Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

Ressourcen Management Agentur

Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters

Land Steiermark inklusive Fall-studie Graz

Projekt UMKAT

Endbericht

„wir sind“

Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

Ressourcen Management Agentur

Das anthropogene Lager in der Steiermark – Entwicklung eines Urban Mining Katasters

Land Steiermark inklusive Fallstudie Graz

Projekt UMKAT

Endbericht

(Vers. 1.0a)

Hans Daxbeck (RMA)
Heinz Buschmann (RMA)
Andreas Gassner (RMA)
Anneliese Kapfenberger-Pock (Magistrat der Stadt Graz)

Im Auftrag
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasser; Abteilung V/3: Abfallwirtschaftsplanung, Abfallbehandlung und Altlastensanierung
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasser; Abteilung I/3: Umweltförderpolitik, Nachhaltigkeit, Biodiversität
Amtes der Stmk. Landesregierung (A14, Ref. Abfallwirtschaft und Nachhaltigkeit)
Stadt Graz – Umweltamt (Referat für Abfallwirtschaftscontrolling)
Österreichischer Städtebund

Wien, Juni 2015

Projektleitung:
Hans Daxbeck

Projektsachbearbeitung:
Hans Daxbeck, Heinz Buschmann, Andreas Gassner (alle RMA)

Anneliese Kapfenberger-Pock (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt)

Impressum:
Ressourcen Management Agentur (RMA)
Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

Argentinierstrasse 48/2. Stock
1040 Wien
Tel.: +43 (0)1 913 22 52.0; Fax: DW 22
Email: office@rma.at
www.rma.at

Kurzfassung

Die Effizienz der Bewirtschaftung von urbanen Lagerstätten ist unterschiedlich ausgeprägt. Abfälle aus dem Bauwesen (Hoch- und Tiefbaurestmassen) werden gegenwärtig zu ca. 86 % einer Verwertung zugeführt [BMLFUW, 2015]. Diese Verwertungsquote ist auf die hohe Wiederverwertbarkeit von Tiefbaurestmassen zurück zu führen. Im Bereich der Hochbaurestmassen besteht jedoch teilweise ungenutztes Potenzial für Urban Mining. Gegenwärtig werden schätzungsweise etwa 60 % der anfallenden Baurestmassen deponiert [Daxbeck & Flath, 2009]. Ziel des Projektes „Urban Mining Kataster“ (Projekt UMKAT) ist die Identifizierung, Quantifizierung, Bewertung und Visualisierung der anthropogenen Lagerstätten, deren gegenwärtige Nutzung und der vorhandenen Nutzungspotenziale in der Steiermark. Dazu wird eine Systematik zur Identifizierung, Kategorisierung, Bewertung und Quantifizierung der relevanten anthropogenen Lager in Regionen entwickelt und es werden die ersten Schritte gesetzt, um das Urban Mining Potenzial in der Steiermark sichtbar und nutzbar zu machen. Es wird eine Systematik zur Erfassung von Urban Mining Potenzialen über einen Kataster entwickelt. Diese Systematik bildet die Grundlage zur Identifizierung, Kategorisierung, Quantifizierung und Bewertung der anthropogenen Lagerstätten in Regionen nach naturwissenschaftlich technischen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten. Das identifizierte Potential wird exemplarisch für das Testgebiet Graz-Eggenberg mittels Geographischem Informationssystem (GIS) visualisiert.

Das Lager wird in vier Kategorien (Gebäudelager, Netzwerke, Langlebige Konsumgüter und Senken) eingeteilt. Im Rahmen des Projektes wird die Materialzusammensetzung der Lager bestimmt. Dabei werden vorrangig folgende Materialien untersucht: Zementgebundene Baustoffe, Keramische Baustoffe, Stein/Kies/Sand, Gipsgebundene Baustoffe, Mineralische Dämmstoffe, Holz, Erdölbasierte Baustoffe, Eisen/Stahl, Kupfer, Zink, Aluminium, Blei, Polyvinylchlorid (PVC) und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Das gesamte Lager im etwa 16.400 km² großen Land Steiermark beträgt etwa 403 Mio. t. Davon entfallen mehr als 98 % auf die Bauwerke und die Infrastruktur, wobei der Anteil der Bauwerke davon 47 %, jener der Netzwerke 53 % beträgt. Das Lager der langlebigen Konsumgüter (ca. 2 %) wird durch die Kraftfahrzeuge dominiert und beträgt etwa 1,7 Millionen Tonnen. Für die ökonomische Bewertung werden der Materialwert und die Entsorgungskosten herangezogen. Die Senken wurden in der ökonomischen Bewertung des Lagers nicht berücksichtigt. Das errechnete Lager in der Steiermark hat einen Materialwert von etwa 5 Milliarden Euro.

Für die ökologische Bewertung des Lagers wird der kumulierte Energieaufwand (KEA) herangezogen. Der kumulierte Energieaufwand der in Gebäuden, Netzwerken und Konsumgütern (nur Kfz) verbauten Ressourcen in der Steiermark beträgt 610.000 Tera Joule Energie Äquivalente (TJ eq.). Davon entfallen mehr etwa 60 % (410.000 Tj eq.) auf Gebäude, 30 % (200.000 Tj eq.) auf die Netzinfrastruktur und die verbleibenden 10 % (70.000 Tj eq.) auf Konsumgüter.

Die Umsetzung des Urban Mining Katasters erfolgt in einer 2-D und einer 3-D Ausführung. Aufgrund der Komplexität des Themas bzw. der Datenlage wird die Umsetzung des UMKAT

in einem definierten kleinräumigen Gebiet (Graz-Eggenberg) getestet. Die Ausrollung auf Graz bzw. die Steiermark wird technisch vorbereitet, ist jedoch nicht Teil des Projektes.

Ergebnisse

Die fachgemäße Verschneidung bzw. Interpretation von geocodierten Daten und Materialdaten wird durch das Projekt UMKAT erfolgreich demonstriert. Der UMKAT macht anthropogene Lagerstätten sichtbar und ist daher eine Grundlage für die Umsetzung regionaler Ressourcenmanagements. Der UMKAT liefert eine Neuinterpretation geokodierter Daten im Sinne der Ressourcenschonung. Der UMKAT bietet für zukünftige ressortübergreifende Fragestellungen (z.B. Ressourceneffizienz in Stadtteilen) eine fachliche Grundlage für Entscheidungsfindungen. Der UMKAT ist konzipiert, um als Instrument einer nachhaltig ausgelegten strategischen Raumplanung mit dem Ziel einer ressourceneffizienten Stadt ausgebaut zu werden.

Schlussfolgerungen

Mit dem Projekt UMKAT kann die Visualisierung anthropogener Lagerstätten in einem Pilotversuch erfolgreich umgesetzt werden. In weiterer Folge ist die Ausrollung auf die Stadt Graz, die Steiermark bzw. weitere Regionen Österreichs anzustreben.

Mit dem UMKAT ist, in Analogie zur Suche nach geogenen Lagerstätten, die Prospektion anthropogener Lagerstätten gelungen. In einem nächsten Schritt sind Explorationsmaßnahmen zu ergreifen, um unter technisch-wirtschaftlichen Aspekten abbauwürdige Lagerstätten zu identifizieren und zu quantifizieren.

Der UMKAT ist aufgrund seiner fach- und ressortübergreifenden geocodierten Inhalte zu Materialzusammensetzung von Gebäuden und Infrastruktur eine relevante Informationsgrundlage für raumplanerisch-strategische Entscheidungen.

Als konsequente Unterstützung der Versorgungssicherheit mit Rohstoffen ist das Thema des „Urban Mining“ gezielt zu fördern. Der UMKAT liefert für dieses Vorhaben die wissenschaftlich-technische Grundlage.

Der UMKAT ist ein Instrument die eine genauere Allokation von Wert- und Schadstoffen in Gebäuden und der Infrastruktur ermöglicht.

Der UMKAT liefert eine neue zusätzliche Informationsgrundlage, um die Bewertung von Liegenschaften um das Thema der verbauten Ressourcen bzw. potenziellen Abbruchkosten zu ergänzen.

Der UMKAT ist als Instrument zur Sensibilisierung und Information der Bevölkerung zum Thema „Urban Mining“ geeignet.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG V

INHALTSVERZEICHNIS I

EINLEITUNG 1

1 ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNGEN 3

2 METHODISCHES VORGEHEN 5

2.1 Identifizierung und Bewertung der anthropogenen Lager 5

2.2 Methodik der Visualisierung der Lager mittels Geographischem Informationssystem (GIS) 8

2.3 Vorgehensweise der Visualisierung des Urban Mining Potential - Fallstudie Graz Eggenberg 9

2.3.1 Eingesetzte Software 10
2.3.2 Vorhandene GIS-Daten 11
2.3.3 Manipulation der GIS-Daten 12
2.3.4 Verknüpfung von GIS- mit Materialdaten 18
2.3.5 Grundlagen der Visualisierung 20
2.3.6 Datenschutz 22

2.4 Bewertung des Urban Mining Lagers 23

2.4.1 Ökonomische Bewertung 23
2.4.2 Ökologische Bewertung 23

3 AUSWAHL VON SCHAD-, WERT- UND STÖRSTOFFEN 25

3.1 Inertes Material 25

3.1.1 Zementgebundene Baustoffe 25
3.1.2 Keramische Baustoffe 25
3.1.3 Stein/Kies/Sand 25
3.1.4 Gipsgebundene Baustoffe 25
3.1.5 Mineralische Dämmstoffe 26

3.2 Organisches Material 26

3.2.1 Holz 26
3.2.2 Erdölbasierte Baustoffe 26

3.3 Metalle 27

3.3.1 Eisen/Stahl 27
3.3.2 Kupfer 27
3.3.3 Zink 28

3.3.4 Aluminium 28
3.3.5 Blei 28
3.4 Schadstoffe 28
3.4.1 PVC 28
3.4.2 Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) 29
3.4.3 Asbest 29
4 MATERIALZUSAMMENSETZUNG UND MASSE DES LAGERS LAND STEIERMARK 31
4.1 Gebäude 31
4.1.1 Definitionen 31
4.1.2 Materialzusammensetzung Gebäude – Land Steiermark 34
4.1.3 Wohngebäude – Stand 2011 36
4.1.4 Nicht-Wohngebäude - Stand 2011 37
4.1.5 Gebäudelager in der Steiermark 38
4.2 Netzwerke 41
4.2.1 Straßennetz 41
4.2.2 Schienennetz Eisenbahn 44
4.2.2.1 Materialzusammensetzung des Schienennetzes 44
4.2.2.2 Bahnnetzwerk der Steiermark 49
4.2.2.3 Lager der Schieneninfrastruktur 51
4.2.3 Schienennetz (Straßenbahn) 52
4.2.4 Telekommunikation 53
4.2.5 Wasserversorgung 54
4.2.6 Abwasserentsorgung 55
4.2.7 Energieversorgung 56
4.2.7.1 Stromnetz 56
4.2.7.2 Fernwärme 59
4.2.7.3 Gasnetz 60
4.3 Konsumgüter 61
4.4 Senken 63
4.4.1 Deponien 63
5 DYNAMISCHE ENTWICKLUNG DER LAGERS LAND STEIERMARK 65
5.1 Dynamik des Gebäudelagers 65
5.1.1 Zeitreihe - Gebäudebestand 65
5.2 Dynamik des Lagers der Netzwerke 67
5.2.1 Zeitreihe – Verkehrsnetz 67
5.2.2 Zeitreihe – Wasserleitungnetz 69
5.2.3 Zeitreihe – Kanalnetz 70
5.2.4 Zeitreihe – Stromnetz 73

5.2.5 Zeitreihe – Gasnetz 75
5.2.6 Zeitreihe – Fernwärmenetz 77
5.2.7 Zeitreihe – Telekommunikationsnetz 79
5.3 Dynamik des Lagers an Konsumgüter 81
5.3.1 Zeitreihe - Konsumgüter 81
5.4 Abschätzung der zukünftige Entwicklung des Lager– Auswirkungen auf Quantität und Qualität 84
6 FALLSTUDIE GRAZ EGGENBERG 87
6.1 Räumliche Abgrenzung 87
6.2 Flächenwidmung 88
6.3 Bebauung 89
6.4 Altlasten 90
6.5 Zeitliche Abgrenzung / Zeitreihen 91
6.6 Erhebungen im Testgebiet Graz Eggenberg 91
7 MATERIALZUSAMMENSETZUNG UND MASSE DES LAGERS FALLSTUDIE GRAZ EGGENBERG 97
7.1 Gebäude Fallstudie Graz Eggenberg 97
7.1.1 Materialzusammensetzung Gebäude 97
7.1.2 Gebäudelager im Testgebiet 98
7.2 Netzwerke Fallstudie Graz Eggenberg 99
7.2.1 Straßennetz 99
7.2.2 Schienennetz Eisenbahn und Straßenbahn 101
7.2.3 Telekommunikation 101
7.2.4 Wasserversorgung 102
7.2.5 Abwasserentsorgung 103
7.2.6 Energieversorgung 104
7.2.6.1 Stromnetz 104
7.2.6.2 Fernwärme 106
7.2.6.3 Gasnetz 107
8 LAGERBESTAND UND LAGERBEWERTUNG 109
8.1 Lagerbestand – Fallstudie Graz Eggenberg 109
8.1.1 Gebäude Graz Eggenberg 110
8.1.2 Netzwerke Graz Eggenberg 112
8.2 Lagerbewertung– Fallstudie Graz Eggenberg 115
8.2.1 Ökonomische Bewertung – Urban Mining Potential 115
8.2.2 Ökologische Bewertung 115

8.3 Lagerbestand – Land Steiermark 118
8.3.1 Lagerbestand – Gebäude Land Steiermark 120
8.3.2 Lagerbestand – Netzwerke Land Steiermark 121
8.4 Lagerbewertung – Land Steiermark 123
8.4.1 Ökonomische Bewertung– Urban Mining Potential 123
8.4.2 Ökologische Bewertung 123
8.5 Visualisierung des Lagers – Fallstudie Graz Eggenberg 125
8.5.1 Der Urban Mining Kataster – Onlineanwendung 125
8.5.1.1 UMKAT in 2-D Ausführung 125
8.5.1.2 UMKAT in 3-D Ausführung 131
8.5.2 Beispiel: Zementgebunde Baustoffe 136
8.5.3 Beispiel: Keramische Baustoffe 138
8.5.4 Beispiel: Stein,Kies, Sand 140

9 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN UND INSTRUMENTE 143

10 TECHNISCH-WIRTSCHAFTLICHE BARRIEREN UND HEMMNISSE DES URBAN MINING 151

11 EFFIZIENZ DES URBAN MINING IN DER STEIERMARK 155

11.1 Ist/Soll-Vergleich – Potentialanalyse 155
11.1.1 Potential in Bauwerken 158
11.1.2 Potential in Netzwerken 159
11.1.3 Potential in Konsumgütern 159
11.1.4 Ziele für die Bewirtschaftung 160

12 MAßNAHMENBÜNDEL ZUR EFFIZIENZSTEIGERUNG 163

12.1 Rechtliche Maßnahmen 163
12.2 Technische Maßnahmen 165
12.3 Wirtschaftliche Maßnahmen 167

13 ERGEBNISSE 171

14 SCHLUSSFOLGERUNGEN 173

14.1 Lokale Ebene (Stadt Graz) 173
14.2 Regionale Ebene (Land Steiermark) 174
14.3 Nationale Ebene (Österreich) 175
14.4 Wirtschaft 176
14.5 BürgerInnen 176

15 LITERATURVERZEICHNIS 179

16 ANHANG 185
16.1 Material- und Energieverbrauch der Materialien 185
16.2 Lagerzusammensetzung Schieneninfrastruktur in der Steiermark 200
16.3 Ökonomisches Urban Mining Potential 202

Einleitung

In der Anthroposphäre werden die von der Gesellschaft gegenwärtig genutzten Güter und Stoffe gelagert. Diese werden am Ende ihrer Nutzungsdauer zu Abfall, der entweder verwertet oder entsorgt wird. Die massemäßig wichtigsten Güter in der Anthroposphäre sind die mineralischen Materialien wie Sand und Kies, Natursteine und Eisen/Stahl. Sand, Kies und Natursteine reichern sich in der Anthroposphäre an, wie kein anderes Gut. Im Gegenzug fallen nur rund 10 % der laufend konsumierten Rohstoffe als Abfall an, der Rest verbleibt im Lager in der Anthroposphäre. Der Lagerbestand von rund 3.700 Mio. t (457 t/E.a) Österreichs wächst jährlich um 2,4 %.

Das Ziel von „Urban Mining“ ist es, zu verhindern, dass die in der Volkswirtschaft eingesetzte Materialien zu Abfall werden, sondern möglichst lange im Kreislauf gehalten werden können. Dadurch müssen weniger Primärrohstoffe abgebaut bzw. importiert werden. Urban Mining hat zwei wesentliche Wirkungsbereiche. Einerseits kann durch Urban Mining die Abhängigkeit von importierten Ressourcen reduziert werden. Andererseits unterstützen die Aufbereitung und der Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen die regionale Wertschöpfungskette. Die großen anthropogenen Lager sind vor allem in der Infrastruktur (v.a. Bauwerke, Straßen und versiegelte Flächen) zu finden. In diesem Bereich Lagern große Mengen an mineralischen Baustoffen, aber auch Metalle, Holz und Kunststoffe. Im Bereich der langlebigen Konsumgüter sind vor allem die Personenkraftfahrzeuge und große Haushaltsgeräte (v.a. Kühlschrank/-truhe, Waschmaschine und Geschirrspüler) aus Sicht eines Urban Mining von Interesse. Die Effizienz der Bewirtschaftung von urbanen Lagerstätten ist unterschiedlich ausgeprägt. Vor allem der Bereich des Hochbaus verfügt über ein hohes, gegenwärtig wenig genutztes, Potenzial für Urban Mining, da gegenwärtig etwa 60 % der anfallenden Baurestmassen deponiert werden [Daxbeck & Flath, 2009]. Urban Mining kann einen Betrag dazu leisten Potentiale zu identifizieren, zu visualisieren und schlussendlich für die Volkswirtschaft nutzbar zu machen.

1 Zielsetzung und Fragestellungen

Ziel ist die Identifizierung, Quantifizierung, Bewertung und Visualisierung der anthropogenen Lagerstätten, deren gegenwärtige Nutzung und vorhandene Nutzungspotenziale in der Steiermark.

Dazu wird eine Systematik zur Identifizierung, Kategorisierung, Bewertung und Quantifizierung der relevanten anthropogenen Lager in Regionen entwickelt und es werden die ersten Schritte gesetzt, um das Urban Mining Potenzial in der Steiermark sichtbar und nutzbar zu machen.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Identifizierung und Bewertung der anthropogenen Lager

In einem ersten Schritt wird eine Systematik zur Erfassung von Urban Mining Potenzialen mittels eines Katasters entwickelt. Diese Systematik bildet die Grundlage zur Identifizierung, Kategorisierung, Quantifizierung und Bewertung der anthropogenen Lagerstätten in Regionen nach naturwissenschaftlich technischen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten. Die Systematik soll in der Art erfolgen, dass sie sich für eine spätere Visualisierung (beispielsweise über GIS-Komponenten) eignet. Die in diesem Arbeitsschritt entwickelte Systematik wird in den nachfolgend in der Fallstudie Graz praktisch erprobt. Dadurch wird ein hohes Maß an Transparenz und Wiederholbarkeit erreicht bzw. kann der Kataster in weiterer Folge um andere Güter/Stoffe ergänzt werden. Ausgehend von nachfolgender Auswahl potentiell, relevanter Lagerstätten wird das Urban Mining Potenzial in Regionen untersucht und gegebenenfalls um weitere identifizierte Lagerstätten erweitert.

- **Gebäudebestand**
  - Wohngebäude
  - Nicht-Wohngebäude

- **Netzwerke**
  - Straßen- und Schienennetz (Linienbauwerke, Tunnelbauten, Brücken, Parkplätze, Lagerplätze)
  - Telekommunikation (Telefonnetze, Internetnetze)
  - Ver- und Entsorgungsnetzwerke (Wasser- und Abwasser)
  - Energieversorgung (Fernwärme, Strom, Gas)

- **Langlebige Konsumgüter**
  - Haushaltsgroßgeräte (v.a. „Weißware“ wie Kühlschrank, Waschmaschine, etc.)

- **Industrie(prozesse)**

- **Senken**
  - Deponien
  - Abraumhalden
  - Tunnelausbruch

Die Lagerstätten werden für das Untersuchungsgebiet „Land Steiermark“ das Testgebiet „Fallstudie Graz“ quantifiziert. Grundlage für die Quantifizierung der anthropogenen Lagerstätten sind ausschließlich bereits vorhandene Daten und eigene Berechnungen bzw. Abschätzungen.

Aufbau und Zusammensetzung der anthropogenen Lager wird auf Güterebene ermittelt. Produktionsprozesse und Nutzung sind jedoch dynamischen Veränderungen unterworfen. So ändern sich die materielle Zusammensetzung und Aufkommen der untersuchten Güter über die Jahre hinweg. Darüber hinaus ist mit Veränderungen in der Nutzungsdauer von Gütern zu rechnen. Diese Aspekte können einen großen Einfluss auf die anthropogenen Lager und ihre Dynamik haben. Um diesen Einfluss abschätzen zu können, werden die Güterflüsse mit Stoffkonzentrationen kombiniert, die sich im Laufe der Produktionszeiträume ändern können. Dadurch lassen sich Stofflager in den anthropogenen Lagerstätten bestimmen. Durch gezielte Auswahl von Stoffen können dadurch Schad- und Wertstoffpotenziale in anthropogenen Lagerstätten lokalisieren werden.

Eine Auswahl relevanter Wertstoffe:

- Aluminium
- Kupfer
- Eisen

Im Bauwesen und bei langlebigen Konsumgütern können folgende Schadstoffe relevant sein (Auswahl):

- Flurchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Quecksilber
- Cadmium
- Blei

Die Quantifizierung des anthropogenen Lagers erfolgt über Literaturrecherche, Erhebung von Statistiken, Expertenbefragungen und Kontaktaufnahme mit Interessensvertretungen und Verbänden. Weiters werden Verbrauchsstatistiken und Abfallwirtschaftsdaten für die Berechnung herangezogen.

Ausgehend von der Quantifizierung des anthropogenen Lagers wird aus dem Saldo von Input und Output dessen Lagerveränderung errechnet. Die Verweildauer von langlebigen Gütern in der Anthroposphäre wird über eine durchschnittliche Nutzungsdauer berechnet. Über die jeweiligen Stoffkonzentrationen können die Stoffflüsse in den untersuchten Gütern bestimmt werden. Dadurch lassen sich auf Stoffebene Aussagen über die anthropogenen Lagerstätten in Regionen treffen.

In den Resultaten wird eine quantitative Darstellung des anthropogenen Lagers des Landes Steiermark, aufgegliedert nach folgenden Kategorien dargestellt.

- Quantitativ – die quantitative Bewertung erfolgt über den mengenmäßigen (t und/oder m³) Vergleich der anthropogenen Lager.
- Ökonomisch – die ökonomische Bewertung erfolgt über den ökonomischen Wert potentieller Rohstoffe in den anthropogenen Lagern, ausgedrückt in Marktpreisen vergleichbarer Primärrohstoffe.
- Ökologisch – die ökologische Bewertung erfolgt über das ökologische Gefährdungspotential ausgewählter Güter und Stoffe in den anthropogenen Lagern.

In einem ersten Schritt erfolgt eine mengenmäßige Gegenüberstellung der einzelnen anthropogenen Lager. Dieser Vergleich ergibt einen Hinweis, wo das Urban Mining Potential massemäßig am höchsten ist. Im zweiten Schritt wird der Wert der Sekundärrohstoffe, die man durch eine effiziente Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers nutzen kann, ermittelt. Gegebenenfalls vermiedene Deponiekosten werden in der ökonomischen Bewertung ebenfalls berücksichtigt. Diese Bewertung ergibt einen Hinweis, in welchen Bereichen das Urban Mining Potential aus ökonomischen Gesichtspunkten am höchsten ist. Im dritten Schritt wird untersucht, welche sich im anthropogenen Lager befindlichen Stoffe, einem effizienten Urban Mining entgegenwirken. Selektiv werden zusätzlich jene Güter/Stoffe bewertet, die gesundheitsgefährdend und/oder ökotoxikologisch sind und somit eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellt. So behindert beispielsweise ein kontinuierlich steigender Gipsanteil in Gebäuden ein zukünftiges hochwertiges Recycling des inerten Anteils der Baurestmassen. Eine Gewichtung der drei untersuchten Kriterien erfolgt nicht.

Das anthropogene Lager enthält Güter, die teilweise vor Jahrzehnten eingebaut wurden. Trotz gleichbleibender Funktion (z.B. Bauteil „Fenster“) können sich Bauteile über Dekaden in der materiellen Zusammensetzung wesentlich unterscheiden. So bestanden die Fenster vor 100 Jahren praktisch ausschließlich aus Holz, diese wurden in der Folge durch Kunststofffenster verdrängt. Heute sind Verbundfenster, welche beispielsweise aus Holz und Metall bestehen, am Markt zu finden.

Weiters ist das Tempo der Veränderung anthropogener Lager in Abhängigkeit von den durchschnittlichen Nutzungsdauern zu berücksichtigen. Diese variiert stark je nach untersuchtem Gut. Während ein Kühlschrank durchschnittlich 8 Jahre genutzt wird, ist bei Wohngebäuden mit einer Nutzungsdauer von durchschnittlich 80 Jahren zu rechnen. Die Menge eingesetzter Metalle in einer durchschnittlichen Wohnung (100 m² Wohnfläche) erhöhte sich beispielsweise von 1,3 t (um 1900) auf rund 7,5 t (um 2000). Dies bedeutet für das anthropogene Lager eine qualitative Änderung der Inputflüsse in das Lager mit in der Folge zeitverzögerten Auswirkung auf die Zusammensetzung der Outputflüsse aus dem anthropogenen Lager. Diese Zeitverzögerung ist auch eine Chance für die Abfallwirtschaft, sich auf zukünftige, veränderte Rahmenbedingungen (v.a. Menge und Qualität von Abfällen) zeitgerecht vorzubereiten. Aufbau oder Abbau des anthropogenen Lagers ergibt sich aus dem Saldo von Input und Output.

Für die Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers sind vor allem die durchschnittliche Nutzungsdauer von Gütern und die Lagerveränderung von Bedeutung, da diese Menge potentiell für ein Urban Mining zur Verfügung steht. Aus der Gesamtmenge des Lagerbestandes lässt sich abschätzen, wie lange die Lagerstätten aus Sicht eines Urban Mining genutzt werden können. Zeitreihen über Jahre bzw. Jahrzehnte über mehrere Produktlebenszyklen hinweg, helfen Trends in der möglichen Bildung und dem Abbau von anthropogenen Lagerstätten zu verstehen und weitere Entwicklungen abzuschätzen. Über die Kenntnis der Dynamik des anthropogenen Lagers lässt sich abschätzen, welche Mengen in welcher Qualität für die Abfallwirtschaft bzw. das Recycling anfallen. Je nach Verfügbarkeit der Daten werden für die identifizierten Güter/Stoffe Zeitreihen über deren Lagerbestand erstellt.

Bei der Erhebung des Urban Mining Potentials wird dem derzeitigen Stand der Bewirtschaftung (IST) der „Stand der Technik“ (SOLL) gegenüber gestellt. Es wird untersucht, welche Standards bzw. welche Qualität der Bewirtschaftung heute in der Steiermark angewendet bzw. erreicht werden, um das anthropogene Lager zu nutzen. In allen untersuchten Kategorien wird durch einen SOLL – IST Vergleich in einem ersten Schritt mengenmäßig ermittelt, welches Urban Mining Potential jeweils gegeben ist bzw. wie stark es bereits genutzt wird.

Basierend auf der ökonomischen Bewertung erfolgt weiters eine Abschätzung, welche ökonomischen Auswirkungen der jeweilige Effizienzgrad in der Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers in Österreich hat.

Die identifizierten Barrieren und Hemmnisse werden untersucht. Es werden Möglichkeiten recherchiert, um die Barrieren und Hemmnisse abbauen zu können, die eine optimierte Nutzung vereiteln. Zusätzlich werden die betroffenen Stakeholder identifiziert und in weiterer Folge befragt.

Mit Hilfe strukturierter Interviews wird die Meinung der Stakeholder erhoben, um daraus ein Maßnahmenbündel zu entwickeln, welches den Abbau von Hemmnissen, zur effizienten Bewirtschaftung der anthropogenen Lagerstätten in Regionen fördert. Da die Barrieren nicht zwangsläufig auf Regionen (z.B. WKÖ; Regionale Cluster) beschränkt sind, werden ausgewählte Stakeholder bundesweit kontaktiert (z.B. BMLFUW, BMWFJ, BMWF). Bei den vorgeschlagenen Maßnahmen wird unterschieden, welche Möglichkeiten auf Ebene von Regionen und auf Bundesebene zum Abbau der Barrieren zu ergreifen sind.

2.2 Methodik der Visualisierung der Lager mittels Geographischem Informationssystem (GIS)

In dieser Studie werden die Möglichkeiten, Rahmenbedingungen und Anforderungen untersucht, das anthropogene Lager, beispielsweise mittels Geographischem Informationssystem (GIS), zu visualisieren und über bestehende Datenbanken zugänglich zu machen (v.a. regionales GIS). Die Visualisierung des anthropogenen Lagers ist ein erster Schritt in Richtung Bewirtschaftung und Monitoring des Lagers.

Es wird geprüft, welche technischen und rechtlichen Voraussetzungen für die Darstellung des anthropogenen Lagers mittels GIS gegeben sind, welche Datenbank(en) bereits vorhanden sind und ob und wie diese gegebenenfalls erweitert oder ergänzt werden können, um das Lager mittels GIS darstellen zu können.

Weiters wird untersucht, ob und wie die entwickelte Systematik und Kategorisierung des anthropogenen Lagers geeignet ist, mittels GIS visualisiert zu werden. Es ist auch zu prüfen, ob und wie die Daten zukünftig ergänzt und erweitert werden können. Dies gilt sowohl auf Güter- als auch auf Stoffebene. In der Fallstudie in Graz, wird die Kompatibilität der Daten in einer Modellregion analysiert.

Da die Infrastruktur das größte anthropogene Lager darstellt, wird dessen Visualisierung vorrangig angestrebt. Daher werden in dieser Phase die Möglichkeiten und Grenzen der Darstellung am Beispiel des Gebäudelagers exemplarisch untersucht. Dies umfasst eine Unterscheidung zwischen Wohn- und Industriegebäuden, nach Bauperiode, nach Bauklasse mit dem umbauten Raum, unter Berücksichtigung einer sich verändernden Zusammensetzung der Gebäude der letzten 100 Jahre und einer Umrechnung in Masse.

Dies ist in einem ersten Schritt für ganze Regionen flächendeckend nicht möglich. Es ist daher eine Modellregion mit bestmöglicher Datenverfügbarkeit und –qualität gemeinsam mit den Betreibern des GIS auszuwählen. In der Modellregion werden die Möglichkeiten der Visualisierung geprüft, Lücken identifiziert, Erweiterungsmöglichkeiten geprüft, Grenzen aufgezeigt und die Anforderungen definiert, die eine Darstellung des anthropogenen Lagers in Regionen ermöglichen.

Soweit realisierbar, wird das anthropogene Gebäudelager visualisiert, wobei zumindest eine Darstellung auf Güterebene angestrebt wird. Sollte eine Darstellung auf stofflicher Ebene möglich sein, wird dies am Beispiel von 1-2 noch auszuwählenden Stoffen umgesetzt. Diese könnte beispielsweise ein Schad- und ein Wertstoff sein. Eine Einbindung in das GIS kann zu einer Sensibilisierung bei den betroffenen Institutionen aber auch in der Bevölkerung und in der Wirtschaft führen und das Konzept des Urban Mining besser verankern.

Es wird überprüft, ob und wie das Konzept eines Urban Mining Katasters auf weitere österreichische Städte unmittelbar umgelegt werden kann. Gegebenenfalls notwendige Adaptierungsarbeiten werden erhoben.

2.3 Vorgehensweise der Visualisierung des Urban Mining Potential - Fallstudie Graz Eggenberg

Ziel der Visualisierung ist es den Ist-Bestand des anthropogenen Lagers bestmöglich über Geographische Informationssysteme (GIS) abbilden zu können. Bei dynamischen Lagern, wie z.B. dem Gebäudelager ist dies systemimmanent mit Ungenauigkeiten behaftet. Die tragende Struktur eines Gebäudes wird in der Regel nicht oder nur in geringem Maße über die Nutzungsdauer verändert. Sanierungen verändern die Materialzusammensetzung eines Gebäudes. Wert- und Schadstoffe werden eingetragen, ohne die Massenbilanz der tragenden Struktur maßgeblich zu verändern. Trotzdem haben die Veränderungen v.a. des Innenausbaus und der Außenhaut eines Gebäudes maßgeblichen Einfluss auf die Entsorgungskosten, die am Ende der Nutzungsdauer stehen. Die Nutzungsdauer eines Wohngebäudes wird mit ca. 100 Jahren definiert. In dieser Zeit werden Bauteile mit geringeren Nutzungsdauern (z.B. Fenster, Fassade, Dachhaut, Innenausbau) in kürzeren Perioden ausgetauscht bzw. saniert. Dieser Umstand führt dazu, dass die ursprüngliche Materialzusammensetzung zum Zeitpunkt der Errichtung mit dem Ist-Bestand nicht oder nicht zur Gänze übereinstimmt.

2.3.1 Eingesetzte Software

Stationäre Anwendung

Sämtliche Auswertungen für die Fallstudie Graz-Eggenberg werden mit dem Städtischen Geoinformationssystem der Stadt Graz basierend auf ArcGIS der Firma ESRI durchgeführt. Durch den Einsatz von ArcGIS-Server in Kombination mit einer Oracle-Datenbank werden die Geodaten zentral verwaltet und können in vielfältiger Weise analysiert, manipuliert und präsentiert werden. Neben den allgemeinen Analysefunktionen des Geografischen Informationssystems kommen auch die Extensions „3D Analyst“ und „Spatial Analyst“ für die Rasterdatenbearbeitung zum Einsatz. Immer wiederkehrende Geoverarbeitungsschritte werden mit Hilfe des Modelbuilders aufbereitet. Für die dreidimensionale Modellierung des Projektgebietes, sowie der einzelnen Materialien in Säulenform pro Gebäude, kommt die ESRI CityEngine zum Einsatz.

