

Der städtische Untergrund als Rohstoffmine?

Potential an Sekundär-
ressourcen in der
erdverlegten Infrastruktur

U. Kral
A. Allesch
H. Rechberger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

27/2017

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Der städtische Untergrund als Rohstoffmine?

Potential an Sekundärressourcen
in der erdverlegten Infrastruktur

Dipl. Ing. Dr. techn. Ulrich Kral

Dipl. Ing. Astrid Allesch

Univ. Prof. Dr. techn. Dipl. Ing. Helmut Rechberger

Technische Universität Wien
Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement

Wien, Februar 2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform www.HAUSderZukunft.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
Abstract.....	2
1 Einleitung.....	3
1.1 Aufgabenstellung.....	3
1.1.1 Ausgangssituation	3
1.1.2 Ziel und Umfang der Studie.....	5
1.2 Stand der Technik.....	6
1.2.1 Anthropogene Materialbestände.....	7
1.2.2 Georeferenzierte Materialbestände	9
1.3 Verwendete Methoden.....	11
1.3.1 Systemdefinition.....	11
1.3.2 Vorgangsweise.....	12
2 Ergebnisse	14
2.1 Datenbedarf für die Erstellung eines Ressourcenkatasters.....	14
2.2 Datenbestand zur erdverlegten Netzinfrastruktur.....	16
2.2.1 Überblick und Metadaten zur Netzinfrastruktur.....	16
2.2.2 Erfassung der Ressourcen in Testgebieten.....	24
2.3 Machbarkeit eines Ressourcenkatasters.....	39
2.3.1 Generierung	40
2.3.2 Bereitstellung	44
2.3.3 Zusammenführung	44
3 Schlussfolgerungen.....	46
3.1 Fachliche Einschätzung.....	46
3.2 Relevanz der Ergebnisse für ausgewählte Zielgruppen	47
4 Ausblick und Empfehlungen	49
5 Verzeichnisse	50
5.1 Abbildungsverzeichnis	50
5.2 Tabellenverzeichnis	51
5.3 Literaturverzeichnis.....	52
Anhang A	58
Anhang B	61

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Der städtische Bergbau (Urban Mining) versteht Gebäude, Infrastrukturen und Deponien (Landfill Mining) als Reservoir für die Produktion von Sekundärrohstoffen. Die Infrastrukturen für Energie, Wasser und Information stellen ein beträchtliches, aber wenig bekanntes Rohstoffpotential dar. Ein Ressourcenkataster würde die Materialbestände nach Art, Menge und Nutzungszustand verorten und damit eine Grundlage für die wirtschaftliche und ökologische Beurteilung der Rohstoffpotentiale liefern.

Inhalte und Zielsetzungen

Ziel der Studie ist die Beurteilung, ob ein Ressourcenkataster für erdverlegte Ver- und Entsorgungsnetzwerke (Elektrizität, Telekommunikation, Trinkwasser, Abwasser, Gas sowie Fernwärme und –kälte) in Österreichs Stadtregionen mit vertretbarem Aufwand machbar ist.

Methodische Vorgehensweise

Um das Ziel zu erreichen, werden (1) der Datenbedarf für die Erstellung eines Ressourcenkatasters definiert, (2) der Datenbestand zu der erdverlegten Netzinfrastruktur in Österreich erhoben sowie städtische Testgebiete ausgewählt, um anhand der Auswertung konkreter Daten den Aufwand für die Erststellung eines Ressourcenkatasters abzuschätzen, und (3) die Ergebnisse aus Datenbedarf und –bestand gegenübergestellt, um die Machbarkeit eines Ressourcenkatasters zu beurteilen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse in den Testgebieten zeigen, dass bei den meisten Netzbetreibern ein betrieblicher Ressourcenkataster mit vertretbarem Aufwand machbar ist. Dieser erlaubt die Entwicklung einer integrierten Instandhaltungs- und Rückbaustrategie und leistet somit einen Beitrag zur lebenszyklusorientierten Bewirtschaftung von Netzinfrastrukturen. Für die Umsetzung eines nationalen Ressourcenkatasters mit den Stadtregionen im Fokus müssen die Daten der betrieblichen Ressourcenkataster aggregiert und zusammengeführt werden. Dies unterstützt eine nationale Rohstoffplanung in ihrem Bemühen primäre und sekundäre Rohstoffe sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch optimal zu nutzen.

Ausblick

Die Studie zeigt, dass die relevanten Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Beurteilung der Ressourcenpotentiale in der erdverlegten Netzinfrastruktur geschaffen werden können. Damit könnten in Kooperation mit ausgewählten Netzbetreibern die Hotspots zur aktuellen wie auch zur zukünftigen Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus dem Leitungsnetz identifiziert und in einem Ressourcenkataster dargestellt werden.

Abstract

Starting point/Motivation

Buildings, infrastructure and landfills pose reservoirs for the production of secondary raw materials. The underground networks for energy, water and communication cover a significant but unknown resource potential. A resource cadaster is a tool that provides the georeferenced information about the type and mass of materials and their operational status. This information facilitates the economic assessment of resource potentials.

Contents and Objectives

The goal of the study is to assess the feasibility and efforts to develop a resource cadaster for underground networks such as for electricity, gas, water, wastewater, far-distance heating and telecommunication. The focus is on urban regions in Austria.

Methods

To achieve the goals, three steps are carried out: (1) Defining the information need to develop a resource cadastre. (2) Investigating the availability of relevant information in Austria and demonstrate the effort for developing a resource cadastre in selected study areas. (3) Systematic comparison of information need and availability in order to assess the feasibility and effort to develop a resource cadastre.

Results

The results demonstrate the feasibility and acceptable effort to develop a resource cadastre on the network operator level in the case study regions. This facilitates an integrated maintenance and recovery strategy on operator level and contributes to a lifecycle-oriented management of infrastructure. Data from operational cadastres need to be merged in order to create a resource cadastre on national level with a focus on urban regions. This facilitates national resource planning oriented towards the integration of primary and secondary resources.

Prospects / Suggestions for future research

The study shows the creation of the material inventories for underground networks as a prerequisite for an economic assessment of the resource potentials. This allows the identification of hotspots in the grid to gain secondary raw materials and to map them with a resource cadaster. The implementation of a resource cadaster requires the cooperation with the network operators as key stakeholders for data provision and the development of integrated maintenance and recovery strategies.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

1.1.1 Ausgangssituation

In Österreich hat sich der Materialkonsum von mineralischen Rohstoffen¹ von 9 Tonnen pro Einwohner und Jahr (t/EW.a) im Jahr 1960 auf 14 t/EW.a im Jahr 2012 erhöht. Bei Metallen hat sich die Importabhängigkeit im gleichen Zeitraum von 40% auf 90% erhöht (BMWFW 2015b). Potentielle Verknappungen in der Versorgung entstehen durch handels- und geopolitische Faktoren. Bei den Baurohstoffen, die in zu überwiegender Teil auf Inlandsproduktion zurückzuführen sind, stellt weniger die geologische Verfügbarkeit als die Konkurrenz bei der Raumnutzung potentieller Lagerstätten eine Verknappung in der Rohstoffversorgung dar. Die Verfügbarkeit von Rohstoffen ist für die österreichische Industrie und Bauwirtschaft essentiell und wird zunehmend ein Standort- und Wettbewerbsfaktor für Volkswirtschaften. Um die Verfügbarkeit sicherzustellen hat das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW) eine **österreichische Rohstoffstrategie** entwickelt, die in Analogie zur EU-Rohstoffstrategie auf 3 Säulen beruht (BMWFW 2016):

1. Säule: Sicherung des langfristigen Zugangs zu heimischen Lagerstätten durch raumordnerische Maßnahmen.
2. Säule: Sicherung eines fairen und diskriminierungsfreien Zugangs zu mineralischen Rohstoffen auf den Weltmärkten.
3. Säule: Schonung von primären Ressourcen und effizienter Umgang mit Rohstoffen durch Steigerung der Ressourceneffizienz und Verbesserung des Recyclings.

Die 3. Säule wird im **Ressourceneffizienz Aktionsplan** des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) behandelt, welcher im Jahr 2012 erschienen ist (BMLFUW 2012). Die „Maßnahme 6“ zielt auf die **„Nutzung der anthropogenen Lager (Urban Mining)“** als potentielle, inländische Rohstoffquelle ab. „Anthropogene Lager“ sind Anreicherungen von Materialien in der Anthroposphäre. Sie finden sich sowohl in der Nutzungsphase (Gebäude, Infrastrukturen, Konsumgüter) als auch in der Abfallwirtschaft (Halden und Deponien) (Abbildung 1).

¹ Mineralische Rohstoffe = Metalle + nicht-metallische Rohstoffe.

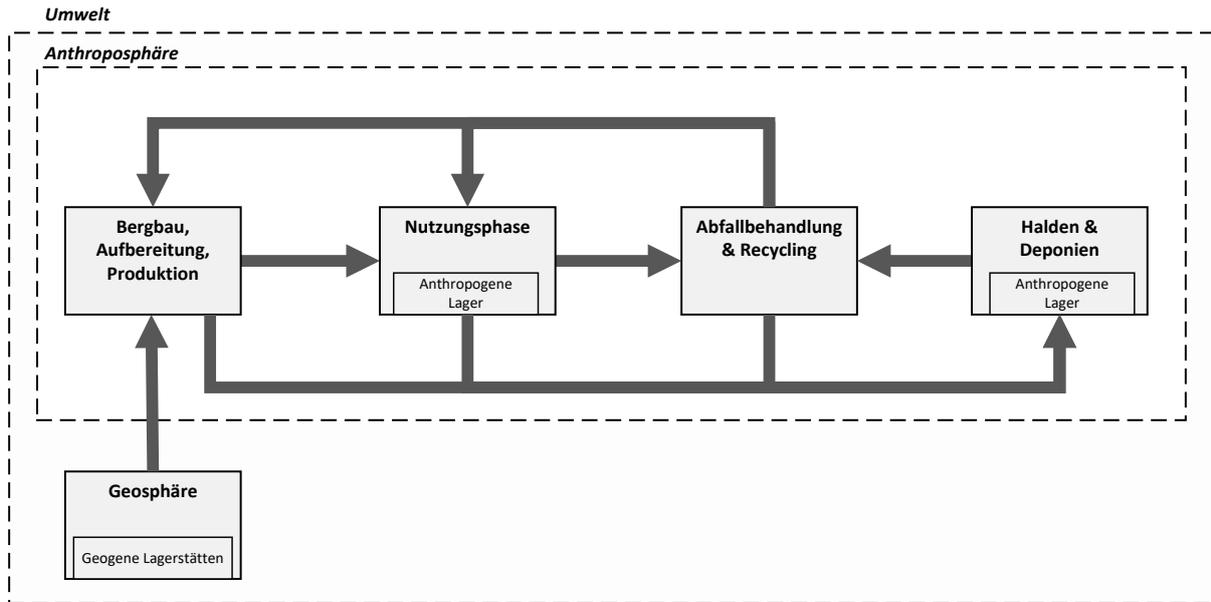


Abbildung 1: Systemdefinition zum anthropogenen Ressourcenhaushalt.

Für die Abschätzung des Ressourcenpotentials ist das Wissen um die Verfügbarkeit der Materialien im Sinne von „**Ressourcen**“ und „**Reserven**“ entscheidend. Die „Ressourcen“ und „Reserven“ sind Mengenangaben über die Materialvorkommen (Abbildung 2). Die „Ressourcen“ sind die Gesamtmenge aller vorhandenen Materialien, wobei diese nach der Wahrscheinlichkeit des Vorkommens in „nachgewiesen“, „vermutet“ und „hypothetisch bzw. spekulativ“ eingeteilt werden können. Die „Reserven“ sind eine Teilmenge der „Ressourcen“ und bezeichnen jene Materialmengen die nachgewiesen oder vermutet werden und unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gewinnbar sind.

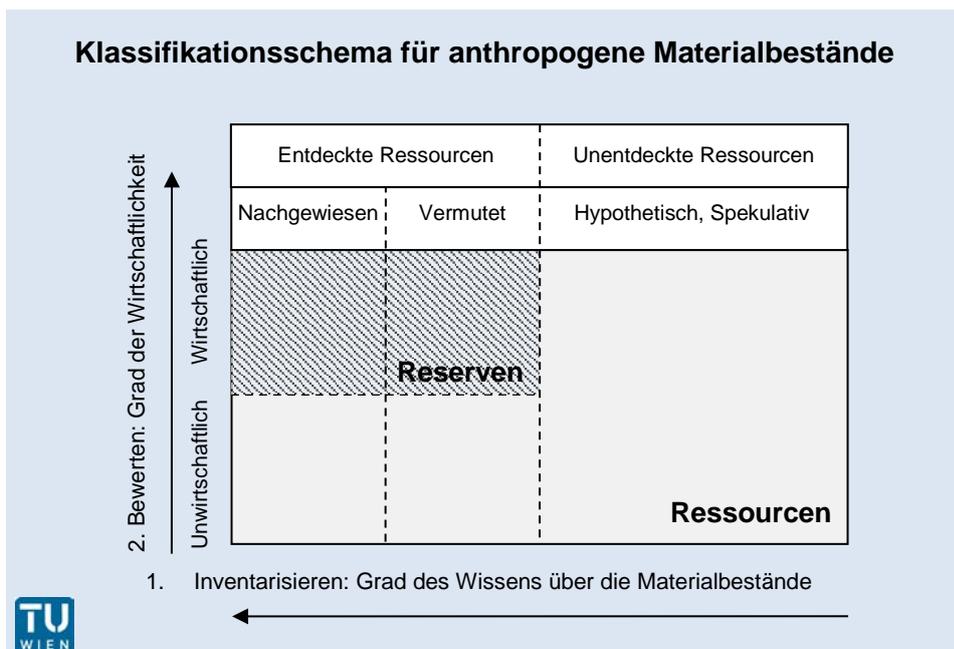


Abbildung 2: Das Klassifikationssystem nach McKelvey ist der konzeptionelle Rahmen um die Verfügbarkeit von Materialien in (geogenen) und anthropogenen Lagern beurteilen zu können. Die Abbildung ist gegenüber dem Original von McKelvey et al. (1976) eine Vereinfachung und wurde von den Studienautoren übersetzt.

Um eine Klassifizierung nach „Ressourcen“ und „Reserven“ vornehmen zu können sind eine Inventarisierung und wirtschaftliche Bewertung der Materialbestände erforderlich.

Eine **Inventarisierung** charakterisiert die vorhandenen Materialbestände. Bisherige Studien für Österreich zeigen, dass in Gebäuden, Infrastrukturen und Deponien rund 260 Tonnen je Einwohner (t/EW) an Materialien vorhanden sind (Daxbeck et al. 2009). Dabei entfallen 52% der Menge auf Infrastrukturen², 46% auf Gebäude und 3% auf Deponien. Der Massenanteil aller Materialien in der erdverlegten Infrastruktur beträgt rund 1% (3 t/EW). In Bezug auf Kupfer wird die Gesamtmenge auf 260 bis 270 t/EW geschätzt, der Anteil der erdverlegten Netzwerke auf rund 40% bzw. 26 t/EW des gesamten Kupferbestandes (Döberl et al. 2004, Daxbeck et al. 2006). Im Sinne von Abbildung 2 werden diese Materialmengen als „vermutet“ oder „hypothetisch“ eingestuft, nicht aber als „nachgewiesen“ (Wissenslücke 1). Um die Verfügbarkeit der Ressourcen beurteilen zu können, müssen die im Inventar ausgewiesenen Materialbestände aber dem tatsächlichen Bestand vor Ort entsprechen und somit als „nachgewiesen“ gelten. Für den Nachweis muss sich die Erstellung des Inventars deshalb auf Daten stützen, die auf eine Direkterhebungen des Bestandes zurückgehen. Neben der Nachweisbarkeit spielen für die Verfügbarkeit auch der aktuelle und zukünftige Nutzungszustand (genutzt/ungenutzt) und die Verortung der Materialien (Georeferenzierung der Materialbestände) eine entscheidende Rolle. Sie geben darüber Auskunft, wo die Materialien liegen und ob eine Zugriffsmöglichkeit besteht. In Österreich wurden die Ressourcen in der erdverlegten Netzinfrastruktur bis dato noch nicht nach ihrem Nutzungszustand erhoben (Wissenslücke 2) und verortet (Wissenslücke 3). Das Füllen der drei Wissenslücken ist Voraussetzung, um eine wirtschaftliche Bewertung der Ressourcen vornehmen zu können.

Bei der **Bewertung** der Ressourcen wird jene Teilmenge bestimmt, deren Gewinnung und Absatz auf den Rohstoffmärkten als profitabel bzw. nicht profitabel gilt. Die dafür erforderlichen Berechnungsgrundlagen stützen sich auf betriebswirtschaftliche Daten jeweiliger Netzbetreiber und können als verfügbar angenommen werden. Das Ergebnis der Inventarisierung und Bewertung sind räumliche Ressourcendaten, die Auskunft über die verbauten Materialmengen und deren Gewinnbarkeit unter festgelegten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen geben. Die Ressourcendaten können mit einem geografischen Informationssystem erfasst, bearbeitet, organisiert, analysiert und präsentiert werden. Ein derartiges Informationssystem wird in weiterer Folge "Ressourcenkataster" genannt. Bisweilen kommt das Instrument nur bei geogenen Lagerstätten zum Einsatz (z.B. Minerals4EU 2017). Er kann aber auch ein Instrument für die Entwicklung von Strategien zur Gewinnung von Rohstoffen aus anthropogenen Lagern sein und unterstützt eine nationale Rohstoffplanung in ihrem Bemühen primäre und sekundäre Rohstoffe sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch optimal zu nutzen.

1.1.2 Ziel und Umfang der Studie

Die Netzinfrastrukturen für Energie, Wasser und Information leisten einen wesentlichen Beitrag für die Daseinsvorsorge und somit für die Lebensqualität in Österreich. Ein Großteil

² Infrastruktur für Straßen- und Schienentransport, Wasser, Abwasser, Fernwärme, Strom Gas und Telekommunikation.

dieser Netzinfrastrukturen befindet sich im Untergrund und stellt mit seinen Materialien ein zukünftiges Potential für die Gewinnung von Rohstoffen dar (Abbildung 3). Wie groß das Ressourcenpotential tatsächlich ist, kann mangels verfügbaren Wissens um die Materialbestände nicht hinreichend beurteilt werden (vgl. Kap. 1.1.1). Der Ressourcenkataster ist ein Instrument, um die räumlichen Ressourcendaten zu erfassen, analysieren und auszuwerten. Er beinhaltet die Informationen zu „Ressourcen“ und „Reserven“, wofür vorab eine Inventarisierung und im Anschluss eine wirtschaftliche Bewertung der Materialbestände erforderlich sind.

Ziel der Studie ist die Beurteilung, ob ein Ressourcenkataster für erdverlegte Ver- und Entsorgungsnetzwerke (Elektrizität, Telekommunikation, Trinkwasser, Abwasser, Gas sowie Fernwärme und –kälte) in Österreichs Stadtregionen mit vertretbarem Aufwand machbar ist.

Da in Österreich die "Ressourcen" bis dato nicht nachgewiesen und verortet wurden, fokussiert die Studie auf die Machbarkeit hinsichtlich Inventarisierung und Georeferenzierung. Dabei werden die verfügbaren Primärdaten (aus Direkterhebungen zu Materialart und -menge, Zustand und Lage) als Voraussetzung für den Nachweis der Ressourcen betrachtet und in Hinblick auf die Erstellung eines Ressourcenkatasters beurteilt. Wird die Machbarkeit des Inventars positiv beurteilt, so werden Empfehlungen für die Umsetzung eines Ressourcenkatasters gegeben. Wird sie als negativ beurteilt, so werden die Barrieren analysiert und Vorschläge für deren Überwindung gegeben.

Die wirtschaftliche Beurteilung der Ressourcen im Sinne von „Reserven“ wird grundsätzlich als machbar eingestuft, da davon auszugehen ist, dass alle erforderlichen Informationen (z.B.: Kosten für den Ausbau von Kupferleitungen, Erlöse am Rohstoffmarkt) vorhanden sind. Die wirtschaftliche Bewertung ist somit nicht Bestandteil der Studie.



1.2 Stand der Technik

Der städtische Bergbau (Urban Mining) versteht die anthropogenen Materiallager als Reservoir für die Produktion von Sekundärrohstoffen. Um die Verfügbarkeit der Rohstoffe zu beurteilen, müssen die Materiallager im Sinne von McKelvey (Abbildung 2) inventarisiert, wirtschaftlich beurteilt und klassifiziert werden. Dies erfordert eine Systemdefinition des betreffenden Ressourcenhaushaltes durch die Auswahl der Materialien (z.B. Kupfer, Aluminium), der Objekte beziehungsweise Sektoren (Gebäude, Infrastrukturen, Deponien) und der räumlichen Systemgrenzen (global, kontinental, national, regional, städtisch).

In der Literatur finden sich zahlreiche Arbeiten zu anthropogenen Materiallagern. Für die Beschreibung des Stand des Wissens wurden 22 relevante Studien ausgewählt, die im Anhang A auf Seite 58 ff. zusammenfasst sind.

1.2.1 Anthropogene Materialbestände

Die ausgewählten Studien demonstrieren die mengenmäßige Relevanz der anthropogenen Materialbestände. Dafür werden die Materialbestände inventarisiert und in weiterer Folge mit geogenen Ressourcen oder Reserven verglichen (Abbildung 4) oder es wird die Bedeutung einzelner Objekte/Sektoren aufgezeigt (Abbildung 5). Die Abschätzung der Materialmengen erfolgt wahlweise durch statische bzw. dynamische Methoden. Die statischen Methoden schätzen die Materialbestände direkt mit Hilfe von Struktur- und Literaturdaten ab. Die dynamischen Methoden basieren auf der zeitlichen Analyse der Importe und Exporte im Untersuchungsgebiet, wodurch sich die relativen Änderungen im Materiallager ergeben.

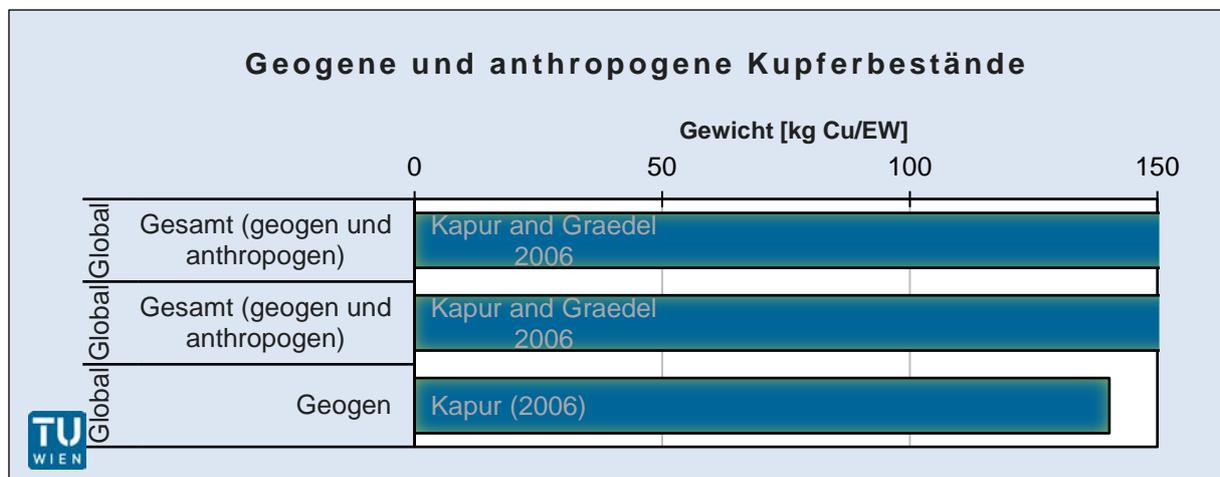


Abbildung 4: Abschätzung der Kupfermengen in geogenen und anthropogenen Lagern. Die zugehörige Datentabelle findet sich im Anhang A.

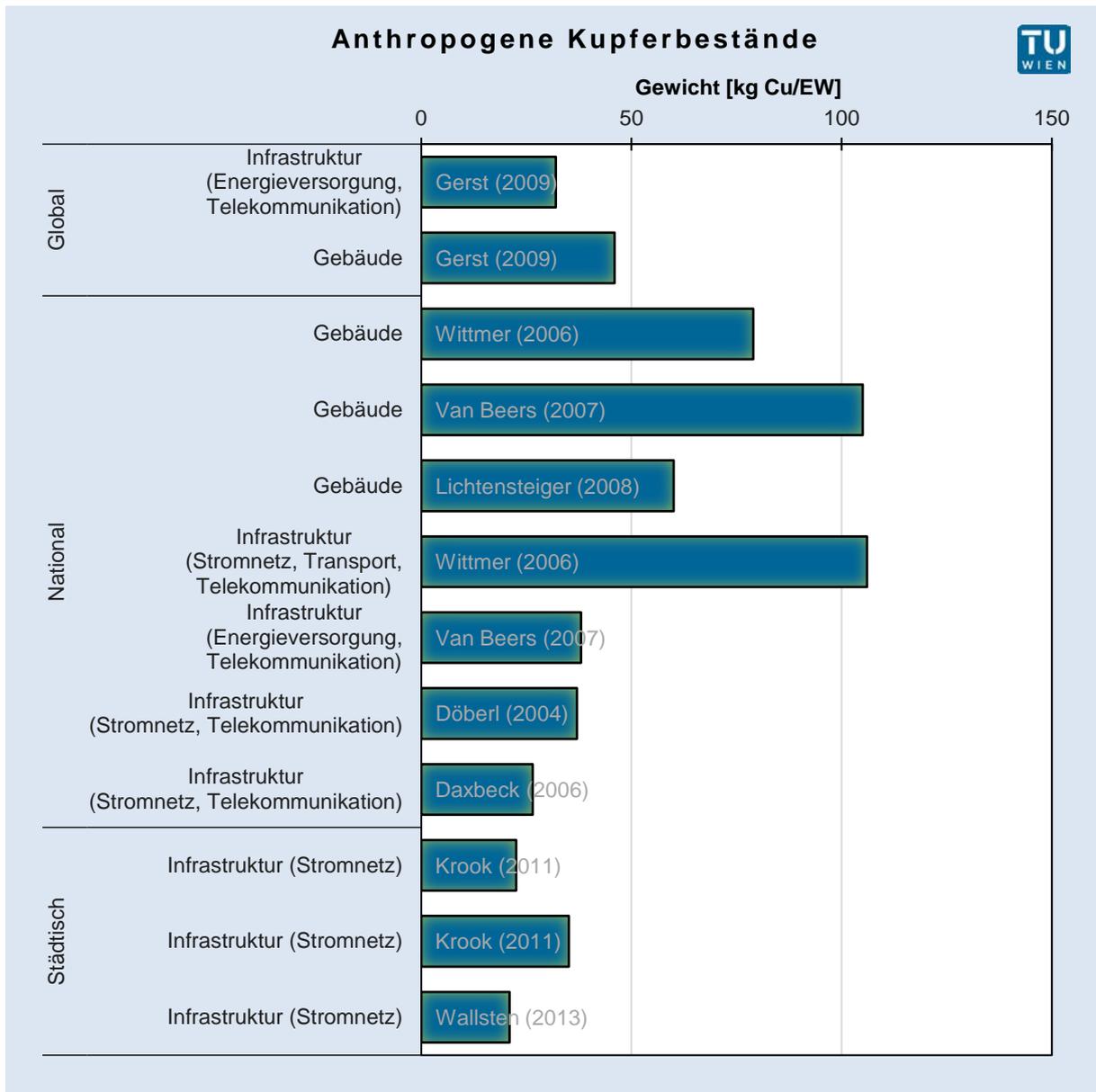


Abbildung 5: Abschätzung der Kupfermengen anthropogenen Lagern. Die zugehörige Datentabelle findet sich im Anhang A.

