
industrial	**parkdecks**											662	1	52	662	1	52	662	1	52	
	underground parking											1065	4	56	1065	4	56	1065	4	56	
	warehouse											305	4	24	305	4	24	305	4	24	
commerce and service	**public services**																				
		sport and multipurpose halls										349	17	18	349	17	18	349	17	18	
		schools										538	18	32	538	18	32	538	18	32	

Quellen:

[1] Quelle: Kleemann, Fritz; Lederer, Jakob; Rechberger, Helmut; Fellner, Johann (2016)

[2] Quelle: Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden. Verfahrensschritte zur

[3] 2007 Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.
Der spezifische Baustoffverbrauch im Hochbau
Erhebungen zur Baustoff-Massenermittlung

[4] Deilmann, Clemens; Krauß, Norbert; Gruhler, Karin (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau. Endbericht Stand 17. Juli 2014. BBSR; BBR

Info:

Mediane [kg/m³ BRI] auf zwei signifikante Stellen gerundet ('-' = Keine Daten)
BRI mit Keller und Dachgeschossen

[5] Quelle: Gruhler, Karin; Böhm, Ruth (2011): Auswirkungen des demografischen Wandels auf das Stofflager und die Stoffflüsse des Wohngebäudebestandes - Deutschland 2050. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (Reihe Wissenschaft, 25).

Interpolierte oder anderweitig zugeordnete Werte

Anhang
7-7

Quelle: Gruhler, Karin; Deilmann, Clemens (2015): Materialaufwand von Nichtwohngebäuden. Verfahrensschritte zur Abbildung der Ressourceninanspruchnahme des Nichtwohnbau-Bestandes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Reihe Wissenschaft, 45).

Die Auswertung basiert auf Daten der BKI. Im Rahmen der Studie findet weiter eine Auswertung hinsichtlich der Bauteilgruppen (Gründung, Außen- und Innenwände, Decken und Dächern) statt.

Definitionen nach DIN 277

Baualter der Gebäude		1976 bis 2006		1990 bis 2009		1976 bis 2010		1977 bis 2009		1980 bis 2010		1992 bis 2003		1975 bis 1993		1979 bis 2004	
Typologie nach Gruhler & Deilmann		**Büro- und Verwaltungsgebäude**		**Allgemeinbildende Schulen**		**Sport- und Mehrzweckhallen**		**Produktionshallen**		**Lagerhallen**		**Landwirtschaftliche Hallen**		**Tiefgaragen**		**Parkhäuser und Parkdecks**	
Typologie Zuordnung INSPIRE		**commerce and service**	**office**	**commerce and service**	**public services**	**commerce and service**	***public services***	**industrial**		**industrial**	***x**	**aggriculture**		**ancillary**	***x**	**ancillary**	***x**
		in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**	in t/BRI	**in kg/BRI**
Mineralisch		0,426	**426**	0,538	**538**	0,349	**349**	0,31	**310**	0,305	**305**	0,28	**280**	1,065	**1065**	0,662	**662**
	Putze, Estriche, Mörtel	0,055	**55**	0,062	**62**	0,027	**27**	0,022	**22**	0,012	**12**	0,002	**2**	0,057	**57**	0,064	**64**
	Betone	0,237	**237**	0,314	**314**	0,163	**163**	0,145	**145**	0,134	**134**	0,094	**94**	0,699	**699**	0,507	**507**
	Mauersteine	0,063	**63**	0,115	**115**	0,043	**43**	0,013	**13**	0,014	**14**	0,005	**5**	0,023	**23**	0,016	**16**
	Bauplatten	0,004	**4**	0,003	**3**	0,002	**2**	0,001	**1**	0,001	**1**	0,001	**1**		**0**		**0**
	Dachdeckungen*(2)	0,001	**1**	0,003	**3**	0,002	**2**		**0**		**0**		**0**		**0**		**0**
	Sonstige. Stoffe, Schüttungen *(3)	0,066	**66**	0,041	**41**	0,112	**112**	0,129	**129**	0,144	**144**	0,178	**178**	0,286	**286**	0,075	**75**
Organisch		0,018	**18**	0,018	**18**	0,017	**17**	0,005	**5**	0,004	**4**	0,009	**9**	0,004	**4**	0,001	**1**

Anhang

	Holz, Holzwerkstoffe	0,01	**10**	0,007	**7**	0,008	**8**	0,001	**1**	0	**0**	0,007	**7**		**0**		**0**
	Wärmedämmstoffe *(1)	0,008	**8**	0,011	**11**	0,009	**9**	0,004	**4**	0,004	**4**	0,002	**2**		**0**		**0**
	Beläge, Dichtungen	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0,004	**4**	0,001	**1**
Metalle		0,026	**26**	0,032	**32**	0,018	**18**	0,021	**21**	0,024	**24**	0,015	**15**	0,056	**56**	0,052	**52**
	Metalle	0,026	**26**	0,032	**32**	0,018	**18**	0,021	**21**	0,024	**24**	0,015	**15**	0,056	**56**	0,052	**52**
Sonstige																	
	Sonstige	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**	0	**0**
Gesamt		0,47	**470**	0,588	**588**	0,384	**384**	0,336	**336**	0,333	**333**	0,304	**304**	1,125	**1125**	0,715	**715**