Mobile Anwendung

Für die Erhebungen im Testgebiet (v.a. Neuerfassung von Sachdaten, sowie Kontrolle von bestehenden grafischen Daten bzw. Sachdaten) wurde das Produkt WebOffice von der Fa. Synergis verwendet, welches direkt auf die Serverkomponenten von ArcGIS aufsetzt. Damit konnte in einfacher und effizienter Weise mit einem Laptop bzw. Tablet die Attributierung der Gebäudedaten und der Leitungsnetzwerke in der Datenbank der Stadt Graz vorgenommen werden. Auch die mit dem Handy erfassten Photographien der Gebäude wurden direkt eingebunden und am Server abgelegt.

2-D Visualisierung

Ergebnisse sämtlicher Berechnungen werden amtsintern mit ArcMap kartographisch aufbereitet, als Kartendienst publiziert und mit Hilfe des Produktes WebOffice als Web-Anwendung den Entscheidungsträgern zur Verfügung gestellt. Neben den Materialwerten, den Sekundärrohstoffwerten und der Entsorgungskosten der einzelnen anthropogenen Lagerstätten (v.a. Gebäude und Netzwerke) besteht im Testgebiet auch die Möglichkeit die einzelnen Materialwerte sowohl auf den Quadratmeter bzw. pro 20 m-Raster abzufragen.

3-D Visualisierung

CityEngine Web Viewer ermöglicht die Visualisierung von 3D-Stadtlandschaften mit einem Webbrowser. Erforderlich ist ein Desktop-Webbrowser, der WebGL, einen Webtechnologiestandard zum Rendern von 3D-Grafiken, unterstützt. WebGL ist in den aktuellen Versionen der am häufigsten verwendeten Desktop-Browser integriert (z.B.: Mozilla Firefox, Internet Explorer 11, Google Chrome,…).

2.3.2 Vorhandene GIS-Daten

Gebäude

Die Katasterdaten des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) werden halbjährlich in das städtische Geoinformationssystem übernommen, wobei die Aktualisierung des Gebäudebestandes (Neubau, Zubau, Abbruch) Aufgabe des der Stadt Graz (Stadtvermessungsamt) ist. Dadurch liegen im GIS in der Regel die aktuellsten Gebäudedaten in flächenhafter Darstellung vor.

Neben der terrestrischen Erfassung der Bauwerke werden im Stadtvermessungsamt mit Hilfe der photogrammetrischen Bildmessung auch die jeweils aktuellsten Luftbilder (→ Bildflug 2011) ausgewertet. Diese Luftbilddaten bilden die Basis für die 3D-Modellierung des Projektgebietes, sowie auch die Ermittlung der Volumina der einzelnen Gebäude und der -Dachräume (Volumina).

Neben der grafischen Ausprägung der Gebäudedaten war es wichtig objektbezogene Sachdaten in die Auswertung einfließen zu lassen. Vor allem die Daten des Adress-, Gebäude- und Wohnungsregisters (AGWR), geführt von der Statistik Austria, liefern eine Vielzahl von Informationen, die speziell für dieses Projekt von Nutzen sind (v.a. Bauperiode, Nutzungsart, Wohnungsanzahl).

Die Inbetriebnahme des AGWR-Online erfolgte im November 2004 und wird seither von den Gemeinden geführt. Die damalige Erst-Befüllung erfolgte aus Daten der Volkszählung 2001, wodurch der AGWR-Datensatz nicht vollständig bzw. teilweise fehlerhaft ist. Zusätzlich kann in manchen Fällen der AGWR-Punkt aufgrund der unterschiedlichen Definition eines Gebäudes nicht immer eindeutig den Katasterdaten zugewiesen werden. Daher ist es notwendig den Datensatz im GIS nachzubearbeiten und durch eine Feldbegehung zu kontrollieren und zu korrigieren.

Straßen- und Schienennetz

Für eine flächenhafte Darstellung der Straßen wurden die Katasterdaten des BEV mit der Benutzungsart Verkehrsfläche herangezogen, wobei die Information ob Landesstraße „B“ bzw. „L“ oder Gemeindestraße aus den im GIS vorhandenen Daten entnommen wurde. Im Projektgebiet führen Teilstücke der Straßenbahnlinien 1 und 7, diese Vektordaten liegen im städtischen Geoinformationssystems vor und wurden mit einem entsprechenden Puffer in eine flächenhafte Darstellung umgerechnet und von den Straßendaten ausgespart.

Leitungen / Netzwerke

Die Netzwerke Strom, Gas, Wasser – Versorgungs- und Anschlussleitung, Abwasser, Fernwärme, Telekommunikation wurden ebenso in die Auswertung eingebunden und konnten für das Projektgebiet aus dem Datenbestand des städtischen GIS entnommen werden. In Analogie zum Schienennetz werden für die Auswertung der anthropogenen Lager entsprechende Puffer (= Trassenbreite) gesetzt bzw. berechnet.

Senken

Im Testgebiet nicht vorhanden; Daten über Altlasten finden sich im Altlastenkataster des BMLFUW bzw. des UBA; Daten zum Menge und Zusammensetzung rezenter und historischer Deponien sind in der Regel nicht verfügbar.

Konsumgüter

In der Fallstudie Graz-Eggenberg nicht berücksichtigt.

2.3.3 Manipulation der GIS-Daten

Überarbeitung der Gebäude

Bevor mit den eigentlichen Auswertungen begonnen werden konnte, ist es notwendig einige Vorarbeiten in Bezug auf die Katastergebäude durchzuführen. So werden z.B. Gebäudeteilflächen, die durch Grundstücksgrenzen entstanden sind oder auch Gebäudekomplexe bestehend aus mehreren Teilflächen zu einem zusammengefasst, um ein Gebäude als solches ansprechen zu können (Abbildung 2-1). Darüber hinaus werden im Zuge der Begehungen Gebäude gelöscht, die nicht mehr existent sind (v.a. durch Abbruchtätigkeiten), oder die nicht der projektinternen Definition eines Gebäudes entsprechen (Nebengebäude < 20 m² Grundfläche; Carports, Schuppen werden nicht als Gebäude bewertet).

Kataster mit terrestrischer Ergänzung

Gebäude besteht aus mehreren Teilflächen
(Grundgrenze, unterschiedliche Teile...)
Kann nicht als EIN Gebäude erfasst werden
Es gibt auch mehrere Adressen

Luftbildauswertung

Durch unterschiedliche Dachhöhen, Neigungen,
Feuermauern gibt es mehrere Flächen,
Grundgrenze spielt bei LBAW keine Rolle

Abbildung 2-1: Gebäude/Gebäudeteile in Kataster und Luftbildauswertung

Ebenso wird versucht, die vorhandenen AGWR-Daten, die punktuell vorliegen, den entsprechenden Bauwerken zuzuordnen (Abbildung 2-2). In manchen Fällen gibt es zu viele AGWR-

Punkte, manchmal befinden sich die Punkte außerhalb der Gebäude oder sie fehlen komplett. Nach Überarbeitung der Daten werden diese mit den grafischen Gebäudeflächen verknüpft und sind die Grundlage für die Begehung im Feld.

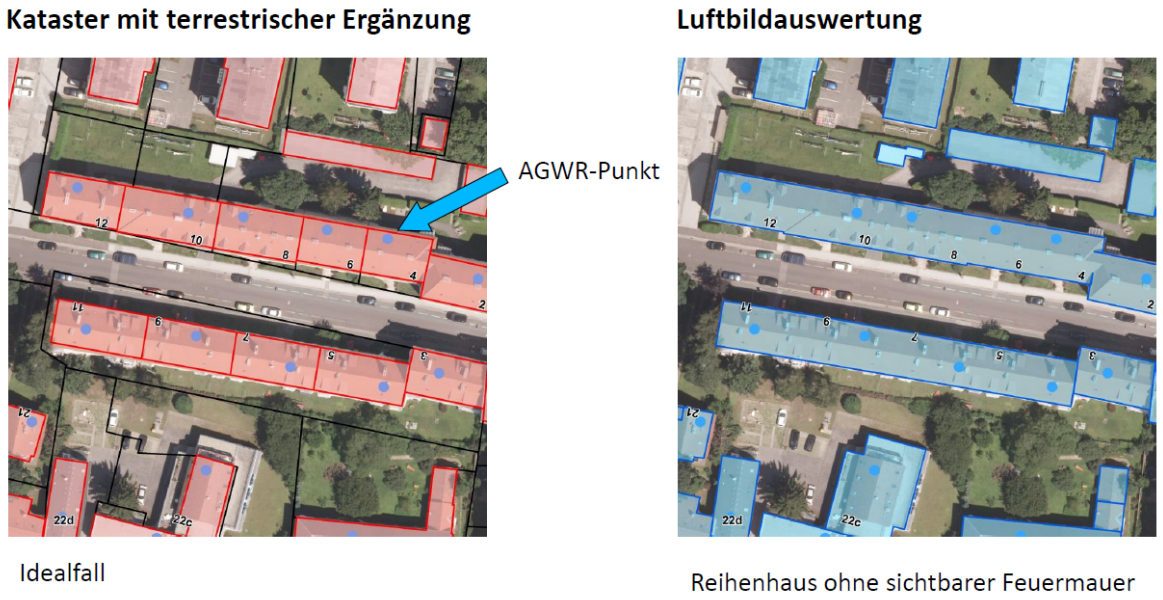


Abbildung 2-2: AGWR-Punkte in Kataster und Luftbildauswertung

Zeitgleich werden Dachteilflächen im Projektgebiet photogrammetrisch neu ausgewertet, Grundlage war der Bildflug durchgeführt 2011 von der Stadt Graz. Diese Daten werden einerseits verwendet um die Volumina der Gebäude und der Dachräume zu ermitteln und sind andererseits Basis für die Generierung eines 3D-Modells. Die Volumina der Gebäude werden mit Hilfe der Gebäudefläche und der Anzahl der Geschosse (AGWR-Daten bzw. Feldbegehung) rechnerisch überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass aufgrund der unterschiedlichen Definition eines Gebäudes auch zwischen Kataster und Luftbild (Abbildung 2-2) die Verknüpfung der Daten in einigen Fällen nicht fehlerfrei funktioniert und daher teilweise händisch überarbeitet werden muss.

Feldbegehung - „neue Attributierung“

Nachdem sämtliche für das Projekt vorhandene Geodaten im GIS aufbereitet werden, stellt sich die Frage welche Daten noch zusätzlich in die Berechnung miteinfließen und welche im Feld kontrolliert und editiert werden müssen. Speziell für die Gebäude wird eine Vielzahl von Attributen mit den Funktionalitäten von ArcGIS eingerichtet und mit Domainwerten (= Vorgabewerte) belegt. Neben der Kontrolle bestehender Daten (z.B. Anzahl Geschoße) werden über die Feldbegehung (durchgeführt im September 2014) mit Hilfe eines Web Services neue Attribute des Gebäudelagers erhoben. Ebenfalls werden neue Daten zu Leitungsnetzen im Feld erhoben (z.B. Leitungsklassen im Stromnetz (nach kV); Differenzierung in Haupt- und Zuleitung im Wassernetz). In der Feldbegehung werden folgende Attribute der Bauwerke ergänzt bzw. überprüft:

- Bauperiode des Gebäudes (tw. AGWR)
  - vor 1919
  - 1919 bis 1944
  - 1945 bis 1980
  - 1981 bis 2000
  - Nach 2000
- Nutzungsart des Gebäudes (tw. AGWR/ADR)
  - Wohngebäude
  - Nicht-Wohngebäude
- Dachform
  - Flachdach
  - Steildach
- Dachdeckung
  - Ziegel
  - Beton
  - Metall
  - Faserplatten
- Decke
  - Stahlbeton
  - Holzbalkendecke
  - Dübeldecke
  - Kappendecke
  - Sonstiges
- Thermisch saniert
  - Ja/Nein
- Thermische Fassadendämmung
  - WDVS
  - Monolithische Dämmung
  - hinterlüftete Vorhangfassade
  - Sonstiges
- Dicke der Fassadendämmung
- Anzahl/Größe der Fenster
- Fensterfläche
- Fenstermaterial
  - Holz/Aluminium/Kunststoff/verzinktes Stahlblech
- Länge der Fallrohre und der Regenrinnen
- Anzahl der Geschosse und Wohnungen
- Firsthöhe/Traufenhöhe
- Fotos N/O/S/W
- Zusatzinformation

Diese Daten dienen einerseits dazu, eine optimierte Zuordnung zu Materialdaten zu ermöglichen. Andererseits ist der UMKAT so geplant und gestaltet, dass neue Daten eingespielt und visualisiert werden können und dadurch ein hohes Maß an Replizierbarkeit bzw. themati-

scher Erweiterungen gegeben ist. Die Abbildung 2-3 zeigt einen Screenshot des Editierfensters.

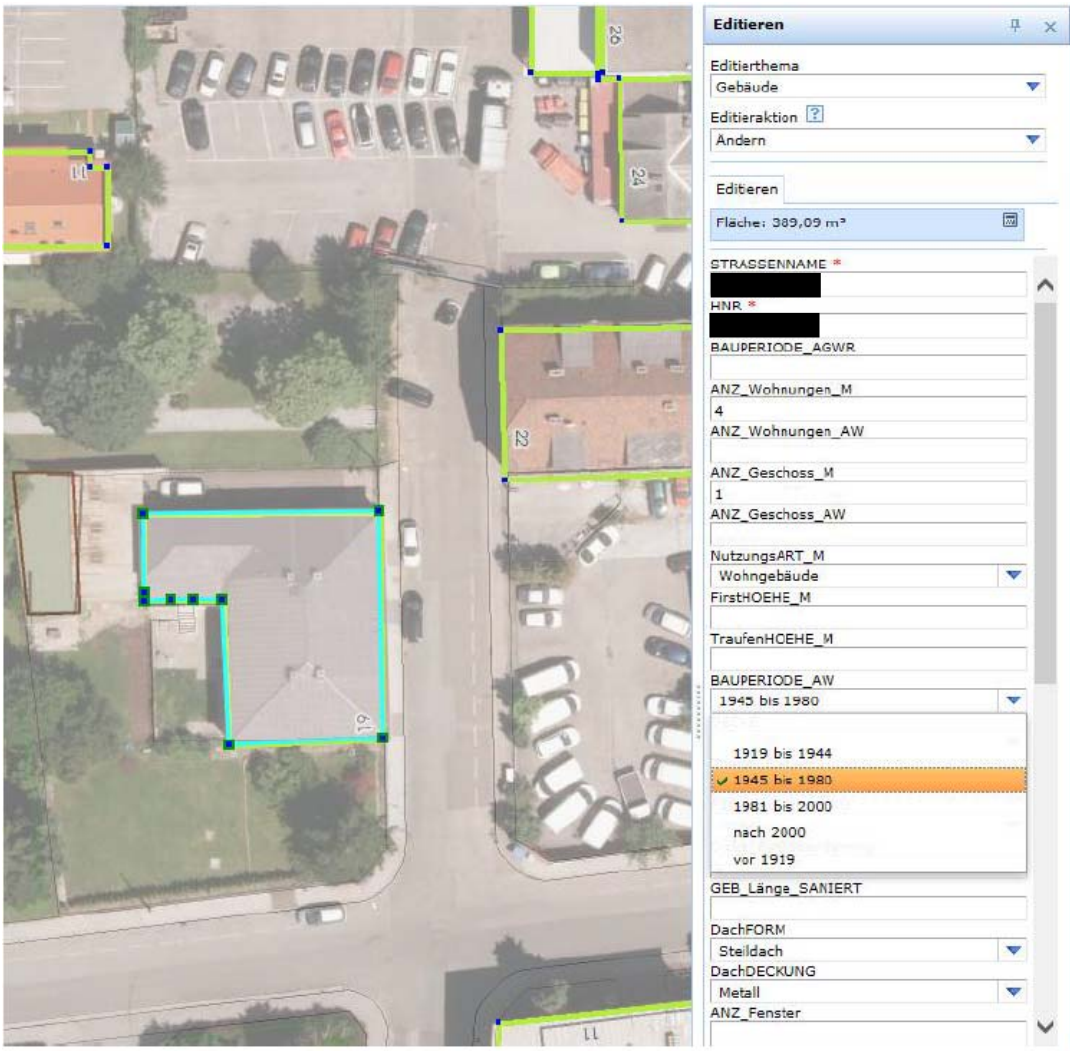


Abbildung 2-3: Beispiel für die Editierung von Gebäude-Attributen

Neben der Eingabe von neuen Sachdaten des Gebäude- bzw. Leitungsnetzes, wird auch die Grafik nacheditiert, wenn erforderlich (z.B. Löschung von Gebäuden, die nicht der projektinternen Definition entsprechen, Korrigieren von Gebäudeflächen, Nachbearbeitung der Stromleitungen → Freileitung oder Erdkabel). In der Abbildung 2-4 werden Freileitungen und Erdkabel in unterschiedlichen Farben dargestellt.

Abbildung 2-4: Editierung des Stromnetzes

Überarbeitung der Netzwerke

Straßendaten liegen flächenhaft vor, Straßenbahndaten nur linienhaft Um ein möglichst reelles Abbild der Natur, vor allem für die Ermittlung der Materialienzusammensetzung zu generieren, werden z.B. die Straßenbahnlinien mit einem Puffer (entspricht der realen Trassenbreite) zu ihrer tatsächliche Fläche hochgerechnet und von der Straßenfläche extrahiert, da die Straßenbahn einen spezifischen Unterbau aufweist, der nicht der Teil des umgebenen Straßenkörpers ist. Bei der Trassenbreite werden alle baulichen Elemente (z.B. Drainagen) mit einbezogen.

Überarbeitung der Leitungsnetze

Aufgrund der unterschiedlichen Materialzusammensetzung der Netzwerke war es notwendig alle getrennt voneinander zu bewerten und auch darzustellen.

Folgende Leitungen wurden aus dem Leitungskataster der Stadt Graz extrahiert:

- Wasser
    - Wasserleitung Versorgung

  - Wasserleitung Anschluss
- Gasleitung
- Telefonanschluss
- Fernwärme
- Stromnetz
  - Strom Erdkabel 1kV
  - Strom Erdkabel 110kV
  - Strom Freileitung 1 kV
- Abwasser
  - Kanal-DN300
  - Kanal-DN400
  - Kanal-DN 800
  - Kanal-DN 1500

Pufferung der Leitungsnetze

Netzwerke liegen in der Regel als Vektordatensatz vor. Da im UMKAT nur flächige Elemente visualisiert werden, ist eine Aufpufferung der Vektoren zu Flächenelementen notwendig. Die unterschiedlichen Trassenbreiten (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) werden von der RMA zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2-1: Trassenbreite der untersuchten Leitungsnetzwerke

Netzwerk	Trassenbreite [m]
Gasnetz	0,4
Strom Freileitungsnetz	
<1 kV	1
1 bis 110 kV	8
220 bis 380 kV	30
Strom Erdleitungsnetz	
<1 kV	0,35
1 bis 110 kV	0,4
220 bis 380 kV	0,8
Kanalnetz	
< DN 300	0,45
DN 300 bis DN 400	0,55
DN 400 bis DN 600	0,70
DN 600 bis DN 800	0,90
> DN 800	1,20
Wassernetz	

Netzwerk	Trassenbreite [m]
Versorgungsleitung	1,0
Anschlussleitung	0,5
Fernwärmenetz	
< 65 ND	0,25
80 ND – 125 ND	0,35
150 ND bis 200 ND	0,45
> 200 ND	0,55

2.3.4 Verknüpfung von GIS- mit Materialdaten

Ausgehend von der Bauperiode und der Nutzungsart der Gebäude konnten die Bauwerksdaten mit den Materialvorgaben der RMA miteinander verknüpft und die Berechnungen mit Hilfe von automatisierten GIS-Analyseverfahren durchgeführt werden. Die Tabelle 2-2 zeigt exemplarisch die hinterlegten Materialdaten je Gebäudekategorie. Die Berechnung der Materialzusammensetzung von Gebäuden basiert auf Werten t/m³ umbauten Raum. Um Gebäude mit den zweidimensionalen Objekte vergleichbar zu machen, werden diese schlussendlich auf die Fläche heruntergerechnet und in ein 10 cm-Raster umgewandelt. Für jedes Material wird ein eigener Layer berechnet, in der *Abbildung 2-5* sind alle Materiallayer für die Gebäude dargestellt. Bei den Netzwerken erfolgt die Verknüpfung aufgrund der unterschiedlichen Leitungsart, Straßendaten werden nach der Straßenkategorie differenziert. Ein Auszug der hinterlegten Materialzusammensetzung der Netzwerke ist in der Tabelle 2-3 dargestellt.

Tabelle 2-2: Materialzusammensetzung der Gebäude nach Baualter

Wohngeb_Material

BP *	Bauperiode	Beton	Ziegel	mineral Da	Holz	Eisen Stahl	Kupfer	Aluminium	PVC
1	vor 1919	0,125	0,214	0,0013	0,04628	0,00717	0,00848	0,00848	0,00185
2	1919 bis 1945	0,116	0,224	0,0013	0,04628	0,00717	0,00848	0,00848	0,00185
3	1945 bis 1980	0,137	0,206	0,0013	0,04628	0,00717	0,00848	0,00848	0,00185
4	1981 bis 2000	0,28418	0,178	0,0013	0,04628	0,00717	0,00848	0,00848	0,00185
5	nach 2000	0,28418	0,178	0,0013	0,04628	0,00717	0,00848	0,00848	0,00185
6	NichtWohngeb	0,28418	0,178	0,0013	0,04628	0,00717	0,00848	0,00848	0,00185

Tabelle 2-3: Materialzusammensetzung der Verkehrs- und Leitungsnetze (Auszug)

Leitung_Material

Leitung *	Leitungsart *	Beton	Ziegel	Stein Kies Sand	Holz	Kunststoffe	Eisen Stahl	Kupfer	Blei	Zink	Aluminium	PVC
1	Bundesstrasse	0,33	0	1,451	0	0,02	0	0	0	0	0	0
2	Landes_Gemeindestrasse	0,004	0	1,666	0	0,024	0	0	0	0	0	0
3	Strassenbahn	1,716231	0	0,105882	0	0	0,004625	0,00027	0	0	0	0
4	Eisenbahn	0,03017	0	0,167941	0	0	0,004135	0,000016	0	0,000002	0	0
6	Wasser_AL	0,000768	0	0,968	0	0,000432	0,020152	0	0	0,000024	0	0,001864
5	Wasser_VL	0,009372	0	0,743	0	0,001103	0,021278	0,000002	0	0,000146	0	0
7	Gas	0,01638	0	1,5	0	0,0159	0,02885	0	0	0	0	0
8	Telefon_Anschluss	0	0	0,6	0	0	0	1,784	0	0	0	4,16
9	Fernwärme	0	0	0,571429	0	0,011429	0,025714	0	0	0	0	0
10	Strom_EK_1kV	0	0	0,671429	0	0,000286	0,001143	0,006286	0,000857	0	0,004857	0,002571
11	Strom_EK_110kV	0	0	0,75	0	0,0015	0,00275	0,005	0,002	0	0,001	0,0015
12	Strom_EK_380kV	0	0	0,75	0	0,00125	0,0025	0,0085	0,0025	0	0	0,00125
13	Strom_FL_1kV	0,0042	0	0	0,00163	0,0004	0,00112	0,002	0,000224	0	0,00077	0,000617
14	Strom_FL_110kV	0,000525	0	0	0,000213	0,00005	0,002146	0,000563	0,000045	0	0,000098	0,000017
15	Strom_FL_380kV	0,007	0	0	0	0	0,001036	0	0,000004	0	0,000097	0,000002
16	Kanal_DN300	0,151632	0	2,237378	0	0,002392	0,002038	0	0	0	0	0
17	Kanal_DN400	0,3929	0	2,241036	0	0,001989	0,008327	0	0	0	0	0
18	Kanal_DN600	0,509472	0	2,267571	0	0,001514	0,011757	0	0	0	0	0
19	Kanal_DN800	0,805811	0,126862	2,811111	0	0,000536	0,011111	0	0	0	0	0
20	Kanal_DN1500	1,152465	0,262918	2,890983	0	0,000308	0,010667	0	0	0	0	0

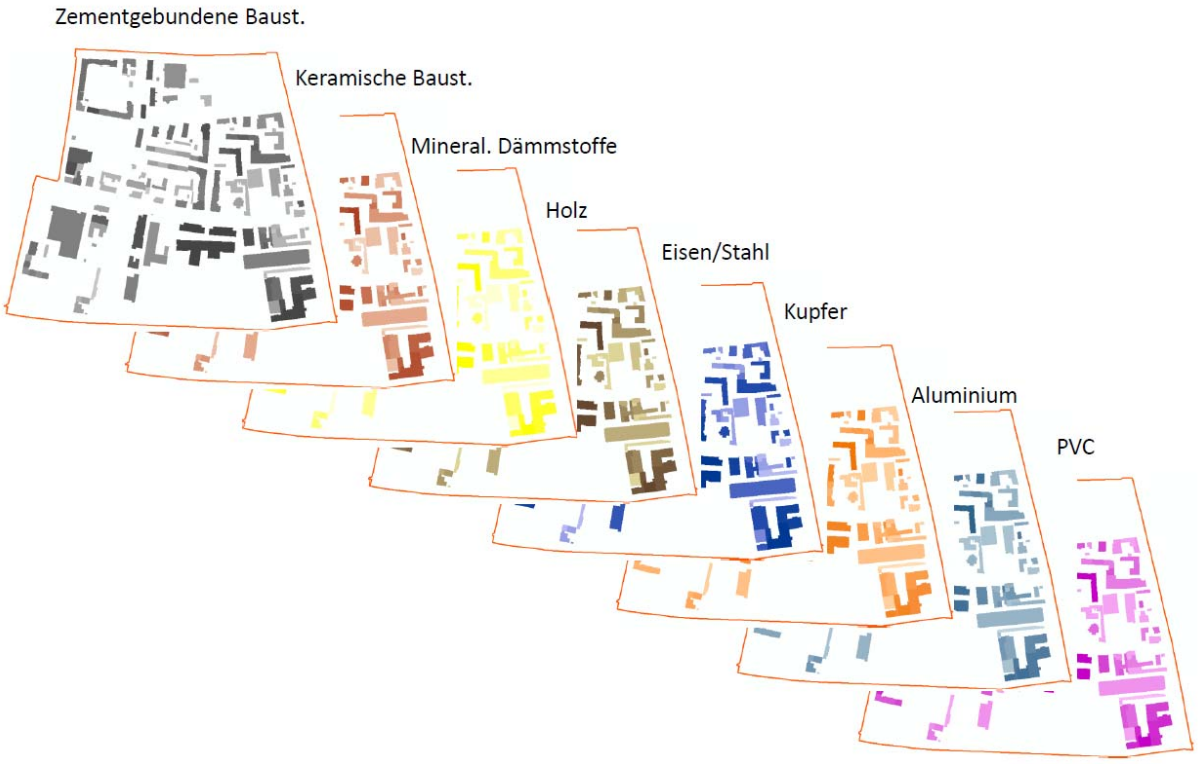
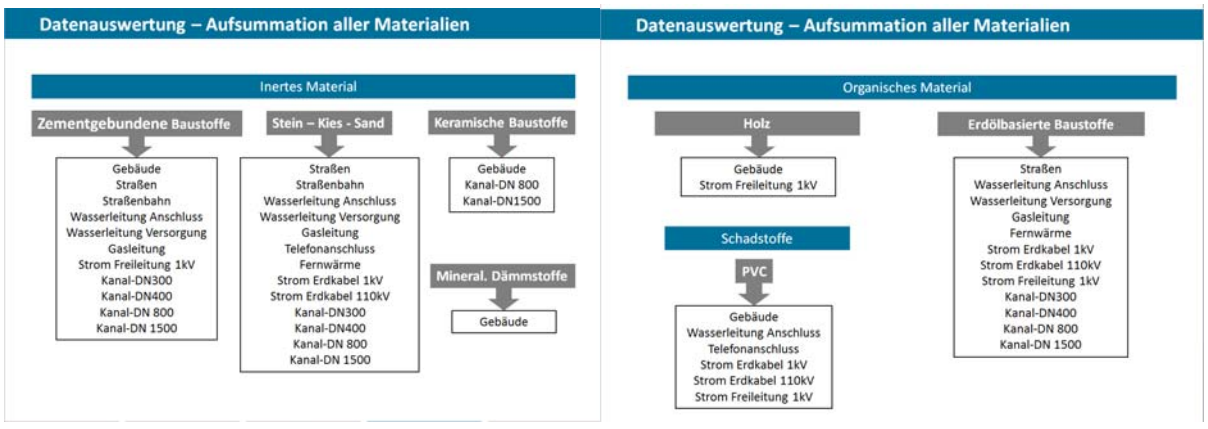
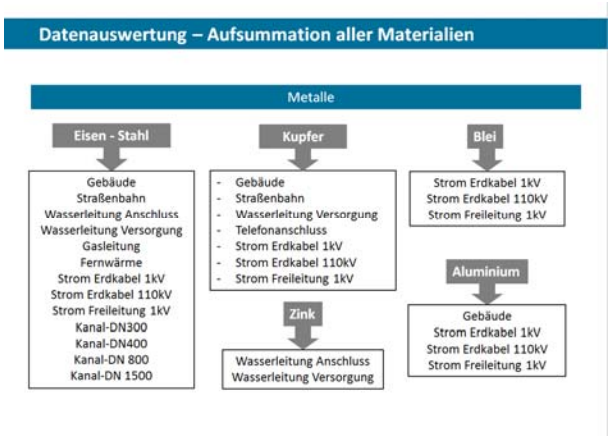


Abbildung 2-5: Darstellung der unterschiedlichen Gebäude-Materiallayer im UMKAT

Aggregierung einzelner Materiallayer

Auf Basis der Ergebnisse der Auswertungen der Rasterdaten (10 cm) aller Gebäude, Netzwerke und Leitungen wird anschießend der Wert je Material aufsummiert. Die Rasterwerte werden entsprechend den unterschiedlichen Materialzusammensetzungen der unterschiedlichen Layer aufsummiert und als Rasterergebnis ausgeworfen. Folgend werden die Layer je Materialkategorie aufgelistet.





Die *Abbildung 2-6* zeigt am Beispiel Kupfer die Aufsummierung der diversen Layer. Nach dem selben Schema werden auch die Sekundärrohstoffwerte der unterschiedlichen Materialien sowie auch die Entsorgungskosten aufsummiert.

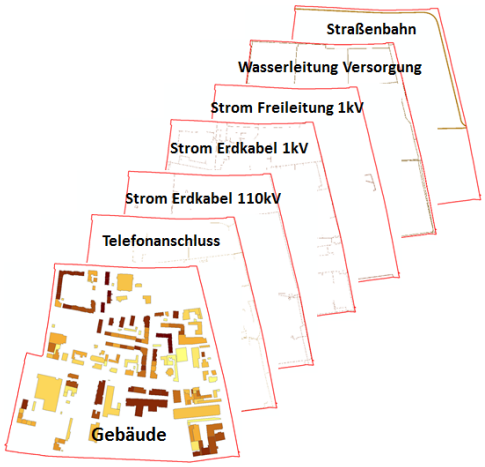


Abbildung 2-6: Darstellung der der unterschiedlichen thematischen Layer am Beispiel Kupfer

2.3.5 Grundlagen der Visualisierung

Im UMKAT werden 1-D, 2-D und 3-D Elemente untersucht und visualisiert. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Referenzwertes/-einheit. Die gesammelten und verknüpfen Daten werden auf 1 m² gerechnet und visualisiert. Dadurch ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse bestmöglich gegeben.

2-D Visualisierung

Basislayer

Stadtkarte bzw. Orthophoto

Thematische Layer

Die thematischen Layer (Holz, Beton, Kupfer, …) werden als Rasterdaten visualisiert und enthalten Materialdaten pro Lager, wobei über einem Info-Button im Projektgebiet die Rasterwerte [t/m²] bezogen abgefragt werden können. Um eine Anonymisierung der Daten zu erreichen, wird jeder Materiallayer auch auf ein 20 m-Raster aggregiert und visualisiert. Hier beziehen sich die Raster-Abfragewerte auf den Mittelwert der Materialdaten bezogen auf 20*20 m. Neben den Materiallayer werden auch ein Gesamt-Sekundärrohstoffwert aller Materialien sowie ein Gesamt-Entsorgungskosten-Layer dargestellt und mit den entsprechenden Werten [€/m²] hinterlegt. Ausgenommen ist der Gebäudelayer, der als Vektordatensatz in WebOffice eingebaut ist. Hierin können sämtliche im Feld erhobenen Sachdaten sowie die durch das UMKAT-Projekt ermittelten Werte (Gebäudevolumen [m³], Materialwerte [t/m²], Sekundärrohstoffwerte [€/t] und Entsorgungskosten [€/t]) pro Gebäude abgefragt werden.