Im Sinne von McKelvey (vgl. Abbildung 2) gilt das Wissen um die Materialmengen bei 21 von 25 Studien als "vermutet" oder "hypothetisch/spekulativ", da die Methodik auf das Up- oder Downscaling von Materialdaten aus dem Untersuchungsgebiet oder anderen Referenzgebieten zurückgreift. Bei 4 von 25 Studien werden die Materialvorkommen als "nachgewiesen" eingestuft, da die Methodik auf eine direkte Erfassung des Naturbestandes zurückgreift. Für Österreich sind den Studienautoren bis dato keine Arbeiten bekannt, die die Materialbestände im Sinne von Materialmengen nachgewiesen haben (Wissenslücke 1).

Um die Zugriffsmöglichkeit auf die anthropogenen Materialbestände zu beurteilen, ist das Wissen um den aktuellen und zukünftigen Nutzungszustand (genutzt/ungenutzt) erforderlich. Beispielweise wurde in den Städten Linköping, Norrköping und Göteborg die erdverlegten Leitungen nach dem Zustand aktiv oder stillgelegt kategorisiert (Krook et al. 2011, Wallsten et al. 2013). Für die erdverlegte Netzinfrastruktur Österreichs sind den Studienautoren bis dato

keine Arbeiten bekannt, die Materialbestände im Sinne des Nutzungszustandes ausweisen (Wissenslücke 2).

1.2.2 Georeferenzierte Materialbestände

Die Verortung der Materialbestände im Sinne einer Georeferenzierung, wird in 9 von 22 Studien demonstriert. Als Instrument dazu dient ein sogenannter Ressourcenkataster, der räumliche Ressourcendaten erfasst, analysiert und darstellt. Beispielhaft genannt sind jene über die globalen, anthropogenen Aluminium-, Kupfer-, Eisen- und Zinkbestände (Rauch 2009), oder jene in den Städten Salford in England und Wakayama City centre in Japan (Tanikawa et al. 2004). In Österreich wurden bisher zwei Ressourcenkataster erstellt. Jener in Wien erfasst die Ressourcen im Gebäudepark Kleemann et al. (2016). Jener in Graz-Eggenberg erfasst die Ressourcen im Gebäudepark, in der Verkehrsinfrastruktur und in der erdverlegten Netzinfrastruktur Daxbeck et al. (2015). Bei der erdverlegten Netzinfrastruktur wurden die Ressourcendaten mit Hilfe von Literaturdaten abgeschätzt und den Straßenzügen geografisch zugeordnet. Im Sinne des McKelvey Diagramms (Abbildung 2) gelten die Ressourcen als „vermutet“.



Abbildung 6: Darstellung ausgewählter Materialbestände in a) Nordamerika, b) Salford, c) Wien und d) Graz-Eggenberg.

Im Sinne der Zielsetzung (Kap. 1.1.2), wonach die Machbarkeit eines Ressourcenkatasters für die österreichischen Stadtregionen beurteilt werden soll, sind die Arbeiten zu den erdverlegten Netzinfrastrukturen in schwedischen Städten von besonderer Relevanz (Krook, Carlsson et al. 2011, Wallsten, Carlsson et al. 2013). Dabei wurden Materialarten und -menge anhand eines bestehenden digitalen Leitungskatasters erhoben. Darin enthalten sind Naturbestandsdaten zu den Leitungen, die anhand von geodätischen Vermessungen und Direkterhebungen erfasst wurden. Aufgrund dessen sind die Ressourcendaten im Sinne von McKelvey als „nachgewiesen“ anzusehen (vgl. Abbildung 2). Die Ergebnisse zeigen für einzelne Städte Kupferbestände von 20 bzw. 35 kg/EW, Aluminiumbestände von 10 kg/EW und Eisenbestände von 130 kg/EW. Neben den Materialarten und –mengen wurde auch der Nutzungszustand der Leitungen erhoben. Damit können stillgelegte Leitungen und somit ungenutzte Materialbestände verortet werden (Abbildung 7a, b). Die Ergebnisse zeigen, dass in Abhängigkeit von der Stadt zwischen 5% und 20% des verbauten Kupfers derzeit ungenutzt ist und somit als potentielle zukünftige Ressource zu Verfügung steht. Damit wurde eine notwendige Voraussetzung geschaffen, um in weiterer Folge die Wirtschaftlichkeit einer Rückgewinnung systematisch zu beurteilen. Abbildung 7c weist jene Hotspots in der Stadt aus, wo stillgelegte Kabel im Rahmen einer integrierten Instandhaltungs- und Rückbaustrategie, wirtschaftlich gewonnen werden können. Die schwedische Vorgangsweise wird aufgrund der Praxistauglichkeit und der erfolgreichen Zielerreichung in Hinblick auf das gegenständliche Vorhaben als höchst relevant identifiziert.

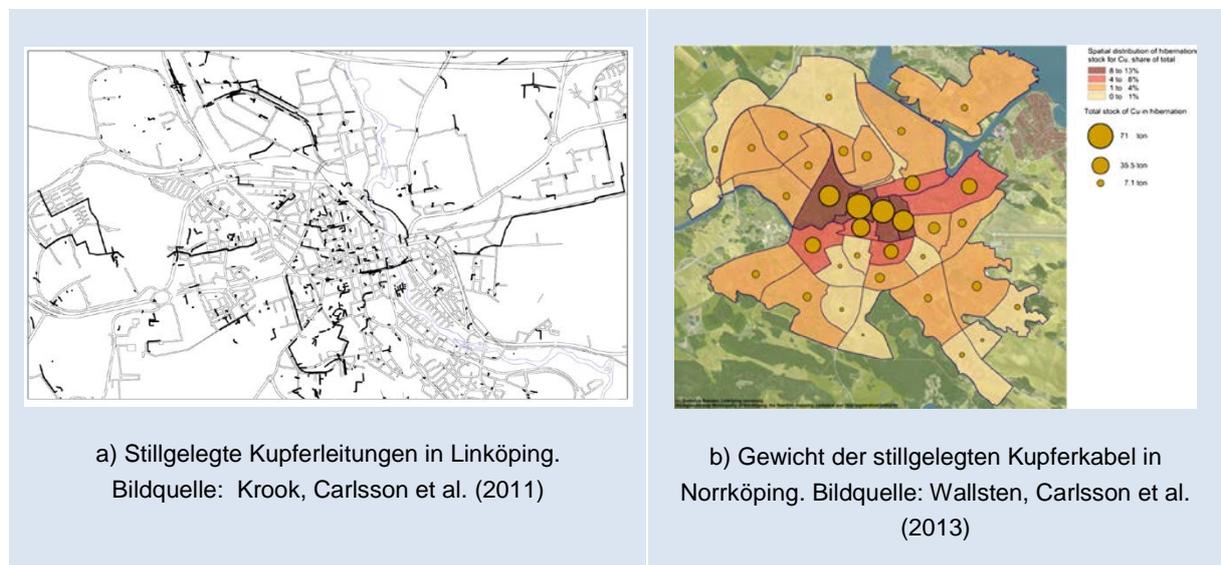


Abbildung 7: Ressourcenkataster in der Stadt Linköping und Norrköping (Schweden).

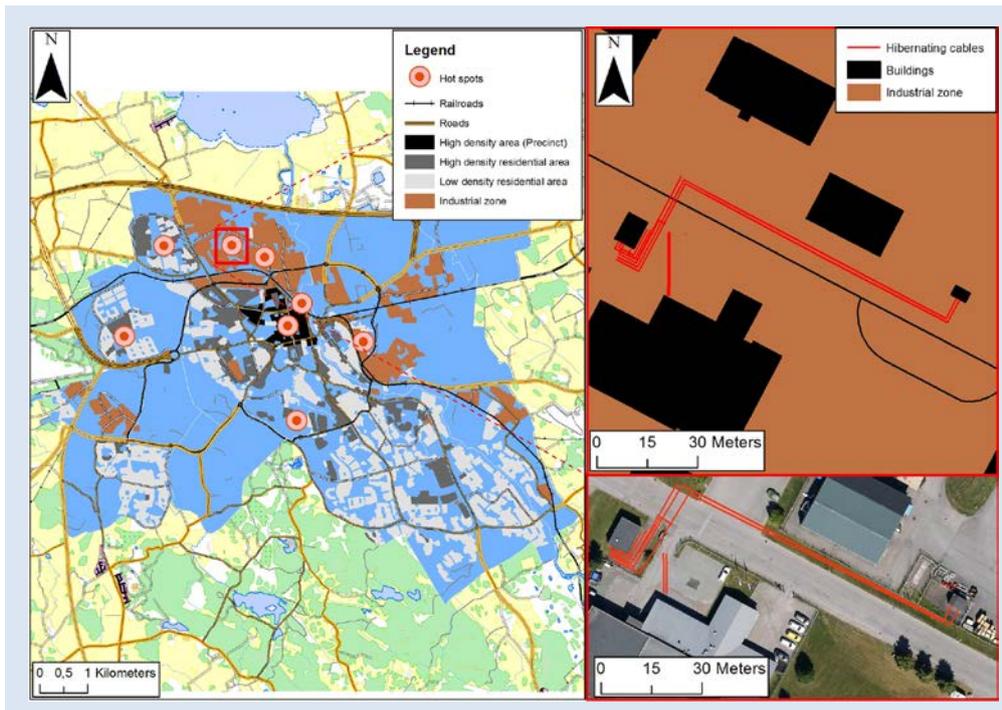


Abbildung 8: Hotspots einer integrierten Instandhaltungs- und Rückbaustrategie. Bildquelle: Wallsten et al. (2015).

Für Österreich sind den Studienautoren keine Arbeiten bekannt, die eine Georeferenzierung der Materialbestände in der erdverlegten Netzinfrastruktur durchgeführt haben (Wissenslücke 3).

1.3 Verwendete Methoden

Ziel des Vorhabens ist die Beurteilung, ob ein Ressourcenkataster für erdverlegte Ver- und Entsorgungsnetzwerke (Elektrizität, Telekommunikation, Trinkwasser, Abwasser, Gas sowie Fernwärme und –kälte) in Österreichs Städten machbar ist. Um das Ziel zu erreichen, gilt es in erster Linie zu beurteilen, ob die dafür erforderliche Datengrundlage in Quantität und Qualität vorhanden ist. Dazu sind drei Schritte erforderlich: (1) Abklärung des Datenbedarfs für die Erstellung eines Ressourcenkatasters, (2) Recherche über bereits vorhandene Daten auf Unternehmensebene, bei Dachverbänden und öffentlichen Einrichtungen, und (3) Beurteilung der vorhandenen Daten in Hinblick auf die Realisierung des Katasters.

1.3.1 Systemdefinition

Um die Machbarkeit des Ressourcenkatasters im Sinne der Zielsetzung zu beurteilen, wird das betrachtete System wie folgt definiert:

- Räumliche Systemgrenze: Die vorliegende Studie bezieht sich auf Österreich, wobei im Sinne der Zielsetzungen die österreichischen Stadtregionen im Zentrum des Interesses stehen. Die „Stadtregionen“ wurden zuletzt vom Österreichischen Städtebund und der Statistik Austria für das Jahr 2013 festgelegt. Demnach gibt es in Österreich 34 Stadtregionen in denen 66% der Bevölkerung leben. Diese Kenngröße

stellt auch den Grad der Urbanisierung („Verstädterung“) dar. Neben der Bundeshauptstadt Wien, gibt es 6 Großstadtregionen, 9 Mittelstadtregionen und 18 Kleinstadtregionen (Statistik Austria et al. 2013). Die Auswahl ist deshalb von Relevanz, weil neben den Kernzonen der Städte auch die Außenzonen urbane Charakteristika aufweisen und mit der Kernstadt in Wechselspiel stehen (z.B.: Pendlerströme, Öffentlicher Verkehr, Versorgung mit Wasser, Entsorgung von Abwasser, etc.) und dies die Kapazitäten in den erdverlegten Infrastrukturnetzen beeinflusst.

- **Objekte/Sektoren:** Der Fokus liegt auf der erdverlegten Netzinfrastruktur für Wasser, Abwasser, Gas, Strom, Fernwärme, Fernkälte, Telekommunikation sowie Erdöl. Es werden nur die eigentlichen Netze mit ihren Elementen wie Kabel, Rohre, Schächte betrachtet. Materialien wie Sand als Bettungsmaterial für Rohre oder der Oberflächenbelag über der Leitungstrasse wurden nicht berücksichtigt. Verkehrsinfrastruktur und deren erdverlegten Bauwerke (z.B.: Tunnel, Schlitzwände, Bohrpfehlwände) sowie militärische Infrastruktur werden nicht betrachtet.
- **Materialien:** Metalle (Kupfer, Aluminium, Blei, Stahl, Gusseisen), Kunststoffe (PE, PVC, Glasfaser) und mineralische Rohstoffe (Beton, Steinzeug, Isolationsmaterial)

1.3.2 Vorgangsweise

Um das Ziel zu erreichen, werden (1) der Datenbedarf für die Erstellung eines Ressourcenkatasters definiert, (2) der Datenbestand zu der erdverlegten Netzinfrastruktur in Österreich erhoben, und (3) die Ergebnisse aus Datenbedarf und –bestand gegenübergestellt, um die Machbarkeit eines Ressourcenkatasters zu beurteilen (Abbildung 9).

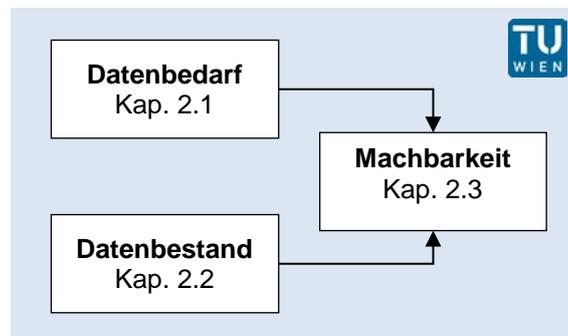


Abbildung 9: Vorgangsweise und Struktur des Berichtes.

- (1) **Datenbedarf:** Ein Ressourcenkataster ist ein geografisches Informationssystem (GIS) zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation räumlicher Daten. Um Ressourcendaten der erdverlegten Netzinfrastruktur zu generieren, wird ein Anforderungskatalog definiert, der die Materialbestände soweit charakterisiert, sodass die Ressourcen im Sinne von McKelvey als „nachgewiesen“ gelten. Dazu werden Literaturrecherchen zu bestehenden Ressourcenkatastern durchgeführt.
- (2) **Datenerhebung:** Österreichweit werden jene Akteure identifiziert, die Zugriff auf relevante Daten im Sinne des Datenbedarfs haben. Dazu gehören unter anderem die

Netzbetreiber (für Strom, Gas, Wasser, Abwasser, Fernwärme, Fernkälte, Telekommunikation und Erdöl), BMLFUW, Landesregierungen und Stadtverwaltungen, die Kommunalkredit Austria als Förderstelle für die Erstellung von Leitungsinformationssystemen, Wasser- und Abwasserverbände, e-Control Austria, Statistik Austria und Wirtschaftskammer. Im Anschluss erfolgt eine systematische Recherche zur aktuellen Dokumentation der Netzinfrastruktur anhand der folgenden Kriterien: Dokumentierte Infrastrukturelemente (z.B. Kabel) und deren Zusatzinformationen (z.B. Material), digital versus analoge Dokumentation, Aktualität der Daten, Erfassungsgrad des Naturbestandes. Dadurch wird eine systematische und qualitative Zusammenstellung der in Österreich vorhandenen Daten möglich. Darüber hinaus werden Testgebiete ausgewählt, um die Umsetzung eines Ressourcenkatasters beispielhaft mit konkreten Zahlen zum Materialbestand zu demonstrieren. Die Auswahl der Testgebiete hängt im Wesentlichen von der Datenverfügbarkeit und den Bedingungen zur Datenweitergabe und –auswertung ab.

- (3) Beurteilung der Machbarkeit eines Ressourcenkatasters: Dafür werden die Ergebnisse aus der Festlegung des Datenbedarfes mit jenen der Datenerhebung gegenübergestellt um Schlussfolgerungen in Hinblick auf die Erstellung eines Ressourcenkatasters zu ziehen. Es soll gezeigt werden, ob die vorhandenen Datenlage bereits ausreicht, um mit vertretbarem Aufwand einen Ressourcenkataster zu erstellen bzw. welche Barrieren und Datenlücken auftreten. Letztendlich soll geklärt werden, ob und wie die relevanten Ressourcendaten in Österreich generiert, bereitgestellt und in einer Plattform zusammengeführt werden können.

2 Ergebnisse

Das Kapitel beinhaltet die Ergebnisse (1) zum Datenbedarf für die Erstellung eines Ressourcenkatasters in Form eines Anforderungskataloges, (2) zum Datenbestand anhand von Metadaten zur Netzinfrastruktur in Österreich sowie anhand der Erfassung der Ressourcen in einzelnen Testgebieten, (3) zur Beurteilung der Machbarkeit eines Ressourcenkatasters auf betrieblicher und nationaler Ebene.

2.1 Datenbedarf für die Erstellung eines Ressourcenkatasters

Ein Ressourcenkataster ist ein geografisches Informationssystem (GIS) zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation räumlicher Ressourcendaten. Die Ressourcendaten sind Zusatzinformationen in bestehenden digitalen Leitungskatastern, die als Instrument für die Bewirtschaftung der Netze von Betreibern der Netzinfrastruktur gepflegt werden. Abbildung 10 zeigt einen Ausschnitt eines digitalen Kanalkatasters. Dabei sind neben der Lage einzelner Rohre auch verschiedene Rohrmaterialien (z.B. Beton, Steinzeug, Gusseisen) in unterschiedlichen Farben dargestellt.

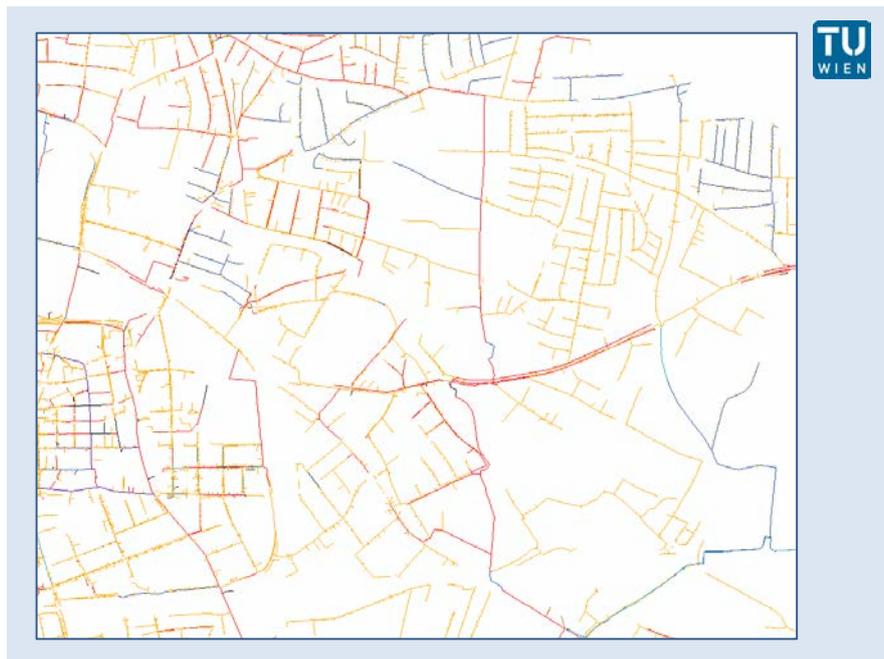


Abbildung 10: Ausschnitt eines digitalen Kanalkatasters in städtischem Gebiet.

Als Ressourcendaten werden einerseits die Infrastrukturelemente (Objekte) der Ver- und Entsorgungsnetze als auch deren Beschreibung (Attribute) verstanden. Tabelle 1 bietet einen Überblick zu dem Datenbedarf für die Inventarisierung und Georeferenzierung der Materialbestände eines Wassernetzes. Dabei handelt es sich um Mindestanforderungen, welche für die Erstellung eines Ressourcenkatasters notwendig sind. Dabei wird zwischen einem betrieblichen und nationalen Ressourcenkataster unterschieden. Der betriebliche Ressourcenkataster unterstützt eine integrierte Instandhaltungs- und Rückbaustrategie und

erfordert die lagebezogene Darstellung der Objekte. Der nationale Ressourcenkataster unterstützt die österreichische Rohstoffstrategie und erfordert lediglich eine aggregierte Darstellung der verbauten Materialmengen ohne eine lagebezogene Darstellung der Objekte.

Tabelle 1: Allgemeiner Überblick zum Datenbedarf am Beispiel Wassernetz (Objekt: Haltungen)

Datenbedarf für...	Attribute		Beschreibung
...betrieblichen Ressourcenkataster	Geometrie	Länge	[in m]
		Durchmesser/ Breite, Höhe	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) oder Breite/Höhe bei Nicht-Kreis-Profilen [in mm]
		Form	z.B. Kreis, Ei, Trapez, Sonstige
	Masse	Material	Liste mit verbauten Materialien z.B. Beton, Steinzeug
		Spezifisches Gewicht	Spezifisches Gewicht des verbauten Materials [in Kilogramm in t pro m ³]
	Lage	x-y-z Koordinaten	gängigen Koordinatensysteme (BMN, GK, M31 und M34)
	Zustand	Zustand	z.B. aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)
...für nationalen Ressourcenkataster	Eigentümer		Eigentümer der Netzinfrastruktur z.B. Name der Gemeinde, Genossenschaft oder des Unternehmens
	Grenze		Grenzen des Ver- oder Entsorgungsgebietes
	Masse	Material	Liste mit verbauten Materialien z.B. Beton, Steinzeug
		Gewicht	Gewicht des verbauten Materials [in Kilogramm]

Der Datenbedarf für die einzelnen Netze (Strom, Gas, etc.) ergibt sich einerseits aus den bereits vorhandenen Datenstrukturen der Netzbetreiber sowie allfälliger Zusatzinformationen, die bis dato noch nicht erfasst sind:

- Für die Erstellung von Wasserleitungs- und Abwasserleitungskatastern haben die Bundesländer Steiermark, Kärnten, Oberösterreich, Salzburg und Tirol gemeinsame Richtlinien zur Übergabe von Daten entwickelt (Ämter der Landesregierungen 2015a, Ämter der Landesregierungen 2015b). Die darin enthaltenen Attributlisten wurden um jene Attribute erweitert, die für die vollständige Charakterisierung der Materialbestände erforderlich sind. Einzelne Bundesländer haben sich nicht an den Richtlinien beteiligt und deshalb ist davon auszugehen, dass es österreichweit keine einheitlichen Standards zur Erfassung der Infrastruktur gibt. Des Weiteren wurden bereits vor der Veröffentlichung der Richtlinie einzelne Leitungsnetze mit einem Leitungskataster erfasst.
- Bei Gas, Strom, Nah- und Fernwärme wurde auf Attributlisten ausgewählter Betreiber von Netzinfrastruktur zurückgegriffen. Im Gegensatz zum Wasser- und Abwassernetz gibt es keine Richtlinien die von mehreren Besitzern der Netzinfrastruktur entwickelt und umgesetzt werden. Richtlinien für die Weitergabe von Daten konnten nur für die

Zentralen Wiener Leitungskataster recherchiert werden (MA28 2006). Diese Richtlinien sind für die Erstellung eines Ressourcenkatasters nicht von Relevanz, da ausschließlich Informationen zur Trassenlage, der Einbautiefe und dem Einbautenträger enthalten sind.

- Bei Fernkälte, Telekommunikation sowie Erdöl- und Produktpipelines lagen den Studienautoren keine Richtlinien für die Erfassung und Weitergabe von Daten sowie keine Attributlisten von einzelnen Netzbetreibern vor.

Eine detaillierte Auflistung des Datenbedarfs zur Inventarisierung der Ver- bzw. Entsorgungsnetze für Strom, Gas, Wasser, Abwasser, Fernwärme, Fernkälte, Telekommunikation und Erdöl findet sich im Anhang B.

2.2 Datenbestand zur erdverlegten Netzinfrastruktur

2.2.1 Überblick und Metadaten zur Netzinfrastruktur in Österreich

2.2.1.1 Wasser- und Abwassernetz

Das österreichische Trinkwasser wird zu fast 100% aus Grund- und Quellwasser gewonnen und rund 90% der Bevölkerung sind an zentrale Wasserversorgungsanlagen angeschlossen, welche im Bereich der öffentlichen Verantwortung liegen (BMLFUW 2016d). Die restlichen Haushalte werden über eigene Hausbrunnen versorgt. In Österreich sind rund 95% aller Haushalte an die Abwasserentsorgung über Schmutz- oder Mischwasserkanäle angeschlossen. Der Zuständigkeitsbereich liegt größtenteils bei Gemeinden bzw. Verbänden (ÖWAV 2016).

Netzbetreiber: In Österreich gibt es beim Wassernetz 165 Wasserverbände und 3'400 Wassergenossenschaften (Neunteufel et al. 2012). Beim Kanalnetz werden 75 % von Gemeinden, 20 % vom Verbänden und 3 % von Kommunalunternehmen und 2 % von Genossenschaften betrieben. Netzlängen größer 100 km werden zu fast der Hälfte von Verbänden und Kommunalunternehmen betrieben (ÖWAV 2016).

Versorgungsgebiete: Die georeferenzierten Grenzen der Versorgungsgebiete sind österreichweit nicht verfügbar. Einzelne Netzbetreiber veröffentlichen Karten vom Netzgebiet für die Wasserversorgung (EVN 2016, Linz AG 2016b, Stadtwerke Köflach 2016, Stadtwerke Voitsberg 2016, Wassergenossenschaft Michaelbeuern 2017) und die Abwasserentsorgung (Wasserverband Ossiacher See 2017).

Infrastruktur: Laut einer Erhebung der Kommunalkredit Public Consulting (KPC) (BMLFUW 2016b) beträgt der Gesamtbestand an Leitungslängen rund 77'000 km für Wasserversorgungsanlagen (WVA) und 90'000 km für Abwasserbeseitigungsanlagen (ABA). Neben den Leitungen sind weitere Infrastrukturteile (siehe Tabelle 2) in Betrieb, wobei die Datenqualität sehr unterschiedlich ist.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Infrastruktur WVA und ABA (Neunteufel, Ertl et al. 2012).