	85 Objekte, vorwiegend aus den Bundesländern: Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen	33 Objekte, vorwiegend aus Baden-Württemberg	48 Objekte, vorwiegend aus Baden-Wüttemberg und Bayern	47 Objekte, vorwiegend aus Baden-Wüttemberg und Bayern	19 Objekte, vorwiegend aus Bayern	7 Objekte	9 Objekte	4 Objekte
Analysemenge	54 von 85	8 von 33	26 von 48	31 von 47	12 von 19	7 von 7	9 von 9	3 von 4

*(1): Zuordnung der Materialgruppe ist nicht 100% eindeutig, Teile der BKI-Untergruppen fallen auch in die Fraktion Mineralisch

*(2): Zuordnung der Materialgruppe ist nicht 100% eindeutig, Teile der BKI-Untergruppen fallen auch in die Fraktion Organisch (Stroh, Holzschindel)

*(3): Überwiegend mieralische Baustoffe

*x: An dieser Stelle wird deutlich warum für Materialbetrachtungen eine Erweiterung der INSPIRE Codelisten notwendig erscheint. Die Materialinventare unterscheiden sich an einigen Stellen deutlich. Diese werden in der Typologie derzeit nicht abgedeckt.

Anhang 7-8: PRRIG Gebäudetypologie mit Kodierung

PRRIG Gebäudetypologie mit Kodierung (Schebek, et al. 2016a)

PRRIG Gebäudetypologie			
Nr.	Typ(Nutzung)	Unter-Nr.	Unterkategorie
100	Büro- und Verwaltungsgebäude		
		110	Verwaltungsgebäude
		120	Banken
		130	Bürogebäude
200	Fabrik- und Werkstattgebäude		
		210	Industrielle Produktions-/ Fabrikgebäude
		220	Betriebs-/ Werkstattgebäude
		230	Kasernen
300	Handelsgebäude		
		310	Lebensmittel
		320	Non-Food
		330	Shoppingcenter
		340	Markt-/ Messehallen
400	Lagergebäude		
		410	Speditionsgebäude
		420	Warenlager (Hochlager)
		430	Lagerhalle, Lagerschuppen
		440	Parkhäuser
		450	Sonstiges (u.a. Tankstellen, Treibstofflager)
500	Gastgewerbegebäude		
		510	Hotellerie
		520	Gastronomie (Freistehend)/ Raststätten
		540	Kantinen / Mensen
600	Bildungs- und Forschungsgebäude		
		610	Instituts-/ Laborgebäude
		620	Kindertagesstätten
		630	Schulen
		640	Hochschulen
		650	Bibliotheken
700	Verkehrsgebäude		
		710	Flughäfen
		720	Bahnhöfe
800	Heilgebäude		
		810	Krankenhäuser
		820	Pflegehäuser
900	Sportanlagen		
		910	Sporthallen
		920	Schwimmhallen
1000	Gebäude zur Ver- und Entsorgung		
		1010	Kläranlagen

		1020	Energieversorgung (Strom)
		1030	Wasserversorgung
		1040	Medienerzeugende Gebäude
1100	Landwirtschaftliche Gebäude		
9998	Sonstige Nichtwohngebäude (keine Unterkategorie)		
9999	Wohngebäude (keine Unterkategorie)		

Benjamin Schnitzer

Von: Gruber, Ulrich <Ulrich.Gruber@kreis-re.de>
Gesendet: Dienstag, 21. März 2017 15:01
An: Benjamin Schnitzer
Betreff: AW: Mapping-Tabelle CityGML - INSPIRE BU - <current use>

Kennzeichnungsstatus: Gekennzeichnet

Hallo Herr Schnitzer,

vielen Dank für Ihre Rückfrage. Dazu folgende Antworten:

- Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV) hat die Mappingtabelle in Auftrag gegeben um festzustellen ob ihre Vorgaben zu 3D-Gebäudemodellen eine Transformation nach INSPIRE grundsätzlich ermöglichen.
- Eine bundesweit standardisierte Zuordnung der Attributwerte (AX_Gebauedefunktion zu INSPIRE CurrentUse) gibt es jedoch nicht.
- Das Land Bayern hat in einem Pilotprojekt eine solche Transformation prototypisch mit der FME-Schnittstelle zur CityGML-ADE umgesetzt. Ansprechpartner dort ist Herr Dr.-Ing. Andreas Donaubauer. Auch in diesem Projekt wurde die Attributzuordnung nur beispielhaft umgesetzt. Damit war, aufbauend auf der Mappingtabelle, die grundsätzliche Machbarkeit auch praktisch nachgewiesen.
- Eine bundesweite Standardisierung, wie in Ihrem Dokument vorgeschlagen, liegt in der Zuständigkeit der AdV. Dazu gibt es Arbeitsgruppen, die nach meiner Kenntnis aber bisher keine Ergebnisse geliefert haben. Ansprechpartner dazu ist zunächst der Leiter des AK GT, Herr Osterholt. Da INSPIRE eine Querschnittsaufgabe ist existiert zu der Thematik eine spezielle Arbeitsgruppe. Die Zuständigkeit kann Ihnen Herr Osterholt sicher nennen.
- Aus meine Sicht ist es ein schwieriges und langwieriges Unterfangen eine bundesweit einheitliche Zuordnung festzulegen. Ich habe es bereits in der PG 3D-Geobasisdaten, einer PG des AK GT angeregt. Dazu sind aber AdV-Beschlüsse erforderlich, die vorbereitet werden müssen und nicht kurzfristig zu erreichen sein werden.

Ich hoffe Ihnen mit diesen Antworten ein wenig weiter geholfen zu haben.

Mit freundlichen Grüßen
i.A. Ulrich Gruber

Fachdienst 62 - Kataster und Geoinformationen -

Kreisverwaltung Recklinghausen
Kreishaus
Kurt-Schumacher-Allee 1
45657 Recklinghausen

Telefon: +49 (2361) 53 4070
Fax: +49 (2361) 53 68 4070
E-Mail: Ulrich.Gruber@kreis-re.de
Internet: http://www.Vestischer-Kreis.de

KREIS RECKLINGHAUSEN
DER VESTISCHE KREIS

Von: Benjamin Schnitzer [mailto:schnitzer@geod.tu-darmstadt.de]
Gesendet: Dienstag, 21. März 2017 11:22
An: Gruber, Ulrich
Betreff: Mapping-Tabelle CityGML - INSPIRE BU - <current use>

Guten Tag Herr Gruber,

als Autor der Mapping-Tabelle für AAA-CityGML1.0, welche auf der AdV Seite verlinkt ist hoffe mit Ihnen den richtigen Ansprechpartner für meine Frage/Initiative gefunden zu haben.

Im Kontext der INSPIRE Datentransformation beschäftige ich mich vor allem mit Gebäudetypologien in bestehenden Geodatensätzen und INSPIRE. Bisher ist mir nur Ihre Tabelle als Mapping-Vorlage von AAA nach INSPIRE bekannt. Eine konkrete Zuordnung der Attributwerte AX_Gebauedefunktion & INSPIRE CurrentUse konnte ich jedoch bisher leider nicht finden.

Meine Frage daher, ist Ihnen bekannt ob es bereits entsprechende Bestrebungen gegeben hat hier ein einheitliches Mapping vorzunehmen?

Die Zuordnung gestaltet sich aus meiner Sicht an einigen Stellen eher schwierig. Ich habe mir beide Codelisten zur Hand genommen und einen (natürlich persönlich geprägten) Entwurf einer Zuordnung durchgeführt, veröffentlicht und zur Kommentierung freigegeben als Google-Sheet:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1S-eILDmg5TYN3kab4Xa7mX_pGPeawJykmEN-Jb3J0aY/edit#gid=431551705

Ich habe zudem im GDI-DE Wiki eine Unterseite angelegt, die oben verlinke Tabelle werde ich an dieser Stelle zur Diskussion ergänzen.
https://wiki.gdi-de.org/pages/viewpage.action?pageId=291274766&focusedCommentId=292749352#comment-292749352

Über einen fachlichen Austausch und/oder Anmerkungen würde ich mich freuen,

Viele Grüße
Benjamin Schnitzer

Benjamin Schnitzer

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Institut für Geodäsie
Fachgebiet Landmanagement
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt
geo:49.8620,8.6789?z=16

Tel.: +49 (0)6151 16 - 21960
Fax: +49 (0)6151 16 – 21963
Mobil: +49 (0)172 8325339
Email: schnitzer@geod.tu-darmstadt.de

Anhang 8-1 Mappingtabelle INSPIRE-BU Current-Use und ALKIS Hessen (Erweitertes UM Profil)