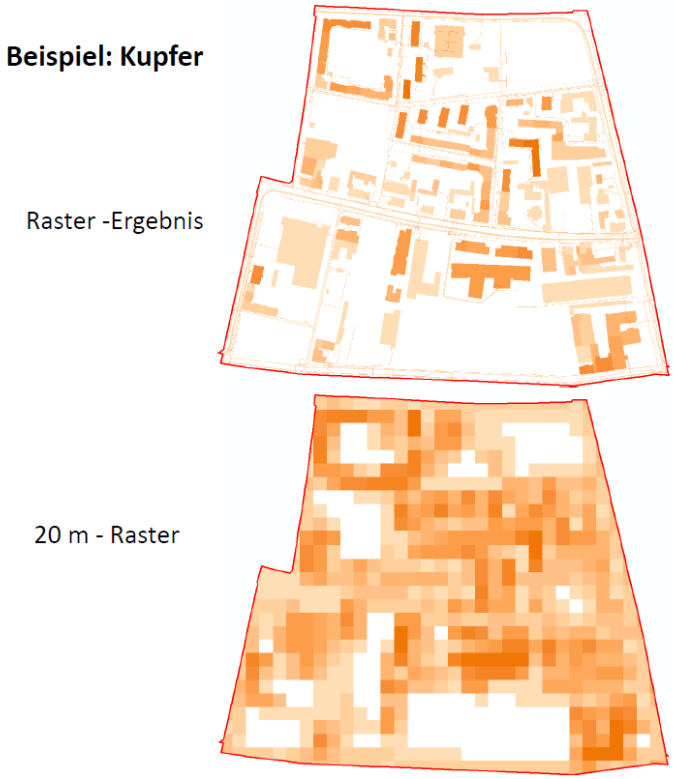


Abbildung 2-7: Darstellung der 10cm - bzw. 20m-Rasterung am Beispiel Kupfer

3-D Visualisierung

Neben der flächenhaften Visualisierung wird eine 3-D Darstellung ebenfalls für das Testgebiet generiert. Basis für die 3-D Darstellung sind die Erhebungen der Gebäudevolumina aus der Auswertung des Bildfluges 2011. Mit Hilfe der City Engine-Software und der Unterstützung der Firma Synergis können auf Basis des spezifischen Gewichtes und der Materialzusammensetzung die Volumina der einzelnen Materialien berechnet und als Säulen visualisiert werden. Im Bereich der Massenbaustoffe (v.a. zementgebundene Baustoffe, Kerami-

sche Baustoffe und Holz) wird die gesamte Gebäudegrundfläche aufgefüllt, alle weiteren Materialien werden abhängig vom Volumen als Säulen dargestellt, die nicht höher als die eigentlichen Gebäude sind. Zusätzlich können auch hier über einen Info Button sämtliche Materialvolumina/Materialfüllhöhen pro Gebäude abgefragt werden. Über einen Vergleichsmodus können die Gebäude als Realansicht bzw. als Materialvorratslayer betrachtet werden (siehe Abbildung 2-8).

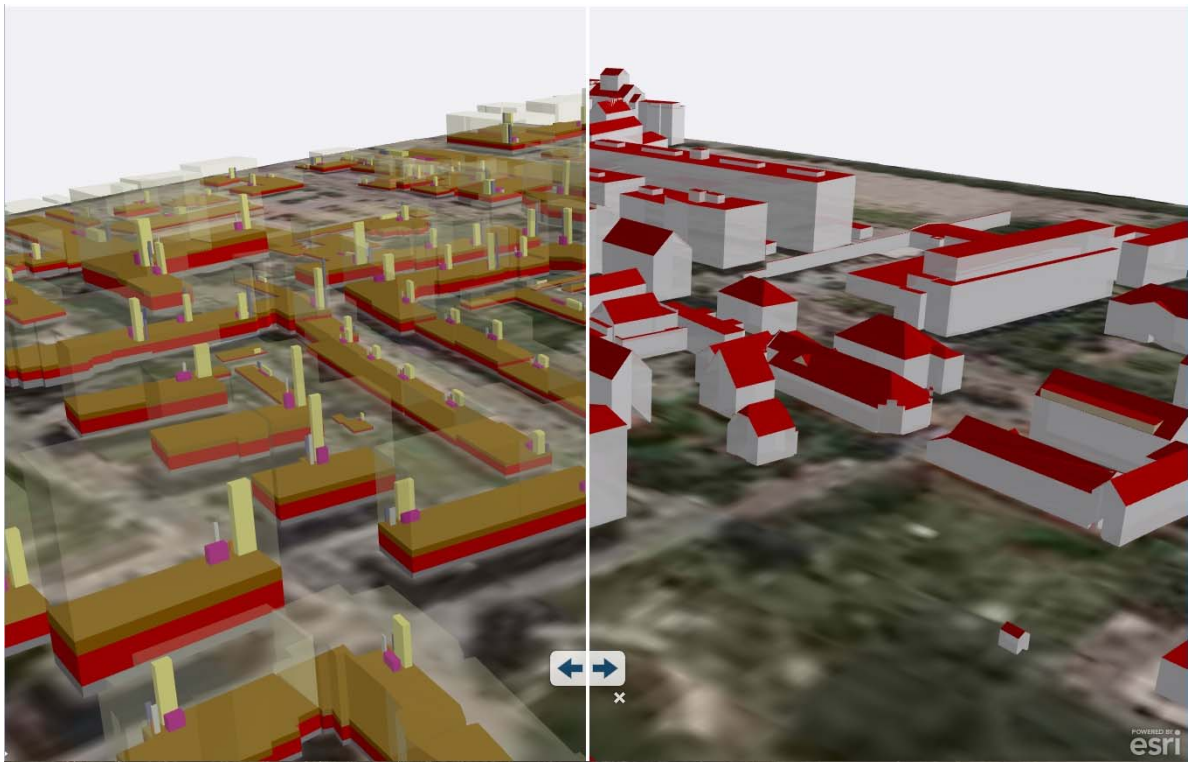


Abbildung 2-8: 3-D Visualisierung des UMKAT

2.3.6 Datenschutz

Das Projekt UMKAT ist eine Fallstudie zur Umsetzung eines Urban Mining Katasters in Graz-Eggenberg. Es ist gegenwärtig nicht die Intension des Auftragnehmers oder der Auftraggeber die Ergebnisse vollumfänglich der Bevölkerung zur Verfügung zu stellen. Da jedoch im Projekt zu wissenschaftlichen Zwecken teilweise sensible Daten über Gebäude und Netzwerke gesammelt, manipuliert und visualisiert werden, sind Maßnahmen im Sinne des Datenschutzes zu treffen. Die dient dazu dem Missbrauch durch Dritte vorzubeugen. Dafür wurden folgende Maßnahmen ergriffen bzw. Rücksicht genommen:

- Daten liegen auf nur auf gesicherten Servern der Stadt Graz bzw. anderen Gebietskörperschaften (GIS-Daten)

- Die Daten zu Materialzusammensetzung von Lagerstätten stammen aus öffentlich zugänglichen Studien bzw. Datenbanken der Ressourcen Management Agentur (RMA)
- Die Ergebnisse sind gegenwärtig ausschließlich amtsintern verfügbar/nutzbar
- Ergebnisse, die für die Öffentlichkeit bestimmt sind werden anonymisiert (20 m-Rasterung)

Im Zuge der Weiterentwicklung des Projektes über das Pilotstudium hinaus sind weitere Vorkehrungen und Maßnahmen im Sinne des Datenschutzes zu treffen. Eine Überlegung geht dahin, Zugang und Inhalten für einzelne Nutzergruppen zu beschränken. Ein „UMKATintern" würde dabei amtsintern alle Informationen enthalten. Ein „UMKATpublic" würde nur ausgewählte Informationen auf einer höheren Maßstabsebene enthalten. Trotzdem ist es vorstellbar, dass auch dem Einzelbürger detaillierte Informationen zur Verfügung gestellt werden. Ähnlich dem Grundbuchsauszug können Eigentümer die Daten zum Gebäude einsehen. Anderen Personen bleiben die Daten nicht zugänglich.

2.4 Bewertung des Urban Mining Lagers

Der UMKAT ist nicht alleine ein Instrument zur rein physischen Quantifizierung des anthropogenen Lagers, sondern auch hilfreich, für die ökologische und ökonomische Bewertung ebendieser.

2.4.1 Ökonomische Bewertung

Für die ökonomische Bewertung des anthropogenen Lagers bestehen unterschiedliche Ansätze. Im vorliegenden Projekt wird alleine der Materialwert der anthropogenen Lagerstätten für die Bewertung herangezogen. Dies bedeutet in Analogie zur Prospektion von Primärrohstoffen wird lediglich eine Potenzialabschätzung über den Wert der vorhandenen Sekundärrohstoffe in der Anthroposphäre ermittelt. Dieser Wert versteht sich als Grundlage für die weitere Exploration und Berechnungen der Förderkosten. D.h. in der durchgeführten Bewertung sind die Kosten für den Abbruch/Rückbau von Gebäuden bzw. Infrastruktur und die Aufbereitung der Sekundärrohstoffe nicht inbegriffen. Für die Bewertung werden markttypische Sekundärrohstoffpreise erhoben und in die Berechnungen aufgenommen. Für die Berechnungen werden die aktuellen Sekundärrohstoffpreise der eingesetzten Materialien sowie entsorgungskosten berücksichtigt (siehe Anhang 16.3: Tabelle 16-24 und Tabelle 16-23).

2.4.2 Ökologische Bewertung

Für die ökologische Bewertung des Lagers dienen einerseits die angeführten Schadstoffe und dessen Lokalisierung bzw. Visualisierung, andererseits wird der kumulierte Energieaufwand (KEA) für die verbauten Ressourcen berechnet und dargestellt. Es wird für jeden ein-

gesetzten Stoff/Gut der KEA mithilfe der Software SimaPro, basierend auf der ecoinvent-Datenbank berechnet. Dieser Wert wird mit dem Gesamtlager multipliziert.

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ist ein eindimensionales Verfahren zur Ökobilanzierung. Der KEA bildet die Summe aller Primärenergieinputs, die für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet werden. Nach der VDI-Richtlinie 4600 gibt der kumulierte Energieaufwand KEA „die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Guts (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann [Frischknecht et al., 2004].

Der KEA liefert erste Anhaltspunkte für Umweltwirkungen und die dafür notwendigen Daten sind in Datenbanken erfasst und gut ermittelbar. Außerdem ist das Ergebnis leicht zu interpretieren und zu verstehen. Die Darstellung ermöglicht es, die Eingesetzten Materialien Energetisch im Bezug zu deren Masse zu setzen.

Mit der Berechnung des KEAs für die unterschiedlichen Materialien welche in den diversen Lagern verbaut sind, lasst sich aufzeigen, dass die für einzelne Komponenten des Lagers die eingesetzte Energie stark variiert. Dies ist in Bezug mit der Nutzungsdauer und der Wiederverwendung zu setzen. Recyclingmaterialien haben in der Regel einen geringeren KEA als Primärprodukte, durch Urban Mining kann somit die verbrauchte Energie reduziert werden. Werden Güter wiederverwendet, so wird durch die Nutzungszeitraumverlängerung der KEA des Gutes über den gesamten Lebenszyklus betrachtet reduziert und durch den Ersatz eines Primärgutes weitere Energie eingespart.

Der Energieverbrauch, der durch die eindimensionale Kennzahl dargestellt wird, kann jedoch kein umfassendes Bild aller Umweltwirkungen bieten. Mit der Darstellung des KEA für das Gesamtlager lässt sich dieses nicht ganzheitlich ökologisch Bewerten. Für eine umfassende ökologische Bewertung sind weitreichendere Informationen beispielsweise bezüglich Materialzusammensetzungen, Konzentrationen, Verunreinigungen etc. notwendig.

3 Auswahl von Schad-, Wert- und Störstoffen

3.1 Inertes Material

3.1.1 Zementgebundene Baustoffe

In dieser Studie werden Betone und weitere zementgebundenen Baustoffe (z.B. Zementmörtel, Zementestriche) subsummiert. Es wird keine Differenzierung zwischen unterschiedlichen Betonarten (z.B. Estrichbeton, Porenbeton, Stahlbeton, Sperrbeton, Spritzbeton, Sichtbeton, u.ä.) vorgenommen. In die Baustoffkategorie zementgebundene Baustoffe fallen beispielsweise auch zementgebundener Mörtel und Putze. Für die ökologische Bewertung der Baustoffgruppe wird stellvertretend Normalbeton aus der ecoinvent Datenbank mit der Bezeichnung „Concrete, normal, at plant/CH U“ herangezogen. Die Dichte für diesen Beton wird mit 2.380 kg/m³ angegeben [Ecoinvent Centre, 2007]. In der Tabelle 16-1 ist die Materialzusammensetzung und der aufgewendete Energieeinsatz für 1 m³ Normalbeton angegeben.

3.1.2 Keramische Baustoffe

Keramische Baustoffe bestehen hauptsächlich aus unterschiedlichen (gebrannten) Tonen. Hauptsächlich fallen darunter: Normalformatziegel (NF-Ziegel), Hochlochziegel, Dachdeckung und Kanalklinker. Für die ökologische Bewertung wird Normalformatziegel aus der ecoinvent Datenbank mit der Bezeichnung „Brick, at plant/RER U“ herangezogen. Angenommen wird eine Dichte von durchschnittlich 1.395 kg/m³. In der Tabelle 16-2 ist die Materialzusammensetzung und der aufgewendete Energieeinsatz für 1 kg Normalformatziegel aus [Ecoinvent Centre, 2007] angegeben.

3.1.3 Stein/Kies/Sand

Die Materialkategorie „Stein/Kies/Sand“ handelt es sich um gebrochene oder natürlich vorkommende Lockergesteine, die sich aufgrund der Korngröße unterscheiden und hauptsächlich im Tiefbau eingesetzt werden (z.B. als Frostschicht oder Tragschicht). Da ein Großteil dieser Kategorie im Bereich des Straßenbaus eingesetzt wird und hier vor allem gebrochener Kies verwendet wird, wird das Material „Gravel, crushed, at mine/CH U“ aus der ecoinvent Datenbank für die Materialzusammensetzung und den Energieverbrauch herangezogen. Der Material- und Energieaufwand für 1 kg wird in der Tabelle 16-3 beschrieben.

3.1.4 Gipsgebundene Baustoffe

Gipsgebundene Baustoffe werden im Hochbau vor allem im Innenausbau eingesetzt (Gipsdielen, Gipskartonplatten) bzw. im Fußbodenaufbau (Estrich) oder als Putz (Gipsputz). Im geschützten Außenbereich müssen Gipsbaustoffe imprägniert werden. Da ein Großteil dieser Kategorie im Bereich der Bauwerke eingesetzt wird und hier vor allem Gipskartonplatten

verwendet werden, wird das Gut „Gypsum plaster board, at plant/CH U“ aus der ecoinvent Datenbank für die Materialzusammensetzung und den Energieverbrauch herangezogen. Der Material- und Energieaufwand für 1 kg wird in der Tabelle 16-4 beschrieben.

3.1.5 Mineralische Dämmstoffe

Produkte der Kategorie „mineralische Dämmstoffe“ sind vor allem Stein- und Glaswolle. Es wird das Gut „Rock wool, at plant/kg/CH“ aus der ecoinvent Datenbank für die Materialzusammensetzung und den Energieverbrauch herangezogen. Der Material- und Energieaufwand für 1 kg wird in der Tabelle 16-5 beschrieben.

3.2 Organisches Material

3.2.1 Holz

Bauholz kommt als Baustoff zur Errichtung von Gebäuden zum Einsatz. Je nach Form und Verarbeitungsgrad wird zwischen verschiedenen Bauholzprodukten unterschieden, die in die Kategorien Vollholz, Brettschichtholz und Holzwerkstoff eingeordnet werden. Verschiedene Normen definieren Qualitätsansprüche und bautechnische Eigenschaften, welche die Bauholzprodukte, je nach Verwendung, erfüllen müssen. In dieser Studie werden wird vor allem Konstruktionsholz (tragend), (wie Dachstuhl, Deckenkonstruktionen, Fachwerke und Masten) und Holz für den Innenausbau (für Zwischenwände, Boden- Wand-, Deckenbeläge, Türen und Fenster) erfasst. Es wird das Gut „Sawn timber, softwood, raw, kiln dried, u=20%, at plant/RER U“ von der ecoinvent Datenbank verwendet. Der Material- und Energieaufwand für 1 m³ Holz ist in der Tabelle 16-6 beschrieben.

3.2.2 Erdölbasierte Baustoffe

In dieser Kategorie werden Güter bzw. Produkte mit unterschiedlichen Verwendungszwecken zusammengefasst, die hauptsächlich aus Erdöl hergestellt werden. In diese Kategorie fallen Kunststoffe (z.B. Polyurethan, Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol). Bitumen, welches im Straßenbau als Bindemittel eingesetzt wird, fällt auch in diese Kategorie und macht gewichtsmäßig den größten Anteil (über 90 %) aus, deshalb wird das Gut „bitumen, at refinery/kg/CH“ zur Bewertung der Kategorie herangezogen. Der Material- und Energieaufwand für 1 kg Bitumen ist in der Tabelle 16-7 beschrieben.

Polyvinylchlorid (PVC) wird in dieser Kategorie nicht erfasst (→ Schadstoff „PVC“).

Polyethylen (PE) kommt bei Folien (z.B. Dampfbremse) zum Einsatz. **Polyurethan (PU)** wird beispielsweise als Dämmstoff und Montageschaum verwendet. Es hat eine Rohdichte von ca. 30 kg/m³ (geschäumt), die grobe Zusammensetzung ist in Tabelle 3-1 angegeben.

Tabelle 3-1: Zusammensetzung für PU-Dämmstoff [IVPU, 2009]

Grundmaterialien	Anteil in Massen-%
MDI	55 bis 65 %
Polyol	20 bis 30 %
Treibmittel	4 bis 5 %
Wasser	0,1 bis 0,5 %
Stabilisatoren	0,5 bis 2 %
Phosphorhaltiges Flammschutzmittel	2 bis 5 %

Polystyrol (PS) wird ebenfalls als Dämmstoff eingesetzt. Die Rohdichte liegt bei ca. 18 bis 27 kg/m³ und das Material setzt sich grob aus den in der Tabelle 3-2 angegebenen Materialien zusammen.

Tabelle 3-2: Zusammensetzung von EPS-Dämmstoff [Industrieverband Hartschaum e.V., 2009]

Grundmaterialien	Anteil in Massen-%
Polystyrol-Granulat	80 bis 99 %
Rezyklat	0 bis 19 %
Hexabromcylododecan	0,5 bis 1 %
Pentan (Treibmittel)	3,5 bis 7 %

3.3 Metalle

3.3.1 Eisen/Stahl

Stahl und Eisen werden im Hoch- und Tiefbau eingesetzt. Einerseits als tragende Struktur für Steher und Träger, als auch als Bewehrung im Stahlbeton. Weiters kommen noch in diversen Bereichen Bleche, Rohre und Hilfsmaterialien (Schrauben, Leitungen, etc.) zum Einsatz. Es wird je nach Einsatzgebiet unterschiedlich hoch legierter Stahl verwendet, wobei der größere Anteil niedrig legiert ist. In dieser Studie wird eine Mischung von Stählen von unterschiedlichen Herstellungsprozessen aus der ecoinvent Datenbank für die Bewertung dieses Gutes herangezogen. Es wird das Gut „Steel, low-alloyed, at plant/RER" herangezogen, welcher sich zu 63 % aus Blasstahl (siehe: Tabelle 16-8) und zu 37 % (siehe: Tabelle 16-9) aus Elektrostahl zusammensetzt.

3.3.2 Kupfer

Kupfer wird im Hoch- und Tiefbau eingesetzt. Kupfer wird einerseits für Elektroinstallationen (Stromnetz, Telefonnetz), im Sanitärbereich (Heizungsrohre und Wasserleitungen) und andererseits im Dachbereich (v.a. Bleche, Fallrohre, Regenrinnen) eingesetzt. Für die Bewertung des Lagers wird ein Mix aus Kupfer von unterschiedlichen Produktionsstandorten mit

der Bezeichnung „Copper, at regional storage/RER U“ aus der ecoinvent Datenbank herangezogen. Die Zusammensetzung je kg ist in der Tabelle 16-10 angegeben.

3.3.3 Zink

Zink wird hauptsächlich im Hochbau eingesetzt (für das Verzinken von Stahl, und für Zinkbleche). In Messing ist Zink (20 %-40 %) enthalten. Für die Bewertung des Lagers wird Primärzink mit der Bezeichnung „zinc, primary, at regional storage/kg/RER“ aus der ecoinvent Datenbank herangezogen. Die Materialzusammensetzung und der Energieaufwand pro kg ist in der Tabelle 16-11 angegeben.

3.3.4 Aluminium

Aluminium wird im Hochbau vielfältig eingesetzt. Die Einsatzgebiete sind unter Anderem Dachdeckung, Fassadenplatten, Fensterprofile und Stromleitungen. Für die Bewertung wird Primäraluminium aus der ecoinvent Datenbank mit der Bezeichnung „Aluminium, primary, at plant/RER U“ herangezogen. Die Materialzusammensetzung und der Energieaufwand pro kg ist in der Tabelle 16-12 angegeben.

3.3.5 Blei

Häufige Verbreitung im Bauwesen findet Blei in Form von Pigmenten z.B. in Rostschutzanstrichen und in Malerfarben (weiß und gelb). In dieser Studie wird Blei nur in metallischer Form (z.B. Rohre und Bleche) erfasst. Zur Dacheindeckung wurden Einblechungen mit hohem Bleianteil für Kamin- bzw. Gebäudeanschlüsse verwendet. Nur noch selten anzutreffen sind Bleirohre und –kabel [Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU), 2003]. Für die Bewertung wird Sekundärblei aus der ecoinvent Datenbank mit der Bezeichnung „Lead, secondary, at plant/RER U“ herangezogen. Der Einsatz von Primärblei nimmt in den letzten Jahrzehnten ab, deshalb wird davon ausgegangen, dass vermehrt Sekundärblei eigesetzt wird. Die Materialzusammensetzung und der Energieaufwand pro kg ist in der Tabelle 16-13 angegeben.

3.4 Schadstoffe

3.4.1 PVC

Polyvinylchlorid (PVC) ist ein amorpher thermoplastischer Kunststoff. PVC ist hart und spröde und wird erst durch Zugabe von Weichmachern und Stabilisatoren weich, formbar und für technische Anwendungen geeignet. Bekannt ist PVC für die Verwendung in Fußbodenbelägen, Fensterprofilen, Rohren, Kabelisolierungen und –ummantelungen.

Polyvinylchlorid verursacht sowohl in der Produktion, in der Verwendung und in der Entsorgung ökologische Probleme. Deshalb wird PVC in der vorliegenden Studie als Schadstoff bezeichnet. Vinylchlorid, Baustein und Vorstufe von PVC, ist ein hochentzündliches, giftiges und krebserregendes Gas, dessen Transport (meist über Bahn) ein nicht zu unterschätzen-

des Sicherheitsrisiko bedeutet. Bei der PVC-Herstellung entstehen hochgefährliche, mit krebserregenden Dioxinen kontaminierte Abfälle. Auch bei der Verbrennung von PVC entstehen hochgiftige Chlor-Verbindungen wie Dioxine sowie ätzende Salzsäure. Weichmacher sind im PVC chemisch nicht fest gebunden und dampfen daher langsam in die Innenraumluft aus. Der häufig eingesetzte Phthalat-Weichmacher Diethylhexylphthalat (DEHP) erhöht Unfruchtbarkeit und Missbildungen beim menschlichen Fötus, kann Allergien auslösen und steht im Verdacht, krebserregend und hormonell wirksam zu sein. Im Brandfall erzeugt PVC schnell dichtesten, ätzenden Rauch, setzt ätzende Salzsäure und giftige Dämpfe frei und kann damit die Sanierungskosten (Dioxinkontamination) vervielfachen [Belazzi & Leutgeb, 2008].

Für die Bewertung wird Suspensions-Polyvinylchloride mit der Bezeichnung „Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U“ aus der ecoinvent Datenbank verwendet. Die Materialzusammensetzung und der Energieaufwand pro kg ist in der Tabelle 16-14 angegeben.

3.4.2 Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)

Verwendung fanden und finden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Löse- und Entfettungsmittel. Tetrachlorethen (PER) und Trichlorethen (TRI) werden bei der Textilreinigung eingesetzt. Die FCKW (Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, eine Teilgruppe der LHKW) wurden in der Vergangenheit in großem Umfang als Kältemittel in Kühlaggregaten benutzt. Im Baubereich wurden FCKW als Treibmittel für Kunststoffschäume (v.a. PUR-Schäume) verwendet. Bei PUR- Hartschäumen (Wärmedämmplatten, Ortschäume) verbleiben bis zu 15 Gew.-% im Produkt [Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU), 2003]. Im Bereich der Fernwärmeleitungen wurden ebenfalls FCKW-geschäumte PU-Schaumstoffe eingesetzt.

3.4.3 Asbest

Asbest ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe anorganischer, natürlich vorkommender, kristalliner Silikate, die in Form von Fasern bzw. Faserbündeln auftreten. Asbest ist u.a. unbrennbar, hitzebeständig, beständig gegen Fäulnis und Korrosion, zugfest und wärmeisolierend. Die einzelnen Asbestarten sind unterschiedlich beständig gegen Säuren und Laugen (z. B. Chrysotil ist unbeständig gegen starke Säuren).

Aufgrund der günstigen Faser-Eigenschaften wie Nichtbrennbarkeit, chemische Beständigkeit, sehr hohe Hitzebeständigkeit, elektrische Isolierfähigkeit und hohe Elastizität sowie Zugfähigkeit wurde Asbest in mehr als 3.000 Produkten eingesetzt. Grundsätzlich ist zwischen schwachgebundenen und festgebundenen Asbestprodukten zu unterscheiden. Die von der Fa. Eternit hergestellten Bauplatten (sogen. Eternit-Platten) waren früher (bis ca. 1991) ebenfalls asbesthaltig [Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU), 2003].

Einsatzgebiet: Brandschutzplatten, Elektroinstallationen, Dichtungen, Asbestzement, Dichtungsmassen und Kitte, Dach- und Fassadenplatten

4 Materialzusammensetzung und Masse des Lagers Land Steiermark

Das Lager wird in die vier Kategorien Gebäude, Netzwerke, Senken und Konsumgüter eingeteilt. Die Kategorien werden je nach Datenlage in Unterkategorien unterteilt und für diese wird die Materialzusammensetzung aus Literaturdaten bestimmt.

4.1 Gebäude

4.1.1 Definitionen

Für Definitionen im Bereich Gebäude wird auf Statistik Austria zurückgegriffen. Die Definitionen werden im Wortlaut von [Statistik Austria, 2012a] übernommen. Diese Definition wird auch im Gebäude- und Wohnungsregister verwendet, auf deren Basis die Lagerbestimmung durchgeführt wird, durch diese Vorgehensweise sind die eingesetzten Daten konsistent.

Bauwerk:
Ein mit dem Boden in Verbindung stehendes Objekt, zu dessen fachgerechter Herstellung bautechnische Kenntnisse erforderlich sind.

Definition Gebäude:
Ein Bauwerk mit einem Dach und wenigstens zwei Wänden, welches von Menschen betreten werden kann und dazu bestimmt ist, Menschen, Tiere oder Sachen zu schützen und das von anderen solchen Bauwerken durch freistehende Bauweise und bei geschlossener Bauweise durch eine Brandschutzmauer vom Dach bis zum Keller abgegrenzt ist. Sind derartige Bauwerke durch eigene Erschließungssysteme (eigener Zugang und Treppenhaus) und Ver- und Entsorgungssysteme getrennt, ist jeder solcher Teil ein Gebäude (Wohnblocks, Doppel-, Gruppen- oder Reihenhäuser).

In Wohnhausanlagen oder größeren Wohnobjekten gilt dabei jedes Stiegen- oder Reihenhaus als eigenes Gebäude, unabhängig davon, ob die einzelnen Stiegenhäuser miteinander verbunden sind. Im Gegensatz zu älteren Definitionen umfasst diese alle Gebäude, also nicht nur Wohngebäude, sondern auch Nichtwohngebäude. Jedes Gebäude, das dieser Definition entspricht, hat im Gebäude- und Wohnungsregister erfasst zu werden.

Definition Nebengebäude:
Ein nicht für Wohnzwecke oder Einstellung von mehrspurigen Kraftfahrzeugen bestimmtes Gebäude, das aufgrund seiner Art, Größe und seines Verwendungszweckes einem anderen auf derselben Adresse befindlichen Gebäude untergeordnet ist (Geräteschuppen, Gartenhäuschen u. dergleichen).

Nettogrundfläche (Gebäude):
Die Nettogrundfläche eines Gebäudes ist die Summe der zwischen den aufgehenden Bauteilen befindlichen Bodenflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes.

Bauperiode:
Die Bauperiode ist jener Zeitraum, in dem das Errichtungsdatum liegt. Es gibt folgende Bauperioden:

*) Vor 1919
*) 1919 – 1944
*) 1945 – 1960
*) 1961 – 1970
*) 1971 – 1980
*) 1981 – 1990
*) 1991 – 2000
*) Ab 2001 (jährlich)

Folgende Definitionen wurden einem früheren Handbuch, und zwar [Statistik Austria, 2005], entnommen.

Verbaute Fläche
Die von den Außenwänden umschlossene Fläche in Höhe des Erdgeschosses

Gebäudehöhe
Höhendifferenz zwischen dem obersten Punkt der Bauwerkshülle und dem tiefsten Punkt des an das Gebäude angrenzenden Geländes.

Bruttorauminhalt
Rauminhalt des Bauwerks, der von den äußeren Begrenzungsflächen und nach unten von der Unterfläche der konstruktiven Bauwerkssohle umschlossen wird (siehe ÖNORM B 1800).

Überbaute Grundfläche
Die überbaute Grundfläche ist die Fläche, welche durch die lotrechte Projektion der äußersten Umrisslinie aller ober-irdischen überlagerten Bruttogrundflächenbereiche eines Bauwerks begrenzt wird (siehe ÖNORM B 1800).

Bruttogrundfläche des Gebäudes
Summe der Brutto-Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. Der im AGWR geführte Wert ist ein errechneter Wert, welcher sich aus der Summe der Bruttogrundflächen je Geschoß (Brutto-Grundflächen je Geschoß) ermittelt.

Geschoßhöhen
Die durchschnittliche Geschoßhöhe ist das Maß im Mittel von der Oberkante des fertigen Fußbodens bis zur Oberkante des fertigen Fußbodens des darüber liegenden Geschoßes; beim obersten Geschoß von der Oberkante des fertigen Fußbodens bis zur Oberkante der

tragenden Deckenkonstruktion; bei ausgebauten Dachgeschoßen von der Oberkante des fertigen Fußbodens bis zur Außenkante der Dachhaut.

Bauweise pro Geschoß
Es ist aus folgenden Angaben zu wählen (Sofern es sich um eine gemischte Bauweise handelt, ist die überwiegende Bauweise anzugeben):

*) Mauerwerksbau (Beispiel: Ziegel oder Beton)
*) Stahlbetonskelett
*) Stahlskelett
*) Holzriegelkonstruktion

EU-Gebäudeklassifikation
Aus den überwiegenden Flächenangaben der Nutzungseinheiten errechnet sich eine Zuordnung zur EU-Gebäudeklassifikation.

Allfällige Eigenschaft als Gebäude (im Sinne des § 2 Z 1 GWR-Gesetz, BGBl. I Nr. 9/2004):
01 – Gebäude mit einer Wohnung
02 – Gebäude mit zwei oder mehr Wohnungen
03 – Wohngebäude für Gemeinschaften
04 – Hotels und ähnliche Gebäude
05 – Bürogebäude
06 – Groß- und Einzelhandelsgebäude
07 – Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens
08 – Industrie- und Lagergebäude
09 – Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke sowie das Bildungs- und Gesundheitswesen
10 – Sonstige Baulichkeiten

Funktion(en) des Gebäudes:
01 – Apotheke
02 – Einsatzzentrale / Rettungsdienst
03 – Polizei / Gendarmerie
04 – Feuerwehr
05 – Gemeindeamt
06 – Krankenanstalt
07 – Tankstelle
08 – Schule
00 – nicht bearbeitet
99 – zurzeit keine Funktion zugeordnet

Mehrfachangaben sind möglich

4.1.2 Materialzusammensetzung Gebäude – Land Steiermark

Für die Berechnung des Gebäudelagers der Steiermark wird auf die Methode von [Lichtensteiger et al., 2006] zurückgegriffen. In der Studie „Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender“ wird die ARK-Haus-Methode beschrieben und der Lagerbestand der Gebäude der Schweiz berechnet. Diese Methode stütz sich auf fiktive Hausmodelle aus unterschiedlichen Bauperioden und Nutzungskategorien. Ein Überblick über die angenommen Gebäudetypen und Bauperioden welche in [Lichtensteiger et al., 2006] verwendet werden sind in der Abbildung 4-1 dargestellt. In der Studie werden die Materialien Kies/Sand, Mergel/Ton, Zement, Holz und Kupfer betrachtet. Es wird auf diese Methode zurückgegriffen, da sich die verfügbaren Daten über den Gebäudebestand der Steiermark erhoben durch [Statistik Austria, 2011b] in der Registerzählung 2011 übereinstimmt.