	ANLAGENTEILE	HOCHRECHNUNG	BANDBREITE
WVA	Quellen (Anzahl)	8'900	6'700 - 10'6000
	Brunnen (Anzahl)	2'900	bis 3'500
	Gebäude (Betriebsgebäude)	4'700	4'000 - 5'000
	Aufbereitungsanlagen	1'800	800 – 5'000
	Pumpen / Pumpwerke	3'500	2'200 – 4'000
	Mess- Steuer und Regelungstechnik -Anlagen	2'100	
	Wasserspeicher (Anzahl)	7'300	6'200 - 11'300
	Leitungslängen gesamt (km)	77'000	73'000 - 81'000
	Hausanschlüsse (Mio.)	1,56	1,2 - 1,7
	Hydranten	142'000	118'000 - 158'000
ABA	Pumpstationen	18'100	9'100 - 27'300
	Mischwasser-Entlastungsanlagen	10'300	5'600 - 14'400
	Mischwasser Becken	2'800	1'500 - 3'900
	Regenwasserbehandlungsanlagen	1'500	1'000 - 2'000
	Gebäude	2'000	600 - 5'000
	Leitungslängen gesamt (km)	90'000	82'000 - 110'000
	Regenwasserkanal (km)	11'300	9'600 - 12'900
	Schmutzwasserkanal (km)	57'500	49'000 - 61'500
	Mischwasserkanal (km)	27'400	23'400 - 35'600
	Hausanschlussleitungen (km)	192.300	164'000 - 220'000

Anlagendokumentation: Die Dokumentation der erdverlegten Leitungen und Zusammenführung der Daten erfolgt mittels eines Leitungsinformationssystems (LIS). Das LIS ist ein digitales Informationssystem und dient als Instrument zur Informationsbereitstellung und -vermittlung für Betreiber von WVA und ABA. Im Detail werden Datensätze, welche die technische Infrastruktur raumbezogen (Lage, Tiefe etc.) beschreiben, sowie weitere relevante Informationen/Attribute zu den Leitungen (Alter, Materialien, Durchmesser, Gefälle, Zustand etc.) erhoben. Die Erstellung eines LIS ist gem. Förderungsrichtlinien 1999 i.d.F. 2006 für die kommunale Siedlungswasserwirtschaft förderfähig (BMLFUW 2016a). Die Kommunalkredit Public Consulting (KPC) bietet Beratungsaktivitäten zu Förderungsprogrammen an und wickelt die Förderungen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft und, unter anderem, die Erstellung vom digitalen LIS ab.

Aggregation der LIS-Datensätze: Die Besitzer der Netzinfrastruktur erheben und warten die raumbezogenen Infrastrukturdaten. Auf Bundesebene werden die raumbezogenen und statistischen Daten der Leitungskataster nur im Zuge der Endabrechnung eines vom Bund geförderten LIS, nicht aber periodisch, dokumentiert (BMLFUW 2016c). Bei der KPC erfolgt eine Aggregation der statistischen Daten laut Formular für die Endabrechnung (KPC 2016), jedoch nicht für die raumbezogenen Daten.

Abbildung 11 zeigt den aktuellen Stand (Frühjahr 2016) der im LIS erfassten Förderungsanträge. In Summe wurden für die Digitalisierung von rund 50 % der WVA-Leitungen und 40 % der ABA-Leitungen bisher Förderungen angesucht. Zum Großteil wurde für die Digitalisierung eine Förderung bereits zugesichert, aber noch nicht final endabgerechnet. Die Angaben zum LIS beinhalten die nach Einführung der

Förderungsmöglichkeit im Jahr 2006 erfassten und zur Förderung eingereichten Abschnitte. In Wien (aber wohl auch bei anderen größeren Städten) wurde ein Großteil der Daten bereits vor Beginn der entsprechenden Förderungsmöglichkeiten (2006) digitalisiert. Deshalb kann in Summe mit höheren erfassten und digitalisierten Leitungssystemen gerechnet werden.

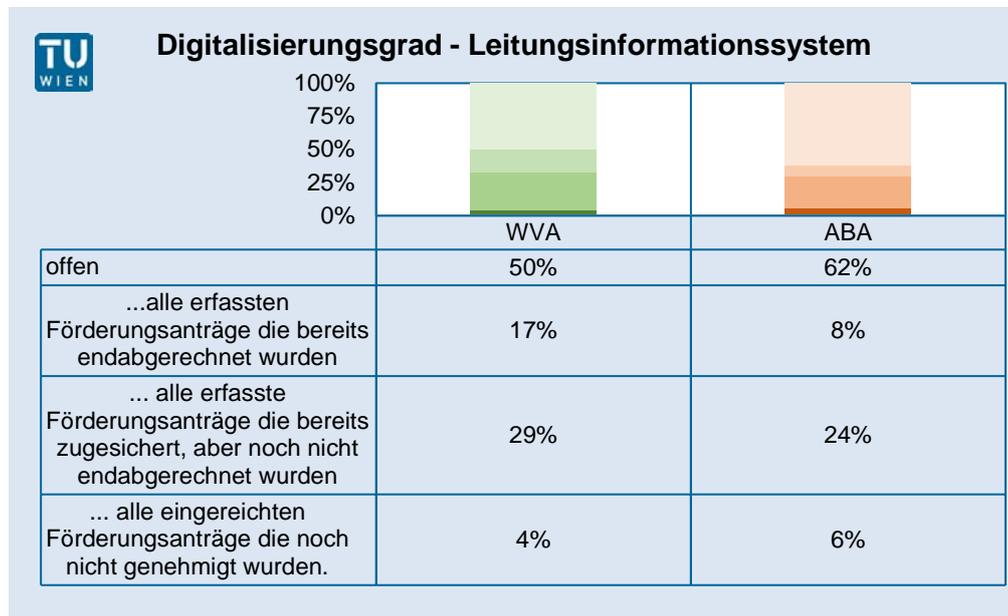


Abbildung 11: Digitalisierungsgrad - Tabellarische Auswertung der erfassten Förderungsanträge des Leitungsinformationssystems [% der Gesamtkilometer]

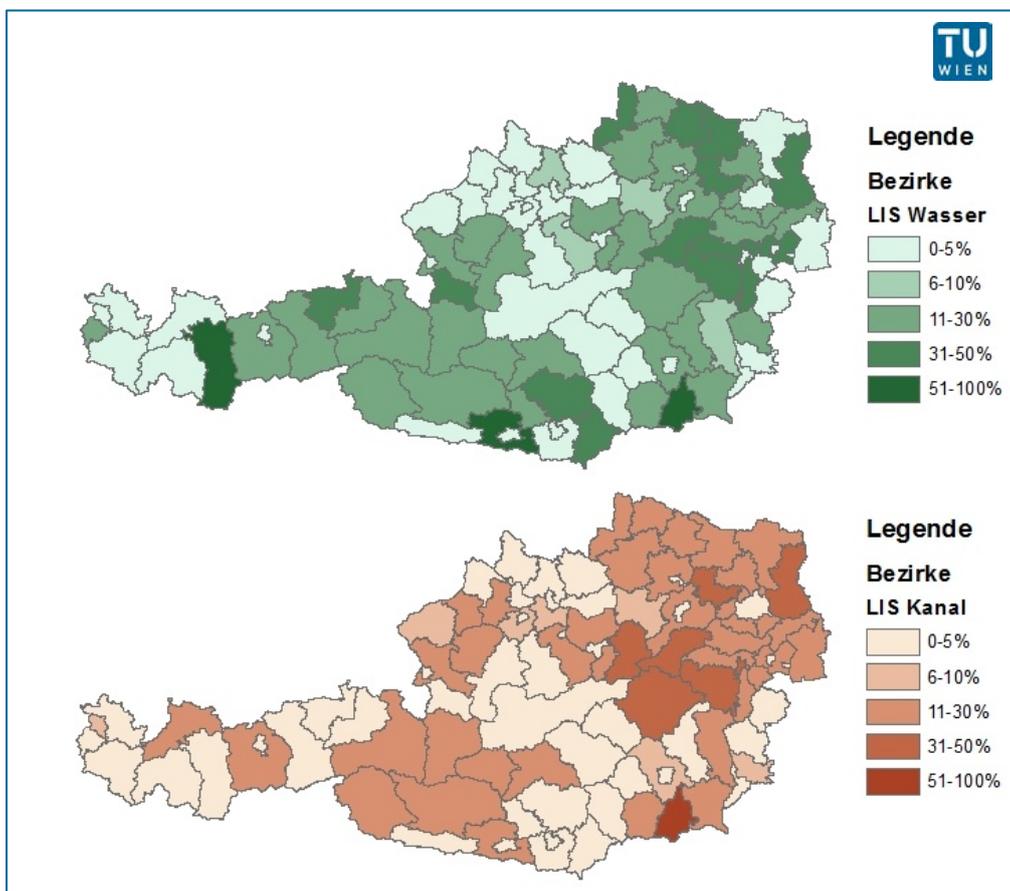


Abbildung 12: Digitalisierungsgrad - Geographische Auswertung auf Bezirksebene [% der erfassten und endabgerechneten Förderungsanträge des Leitungsinformationssystems zu Gesamtkilometer]

2.2.1.2 Gasnetz

In Österreich werden rund 20% des energetischen Endverbrauchs durch Gas abgedeckt, wobei das Gas zu rund 60% im produzierenden Bereich und rund 27% in den privaten Haushalten genutzt wird (BMWFW 2015a).

Die Erdgasinfrastruktur in Österreich umfasst die Förderung, Transport, Speicherung und Verteilung von Erdgas und beinhaltet die folgenden Infrastrukturelemente (Edler 2013):

- Förder- und Aufbereitungsanlagen
- Transportleitungen inkl. Primärverteilssystem
- Gasdruckregelanlagen, Übergabestationen, Verdichterstationen, Messeinrichtungen, Odierungsanlagen
- Erdgasspeicher
- Verteilleitungsnetz

Im Jahr 2013 beträgt die Netzlänge rund 46'000 km, wobei rund 2'000 km auf das Fernleitungsnetz und rund 44'000 km auf das Verteilleitungsnetz entfallen (E-Control Austria 2016a). Im Vergleichszeitraum 2004-2013 hat sich die Netzlänge um 24% erhöht.

In Österreich gibt es 22 Netzbetreiber, wobei zwei Netzbetreiber (Gas Connect Austria und TAG GmbH) die überregionale Transport- und Verteilleitungen verantworten und 20 Netzbetreiber in erster Linie die regionale Versorgung übernehmen. Die vier größten Netzbetreiber besitzen rund 60% der gesamten Leitungslänge (Abbildung 13).

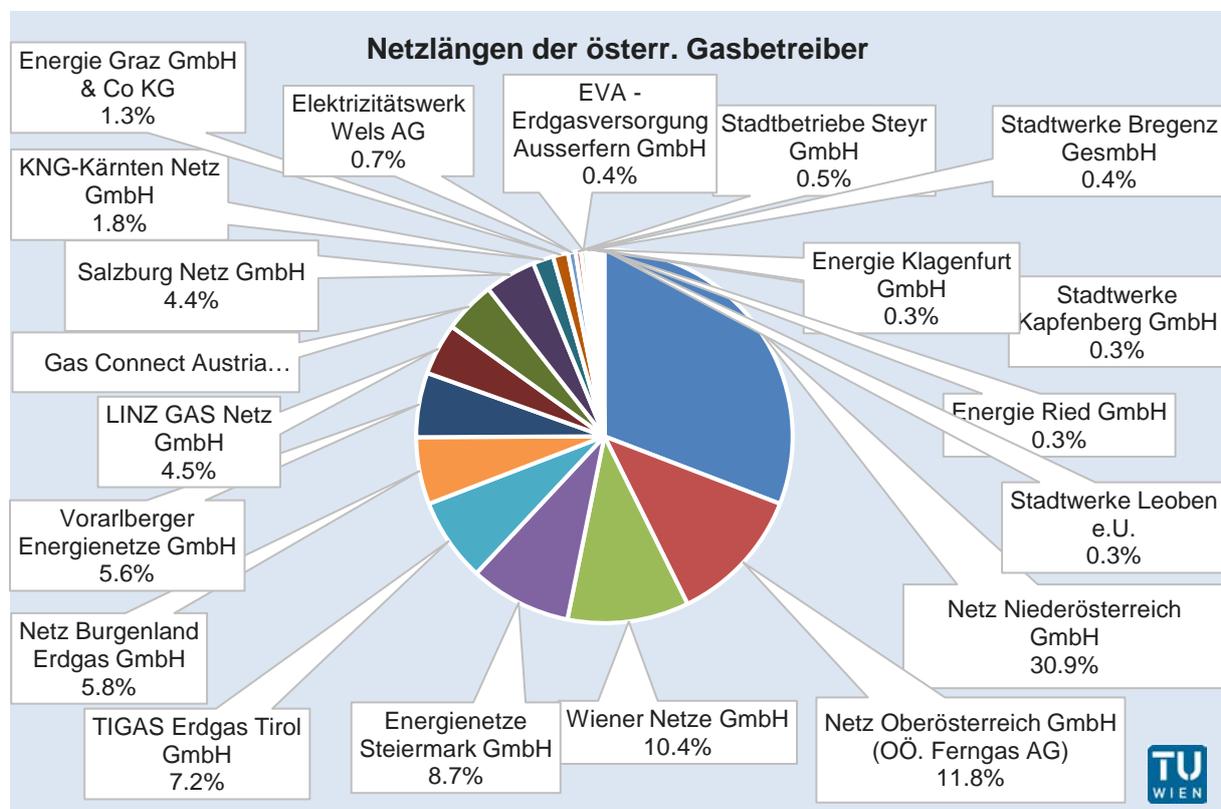


Abbildung 13: Verteilung der Leitungslängen nach Netzbetreiber. Datenquelle: Auskünfte auf den Websites der Netzbetreiber und auf persönliche Anfrage. Folgende Netzbetreiber wurden mangels öffentlich verfügbarer Daten nicht berücksichtigt: GasNetz Veitsch, EVA.

Die Dokumentation der Erdgasleitungen erfolgt bei den Netzbetreibern anhand von digitalen Leitungskatastern. Die Kataster beinhalten bei den Leitungen verschiedene Attribute wie Lage, Länge, Status (z.B. aktiv, stillgelegt), Material (z.B. Stahl, Polyethylen, Gusseisen), Dimension, Baujahr. Die Netzbetreiber erfassen in erste Linie die eigenen Netze, und nehmen Hausanschlussleitungen nur in Ausnahmefällen auf. Die Leitungen beim Verbraucher selbst (im Gebäude, auf dem Industrieareal) werden nicht erfasst. Leitungen, die zum Zeitpunkt der digitalen Ersterfassung des Netzes bereits stillgelegt waren, wurden nur zum Teil im digitalen Leitungskataster erfasst.

Die lagebezogenen Leitungsdaten finden sich ausschließlich bei den Netzbetreibern und dienen dem Betrieb und der Instandhaltung des Gasnetzes. Eine Ausnahme bilden die Transportleitungen, welche auf nationaler und internationaler Ebene lagebezogen dargestellt werden (z.B. Netztypologie Gas, AGGM 2016). Netzbetreiberübergreifende Informationen bei Behörden und Verbänden sind lediglich statistischer Natur (z.B.: Leitungslänge der Verteilerleitungen) und erlauben keinen Rückschluss auf einzelne Netzbetreiber.

2.2.1.3 Stromnetz

In Österreich werden rund 20% des energetischen Endverbrauches durch Strom abgedeckt (BMFW 2015a). Die Infrastruktur besteht im Wesentlichen aus Energieerzeugungsanlagen, dem Stromnetz, Umspann- und Schaltwerke, sowie Transformatorstationen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Strominfrastruktur in Österreich (E-Control Austria 2014).

Infrastrukturelement	Kurzbeschreibung					
Energieerzeugungsanlagen	z.B.: Wasserkraftwerke, Windkraftwerke, Photovoltaikanlagen.					
Stromnetz	Trassenlängen					
	Spannungsebenen	Freileitungen		Kabelleitungen		Summe km
		km	Anteil	km	Anteil	
	380 kV	1'363	0.6%	55	0.0%	1'417
	220 kV	1'854	0.8%	3	0.0%	1'857
	110 kV	5'974	2.5%	574	0.2%	6'547
	von 1kV bis 110 kV	27'598	11.6%	38'429	16.1%	66'027
	1 kV und darunter	35'573	14.9%	126'668	53.2%	162'242
	Insgesamt	72'362	30.4%	165'728	69.6%	238'090
	Systemlängen					
	Spannungsebenen	Freileitungen		Kabelleitungen		Summe km
		km	Anteil	km	Anteil	
	380 kV	2'784	1.1%	55	0.0%	2'838
	220 kV	3'662	1.4%	5	0.0%	3'667
110 kV	10'443	4.1%	725	0.3%	11'167	
von 1kV bis 110 kV	28'153	11.0%	40'184	15.7%	68'337	
1 kV und darunter	36'118	14.2%	133'057	52.1%	169'175	
Insgesamt	81'160	31.8%	174'024	68.2%	255'184	
a) Umspann- und Schaltwerke	Die Anlagen verbinden die einzelnen Netzebenen.					
b) Transformatorstationen	a) Anzahl der Transformatoren: 1'075 (Stand 2013) b) Anzahl der Trafostationen: 76'375 (Stand 2013)					

Netzbetreiber: In Österreich gibt es 121 Netzbetreiber, wobei die 10 größten Betreiber rund 85% der Längen abdecken (E-Control Austria 2015, eigene Abschätzung).

Versorgungsgebiete: Die georeferenzierten Grenzen der Versorgungsgebiete sind österreichweit nicht verfügbar. Einzelne Netzbetreiber veröffentlichen Karten vom Netzgebiet wie z.B. die Linz Strom Netz GmbH, Wiener Netze, Salzburg Netz GmbH, Stromnetz Graz GmbH und Ebner Strom. (Ebner Strom 2016, Linz Strom Netz GmbH 2016, Salzburg Netz GmbH 2016, Stromnetz Graz GmbH 2016, Wiener Netze 2016a, Wiener Netze 2016b, Wiener Netze 2016c).

Trassen-, System- und Leitungslängen: Die Trassen- und Systemlängen werden für das österreichische Stromnetz durch die E-Control Austria alljährlich veröffentlicht. Darin enthalten sind die aggregierten Netzlängen der Netzbetreiber, nicht aber jene vom Netzbetreiber zur Verbrauchseinheit. Eine Aufschlüsselung der Trassen- und Systemlängen nach Netzbetreiber ist ebenso nicht öffentlich verfügbar wie die Informationen über die eigentliche Leitungslänge. Eine Recherche der Längen bei den Internetauftritten der Netzbetreiber ergab, dass a) nur ein Teil der Netzbetreiber Längenangaben zum Stromnetz machen, und b) in den meisten Fällen nicht beschrieben ist, ob es sich um die Trassen-, System- oder die eigentliche Leitungslänge handelt.

Abschätzung der Leitungslängen erdverlegter Kabel: Österreichweit gibt es keine öffentlich verfügbare Statistik über die Kabellängen nach Spannungsebenen und Kabelbezeichnung. Das Verhältnis der Systemlänge zur Trassenlänge liegt je nach Spannungsebene zwischen 1,0 und 1,52. Wird vereinfacht angenommen, dass mindestens 2 Kabel pro System verbaut sind, so ergibt sich die Kabellänge mit rund 365'000 km.

Digitaler Leitungskataster: Netzbetreiber erfassen das jeweilige Netz in digitalen Leitungskatastern. Dabei werden bei den Leitungen zum Beispiel folgende Attribute erfasst: Lage, Länge, Kabel o. Freileitung, Betriebszustand (z.B.: aktiv, inaktiv, stillgelegt), Leitermaterial, Mantelmaterial, Adernanzahl, Querschnitt Ader, Verlegejahr. Die 10 größten Netzbetreibern verantworten rund 85% der gesamten Netzlänge (ober- und unterirdisch)³. Die Leitungen Dritter (z.B. Hauszuleitungen auf Privatgrundstücken, Stromleitungen für Straßenbeleuchtung in Gemeinden) werden, sofern kein Wartungsvertrag mit einem Netzbetreiber besteht, in der Regel nicht erfasst.

2.2.1.4 Nah- und Fernwärme

In Österreich werden rund 7% des energetischen Endenergieverbrauches durch Nah- und Fernwärme erbracht (BMWF 2015a). Es gibt rund 650 Wärmeversorgungsunternehmen, die über 2'400 Wärmenetze mit einer Netzlänge von rund 5'000 km betreiben (FWG 2015, Schmidt et al. 2015). Die 7 größten Netzbetreiber verantworten mit rund 4'700 km rund 90% der gesamten Netzlänge⁴.

Versorgungsgebiete: Die Grenzen der Versorgungsgebiete sind nicht flächendeckend und öffentlich zugänglich, wenngleich einzelnen Netzbetreiber die Informationen veröffentlichen (z.B. BioEnergie Kufstein 2016).

³ Eigene Abschätzung durch Angaben auf den Webseiten der Netzbetreiber.

⁴ Eigene Abschätzung durch Angaben auf den Webseiten der Netzbetreiber.

Digitaler Leitungskataster: Netzspezifische Informationen zur Rohrnetzlänge, Materialien, Durchmesser und Einbaujahr sind ausschließlich bei den Netzbetreibern in Erfahrung zu bringen. Die Recherche bei einzelnen Netzbetreibern lassen vermuten, dass alle Netzbetreiber von Fernwärme die Anlagen mit einem digitalen Leitungskataster erfasst haben.

2.2.1.5 Fernkälte

In Österreich gibt es weniger als 10 Fernkältenetze bzw. Leitungen, wie zum Beispiel in Wien, Linz, St. Pölten, Baden, Mistelbach-Gänserndorf und Mödling (Schmidt, Tichler et al. 2015, FWG 2016, Linz AG 2016a).

Digitaler Leitungskataster: Es ist davon auszugehen, dass alle Leitungen in den geographischen Informationssystemen der Netzbetreiber enthalten sind.

2.2.1.6 Telekommunikation

In Österreich ist die Verbreitung von Rundfunk über Kabelnetze ein anzeigepflichtiger Kommunikationsdienst nach Telekommunikationsgesetz 2003 (RTR 2017). Die aktuelle Anzahl der Kabelnetzbetreiber ist dennoch unbekannt, da die Rundfunk- und Telekommunikations-GmbH (RTR) für die Vollständigkeit der Verzeichnisse keine Garantie übernimmt. Eigene Recherchen ergaben eine Anzahl von zumindest 28 Kabelnetzbetreibern in Österreich, wobei kleinere regionale Netze zum Großteil nicht erfasst sind.

Versorgungsgebiete: Die Grenzen der Versorgungsgebiete sind nicht flächendeckend und öffentlich zugänglich, wenngleich einzelnen Netzbetreiber die Informationen veröffentlichen (z.B. LIWEST 2016)

Digitaler Leitungskataster: Die Dokumentationsweise der erdverlegten Infrastruktur hängt vom jeweiligen Betreiber der Netzinfrastruktur ab. Aufgrund der Vielzahl an Netzbetreibern wurde die Recherche auf zwei österreichweite Betreiber (A1 Telekom, ASFINAG), einen regionalen (Kabelplus) und einen lokalen Betreiber (Kapper) beschränkt:

- A1 Telekom Austria: Laut rmDATA Group (2017) umfasst das Netz mehrere hunderttausend Kilometer an Leitungen (z.B. Kupfer- und Glasfaserkabel, Rohre) und über eine Million Netzknoten (Mobilfunksender, Hauptverteiler, Kabelverzweiger, Muffen, Kabelausmündungen, Kundenanschlussdosen). Die A1 Telekom erfasst in einem GIS die Leitungstrasse in Kombination mit einem Schema, das Details wie die Anzahl der Kabel, deren Länge und Kabelbezeichnung enthält (Brandstätter 2016).
- ASFINAG (Pöttschacher 2016): Österreichweit werden nur die Leitungstrassen mit der Angabe des Kabeltyps (Lichtwellenleiter, etc.) in einem GIS erfasst. Nähere Angaben wie Anzahl und Bezeichnung der Kabel sind bei den regionalen Verantwortlichen des Autobahnabschnittes vorhanden.
- Kabelplus: Kabelplus steht in Eigentum der EVN AG und betreibt in Niederösterreich und im Burgenland ein Kabelnetz für Telekommunikation (kabelplus 2017). Laut Unternehmensplanungen sollen im Jahr 2014 rund 62% der NÖ Gemeinden durch Kabelplus und 38% durch A1 Telekom versorgt werden (NÖ Landesregierung 2017). Kabelplus erfasst die Leitungen in einem zentralen digitalen Leitungskataster. Dabei werden die Lehrverrohrung nach Durchmesser, Verlegetiefe, Länge, Material und die

verlegten Kabel mit der jeweiligen Kabelbezeichnung für Lichtwellenleiter, Koax Strecken-, Ortsnetz und Teilnehmerkabel dokumentiert (Machat 2016).

- Kapper Network-Communications GmbH: Das Unternehmen betreibt ein Glasfasernetz und bietet Breitbanddienste an. Eine Dokumentation über das Netz erfolgt anhand von Schaltplänen, aber nicht mittels eines digitalen Leitungskatasters in dem die Leitungen in ihrer Lage mit Zusatzinformationen wie Länge und Anzahl der Kabel erfasst sind. Eine Angabe über die Gesamtlänge der verlegten Kabel ist somit nicht möglich (Kapper 2016).

2.2.1.7 Erdöl- und Produktpipelines

In Österreich gibt es im Wesentlichen zwei Transportleitungen für Erdöl und eine Produktleitung mit einer Gesamtlänge von 767 km (siehe Tabelle 4). Hinzu kommen kleinere Netze für den Transport von Erdöl aus den natürlichen Lagerstätten zu Aufbereitungs- und Übergabepunkten. Die Dokumentation der Transport- und Produktleitung erfolgt mit einem geografischen Informationssystem, wobei Lage und Durchmesser erfasst sind.

Tabelle 4: Kenndaten zu Erdöl- und Produktpipelines

	Länge [km]	Außendurchmesser	Wandstärke	Referenz
TAL – Transalpine Line	161	1016mm (40")	ca. 10 mm (8,74-15,88 mm)	Landsteiner (2017)
AWP – Adria Wien Pipeline				
Übernahmeleitung	4	30" (762 mm)	7,14 mm	OMV (2016), Kanduth (2017)
Hauptleitung	416	18" (457 mm)	ca. 7 mm (6,35-9,52)	
Stichleitung nach Lannach	14	16" (406 mm)	6,35 mm	
Produktleitung West	172	16" (406 mm)	ca. 7 mm (6,35-9,52)	
Summe	767			

2.2.2 Erfassung der Ressourcen in Testgebieten

Die Machbarkeit eines Ressourcenkatasters wird für sechs Testgebiete A-F demonstriert (Abbildung 14), sowie für die Wasser- und Abwassernetze in Österreich (Testgebiet G) und die Erdöl- und Produktleitungen in Österreich (Testgebiet H). Tabelle 5 stellt Kennzahlen und die Auswahl der erdverlegten Netzinfrastruktur gegenüber.