ALKIS CODE	Bezeichner	Beschreibung	INSPIRE _Main	INSPIRE _Sub	INSPIRE _Sub_2	Kommentar	Registry Codelist
1000	**Wohngebäude**	'Wohngebäude' ist ein Gebäude, das zum Wohnen genutzt wird.	residential				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/residential
2000	**Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe**	Gebäude für 'Wirtschaft oder Gewerbe' ist ein Gebäude, das der Produktion von Waren, der Verteilung von Gütern und dem Angebot von Dienstleistungen dient.	industrial / commerce and service			unklar, kann beides - hier Zuordnung Commerce and Service	http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/commerceAndServices
2073	**Hütte (mit Übernachtungsmöglichkeit)**	Hütte (mit Übernachtungsmöglichkeit)' ist ein Gebäude außerhalb von Ortschaften, meist in den Bergen, in dem Menschen übernachten und Schutz suchen können.	ancillary				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/ancillary
2211	**Windmühle**	Windmühle' ist ein Gebäude, dessen wesentlicher Bestandteil die an einer Achse befestigten Flächen (Flügel, Schaufeln) sind, die von der Windkraft in Drehung versetzt werden. Sie dient zum Mahlen von Getreide, zum Pumpen von Wasser oder zur Erzeugung von Strom.	industrial				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/industrial
2460	**Gebäude zum Parken**		-			Urban Mining Type	http://www.urban-mining-kataster.de/codelist/CurrentUseValue/industrial/parkdecks
2461	**Parkhaus**	Parkhaus' ist ein Gebäude, in dem Fahrzeuge auf mehreren Etagen abgestellt werden.	-			Urban Mining Type	http://www.urban-mining-kataster.de/codelist/CurrentUseValue/industrial/parkdecks
2465	**Tiefgarage**	Tiefgarage' ist ein Bauwerk unter der Erdoberfläche, in dem Fahrzeuge abgestellt werden	-			Urban Mining Type	http://www.urban-mining-kataster.de/codelist/CurrentUseValue/industrial/underground_parking
2512	**Pumpstation**	Pumpstation' ist ein Gebäude an einem Rohrleitungssystem, in dem eine oder mehrere Pumpen eingebaut sind.	industrial				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/industrial
2513	**Wasserbehälter**	Wasserbehälter' ist ein Gebäude, in dem Wasser gespeichert wird, das zum Ausgleich der Differenz zwischen Wasserzuführung und -abgabe dient.	industrial				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/industrial
2523	**Umformer**	Umformer' ist ein kleines Gebäude in dem ein Transformator zum Umformen von Gleichstrom in Wechselstrom oder von Gleichstrom in Gleichstrom anderer Spannung untergebracht ist.	industrial				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/industrial
2700	**Gebäude für Land- und Forstwirtschaft**	Gebäude für Land- und Forstwirtschaft' ist ein Gebäude, das land- und forstwirtschaftlichen Zwecken dient.	aggriculture				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/agriculture
2740	**Treibhaus, Gewächshaus**	Treibhaus, Gewächshaus' ist ein Gebäude mit lichtdurchlässigem Dach und Wänden, das durch künstliche Klimagestaltung der Aufzucht oder Produktion von Pflanzen dient.	aggriculture				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/agriculture
3000	**Gebäude für öffentliche Zwecke**	Gebäude für öffentliche Zwecke' ist ein Gebäude das der Allgemeinheit dient.	commerce and service	public services			http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices
3010	**Verwaltungsgebäude**	Verwaltungsgebäude' ist ein Gebäude, in dem Verwaltungstätigkeiten durchgeführt werden.	commerce and service	public services			http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices
3031	**Schloss**	Schloss' ist ein Gebäude, das als repräsentativer Wohnsitz vor allem des Adels dient oder diente.	residential				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/residential
3038	**Burg, Festung**	Burg, Festung' ist ein Gebäude innerhalb einer befestigten Anlage.	commerce and service				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/commerceAndServices
3040	**Gebäude für religiöse Zwecke**		commerce and service	public services			http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices
3041	**Kirche**	Kirche' ist ein Gebäude, in dem sich Christen zu Gottesdiensten versammeln.	commerce and service	public services			http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices
3043	**Kapelle**	Kapelle' ist ein kleines Gebäude (Gebets-, Tauf-, Grabkapelle) für (christliche) gottesdienstliche Zwecke.	commerce and service	public services			http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices
3051	**Krankenhaus**	Krankenhaus' ist ein Gebäude, in dem Kranke behandelt und/oder gepflegt werden.	commerce and service	public services			http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/publicServices
3281	**Schutzhütte**	Schutzhütte' ist ein Gebäude zum Schutz vor Unwetter.	ancillary				http://inspire.ec.europa.eu/codelist/CurrentUseValue/ancillary
	Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren	Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren' bedeutet, dass keine Aussage über die Werteart gemacht werden kann.	?			unklar	
Anmerkung:							

Lagergebäude, Schulen und Sport- und Mehrzweckhalle konnten zwar basierend auf den MKZ als neue INSPIRE Gebäudetypen eingeführt werden, es fanden sich jedoch leider keine äquivalenten Typen in der ALKIS Typisierung im Bundeland Hessen.

Ende.