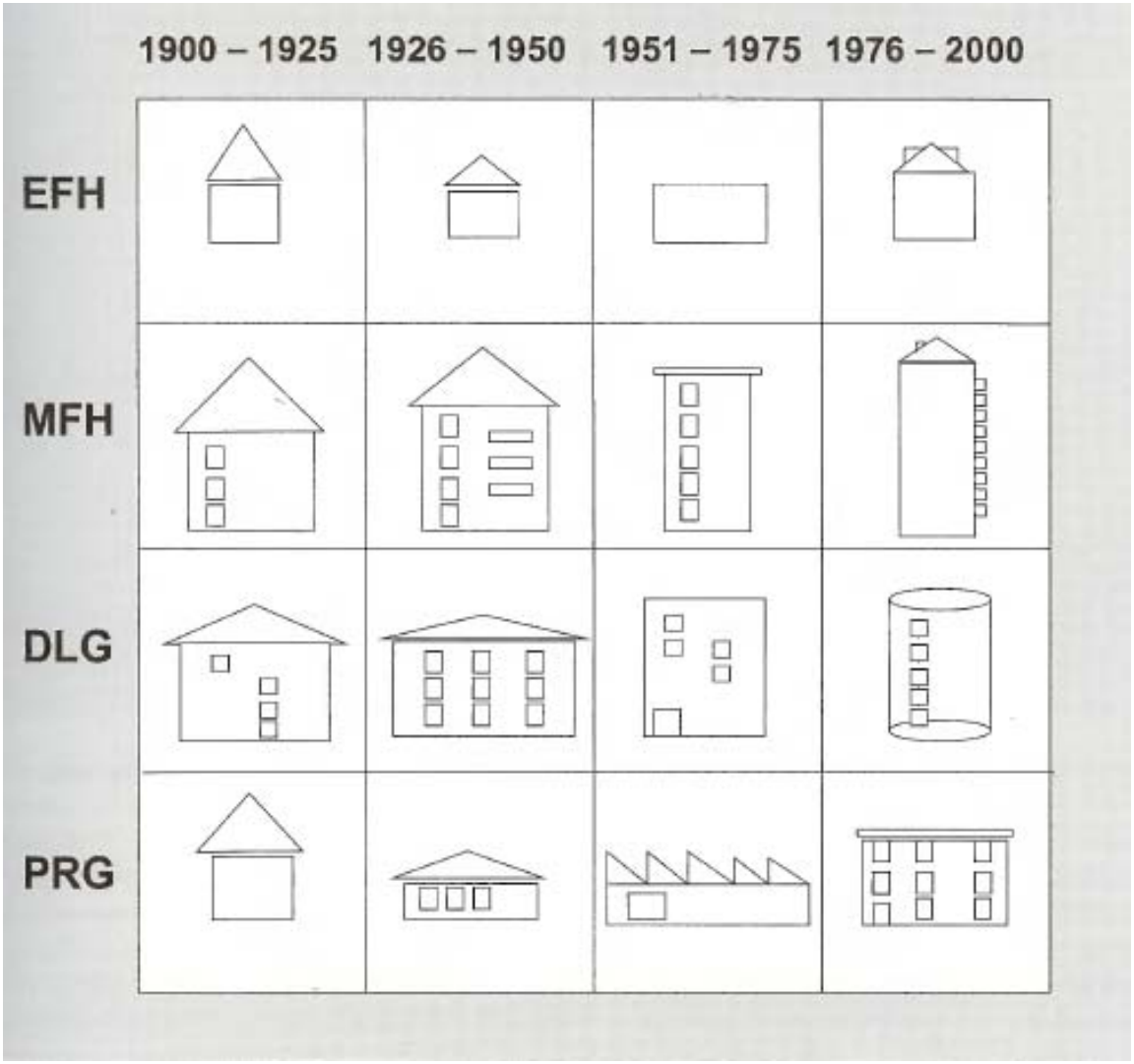


Abbildung 4-1: 4x4 Matrix der AKR-Haus-Methode. Fiktives AKR-Haus pro Nutzungstyp und Epoche entnommen aus [Lichtensteiger et al., 2006, 15]

Die Erhebung des Gebäudebestandes in Österreich wird von der Statistik Austria alle 10 Jahre durchgeführt. Die die in [Lichtensteiger et al., 2006] herangezogenen Epochen, werden an den Datenbestand von Statistik Austria angepasst. Die Jahrgänge welche in [Statistik Austria, 2011b] erhoben werden, werden zu den Jahrgängen aus [Lichtensteiger et al., 2006] wie in Tabelle 4-1 angegeben zugeteilt.

Tabelle 4-1: Zuteilung der Jahrgänge von [Statistik Austria, 2011b] an jene von [Lichtensteiger et al., 2006]

Altersklasse	Jahrgänge [Lichtensteiger et al., 2006]	Zuteilung der Jahrgänge aus dem Gebäudebestand erhoben von [Statistik Austria, 2011b]
I	1900-1925	vor 1919
II	1926-1950	1920 bis 1960
III	1951-1975	1961 bis 1980
IV	1976-2000	1981 bis heute

Die Materialzusammensetzungen der Modellgebäude und die Annahmen bezüglich des Bruttorauminhaltes werden unverändert von [Lichtensteiger et al., 2006] übernommen. Wie in Abbildung 4-1 dargestellt, werden vier unterschiedliche Nutzungs- bzw. Gebäudekategorien unterschieden. Die Tabelle 4-2 zeigt die Zuteilung der Gebäudekategorien, wie sie von Statistik Austria verwendet werden, zu den vier Kategorien von [Lichtensteiger et al., 2006].

Tabelle 4-2: Zuteilung der Gebäudekategorien von [Statistik Austria, 2011b] an jene von [Lichtensteiger et al., 2006]

Bezeichnung [Lichtensteiger et al., 2006]	Zuteilung der Gebäudebezeichungen aus dem Gebäudebestand erhoben von [Statistik Austria, 2011b]
Einfamilienhäuser (EFH)	Wohngebäude mit einer Wohnung
Mehrfamilienhäuser (MFH)	Wohngebäude mit zwei Wohnung Wohngebäude mit drei und mehr Wohnung Gebäude für Gemeinschaften
Dienstleistungsgebäude (DLG)	Hotels und ähnliche Gebäude Bürogebäude Groß- und Einzelhandelsgebäude Gebäude des Verkehrs und Nachrichtenwesens Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke sowie des Bildungs- und Gesundheitswesens
Produktionsgebäude (PRG)	Industrie- und Lagergebäude

Die Materialmengen je Gebäudekategorie in Tonnen pro Gebäude der ARK-Häuser ist in der Tabelle 4-3 angegeben.

Tabelle 4-3: Materialmengen je Gebäudekategorie in Tonnen pro Gebäude übernommen von [Lichtensteiger et al., 2006, 125].

	Altersklasse I	Altersklasse II	Altersklasse III	Altersklasse IV
Einfamilienhaus EFH				
Kies/Sand	160	190	220	270
Ziegel (Mergel/Ton)	95	63	35	16
Zement	22	25	30	36
Holz	25	25	21	16
Kupfer	0,063	0,079	0,12	0,18
Mehrfamilienhaus MFH				
Kies/Sand	360	460	600	870
Ziegel (Mergel/Ton)	210	160	120	150
Zement	45	60	72	120
Holz	71	60	48	29
Kupfer	0,18	0,24	0,43	0,67
Dienstleistungsgebäude DLG				
Kies/Sand	1.200	1.200	1.100	1.100
Ziegel (Mergel/Ton)	720	270	86	80
Zement	150	160	150	160
Holz	120	110	65	40
Kupfer	0,6	0,65	0,77	0,96
Produktionsgebäude PRG				
Kies/Sand	170	290	500	620
Ziegel (Mergel/Ton)	98	66	54	41
Zement	21	33	72	100
Holz	28	33	36	41
Kupfer	0,07	0,13	0,5	0,74

4.1.3 Wohngebäude – Stand 2011

Die Vergabe der Gebäudeeigenschaft erfolgt aufgrund der Nutzungsart und der Flächenangaben der Nutzungseinheiten. Diese Kategorisierung wird von Statistik Austria übernommen, beschrieben in [Statistik Austria, 2011a]. Folgende Regeln kommen zur Anwendung:

a) Nicht einbezogen in die Berechnung werden Keller-, Garagen-, Verkehrs- und Dachbodenflächen.
b) Bei mindestens 50 % Wohnungsanteil (bezogen auf die Nettogrundflächen pro Nutzungsart) handelt es sich um ein Wohngebäude.
c) Bei weniger als 50 % Wohnungsanteil ist jene Nutzung bestimmend für die Gebäudeeigenschaft, die abgesehen von den Wohnungsflächen den größten Flächenanteil am Gebäude hat.
d) Bei gleichen Flächen gilt eine vorgegebene Reihung. Es wird zwischen folgenden Typen von Gebäuden unterschieden:

Wohngebäude mit:
– einer Wohnung
– zwei Wohnungen
– drei oder mehr Wohnungen

Gebäude für Gemeinschaften: Gebäude mit Nutzung als Altenwohnheim, Studentinnen- und Studentenheim, Justizanstalt usw.

Der Gebäudebestand aus dem Jahr 2011 für das Land Steiermark wurde von [Statistik Austria, 2011b] entnommen. Die Einteilung in Gebäude- und Altersklassen erfolgt nach den Kriterien welche in Kapitel 4.1.2 beschrieben. In der Tabelle 4-4 sind alle Wohngebäude, untergliedert in die beiden Kategorien „Einfamilienhäuser“ und „Mehrfamilienhäuser“ und den vier Altersklassen abgebildet.

Tabelle 4-4: Wohngebäude - Gebäudebestand Steiermark unterteilt nach Gebäudekategorien und Altersklassen

Bezeichnung [Lichtensteiger et al., 2006]	**Bezeichnung Statistik Austria**	**Gebäude Anzahl je Altersklasse**			
		AK I	**AK II**	**AK III**	**AK IV**
Einfamilienhäuser (EFH)	Wohngebäude mit einer Wohnung	**36.588**	**40.826**	**68.147**	**98.652**
Mehrfamilienhäuser (MFH)	Wohngebäude mit zwei Wohnung	**5.905**	**7.393**	**15.016**	**9.443**
	Wohngebäude mit drei und mehr Wohnung	**7.109**	**7.346**	**7.211**	**12.205**
	Gebäude für Gemeinschaften	**174**	**116**	**208**	**315**

4.1.4 Nicht-Wohngebäude - Stand 2011

Dabei handelt es sich um Gebäude, die zum größten Teil oder zur Gänze anderen Zwecken als Wohnzwecken dienen:

– Hotels und ähnliche Gebäude: Gebäude, die der kurzfristigen Beherbergung (Hotel, Pension) oder Bewirtung (Restaurant, Bar) dienen.
– Bürogebäude: Gebäude für Büro- und Verwaltungstätigkeiten sowie Polizeireviere oder Feuerwehrzentralen.
– Groß- und Einzelhandelsgebäude: z.B. Geschäftslokale, Tankstellen, usw.
– Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens: Bahnhöfe, Parkgaragen, Sendestationen, Fernmeldezentralen usw.
– Industrie- und Lagergebäude: z.B. Montagehallen, Produktionshallen, Lagerhallen
– Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke sowie des Bildungs- und Gesundheitswesens. Diese Kategorie enthält auch Kirchen und andere Sakralgebäude.

Gebäude für Gemeinschaften und Nichtwohngebäude werden in der Publikation unter dem Begriff „andere Gebäude“ zusammengefasst [Statistik Austria, 2011a].

Der Gebäudebestand aus dem Jahr 2011 für das Land Steiermark wurde von [Statistik Austria, 2011b] entnommen. Die Einteilung in Gebäude- und Altersklassen erfolgt nach den Kriterien welche in Kapitel 4.1.2 beschrieben. In der Tabelle 4-5 sind alle Nicht-Wohngebäude, untergliedert in die beiden Kategorien „Dienstleistungsgebäude“ und „Produktionsgebäude“ dargestellt.

Tabelle 4-5: Nicht-Wohngebäude - Gebäudebestand Steiermark unterteilt nach Gebäudekategorien und Altersklassen

Bezeichnung [Lichtensteiger et al., 2006]	**Bezeichnung Statistik Austria**	**Gebäude Anzahl je Altersklasse**			
		AK I	**AK II**	**AK III**	**AK IV**
Dienstleistungsgebäude (DLG)	Hotels und ähnliche Gebäude	**1.561**	**738**	**1.396**	**1.659**
	Bürogebäude	**1.177**	**870**	**1.333**	**2.129**
	Groß- und Einzelhandelsgebäude	**1.528**	**946**	**1.426**	**2.597**
	Gebäude des Verkehrs und Nachrichtenwesens	**176**	**86**	**217**	**332**
	Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke sowie des Bildungs- und Gesundheitswesens	**1.113**	**531**	**950**	**1.565**
Produktionsgebäude (PRG)	Industrie- und Lagergebäude	**1.734**	**2.103**	**3.067**	**4.763**

4.1.5 Gebäudelager in der Steiermark

Nach der Gebäudezusammensetzung und dem Gebäudebestand, angegeben in Kapitel 4.1, ergibt sich für das Land Steiermark ein Gebäudelager von insgesamt ca. 186 Millionen Tonnen. Dieser Wert liegt nahe bei jenem von [Glenck et al., 2000] welcher im Jahr 2000 einen Wert von 155 Millionen Tonnen angibt. Die Tabelle 4-6 stellt das Gebäudelager der Steiermark unterteilt nach Gebäude- und Altersklassen in Millionen Tonnen dar. Für das Lager am Bedeutendsten sind die Wohngebäude, die Klassen Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser kommen gemeinsam auf ca. 75 %. Es folgt die Kategorie Dienstleistungsgebäude, auf welche etwa 20 % entfallen. Mit 5 % fallen Produktionsgebäude für das Lager wenig ins Gewicht, dieser Bereich ist mit der ausgewählten Methode unterrepräsentiert. Werden die Industrie- und Lagergebäude mit den Kennzahlen aus [Stark et al., 2003b] berechnet, so liegen sie bei etwa 10 %.

Tabelle 4-6: Gebäudelager Land Steiermark unterteilt in Gebäude- und Altersklassen in Millionen Tonnen

Gebäudelager Steiermark [in Mio. t]	AK I	AK II	AK III	AK IV	Summe
Einfamilienhäuser	11,1	12,4	20,9	33,4	77,8
Mehrfamilienhäuser	9,0	11,0	18,9	25,7	64,6
Dienstleistungsgebäude	12,2	5,5	7,5	11,4	36,6
Produktionsgebäude	0,5	0,9	2,0	3,8	7,2
Summe Gebäude	32,8	29,8	49,3	74,3	186,2

Gut Sand/Kies

Wird innerhalb des Gebäudelagers der Steiermark das Gut Sand/Kies betrachtet, zeigt sich die in Tabelle 4-7 angegebene Verteilung. Das Lager für das Gut Kies/Sand liegt bei ca. 130 Mio.t, dies entspricht etwa 70 % Gewichtsvolumen am Gesamtlager. Die Verteilung innerhalb der Kategorien verhalten sich wie jene des Gesamtlagers, in Tabelle 4-6.

Tabelle 4-7: Gebäudelager Land Steiermark für das Gut Sand/Kies in Millionen Tonnen

Gebäudelager Stmk. Gut Sand/Kies [in Mio. t]	AK I	AK II	AK III	AK IV	Summe
Einfamilienhäuser	5,9	7,8	15,0	26,6	55,3
Mehrfamilienhäuser	4,7	6,8	13,5	19,1	44,1
Dienstleistungsgebäude	6,7	3,8	5,9	9,1	25,5
Produktionsgebäude	0,3	0,6	1,5	3,0	5,4
Summe Gebäude	17,6	19,0	35,9	57,8	130,3

Gut Ziegel (Mergel/Ton)

Wird innerhalb des Gebäudelagers der Steiermark das Gut Ziegel (Mergel/Ton) einzeln dargestellt, zeigt sich die in Tabelle 4-8 angegebene Verteilung. Das Lager für das Gut Ziegel (Mergel/Ton) liegt bei ca. 28 Mio.t, das entspricht etwa 15 % Gewichtsvolumen am Gesamtlager. Auch in bei diesem Gut entfallen ca. 75 % auf die Wohngebäude.

Tabelle 4-8: Gebäudelager Land Steiermark für das Gut Ziegel (Mergel/Ton) in Millionen Tonnen

Gebäudelager Stmk. Gut Ziegel (Mergel/Ton) [in Mio. t]	AK I	AK II	AK III	AK IV	Summe
Einfamilienhäuser	3,5	2,6	2,4	1,6	10,1
Mehrfamilienhäuser	2,8	2,4	2,7	3,3	11,2
Dienstleistungsgebäude	4,0	0,9	0,5	0,7	6,1
Produktionsgebäude	0,2	0,1	0,2	0,2	0,7
Summe Gebäude	10,5	6,0	5,8	5,8	28,1

Gut Zement

Wird innerhalb des Gebäudelagers der Steiermark das Gut Zement singulär dargestellt, zeigt sich die in Tabelle 4-9 angegebene Verteilung. Das Lager für das Gut Zement liegt bei ca. 17 Mio.t, dies entspricht ca. 10 % des Gewichtsvolumens.

Tabelle 4-9: Gebäudelager Land Steiermark für das Gut Zement in Millionen Tonnen

Gebäudelager Stmk. Gut Zement [in Mio. t]	AK I	AK II	AK III	AK IV	Summe
Einfamilienhäuser	0,8	1,0	2,0	3,6	7,4
Mehrfamilienhäuser	0,8	0,5	0,8	1,3	3,4
Dienstleistungsgebäude	0,3	0,6	1,5	3,0	5,4
Produktionsgebäude	0,0	0,1	0,2	0,5	0,8
Summe Gebäude	1,9	2,2	4,5	8,4	17,0

Gut Holz

Wird innerhalb des Gebäudelagers der Steiermark das Gut Holz einzeln dargestellt, zeigt sich die in Tabelle 4-10 angegebene Verteilung. Das Lager für das Gut Holz liegt bei ca. 10 Mio.t, das entspricht etwa 5 % Gewichtsvolumen am Gesamtlager. Der Anteil des Wohnbaus liegt bei dem Gut Holz bei ca. 85%.

Tabelle 4-10: Gebäudelager Land Steiermark für das Gut Holz in Millionen Tonnen

Gebäudelager Stmk. Gut Holz [in Mio. t]	AK I	AK II	AK III	AK IV	Summe
Einfamilienhäuser	0,9	1,0	1,4	1,6	4,9
Mehrfamilienhäuser	0,9	0,9	1,1	0,6	3,5
Dienstleistungsgebäude	0,7	0,3	0,3	0,3	1,6
Produktionsgebäude	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4
Summe Gebäude	2,6	2,3	2,9	2,7	10,4

Stoff Kupfer

Kupfer wird als Beispiel für ein hochwertiges Metall herangezogen. Wird innerhalb des Gebäudelagers der Steiermark der Stoff Kupfer dargestellt, zeigt sich die in Tabelle 4-11 angegebene Verteilung. Das Lager für des Stoffes Kupfer liegt bei ca. 85.000 Tonnen. Wird dieser Wert mit [Daxbeck et al., 2006] und [Daxbeck et al., 2012], welcher den Kupferhaushalt von Österreich beschreibt, so muss davon ausgegangen werden, dass das Lager um ca. 50 % über dem angegebenen Wert liegt.

Tabelle 4-11: Gebäudelager Land Steiermark für den Stoff Kupfer in Tausend Tonnen

Gebäudelager Stmk. [in 1.000. t] Gut Kupfer	AK I	AK II	AK III	AK IV	Summe
Einfamilienhäuser	2,0	3,0	8,0	18,0	31,0
Mehrfamilienhäuser	2,0	4,0	10,0	15,0	31,0

Dienstleistungsgebäude	3,0	2,0	4,0	8,0	17,0
Produktionsgebäude	0,1	0,3	1,5	3,5	5,4
Summe Gebäude	7,1	9,3	23,5	44,5	84,4

4.2 Netzwerke

Das Lager im Bestand Netzwerke umfasst lineare Bauwerke und Leitungen. Berücksichtigt werden Transportnetzwerke, Energieversorgung, Wasserver- und -entsorgung. Die Unsicherheiten betreffend Angaben über die Größe und Zusammensetzung der Lager im Bereich Netzwerke sind groß. Für einige Netzwerke sind exakte (historische) Materialzusammensetzung nicht bekannt bzw. sind keine statistischen Daten verfügbar.

4.2.1 Straßennetz

Hierarchie/Rangordnung des Straßennetzes in Österreich

- Autobahn (kreuzungsfrei, getrennte Fahrbahnen, 2-6 Fahrstreifen; Breite
- Schnellstraße
- Landesstraßen – ehemalige Bundesstraßen
- Landesstraße
- Gemeindestraße

Die Länge des Straßennetzes in der gesamten Steiermark beträgt etwa 18.300 km [BMViT, 2015b], der Anteil je Straßenkategorie ist in Tabelle 4-12 angeführt. Je Straßenkategorie wird anhand der im Normalfall eingesetzten Regelquerschnitte und den von [Steger et al., 2011] 2011, getroffenen Annahmen für Deutschland eine durchschnittliche Breite angenommen. Insgesamt errechnet sich daraus eine Straßenverkehrsfläche von ca. 120 km. In [BMViT, 2015b] wird die Verkehrsflächenanteil von 355 km² angegeben, in diese Fläche werden auch Parkplätze und Fußwege hinzugezählt. Es ist davon auszugehen, dass das angenommen Lager aufgrund fehlender Daten für die Steiermark unterschätzt wird.

Tabelle 4-12: Straßennetz in der Steiermark unterteilt je Straßenkategorie

Straßennetz Steiermark	Länge in [km]	Angenommene Regelquerschnitte	Breite [m]	Fläche in [km²]
Autobahn	308	RQ 29,5	23	7,08
Schnellstraßen	151	RQ 26	20	3,02
Landesstraßen B	1.578	RQ 10,5	7,5	11,83
Landesstraßen	3.349	RQ 9,5	6,5	21,77
Gemeindestraßen	12.900	RQ 7,5	5,5	70,95
Summe	18.286			114,65
Quelle:	[BMViT, 2015b]	Eigene Berechnung angelehnt an [Steger et al., 2011]		

Die spezifischen Materialkoeffizienten für die unterschiedlichen Straßenkategorien werden von [Steger et al., 2011] übernommen. Es werden die Straßenkategorien auf die in Österreich angewendeten Bezeichnungen angepasst. Die Tabelle 4-13 zeigt die angewandten spezifischen Materialkoeffizienten für die unterschiedlichen Straßenkategorien.

Tabelle 4-13: Spezifische Materialkoeffizienten je Straßenkategorie

Material (kg/m²)	Autobahnen	Schnell-straßen	Landes-straßen (Bund)	Landes-straßen	Gemeinde-straßen
Gesteinsmehl (Füller)	53,3	57,5	38,4	38,4	23,3
Edelbrechsand	73,7	106,8	78,6	78,6	48,9
Edelsplitt	445	495,3	405,8	405,8	193,7
bituminöse Bindemittel	19,8	29,8	25,8	25,8	13,5
hydraulische Bindemittel	45,2				2,3
Sand	516,3	497,6	521,2	467,2	530,3
Kies	647,5	605	641,3	575,3	511,3
Schotter			68,5	68,5	219,2
Summe Oberbau	**1800,8**	**1792**	**1779,6**	**1659,6**	**1542,5**
Quelle:	[Steger et al., 2011]				

Aus der Netzlänge und der spezifischen Materialzusammensetzung je Straßentype wird das Lager für alle Straßen in der Steiermark bestimmt. Insgesamt errechnet sich ein Lager von 184 Millionen Tonnen. Die Verteilung der Materialien und die Unterteilung zwischen den Straßenkategorien wird in 1000 t in der Tabelle 4-14 angeführt. Werden die Materialien den in Kapitel 3 angeführten Kategorien Zugeteilt, so entfallen mit 182 Millionen Tonnen ca. 99 % auf die Kategorie Sand/Stein/Kies. Der Anteil von hydraulisches Bindemittel (Zement) und bituminöses Bindemittel (Asphalt) liegt bei ca. 1 %.

Tabelle 4-14: Materiallager Straßennetz Steiermark

Material [1.000 t]	Autobahnen	Schnell-straßen	Landes-straßen (Bund)	Landes-straßen	Gemeinde-straßen
Gesteinsmehl (Füller)	377	174	454	836	1.653
Edelbrechsand	522	323	930	1.711	3.469
Edelsplitt	3.150	1.498	4.801	8.834	13.743
bituminöse Bindemittel	140	90	305	562	958
hydraulische Bindemittel	320				163
Sand	3.655	1.505	6.167	10.171	37.625
Kies	4.583	1.829	7.588	12.524	36.277
Schotter			810	1.491	15.552
Summe Oberbau	**12.747**	**5.419**	**21.056**	**36.128**	**109.440**
Quelle:	Eigene Berechnung				

Straßentunnel

In der Steiermark sind auf Autobahnen und Schnellstraßen insgesamt 20 Tunnel mit einer Gesamtlänge (je Röhre) von etwa 55 km in Betrieb. Die Tunnel mit der jeweiligen Länge sind in der Tabelle 4-19 angeführt.

Tabelle 4-15: Auflistung der Tunnel in der Steiermark

Straßenkategorie	Tunnel-Nr	BL	Name	Röhre links	Röhre rechts	Summe
Autobahn	A002_02	Stm	Assingberg	250	252	502
Autobahn	A002_03	Stm	Herzogberg	1.967	2.007	3.974
Autobahn	A002_04	Stm	Mitterberg	1.143	1.134	2.277
Autobahn	A002_05	Stm/Ktn	Kalcherkogel	1.968	1.993	3.961
Autobahn	A010_17	Sbg/Ktn	Katschberg	5.500	5.440	10.940
Schnellstraßen	S06_04	Stm	Steinhaus	1.873	1.803	3.676
Schnellstraßen	S06_05	Stm	Spital	2.544	2.544	5.088
Schnellstraßen	S06_06	Stm	Ganzstein	210	2.135	2.345
Schnellstraßen	S06_07	Stm	Krieglach	275	275	550
Schnellstraßen	S06_08	Stm	Wartbergkogel	163	138	301
Schnellstraßen	S06_09	Stm	Tanzenberg	2.446	2.384	4.830
Schnellstraßen	S06_10	Stm	Bruck	1.250	1.237	2.487
Schnellstraßen	S06_11	Stm	St. Ruprecht	618	622	1.240
Schnellstraßen	S06_12	Stm	Oberaich	211	178	389
Schnellstraßen	S06_13	Stm	Niklasdorf	1.324	1.221	2.545
Schnellstraßen	S06_14	Stm	Massenberg	426	400	826
Schnellstraßen	S35_1	Stm	Kaltenbach	1.101	1.165	2.266
Schnellstraßen	S35_2	Stm	Kirchdorf	2.653	2.807	5.460
Schnellstraßen	S35_3	Stm	Mixnitz (nur Rfb-Graz)		670	670
Schnellstraßen	in Bau	Stm	St. Georgen UFT	610	610	1.220
Summe		Stm		26.532	29.015	55.547
Quelle:	[BMViT, 2015b]					

Im Ecoinvent-Report „Transport Services“ [Spielmann et al., 2007] wird die Materialzusammensetzung wie in Tabelle 4-16 angeführt angegeben, diese Zusammensetzung wird in der Studie übernommen.

Tabelle 4-16: Materialzusammensetzung Straßentunnel

Material	[kg/m]
Beton	40.000
Bewehrungsstahl	1.350
Stahl niedrig legiert	158
Quelle	[Spielmann et al., 2007]

Für alle 20 Straßentunnel in der Steiermark errechnet sich ein Lager von etwa 2,3 Millionen Tonnen und verteilt, der Hauptteil entfällt mit ca. 96 % auf Beton (siehe Tabelle 4-17).

Tabelle 4-17: Lager der Straßentunnel in der Steiermark

Material	[in 1.000 t]	Prozentueller Anteil
Beton	2.222	96%
Bewehrungsstahl	75	3%
Stahl niedrig legiert	9	0%
Summe	2.306	

4.2.2 Schienennetz Eisenbahn

Für die Berechnung des Lagers der Schienenbauten wurden Skilifte, Sesselbahnen und Seilbahnen nicht berücksichtigt. Die Bauwerke für die Bahninfrastruktur werden im Kapitel Gebäude berücksichtigt.

4.2.2.1 Materialzusammensetzung des Schienennetzes

Für die Materialzusammensetzung der Infrastruktur wird auf [Schmied & Mottschal, 2013] auch zitiert in [Motschall & Bergmann, 2013] zurückgegriffen. Diese Studie untersucht die CO_2-Emissionen der Schieneninfrastruktur Deutschland und hat für diesen Zweck die Materialzusammensetzung des Schienennetzwerks detailliert untersucht. Die Datenlagen für das Schienennetz lassen den Detaillierungsgrad nicht in diesem Ausmaß zu, deshalb werden die Angaben teilweise durch Abschätzungen ergänzt.

Unterbau der Schienentrasse
Die Fundationsschicht wird „Planum“ genannt. Auf diese wird der Gleiskörper aufgebaut. Diese besteht aus Kies-Sand und dient dazu, dass Niederschlagswasser vom Untergrund ferngehalten wird und weiters dient sie als Frostschutz. In der Regel wird sie als 40 cm dicke Schicht ausgeführt. Die Breite der Planumsschicht beträgt bei eingleisigen Strecken 8,60 m und 13,30 m für zweigleisige Bauausführungen. In [Motschall & Bergmann, 2013] sind die in Tabelle 4-18 zusammengefassten Materialverbräuche an Kies-Sand für die Errichtung der Planumsschicht angegeben.

Tabelle 4-18: Verbrauch an Kies-Sand für Bau der Planumsschicht für Neubaustrecken

Streckenführung	Kies-Sand pro km	Einheit
1-gleisige Strecke	9.632	t
2-gleisige Strecke	14.896	t
Quellenangabe in [Motschall & Bergmann, 2013]: [Fiedler 2005]; [Kössler et al. 2002]		

Oberbau der Schienentrasse

Der Oberbau besteht i.d.R. aus Schienen, Schweller, Befestigungsmittel und Schotterbett. Um höhere Achslasten und Geschwindigkeiten zu ermöglichen, werden auch verschiedene Formen des schwellen- und schotterlosen Oberbaus verbaut, diese Werden als „Feste Fahrbahnen“ bezeichnet [Motschall & Bergmann, 2013]. Feste Fahrbahnen haben einen sehr geringen Anteil am Bestand <2 %, weshalb sie in dieser Studie nicht dargestellt werden. Weichen werden in dieser Studie aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht berücksichtigt.

Schienen

Es wird davon ausgegangen, dass in der Steiermark Standardprofile des Typs „S54“ verbaut sind. Die Schienen werden aus Stahl gefertigt, der Stahlaufwand ist je km und Ausbauvariante in der Tabelle 4-36 angegeben.

Tabelle 4-19: Verbrauch an Stahl für Schienen je Kilometer

Streckenführung	Stahlaufwand pro km	Einheit
1-gleisige Strecke (Schiene S54)	109	t
2-gleisige Strecke (Schiene S54)	218	t
Quellenangabe in [Motschall & Bergmann, 2013]: [Werner 2008]; [Kössler et al. 2002]; [ThyssenKrupp 2006]		

Schweller

Schienen werden im Schotterbett in der Regel auf folgenden Schweller verlegt:

- Betonschweller
- Holzschweller
- Stahlschweller

Der Materialaufwand je Schwellertype wird [Motschall & Bergmann, 2013] entnommen und ist je Schwellertype und Ausbauvariante in der Tabelle 4-20 aufgelistet.

Tabelle 4-20: Materialverbrauch je Schwellertype und Ausbauvariante je Kilometer

Streckenführung	Material	Materialaufwand pro km	Einheit
1-gleisige Strecke			
Betonschweller	Beton Bewehrungsstahl	190 12	m³ t
Holzschweller	Buchenholz Imprägnier öl	375 23	m³ t
Stahlschweller	Stahl	119	t
2-gleisige Strecke			
Betonschweller	Beton	380	m³

Streckenführung	Material	Materialaufwand pro km	Einheit
	Bewehrungsstahl	23	t
Holzschweller	Buchenholz Imprägnier öl	750 46	m³ t
Stahlschweller	Stahl	237	t
Quellenangabe in [Motschall & Bergmann, 2013]: [Werner 2008]; [Kössler et al. 2002]; [ThyssenKrupp 2006]			

Befestigung der Schiene auf den Schweller

Die Materialzusammensetzung, sowie die Masse des Befestigungsmaterials, sind vom jeweiligen Schweller typen abhängig. Die jeweiligen Materialzusammensetzungen sind in der Tabelle 4-21 je Schweller Type und Ausbauvariante aufgeführt.

Tabelle 4-21: Befestigungsmaterial je Schweller Type und Ausbauvariante je Kilometer

Streckenführung	Material	Materialaufwand pro km	Einheit
1-gleisige Strecke			
Betonschweller	Eisen Kunststoff	7,7 2	t t
Holzschweller	Eisen Kunststoff	43,2 0,4	t t
Stahlschweller	Eisen Kunststoff	9,1 0,4	t t
2-gleisige Strecke			
Betonschweller	Eisen Kunststoff	15,3 4	t t
Holzschweller	Eisen Kunststoff	86,4 0,9	t t
Stahlschweller	Eisen Kunststoff	18 0,9	t t
Quellenangabe in [Motschall & Bergmann, 2013]: [Werner 2008];			

Schotter

Die Schweller werden im Schotterbett verlegt. Je Schweller Type sind die Schottermengen unterschiedlich. In der Tabelle 4-22 sind die Schottermengen je Schweller Type angegeben.

Tabelle 4-22: Schottermenge je Schweller Type und Ausbauvariante je Kilometer

Streckenführung	Material	Materialaufwand pro km	Einheit
1-gleisige Strecke			
Betonschweller	Schotter	3.573	t
Holzschweller	Schotter	3.030	t

Streckenführung	Material	Materialaufwand pro km	Einheit
Stahlschweller	Schotter	2.319	t
2-gleisige Strecke			
Betonschweller	Schotter	7.099	t
Holzschweller	Schotter	6.141	t
Stahlschweller	Schotter	4.907	t
Quellenangabe in [Motschall & Bergmann, 2013]: [Kössler et al. 2002]; Bettungsquerschnittsberechnungstool der DB AG			

Brücken

In der Studie von [Schmied & Mottschal, 2013] werden Eisenbahnbrücken folgend eingeteilt:

- Talbrücken: Eisenbahnbrücken über Täler
- Stahlbrücken: Brücken über Wasserläufe, Kanäle etc.
- Einfache Betonbrücken: für alle anderen Brücken.

Diese Einteilung wird für die Steiermark übernommen. Die Materialzusammensetzung in der Tabelle 4-23 bezieht sich auf die Analyse von Neubaustrecken in Deutschland. Hierfür wurden unterschiedliche Bauvorhaben untersucht, um Ausreißer ein geringeres Gewicht zu geben, wird der Median und nicht der Mittelwert der angegebenen Mengen heran gezogen.

Tabelle 4-23: Schottermenge je Schwellertype und Ausbauvariante je Kilometer nach [Schmied & Mottschal, 2013]

Brückenart	Beton pro m	Einheit	Stahl pro m	Einheit
Talbrücken	32	m³/m	3,5	t/m
Betonbrücken über Straßen	14	m³/m	1,5	t/m
Stahlbrücke	n.b.		7,2	t/m

Tunnel

Da keine detaillierten Informationen bezüglich der Tunnelbauweisen in der Steiermark vorliegen, wird wie in [Schmied & Mottschal, 2013], von einem durchschnittlich Tunnel berechnet, welcher zu 75 % in geschlossener und zu 25 % in offener Bauweise errichtet wurde. Die angenommene Materialzusammensetzung ist in Tabelle 4-24 ersichtlich.