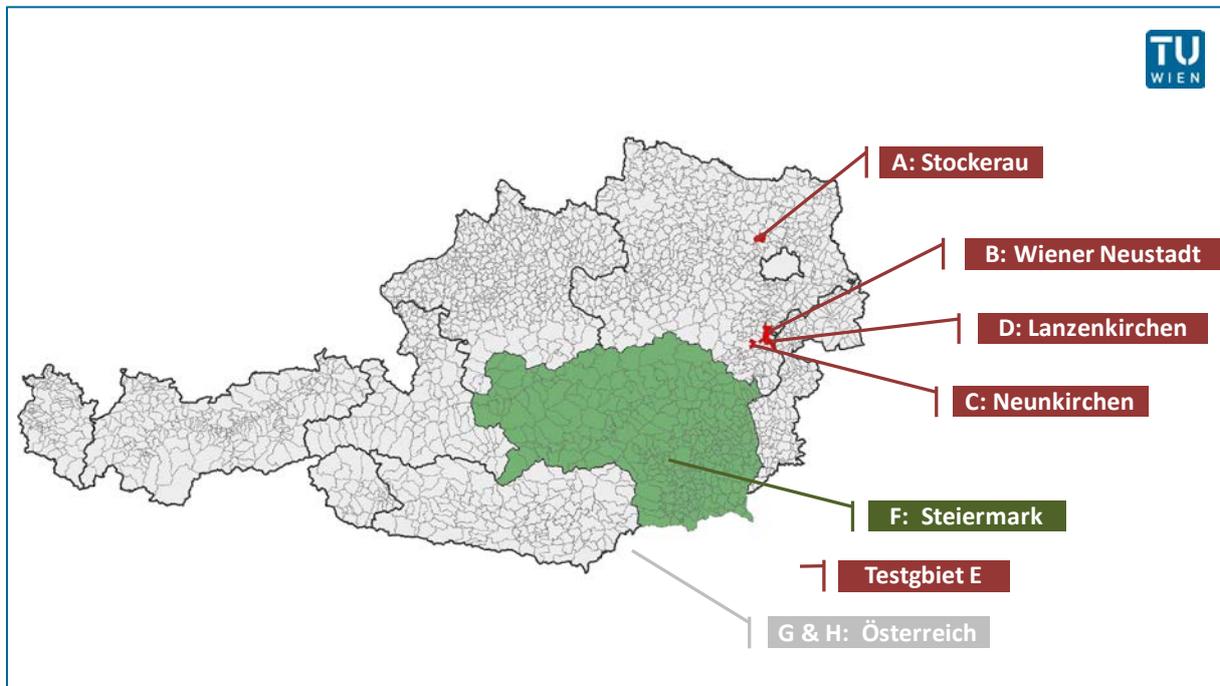


Abbildung 14: Geographische Übersicht zu den ausgewählten Testgebieten A bis D und F bis H. Das Testgebiet E wurde aufgrund datenschutzrechtlicher Vereinbarungen anonymisiert.

Tabelle 5: Übersicht und Metadaten zu den ausgewählten Testgebieten

	Ver- bzw. Entsorgungsgebiet	Einwohner	Fläche	Strom	Gas	Wärme	Wasser	Abwasser	Erdöl- und Produktpipelines	Datenlieferant
Niederösterreich										
Testgebiet A	Stockerau	15'000	37	X	X	X				Netzbetreiber
Testgebiet B	Wiener Neustadt	44'000	61					X		Dienstleister (Ingenieurbüro)
Testgebiet C	Neunkirchen	12'000	20				X	X		Netzbetreiber
Testgebiet D	Lanzenkirchen	4'000	30					X		Dienstleister (Ingenieurbüro)
anonym										
Testgebiet E	anonym			X	X	X	X	X		Netzbetreiber
Steiermark										
Testgebiet F	Land Stmk.	1'230'000	16'400				X	X		Land Steiermark
Österreich										
Testgebiet G	Österreich	8'474'000	83'900				X	X		KPC, BMLFUW
Testgebiet H	Österreich	8'474'000	n.r.						X	OMV, TAG

Die Materialinventare der erdverlegten Netze wurden aufgrund der Informationen im digitalen Leitungskataster des jeweiligen Netzbetreibers ermittelt. Die Auswertungen beschränken sich auf die Leitungsobjekte „Kabel“ und „Rohre“, wenngleich die Leitungskataster auch Informationen zu weiteren Objekten wie Hüllrohre, Schächte, Kanaldecke und Schieber enthalten sind und diese Bestandteil des Materialinventars sind. Bei den Attributen wird neben dem „Gewicht“ je Leitungsobjekt im Ver- bzw. Entsorgungsgebiet, auch die „Nutzung“ im Sinne von „aktiv“ oder „stillgelegt“ ausgewertet.

Aufgrund von datenschutzrechtlichen Vereinbarungen zwischen den Studienautoren und den Netzbetreibern werden im vorliegenden Kapitel ausschließlich statistische Daten ohne Angabe zur Lage der Leitungen angeführt. Die raumbezogenen Daten liegen den Besitzern der Infrastrukturnetze vor und können unternehmensintern für die räumliche Darstellung der Ressourcendaten verwendet werden.

2.2.2.1 Testgebiet A: Stockerau

In Niederösterreich wurde eine Region mit 16'400 Einwohnern und der EVN als Netzbetreiber ausgewählt. Die EVN betreibt in Österreich die größten Strom- und Gasnetze (Bezug: Netzlänge) und besitzt auch Netze für Kabel-TV und Telekommunikation (Tabelle 6).

Tabelle 6: Ressourcen und Kapazitäten im Netzgeschäft der EVN (EVN 2013).

Netz	Leitungslänge [km]	Kundenanlagen
Strom	135'900	3'308'100
Gas	13'863	292'000
Wärme	670	80'200
Kabel-TV / Internet	-	213'500

Die Erfassung der Infrastrukturdaten erfolgt bei der EVN mit einem digitalen Leitungskataster⁵. Um die Machbarkeit eines Ressourcenkatasters zu demonstrieren, wurden a) eine Region innerhalb des gesamten Versorgungsgebietes, b) die Netze für Gas, Strom und Fernwärme und c) die Materialien Stahl, Kupfer, Aluminium, PVC, PE und PE100⁶ ausgewählt. Die im Leitungskataster vorhandenen Kabel und Rohre (Objekte) wurden mit zusätzlichen materialspezifischen Kenndaten (Attributen) definiert. Die Auswertung der Ressourcendaten erfolgte aggregiert für die Untersuchungsregion.

In den drei Netzen sind rund 1'820 Tonnen (110 kg/EW) an Materialien verbaut, wobei massenmäßig der Stahl bei der Gas- und Fernwärmeversorgung dominiert. Im Stromnetz dominiert Aluminium mit 307 Tonnen (18,6 kg/EW) gegenüber Kupfer mit 52 Tonnen (3,2 kg/EW). Die Kunststoffe PE, PE100 und PVC sind mit 174 Tonnen (10,6 kg/EW) im Gasnetz verbaut.

⁵ Es werden jene Leitungen erfasst, die im Eigentum der EVN sind bzw. von der EVN betrieben werden. Leitungen im Eigentum Dritter werden nicht erfasst.

⁶ Der Kunststoffanteil im Stromnetz (Kabelmantel) wurde nicht ausgewertet. PE 100-Materialien werden durch ein modifiziertes Polymerisationsverfahren hergestellt, wodurch diese eine geänderte Molmassenverteilung aufweisen. Hierdurch werden eine höhere Dichte und auch verbesserte mechanische Eigenschaften wie erhöhte Steifigkeit und Härte erreicht.

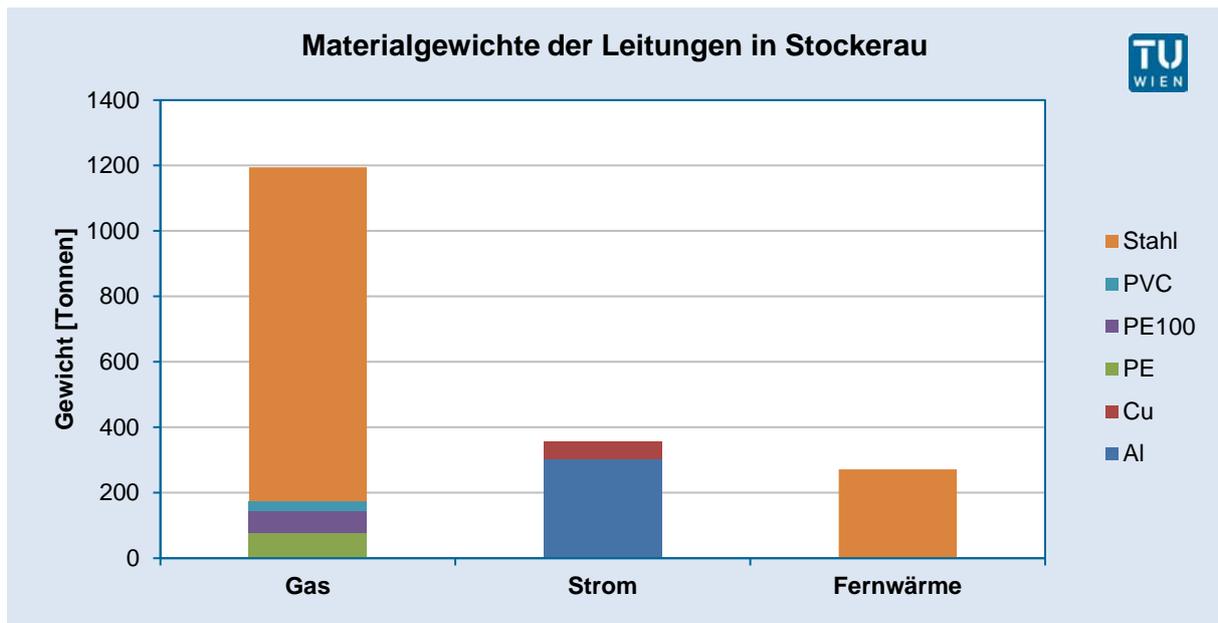


Abbildung 15: Materialbestand je Netz. Total = 1'820 Tonnen = 110 kg/EW.

Für jedes Leitungssegment (Kabel bzw. Rohr) gibt es drei mögliche Betriebszustände:

- Aktiv: Die Leitung wird genutzt.
- Inaktiv: Die Leitung wird derzeit nicht genutzt und kann im Bedarfsfall reaktiviert und genutzt werden.
- Stillgelegt: Die Leitung wird derzeit nicht genutzt und kann auch nicht wieder reaktiviert werden.

Im Stromnetz sind rund 3 t Kupfer (6% der Kupferbestände) und 11 t Aluminium (3,7% der Aluminiumbestände) stillgelegt. Im Gasnetz sind es rund 6 t PVC (0,3% der PVC-Bestände).

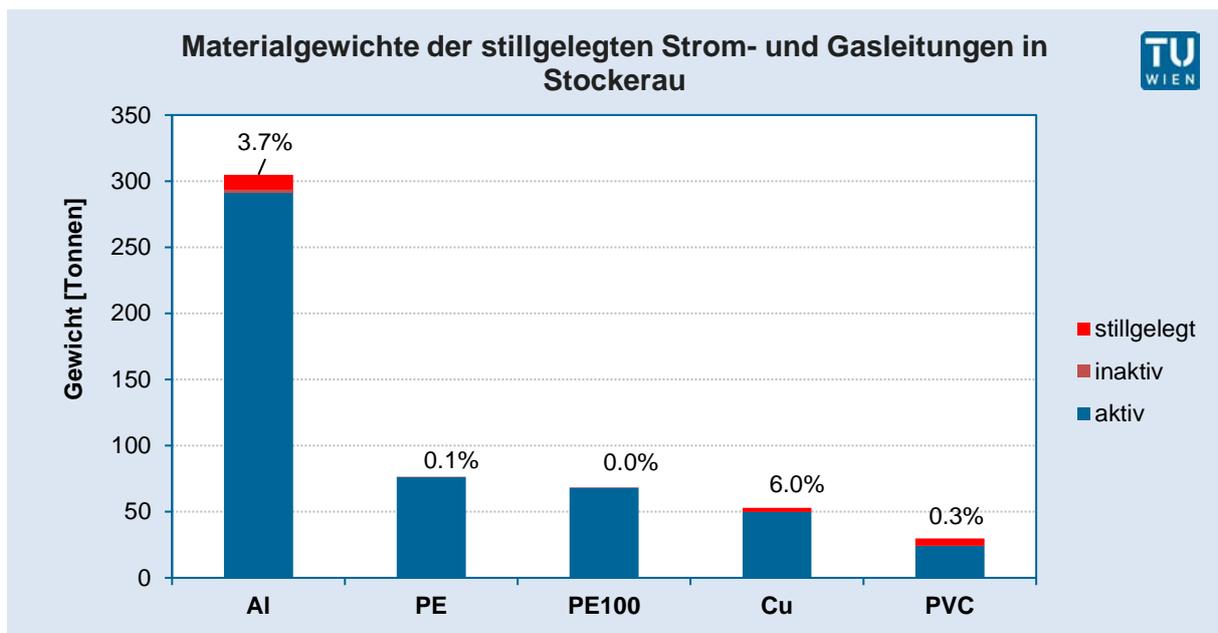


Abbildung 16: Gewicht der stillgelegten Leitungen in den Netzen für Strom und Gas. Das Wärmenetz ist aus Gründen der Skalierbarkeit nicht dargestellt.

Die EVN hat für das gesamte Versorgungsgebiet einheitliche Standards zur Datenerfassung. Aus diesem Grund können die Ressourcendaten nicht nur für das Testgebiet Stockerau, sondern für das gesamte Versorgungsgebiet mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden. Aufgrund regionsspezifischer Unterschiede (z.B. Baujahr der Infrastruktur, Besiedlungsdichte, Flächennutzung) erlauben die Ergebnisse im Testgebiet keine Hochrechnung auf das gesamte Netz im Versorgungsgebiet.

2.2.2.2 Testgebiet B: Wiener Neustadt

Die Abwasserentsorgung wird in der Stadt Wiener Neustadt von der „Wiener Neustädter Stadtwerke und Kommunal Service GmbH“ betrieben. Rund 44'000 Einwohner sind an ein 200 km langes Entsorgungsnetz (ohne Hausanschlussleitungen) angeschlossen. Die Auswertung der Kanalleitungen in Wiener Neustadt basiert auf einem GIS-Datensatz, welcher die relevanten Informationen Materialart, Durchmesser und Länge der Leitungen (Σ 5'000 GIS Datensätze) enthält. Das spezifische Gewicht (kg/m) wurde mittels Produktdatenblättern erhoben, um das absolute Lager abzuschätzen. Die 200 km Kanalleitungen bestehen zu rund 43 % aus Steinzeug (STZ)-, 26 % PVC- und 19 % Betonrohren (Bet). In Summe sind rund 1'000 kg Materialien pro Einwohner verbaut. Im Unterschied zur Längenverteilung zeigt sich, dass aufgrund des höheren spezifischen Gewichtes von Beton und Steinzeug diese das dominierende Material sind. In Summe können 95 % der Materialien Beton oder Steinzeug zugeordnet werden.

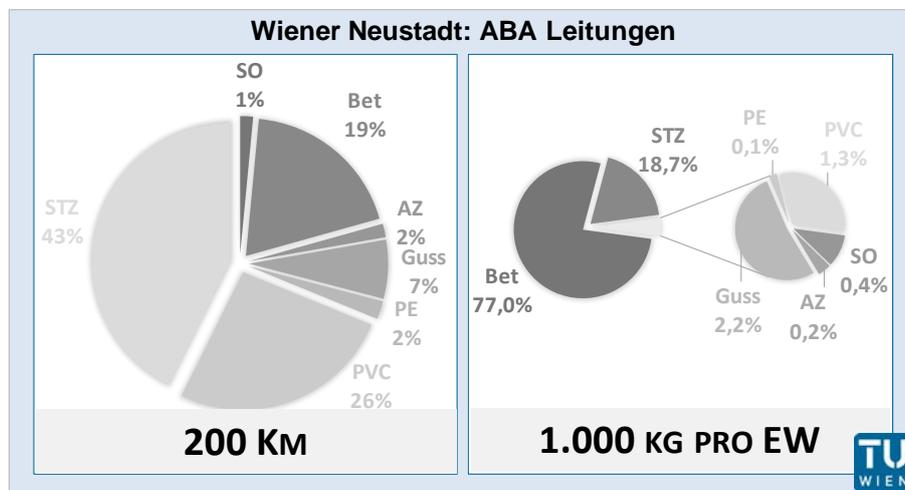


Abbildung 17: ABA Wiener Neustadt: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)

Die Materialverteilung nach Inbetriebnahme zeigt, dass der Großteil der Leitungen in den Jahren 1991-2000 verbaut worden ist. Die ersten heute noch vorhandenen Leitungen wurden im Jahr 1950 eingebaut. Zu beachten ist allerdings, dass für rund 50 % die Inbetriebnahme nicht bekannt ist.

Die Materialverteilung nach Inbetriebnahme zeigt, dass der Großteil der jüngeren Leitungen in den Jahren 1991-2000 verbaut worden ist. Die ersten heute noch vorhandenen Leitungen wurden im Jahr 1950 eingebaut. Zu beachten ist allerdings, dass die Angaben bezüglich der

Errichtung/Inbetriebnahme aus einer derzeit im Aufbau befindlichen Kanalkatasterdatenbank stammen, welche erst für rund 50 % der gesamten Ortskanalisation fertiggestellt ist. Die Inbetriebnahmedaten der verbleibenden Kanalisationsanlagen – dies betrifft sowohl Kanäle älteren als auch jüngeren Errichtungsdatums - wurden in diese Datenbank noch nicht eingearbeitet.

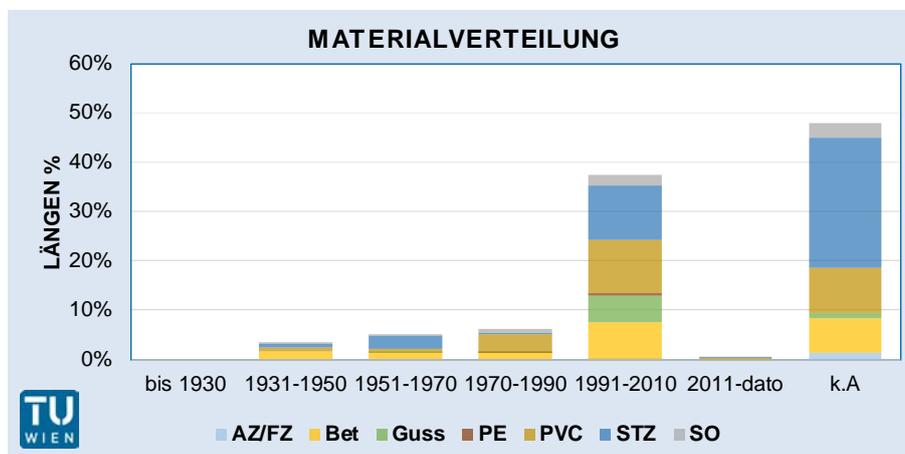


Abbildung 18: ABA Wiener Neustadt: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme)

Ein Ressourcenkataster bzw. die Inventarisierung und Georeferenzierung der Materialbestände ist im Testgebiet B mit vertretbarem Aufwand machbar.

2.2.2.3 Testgebiet C: Neunkirchen

Für die Abwasserentsorgung und Wasserversorgung der Stadt Neunkirchen ist die Stadtgemeinde, Abteilung Baubereich/Raumordnung/Entwicklung zuständig. Für beide Netze wurden GIS Datensätze zur Verfügung gestellt, die neben der räumlichen Lage auch alle relevanten Informationen je Leitung (ABA $\Sigma 2'500$ und WVA $\Sigma 6'000$) enthalten, um das spezifische Lager in kg pro Einwohner zu ermitteln. In Summe sind 75 km ABA-Leitungen (ohne Hausanschlussleitungen) in Neunkirchen eingebaut. Die Längenverteilung zeigt, dass es sich Großteils um Steinzeug- und Betonrohre handelt. Es kann ein spezifisches Lager von 2'100 kg pro Einwohner abgeschätzt werden, wobei es sich hauptsächlich um mineralische Rohstoffe (Beton und Steinzeug) handelt. Die eingebauten Betonrohre weisen im Vergleich zu anderen Rohren einen deutlich größeren Durchmesser auf und ergeben somit rund 1'500 kg pro Einwohner (81 %).

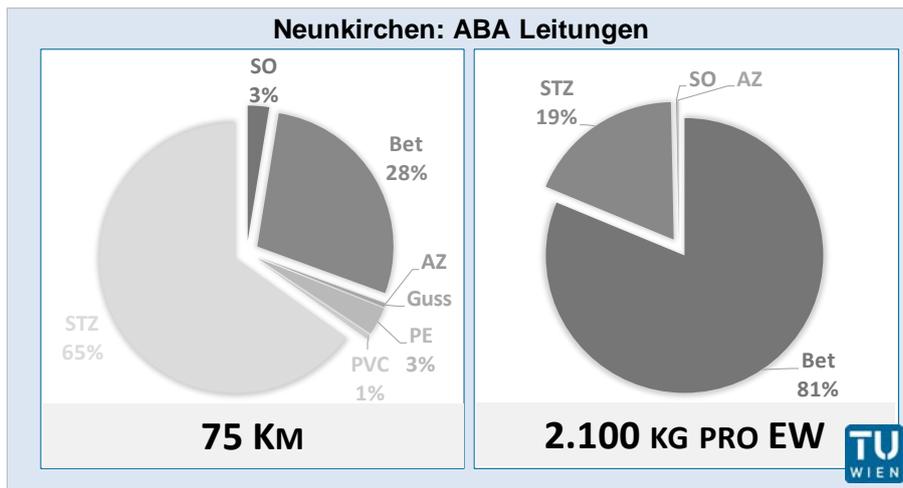


Abbildung 19: ABA Neunkirchen: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)

Die Materialverteilung nach Inbetriebnahme zeigt, dass im Durchschnitt das Alter der Leitungen rund 20 Jahre beträgt, wobei hinsichtlich der Länge in allen Zeiträumen Steinzeugrohre überwiegen. PE-Rohre werden seit dem Jahr 2000 eingebaut.

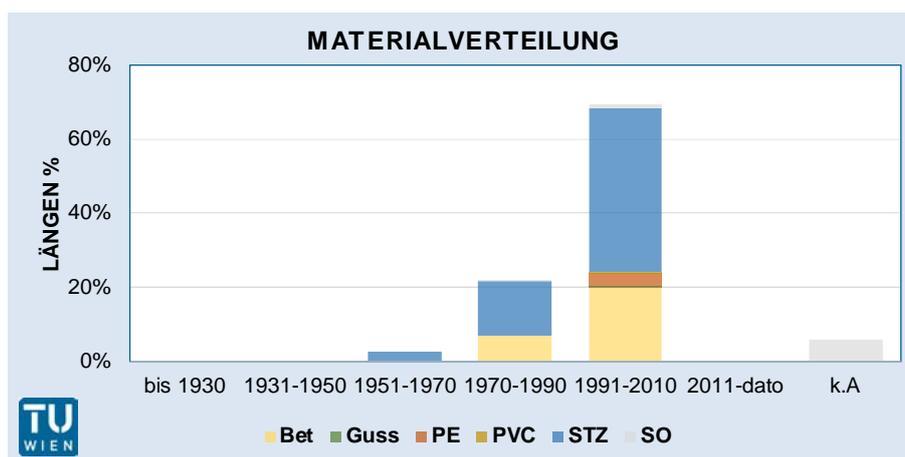


Abb. 1: ABA Neunkirchen: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme)

Der Wasserversorgung in Neunkirchen kann eine Leitungslänge (ohne Hausanschlussleitungen) von rund 92 km zugeordnet werden, wobei diese zu rund einem Drittel aus Guss- oder PVC-Rohren bestehen. Das spezifische Lager beträgt rund 105 kg pro Einwohner, wobei rund 70% Gussrohren zugeordnet werden kann.

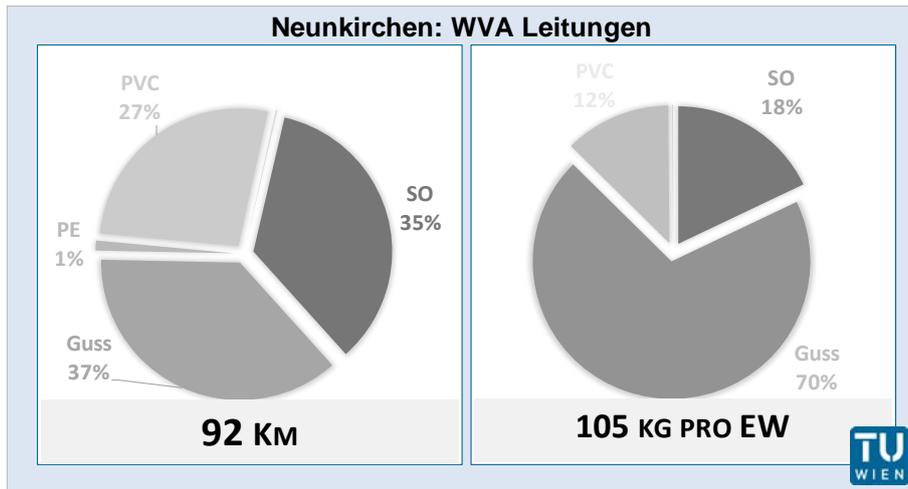


Abbildung 20: WVA Neunkirchen: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)

Rund 10 % der noch eingebauten Rohre für die Wasserversorgung stammt aus dem Jahr 1895, wobei bis 1930 fast ausschließlich Gussrohre eingebaut wurden. Seit 1970 wurden hauptsächlich PVC Rohre eingebaut.

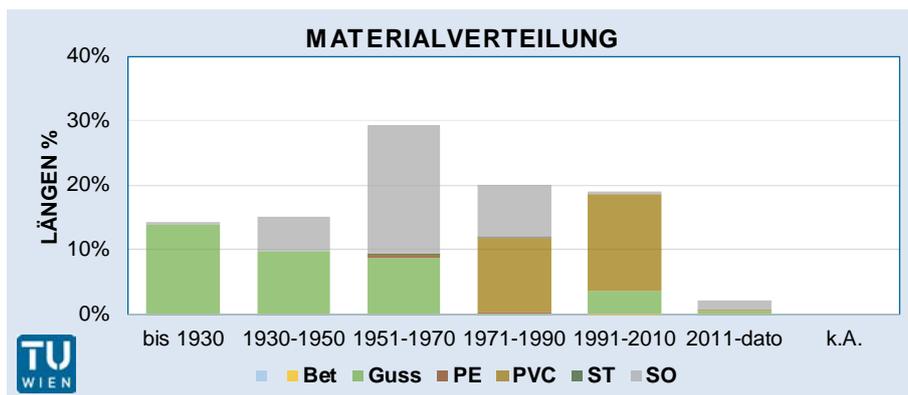


Abbildung 21: WVA Neunkirchen: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme)

Ein Ressourcenkataster bzw. die Inventarisierung und Georeferenzierung der Materialbestände ist für Neunkirchen mit vertretbarem Aufwand machbar.

2.2.2.4 Testgebiet D: Lanzenkirchen

Die Gemeinde Lanzenkirchen mit rund 4'000 Einwohnern weist ein Netz für die Abwasserentsorgung von 17 km auf (ohne Hausanschlussleitungen). Über 90 % sind Steinzeugrohre. Pro Einwohner beträgt das Lager rund 600 kg. Der Großteil der Rohre wurde im Jahr 1985 eingebaut und die letzten baulichen Veränderungen wurden 1995 durchgeführt.

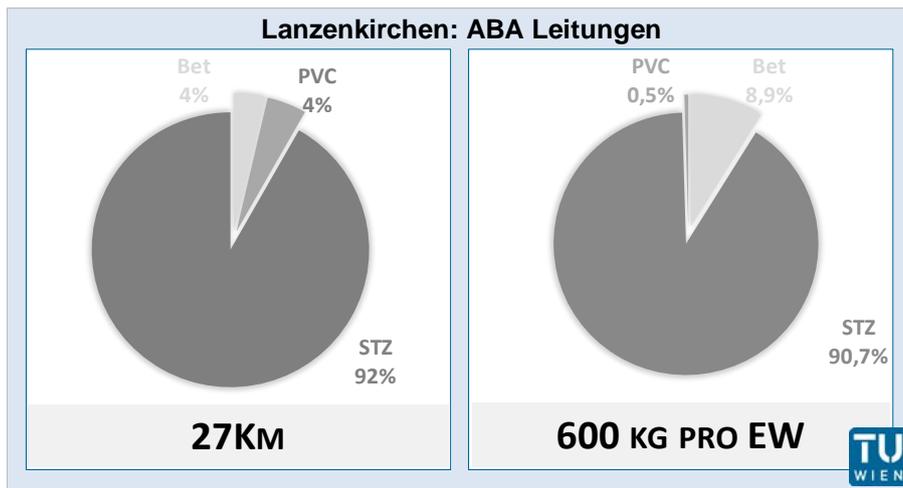


Abbildung 22: ABA Lanzenkirchen: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)



Abbildung 23: ABA Lanzenkirchen: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme)

Ein Ressourcenkataster bzw. die Inventarisierung und Georeferenzierung der Materialbestände ist für Lanzenkirchen mit vertretbarem Aufwand machbar.

2.2.2.5 Testgebiet E

Die nachfolgenden Informationen sind aus datenschutzrechtlichen Gründen anonymisiert.

Die Erfassung der Infrastrukturdaten erfolgt bei den ausgewählten Netzbetreibern mit digitalen Leitungskatastern.

Um die Machbarkeit eines Ressourcenkatasters zu demonstrieren, wurden a) die Netze für Gas, Strom, Wärme, Wasser und Abwasser und b) die Metalle (Stahl, Duktiles Gusseisen, Blei, Kupfer, Aluminium), Kunststoffe (Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid, Glasfaser verstärkter Kunststoff) und mineralische Materialien (Beton, Steinzeug) ausgewählt. Die im Leitungskataster vorhandenen Kabel und Rohre (Objekte) wurden mit zusätzlichen materialspezifischen Kenndaten (Attributen) definiert. Die Auswertung der Ressourcendaten erfolgte aggregiert für die Untersuchungsregion.

Die Ergebnisse zeigen, dass in den fünf Netzen rund 1'560 kg/EW an Materialien verbaut sind, wobei der Beton beim Abwassernetz mit 850 kg/EW und der Stahl im Wärmenetz mit 470 kg/EW dominiert. Die Metalle Blei, Kupfer und Aluminium finden sich im Stromnetz, es handelt sich dabei um rund 17 kg/EW Blei, 15 kg/EW Kupfer und 12 kg/EW Aluminium. Im Wassernetz ist rund 1 t Blei verbaut, wovon aber 95% stillgelegt sind.

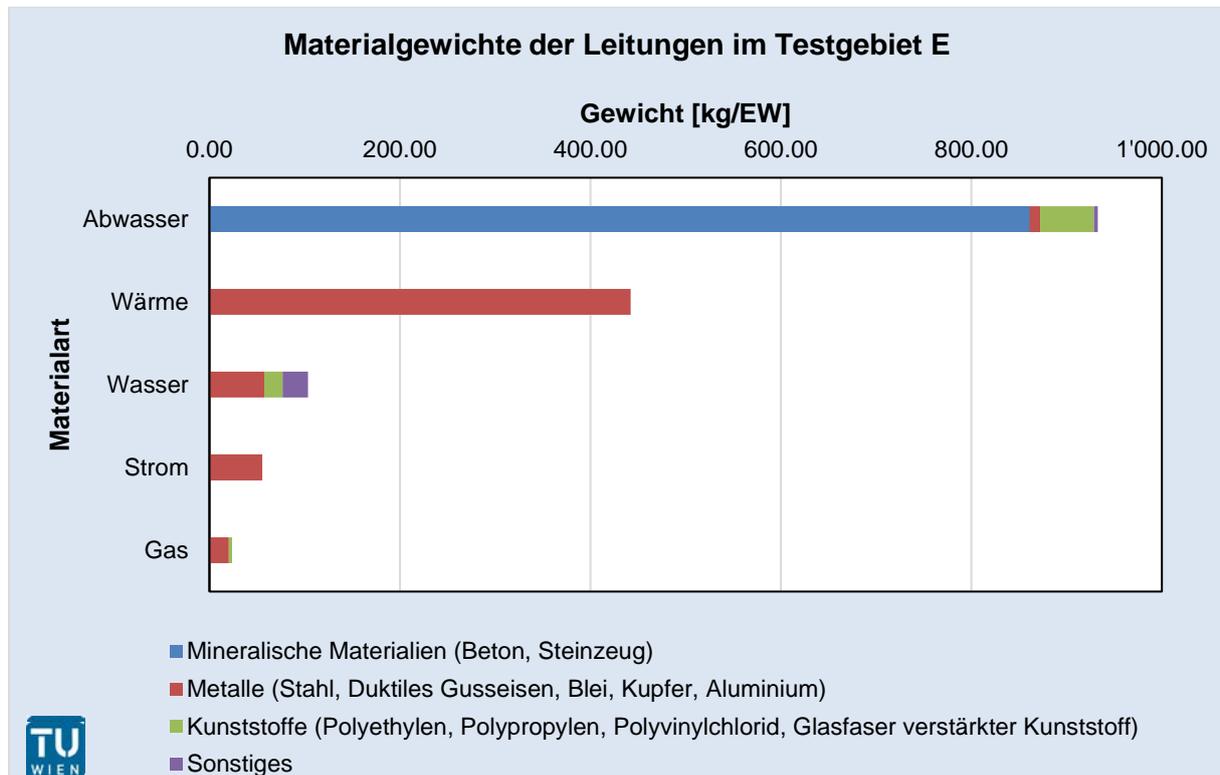


Abbildung 24: Materialbestand je Netz. Total = 1560 kg/EW.

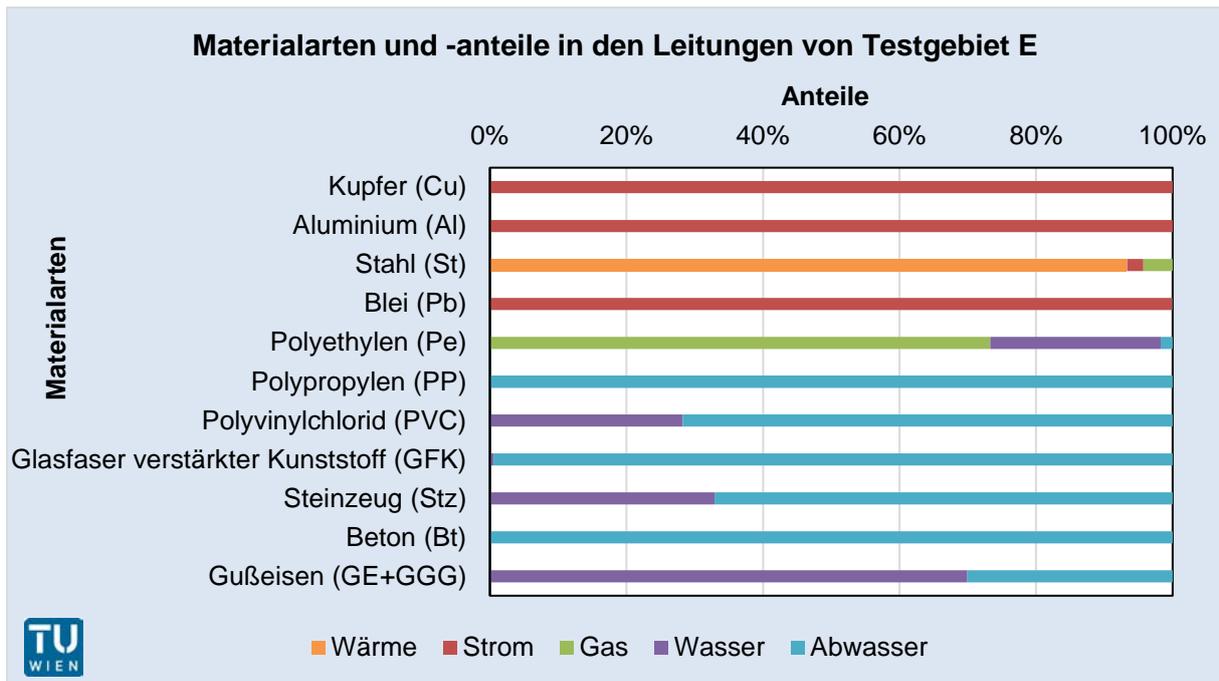


Abbildung 25: Gewichtsbezogene Verteilung der Materialien auf die Netze für Wärme, Strom, Gas, Wasser und Abwasser. Kunststoff im Mantelmaterial der Stromkabel wurde nicht erfasst.

Im digitalen Leitungskataster werden die Kabel mit der genauen Kabelbezeichnung erfasst. Dadurch ist es möglich, die Materialarten und -mengen zu ermitteln. Beispielweise lassen sich die Kupfer-, Aluminium-, Blei- und Stahlmengen mit vertretbarem Aufwand ermitteln (Abbildung 26).

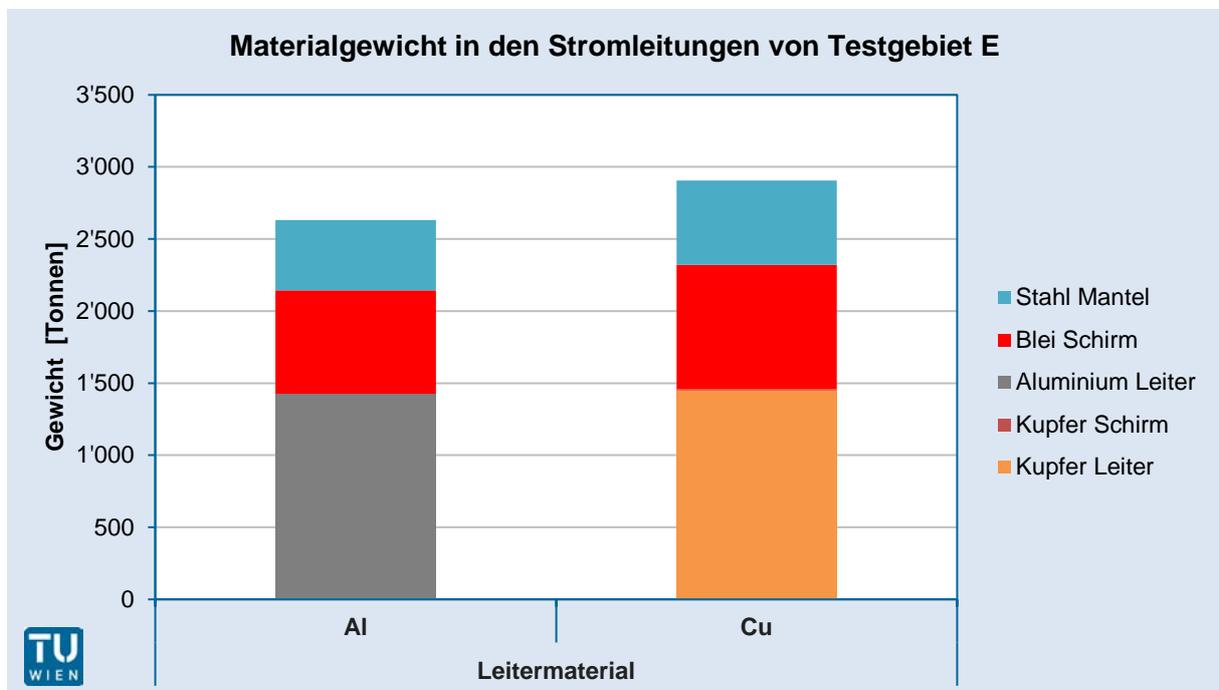


Abbildung 26: Materialzusammensetzung der Stromkabel. Anmerkung: Kunststoff im Mantelmaterial ist nicht dargestellt.

Bei den Netzen für Strom, Gas, Wasser und Wärme wird auch der Nutzungszustand erfasst (Abbildung 27). "Aktiv" bedeutet, dass die Leitung in Betrieb ist. "Stillgelegt" bedeutet, dass die Leitung außer Betrieb ist. Beispielweise sind im Stromnetz rund 2,7 kg Blei/EW, 1,0 kg Kupfer/EW, und 0,3 kg Aluminium/EW nicht in Verwendung.

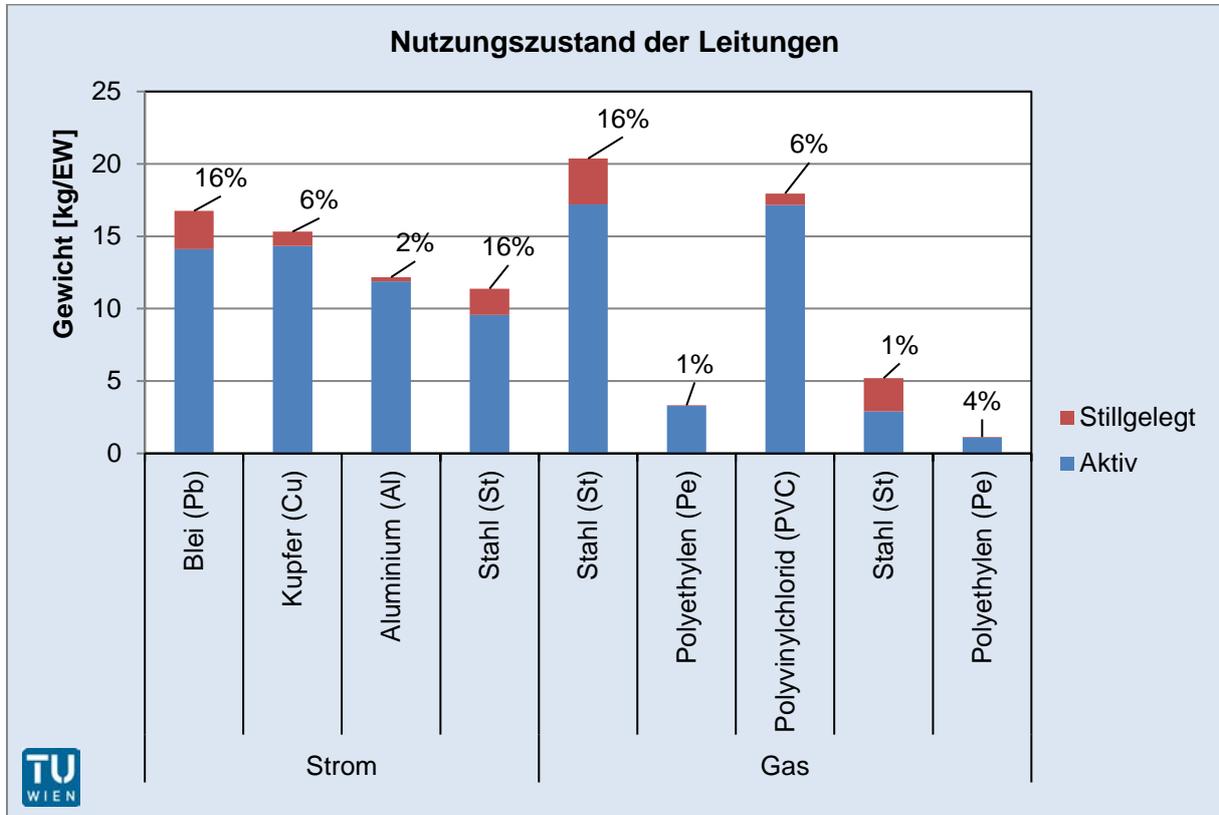


Abbildung 27: Gewicht der stillgelegten Leitungen in den Netzen für Strom, Gas und Wasser. Das Wärmenetz ist aus Gründen der Skalierbarkeit nicht dargestellt. Beim Abwassernetz liegen keine Informationen über den Nutzungszustand vor.

Im Testgebiet E sind 820 km Kanalleitungen (inkl. Hausanschlussleitungen) verlegt - rund 64 % PVC-Rohre und 23 % Betonrohre. Jedem Einwohner können rund 900 kg zugeordnet werden, wobei 820 kg davon Beton sind. Der deutliche Unterschied der Materialien (PVC, Beton) hinsichtlich Leitungslänge und Gewicht liegt einerseits an dem höheren spezifischen Gewicht von Beton und andererseits weisen Betonrohre einen deutlich höhere Nennweite auf.

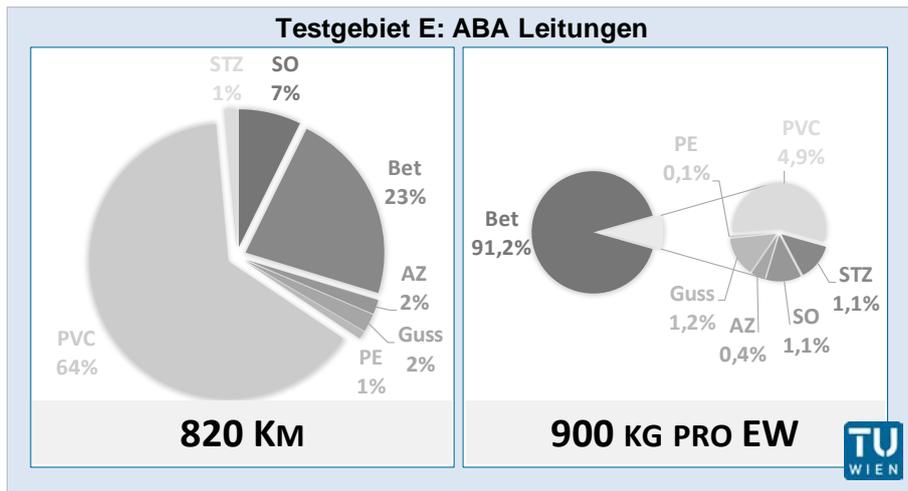


Abbildung 28: ABA Testgebiet E: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)

Leitungen der Wasserversorgungsanlagen weisen eine Länge von rund 970 km (30 % Anschlussleitungen und 70 % Transportleitungen) auf und bestehen zu rund der Hälfte aus Kunststoffrohren (PE und PVC) und einem Viertel aus Gussrohren. Auf jeden Einwohner entfällt ein Lager von etwa 100 kg, wobei rund 50 % Gussrohren zugeordnet werden können.

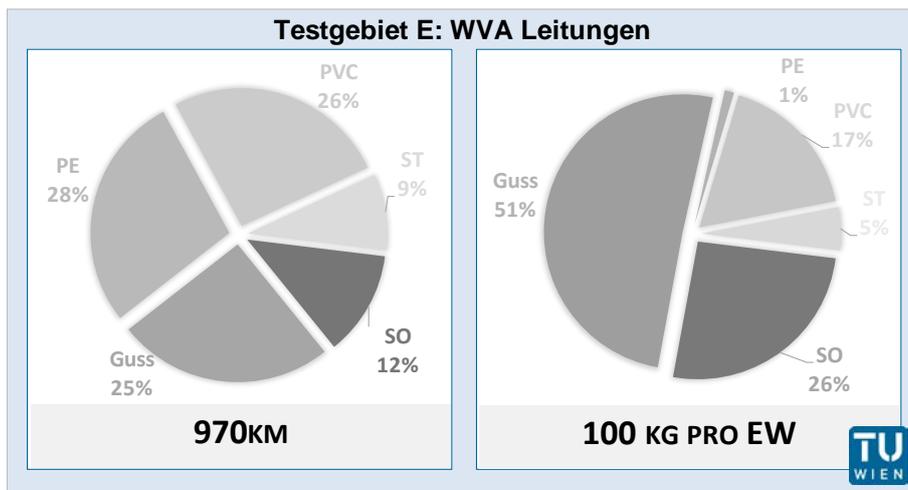


Abbildung 29: WVA Testgebiet E: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)

Die ältesten noch in Betrieb befindlichen Wasserleitung stammen aus den 1920er Jahren und bestehen zum Großteil aus Stahlrohren. Seit den 1950er Jahren wurden vermehrt Kunststoffrohre eingebaut.

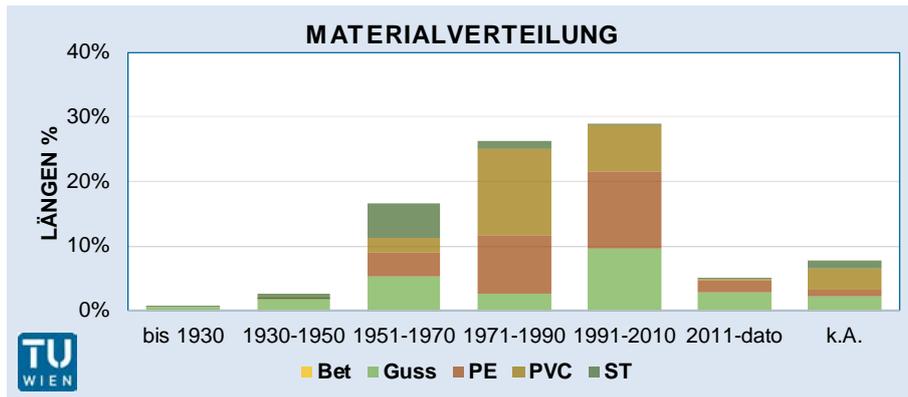


Abbildung 30: WVA Testgebiet E: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme)

Im Testgebiet E ist die Erstellung eines Ressourcenkatasters für die Netze Gas, Wasser, Abwasser, Strom, Gas und Fernwärme mit vertretbarem Aufwand machbar. Das Netz für Telekommunikation wurde in der Auswertung nicht einbezogen, dies wäre aber in Kooperation mit den Netzbetreibern möglich.

2.2.2.6 Testgebiet F: Steiermark

Im GIS des Landes Steiermark werden Daten zu ABA und WVA einzelner Netzbetreiber zusammenfassend abgebildet, welche intern für Mitarbeiter im Geoinformationssystem des Landes einsehbar sind. Neben dem geographischen Lagebezug werden Daten zu Materialart, Rohrdurchmesser und Inbetriebnahme aufgezeichnet und könnten somit als Grundlage für die Erstellung eines Ressourcenkatasters dienen. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen eine statistische Auswertung der derzeit im GIS-Steiermark vorliegenden Daten zum digitalen Leitungskataster. Innerhalb der 5'800 km ABA-Leitungen dominieren Kunststoffe (52 % PVC und 17 % PE). Noch deutlicher ist es bei den WVA, wo über 80 % der Leitungsmaterialien PVC oder PE sind.

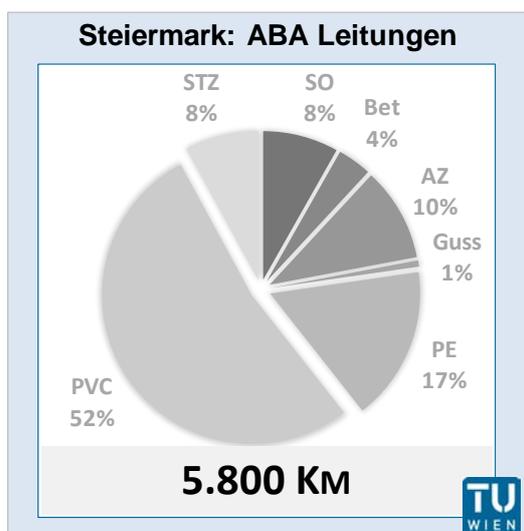


Abbildung 31: ABA Steiermark: Leitungen (Längenverteilung)

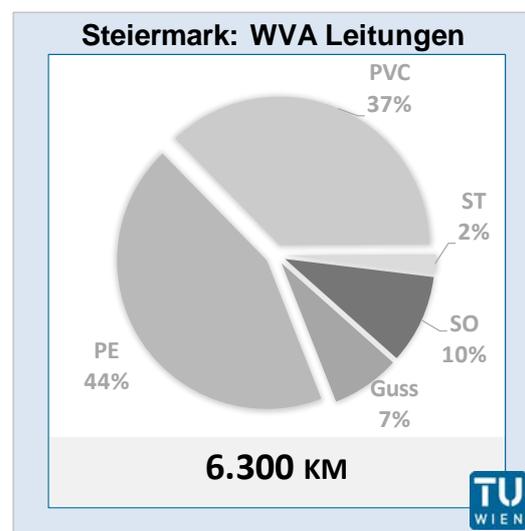


Abbildung 32: WVA Steiermark: Leitungen (Längenverteilung)

Die Daten des GIS-Steiermark können für die Erstellung eines Ressourcenkatasters mit vertretbarem Aufwand verwendet werden, da auf Landesebene eine Aggregation vorhandener raumbezogener Leitungsdaten durchgeführt wird. Des Weiteren ist eine Zusammenfassung des derzeit im GIS-Steiermark vorliegenden Leitungskatasters möglich und kann als Grundlage für eine statistische Auswertung dienen.

2.2.2.7 Testgebiet G: Österreich

In Österreich kommen bei **Abwasserentsorgungsanlagen** sowohl Trenn- als auch Mischsysteme zum Einsatz (ÖWAV 2016), wobei der Großteil Schmutzwasserkanälen zu zuordnen ist. In Summe wird der Bestand von ABA-Leitungen auf 88'000 km abgeschätzt. Auf Basis eines LIS-Datenauszugs (120'000 Datensätze, 10'000 km Leitungslänge bzw. 11% vom Gesamtbestand) wurde die materielle Längenverteilung und Zusammensetzungen der ABA Leitungen grob österreichweit abgeschätzt. Bezogen auf die Kanallängen überwiegen Kunststoffrohre, welche seit 1980 das dominierende Material für ABA-Leitungen sind. Für Österreich kann ein Lager von rund 1,8 Tonnen pro Einwohner abgeschätzt werden, wobei mit rund 90 % Rohre mit hohem spezifischen Gewicht wie Beton- und Steinzeugrohre dafür verantwortlich sind.

Den **Wasserversorgungsanlagen** kann ein Gesamtbestand an Leitungslängen von 77'000 km zugordnet werden. Auf Basis eines LIS-Datenauszugs (150'000 Datensätze, 19'000 km Leitungslänge bzw. 25% vom Gesamtbestand) kann die materielle Zusammensetzungen der WVA-Leitung hochgerechnet werden. Zusätzlich wurde mittels diverser Produktdatenblätter das spezifische Gewicht der Leitungen erhoben, um ein durchschnittliches Lager je Material pro Einwohner zu errechnen. Die Längenverteilung zeigt, dass Gusseisen-, PVC- und PE-Rohre mit rund zwei Drittel dominieren. Im Durchschnitt beträgt für Wasserversorgungsleitungen das Lager pro Einwohner rund 120 kg. Wobei vor allem Gussrohre und Betonrohre dominieren. Dadurch zeigt sich deutlich, dass jene Regionen mit höheren Anteil an Guss- und Betonrohren auch ein größeres Lager pro Einwohner aufweisen.