Tabelle 4-24: Schottermenge je Schwellertype und Ausbauvariante je Kilometer nach [Schmied & Mottschal, 2013]

Tunnel	Beton pro m	Einheit	Stahl pro m	Einheit
Durchschnittlicher Eisenbahntunnel geschlossene Bauweise, zweigleisig	37,2	m³/m	1,6	t/m
Durchschnittlicher Eisenbahntunnel offene Bauweise,	49	m³/m	6,1	t/m

Tunnel	Beton pro m	Einheit	Stahl pro m	Einheit
zweigleisig				

Stromversorgung

Fahrdraht inkl. Aufhängung

In Europa werden für Vollbahnen im Wesentlichen „Einfache Hochketten-Oberleitungen“ verwendet. Zu den Hochketten gehören Tragseile, Hänger, so genannte Y-Beiseile und der eigentliche Fahrdraht [Motschall & Bergmann, 2013]. Da in der Steiermark keine Hochgeschwindigkeitsstrecken vorhanden sind, werden die Werte für das Standardnetz von Deutschland aus [Motschall & Bergmann, 2013] übernommen. Die angenommen Materialmengen je km sind in der Tabelle 4-25 ersichtlich.

Tabelle 4-25: Schottermenge je Schwellertype und Ausbauvariante je Kilometer nach [Schmied & Mottschal, 2013]

Strecke	Kupfer pro km	Einheit	Bronze pro km	Einheit
Strecke - zweigleisig	1,8	t/km	1,1	t/km

Oberleitungsmasten

Es werden hier zwei Werte unterschieden, jene für die Freilandstrecke und Tunnel. Es wird angenommen, dass in der Steiermark Stahlmasten, wie in Deutschland, zum Einsatz kommen. Diese sind auf dem Freiland mit einem Fundament ausgestattet, in Tunnel ist hingegen nur der Ausleger zu zählen. Im Datensatz von [Schmied & Mottschal, 2013] werden die Masten, Aluminium-Ausleger, Leitung für die Erdung sowie Radspanner berücksichtigt. Es ergeben sich die in der Tabelle 4-26 zusammengefassten Materialzusammensetzungen.

Tabelle 4-26: Materialzusammensetzung Oberleitungsmasten auf Freilandstrecken und in Tunnel je Kilometer

Streckenführung	Material	Materialaufwand pro km	Einheit
2-gleisige Strecke			
Strecke ohne Tunnel: Stahlmast – 2-gleisig	Beton	7,5	m³/km
	Bewehrungsstahl	33,6	t/km
	Stahl	17,8	t/km
	Aluminium	3,5	t/km
Strecke im Tunnel: Stahlmast – 2-gleisig	Beton	0,1	m³/km
	Bewehrungsstahl	0,0	t/km
	Stahl	5,3	t/km
	Aluminium	3,5	t/km

Unterwerke

Als Unterwerk wird ein Umspannwerk bezeichnet, das Bahnstrom, aus dem öffentlichen Stromnetz oder dem Hochspannungs-Bahnstromnetz bereitstellt. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass in der Steiermark dieselbe Dichte an Unterwerken wie im deutschen

Netz zur Anwendung kommt (ohne Hochgeschwindigkeitsstrecken). Die Bauwerke sind in Kapitel 4.1 berücksichtigt. Für die Transformatoren werden die Stoffe Kupfer und Stahl berücksichtigt.

Tabelle 4-27: Materialzusammensetzung Unterwerke nach [Schmied & Mottschal, 2013]

	Material	Materialaufwand pro km	Einheit
2-gleisige Strecke			
Unterwerk je km 2-gleisige Strecke	Kupfer Stahl	0,72 1,18	t/km t/km

4.2.2.2 Bahnnetzwerk der Steiermark

Das gesamte steirische Schienennetz besteht derzeit aus ca. 944 Kilometer Eisenbahnstrecken. Das für den allgemeinen Personen- bzw. Güterverkehr zugängliche und in Betrieb stehende Eisenbahnnetz umfasst das Netz der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) mit ca. 550 km auf Hauptbahnen bzw. ca. 140 km auf Nebenbahnen, die Strecken der Steiermärkischen Landesbahnen (StLB) mit ca. 100 km und die Strecken der Graz-Köflacher Eisenbahn (GKE) mit ca. 90 km [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2015c]. Die Abbildung 4-2 zeigt das Netz der Steirischen Schieneninfrastruktur.

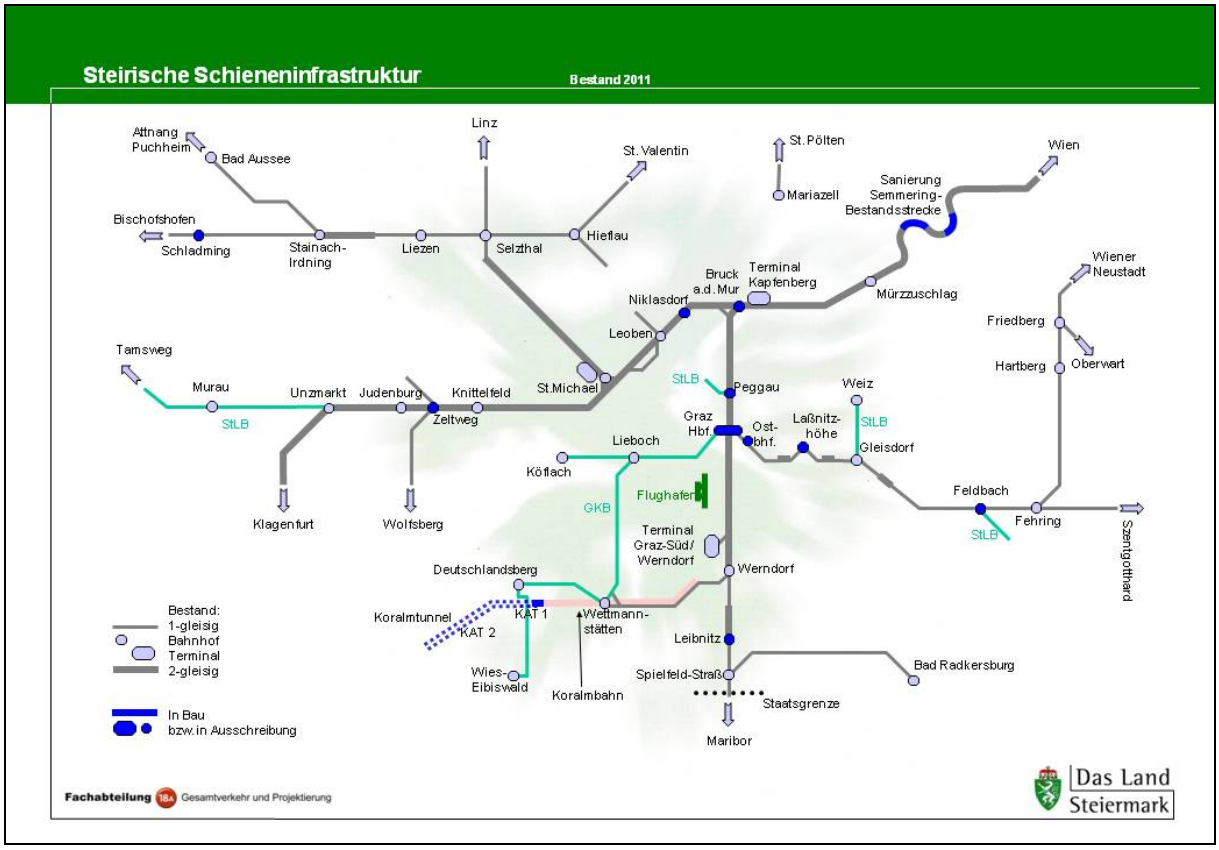


Abbildung 4-2: Schienennetz der Steiermark (2011) [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2015c]

Es liegen keine genauen Aufzeichnungen über die Länge von Ein bzw. Zweigleisigen Abschnitten vorhanden. Die Längen werden mithilfe des digitalen Atlas Steiermark händisch gemessen. Der in Abbildung 4-3 dargestellte digitale Atlas Steiermark unterteilt das Schienennetz in die drei Kategorien „Eisenbahn NS einspurig“, Eisenbahn NS mehrspurig“ und „Eisenbahn Schmalspur“ Die Tabelle 4-25 gibt die Streckenlängen in Kilometer für die Steiermark an, welche mithilfe des Digitalem Atlas gemessen wurden. Diese Längen bilden die Grundlage für die Massenberechnung des Lagers.

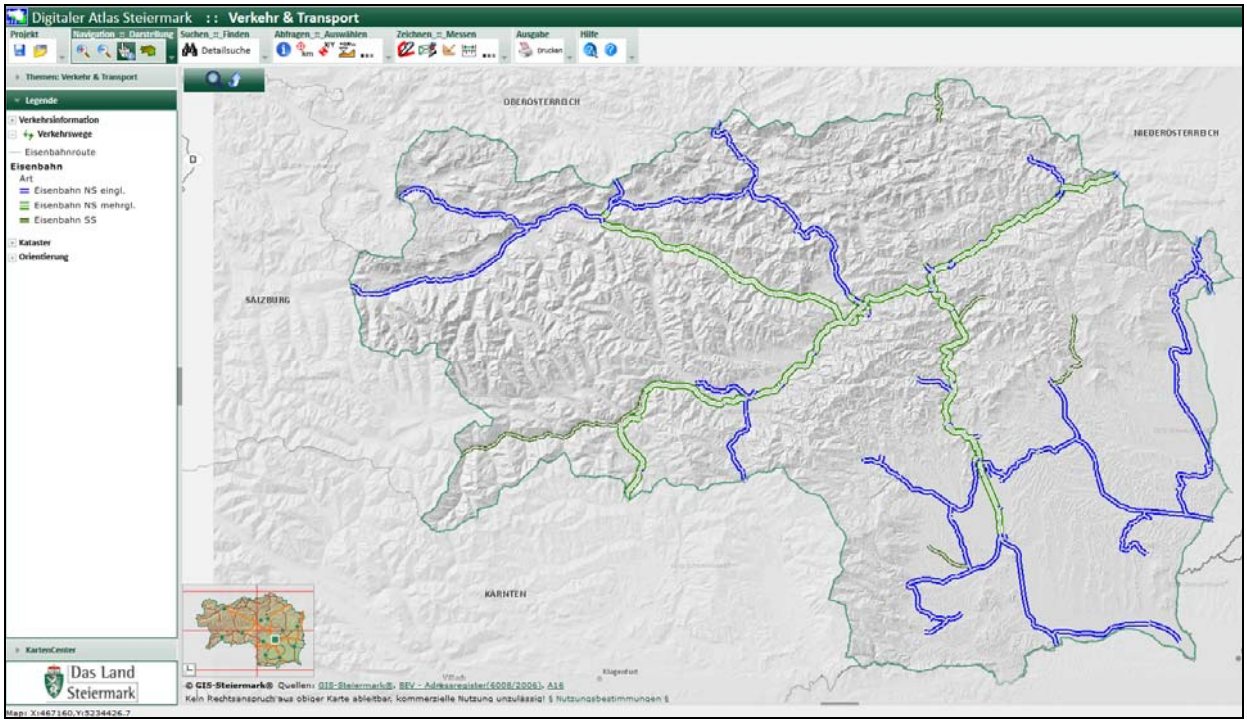


Abbildung 4-3: Screenshot – Digitaler Atlas Steiermark: Verkehr&Transport

Tabelle 4-28: Streckenlängen in km nach eigener Abmessung

	Eisenbahn NS eingleisig	Eisenbahn NS mehrgleisig	Eisenbahn Schmalspur	Gesamtlänge
Streckenlängen in km	580	280	95	955
Quelle:	gemessen in [GIS-Steiermark, 2015]			

Es wurde die Annahme getroffen, dass sich die Schweller (Beton, Holz, Stahl) in der Steiermark ähnlich der Verteilung in Deutschland eingesetzt werden. Angelehnt an [Schmied & Mottschal, 2013] wird angenommen dass 75 % Betonschweller, 20 % und 5 % Stahlschweller in der Steiermark eingesetzt werden.

Es liegen keine Werte bezüglich der Elektrifizierung des Streckennetzes vor. Es wird die Annahme getroffen, dass das Komplette zweigleisig ausgebaute Streckennetz elektrifiziert betrieben wird. Für die Schmalspurbahn wird angenommen, dass dies zu 100 % nicht elektrifiziert betrieben wird. Im Bereich der Eingleisigen Strecken wird eine Elektrifizierungsquote von 40 % angenommen.

4.2.2.3 Lager der Schieneninfrastruktur

Aus der Materialzusammensetzung der einzelnen Teilbereiche der Schieneninfrastruktur, welche im Kapitel 4.2.2.1 detailliert beschrieben ist und der Streckenlänge bzw. der Streckenkategorien in der Steiermark aus Kapitel 4.2.2.2 wird das Lager der Schieneninfrastruk-

tur berechnet. Die in Kapitel 4.2.2.1 beschriebenen Tunnel und Brücken werden aufgrund unzureichender Datenlage in der Lagerabschätzung nicht berücksichtigt.

Im Anhang 16.2 werden die Materialmengen je Kategorie aufgelistet, Tabelle 16-15 Unterbau, Tabelle 16-16 Schienen, Tabelle 16-17 Schweller, Tabelle 16-18 Befestigung der Schiene, Tabelle 16-19 Gleisschotter, Tabelle 16-20 Stromleitung, Tabelle 16-21 Masten für Stromabnehmer und in Tabelle 16-22 Unterwerk.

Insgesamt errechnet sich für die Schieneninfrastruktur in der Steiermark ein Lager von 15 Millionen Tonnen. In der Tabelle 4-29 wird das Lager je Schienenkategorie, Material und Bauteilkategorie dargestellt. Der Hauptteil des Lagers entfällt mit über 95 % auf den Unterbau und den Gleisschotter. In Bezug auf die Schienenkategorien entfällt aufgrund der Länge 51 % des Gesamtlagers auf eingleisige Normalspur, gefolgt von der Normalspur in zweigleisiger Ausführung mit ca. 41 %. Die Schmalspurbahnen haben einen Anteil am Gesamtlager von etwa 8 %.

Tabelle 4-29: Gesamtlager der Schieneninfrastruktur in der Steiermark unterteilt je Schienenkategorie und Bauteil

Gesamtlager der Schieneninfrastruktur in [t]		**Normalspur eingleisig**	**Normalspur mehrgleisig**	**Schmalspur**	**Summe**
Streckenlänge	[in km]	580	280	95	955
Einbaukategorie	**Material**	**Lager in Tonnen**			
Unterbau	Sand/Kies	5.586.560	4.170.880	915.040	10.672.480
Schiene	Stahl	63.220	61.040	10.355	134.615
Schweller	Beton	196.707	189.924	32.219	418.850
	Holz	31.320	30.240	5.130	66.690
	Eisen	8.671	8.148	1.420	18.239
	Imprägnieröl	2.668	2.576	437	5.681
Befestigung der Schiene	Eisen	8.625	8.303	1.413	18.341
	Kunststoff	928	903	152	1.983
Gleisschotter	Stein/Kies	1.972.986	1.903.384	323.162	4.199.532
Stromleitung	Kupfer	332	540		872
	Bronze	203	330		533
Masten für Stromabnehmer	Beton	3.293	5.355		8.648
	Stahl	9.483	15.420		24.903
	Aluminium	646	1.050		1.696
Unterwerk	Kupfer	133	216		349
	Stahl	218	354		572
Gesamtlager		**7.885.993**	**6.398.663**	**1.289.328**	**15.573.984**

4.2.3 Schienennetz (Straßenbahn)

Für die Zusammensetzung der Straßenbahntrasse, werden Daten aus [Gassner et al., 2014] übernommen. In der Studie wird der Ökologische Fußabdruck der Wiener Linien berechnet. Der Materialeinsatz ist in der Tabelle 4-30 ausgeführt. Die Gesamtgleislänge der Straßen-

bahn betrug im Jahr 2012 laut Betriebsangaben der Graz Holding Linien 66,2 km. Mit den Güterwerten aus Tabelle 4-30 ergeben sich die verbauten Güter in Tabelle 4-31.

Tabelle 4-30: Gütereinsatz für einen Meter Straßenbahnoberbau

Bezeichnung eingesetzte Materialien	Menge	Einheit
Beton	3.900	kg/m
Stahl	120	kg/m
Schotter	280	kg/m
Kupfer	0,7	kg/m

Tabelle 4-31: In den Gleisanlagen der Straßenbahn enthaltene Güter im Jahr 2012

Bezeichnung eingesetzte Materialien	Menge	Einheit
Beton	258.180	t
Stahl	7.944	t
Schotter	18.536	t
Kupfer	46	t

4.2.4 Telekommunikation

Es gibt kaum valide Daten über die Materialzusammensetzung der Telekommunikationsinfrastruktur. Aus diesem Grund wird der Anteil des Kupfers an der Infrastruktur von [Wittmer, 2006] übernommen. Es wird angenommen, dass sich der Anteil von PVC (Mantel bzw. Isolierung) zu Kupfer (Leiter) 30 : 70 verhält. Der Gütereinsatz für Stein/Kies/Sand (als technisches Schüttmaterial) wird anhand der Trassenbreite abgeschätzt [Steger et al., 2011]. Die spezifische Materialzusammensetzung der Telekommunikationsleitungen je Kategorie ist in Tabelle 7-7 angeführt.

Tabelle 4-32: Gütereinsatz für einen Laufmeter Straßenbahnoberbau

Kategorie	Stein/Kies/Sand [t/km]	Kupfer [t/km]	PVC [t/km]	Trassenbreit [in m]
Anschlussleitung	150	0,45	1,04	0,25
Fern- und Regionalleitung	201	4,45	10,4	0,30
Quellen	Eigene Berechnung	[Wittmer, 2006]	Eigene Berechnung	Eigene Berechnung

Das gesamte Telekommunikationsnetz wird in Österreich auf ca. 185.000 km Länge geschätzt [Schönbauer et al., 1997]. Es wird die Schätzung von [Schönbauer et al., 1997] übernommen, es ergibt sich ein Telekommunikationsnetz für die Steiermark von etwa 26.000 km. Es wird Angenommen, dass sich die Streckenlänge zu 40 % auf Anschlussleitungen und zu 60 % auf Fern- und Regionalleitungen aufteilt. Da es unterschiedliche Netzbetreiber in der Steiermark gibt, liegen keine bessern Daten vor. Die Abschätzung des Lagers

des Telekommunikationsnetzes in der Steiermark ist in der Tabelle 4-33 angegeben. Das Gesamtlager für das Telekommunikationsnetzwerk beträgt in der Steiermark etwa 4 Millionen Tonnen. Der Hauptteil ca. 95 % entfällt auf die Schüttung. Insgesamt sind etwa 74.000 Tonnen Kupfer in Telekommunikationsleitungen in der Steiermark verbaut.

Tabelle 4-33: Lager der Telekommunikations-Infrastruktur in der Steiermark in Tonnen

Kategorie	Stein/Kies/Sand [t]	Kupfer [t]	PVC [t]	Summe
Anschlussleitung	1.563.744	4.691	10.842	1.579.277
Fern- und Regionalleitung	3.143.125	69.587	162.629	3.375.341
Summen	4.706.869	74.278	173.471	4.954.619

4.2.5 Wasserversorgung

Materialzusammensetzung des Lagers

Für die Wasserversorgung werden Daten aus der Ecoinvent-Datenbank herangezogen. Die Werte beziehen sich auf das Schweizer Wasserversorgungsnetz. Es wird angenommen, dass diese mit dem steirischen Wasserversorgungsnetz vergleichbar ist. In der Tabelle 4-34 ist die Materialzusammensetzung aus [Ecoinvent Centre, 2007] für den Prozess „water supply network/km/CH/I“ angegeben, in dieser Studie wird der Energieverbrauch für die Errichtung und der Transport nicht berücksichtigt.

Tabelle 4-34: Gütereinsatz für einen Kilometer Wasserversorgungsnetzwerk

Bezeichnung eingesetzte Materialien	Menge	Einheit
Eisen	21.278	kg/km
Messing	2	kg/km
Chromstahl	12	kg/km
Zink	146	kg/km
Bitumen Abdichtung	535	kg/km
Synthetischer Gummi	33	kg/km
Polyurethan	535	kg/km

Lagerbestimmung Wasserversorgungsnetz der Steiermark

Das Wasserversorgungsnetz in der Steiermark ist in etwa 4.500 km lang (Quelle: [Stark et al., 2003a]). Die Daten wurden für Österreich berechnet und auf die Steiermark umgelegt. Die Datenunsicherheit in diesem Bereich ist groß. Statistische Daten sind zu diesem Bereich für die Steiermark nicht verfügbar.

Das Lager des Wasserversorgungsnetzes in der Steiermark beträgt in knapp 102.000 t. Der überwiegende Anteil (~ 94 %) entfällt dabei auf Eisen/Stahl (96.000 t). Der Rest teilt sich

Bitumen (~ 2 %; 2.400 t) und Kunststoffe (PU-Hartschaum) mit ca. 2.400 t auf. Messing und Zink sind vernachlässigbare Bestandteile des Wasserversorgungsnetzwerks.

Lagerbestimmung Wasserversorgungsnetz der Stadt Graz

Das Wasserversorgungsnetz in der Stadt Graz umfasst etwa 1.000 km (Quelle: [Stark et al., 2003a]). Die Daten wurden für Österreich erhoben und rechnerisch auf Graz umgelegt. Die Datenunsicherheit in diesem Bereich ist groß. Statistische Daten sind zu diesem Bereich für die Stadt Graz nicht verfügbar.

Das Lager des Wasserversorgungsnetzes in Graz beträgt in knapp 23.000 t. Der überwiegende Anteil (~ 94 %) entfällt dabei auf Eisen/Stahl (21.000 t). Der Rest teilt sich Bitumen (~ 2 %; 500 t) und Kunststoffe (PU-Hartschaum) mit ca. 500 t auf. Messing und Zink sind vernachlässigbare Bestandteile des Wasserversorgungsnetzwerks.

4.2.6 Abwasserentsorgung

Materialzusammensetzung des Lagers

Für die Abwasserversorgung werden Daten aus der Ecoinvent-Datenbank herangezogen. Die Werte beziehen sich auf das Schweizer Abwasserversorgungsnetz. Es wird angenommen, dass diese mit dem steirischen Abwasserentsorgungsnetz vergleichbar ist. In der Tabelle 4-35 ist die Materialzusammensetzung aus [Ecoinvent Centre, 2007] für den Prozess „sewer grid, class 1/km/CH/I“ angegebenen, in dieser Studie wird der Energieverbrauch für die Errichtung und der Transport nicht berücksichtigt. Dieser Prozess beinhaltet die Materialien für die Infrastruktur einer städtischen Kanalisation. Die Daten in der Tabelle 4-35 beziehen sich auf einen Kilometer Abwasserentsorgungsnetz.

Tabelle 4-35: Gütereinsatz für einen Kilometer Abwasserentsorgungsnetz.

Bezeichnung eingesetzte Materialien	Menge	Einheit
Beton, Platten und Fundament	474	m³/km
[in kg]	1.138.000	kg/km
Kies	838.000	kg/km
Sand	464.000	kg/km
Zement	150.000	kg/km
Polyethylene, HDPE	43.300	kg/km
Polyvinylchloride	1.890	kg/km
Eisen	8.760	kg/km
Stahl	51.800	kg/km
Chromstahl	18.000	kg/km
Polypropylene,	1.890	kg/km
Synthetischer Gummi	473	kg/km

Lagerbestimmung des Abwasserentsorgungsnetzes Steiermark

Das Abwasserentsorgungsnetz in der Steiermark ist in etwa 4.000 km lang (Quelle: [Stark et al., 2003a]). Die Daten wurden für Österreich berechnet und auf die Steiermark umgelegt. Die Datenunsicherheit in diesem Bereich ist groß. Statistische Daten sind zu diesem Bereich für die Steiermark nicht verfügbar.

Das Lager des Abwasserentsorgungsnetzes in der Steiermark beträgt in knapp mehr als 10.800.000 t. Der überwiegende Anteil (~ 90 %) entfällt dabei auf Beton, Sand und Kies (10.360.000 t) für Fundamente und Betonfertigteile. Der Rest teilt sich auf Eisen/Stahl v.a. als Armierung auf (~ 3 %; 314.000 t) und Kunststoffe (HDPE und PVC) mit knapp 180.000 t auf.

Lagerbestimmung des Abwasserentsorgungsnetzes der Stadt Graz

Das Abwasserentsorgungsnetz in der Stadt Graz ist in etwa 880 km lang (Quelle: [Stark et al., 2003a]). Die Daten wurden für Österreich berechnet und auf die Steiermark umgelegt. Die Datenunsicherheit in diesem Bereich ist groß. Statistische Daten sind zu diesem Bereich für die Steiermark nicht verfügbar.

Das Lager des Abwasserentsorgungsnetzes in der Steiermark beträgt in knapp mehr als 1.115.000 t. Der überwiegende Anteil (~90 %) entfällt dabei auf Beton (1.000.000 t) für Fundamente und Betonfertigteile. Der Rest teilt sich auf Eisen/Stahl v.a. als Armierung auf (~5 %; 53.000 t) und Kunststoffe (HDPE und PVC) mit knapp 40.000 t auf.

4.2.7 Energieversorgung

4.2.7.1 Stromnetz

Für das Stromnetz werden Daten aus der Ecoinvent-Datenbank herangezogen. Die Werte beziehen sich auf das Schweizer Stromnetz. Aufgrund der Siedlungsstruktur können diese Werte für die Steiermark übernommen werden. In der Tabelle 4-36 ist die Materialzusammensetzung aus [Ecoinvent Centre, 2007] für den Prozess „transmission network, electricity, high voltage /km/CH/I“, „transmission network, electricity, medium voltage /km/CH/I“ und „transmission network, electricity, low voltage /km/CH/I“ angegeben, in dieser Studie wird der Energieverbrauch für die Errichtung und der Transport nicht berücksichtigt. Dieser Prozess beinhaltet die Materialien für die Infrastruktur einer städtischen Kanalisation. Die Daten in der Tabelle 4-35 beziehen sich auf einen Kilometer Stromleitungsnetz.

Tabelle 4-36: Materialzusammensetzung von Stromleitungen nach Leistung, [Ecoinvent Centre, 2007]

Stromleitung nach Leistung und Typus	Materialklasse	Menge [kg] / Laufmeter [lfm]
Niedrigspannung	Beton	3,52

Stromleitung nach Leistung und Typus	Materialklasse	Menge [kg] / Laufmeter [lfm]
(< 1 kV)	Kupfer	1,88
	PVC	0,62
	Eisen/Stahl*	2,30
	Blei	0,22
	Holz	1,38
Mittelspannung (1 bis 110 kV)	Beton	8,35
	Kupfer	2,02
	PVC	0,14
	Eisen/Stahl*	1,10
	Blei	0,36
	Aluminium	0,61
	Holz	1,95
Hochspannung (220 bis 380 kV)	Aluminium	3,15
	Kupfer	0,27
	PVC	0,07
	Eisen/Stahl*	7,95
	Blei	0,13

(*) Menge bezogen auf Transformator

Stromnetz (AT gesamt): **253.000 km**
Niederspannung (< 1kV): 167.000 km
Mittel- und Hochspannung (1 kV bis 110 kV) 8.000 km
Höchstspannung (220 kV bis 380 kV) 6.500 km [Österreichs E-Wirtschaft, 2014]

Teil der Bevölkerung der Steiermark an Gesamt-Österreich: 14,3 %

Stromnetz der Steiermark (aliquot, gerundet)
Niederspannung (< 1kV): ~ 36.000 km
Mittel- und Hochspannung (1 kV bis 110 kV) ~ 1.100 km
Höchstspannung (220 kV bis 380 kV) ~ 900 km

Im gesamten Stromnetz (ca. 38.000 km) der Steiermark sind ca. 384.000 t an Materialien gelagert. Von dieser Menge entfällt der überwiegende Teil (~ 93 %) auf das Niederspannungsnetzwerk. Von den ca. 357.000 t sind 35 % (127.000 t) Beton für Fundamente, 23 % (83.000 t) Stahl für Transformatoren und Steher; 19 % (68.000 t) Kupfer in Leitungen und 14 % (52.000 t) Holz für Steher. Blei wird im Umfang von 8.000 t (2 %) eingesetzt.

Circa 4 % (16.000 t) des Gesamtlagers im Stromnetz der Steiermark entfallen auf das Mittelspannungsnetz. Davon entfällt mehr als die Hälfte (57 %; 9.200 t) für den Beton für Fun-

damente. Jeweils 14 % (2.200 t) entfallen auf Holz und Kupfer. Im Bereich der Mittelspannung wird Aluminium (4 %; 700 t) eingesetzt. Blei wird im Umfang von 400 t (2 %) eingesetzt.

Mit ca. 3 % (10.400 t) ist der Anteil des Hochspannungsnetzes am gesamten Stromnetz gering. Von dieser Menge entfällt der größte Anteil auf Eisen/Stahl mit ca. 7.100 t (69 %). Als Leiter wird Aluminium eingesetzt (2.800 t, 27 %). Der Anteil von Kupfer ist mit 240 t (2 %) als vernachlässigbar zu erachten. Ebenfalls gering ist der Einsatz von Blei (1 %; 120 t).

Zusammengefasst ergibt die Lagerbestimmung für das Stromnetz der Steiermark folgendes Ergebnis. Ca. 384.000 t sind im gesamten Stromnetz der Steiermark gespeichert. Davon entfallen ca. 35 % (136.000 t) auf Beton. Bei den Metallen hat Eisen/Stahl den höchsten Anteil am Gesamtlager (24 %) mit knapp mehr als 91.000 t. Als Leiter werden ca. 70.000 t Kupfer (18 %) bzw. 3.500 t Aluminium (1 %) eingesetzt. Als Material für Leitungsmasten wurden ca. 54.000 t Holz (14 %) eingesetzt.

Stromnetz der Stadt Graz (aliquot, gerundet)

Niederspannung (< 1kV):	~ 5.000 km
Mittel- und Hochspannung (1 kV bis 110 kV)	~ 240 km
Höchstspannung (220 kV bis 380 kV)	~ 200 km

(Teil der Bevölkerung der Stadt Graz an Gesamt-Österreich: 3 %)

Im gesamten Stromnetz (ca. 5.440 km) der Stadt Graz sind ca. 56.000 t an Materialien gelagert. Von dieser Menge entfällt der überwiegende Teil (~90 %) auf das Niederspannungsnetzwerk. Von den ca. 50.000 t des Niederspannungsnetzes sind ca. 35 % (18.000 t) Beton für Fundamente, 23 % (11.500 t) Stahl für Transformatoren und Steher; 19 % (9.400 t) Kupfer in Leitungen und 14 % (7.200 t) Holz für Steher. Blei wird im Umfang von ca. 1.120 t (2 %) eingesetzt.

Circa 6 % (3.500 t) des Gesamtlagers im Stromnetz der Stadt Graz entfallen auf das Mittelspannungsnetz. Davon entfällt mehr als die Hälfte (57 %; 2.000 t) für den Beton für Fundamente. Jeweils 14 % (490 t) entfallen auf Holz und Kupfer. Im Bereich der Mittelspannung wird Aluminium (4 %; 150 t) eingesetzt. Ebenfalls kommt Blei (2 %; 90 t) zum Einsatz.

Mit ca. 4 % (2.300 t) ist der Anteil des Hochspannungsnetzes am gesamten Stromnetz von Graz gering. Von dieser Menge entfällt der größte Anteil auf Eisen/Stahl mit ca. 1.500 t (66 %). Als Leiter wird Aluminium eingesetzt (630 t; 27 %). Der Anteil von Kupfer ist mit 50 t (2 %) als vernachlässigbar zu erachten. Ebenfalls massemäßig gering ist der Einsatz von Blei (1 %; 30 t).

Zusammengefasst ergibt die Lagerbestimmung für das Stromnetz der Stadt Graz folgendes Ergebnis. Ca. 56.000 t sind im gesamten Stromnetz der Stadt Graz gespeichert. Davon entfallen ca. 35 % (19.800 t) auf Beton. Bei den Metallen hat Eisen/Stahl den höchsten Anteil am Gesamtlager (24 %) mit knapp mehr als 13.300 t. Als Leiter werden ca. 10.000 t Kupfer (18 %) bzw. 780 t Aluminium (1 %) eingesetzt. Als Material für Leitungsmasten wurden

ca. 7.700 t Holz (14 %) eingesetzt. Im Leitungsnetz der Stadt Graz sind ca. 1.200 t Blei gespeichert.

4.2.7.2 Fernwärme

Für das Fernwärmenetz werden Daten von [Steger et al., 2011] herangezogen. Die Trassenbreite basiert auf eigenen Annahmen. Das Fernwärmenetz wird in vier unterschiedliche Leitungsdimensionen unterschieden. Die Materialzusammensetzung je Leitungskategorie und die dazugehörige Trassenbreite ist in der Tabelle 7-15 zusammengefasst.

Tabelle 4-37: Gütereinsatz für einen km Fernwärmenetzwerks und die Trassenbreite je Dimensionierung

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	mineral. Dämmstoffe [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]	Trassenbreit [in m]	Prozentueller Anteil am Netz
<65		100,00		3,00	3,00	0,25	43 %
80-125		200,00		4,00	9,00	0,35	23 %
150-200		300,00		7,00	14,00	0,45	17 %
Durchschnitt FW Leitung > über 200 ND	40,48	403,15	2,45	4,66	35,26	0,55	17 %
Quelle	Eigene Berechnung auf Basis von [Steger et al., 2011]						Schätzung

Das Fernwärmenetz in Österreich ist ca. 4.990 km lang, nach E-Mail Anfrage an [Jurik, 2015]. Das Netz wächst jährlich um etwa 71 km bis 2023. Das Fernwärmenetz der Stadt Graz umfasst ca. 370 km [Energie Graz GmbH & Co KG, 2015]). Der aliquot gerundete Anteil des gesamten Netzes in der Steiermark beträgt ca. 700 km. Die Aufteilung je Rohrdimension wird Anhand von [Steger et al., 2011] abgeschätzt und ist in der Tabelle 4-37 angeführt. Insgesamt errechnet sich für die Steiermark ein Lager von 162 Tausend Tonnen, der Großteil (90 %) entfällt auf Stein/Kies/Sand welcher für die Schüttung im Rohrbett benötigt wird. Die Verbauten Materialien sind in der Tabelle 4-38 zusammengefasst.