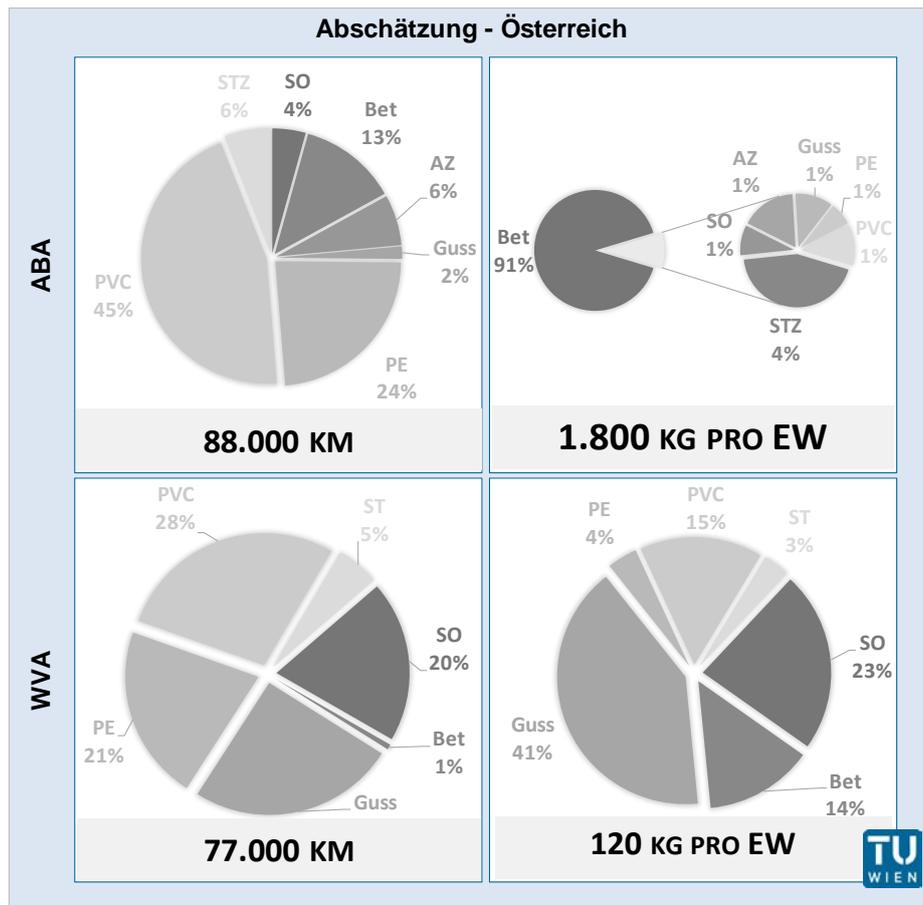


Abbildung 33: Abschätzung für Österreich: Prozentuelle Längenverteilung und materielle Zusammensetzung in kg pro Einwohner

Daten des Leitungsinformationssystems können als Grundlage für die Erstellung eines Ressourcenkatasters herangezogen werden, da sowohl technische als auch geographische Informationen zum Leitungsnetz gesammelt werden. Damit könnten bis dato rund 50 % der Leitungslängen sowohl im GIS als auch zu statistischen Daten zusammengeführt werden. Da einige Netze vor entsprechenden Förderungsmöglichkeiten (2006) digitalisiert wurden, ist mit einem deutlich höheren digitalen Erfassungsgrad zu rechnen.

2.2.2.8 Testgebiet H: Österreich

Bei den Erdöl- und Produktpipelines wurden nur die Transportleitungen von OMV und TAG sowie die Produktleitung der OMV von Schwechat nach St. Valentin berücksichtigt.

Die Leitungen haben eine Länge von 767 km, wobei rund 86'000 Tonnen Stahl (10 kg/EW) verbaut sind (Tabelle 7).

Tabelle 7: Gewicht der Erdöl- und Produktpipelines.

	Länge [km]	Außen- durchmesser [mm]	Wandstärke [mm]	Gewicht [t]
TAL – Transalpine Line	161	1016	10,00	39'994
AWP – Adria Wien Pipeline				
Übernahmeleitung	4	762	7,14	532
Hauptleitung	416	457	7,00	32'358
Stichleitung nach Lannach	14	406	6,35	877
Produktleitung West	172	406	7,00	11'862
Summe	767			85'624

2.3 Machbarkeit eines Ressourcenkatasters

Ziel der Studie ist die Beurteilung, ob ein Ressourcenkataster für erdverlegte Ver- und Entsorgungsnetzwerke (Elektrizität, Telekommunikation, Trinkwasser, Abwasser, Gas sowie Fernwärme und –kälte) in Österreichs Stadtregionen mit vertretbarem Aufwand machbar ist. Ein Ressourcenkataster ist ein geografisches Informationssystem (GIS) zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation räumlicher Ressourcendaten. In der vorliegenden Studie wird auf „Ressourcen“ im Sinne einer Inventarisierung und Georeferenzierung der Materialbestände fokussiert. Die Beurteilung zur Machbarkeit greift auf die Gegenüberstellung der Ergebnisse zum Datenbedarf und –bestand (vgl. Kap. 2.1 und Kap. 2.2) zurück.

Die Ergebnisse in den Testgebieten zeigen, dass ein betrieblicher Ressourcenkataster bei den Netzbetreibern mit vertretbarem Aufwand machbar ist. Die Kombination vorhandener Leitungsdaten mit materialspezifischen Angaben sind ein Nachweis für die vorhandenen Ressourcen und aufgrund der hohen Datenqualität als sehr zuverlässig einzustufen. Für die Umsetzung eines nationalen Ressourcenkatasters (bzw. in ausgewählten Gebieten wie den österreichischen Stadtregionen⁷) müssen die relevanten und aggregierten Daten der einzelnen betrieblichen Ressourcenkataster bereitgestellt und zusammengeführt werden (Abbildung 34). Die Details zur Generierung, Bereitstellung und Zusammenführung der Ressourcendaten sind in den nachfolgenden Kapiteln 2.3.1, 2.3.2 und 2.3.3 beschrieben.

⁷ Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse können in Hinblick auf die Zielsetzung des Vorhabens (vgl. Kap. 1.1.2) keine Aussagen über die flächendeckende Umsetzung eines Ressourcenkatasters in den österreichischen Stadtregionen getroffen werden. Der Grund sind datenschutzrechtliche Bedenken einzelner Netzbetreiber bei der Weitergabe von Informationen. Im Zuge des Vorhabens war es nicht möglich die Grenzen der Ver- und Entsorgungsgebiete sowie den Dokumentationsumfang für das jeweilige Netz in Erfahrung zu bringen. Dies ist erforderlich, da sich die Grenzen der Ver- bzw. Entsorgungsgebiete nicht mit jenen der Stadtregionen decken. Um Aussagen für Stadtregionen treffen zu können, müssen die Informationen der einzelnen Ver- und Entsorgungsgebiete auf nationaler Ebene zusammengeführt werden, um sie im Anschluss nach Stadtregionen auswerten zu können.

Schemata für die Erstellung und Anwendung

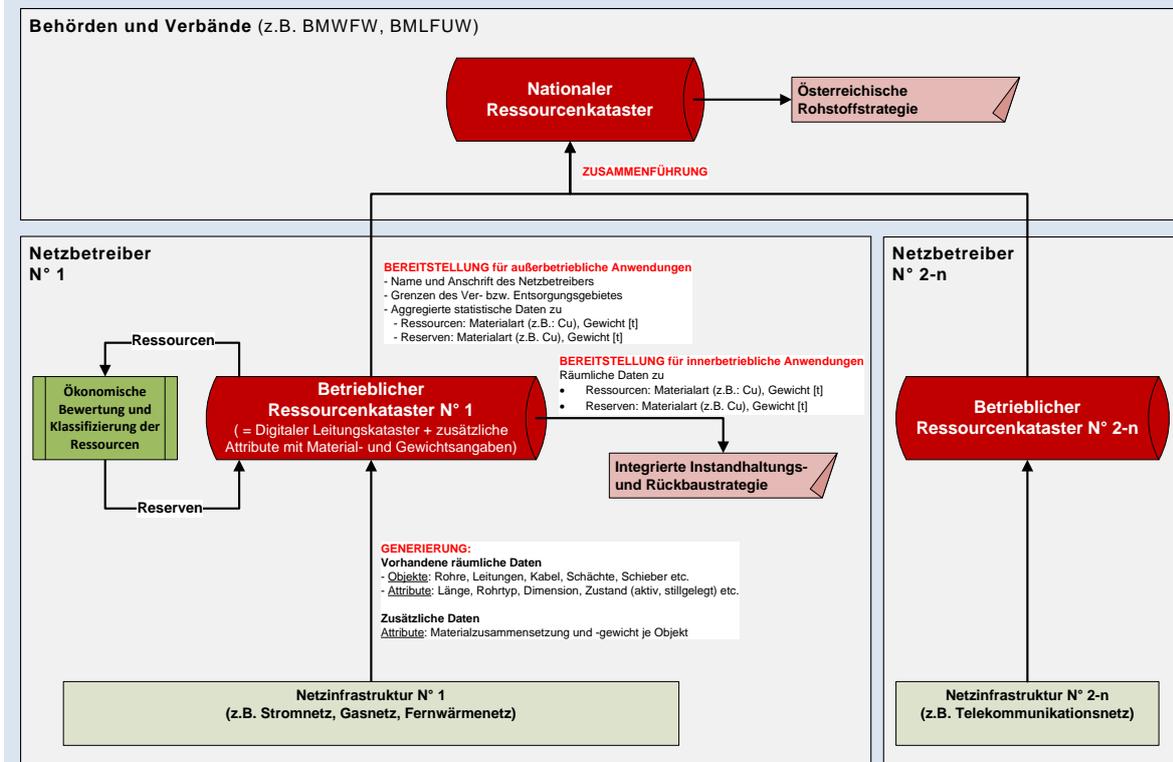


Abbildung 34: Übersicht zur Generierung, Bereitstellung und Zusammenführung relevanter Informationen für die Erstellung eines Ressourcenkatasters auf betrieblicher und nationaler Ebene.

2.3.1 Generierung

Wer hat relevante Daten? Die für die Generierung von räumlichen Ressourcendaten sind die Informationen zu den Einbauten von Relevanz. Dies geschieht entweder durch Fachabteilungen beim jeweiligen Netzbetreiber oder durch externe Dienstleister wie Ingenieurbüros, Ziviltechniker und Vermessungsbüros. Bei Strom, Gas, Wärme, Telekommunikation sowie Erdöl- und Produktleitungen werden die raumbezogenen Leitungsdaten ausschließlich beim Netzbetreiber zusammengeführt und nicht an übergeordnete Behörden oder Dachverbände weitergeben. Bei Wasser und Abwasser liegen die Leitungsdaten ebenfalls beim Netzbetreiber, allerdings erfolgt zum Teil auf Landes- und Bundesebene eine Aggregation der raumbezogenen Leitungsdaten⁸. Die Netzbetreiber erfassen allerdings nur jene Leitungen, die in ihrer Verantwortung liegen. Über die Leitungen Dritter (Private, Gebietskörperschaften, Gewerbetreibende, Industrieunternehmen) liegen zumeist keine relevanten Informationen vor. In diesem Fall können die Netzbetreiber als regionale Kompetenzträger allerdings qualifizierte Abschätzungen über die Einbauten treffen. Die Materialgewichte zu den Einbauten sind Herstellerangaben und Produktdatenblättern zu entnehmen. Diese stammen von Produzenten, Herstellern und Importeuren und liegen

⁸ Jene Leitungen, die mit einem von Bund/Land geförderten Leitungsinformationssystem erfasst wurden, liegen bei der Kommalkredit Austria mit den räumlichen Leitungsdaten vor.

ebenfalls bei den Netzbetreibern auf. Die Grenzen der Ver- bzw. Entsorgungsgebiete sind in Österreich nicht zentral abrufbar. Einzelne Netzbetreiber veröffentlichen Karten mit den Grenzen ihres Ver- bzw. Entsorgungsgebietes. Tabelle 8 gibt einen Überblick zu der Anzahl an Netzbetreibern, den Leitungslängen und zu den Grenzen der Ver- und Entsorgungsgebiete.

Welche Informationen sind von Relevanz? Von Relevanz sind jene Informationen, die eine Ermittlung der Materialmenge und des Nutzungszustandes von Einbauten erlauben. Bei Stromnetzen sind das beispielsweise Kabellänge und die Kabelbezeichnung sowie die Bezeichnung aktiv oder stillgelegt. Aus diesen Informationen lassen sich die genutzten beziehungsweise ungenutzten Materialmengen je Kabel ermitteln. Kap 2.1 (S. 14) gibt einen Überblick zu den relevanten netzspezifischen Informationen im Sinne von Objekten und Attributen.

Wie werden die relevanten Informationen dokumentiert? Die Netzbetreiber erfassen die Leitungsdaten entweder mit einem unternehmensweiten, digitalen Leitungskataster oder mit einer Kombination aus digitalen Trassenkatastern und Zusatzinformationen außerhalb des eigentlichen Katasters:

- Wenn das Netz in einem digitalen Leitungskataster erfasst ist, so können zu den bestehenden Leitungsdaten die Informationen über die verbauten Materialmengen in der Regel automatisiert ergänzt werden. Dafür werden die im Leitungskataster vorhandenen Objekte (z.B. Kabel, Schächte, Deckel, Armaturen) und Attribute (Länge, Materialart) mit zusätzlichen Attribute (z.B. für Strom: Gewicht an Kupfer im Leiter, Gewicht an Blei im Schirm) versehen. Details zu den erforderlichen Attributen in Abhängigkeit vom Netz für Strom, Gas, Wärme, Telekommunikation, Erdöl- und Produktpipelines finden sich in Kap. 2.1 auf Seite 14 ff. Wenn das Netz in einem digitalen Leitungskataster erfasst ist, kann von einer hohen Qualität und Aktualität der unternehmensinternen Datensätze ausgegangen werden. Es handelt sich dabei um Naturbestandsdaten, die durch Vermessungen, Begehungen und Kamerabefahrungen generiert wurden.
- Wenn das Netz nicht in einem digitalen Leitungskataster erfasst ist, können zumeist betriebsinterne Informationsquellen verknüpft werden, um die Ressourcendaten zu generieren. Als Beispiel gilt die ASFINAG, die a) österreichweit ein GIS mit den Leitungstrassen pflegt und b) in den regionalen Baudienststellen die Angaben zur Art, Anzahl und Länge der Leitungen abrufbereit hat. Die A1 Telekom erfasst in einem GIS die Leitungstrasse in Kombination mit einem Schema, das die Details zu der Anzahl der Kabel, deren Länge und Kabelbezeichnung enthält.

Sind in Österreich alle Einbauten digital erfasst? Nein, es gibt eine tendenzielle Untererfassung der Netzinfrastruktur. Dies hat folgende Gründe:

- Beim Wasser wird der Anteil der digital erfassten Leitungslänge an der Gesamtlänge auf rund 60% geschätzt. Beim Kanal sind es rund 40%. Für Strom, Gas, Fernwärme und Telekommunikation ist mangels verfügbarer Daten keine quantitative Abschätzung der digital erfassten Leitungslängen möglich. Bei Strom wird aber davon ausgegangen,

dass die 10 größten Betreiber rund 85% der gesamten Leitungslänge besitzen und deren Netze vollständig erfasst sind. Beim Gas wird aufgrund der hohen sicherheitstechnischen Anforderungen davon ausgegangen, dass die Leitungen der Netzbetreiber zu 100% digital erfasst sind. Bei der Fernwärme wird davon ausgegangen, dass die sieben größten Netzbetreiber rund 90% der Leitungslänge verantworten und die Leitungen im gesamten Netz zu 100% erfasst sind. Bei der Telekommunikation können mangels verfügbarer Informationen keine österreichweiten Aussagen zum Stand der Digitalisierung gemacht werden.

- Wenn eine Netzinfrastruktur zum ersten Mal digitalisiert wird, dann wird der Bestand zumeist nicht vollständig erfasst. Davon betroffen sind beispielweise Leitungen, die vor der Digitalisierung bereits stillgelegt wurden.
- Jeder Netzbetreiber erfasst in der Regel nur jenen Teil des Netzes, der in seiner Verantwortung liegt. Beispielweise sind die Leitungen auf Privatgrundstücken (Hausanschlussleitungen) oder Gewerbe- und Industriearealen nicht erfasst. Beim Kanal entsprechen die Werte für die Länge der Hausanschlusskanalisation ca. dem 2-fachen der Länge der öffentlichen Kanalisation (Neunteufel, Ertl et al. 2012). Der Materialanteil ist im Vergleich zum Entsorgungsnetz allerdings aufgrund der geringeren Durchmesser deutlich kleiner.

Auf welcher räumlichen Ebene können die Ressourcendaten generiert werden? Die Ver- und Entsorgungsgebiete sind die räumliche Bezugseinheit für die Generierung von Ressourcendaten. Dies begründet sich mit der Datenverfügbarkeit bei den Netzbetreibern. Aussagen zu den Materialbeständen mit anderen räumlichen Bezügen (z.B. für den Untersuchungsraum der österreichischen Stadtregionen im Sinne der Zielsetzung der Studie) müssen die Ressourcendaten der einzelnen Ver- und Entsorgungsgebiete von den Netzbetreibern bereitgestellt und in einem nationalen Ressourcenkataster zusammengeführt und nach Stadtregionen ausgewertet werden (vgl. Kap. 2.3.2 und 2.3.3).

Tabelle 8: Überblick

N°		Wasser	Abwasser	Strom	Gas	Telekommunikation	Fern- und Nahwärme	Fernkälte	Erdöl- und Produktpipelines
1	Allgemeine und statistische Daten								
1.1	Anzahl der Netzbetreiber	>1'000 ⁹⁾	>1'000 ¹⁰⁾	121 ¹¹⁾	22 ¹²⁾	>28 ⁵⁾	>800 ⁶⁾	<10	2
1.2	Erdverlegte Leitungslänge (Länge der Kabel und Rohre) [km]	77'000 ¹⁾	90'000	365'000 ²⁾	46'000	Mehrere Hunderttausend Kilometer	>10'000 ³⁾	<10	767
1.3	Grenzen des Ver- bzw. Entsorgungsgebiet veröffentlicht	Einzelne Betreiber veröffentlichen Karten im Internet.				Nein für Kabelnetze, zum Teil für Funknetze	Einzelne Betreiber veröffentlichen Karten im Internet.	Keine veröffentlichten Karten.	n.r.
2	Vorhandene Informationen								
2.1	Digitaler Leitungskataster								
2.1.1	Geschätzter Anteil der digital erfassten Leitungslänge (bei den Netzbetreibern)	60%	40%	>85%	100%	Unbekannt	> 90% ⁷⁾	100%	100%
2.2.2	Objekte	Leitungen, Schächte, Deckel, Armaturen		Leitungen: Kabel, Leerrohre, Produktleitungen, etc. Knotenpunkte: Je nach Netz unterschiedliche Infrastrukturelemente				Leitungen	
2.2.3	Attribute	Leitungen: Länge, Material, Durchmesser, Schächte: Material, Dimension	Leitungen: Länge, Material, Durchmesser, Schächte: Material, Dimension	Länge, Kabelbezeichnung	Länge, Durchmesser, Material	Länge, Kabelbezeichnung	Länge, Produktrohr (Durchmesser, Material, Wandstärke)Isolierung	Keine Rechercheergebnisse	Länge, Material, Durchmesser, Wandstärke
2.2	Alternative Dokumentationen	Digitale und/oder analoge Pläne		Keine Rechercheergebnisse				n.r.	n.r.
3	Erforderliche Zusatzinformationen								
3.1	Attribute ⁴⁾	• Materialgewichte		• Materielle Zusammensetzung der Objekte, Materialgewichte					

Anmerkungen:

- 1) Wasserversorgungsnetz exkl. private Hausanschlüsse, betriebsinterne Leitungen (z.B.: Kunstschneeanlagen, Kraftwerksleitungen)
- 2) Eigene Abschätzung (siehe Kap. 2.2.1.3) exkl. private Hausanschlüsse und betriebsinterne Leitungen (z.B. Kommunale Leitungen für öffentliche Beleuchtung).
- 3) Der Fachverband gibt die Leitungslänge für Fernwärme mit rund 5'000 km an (FWG 2015). Es handelt sich dabei um eine Trassenlänge, wobei je Trasse zumindest 2 Leitungen (Vor- und Rücklauf) verlegt sind. Die Rohrleitungslänge wird deshalb mit mindestens 10'000 km angenommen.
- 4) Details siehe Kapitel 2.1, S. 14 ff.
- 5) Eine vollständige und aktuelle Liste über die Kabelnetzbetreiber ist nicht verfügbar, wenngleich die „Verbreitung von Rundfunk über Kabelnetze ist ein anzeigespflichtiger Kommunikationsdienst nach TKG 2003“ ist (RTR 2017). Eigene Recherchen ergaben eine Anzahl von 28 Kabelnetzbetreibern, wobei diverse Kleinbetreiber nicht erfasst sind.
- 6) Die Anzahl der Netzbetreiber ist eine Schätzung von Seiten des Fachverbandes der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen (Griessmaier-Farkas 2017), da neben den großen Betreibern (z.B. Wien Energie, EVN, etc.) eine Vielzahl von Betreibern regionaler und lokaler Leitungen besteht, deren Anzahl sich in kurzen Zeitabständen ändert.
- 7) Es wird angenommen, dass die großen Betreiber der Fern- und Nahwärmenetze (z.B. Wiener Netze, Energie Graz, etc.) die Leitungen in einem digitalen Leitungskataster erfasst haben (vgl. Kap. 2.2.1.4)
- 8) Die Angabe bezieht sich die Leitungslänge der A1 Telekom Austria (rmDATA Group 2017) und stellt somit eine untere Grenze dar. Genau Angaben über die gesamte Kabellänge im Telekommunikationsbereich sind mangels zentraler Datenverfügbarkeit derzeit nicht möglich.
- 9) In Österreich gibt es beim Wassernetz 165 Wasserverbände und 3'400 Wassergenossenschaften (Neunteufel, Ertl et al. 2012).
- 10) Beim Kanalnetz werden 75 % von Gemeinden, 20 % vom Verbänden und 3 % von Kommunalunternehmen und 2 % von Genossenschaften betrieben. Netzlängen größer 100 km werden zu fast der Hälfte von Verbänden und Kommunalunternehmen betrieben (ÖWAV 2016).
- 11) E-Control Austria (2015).
- 12) (E-Control Austria 2016b)

Abkürzungen: n.r.=nicht relevant;

2.3.2 Bereitstellung

Die Bereitstellung der Ressourcendaten kann mit oder ohne Lagebezug der Objekte erfolgen und hängt von datenschutzrechtlichen Vereinbarungen bei der Weitergabe von Daten und vom Anwendungszweck der Ressourcendaten ab.

- a) Auf der betrieblichen Ebene geben die Ressourcendaten einen Überblick zum Wert- und Schadstoffpotential der verbauten Materialien. Damit wird ein Beitrag zur Entwicklung einer integrierten Instandhaltungs- und Rückbaustrategie ermöglicht (Abbildung 34). In Hinblick auf die gezielte Rückholung stillgelegter Leitungen oder auf die im Zuge von Instandhaltungsarbeiten ausgebauten Materialmengen ist der Lagebezug der Objekte von Relevanz. Abbildung 7 ist ein Beispiel für die räumliche Darstellung der stillgelegten Stromleitungen in der schwedischen Stadt Linköping. Eine gleichwertige Darstellung ist aufgrund der Datenlage auch bei den österreichischen Stromnetzbetreibern realisierbar.
- b) Für außerbetriebliche Anwendungen, wie zum Beispiel einen nationalen Ressourcenkataster, müssen die Ressourcendaten vom Netzbetreiber bereitgestellt werden. Dafür ist kein Lagebezug der Leitungen erforderlich. Die Ressourcendaten können auf Ebene des jeweiligen Ver- bzw. Entsorgungsgebietes aggregiert und rein statistisch bereitgestellt werden. Als statistische Daten gelten zum Beispiel das Gewicht der verbauten und stillgelegten Materialien in Tonnen im jeweiligen Ver- bzw. Entsorgungsgebiet (vgl. Abbildung 24, Abbildung 27). Als Beispiel für eine mögliche Visualisierung wird auf hier auf den Ressourcenkataster in der schwedischen Stadt Norrköping hingewiesen (Abbildung 7). Eine derartige Darstellung ist aufgrund der Datenlage auch bei den österreichischen Stromnetzbetreibern möglich.

2.3.3 Zusammenführung

Um die Ressourcendaten der einzelnen Netzbetreiber in einem nationalen Ressourcenkataster zusammenzuführen sind Standards für die Datenübergabe und eine bundesweite Plattform erforderlich. Als Standard gilt ein shape-file, das die Grenzen des Ver- bzw. Entsorgungsgebietes sowie die verbauten Materialmengen enthält (z.B. Tonnen Kupfer). Die Übergabe kann beispielsweise an das BMWFW beziehungsweise das BMLFUW erfolgen. Die Ministerien sind eine geeignete Koordinierungsstelle für die Zusammenführung der Ressourcendaten, da sie einerseits die österreichische Rohstoffstrategie verantworten und andererseits bereits jetzt relevante Instrumente implementiert haben. Beispielsweise eignet sich das Integrierte Rohstoffinformationssystem (IRIS) des BMWFW, um die Ressourcendaten auf Ebene der Ver- bzw. Entsorgungsgebiete darzustellen. Auch das BMLFUW betreibt ein eigenes Geportal für die Veröffentlichung von Geoinformationsdaten (BMLFUW 2017), in das die anthropogenen Ressourcendaten in einer Karte dargestellt werden können. Die Zusammenführung der einzelnen shape-files ist auch Voraussetzung für die Darstellung der Ressourcen der erdverlegten Netzinfrastruktur in den österreichischen Stadtregionen (vgl. Zielsetzung der Studie im Kap. 1.1.2).

Eine weitere Möglichkeit der Veröffentlichung ergibt sich über die bereits bestehende, europäische Plattform für die Darstellung der „Ressourcen“ und „Reserven“ für mineralische Rohstoffe in Primärlagerstätten. Die sogenannte „European Minerals Knowledge Plattform (EU-MKDP)“ wurde im Rahmen des EU Projektes Minerals4EU entwickelt und vom Geologischen Dienst in Frankreich veröffentlicht (Minerals4EU 2017). Neben den Angaben zu Primärressourcen in europäischen Ländern finden sich auf der Plattform auch Angaben zu Sekundärressourcen, die sich bis dato aber auf europäische Statistiken zu ausgewählten Abfallströmen beschränken. Hier könnten die Ressourcen in den anthropogenen Lagern ergänzt und gemeinsam mit jenen in geogenen Lagerstätten dargestellt werden.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Fachliche Einschätzung

In Österreich werden die Materialmengen in der erdverlegten Infrastruktur derzeit nicht routinemäßig erfasst und bei Netzbetreibern im digitalen Leitungskataster dokumentiert. Somit besteht keine Information über das Ressourcenpotential in der Netzinfrastuktur, obwohl das Netz ein wesentlicher Bestandteil des Anlagevermögens ist.

Die Recherche in den Testgebieten hat gezeigt, dass die Inventarisierung und Georeferenzierung der Materialbestände mit vertretbarem Aufwand machbar ist. Die Ergebnisse der Primärdatenauswertung sind ein Nachweis für die vorhandenen Ressourcen und aufgrund der hohen Datenqualität als sehr zuverlässig einzustufen. Somit kann ein betrieblicher bzw. nationaler Ressourcenkataster umgesetzt werden. Aussagen zu den „Reserven“ im Sinne von gewinnbaren Ressourcen lassen sich aufgrund der Zielsetzung und dem Umfang der Studie (vgl. Kap. 1.1.2, S. 5) nicht ableiten. Dafür sind weitführende Informationen zu den netzspezifischen Rückhol-, Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungstätigkeiten, zur Praxis im Leitungsbau und zur Wirtschaftlichkeit erforderlich (vgl. Kap. 4, S. 49). Die meisten Netzbetreiber besitzen zur aktiven Bewirtschaftung der Netze alle relevanten Informationen, um ein Materialinventar der Einbauten als Bestandteil eines betrieblichen bzw. nationalen Ressourcenkatasters zu erstellen. Sie sind deshalb Kernakteure bei der Bereitstellung der Ressourcendaten.

Die Erstellung von digitalen Leitungskatastern ist sehr kostenintensiv⁹. Wenngleich die Leitungsdaten der optimierten Bewirtschaftung der Netze dienen, so lässt sich mit den vorhandenen Datenbeständen ein Zusatznutzen generieren. Die Erfassung der Wert- und Schadstoffbestände, bzw. die Identifizierung von Ressourcenpotentialen im Netz, liegt nicht im Kerngeschäft der Netzbetreiber. Sie leistet aber einen Beitrag zur Ressourceneffizienz des Unternehmens und kann im Falle der wirtschaftlichen Gewinnung stillgelegter Leitung einen Beitrag zur Kostenreduktion bei Grabungsarbeiten leisten.

In den Testgebieten E und Stockerau liegt die Kupfermenge (aktiv + stillgelegt) bei 15 bzw. 3 kg/EW. Im Vergleich dazu, ist die Kupfermenge in zwei schwedischen Städten bei 18 bzw. 22 kg/EW. Bei den Netzen für Gas, Wasser, Abwasser und Fernwärme zeigen sich ebenfalls deutliche Unterschiede in den einwohnerspezifischen Materialmengen. Daraus ergibt sich, dass der Nachweis über die Ressourcenvorkommen nur auf Basis von Primärdaten im betreffenden Versorgungsgebiet geführt werden kann und nicht durch die Umlegung von Pro-

⁹ Österreichweit wurden in der Berichtsperiode 2011-2013 rund 49 Mio. Euro für die Erstellung digitaler Kanalleitungskataster und 19 Mio. Euro für den Wasserleitungskataster aufgewendet, wobei rund 10.600 km Kanalleitungen und 10.400 km Wasserleitungen erfasst wurden (BMLFUW 2014). Das sind im Bundesdurchschnitt 4,6 Euro/lfm Kanal und 2,3 Euro/lfm Wasserleitung. Werden die Laufmeterkosten auf die 90'000 km Kanal und 77'000 km Wasserleitung in Österreich umgelegt, so ergeben sich rund 590 Mio. Euro für die digitale Erfassung der Netze.

In der Steiermark werden für den Zeitraum 2011 bis 2021 die Kosten für die Erstellung der digitalen Leitungskataster auf 43 Mio. Euro geschätzt (Mach & Partner ZT-GmbH 2013).

Kopf Daten. Das gleiche gilt auch für die Netze für Gas, Wasser, Abwasser und Telekommunikation.

In den Testgebieten E und Stockerau liegt der Anteil der stillgelegten Kupferleitungen bei rund 6% aller erfassten Kupferleitungen (massebezogen) und ist somit rund halb so groß wie jener in den schwedischen Städten Linköping (11%) und Göteborg (14%). Daraus ergibt sich, dass das Reservoir an potentiell zu gewinnenden Sekundärrohstoffen von regionalspezifischen Gegebenheiten abhängt und Angaben aus einem Testgebiet keine zuverlässigen Hochrechnungen auf das gesamte Leitungsnetz zulassen.

3.2 Relevanz der Ergebnisse für ausgewählte Zielgruppen

Die Ergebnisse haben für die Besitzer von Netzinfrastruktur, für Behörden, die Wissenschaft und das FFG Programm „Stadt der Zukunft“ eine besondere Relevanz.

Besitzer von Netzinfrastruktur: Die flächendeckende und ganzjährige Versorgung der Kunden mit Energie, Wasser und Information ist die Kernaufgabe der Netzbetreiber. Sie sorgen für Bau, Betrieb und Instandhaltung der Netze, welche ein bedeutendes Anlagevermögen darstellen. Der Ressourcenkataster weist die Wert- und Schadstoffpotentiale im Netz aus und unterstützt eine integrierte Instandhaltungs- und Rückbaustrategie. Diese sieht vor, stillgelegte Leitungen auszuweisen und deren wirtschaftliche Rückholung im Zuge von Instandhaltungsarbeiten beim betroffenen Leitungsabschnitt zu bewerten. Eventuell ergeben sich auch Synergien mit zentralen organisierten Informationen zu zukünftigen Grabungstätigkeiten anderer Netzbetreiber. Beispielsweise gibt es in Niederösterreich ein Aufgrabungs-GIS, wo Einbautenträger zukünftige Grabungsvorhaben verzeichnen.

BMWWF und BMLFUW: Das BMWWF hat eine österreichische Rohstoffstrategie entwickelt, die in Analogie zur EU-Rohstoffstrategie auf drei Säulen beruht (BMWWF 2016):

1. Säule: Sicherung des langfristigen Zugangs zu heimischen Lagerstätten durch raumordnerische Maßnahmen.
2. Säule: Sicherung eines fairen und diskriminierungsfreien Zugangs zu mineralischen Rohstoffen auf den Weltmärkten.
3. Säule: Schonung von primären Ressourcen und effizienter Umgang mit Rohstoffen durch Steigerung der Ressourceneffizienz und Verbesserung des Recyclings.

Die ersten beiden Säulen werden vom BMWWF behandelt, wobei für die erste Säule der „Rohstoffplan Österreich“ entwickelt wurde und für die zweite Säule das „Interaktive Rohstoffinformationssystem“ IRIS als Beitrag zu verstehen ist (Lipiarski et al. 2016, Geologische Bundesanstalt 2017). Das IRIS liefert in einer Kartendarstellung u.a. Informationen zu den geogenen Lagerstätten in Österreich. Für die anthropogenen Lager gibt es ein derartiges Informationssystem derzeit nicht. Um das anthropogene Lager ebenfalls als Beitrag zur Rohstoffversorgung zu sehen, hat das BMLFUW den „Ressourceneffizienzplan“ entwickelt, welcher einen Beitrag zur dritten Säule der österreichischen Rohstoffstrategie leistet. Der nationale Ressourcenkataster mit der Inventarisierung und Georeferenzierung der

anthropogenen Materialbestände kann als Pendant zum Rohstoffinformationssystem für geogenen Lagerstätten verstanden werden.

Wissenschaft: Für die systematische Analyse und Bewertung von Ressourcensystemen spielen die Materialbestände in den anthropogenen Lagern eine zentrale Rolle. Deren Inventarisierung ermöglicht in Kombination mit Rückbau-, Instandhaltungs- und Erweiterungsszenarien Aussagen über den zukünftigen Rohstoffbedarf einerseits und die zu erwartenden Abfallmengen andererseits zu treffen. Die Kenntnis über die Materialströme und -bestände ist auch Voraussetzung, um die ökologische Dimension der Ressourcennutzung beurteilen zu können. Die Kenntnis der Materialbestände ermöglicht auch eine Beurteilung der Ressourceneffizienz verschiedener Siedlungsstrukturen. Dies erfolgt durch die Gegenüberstellung der Materialbestände ausgewählter Siedlungstypen, wie zum Beispiel einer ländlichen und städtischen Region. Damit finden die Aspekte der Ressourceneffizienz Eingang in die Raumplanung.

FFG Programm „Stadt der Zukunft“: Das Förderprogramm fokussiert auf „Gebäude- und Energietechnologien oder technologische Teilsysteme sowie die Entwicklung von Planungs- und Prozessentwicklungsbeiträgen als Input für Smart-Cities-Entwicklungen“ (Bockstefl et al. 2016). Es richtet sich danach aus, neue Technologien, technische Systeme und Dienstleistungen zu entwickeln. Im Mittelpunkt stehen dabei Quartiere, Stadteile und für ausgewählte Systemfragen auch die gesamte Stadt. Die Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz zählt dabei zu den wesentlichen Zielsetzungen der geförderten Vorhaben. Das vorliegende Vorhaben leistet einen Beitrag, da ein Ressourcenkataster ein entscheidendes Instrument zur Beurteilung der Ressourceneffizienz von Siedlungsstrukturen und eine Voraussetzung für die wirtschaftliche Beurteilung der Rohstoffpotentiale ist. Der Ressourcenkataster ist ein digitales Informationssystem zur Erfassung, Darstellung und Analyse räumlicher Ressourcendaten. Er erweitert die bestehenden Instrumente zum digitalen Planen, Bauen und Bewirtschaften um den Aspekt des Rückbaus und leistet somit einen Beitrag zur lebenszyklusorientierten Bewirtschaftung von Netzinfrastrukturen.

4 Ausblick und Empfehlungen

Die Ergebnisse in den Testgebieten zeigen, dass die Charakterisierung der Materialbestände (Materialart und -menge, Nutzungszustand, Georeferenzierung) mit vertretbarem Aufwand machbar ist. Wird die Charakterisierung der Materialbestände für ein Netz in der Praxis erstellt, so ist das eine notwendige Voraussetzung, um in weiterer Folge die wirtschaftliche und ökologische Bedeutung der Ressourcenpotentiale zu quantifizieren. Damit können auf betrieblicher Ebene integrierte Instandhaltungs- und Rückbaustrategien entwickelt und der ökologische Nutzen der gewonnen Sekundärrohstoffe beurteilt werden. Im Rahmen weiterführender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist deshalb folgendes Ziel zu verfolgen:

Wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Ressourcenpotentiale in der Netzinfrastruktur.

Aus dem Ziel leiten sich folgende Forschungsfragen ab:

- Welche Materialbestände sind in der Netzinfrastruktur derzeit vorhanden und welche Mengen gelangen zukünftig aufgrund von Rückhol-, Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungstätigkeiten in die Abfall- und Ressourcenwirtschaft? [Charakterisierung]
- Wie stellt sich die Wirtschaftlichkeit der ausgebauten Materialmengen unter Berücksichtigung der Kosten für die Gewinnung der Ressourcen und der Erlöse am Sekundärrohstoffmarkt dar? [Wirtschaftlichkeit]
- Welche ökologische Bedeutung (Energie- und Ressourceneinsparung) haben die ausgebauten Materialien bei einer lebenszyklusorientierten Betrachtung der Netzinfrastruktur? [Ökologie]

Die Fragen können im Rahmen eines Vorhabens in Kooperation mit ausgewählten Netzbetreibern beantwortet werden. Die Chancen für eine erfolgreiche Umsetzung sind hoch, da im Zuge der Machbarkeitsstudie einzelne Netzbetreiber bereits Interesse an Realisierung eines betrieblichen Ressourcenkatasters gezeigt haben. Die Herausforderung besteht darin, eine Vereinbarung zur Geheimhaltung bzw. Veröffentlichung unternehmensinterner Daten¹⁰ zu finden. Die Risiken einer Umsetzung werden als gering eingestuft, da die Charakterisierung der erdverlegten Materialbestände die entscheidende Wissenslücke ist und deren Schließung aufgrund der vorhandenen Daten erfolgen kann.

¹⁰ Öffentliches Interesse an aggregierten Daten besteht in Hinblick auf eine nationale Rohstoffpolitik, die einerseits die Ressourcen (Materialbestände in den anthropogenen Lagern) und andererseits die Reserven (Materialbestände, die unter den gegebenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Abfallwirtschaft und in weiterer Folge für die Produktion und Nutzung zu Verfügung stehen) erfasst.

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systemdefinition zum anthropogenen Ressourcenhaushalt.....	4
Abbildung 2: Das Klassifikationssystem nach McKelvey ist der konzeptionelle Rahmen um die Verfügbarkeit von Materialien in (geogenen) und anthropogenen Lagern beurteilen zu können. Die Abbildung ist gegenüber dem Original von McKelvey et al. (1976) eine Vereinfachung und wurde von den Studienautoren übersetzt.	4
Abbildung 3: Die Stadt als Rohstoffmine? Bildquelle: Tatwort et al. (2014).....	6
Abbildung 4: Abschätzung der Kupfermengen in geogenen und anthropogenen Lagern. Die zugehörige Datentabelle findet sich im Anhang A.....	7
Abbildung 5: Abschätzung der Kupfermengen anthropogenen Lagern. Die zugehörige Datentabelle findet sich im Anhang A.	8
Abbildung 6: Darstellung ausgewählter Materialbestände in a) Nordamerika, b) Salford, c) Wien und d) Graz-Eggenberg.....	9
Abbildung 7: Ressourcenkataster in der Stadt Linköping und Norrköping (Schweden).	10
Abbildung 8: Hotspots einer integrierten Instandhaltung- und Rückbaustrategie. Bildquelle: Wallsten et al. (2015).....	11
Abbildung 9: Vorgangsweise und Struktur des Berichtes.....	12
Abbildung 10: Ausschnitt eines digitalen Kanalkatasters in städtischem Gebiet.	14
Abbildung 11: Digitalisierungsgrad - Tabellarische Auswertung der erfassten Förderungsanträge des Leitungsinformationssystems [% der Gesamtkilometer].....	18
Abbildung 12: Digitalisierungsgrad - Geographische Auswertung auf Bezirksebene [% der erfassten und endabgerechneten Förderungsanträge des Leitungsinformationssystems zu Gesamtkilometer].....	18
Abbildung 13: Verteilung der Leitungslängen nach Netzbetreiber. Datenquelle: Auskünfte auf den Websites der Netzbetreiber und auf persönliche Anfrage. Folgende Netzbetreiber wurden mangels öffentlich verfügbarer Daten nicht berücksichtigt: GasNetz Veitsch, EVA.....	19
Abbildung 14: Geographische Übersicht zu den ausgewählten Testgebieten A bis D und F bis H. Das Testgebiet E wurde aufgrund datenschutzrechtlicher Vereinbarungen anonymisiert.	24
Abbildung 15: Materialbestand je Netz. Total = 1'820 Tonnen = 110 kg/EW.....	26
Abbildung 16: Gewicht der stillgelegten Leitungen in den Netzen für Strom und Gas. Das Wärmenetz ist aus Gründen der Skalierbarkeit nicht dargestellt.....	26
Abbildung 17: ABA Wiener Neustadt: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner).....	27
Abbildung 18: ABA Wiener Neustadt: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme) .	28
Abbildung 19: ABA Neunkirchen: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner).....	29
Abbildung 20: WVA Neunkirchen: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner).....	30
Abbildung 21: WVA Neunkirchen: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme).....	30

Abbildung 22: ABA Lanzenkirchen: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)	31
Abbildung 23: ABA Lanzenkirchen: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme).....	31
Abbildung 24: Materialbestand je Netz. Total = = 1560 kg/EW.	32
Abbildung 25: Gewichtsbezogene Verteilung der Materialien auf die Netze für Wärme, Strom, Gas, Wasser und Abwasser. Kunststoff im Mantelmaterial der Stromkabel wurde nicht erfasst.	33
Abbildung 26: Materialzusammensetzung der Stromkabel. Anmerkung: Kunststoff im Mantelmaterial ist nicht dargestellt.....	33
Abbildung 27: Gewicht der stillgelegten Leitungen in den Netzen für Strom, Gas und Wasser. Das Wärmenetz ist aus Gründen der Skalierbarkeit nicht dargestellt. Beim Abwassernetz liegen keine Informationen über den Nutzungszustand vor.	34
Abbildung 28: ABA Testgebiet E: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)	35
Abbildung 29: WVA Testgebiet E: Leitungen (Längenverteilung, spezifisches Lager pro Einwohner)	35
Abbildung 30: WVA Testgebiet E: Leitungen (Materialverteilung nach Inbetriebnahme).....	36
Abbildung 31: ABA Steiermark: Leitungen (Längenverteilung)	36
Abbildung 32: WVA Steiermark: Leitungen (Längenverteilung)	36
Abbildung 33: Abschätzung für Österreich: Prozentuelle Längenverteilung und materielle Zusammensetzung in kg pro Einwohner.....	38
Abbildung 34: Übersicht zur Generierung, Bereitstellung und Zusammenführung relevanter Informationen für die Erstellung eines Ressourcenkatasters auf betrieblicher und nationaler Ebene.....	40

5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeiner Überblick zum Datenbedarf am Beispiel Wassernetz (Objekt: Haltungen).....	15
Tabelle 2: Zusammenfassung der Infrastruktur WVA und ABA (Neunteufel, Ertl et al. 2012).	17
Tabelle 3: Strominfrastruktur in Österreich (E-Control Austria 2014).	20
Tabelle 4: Kenndaten zu Erdöl- und Produktpipelines	23
Tabelle 5: Übersicht und Metadaten zu den ausgewählten Testgebieten	24
Tabelle 6: Ressourcen und Kapazitäten im Netzgeschäft der EVN (EVN 2013).	25
Tabelle 7: Gewicht der Erdöl- und Produktpipelines.	39
Tabelle 8: Überblick.....	43

5.3 Literaturverzeichnis

AGGM: Erdgasinfrastruktur für Österreich (georeferenzierte Darstellung). Internetquelle <http://www.aggm.at/> (abgerufen am 3.8.2016).

Ämter der Landesregierungen: Richtlinie zur Übergabe von Daten des Kanalkatasters (Leitungsinformationssystem Kanal / LIS-Kanal). Schnittstelle der Bundesländer Steiermark, Kärnten, Oberösterreich, Salzburg und Tirol 2015a.

Ämter der Landesregierungen: Richtlinie zur Übergabe von Daten des Wasserleitungskatasters. Schnittstelle der Bundesländer Steiermark, Kärnten, Oberösterreich, Salzburg und Tirol, 2015b.

BioEnergie Kufstein: Versorgungsgebiet. Internetquelle <http://www.stwk.at/produkte/waerme/versorgungsgebietwaerme.html> (abgerufen am 3. Jänner 2017).

BMLFUW: Ressourceneffizienz Aktionsplan (REAP). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien, 2012.

BMLFUW: Evaluierung der Umweltförderungen des Bundes 2011-2013. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien, 2014.

BMLFUW: Förderungsrichtlinien für die kommunale Siedlungswasserwirtschaft 2016, Wien, 2016a.

BMLFUW: Investitionskostenerhebung 2013. Internetquelle https://www.bmlfuv.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/foerderungen/trinkwasser_abwasser/aktuelle_projekte/investitionskosten.html (abgerufen am 20. Dezember 2016).

BMLFUW: Spezialthemen der Förderung in der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft gemäß FRL 2016 (Version 2/2016). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), 2016c.

BMLFUW: Wasserversorgung und -verwendung in Österreich. Internetquelle <https://www.bmlfuv.gv.at/wasser/nutzung-wasser/versorgung.html> (abgerufen am 20. Dezember 2016).

BMLFUW: GIS-Anwendungen des BMLFUW. Internetquelle <https://www.bmlfuv.gv.at/service/geo-informationen.html> (abgerufen am 9. Jänner 2017).

BMWFW: Energiestatus Österreich 2015. Bundesministerium für Wissenschaft & Forschung & Wirtschaft (BMWFW), Wien, 2015a.

BMWFW: Ressourcennutzung in Österreich. Bundesministerium für Wissenschaft & Forschung & Wirtschaft (BMWFW), Wien, 2015b.

BMWFW: Die Österreichische Rohstoffstrategie. Internetquelle <http://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Rohstoffstrategie/Seiten/default.aspx> (abgerufen am 10. Juni 2016).

Bockstefl, J., C. Dankl, W. Hantsch-Linhart, et al.: Ausschreibungsleitfaden "Stadt der Zukunft": 4. Ausschreibung. BMVIT, Wien, 2016.

Brandstätter: Auskunft zur Dokumentation des Leitungsnetzes. Persönliche Mitteilung an: U. Kral, 1. Juni 2016.

Clement, D., K. Hammer und P. H. Brunner: Bewertung unterschiedlicher Szenarien der Behandlung von Baurestmassen anhand von Kosten-Wirksamkeits-Analysen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 63 (11-12), 211-223. 2011.

Daxbeck, H., H. Buschmann, A. Gassner, et al.: Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters (Projekt UMKAT), Wien, 2015.

Daxbeck, H., H. Buschmann, S. Neumayer, et al.: Methodology for mapping of physical stocks, Wien, 2009.

Daxbeck, H., J. Flath, S. Neumayer, et al.: Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU, Wien, 2011.

Daxbeck, H., S. Neumayer, P. H. Brunner, et al.: Entwicklung einer Methode für die Bilanzierung von Gebäuden zur Bestimmung der Zusammensetzung von Baurestmassen am Beispiel von Wohngebäuden, Wien, 2008.

Daxbeck, H., M. Stockinger und B. Brand: Beitrag der Abfallwirtschaft zum Kupferhaushalt Österreich. Ressourcen Management Agentur, Wien, 2006.

Döberl, G., R. Fehringer, B. Müller, et al.: Verknüpfung Rohstofflager - anthropogene Lager - letzte Senken. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Wien, 2004.

E-Control Austria: Übertragungs- und Verteilungsanlagen: Trassen- und Systemlängen zum 31. Dezember 2013, 2014.

E-Control Austria: Liste an Strom-Netzbetreibern. Internetquelle <http://www.e-control.at/haushalts-tarifkalkulator/listSuppliers.xhtml> (abgerufen).

E-Control Austria: Erdgas in Österreich. Leitungslängen zum 31. Dezember. Internetquelle https://www.e-control.at/documents/20903/637684/BeStErdGas-JR1_Netz.xlsx/05a0c5bb-3a09-44a5-8816-dc1fd2ead66c (abgerufen am 16. Februar 2016).

E-Control Austria: Gasnetz. Internetquelle <https://www.e-control.at/de/industrie/gas/gasnetz> (abgerufen am 21. Dezember 2016).

Ebner Strom: Versorgungsgebiet. Internetquelle <http://www.ebnerstrom.at/versorgungsgebiet.html> (abgerufen am 3. Jänner 2017).

Edler, C.: Das österreichische Gasnetz. Bachelorarbeit Thesis, Technische Universität Wien, 2013.

Egle, L., H. Rechberger und M. Zessner: Phosphorbilanz Österreich. Grundlagen für ein nachhaltiges Phosphormanagement - gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklung, Wien, 2013.

EVN: Die EVN im Überblick, Maria Enzersdorf, 2013.

EVN: Versorgungsgebiet von EVN Wasser. Internetquelle <https://www.evn.at/Gemeinden/Wasser.aspx> (abgerufen am 3. Jänner 2017).

FWG: Erdgas und Fernwärme in Österreich: Zahlenspiegel 2015. Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen (FGW), Wien, 2015.

FWG: Österreich hat großes Potenzial bei Fernwärme. Internetquelle
http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20140806_OTS0013/oesterreich-hat-grosses-potenzial-bei-fernwaelte-bild (abgerufen am 10. Oktober 2016).

Geologische Bundesanstalt: IRIS Online. Internetquelle
<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=c1255d236ac84cd68fc02fd037a5ed8d&extent=10.6948,45.4165,16.0012,49.9112> (abgerufen am 27. Jänner 2017).

Gerst, M. D.: Linking Material Flow Analysis and Resource Policy via Future Scenarios of In-Use Stock: An Example for Copper. In: Environmental Science & Technology, 43 (16), 6320-6325. 2009.

Griessmaier-Farkas, K.-A.: Auskunft zur Anzahl der Wärmenetzbetreiber in Österreich. Persönliche Mitteilung an: U. Kral, 26. Jänner 2017.

kabelplus: Unternehmen. Internetquelle
<https://www.kabelplus.at/SpecialPages/Header/Unternehmen.aspx> (abgerufen am 26. Jänner 2017).

Kanduth, R.: Daten zu Einbauten. Persönliche Mitteilung an: U. Kral, 9. Jänner 2017.

Kapper, H.: Auskunft zum Netz. Persönliche Mitteilung an: U. Kral, 31. Mai 2016.

Kapur, A. und T. E. Graedel: Copper Mines Above and Below the Ground. In: Environmental Science & Technology, 40 (10), 3135-3141. 2006.

Kapur, A., G. Keoleian, A. Kendall, et al.: Dynamic modeling of in-use cement stocks in the United States. In: Journal of Industrial Ecology, 12 (4), 2008.

Kleemann, F., J. Lederer, H. Rechberger, et al.: GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings. In: Journal of Industrial Ecology, Accepted for publishing. 2016.

KPC: Formblätter zur Endabrechnung digitaler Leitungsinformationssystem (LIS). Kommunalkredit Public Consulting (KPC), Wien, 2016.

Krook, J., A. Carlsson, M. Eklund, et al.: Urban mining: hibernating copper stocks in local power grids. In: Journal of Cleaner Production, 19 (9–10), 1052-1056. 2011.

Landsteiner, A.: Leitungslänge der TAG. Persönliche Mitteilung an: U. Kral, 4. Jänner 2017.

Lichtensteiger, T. und P. Baccini: Exploration of Urban Stocks. In: J. Environ. Eng. Manage., 18 (1), 41-48. 2008.

Linz AG: Fernwärme. Internetquelle
http://www.linzag.at/portal/portal/linzag/businesskunden/energie_1/waerme_1/kaelteversorgung_1 (abgerufen am 22. Dezember 2016).

Linz AG: Versorgungsgebiet. Internetquelle
https://linzag.at/cms/media/linzagwebsite/images_3/wohnungenergie/wasser/LINZAG_Wasser_Versorgungsuersicht.jpg (abgerufen am 3. Jänner 2017).

Linz Strom Netz GmbH: Versorgungsgebiet und Kundenanlagen. Internetquelle <https://www.linz-stromnetz.at/portal/stromnetz/stromnetz/verteilernetz/netzgebiet> (abgerufen am 22. Dezember 2016).

Lipiarski, P., B. Atzenhofer, J. Rabeder, et al.: Rohstoffarchiv EDV – Grundlagen und Dokumentation / Rohstoffarchiv GIS – Auswertung und Darstellung. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2016.

LIWEST: Versorgungsgebiet LIWEST Kabelnetz. Internetquelle https://www.liwest.at/fileadmin/templates/main/liwest/media/pdf_content/Gebietsuebersicht/Versorgungsgebiet-Liwest-neu-Oktober-2012-strichliert_gross.jpg (abgerufen).

MA28: Bestimmungen zur Datenlieferung für den digitalen zentralen Leitungskataster. Magistratsabteilung 28 (MA28), Wien, 2006.

Mach & Partner ZT-GmbH: Investitionskostenerhebung Siedlungswasserwirtschaft 2012 - Nacherhebung und Auswertung für die Steiermark., 2013.

Machat, E.: Auskunft zum Netz von Kabelplus. Persönliche Mitteilung an: U. Kral, 31. Mai 2016.

McKelvey, V. E. und T. Kleepe: Principles of the Mineral Resource Classification System of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey Washington, 1976. Geological Survey Bulletin 1450-A.

Minerals4EU: European Minerals Knowledge Data Platform (EU-MKDP). Internetquelle <http://minerals4eu.brgm-rec.fr/> (abgerufen am 26. Jänner 2017).

Neunteufel, R., T. Ertl, A. Spindler, et al.: Technische Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), 2012.