Tabelle 4-38: Lager des Fernwärmenetzwerks in der Steiermark

Materialmengen Fernwärmenetz Steiermark	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	mineral. Dämmstoffe [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]
<65	0	30.100	0	903	903
80-125	0	32.200	0	644	1.449

Materialmengen Fernwärmenetz Steiermark	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	mineral. Dämmstoffe [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]
150-200	0	35.700	0	833	1.666
Durchschnitt FW Leitung > über 200 ND	4.817	47.975	292	555	4.196
Summe	4.817	145.975	292	2.935	8.214

4.2.7.3 Gasnetz

Für die Materialzusammensetzung des Gasnetzes werden Daten aus der Ecoinvent-Datenbank herangezogen. Die Werte beziehen sich auf das Schweizer Gasnetz. Aufgrund einer vergleichbaren Siedlungsstruktur und Bauweise können diese Werte für die Steiermark übernommen werden. Auf Unterschiede in Haupt- und Nebenleitungen kann aufgrund der Komplexität nicht eingegangen werden bzw. stehen die dafür notwendigen Daten nicht zur Verfügung.

In der Tabelle 4-36 ist die Materialzusammensetzung aus [Ecoinvent Centre, 2007] für den Prozess „Pipeline, natural gas, low pressure distribution network/CH/I U“ angegeben, in dieser Studie wird der Energieverbrauch für die Errichtung und der Transport nicht berücksichtigt. Dieser Prozess beinhaltet die Materialien für die Infrastruktur der Versorgung mit dem Energieträger Gas. Die Daten in der Tabelle 4-35 beziehen sich auf einen Kilometer Gasnetz.

Tabelle 4-39: Materialzusammensetzung Gasnetz auf 1 km Länge

Materials	Menge	Einheit
Reinforcing steel, at plant/RER U	5.240	kg/km
Cast iron, at plant/RER U	6.300	kg/km
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	4.630	kg/km
Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U	490	kg/km
Concrete, normal, at plant/CH U	6.552	kg/km
Bitumen, at refinery/RER U	1.220	kg/km

Lagerbestimmung Gasnetz Steiermark

Das Gasnetz in der Steiermark ist in knapp 3.600 km lang (Quelle: [Stark et al., 2003a]). Die Daten wurden für Österreich berechnet und auf die Steiermark umgelegt. Die Datenunsicherheit in diesem Bereich ist groß. Statistische Daten sind zu diesem Bereich für die Steiermark nicht verfügbar.

Das Lager des Gasnetzes in der Steiermark beträgt in knapp 88.000 t. Der überwiegende Anteil (~ 47 %) entfällt dabei auf Eisen/Stahl (42.000 t) für die Rohrleitungen und als Armierung für den Stahlbeton. Der Rest teilt sich auf Beton (~ 27 %; 24.000 t) und Kunststoffe (HDPE und LDPE) mit knapp 18.000 t auf.

Lagerbestimmung Gasnetz Stadt Graz

Das Gasnetz in der Stadt Graz ist in etwa 800 km lang (Quelle: Bauwerk Österreich). Die Daten wurden für Österreich berechnet und auf die Steiermark umgelegt. Die Datenunsicherheit in diesem Bereich ist groß. Statistische Daten sind zu diesem Bereich für die Steiermark nicht verfügbar.

Das Lager des Gasnetzes in der Steiermark beträgt in knapp mehr als 20.000 t. Der überwiegende Anteil (~ 47 %) entfällt dabei auf Eisen und Stahl (9.000 t) für die Rohrleitungen und als Armierung für den Stahlbeton. Der Rest teilt sich auf Beton (~ 27 %; 5.200 t) und Kunststoffe (HDPE und LDPE) mit knapp 4.000 t auf.

4.3 Konsumgüter

In der Steiermark gibt es 2013 ca. 512.000 Haushalte [Statistik Austria, 2014b]. In der [Statistik Austria, 2012b] wird angegeben mit welchem Ausstattungsgrad pro 100 Haushalten durchschnittlich in Österreich gerechnet werden kann. Die Tabelle 4-40 gibt den Ausstattungsgrad je 100 Haushalten an. Bezüglich der Fahrzeuge gibt es detailliertere Statistiken, da in der Tabelle 4-40 nur die privaten Pkw erfasst werden. In der Steiermark lagern ca. 1.7 Millionen t in langlebigen Konsumgütern. Mit Abstand relevanteste Gütergruppe sind die PKW mit > 90 % am Gesamtlager. Die Konsumgüter in privaten Haushalten, ohne Pkw umfassen ein Lager von etwa 127.000 t. Die Elektrogroßgeräte (Waschmaschine, Trockner, Herd, Kühl- und Gefriergeräte, Geschirrspüler) machen gesamt knapp ein Viertel (21 %) aus. Die PC und Handy sind massemäßig mit ca. 1 % verschwindend gering. In der Tabelle 4-41 wird die durchschnittliche Materialzusammensetzung eines Fahrzeuges nach [Teufel et al., 1999] angegeben.

Tabelle 4-40: Konsumerhebung 2009/10; Statistik Austria

Ausstattungskriterium	Von 100 Haushalten haben…	Masse/Gerät [kg/Stk.]
E-Herd	90	60
Gasherd	11	60
Kühl- und Gefriergerät	99	50
Geschirrspülmaschine	74	50
Waschmaschine	97	75
Wäschetrockner	34	60
PC	71	10
Mobiltelefon	91	0,15
PKW	77	1.160

In der Steiermark sind im Jahr 2013 knapp 1 Million Kraftfahrzeuge zugelassen. Die Tabelle 4-42 gibt die nach [Statistik Austria, 2014a] im Jahr 2013 angemeldeten Fahrzeuge mit dem

durchschnittlichen Fahrzeuggewicht an. In der Tabelle 4-42 sind alle in der Steiermark angemeldeten Fahrzeuge in der Steiermark in Stück aufgeführt. Das durchschnittliche Gewicht der einzelnen Fahrzeugkategorien wurde abgeschätzt. Insgesamt ergibt sich für alle angemeldeten Kraftfahrzeuge ein Lager von etwa 1,6 Millionen Tonnen (Tabelle 4-41). Für alle Fahrzeuge wird dieselbe Materialzusammensetzung angenommen.

Tabelle 4-41: Durchschnittliche Zusammensetzung eines PKW [Teufel et al., 1999]

Material	Kg/PKW	Anteil
Eisen/Stahl	750	~ 65 %
Aluminium	70	~ 6 %
Kupfer	10	< 1 %
Andere NE-Metalle	10	< 1 %
Kunststoffe	270	~ 23 %
Reifen	40	~ 3 %
GESAMT	1.160	100 %

Tabelle 4-42: In der Steiermark angemeldete Fahrzeuge nach [Statistik Austria, 2014a] inkl. abgeschätztes Durchschnittsgewicht

Material	Anzahl der Fahrzeuge in Stm.	Durchschnittsgewicht in [kg]	Gesamtgewicht in [t]	Anteil am Gesamtgewicht
Pkw	707.095	1160	820.230	49%
Motorräder	70.068	150	10.510	1%
Motorfahrräder	57.414	50	2.871	0%
LKW N1	50.414	1500	75.621	5%
LKW N2+N3	7.939	5500	43.665	3%
Sattelzugfahrzeuge	2.939	15000	44.085	3%
Zugmaschinen	83.900	7500	629.250	38%
sonstige Kfz	18.815	1160	21.825	1%
Kfz Insgesamt	**998.139**		**1.667.905**	

Lagerbestand PKW in der Steiermark

Insgesamt sind in der Steiermark ca. 1 Million Kraftfahrzeuge angemeldet mit einem Gesamtgewicht von etwa 1,6 Millionen Tonnen. Es wird für eine Abschätzung der verbauten Materialien die in Tabelle 4-41 angeführte Materialzusammensetzung für alle Fahrzeugtypen gleich angenommen.

Die Menge von Eisen/Stahl welches in Kfz gelagert ist, beträgt etwa 1 Million Tonnen. Die Menge von Aluminium in Kraftfahrzeugen eingelagert bewegt sich bei etwa 100.000 t. Das Gewicht an kupferhaltigen Bauteilen und andern NE-Metallen liegt jeweils bei etwa 14.000 t. An Kunststoff liegt ein Lager von etwa 380.000 t vor. Auf die Reifen entfallen etwa 60.000 t.

4.4 Senken

Im Bereich des anthropogenen Stoffhaushaltes bezieht sich der Senkenbegriff ebenfalls auf einen räumlichen Endpunkt, und zwar auf den Endpunkt von Stoffflüssen. Der Lebenszyklus eines Stoffes in der Anthroposphäre beginnt bei einer Quelle (z.B. Bergwerk, chemische Synthese, oder Photosynthese) und endet bei einer Senke, die entweder ein Umweltmedium (Boden, Sedimente, Gewässer und Atmosphäre) oder eine „künstlich“ geschaffene Senke (Deponie) sein kann [Fellner & Laner, 2010].

Das abgeschätzte Potential bezieht sich auf Deponien welche vor 2004 bzw. in Ausnahmefälle 2009 befüllt wurden. Ab diesem Zeitraum ist das Deponierungsverbot von unbehandelten Abfällen durch die Deponieverordnung in Kraft. Durch die Behandlung der Abfälle sinkt der Anteil an eingebauten potenziellen Wertstoffen.

4.4.1 Deponien

Statistische Daten über abgelagerte Mengen existieren in der Literatur nicht lückenlos. Aus diesem Grund sind verlässliche Zahlen über historisch abgelagerte Abfälle nicht oder nur zum Teil verfügbar. In der Studie des Umweltbundesamtes [Umweltbundesamt, 2011] wird geschätzt, dass im Zeitraum 1990 bis 2009 in Österreich ca. 33,8 Mio. t potenziell wertstoffhaltige Abfälle deponiert wurden. Ausschlaggebend für die Qualität der Abfälle in einer Deponie sind auch die angewendeten Einbautechniken sowie der Anteil an Erdaushub und Bauschutt, welcher vor 1990 mehr als 50 % der abgelagerten Abfälle angenommen wird [Umweltbundesamt, 2011].

Aliquot für die Steiermark bedeutet dies eine Menge von ca. 4,7 Mio. t abgelagerter potenziell wertstoffhaltiger Abfälle.

Wertstoffpotenzial in Deponien
Die Wertstoffzusammensetzung in Deponien hängt von vielen Faktoren ab und ist daher von Deponie zu Deponie und auch innerhalb einer Deponie sehr verschieden. Als wesentliche nutzbare Ressourcen wird in [Umweltbundesamt, 2011] Metalle angegeben. Weiters wird in der Studie des Umweltbundesamtes auf HAHN 2010 verwiesen welcher organisches Material als möglicher Wertstoff (Ersatzbrennstoff) in Deponien nennt, dies wird in dieser Studie nicht berücksichtigt, da die Nutzung dieser Ressource als nicht ökonomisch eingestuft wird.

Metalle
Es kann von einem Anteil von etwa 4 % Metallen ausgegangen werden. Metalle sind die am höchst bewerteten Ressourcen in Deponien. Jedoch hängt dies von der Qualität der abgelagerten Metallsorten und deren erzielbaren Preisen ab. Der Anteil an Stahlschrott beträgt etwa 80 %, der Anteil an Buntmetallen liegt bei 20 %.

Bei einer angenommenen Menge abgelagerter wertstoffhaltiger Abfälle von ca. 4,7 Mio. t (Zeitraum 1990-2009) errechnet sich bei einem Metallgehalt von 4 % eine Fracht von ca. 190.000 t Metallen (Eisen und Buntmetalle).

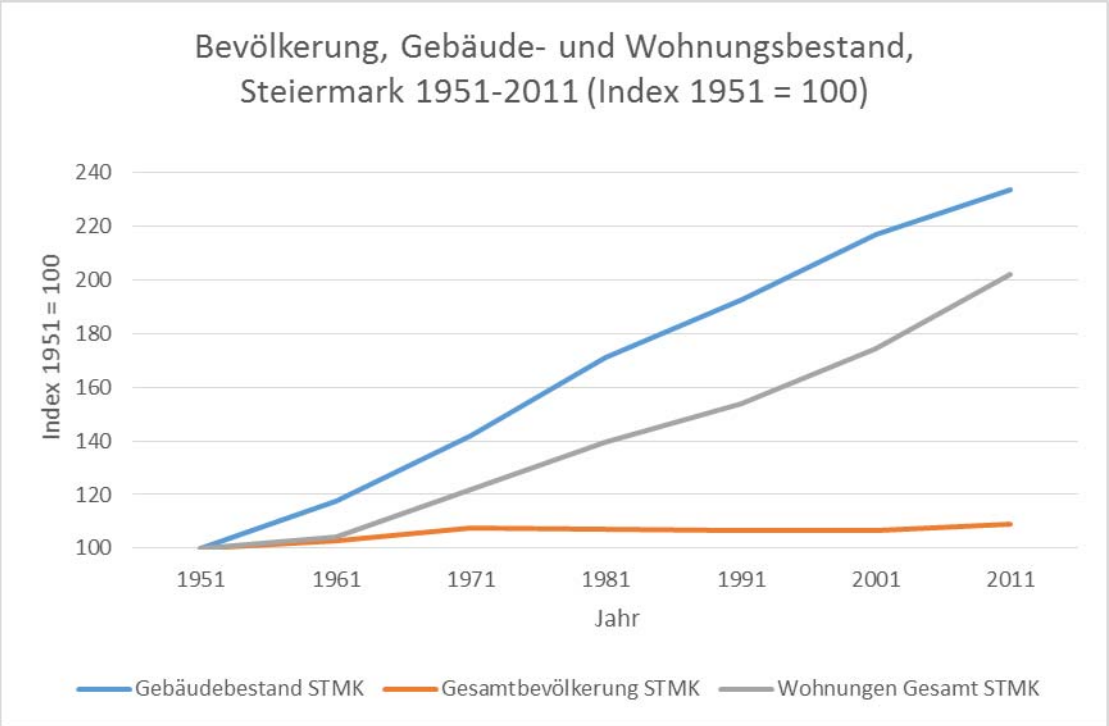
5 Dynamische Entwicklung der Lagers Land Steiermark

5.1 Dynamik des Gebäudelagers

5.1.1 Zeitreihe - Gebäudebestand

Lagerentwicklung

Die Bevölkerung in der Steiermark nahm im Zeitraum 1951 bis 2011 von 1,1 auf 1,2 Mio. Einwohner um ca. 9 % zu. Im Gegensatz zeigt sich bei der Entwicklung des Gebäude- bzw. Wohnungsbestandes in der Steiermark eine andere Dynamik. Der Gebäudebestand hat im Zeitraum 1951-2011 in der Steiermark um 234 % zugenommen. 1951 bestanden in der Steiermark ca. 176.000 Gebäude, 2011 bereits 350.000. Dass dieser Umstand nicht nur der demographischen Entwicklung der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts geschuldet sein kann, zeigt ein Blick auf die Entwicklung beim Wohnungsbestand. Dieser hat sich im gleichen Zeitraum „nur“ verdoppelt (+ 202 %).



Straßennetz in Graz

	Zusammen	Pflaster	Bitumen	Makadam
1999	877	10	769	98
		Staubfreie Decken	Schotterdecken	
1950	755	179	576	

Materialzusammensetzung

Die Materialzusammensetzung der Gebäude hat sich im Laufe des 20. Jahrhunderts gewandelt. Zur Gründerzeit (um 1900) herrscht die Ziegelbauweise mit Kastenfenstern und Tramdecken vor. Diese vorherrschende Bauweise wird nach 1945 sukzessive von der Betonbauweise mit Stahlbetondecken und Verbundfenstern abgelöst. Ende des 20. Jahrhunderts ist ein Wandel zur Leichtbauweise zu erkennen bzw. in eine Diversifizierung von Baustilen. Der Trockenausbau (mit Gipskartonplatten) und die thermische Optimierung (v.a. Wärmedämmverbundsysteme) der Gebäudehülle sind Bauelemente die verbreitet Anwendung finden. Diese Unterschiede in der Bauweise spiegeln sich ebenfalls in der Materialzusammensetzung wider.

Gebäudetyp	Beton (t/m³ BRI)	Ziegel (t/m³ BRI)	Holz (t/m³ BRI)	Metalle (t/m³ BRI)	Restabfall (t/m³ BRI)	Sonstiges (t/m³ BRI)
Massivbau vor 1918	0,125	0,214	0,008	0,007	0,002	0,001
Massivbau 1918 bis 1948	0,116	0,224	0,009	0,006	0,004	0,002
Massivbau ab 1949	0,137	0,206	0,008	0,003	0,015	0,003
Holz-Fachwerkhaus	0,036	0,238	0,028	0,003	0,004	0,001
Stahlbeton-Skelettbau	0,230	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002
Beton-Massivbau	0,369	0,050	0,002	0,006	0,002	0,002
Stahl-Fachwerk-Gebäude	0,077	0,023	0,009	0,016	0,001	0,001

Durchschnittliche Nutzungsdauer

Gebäude werden je nach Nutzung unterschiedlich lange genutzt. Bei Nicht-Wohngebäuden wird eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 20 bis 40 Jahren angenommen. Bei Wohngebäuden entspricht die durchschnittliche Nutzungsdauer ca. 100 Jahre. Diese Zahlen beziehen sich auf die tragenden Elemente des Bauwerks. Bauteile des Innenausbaus (z.B. Fußböden) oder Leitungsnetze (z.B. Wasserleitungen) haben Nutzungsdauern die geringer sind. Dies betrifft ebenso Bauelemente der Außenhülle (z.B. Fenster, Außenputz) die in der Regel mehrmals in der Nutzungsphase eines Gebäudes getauscht werden.

Schadstoffe / Verbote

Schadstoffe in Gebäuden können über unterschiedliche Prozesse eingetragen werden. So können Schadstoffe im Bauprodukte selbst enthalten sein (z.B. asbesthaltige Faserplatten), oder durch Nutzungsverhalten (z.B. PAK-Belastungen durch Hausbrand im Kamin) eingetragen werden. Schadstoffe können auch durch Witterung oder Tierbefall als Immissionen ins Gebäude gelangen (z.B.: Russ auf Fassaden; Schädlingsbefall).

Das Verbot von asbesthaltigen Faserzementprodukten wurde in Österreich mit der Asbestverordnung 1990 umgesetzt.

Wertstoffe

Kupfer (Elektroinstallationen, Sanitärinstallationen, Dachbereich)
Eisen (Bewehrung, Sanitärinstallationen, Träger, Fallrohre- und Regenrinnen)

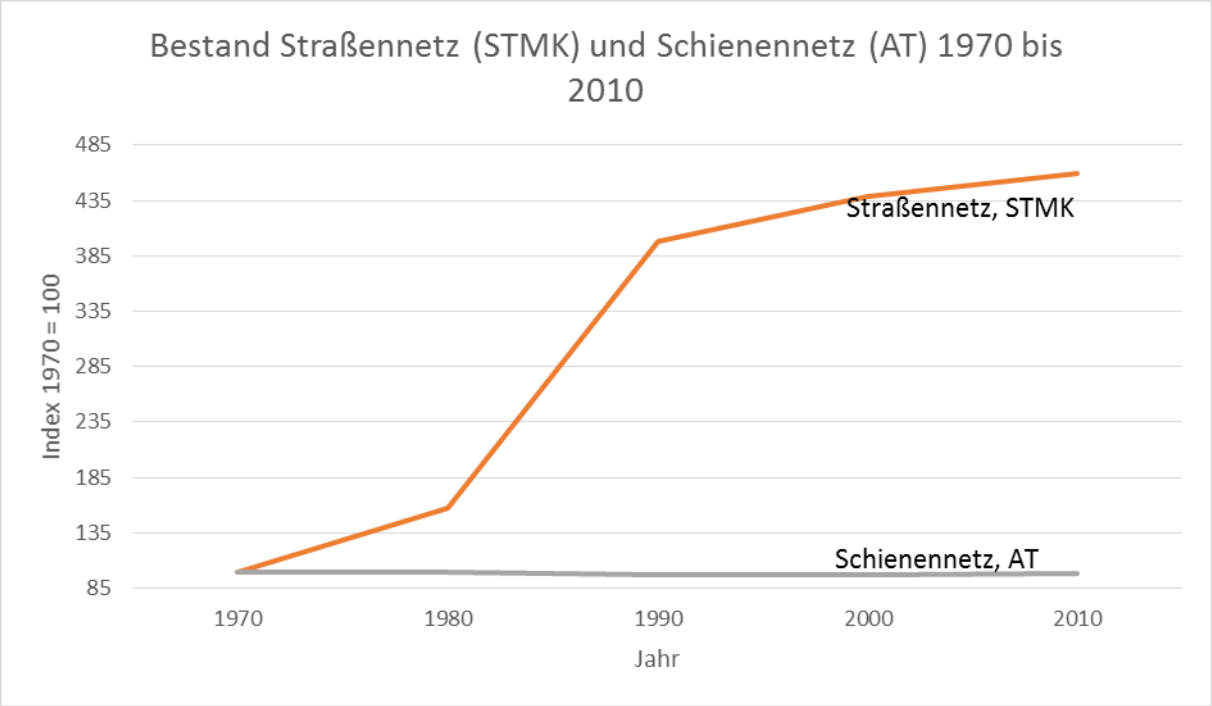
Holz (Dachstuhl, Decken, Fußbodenbeläge)
Kunststoffe (Dämmung, Fenster und Türen, Fußbodenbeläge, Sanitärinstallationen)

5.2 Dynamik des Lagers der Netzwerke

5.2.1 Zeitreihe – Verkehrsnetz

Lagerentwicklung

Das Straßennetz in der Steiermark hat sich in den letzten Dekaden rasant entwickelt. Im Bereich der Bundesstraßen (= Autobahnen und Schnellstraßen) existierten 1970 in der Steiermark knapp 21 km. Bis 2010 wurde das Bundesstraßennetz in der Steiermark auf knapp 460 km ausgebaut.



Für das Schienennetz existieren auf der Ebene der Steiermark keine Daten. Für Gesamt-Österreich ist ein negativer Trend zu beobachten. Während 1970 ca. 6.840 km Schienennetz in Österreich bestanden, verringerte sich dieses bis ins Jahr 2010 auf ca. 6.700 km. Ein Trend, welcher in dieser Konsequenz für die Steiermark Gültigkeit haben wird. Grund für diesen rückläufigen Trend ist das Schließen von (unrentablen) Nebenstrecken. Der Ausbau bestehender Netze (Straße und Schiene) geht in diese Statistik nicht ein.

Seit 2007 sind rund 150 Kilometer Neubaustrecke in Betrieb gegangen. Dabei handelt es sich um neue Hochleistungsstrecken wie 60 Kilometer zwischen Wien-St. Pölten inklusive Lainzer Tunnel oder 40 Kilometer durch das Unterinntal. Bis 2026 gehen 300 Kilometer

zusätzliche Neubaustrecken in Betrieb. Darunter 130 Kilometer der Koralmbahn oder der Brennerbasistunnel [BMVIT, 2015a]. Die Trassenführung dieser Hochleistungsstrecke liegt zu einem großen Teil in der Steiermark, somit wird sich das Netz in der Steiermark vergrößern.

Durchschnittliche Nutzungsdauer

Nutzungsdauer Straße: 15 bis 25 Jahre
Für Betonstraßen gibt [Marchtrenker, 2012] 30 bis 50 Jahre, teilweise auch darüber an.

Nutzungsdauer Schiene: 33 Jahr (gemäß AfA-Tabelle)

Materialzusammensetzung

Straßennetz

Es wird nicht davon ausgegangen, dass sich die generelle Materaialzusammensetzung von Straßen verändert. Aufgrund stärkerer Gewichtsbelastung wird vermutet, dass der Anteil von Beton als Deckschicht gegenüber Asphalt an Bedeutung gewinnt. Auch innerhalb von Städten (beispielsweise Busspuren in Wien) werden vermehrt Betonstraßen verbaut.

Das Material für Straßen kann im Kreislauf geführt werden. Die Österreichsiche Methode der Wiederverwendung hat als Grundlage eine zweischichtige Ausbildung der neuen Betondecke. Für den Unterbau wird eine Asphalttragschicht auf einer Zementstabilisierung oder ungebundenen Tragschicht aufgebracht. Darüber liegt die Betondecke in zweischichtiger Ausführung mit Unterbeton aus Recyclingbeton und einer relativ dünnen Schicht aus hochwertigstem Oberbeton, der in der Regel als lärmarmer Waschbetonoberfläche ausgeführt wird [Marchtrenker, 2012].

Schienenetz

In Deutschland werden seit 1990 hauptsächlich Betonschweller eingesetzt. Holzschweller werden auf weniger belasteten Nebenstrecken verwendet. Metallschweller werden heute nur in Spezialfällen verbaut. Nachdem in Österreich wie in Deutschland hauptsächlich Hochleistungsstrecken neu gebaut bzw. ausgebaut werden können diese Annahmen von [Steger et al., 2011] für die Steiermark übernommen werden. Es ist somit davon auszugehen, dass zukünftig hauptsächlich Betonschweller eingesetzt werden und Holz- sowie Metallschweller zusehens ausgetauscht werden.

Der Anteil des nichtelektrischen Streckenanteils wir stetig reduziert. In der Endausbaustufe ist das gesamte Netz elektrifiziert [BMVIT, 2015a].

Schadstoffe

Im Bereich des Straßennetzes sind in der Regel keine nennenswerten Schadstoffkontaminationen zu erwarten. Dies gilt vor allem für Betonstraßen, die fast zur Gänze aus inerten Materialien aufgebaut sind. Asphaltstraßen enthalten hingegen Teere oder Bitumen. Diese geteerten Straßen können hohe Konzentrationen von gesundheitsschädlichen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) enthalten.

Im Bereich des Schienennetzes existieren unterschiedliche Typen von Schwellen (Beton und Holz). Die Holzschwellen sind in hohem Maße mit PAK belastet.

Wertstoffe

Eisenbahn/Straßenbahn

- Kupfer (Oberleitung)
- Eisen/Stahl (Gleise)
- Beton (Schweller)
- Schotter (Unterbau, Gleiskörper)

Straße

- Beton
- Asphalt
- Schotter
- Eisen/Stahl (Leitschiene)

5.2.2 Zeitreihe – Wasserleitungnetz

Mehr als 90 Prozent aller Haushalte in Österreich sind an das öffentliche Trink- und Abwassernetz angeschlossen. In Österreich sind insgesamt ca. 77.000 km öffentliche Trinwasserleitungen in verbaut [Ministerium für ein Lebenswertes Österreich, 2015]. Der Ausbau der Netze ist weitgehend abgeschlossen [Fuchs-Hanusch].

Lagerentwicklung

Seit 1959 wurden 12,3 Milliarden Euro in die Wasserversorgung investiert, und zwar für die Gewinnung, Aufbereitung, Speicherung und Verteilung des Wassers [Ministerium für ein Lebenswertes Österreich, 2015]. Der Ausbau der Netze ist weitgehend abgeschlossen. Zukünftig werden hauptsächlich Wasserleitungen erneuert, das Netz jedoch nicht wesentlich vergrößert [Fuchs-Hanusch].

Wasserleitungsnetz Graz

2014	1.000 km (eigene Schätzung/Berechnung)
1999	760 km (Statistisches Jahrbuch der Stadt Graz)
1950	320 km (Statistisches Jahrbuch der Stadt Graz)

Durchschnittliche Nutzungsdauer

Wasserleitungen können eine Nutzungsdauer von mehr als 100 Jahren aufweisen. Je älter die Rohre desto Höher wird im Mittel die jährliche Ausfallsrate. Die Nutzungsdauer unterscheidet sich zwischen den eingesetzten Rohrtypen [Fuchs-Hanusch].

Materialzusammensetzung

In der Abbildung 5-1 wird der eingesetzte Rohrtyp eines österreichischen Wasserversorgers von 1871 bis 2009 dargestellt.

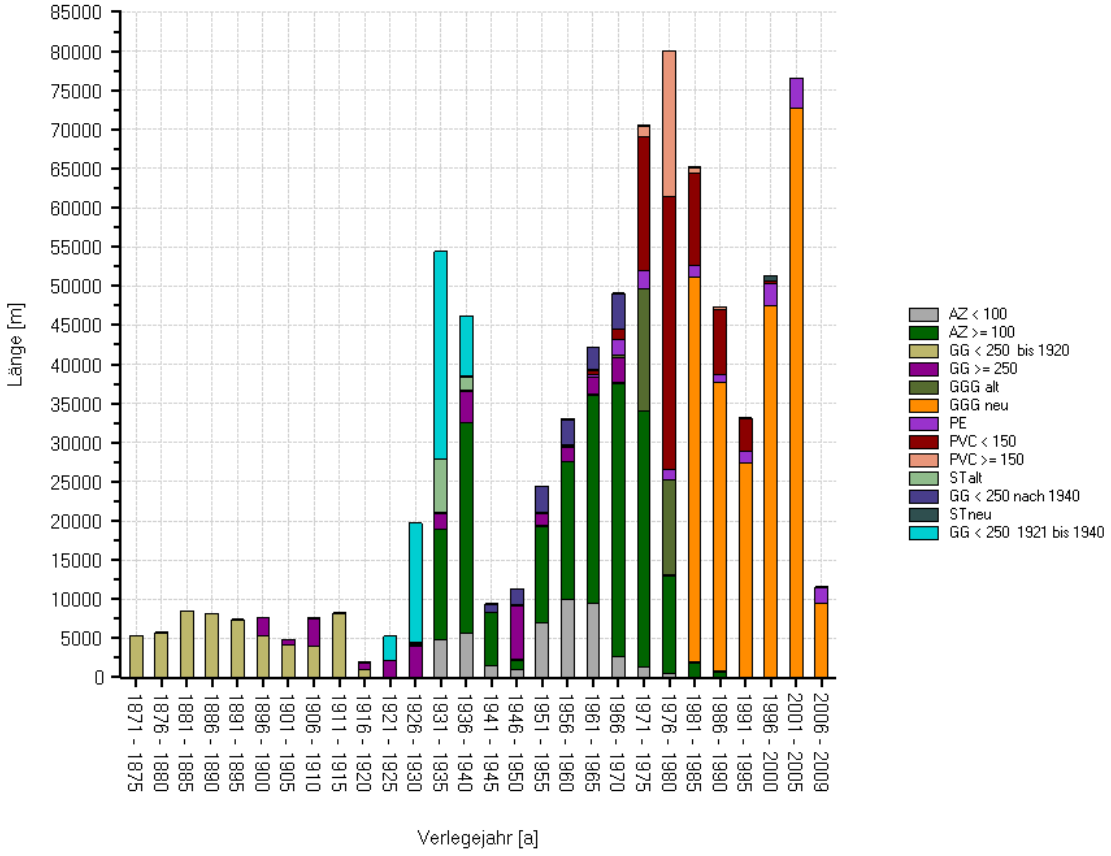


Abbildung 5-1: Leitungslängen je Rohrtyp am Beispiel eines österreichischen Wasserversorgers [Fuchs-Hanusch]

Schadstoffe

- PVC
- Blei

Wertstoffe

- Eisen/Stahl
- Kupfer

5.2.3 Zeitreihe – Kanalnetz

Mehr als 90 Prozent aller Haushalte in Österreich sind an das öffentliche Trink- und Abwassernetz angeschlossen. Mehr als 93 Prozent der österreichischen Bevölkerung sind an das

öffentliche Abwassernetz angeschlossen, das ist ein sehr hoher Versorgungsgrad. Das öffentliche Kanalnetz in Österreich misst insgesamt 89.690 Kilometer. Die Abwässer werden in Österreich in über 1.841 kommunalen Anlagen und tausenden Kleinklärlangen gereinigt und behandelt [Ministerium für ein Lebenswertes Österreich, 2015].

Alle Siedlungsgebiete mit mehr als 2000 Einwohnern sind in Österreich über eine Kanalisation an eine Kläranlage angeschlossen. Ein Vergleich der Daten für 2010 und 2012 zeigt, dass eine leichte Erhöhung des Anschlussgrades von 93,9 % auf 94,5 % erfolgt ist. Diese Erhöhung kann sowohl auf die Verbesserung der technischen Möglichkeiten zum Anschluss ländlicher Gebiete, als auch auf die zunehmende Verstädterung zurückgeführt werden. Ein 100 %-iger Anschluss ist aufgrund des Siedlungscharakters Österreichs (zahlreiche Streusiedlungen) jedoch auch in Zukunft nicht realistisch. Rund 5,5 %, also ca. 465.000 Einwohner, verfügen über keinen Anschluss an ein öffentliches Kanalnetz mit Anschluss an eine kommunale Kläranlage. Dennoch ist auch hier eine geeignete Behandlung in Klein- und Hauskläranlagen (≤ 50 EW60) oder durch Senkgruben sichergestellt [Umweltbundesamt, 2013]. In der Abbildung 5-2 sind alle Kommunalen Kläranlagen des Jahrs 2010 verzeichnet, je größer die Markierungen desto größer ist das dazugehörige Abwassernetzt.

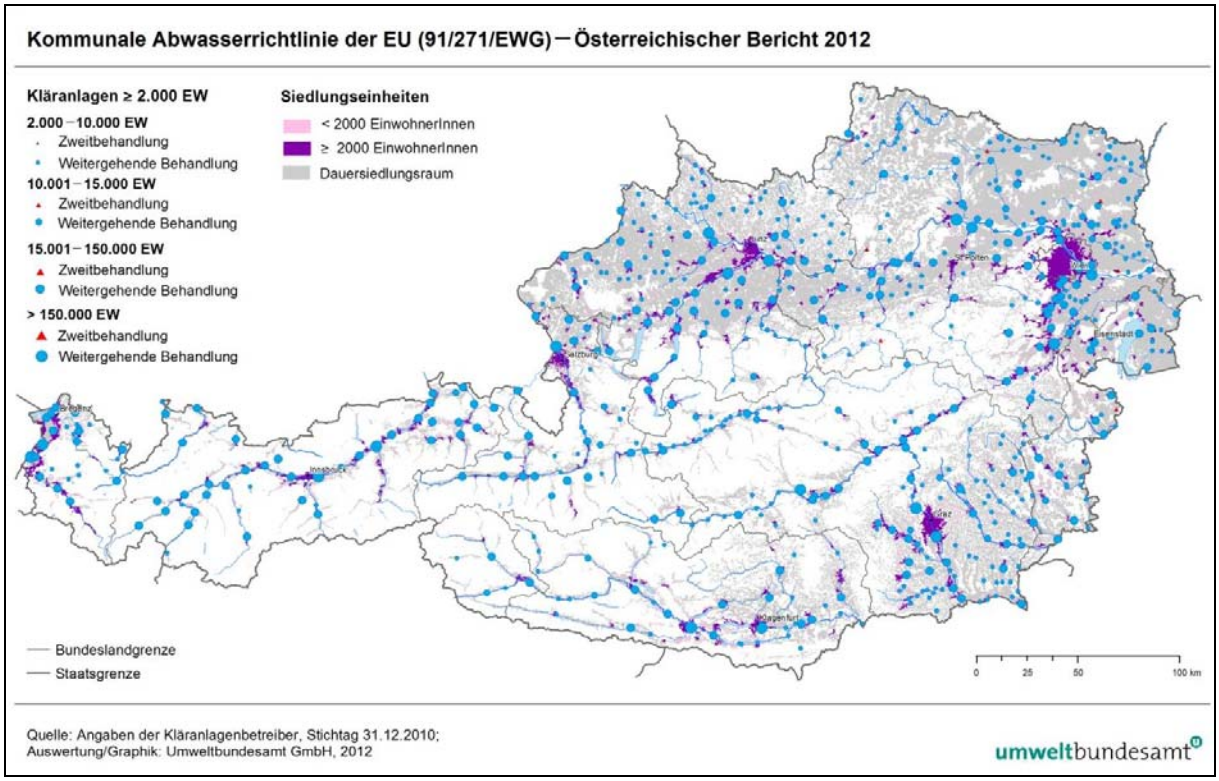


Abbildung 5-2: Kommunale Kläranlagen in Österreich [Umweltbundesamt, 2013]

Lagerentwicklung

Seit 1959 wurden rund 44,4 Milliarden Euro in die Abwasserentsorgung investiert. 70 bis 80 Prozent davon flossen direkt in den Netzausbau [Ministerium für ein Lebenswertes Österreich, 2015].

Kanalnetz Graz

2014	880 km (eigene Schätzung/Berechnung)
1999	732 km
1950	382 km Gesamt
	164 km Straßenkanäle
	218 km Hauskanäle
	10.260 Senkgruben

Durchschnittliche Nutzungsdauer

Das Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. Stein&Partner hat Abwasserleitungen und –kanäle im Bereich der öffentlichen Kanalisation bezüglich der unterschiedlichen Werkstoffe und Nutzungsdauern untersucht. In der Abbildung 5-3 werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt, wobei sowohl die Herstellerangaben als auch die tatsächlichen Nutzungsdauern aus der Praxiserfahrung dargestellt sind [Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V.(FBS), 2004].

Rohrwerkstoff	Nutzungsdauer in Jahren nach KVR-Leitlinien (s. Tabelle 1)	Herstellerangaben	Praxiserfahrungen
Beton/Stahlbeton	50 bis 80 (100)	> 100	> 100
Steinzeug		> 100	> 100
Polymerbeton		keine Angabe	ca. 30
Duktiler Guss (CEM)		> 100	> 100
GFK		50 bis 80 (100)	ca. 50
PVC-U		> 100	ca. 50
PE-HD		> 100	ca. 50
PP		100	ca. 50

*) Wenn Abwasserrohre norm- und regelgerecht gefertigt und verlegt sowie planmäßig betrieben werden, dann ist unabhängig vom Rohrwerkstoff von einer einheitlichen Nutzungsdauer auszugehen. Die technische Lebensdauer der Rohrverbindungen (z. B. Dichtungen) bleiben bei dieser Betrachtung unberücksichtigt.

Abbildung 5-3: Durchschnittliche Nutzungsdauer von Abwasserrohren (Quelle: Stein&Partner) zitiert in [Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V.(FBS), 2004]

Materialzusammensetzung

Ältere Kanalsysteme bestehen meist aus Zieglen oder Ton bzw. Steinzeug. Größere begehbahre Kanäle wurden früher meist aus hartgebrannten Ziegeln aufgemauert und seit Beginn des 20. Jaahrhunderts in Ortbeton hergestellt. Heute besteht der überwiegende Teil der Kanalisation aus vorgefertigten Rohren unterschiedlicher Werkstoffe. Hauptsächlich werden Beton und Stahlbeton oder Steinzeug verbaut. In den letzen 20 Jahren, je nach Größe und Belastung, auch Kunststoffrohre sowie Rohre aus duktilem Gusseisen, Stahl, Faserzement, und Polymerbetonroher nach (Stein 2004) zitiert in [Steger et al., 2011].

Für die nähere Zukunft gibt [Steger et al., 2011] einen klaren Trend bezüglich des zukünftigen Materialeinsatzes an. Die Anteile von Beton und Steinzeug werden als stabil eingeschätzt. Mauerwerk, Stahl und Gussrohre werden weniger eingesetzt. Seigende Anteile werden vor allem für den Werkstoff Kunsstoff (vor allem PE) erwartet.

Wertstoffe

In [Steger et al., 2011] wird folgende Materialverteilung je Rohrfunktion angegeben:

- Kanalklinker: Eiquerschnitt, häufig ältere, große Abwassersammler.
- Steinzeug: Ältester Kanalwerkstoff, Nennweiten (meist DN 100 bis DN600), teuer, aber längere Lebensdauer und wiedersteht sicher chemischen und mechanischen Anfressungen.
- Kunststoffe: Es werden Vollwandrohe und Systmee mit profilierter Wandung as Kunsstoff unterschieden. Verwendete Materialien: PVC-U, PE-HD, PVC, PE und PP.
- Stahl: Spielt als Werkstoff für Freispiegelleitungen keinse wesentliche Rolle, wird nur bei besonderen Anforderungen verwenet. Innen awerden Rohre mit einer Plastomerbeschichtung zum Zeck des Korosionsschutzes versehen.
- Gusseisen: Werden in Deutschland seit 1956 produziert. Korrussionsschutz ist außen und innen notwendig. Werden für Freispiegelleitungen und bevorzugt als Druckleitungen sowie in (hydro-) geologisch schwierigem Geleände eingesetzt.
- Beton: Wird seit über 100 Jahren als Werkstoff für Kanalrohre eingesetzt. Alle Querschnittsformen und –maße sind möglich. (>DN800 meist als Ortbeton)
- Stahlbeton: Wird seit über 100 Jahren als Werkstoff für Kanalrohre eingesetzt. Der Vorteil liegt bei relativ geringem Gewicht durch geringerer Wanddicke. Besonders für hohe Belastungen sowie bei dynamischer Beanspruchung infolge von Verkehrsschwankungen und geringer Scheitelüberdeckung geeignet.
- Spannbeton: Vorwiegend Kreisquerschnitt, Nennweiten (DN500 bis DN4000), bis zu 8 m Baulänge

5.2.4 Zeitreihe – Stromnetz

Das gesamte Stromnetz hat in Österreich eine Länge von ca. 253.000 km. Davon entfallen ca. 167.000 km auf den Bereich der Niederspannung [Österreichs E-Wirtschaft, 2014]. Das Stromnetz in Österreich hat im Bereich der Mittel- und Hochspannung eine gesamte Netzlänge von ca. 6.800 km (Systemlänge). Dies entspricht einer Trassenlänge von ca. 3.400 km. Den größten Anteil am Stromnetz haben die 220 kV-Leitungen mit ca. 1.600 km gefolgt von den 380 kV-Leitungen mit 1.150 km Trassenlänge. Das 110 kV-Leitungsnetz ist mit einer Gesamtlänge von 660 km weniger stark ausgebaut [Austrian Power Grid AG, 2013]. Die Abbildung 5-4 zeigt das Übertragungsnetz des Stromnetzes in Österreich, mit dem Stand 2012.

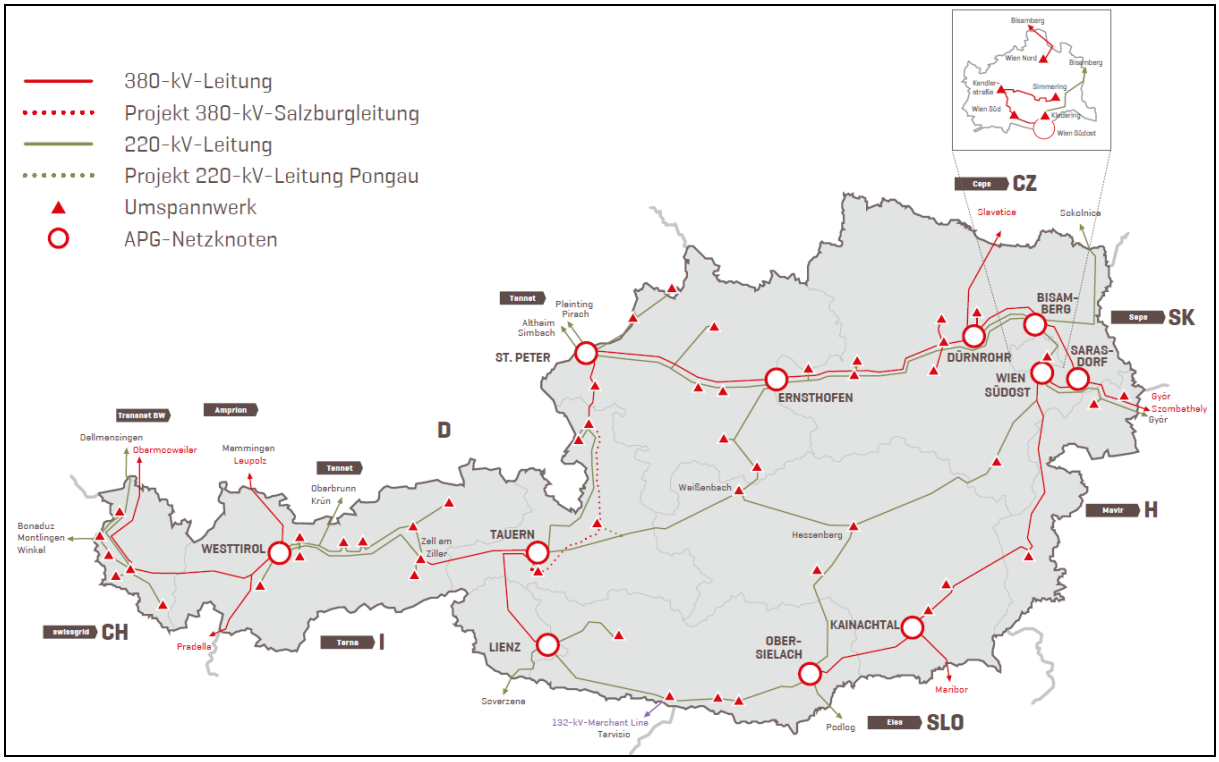


Abbildung 5-4: Übertragungsnetz Österreich, Stand 2012 [Austrian Power Grid AG, 2013]

Um elektrische Energie in Haushalten bereitstellen zu können, muss die Spannung nahe den Verbraucherzentren auf ein niedriges Niveau transformiert bzw. umgespannt werden. Dies geschieht in sogenannten Umspannwerken, von denen in Österreich 58 von der Austrian Power Grid AG betrieben werden.

Lagerentwicklung

Der Ausbau der von erneuerbaren Energien führt zu veränderten Herausforderungen für das österreichische Stromnetz. Netze werden verstärkt für den zunehmenden Transport von Strom aus erneuerbarer Stromerzeugung (EE) benötigt. Aufgrund der zentralen Lagen Österreichs in Europa ist das Übertragungsnetz zukünftig stark von dieser Entwicklung betroffen. Hohe EE-Einspeisungen in Deutschland (Windkraft und Photovoltaik (PV)) und der Export des Stromüberangebots führen immer häufiger zu Engpässen, drohenden Überlastungen und kritischen Situationen im österreichischen Netz. Der EE-Ausbau führt zu höheren Volatilitäten und schnellen Leistungsänderungen in der Stromerzeugung. Es werden insgesamt höhere und leistungsfähigere Transport- und Übergabekapazitäten im Übertragungsnetz benötigt. Aktuell sind im Netzentwicklungsplan mehrere neue 380/110-kV-Umspannwerke für den Anschluss der Windparks in Österreich geplant. Die Übertragungsnetze wurden in den letzten Jahrzenten schrittweise ausgebaut, jedoch sind für die neuen Anforderungen weiter Ausbauten notwendig. Als wesentliches Ziel ist im Masterplan 2030 die Schließung des 380-kV-Rings als wesentliches Ziel festgeschrieben. Das gesamte Investitionsvolumen inkl. Umspannwerke und Betriebsinvestitionen im Netzentwicklungsplan

(NEP) 2013 der APG umfasst für die kommenden zehn Jahre 2,6 Mrd. € [Austrian Power Grid AG, 2013].

Durchschnittliche Nutzungsdauer

In der Hochspannungsebene können nach derzeitigem Erfahrungsstand Erdkabel 30-40 Jahre lang genutzt werden. Für die Höchstspannungsebene liegen aufgrund mangelnder praktischer Erfahrungen keine belastbaren Angaben zur Nutzungsdauer von Erdkabeln vor. Bei Freileitungen wird die Nutzungsdauer mit 80 Jahren angegeben. Dies kann jedoch noch nicht mit genügend Erfahrung belegt werden. Es kann nach der Hälfte der Zeit (ca. 40 Jahren) ein Auswechseln der stromführenden Leiterseile erforderlich sein [BM für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2006].

Materialzusammensetzung

In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass sich die durchschnittliche Materialzusammensetzung des Stromnetzes bzw. deren Konstruktionsweise in den letzten Dekaden nicht oder nur in geringem Maße geändert hat. Aus diesem Grund kann für die historische Betrachtung der Zeitreihe eine unveränderte Materialzusammensetzung angenommen werden.

Kupfer wird für Erdkabel, Seekabel sowie für Stromleitungen in Gebäuden, Geräten und Maschinen eingesetzt. Es gibt einen Trend zur Anbindung an das Hochspannungsnetz von Gebäuden und Betrieben mit Erdkabel anstatt mit Freileitungen in [Angerer et al., 2010] wird davon ausgegangen, dass dieser Trend anhält. Der vermehrte Einsatz von Elektrohaushaltsgeräten und die Mechanisierung von Verstellvorgängen (z.B. Rollläden, Fenster, Türen) führen zu einem erhöhten Kupfereinsatz für die Gebäudeinstallation.

Der Ausbau von alternativen Energien (Wind, Solarenergie, Biomasse), geht mit einer Dezentralisierung der Anlagenstandorte einher. Dadurch steigt der Kupferbedarf aufgrund von zwei Faktoren an. Erstens, weil mit kleineren Anlagen der spezifische Kupferbedarf (kg Kupfer/kW) für Generatoren und Transformatoren, steigt und zweitens weil die Übertragungslänge zur Einbindung der dezentralen Anlagen zunimmt. Dies erfolgt in der Regel über Erdkabel aus Kupfer.

Wertstoffe

- Kupfer
- Aluminium
- Eisen/Stahl
- Holz

5.2.5 Zeitreihe – Gasnetz

Das Erdgasnetz ist in Österreich ein historisch gewachsenes System. Aufgrund der geografischen Lage ist Österreich eine wichtige Drehscheibe für die Weiterverteilung von Erdgas nach Westeuropa. Das Netz unterteilt sich in Fernleitungen und Verteilerleitungen, ein-

schließlich der Anlagen, die zu Hilfsdiensten eingesetzt werden, wie Regel- und Messeinrichtungen, sowie Anlagen, die für den Zugang zur Fernleitung und Verteilung erforderlich sind. Das österreichische Gasleitungsnetz hat im Jahr 2009 eine Länge von etwa 42.000 km. Es entfallen etwa 93 % (39.500 km) auf das Verteilungsnetz und ein Anteil von etwa 7 % (2.900 km) auf das Fernleitungsnetz [Energie-Control Austria, 2009]. Die Abbildung 5-5 bildet das Erdgasnetz in Österreich ab.

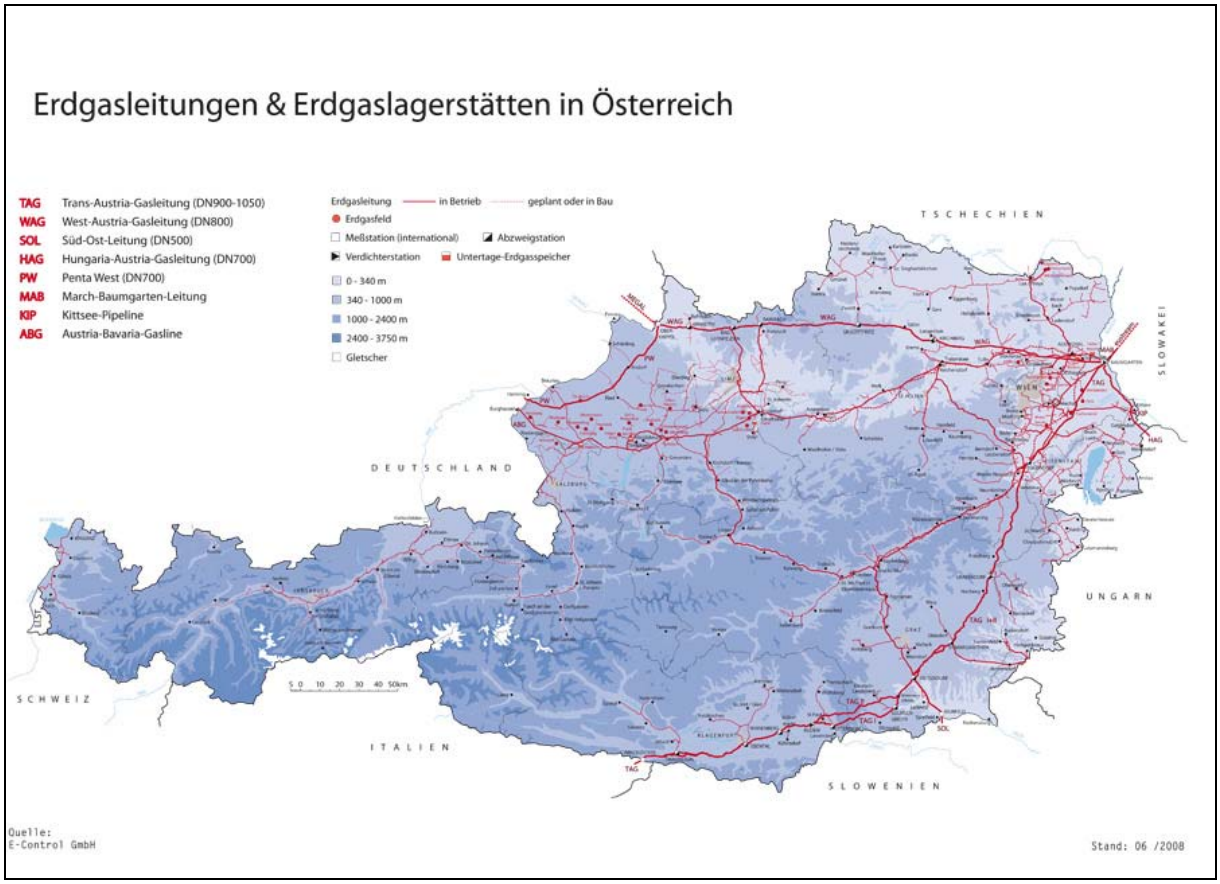


Abbildung 5-5: Erdgasfern- und Verteilungsnetz Österreichs (2009) [Energie-Control Austria, 2009]

Netzbetreiber:
In Österreich gibt es insgesamt 23 Gasnetzbetreiber. Folgend werden die Gasnetzbetreiber nach [Energie-Control Austria, 2009] aufgelistet:

- Elektrizitätswerk Wels AG
- Energie Graz GmbH & Co KG
- Energie Klagenfurt GmbH
- Energienetze Steiermark GmbH
- Energie Ried GmbH
- EVA - Erdgasversorgung Ausserfern GmbH
- Netz Niederösterreich GmbH
- GasNetz Veitsch
- KNG-Kärnten Netz GmbH

- LINZ GAS Netz GmbH
- Netz Burgenland Erdgas GmbH
- OÖ. Ferngas Netz GmbH
- Salzburg Netz GmbH
- Stadtbetriebe Steyr GmbH
- Stadtwerke Bregenz GesmbH
- Stadtwerke Kapfenberg GmbH
- Stadtwerke Leoben e.U.
- TIGAS Erdgas Tirol GmbH
- Vorarlberger Energienetze GmbH
- Wiener Netze GmbH
- Gas Connect Austria
- BOG GmbH
- TAG GmbH

Lagerentwicklung

Das Erdgasnetz wurde in den letzten 35 Jahren massiv ausgebaut. Das Verteilernetz ohne Erdgas-Transitleitungen ist von etwa 15.000 km im Jahr 1990 auf knapp über 40.000 km im Jahr 2013 angewachsen. Das entspricht einem Plus von über 250 % [FGW & Wärmeversorgungsunternehmungen, 2013].

Durchschnittliche Nutzungsdauer

Die mittlere technische Nutzungsauer von Erdgasleitungen gibt [Kiesselbach, 2006] mit 50 Jahren an. Die tatsächliche technische Nutzungsdauer von Erdgasleitungen kann aufgrund unvorhersehbaren Einwirkungen und Systemeigenscahcten auch geringer und andererseits aufgrund vergangener Erfahrungen auch wesentlich länger sein. Gastechnische Anlagen haben im Allgemeinen eine geringerer Nutzungsdauer als Erdgasleitungen. Die tatsächlich erreichbare Nutzungsdauer von Erdgasleitungen ist abhängig von der Anlagenart, den Anlagenteilen, den Betriebsbedingungen, den Rohrwerkstoffen, den Rohrverbindungsarten, dem Korrusionsschutz, den Einbaubedingungen und weiteren.

Materialzusammensetzung

Die Materialzusammensetzung des Gasnetzes hat sich über die Zeit nicht wesentlich verändert.

5.2.6 Zeitreihe – Fernwärmenetz

Das Fernwärmenetz in Österreich ist ca. 4.990 km lang, nach E-Mail Anfrage an [Jurik, 2015].

Lagerentwicklung

Fernwärmenetz AT
1990 ca. 1.000 km

2012 ca. 4.600 km
2015 ca. 5.000 km

Das Fernwärmenetz hat sich seit 1990 um etwa 500 % vergrößert. Das Netz wächst jährlich um etwa 71 km bis 2023 [Jurik, 2015]. In den Ausbau des Fernwärmenetzes wird umfangreich investiert. Es gibt zahlreiche Kleinräumige Investoren und Versorgungsnetzes. Die Abbildung 5-6 bildet die bestehenden Fernwärmenetzes in Österreich ab und zeigt die wichtigsten Neu- und Ausbauten. In der Steiermark werden für das Jahr 2013 von [Fell & Papp, 2013] folgende Projekte genannt:

- Mariazell: Biomasse-Fernheizwerk 10 GWh (Baubeginn Juli 2012)
- Graz-Gratkorn: Investitionssumme 30 Mio.; Abwärme vom Papierhersteller für 18.000 Haushalte (Baubeginn 2014/2015), Leitungslänge 9 km
- Murtal: Abwärme vom Papierhersteller für 15.000 Haushalte (Baubeginn 2011), Leitungslänge,18 km

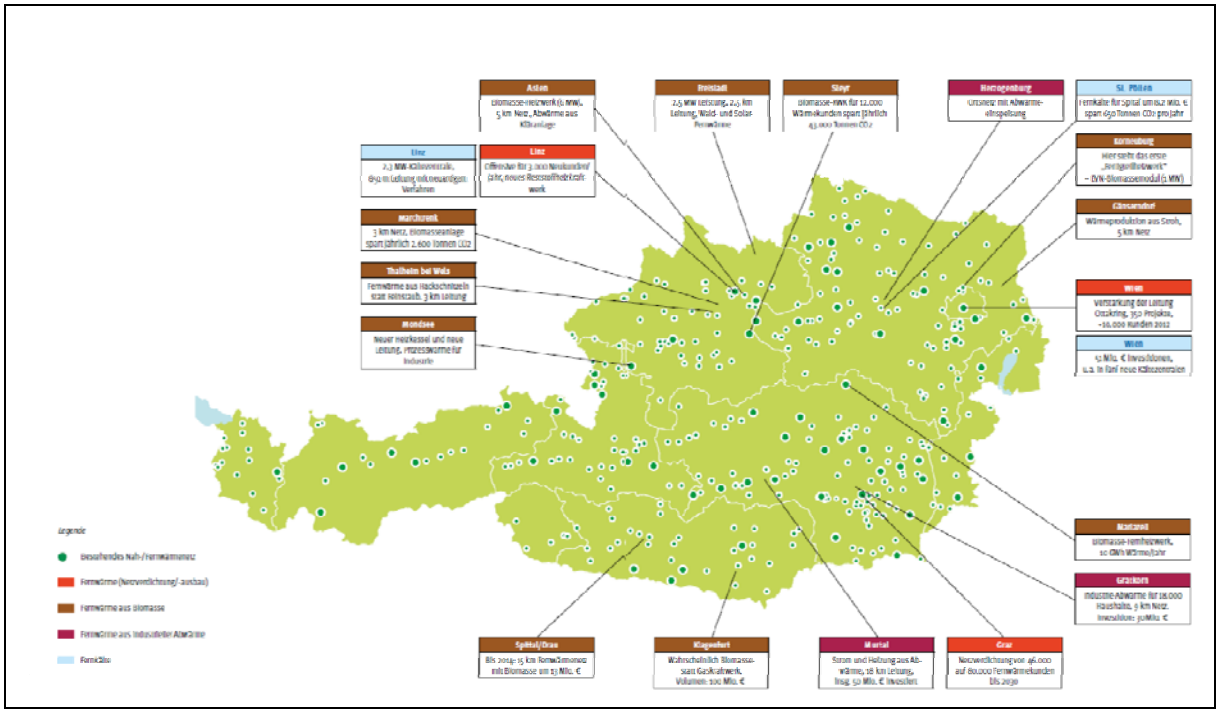


Abbildung 5-6: Bestehende Fernwärmenetze in Österreich inklusive geplanter Neu- und Ausbauten nach [Fell & Papp, 2013]

Durchschnittliche Nutzungsdauer

In der Studie von [Wolff & Janow, 2011] wird die durchschnittliche Nutzungsdauer von Wärmenetzen mit einem Zeitraum von 40 bis 80 Jahren angegeben.

Materialzusammensetzung

In der Verangenheit wurdne Fernwämenetze unterschieldich ausgeführt: Kanalverlegt, Faserzementrohr, Stahlmantelrohr und Freileitungen. In den letzen 20 Jahren und sowie aktuell werden Fernwärmeleitungen fast ausschließlich als Kunststoffmantelrohre (KMR) verlegt. Kanalverlegungen sind aufgrund von Kostengründen fast gänzlich verschwunden und Freileitungen werden höchstens noch in Industriegebieten verlegt [Steger et al., 2011].

5.2.7 Zeitreihe – Telekommunikationsnetz

Die Datenlage im Bereich der Telekommunikation ist nicht einheitlich, da es diverse Anbieter gibt. Neben der klassischen Telefonleitung, bei welcher die Anschlüsse seit dem Boom der Mobilfunknetze zurückgehen, werden speziell Datenübertragungsnetze (Internet) sowie Kabelanschlüsse (Fernsehen) speziell in Ballungsgebieten stetig ausgebaut.

Lagerentwicklung

Das Telefonnetz wird seit 1945 stetig ausgebaut. Die Abbildung 5-7 zeigt den Anstieg der Telefonanschlüsse von 1945 (61.000) bis 1993 (3.340.000) [Soukup, 2008]. Damit einher ging natürlich der Ausbau des Netzes.

Abbildung 5-7: Entwicklung der Telefonanschlüsse in Österreich von 1945 bis 1993 [Soukup, 2008]

Die Österreichische Bundesregierung hat sich im Arbeitsprogramm vorgenommen, in den Jahren 2013 bis 2018 den Breitbandausbau im ländlichen Raum zu fördern. Es sind folgende Ziele festgeschrieben: bis 2013 Versorgung der Bevölkerung mit 25 Mbit/s; bis 2018 Ultraschnelles Breitband-Hochleistungszugänge in den Ballungsgebieten (70 % der Haushalte); bis 2020 nahezu flächendeckende Versorgung mit ultraschnellen Breitband-Hochleistungszugängen [BMVIT, 2014b]. Es kann also davon ausgegangen werden, dass erheblich in den Netzausbau investiert wird und speziell Datenleitungen an Anzahl und Dimension in Zukunft ausgebaut werden.

Mit dem Breitbandatlas Österreich besteht bereits eine GIS basierte Datenbank. Diese kann mit Materialdaten verknüpft mit dem Urban Mining Kataster verknüpft werden. Die verwendeten Daten für den Breitbandatlas basieren auf freiwilligen Angaben der Telekommunikationsunternehmen, sodass kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht [BMVIT, 2014b]. Die Abbildung 5-8 zeigt die öffentlich verfügbare Version des Breitbandatlas.

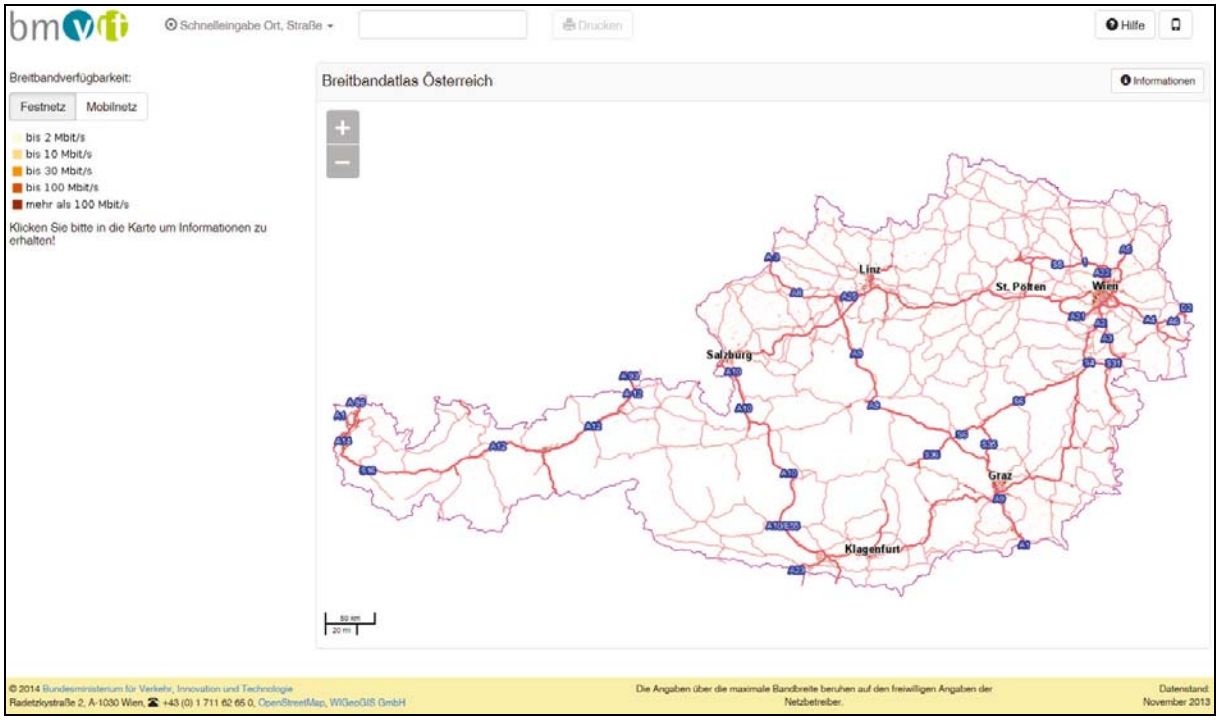


Abbildung 5-8: Breitbandatlas – Desktopversion (http://www.breitbandatlas.info/map.php)

Durchschnittliche Nutzungsdauer

Es wird bei Telefonleitungen von einer Nutzungsdauer von etwa 50 Jahren ausgegangen.

Die Brauchbarkeitsdauer eines Leerrohrsystems soll bei mindestens 50 Jahren liegen, die Nutzungsdauer von Glasfaserkabeln bei 25 Jahren [BMVIT, 2014a].

Materialzusammensetzung

Für Datenleitungen hat die Glasfasertechnologie im Festnetz durch die uneingeschränkte Bandbreitenreserve die besten Zukunftsperspektiven. Jedoch stehen den hohen ausbaukosten –vor allem in ländlichen Gebiet – noch keine adäquaten Kundenzahlen gegenüber [BMVIT, 2014b].

5.3 Dynamik des Lagers an Konsumgüter

5.3.1 Zeitreihe - Konsumgüter

Lagerentwicklung

PKW in der Stadt Graz
1945 477
1961 21.495
1981 79.312
1999 109.698

PKW in der Steiermark (gerundet)
1981 543.000
1991 678.000
2001 919.000
2011 967.000
2013 998.000

Tabelle 5-1: Ausstattungsgrad der privaten Haushalte - Zeitvergleich; Statistik Austria

Ausstattungsgrad privater Haushalte in Österreich	Von 100 Haushalten haben…			
	2009/2010	1999/2000	1984	1974
E-Herd	90	85	70	55
Gasherd	11	15	27	34
Kühl- und Gefriergerät	99	98	96	87
Geschirrspülmaschine	74	55	18	4
Waschmaschine	97	93	80	64
Wäschetrockner	34	22	5	-
PC	71	40	-	-
Mobiltelefon	91	60	-	-
Telefonanschluss	59	87	79	42
PKW	77	75	61	49

Privathaushalte STMK[Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007]
2011 513.000
2001 469.000
1991 426.000
1981 395.000
1971 365.000

Privathaushalte Graz [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007]
2011 129.000
2001 110.000
1991 106.000

1981	104.000
1971	97.000

Zukünftig wird in [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007] von einer steigendenden Anzahl an Privathaushalten bis ins Jahr 2050 ausgegangen. Bis 2035 wird die Zahl der Privathaushalte in der Steiermark kontinuierlich steigen, danach beginnt ein stetiger Rückgang. Dennoch wird im Jahr 2050 die Anzahl noch größer als im Jahr 2001 sein. Im Jahr 2050 wird es lt. Prognose 511.730 Privathaushalte geben (+9 % gegenüber 2001). In Graz-Umgebung wird die Zahl der Privathaushalte aufgrund des erwarteten Bevölkerungsanstieges kontinuierlich bis 2050 ansteigen (von 48.772 Haushalten 2001 auf 70.314 im Jahr 2050). In Graz-Stadt steigt die Anzahl der Privathaushalte bis 2026 (+18 % gegenüber 2001) und wird 2050 122.976 Haushalte (+12 % gegenüber 2001) aufweisen [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2007].