NÖ Landesregierung: Folgende Gemeinden werden ausgebaut. Internetquelle http://www.noe.gv.at/Verkehr-Technik/Telekommunikation/Breitbandinitiative-2012-14/Gemeinden_Ausbau.html (abgerufen am 26. Jänner 2017).

Obernosterer, R. und I. Reiner: Stickstoffbilanz Österreich. Beitrag der Abfallwirtschaft zum Stickstoffhaushalt Österreich. Ressourcen Management Agentur, Villach, 2003.

OMV: Transportleistung. Internetquelle https://www.omv.at/portal/01/at/omv_at/Privatkunden/ueber_OMV/OMV_in_Oesterreich/adria-wien-pipeline/transportleistung (abgerufen am 12. Dezember 2016).

ÖWAV: Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2016. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Wien, 2016.

Pilz, H., E. Kletzer und F. Neubacher: Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreich. Gesellschaft für umfassende Analysen, Wien, 2003.

Pöttschacher, M.: Auskunft zum Netz der ASFINAG. Persönliche Mitteilung an: U. Kral, 19. Dezember 2016.

Rauch, J. N.: Global mapping of Al, Cu, Fe, and Zn in-use stocks and in-ground resources. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106 (45), 18920-18925. 2009.

Reisinger, H., G. Schöller, T. Jakl, et al.: Lead, Cadmium and Mercury Flow Analysis – Decision Support for Austrian Environmental Policy. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 61 (5), 63-69. 2009.

rmDATA Group: A1 Telekom. Internetquelle http://www.rmdata-geospatial.com/a1_telekom_austria.de.58.htm (abgerufen am 26. Jänner 2017).

RTR: Wo gibt es eine Übersicht der Kabelnetzbetreiber in Österreich? Internetquelle <https://www.rtr.at/de/m/FAQRF18> (abgerufen am 26. Jänner 2017).

Salzburg Netz GmbH: Unser Stromnetz. Internetquelle http://www.salzburgnetz.at/content/dam/websites/salzburgnetz/Downloads/Stromnetz/Versorgungsgebiet_09_2009.pdf (abgerufen am 22. Dezember 2016).

Schmidt, R.-R., R. Tichler und C. Amann: Der F&E-Fahrplan Fernwärme & Fernkälte in Österreich. 1. Fernwärme/ Fernkälte Praxis- und Wissensforum Wien, 2015.

Sörme, L., B. Bergbäck und U. Lohm: Century Perspective of Heavy Metal Use in Urban Areas. A Case Study in Stockholm. In: Water, Air and Soil Pollution: Focus, 1 (3-4), 197-211. 2001.

Stadtwerke Köflach: Versorgungsgebiet. Internetquelle <http://www.stadtwerke-koeflach.at/geschaeftsbereiche/wasserversorgung/versorgungsgebiet.html> (abgerufen am 3. Jänner 2017).

Stadtwerke Voitsberg: Versorgungsgebiet. Internetquelle <http://www.stadtwerke-voitsberg.at/bereiche/wasser/versorgungsgebiet/> (abgerufen am 3. Jänner 2016).

Stark, W., T. Vogel-Lahner und W. Frühwirth: Bauwerk Österreich - Management von Baurestmassen nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und des langfristigen Umweltschutzes anhand der Güter- und Stoffbilanz des „Bauwerks Österreich“, 2003.

Statistik Austria und Österreichischer Städtebund: Österreichs Städte in Zahlen 2013, Wien, 2013.

Steger, S., M. Fekkek und S. Bringezu: Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen, Wuppertal, 2011.

Stromnetz Graz GmbH: Versorgungsgrenzen Stromnetz Graz GmbH & Co KG. Internetquelle <https://www.stromnetz-graz.at/das-unternehmen/versorgungssicherheit/versorgungsgebiet.html> (abgerufen am 3. Jänner 2016).

Tanikawa, H., T. Sakamoto, S. Hashimoto, et al.: Visualization of Regional Material Flow using Over-flow Potential Maps. Ecobalance, 2004.

Tatwort und Fredmanky: Präsentationsunterlagen der Kampagne "VOR SORGEN für der Erhalt der Trink- und Abwassernetze", Wien, 2014.

van Beers, D. und T. Graedel: The magnitude and spatial distribution of in-use copper stocks in Cape Town, South Africa. In: South African Journal of Science Volume 99 (Issue 1 & 2), 61 - 69 2003.

Wallsten, B., A. Carlsson, P. Frändegård, et al.: To prospect an urban mine – assessing the metal recovery potential of infrastructure “cold spots” in Norrköping, Sweden. In: Journal of Cleaner Production, 55 (0), 103-111. 2013.

Wallsten, B., D. Magnusson, S. Andersson, et al.: The economic conditions for urban infrastructure mining: Using GIS to prospect hibernating copper stocks. In: Resources, Conservation and Recycling, 103 85-97. 2015.

Wassergenossenschaft Michaelbeuern: Versorgungsgebiet. Internetquelle <http://www.wg-michaelbeuern.at/versorgungsgebiet.html> (abgerufen am 3. Jänner 2017).

Wasserverband Ossiacher See: Entsorgungsgebiet. Internetquelle <http://www.wvo.at/de/abwasserentsorgung/kanalnetz> (abgerufen am 3. Jänner 2017).

Wiener Netze: Kennzahlen u. Versorgungsgebiet. Internetquelle <http://www.wienernetze.at/eportal/ep/programView.do/pageTypeld/40374/programId/38397/channelId/-43554> (abgerufen am 22. Dezember 2016).

Wiener Netze: Versorgungsgebiet W, NÖ, B. Internetquelle <https://www.wienernetze.at/eportal/ep/channelView.do/pageTypeld/65650/channelId/-46226> (abgerufen am 22. Dezember 2016).

Wiener Netze: Versorgungsgebiet Ybbstal. Internetquelle https://www.wienernetze.at/media/files/2012/wes-netzgebiet_ybbstalgemeinden_3939.gif (abgerufen am 22. Dezember 2016).

Wittmer, D.: Kupfer im regionalen Ressourcenhaushalt - Ein methodischer Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten. PhD Thesis, ETH Zürich, 2006.

Zeltner, C., H. P. Bader, R. Scheidegger, et al.: Sustainable metal management exemplified by copper in the USA. In: Regional Environmental Change, 1 (1), 31-46. 1999.

Anhang A

Tabelle A 1: Ausgewählte Literatur zu anthropogenen Lagerbeständen

Referenzen	Material	geografischer Bezug (geo. Systemgrenze)		Sektoren (inhalt. Systemgrenze)	räum. Verortung	Lager	Lager: grobe Abschätzung in kg/EW
Clement et al. (2011)	Alle	Gebäude	Ein Gebäude (Österreich)	Gebäude	J	2.043 T pro Gebäude	
Daxbeck, Stockinger et al. (2006)	Cu	National	Österreich	Gebäude, Infrastruktur, Mobilien, Deponien	N	260 kg/EW	260
Daxbeck et al. (2008)	Alle	Gebäude	Ein Gebäude (Österreich)	Gebäude	J	534 T pro Gebäude	
Daxbeck et al. (2011)	Alle	National	Österreich	Gebäude (errichtet bis 1980)	JN	337 Mio. T	41,5
Daxbeck, Buschmann et al. (2015)	PVC	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	1.364 T	
	Al	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	250 T	
	Cu	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	250 T	
	Eisen	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	3.200 T	
	Holz	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	34.000 T	
	min. Dämmstoffe	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	1.000 T	
	Keramische Baustoffe	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	140.000 T	
	Zement	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	165.000 T	
	PVC	Region	städtische Region (Graz)	Gebäude	J	1.364 T	
(Döberl, Fehring et al. 2004)	Cu	National	Österreich	Gebäude, Infrastruktur, Mobilien, Deponien	N	270 kg/EW	270
Egle et al. (2013)	P	National	Österreich	Gesamt (geogen und anthropogen)	N	18.000 T (Lagerveränderung)	2,2
Gerst (2009)	Cu	Global	Global	Gebäude	N	46 kg / EW	46
	Cu	Global	Global	Industrieanlagen	N	15 kg / EW	15
	Cu	Global	Global	Infrastruktur (Energieversorgung, Transport)	N	32 kg / EW	32
	Cu	Global	Global	Transport (PKW, LKW)	N	6 kg / EW	6
(Kapur et al. 2008)	Zement	National	USA	Infrastruktur (Gebäude, Straßen, Wasser- und Abwasserwerke)	N	14,3-15 t / EW	14,7
(Kapur et al. 2006)	Cu	Global	Global	Gesamt (geogen und anthropogen)	N	1688 Mio. T [Erz (940), In Use (354), Abfall (394)]	252
Kleemann 2014	Mehrere	Gebäude	Sechs Gebäude (USA)	Gebäude	J	207-470 kg / m ³	
(Krook, Carlsson et al. 2011)	Cu	Städtisch	Göteborg	Infrastruktur (Stromnetz)	J	0,04 T pro Anschluss (90.000)	22,6
	Cu	Städtisch	Linköping	Infrastruktur (Stromnetz)	J	0,05 T pro Anschluss (251.000)	35,1
(Lichtensteiger et al. 2008)	Cu	National	Schweiz	Gebäude	N	460.000 T	60
	Kies/Sand	National	Schweiz	Gebäude	N	650.000.000 T	85.000
(Obnosterer et al. 2003)	N	National	Österreich	Gesamt (geogen und anthropogen)	N	188 kg / EW	188
(Pilz et al. 2003)	Al	National	Österreich	Deponien	N	223 kg / EW	223
	Al	National	Österreich	Gebäude	N	139 kg / EW	139

Referenzen	Material	geografischer Bezug (geo. Systemgrenze)		Sektoren (inhalt. Systemgrenze)	räum. Verortung	Lager	Lager: grobe Abschätzung in kg/EW
	Al	National	Österreich	Infrastruktur (Elektrotechnik)	N	28 kg / EW	28
	Al	National	Österreich	Sonstiges	N	138 kg / EW	138
	Al	National	Österreich	Transport	N	42 kg / EW	42
Rauch (2009)	Al	Global	Global	Gesamt (anthropogen)	J	538.500.000 T	80
	Cu	Global	Global	Gesamt (anthropogen)	J	303.600.000 T	40
(Reisinger et al. 2009)	Cd	National	Österreich	Gesamt (geogen und anthropogen)	N	9.300 T	1,15
	Hg	National	Österreich	Gesamt (geogen und anthropogen)	N	160 T	0,02
	Pb	National	Österreich	Gesamt (geogen und anthropogen)	N	2.700 T	0,33
(Sörme et al. 2001)	Cd	Städtisch	Stockholm	Gesamt (Infrastruktur, Gebäude, Haushalt, Gewerbe, etc.)	N	0,2 kg / EW	0,2
	Cr	Städtisch	Stockholm	Gesamt (Infrastruktur, Gebäude, Haushalt, Gewerbe, etc.)	N	8 kg / EW	8
	Cu	Städtisch	Stockholm	Gesamt (Infrastruktur, Gebäude, Haushalt, Gewerbe, etc.)	N	170 kg / EW	170
	Hg	Städtisch	Stockholm	Gesamt (Infrastruktur, Gebäude, Haushalt, Gewerbe, etc.)	N	0,01 kg / EW	0,01
	Ni	Städtisch	Stockholm	Gesamt (Infrastruktur, Gebäude, Haushalt, Gewerbe, etc.)	N	4 kg / EW	4
	Pb	Städtisch	Stockholm	Gesamt (Infrastruktur, Gebäude, Haushalt, Gewerbe, etc.)	N	73 kg / EW	73
	Zn	Städtisch	Stockholm	Gesamt (Infrastruktur, Gebäude, Haushalt, Gewerbe, etc.)	N	40 kg / EW	40
(Stark et al. 2003)	Al	National	Österreich	Infrastruktur (Netwerke, Gebäude)	N	5,46 T/EW	5.460
	C _{org}	National	Österreich	Gebäude	N	7,42 T / EW	7.420
	Fe	National	Österreich	Gebäude	N	13,33 T / EW	13.300
	N	National	Österreich	Gebäude	N	0,10 T / EW	100
(Steger et al. 2011)	Kunststoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Abwasser)	N	0,72 Mio. T	9
	Kunststoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Energieerzeugung)	N	6,5 Mio. T	80
	Kunststoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Energieverteilung)	N	5,6 Mio. T	69
	Kunststoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Schiene)	N	3,65 Mio. T	45
	Kunststoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Wasser)	N	0,9 Mio. T	11
	Metalle	National	Deutschland	Infrastruktur (Abwasser)	N	8,2 Mio. T	100
	Metalle	National	Deutschland	Infrastruktur (Energieerzeugung)	N	13,3 Mio. T	163
	Metalle	National	Deutschland	Infrastruktur (Energieverteilung)	N	32,2 Mio. T	395
	Metalle	National	Deutschland	Infrastruktur (Schiene)	N	21,5 Mio. T	263
	Metalle	National	Deutschland	Infrastruktur (Wasser)	N	12 Mio. T	147
	Metalle	National	Deutschland	Infrastruktur (Wasserstraßen)	N	7,8 Mio. T	96
	Min. Rohstoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Abwasser)	N	1,1 Mrd. T	13.480
	Min. Rohstoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Energieerzeugung)	N	73,8 Mio. T	904
	Min. Rohstoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Energieverteilung)	N	612 Mio. T	7.500
	Min. Rohstoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Schiene)	N	1,1 Mrd. T	13.480

Referenzen	Material	geografischer Bezug (geo. Systemgrenze)		Sektoren (inhalt. Systemgrenze)	räum. Verortung	Lager	Lager: grobe Abschätzung in kg/EW
	Min. Rohstoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Straße)	N	7,2 Mrd. T	88.235
	Min. Rohstoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Wasser)	N	631 Mio. T	7.733
	Min. Rohstoffe	National	Deutschland	Infrastruktur (Wasserstraßen)	N	180,5 Mio. T	2.212
	Stahl+Beton	National	Deutschland	Ingenieurbauwerke der Bundesfernstraßen	N	21,5 Mio. t	263
(Tanikawa, Sakamoto et al. 2004)	Mehrere	Städtisch	Salford Quays	Infrastruktur (Straße, Schiene und Gebäude)	J	3.142.000 Tonnen	
	Mehrere	Städtisch	Wakayama City centre	Infrastruktur (Straße, Schiene und Gebäude)	J	11.000.000 Tonnen	
van Beers et al. (2003)	Cu	Städtisch	Kapstadt	Gesamt (anthropogen)	J	36 kg / EW	36
	Cu	National	Australien	Gebäude	N	2.190.000 T	105
	Cu	National	Australien	Gebrauchsgüter	N	215.000 T	10
	Cu	National	Australien	Gewerbegüter	N	430.000 T	21
	Cu	National	Australien	Industrieanlagen	N	345.000 T	17
	Cu	National	Australien	Infrastruktur (Energieversorgung, Telekommunikation)	N	795.000 T	38
	Cu	National	Australien	Transport (PKW, Züge)	N	340.000 T	16
	Zn	National	Australien	Gebäude	N	2.645.000 T	130
	Zn	National	Australien	Gebrauchsgüter	N	375.000 T	18
	Zn	National	Australien	Gewerbegüter	N	375.000 T	18
	Zn	National	Australien	Industriegüter	N	-	
	Zn	National	Australien	Infrastruktur (Straße)	N	240.000 T	12
	Zn	National	Australien	Transport (Reifen)	N	130.000 T	6
	(Wallsten, Carlsson et al. 2013)	Al	Städtisch	Norrköping	Infrastruktur (Stromnetz)	J	1.243 (27 stillgelegt) T
Cu		Städtisch	Norrköping	Infrastruktur (Stromnetz)	J	2.639 (560 stillgelegt) T	21
Fe		Städtisch	Norrköping	Infrastruktur (Gasleitungen, Fernwärme)	J	16.080 (4.455 stillgelegt) T	128
(Wittmer 2006)	Cu	National	Schweiz	Deponien	N	49 kg / EW	49
	Cu	National	Schweiz	Gebäude	N	79 kg / EW	79
	Cu	National	Schweiz	Infrastruktur (Stromnetz, Transport, Telekommunikation)	N	106 kg /EW	106
	Cu	National	Schweiz	Mobilien	N	34 kg / EW	34
Zeltner et al. (1999)	Cu	National	USA	Gesamt (geogen)	N	90 Mio. T	320

Anhang B

Tabelle B 1: Übersicht

Netz	Tabellenverweis	Seitenverweis
Abwassernetz	Tabelle B 2	61
Wassernetz	Tabelle B 3	62
Gasnetz	Tabelle B 4	62
Stromnetz	Tabelle B 5	63
Nah- und Fernwärme	Tabelle B 6	63
Fernkälte	Tabelle B 7	64
Telekommunikation	Tabelle B 8	64
Erdöl- und Produktpipelines	Tabelle B 9	65

Tabelle B 2: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Abwassernetz)

GIS-Ebene	Attribute	Beschreibung	Zusätzliche Attribute
Haltungen (Linien)	Höhe Rohranfang	Höhe des Rohranfanges/Sohle (in Fließrichtung) in m über Adria	
	Höhe Rohrende	Höhe des Rohrendes/Sohle (in Fließrichtung) in m über Adria	
	Mittlere Höhe	Mittelwert der Höhe von Rohranfang/Sohle und Rohrende/Sohle in m über Adria (errechneter Wert)	X
	Länge	3D-Länge der Haltung in m (errechneter Wert)	
	Profilform	Kreis, Ei, Trapez, Sonstige	
	DN / (Breite)	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) oder Breite bei Nicht-Kreis-Profilen [in mm]	
	Höhe	Nur wenn kein Kreisprofil: Höhe (in mm)	
	Material	Werteliste mit verbauten Materialien, wie z.B. Beton, Steinzeug Die Anzahl der Attribute entspricht der Anzahl an verbauten Materialien.	X
	Spezifisches Gewicht	Spezifisches Gewicht des verbauten Materials in Kilogramm in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Masse	Masse des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	X
	Alternative Nutzung	Werteauswahl in Hinblick auf die potentielle Nutzung durch Kommunikationskabel. (Ja, Nein)	X
Schächte (Punkt)	Durchmesser	Schachtdurchmesser in mm Oder Schachtbreite (bei Rechteckquerschnitt ...)	
	Schachtlänge	Schachtlänge in mm (bei Rechteckquerschnitt ...)	
	Wanddicke	Dicke der Schachtwand in mm	
	Materialvolumen	Volumen des verbauten Materials in Kubikmeter (errechneter Wert)	X
	Spezifisches Gewicht	Spezifisches Gewicht des verbauten Materials in Kilogramm in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Masse	Masse des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Deckel-Form	Werteliste für die Deckel-Form: Rund, Eckig	
	Deckel-Abmessung 1	Deckel-Durchmesser (in mm), bei Rechteck: Länge	
	Deckel-Abmessung 2	bei Rechteck: Breite (in mm)	
	Deckel-Material	Werteliste: Guss, Duktiler Guss, Sphäroguss, Beton, Sonstige	
	Deckel-Gewicht	Gewicht des Deckels in Tonnen (errechneter Wert)	X

Tabelle B 3: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Wassernetz)

GIS-Ebene	Attribute	F	Zusätzliche Attribute
Haltungen (Linien)	Länge	Länge der Leitung/des Stranges in [m] (3D-Länge)	
	Durchmesser	Nenndurchmesser in [mm]	
		<i>Anmerkung: Im Allgemeinen der Innendurchmesser gemäß ÖNORM EN 805; Maße in Zoll sind in Millimeter umzurechnen</i>	
	Material	Werteliste mit verbauten Materialien, wie z.B. Beton und Stahl.	
		Die Anzahl der Attribute entspricht der Anzahl an verbauten Materialien.	
	Masse	Masse des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	X
Alternative Nutzung	Werteauswahl in Hinblick auf die potentielle Nutzung durch Kommunikationskabel. (Ja, Nein)	X	
Einbauten (Armaturen, Formstücke) (Punkt)	Art des Einbauteils	Art der Armatur: z.B. Absperrarmatur, Froschklappe, Rohrnetzrenner	
		Art des Formstücks oder Leitungspunktes z.B. Bogen, Kreuzstück, Wasserhahn	
	Fabrikat	Name des Herstellers	
	Material	Werteliste: Guss, Duktiler Guss, Sphäroguss, Beton, Sonstiges	X
	Gewicht	Gewicht des Einbauteils in Tonnen (errechneter Wert)	X

Tabelle B 4: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Gasnetz)

GIS-Ebene	Attribute	Beschreibung	Zusätzliche Attribute
Rohre (Linien)	Höhe Rohranfang	Höhe des Rohranfanges/Sohle (in Fließrichtung) in m über Adria	
	Höhe Rohrende	Höhe des Rohrendes/Sohle (in Fließrichtung) in m über Adria	
	Länge	3D-Länge des Rohres in m (errechneter Wert)	
	Dimension	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) [in mm]	
	Kernmaterial	Werteliste mit verbauten Materialien bei den Rohren, wie z.B.: GE, PE, Stahl	
	Isomaterial	Werteliste mit verbauten Materialien, wie z.B. PE, Bitumen	
	Spezifisches Gewicht Kernmaterial	Spezifisches Gewicht des verbauten Materials in Kilogramm in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Spezifisches Gewicht Isomaterials	Spezifisches Gewicht des verbauten Materials in Kilogramm in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Masse	Masse des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	
	Alternative Nutzung	Werteauswahl in Hinblick auf die potentielle Nutzung durch Kommunikationskabel. (Ja, Nein)	X

Tabelle B 5: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Stromnetz)

GIS-Ebene	Attribute	Beschreibung	Zusätzliche Attribute
Kabel (Linie)	Länge	3D-Länge des Kabels	
	Dimension	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) [in mm]	
	Leitermaterial	Werteliste mit verbauten Materialien bei den Rohren, wie z.B.: Cu, Al	
	Mantelmaterial	Werteliste mit verbauten Materialien, wie z.B. Pb, Kunststoff	
	Kabelbezeichnung	Bezeichnung des Kabels, aus der Informationen zu Typ/Konstruktion, Abmessungen (Adernanzahl und Querschnitt) und Normen bzw. Zusatzbezeichnungen	
	Adernanzahl	Anzahl der Adern im Leiter	
	Querschnitt Ader	Querschnitt der Ader in mm ²	
	Spezifisches Gewicht Leitermaterial	Spezifisches Gewicht des verbauten Materials in Kilogramm in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Spezifisches Gewicht Mantelmaterial	Spezifisches Gewicht des verbauten Materials in Kilogramm in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Masse	Masse des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	

Tabelle B 6: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Nah- und Fernwärme)

GIS-Ebene	Attribute	Beschreibung	Zusätzliche Attribute
Rohr (Linie)	Länge	3D-Länge des Rohres	
	Produktrohr_Anzahl	Anzahl der Produktrohre je Trasse	
	Produktrohr_Dimension	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) des Produktrohres [in mm]	
	Produktrohr_Wandstärke	Wandstärke des Produktrohres in mm.	
	Produktrohr_Material	Werteliste mit verbauten Materialien, wie z.B. Stahl	
	Gewicht Produktrohr	Masse des verbauten Materials in Tonnen auf Basis eines spezifischen Gewichtes in Tonnen pro Kubikmeter (errechneter Wert)	X
	Iso_Material	Werteliste an verbauten Materialien	X
	Iso_Volumen	Volumen des Isolationsmaterials in m ³	X
	Iso_Gewicht	Gewicht des Isolationsmaterials in Tonnen auf Basis eines spezifischen Gewichtes in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Mantelrohr_Material	Werteliste an verbauten Materialien	X
	Mantelrohr_Volumen	Volumen des Schutzrohres in m ³	X
	Mantelrohr_Gewicht	Gewicht des Schutzrohres in Tonnen auf Basis eines spezifischen Gewichtes in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	

Tabelle B 7: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Fernkälte)

GIS-Ebene	Attribute	Beschreibung	Erforderliche Attribute
Rohr (Linie)	Länge	3D-Länge des Rohres	X
	Produktrohr_Anzahl	Anzahl der Produktrohre je Trasse	X
	Produktrohr_Dimension	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) des Produktrohres [in mm]	X
	Produktrohr_Wandstärke	Wandstärke des Produktrohres in mm.	X
	Produktrohr_Material	Werteliste mit verbauten Materialien, wie z.B. Stahl	X
	Gewicht Produktrohr	Masse des verbauten Materials in Tonnen auf Basis eines spezifischen Gewichtes in Tonnen pro Kubikmeter (errechneter Wert)	X
	Iso_Material	Werteliste an verbauten Materialien	X
	Iso_Volumen	Volumen des Isolationsmaterials in m3	X
	Iso_Gewicht	Gewicht des Isolationsmaterials in Tonnen auf Basis eines spezifischen Gewichtes in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Mantelrohr_Material	Werteliste an verbauten Materialien	X
	Mantelrohr_Volumen	Volumen des Schutzrohres in m3	X
	Mantelrohr_Gewicht	Gewicht des Schutzrohres in Tonnen auf Basis eines spezifischen Gewichtes in Tonnen pro Kubikmeter	X
	Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	X

Tabelle B 8: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Telekommunikation)

GIS-Ebene	Attribute	Beschreibung	Erforderliche Attribute
Kabel (Linie)	Länge	3D-Länge des Kabels bzw. des Hüllrohrs	X
	Hüllrohr_Durchmesser	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) des Hüllrohrs in mm.	X
	Hüllrohr_Material	Werteliste an verbauten Materialien. Die Anzahl der Attribute entspricht der Anzahl der unterschiedlichen Materialien.	X
	Hüllrohr_Gewicht	Gewicht des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Hüllrohr_Kabelanzahl	Anzahl der Kabel je Hüllrohr	X
	Kabelbezeichnung	Bezeichnung des Kabels, aus der Informationen zu Typ/Konstruktion, Abmessungen (Adernanzahl und Querschnitt) und Normen bzw. Zusatzbezeichnungen	X
	Kabel_Materialien	Werteliste an verbauten Materialien. Die Anzahl der Attribute entspricht der Anzahl der unterschiedlichen Materialien.	X
	Gewicht	Masse des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Hüllrohr_Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand der Hüllrohre: aktiv mit freien Kapazitäten, aktiv ohne freie Kapazitäten, inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	
	Kabel_Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand der Kabel: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	X

Tabelle B 9: Datenbedarf für ein Ressourceninformationssystem (Erdöl- und Produktpipelines)

GIS-Ebene	Attribute	Beschreibung	Erforderliche Attribute
Rohre (Linien)	Höhe Rohranfang	Höhe des Rohranfanges/Sohle (in Fließrichtung) in m über Adria	X
	Höhe Rohrende	Höhe des Rohrendes/Sohle (in Fließrichtung) in m über Adria	X
	Länge	3D-Länge des Rohres in m (errechneter Wert)	X
	Dimension	Durchmesser (i.a. der Innendurchmesser) in mm	X
	Wandstärke	Wandstärke des Produktrohres in mm	X
	Material	Werteliste mit verbauten Materialien bei den Rohren, wie z.B.: Stahl	X
	Masse	Masse des verbauten Materials in Tonnen (errechneter Wert)	X
	Zustand	Werteliste für den aktuellen Zustand: aktiv (=in Betrieb), inaktiv (=derzeit außer Betrieb aber wieder reaktivierbar), stillgelegt (außer Betrieb und nicht wieder reaktivierbar)	X
Alternative Nutzung	Werteauswahl in Hinblick auf die potentielle Nutzung durch Kommunikationskabel (Ja, Nein)	X	