Durch diese Steigerung der Privathaushalte wird auch das Lager an langlebigen Konsumgütern kontinuierlich steigen.

Entwicklung der Haushaltsgroßgeräte in Graz

Gerät	*1970er*	*2010*
E-Herd	53.000	116.000
Gasherd	33.000	14.000
Kühlschrank	84.000	128.000
Geschirrspüler	4.000	95.000
Waschmaschine	62.000	125.000

KIT-Geräte in Graz

PC	0	92.000
Mobiltelefon	0	117.000
Telefonanschluss	41.000	76.000

Durchschnittliche Nutzungsdauer nach [Bundesministerium der Finanzen, 2000]

PKW	6 Jahre
Geschirrspüler	7 Jahre
Kühlschrank	10 Jahre
Mobiltelefon	5 Jahre
PC	3 Jahre

Materialzusammensetzung

Im Fahrzeugbau gibt es seit geraumer Zeit einen Trend zum verstärkten Einsatz von Verstellvorgängen mit elektrischen Servomotoren, dieser Trend hält weiter an. Es werden aufgrund ihrer leichten Bauweise und ihrer Robustheit permanentmagnetisch erregte Synchronmotoren eingesetzt. Durch den verstärkten Einsatz steigt der Kupferbedarf. Der Bedarf an gesteigerter elektrischer Leistung erfordert auch größere Leiterquerschnitte. Eine Mög-

lichkeit den Kupferbedarf zu senken, besteht in der Anhebung der Spannungsebene von 12 V Bordstromnetz auf 42 V. Der dadurch reduzierte Stromfluss würde einen kleineren Leitungsquerschnitt erlauben. Dadurch könnte Kupfer und Gewicht eingespart werden.

Eine Änderung der Antriebsart hätte ebenfalls eine Veränderung des Kupferbedarfes in der Automobilindustrie zur Folge. Hybridfahrzeuge haben einen höheren Bedarf an Kupfer. Beim reinen Elektromotor fällt der Anteil des Antriebsstanges und Motors weg, dieser Wegfall wird jedoch durch den Kupferverbrauch der leistungsstarken Elektromotoren überkompensiert.

Die Studie [Angerer et al., 2010] beschäftigt sich mit den Auswirkungen von zukünftigen Technologien auf den Kupferverbrauch unter besonderer Berücksichtigung des Ausbaus der Elektromobilität. Die globale Kupfernachfrage wird bis ins Jahr 2050 extrapoliert. Es werden zwei unterschiedliche Ausbauszenarien für den Elektrofahrzeugbestand berechnet. Im Dominanz-Szenario werden im Jahr 2050 die Hybrid- und Elektrofahrzeuge den Markt stark dominieren und zusammen einen Marktanteil von 90 % erreichen. Im Pluralismus-Szenario existiert eine Vielzahl von Antriebskonzepten nebeneinander. Hybrid- und Elektrofahrzeuge haben einen angenommenen Marktanteil im Jahr 2050 von zusammen 50 %. Die Studie kommt zum Schluss, dass die Kupfernachfrage von der Entwicklung der Elektromobilität nur wenig beeinflusst wird. Selbst im Dominanz-Szenario, welches ein starkes Wachstum an Elektrofahrzeugen unterstellt, beansprucht der Sektor im Jahr 2050 nicht mehr als 21 % der Kupfernachfrage. Bei dem moderateren Pluralismus-Szenario sind es 14 %.

Der Kupferanteil in Fahrzeugen wird jedoch unabhängig von der Antriebsform steigen. Der Anstieg ist vor allem auf den vermehrten Einsatz von kleinen Elektromotoren zurückzuführen.

Weiters ist mit einem Anstieg von Leichtbauweise zu rechnen, womit sich der Anteil von Aluminium und Kunststoffen erhöhen wird.

Schadstoffe / Gesetzliche Verbote

Seit 2004 existiert in der Europäischen Union die RoHS-Richtlinie, die den Einsatz von gefährlichen Stoffen in Elektro- und Elektronikgeräten reglementiert. Betroffen sind davon folgende Stoffe:

- Blei
- Quecksilber
- Cadmium
- sechswertiges Chrom
- Polybromierte Biphenyle (PBB)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE)

maximal 0,01 Gewichtsprozent Cadmium
maximal je 0,1 Gewichtsprozent Blei, Quecksilber, sechswertiges Chrom, PBB und PBDE.

Wertstoffe

Eisen/Stahl
Kupfer
Kunststoffe

5.4 Abschätzung der zukünftige Entwicklung des Lager– Auswirkungen auf Quantität und Qualität

Durch den stetigen Ausbau unserer Infrastruktur wachsen die Mengen an verbauten Materialien stetig an. So wächst dieses Lager pro Jahr in Österreich um rund 100 Mio. t mineralischer Baumaterialien, 3 Mio. t Stahl, 0,3 Mio. t Kunststoffe, 0,2 Mio. t Aluminium und 0,1 Mio. t Kupfer. Der monetäre Wert des derzeitigen anthropogenen Lagers beträgt rund 31 Mrd. Euro. Der Grad der Bewirtschaftung dieser Lager entscheidet, ob die derzeit noch gebundenen Materialien nach dem Ende der Nutzungsdauer Abfall oder Sekundärrohstoff werden [Daxbeck et al., 2003].

Gebäudelager
Im Bereich der Bauwerke ist zukünftig mit einem weiteren Ansteigen des Lagers zu rechnen. Die Anzahl der Haushalte bis ins Jahr 2050 wird für die Steiermark als steigend prognostiziert. Der Gebäudebestand hat seit den 1960er Jahren stetig zugenommen, bei einer Nutzungsdauer von 50-100 Jahren ist in mit einem stetigen Anstieg von Abbruchobjekten in der Zukunft zu rechnen. Es bietet sich für die Steiermark ein großes Potential für Urban Mining im Hochbau. Die Materialvielfalt nimmt bei Bauwerken ab 1945 ebenfalls stetig zu. Bezüglich zukünftigem Urban Mining sind Materialien welche nicht Sortenrein eingesetzt werden (z.B.: verklebte Fassadendämmung oder Ziegel mit inkludierter Dämmung) als problematisch anzusehen. Für ein hochwertiges Recycling sind stets sortenreine Abfallfraktionen notwendig. Es kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der stetig steigenden Materialvielfalt und Materialverbindungen zukünftig aufwendigere Trennverfahren für Baurestmassen aus dem Hochbau notwendig sind.

Netzwerke
Das Straßen und Schienennetz ist in der Steiermark bereits großflächig ausgebaut. Es sind keine größeren Netzausbauten geplant. Die Sanierung der Straßen und Schieneninfrastruktur wird laufend durchgeführt. Die Materialien im Kreislauf zu führen ist im Straßenbau sowohl bei Beton als auch bei Asphaltstraßen bereits Stand der Technik.

Im Bereich der Schieneninfrastruktur wird es aufgrund der Umstellung von Holz- auf Betonschweller zu einer Veränderung in der Materialzusammensetzung des Lagers kommen. Weiters wird die Elektrifizierung der Strecken weiter vorangetrieben, womit vor allem Beton, Kupfer, Aluminium und Stahl bei bestehenden Strecken zusätzlich verbaut werden.

Das Ver- und Entsorgungswassernetz ist in der Steiermark bereits weitestgehend ausgebaut (ca. 90 % aller Haushalte sind angeschlossen) es wird somit zu keinen wesentlichen Erwei-

terungen des Netzes kommen. Der Anteil an Rohren aus Kunststoff wird speziell beim Abwassernetz weiter zunehmen.

Das Stromnetz wird aufgrund veränderter Rahmenbedingungen (Ausbau der erneuerbaren Energien) weiter ausgebaut werden und somit Ressourcen binden. Es wird zu keinen wesentlichen Veränderungen in der Materialzusammensetzung des Lagers kommen.

Das Erdgasnetz wurde in den vergangenen 35 Jahren bereits intensiv ausgebaut, es ist jedoch mit einer weiteren Verdichtung des Netzes, insgesamt jedoch mit geringeren Wachstumsraten. Es kommt zu keinen wesentlichen Materialveränderungen.

Das Fernwärmenetz wird stetig ausgebaut und erweitert. Als Leitungsmaterial haben sich Kunststoffmantelrohre (KMR) durchgesetzt.

Im Bereich der Telekommunikation wird zukünftig vor allem in den Ausbau des Breitbandnetzes investiert. Es kommt zu einer Veränderung der eingesetzten Materialien, da verstärkt Glasfaserleitungen eingesetzt werden.

Das Lager der langlebigen Konsumgüter wird zukünftig steigen. Der Anteil von Kunststoffen wird am Gesamtlager steigen. Im Bereich der Fahrzeuge ist mit einem verstärkten Einsatz von Aluminium, Kunststoffen und Kupfer zu rechnen.

6 Fallstudie Graz Eggenberg

In Kooperation mit dem Referat Abfallwirtschaftscontrolling und Stadtvermessungsamt der Stadt Graz wird der Stadtteil „Eggenberg“ als repräsentatives Gebiet in Graz für den Test des Urban Mining-Katasters ausgewählt. Hintergrund der Entscheidung für dieses Testgebietes ist einerseits das Vorhandensein möglichst lückenloser (geocodierter) Daten/Datenbanken bzw. eine Repräsentativität aufgrund von Baustruktur und Nutzungsdurchmischung für die Stadt Graz. Daten- und Wissenslücken zu Informationen (Z.B. Nutzungsgrad, Ausbau von Infrastruktur) im Testgebiet werden durch eine Begehung und Expertenbefragungen möglichst geschlossen.

6.1 Räumliche Abgrenzung

Das Testgebiet im Stadtteil Graz-Eggenberg liegt westlich des Hauptbahnhofes ca. 2,5 km entfernt vom Stadtzentrum. Das Gebiet in der Abbildung 6-1 „grün“ markiert umfasst in etwa eine Fläche von 0,3 km² und wird von folgenden Straßenzügen abgegrenzt:

Abbildung 6-1: Testgebiet – Graz-Eggenberg; Quelle Google Maps

Abgrenzung des Testgebietes (Straßenzüge)

Nördliche Begrenzung	Georgistraße
Westliche Begrenzung	Franz-Steiner-Gasse – Karl-Morre-Straße
Südliche Begrenzung	Eckertstraße
Östliche Begrenzung	Alte Poststraße

Auf diesem Areal stehen ca. 170 Gebäude unterschiedlichster Nutzung. Nördlich der Eggenberger Allee sind vor allem Gebäude des großvolumigen Wohnbaus anzutreffen. Südlich der Eggenberger Allee befinden sich vor allem Dienstleistungsgebäude.

6.2 Flächenwidmung

Allgemeines Wohngebiet (WA)	Bebauungsdichte	0,2 bis 1,4
Kerngebiet (KG)	Bebauungsdichte	0,5 bis 2,0
Gewerbegebiet (GG)	Bebauungsdichte	0,2 bis 1,5
Freiland (Spi, öPa)		

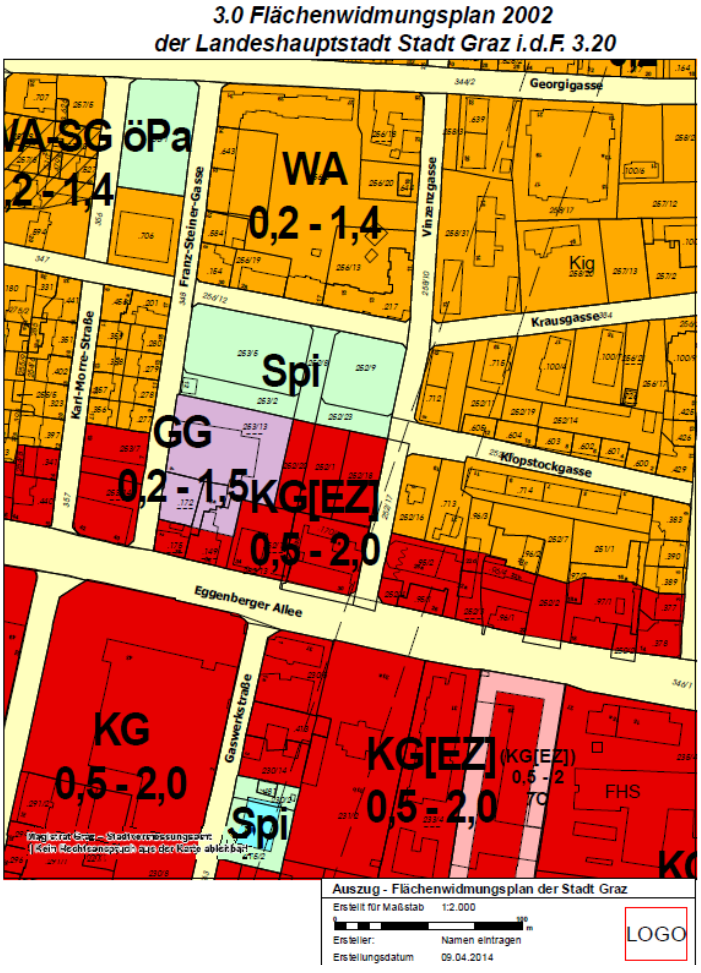


Abbildung 6-2: Flächenwidmung - Testgebiet (Ausschnitt)

6.3 Bebauung

Bebauung im Testgebiet (Auswahl): ca. 170 Gebäude (gesamt)

Abbildung 6-3: Bauwerksgrenzen im Testgebiet

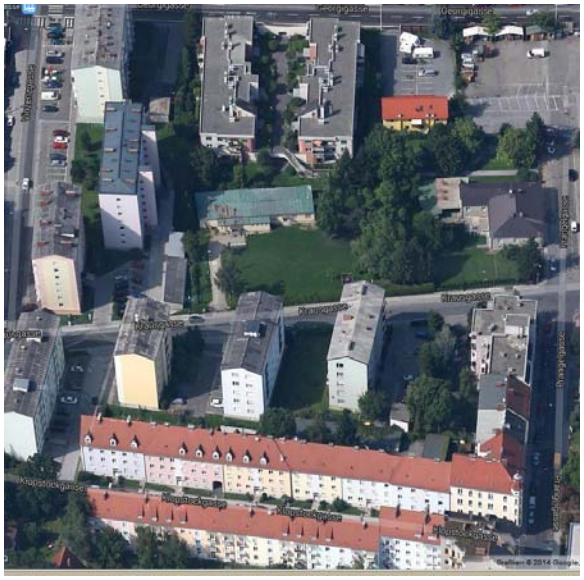


Abbildung 6-5: Großvolumiger Wohnbau

Abbildung 6-4: Nahversorger/Großmarkt

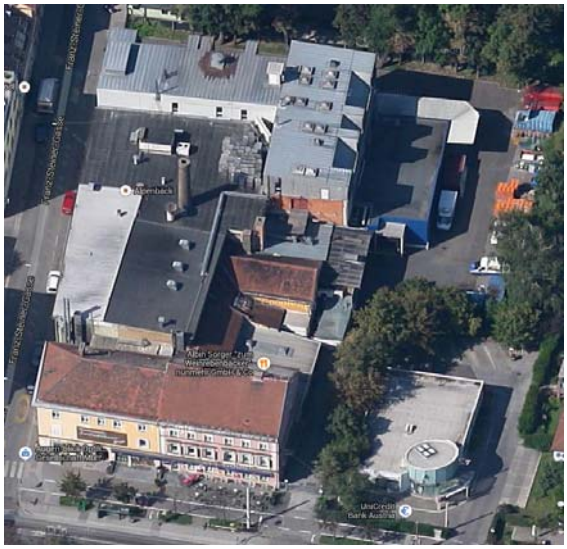


Abbildung 6-7: Gewerbegebiet (Bäckerei)

Abbildung 6-6: Dienstleistungsgebäude (hier FH Joanneum)

6.4 Altlasten

Für die Identifizierung von möglichen Altlasten im Testgebiet werden der Verdachtsflächenkataster und der Altlastenatlas des Umweltbundesamtes (UBA) herangezogen. Eine weitere Quelle stellt der Digitale Atlas der Steiermark dar. Aufgrund dieser Datenlage sind keine Altlasten oder Verdachtsflächen im Testgebiet Graz-Eggenberg zu erwarten.

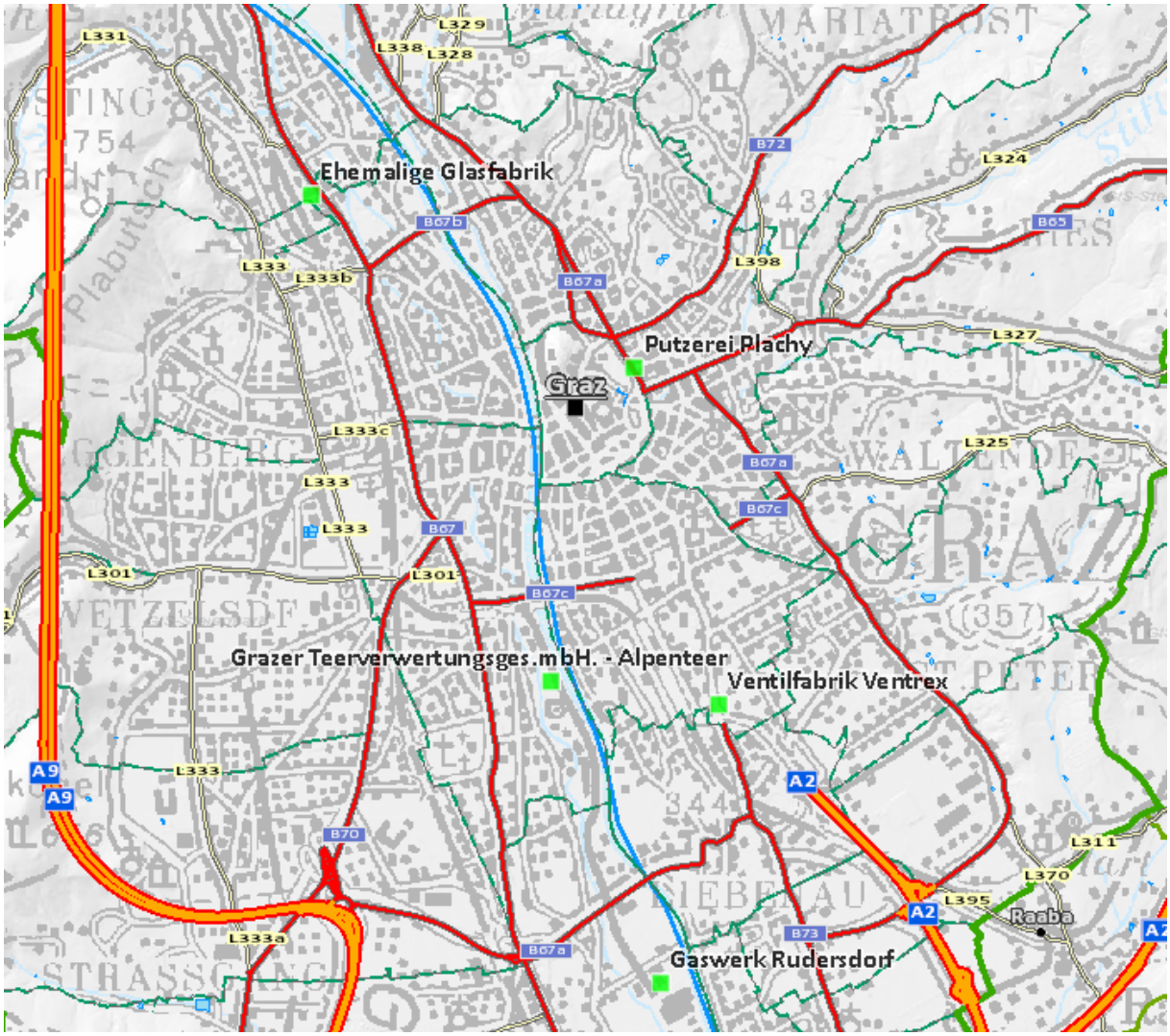


Abbildung 6-8: Altlasten im Stadtgebiet Graz; Digitaler Atlas Steiermark

6.5 Zeitliche Abgrenzung / Zeitreihen

Betrachtet wird der anthropogene Lagerbestand mit Stand 1. Juli 2014. Dies bedeutet, dass gegenwärtig in Bau befindliche Vorhaben nicht berücksichtigt werden.

6.6 Erhebungen im Testgebiet Graz Eggenberg

Zur Schließung von Wissenslücken wird vom Projektteam eine Begehung und Datenrecherche vor Ort durchgeführt.

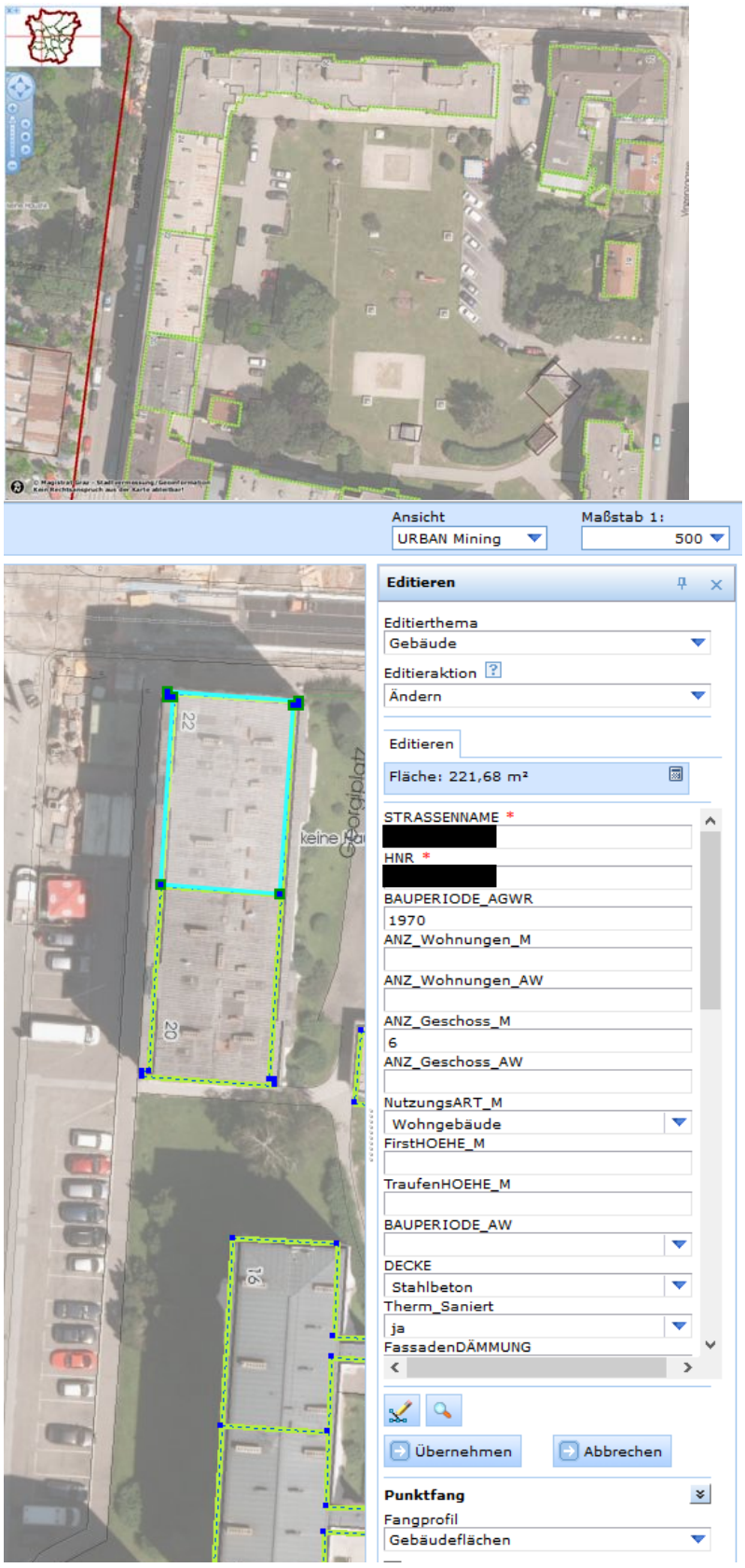
Zeitraum:
8. bis 10. September 2014

Ablauf:

1. technische Vorbereitungen in Wien (Bereitstellung von: Laptop, Messgeräten, Internetanbindung, etc.)
2. Einschulung in den Räumlichkeiten der Stadtvermessungsamtes in Graz (durch Fr. Kapfenberger-Pock und Hrn. Wieser); WebOffice → ArcGIS 10.0
3. Vorbereitung der Begehung in Graz (Tragegestell bauen); Marschroute besprechen; Vorgehensweise und Handhabung besprechen
4. Start der Begehung

Aufgenommene Parameter:

1. Kontrolle der vorhandenen Daten aus dem Kataster, Grundbuch und Adress-GWR
2. Neuerhebung von materialspezifischen Daten (Material der Fenster, Dachhaut, Regenrinne, Fallrohre, etc.)
3. Erhebung von bautechnischen Daten (Thermisch saniert, Konstruktionsweise der Wärmedämmung, etc.)
4. Fotodokumentation der Gebäude bzw. Teilen davon


Ansicht
URBAN Mining
Maßstab 1:
500
Editieren
Editierthema
Gebäude
Editieraktion
Ändern
Editieren
Fläche: 221,68 m²
STRASSENNAME *
HNR *
BAUPERIODE_AGWR
1970
ANZ_Wohnungen_M
ANZ_Wohnungen_AW
ANZ_Geschoss_M
6
ANZ_Geschoss_AW
NutzungsART_M
Wohngebäude
FirstHOEHE_M
TraufenHOEHE_M
BAUPERIODE_AW
DECKE
Stahlbeton
Therm_Saniert
ja
FassadenDÄMMUNG
Übernehmen
Abbrechen
Punktfang
Fangprofil
Gebäudeflächen

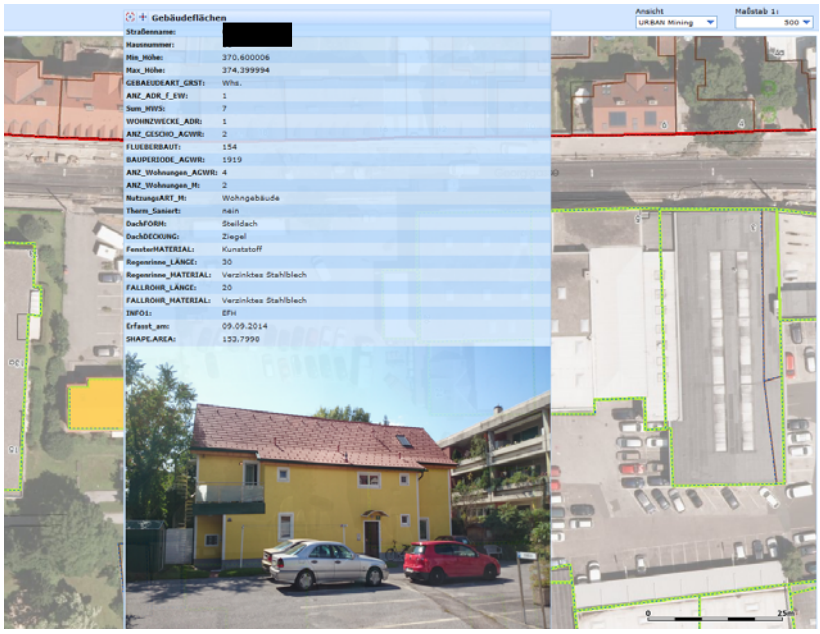
Manuell eingetragene Informationen (falls verfügbar und/oder einsehbar)

- Geschoße (oberirdisch)
  - Anzahl
- Wohungen
  - Anzahl
- Nutzungsart
  - Wohngebäude
  - Nicht-Wohngebäude
- Dachform
  - Steildach
  - Flachdach
- Dachdeckung
  - Beton
  - Faserplatten
  - Ziegel
  - Schotter
  - Dämmstoff
- Thermische Saniert
  - Ja
  - nein
- Art der Wärmedämmung
  - WDVS
  - Hinterlüftete Vorhangfassade
  - Monolithische Dämmung
- Fenster (Material des Rahmens)
  - Holz
  - Aluminium
  - Verbund
  - Kunststoff
- Regenrinne
  - Länge (lfm)
  - Material
    - Verzinktes Stahlblech
    - Kupfer
    - Aluminium
    - Kunststoff
- Fallrohr
  - Länge (lfm)
  - Material
    - Verzinktes Stahlblech
    - Kupfer
    - Aluminium
    - Kunststoff
- Glasfassade
  - Fläche (m²)

Neben Fachdaten stehen im System Felder für freie Einträge von Informationen zur Verfügung. Dies dient einerseits dazu Kommentare zu eingetragenen Werten zu speichern, ande-

rerseits können nachträgliche Nachforschungen zu Objekten bzw. deren Attributen abgelegt werden.

Zur weiteren Information und verbesserten Nachvollziehbarkeit werden Fotos von den einzelnen Objekten geschossen. Die Aufnahme erfolgt mittels Smartphone. Die Bilder werden mit dem jeweiligen Objekt direkt verknüpft und gespeichert. Für jede der 4 Himmelsrichtungen stehen im System 4 Upload-Bereiche zur Verfügung.



Die Begehung wird genutzt, um Fehleinträge zu bereinigen. Gebäude, die von der automatischen Erfassung als solche ausgewiesen wurden, können im Feld besichtigt und deren Zugehörigkeit bestimmt werden.

In Absprache mit dem Projektteam werden folgende Objekte aus dem Kataster gelöscht:

- Carports
- Luftschächte
- Auf- und Zufahrten von Tiefgaragen
- Überdachte Mistplätze

Hingegen werden weiterhin als Bauwerke geführt

- Garagen (gemauert)
- Trafo-Stationen

Die Beurteilung obliegt der Expertise der einzelnen Personen, die die Begehung durchführen. Wichtiges Kriterium ist die sind die überbaute minimale Grundfläche (ca. 20m²), die Bauweise (massiv, gemauert) und die Nutzungsart (Nicht-Wohngebäude). Gebäude, die diesen Kriterien nicht entsprechen werden gelöscht.

7 Materialzusammensetzung und Masse des Lagers Fallstudie Graz Eggenberg

Das Lager wird in die beiden Kategorien Gebäude, Netzwerke eingeteilt. Die Kategorien werden je nach Datenlage in Unterkategorien unterteilt und für diese wird die Materialzusammensetzung aus Literaturdaten bestimmt. Mithilfe der Materialzusammensetzung lässt sich mittels der Anzahl je Einheit in welcher die jeweiligen Unterkategorien im Untersuchungsgebiet vorliegen, das Lager für das Untersuchungsgebiet berechnen. Die Zusammensetzung des Lagers und die Lagerberechnung bietet die Grundlage für die GIS-basierte Visualisierung des Lagers. Die Lager Konsumgüter und Senken werden für die Fallstudie nicht berücksichtigt.

7.1 Gebäude Fallstudie Graz Eggenberg

7.1.1 Materialzusammensetzung Gebäude

Die Gebäude werden in Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude unterteilt. Es werden insgesamt 5 Kategorien nach unterschiedlichen Bauperioden abgebildet. Bezüglich der historische Materialzusammensetzung für Gebäude, unterteilt nach Bauperiode, sind in der Literatur nur sehr wenige Informationen zu finden und für Österreich ebenfalls Gültigkeit haben. Die in der Tabelle 7-1 angegebene spezifische Materialzusammensetzung je Gebäudekategorie bezieht sich auf eigene Berechnungen auf der Basis von LfU Baden-Württemberg [Rentz et al., 2001] und [Ecoinvent Centre, 2007]. Die Daten sind in Tonnen je Bruttorauminhalt (BRI) angeben, da für das Testgebiet die Volumen je Gebäude abzüglich des Dachstuhls vorliegen.

Tabelle 7-1: Spezifische Materialzusammensetzung je Gebäudekategorie in [t/BRI]

Gebäudeart	Baujahr Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/m³ BRI]	Keramische Baustoffe[t/m³ BRI]	Mineralische Dämmstoffe [t/BRI]	Holz [t/BRI]	Eisen/Stahl [t/BRI]	Kupfer [t/BRI]	Aluminium [t/BRI]	PVC [t/BRI]
Wohngebäude [t/m³BRI]	vor 1919	0,125	0,214	0,001	0,046	0,007	0,0002	0,0002	0,002
	1919 bis 1945	0,116	0,224	0,001	0,046	0,005	0,0003	0,0003	0,002
	1945 bis 1980	0,137	0,206	0,001	0,046	0,002	0,0005	0,0005	0,002
	1981 bis 2000	0,284	0,178	0,001	0,046	0,002	0,0005	0,0005	0,002
	nach 2000	0,284	0,178	0,001	0,046	0,002	0,0005	0,0005	0,002
Nicht Wohngebäude	vor 1919	0,284	0,178	0,001	0,046	0,005	0,0003	0,0003	0,002
	1919 bis 1945	0,284	0,178	0,001	0,046	0,005	0,0003	0,0003	0,002
	1945 bis 1980	0,284	0,178	0,001	0,046	0,005	0,0003	0,0003	0,002
	1981 bis 2000	0,284	0,178	0,001	0,046	0,005	0,0003	0,0003	0,002

Gebäudeart	Baujahr Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/m³ BRI]	Keramische Baustoffe[t/m³ BRI]	Mineralische Dämmstoffe [t/BRI]	Holz [t/BRI]	Eisen/Stahl [t/BRI]	Kupfer [t/BRI]	Aluminium [t/BRI]	PVC [t/BRI]
	nach 2000	0,284	0,178	0,001	0,046	0,005	0,0003	0,0003	0,002
Quelle	Eigene Berechnung auf Basis von LfU Baden-Württemberg [Rentz et al., 2001] und [Ecoinvent Centre, 2007]								

7.1.2 Gebäudelager im Testgebiet

Im Testgebiet befinden sich insgesamt ca. 170 Gebäude. Das Volumen wurde durch das Stadtvermessungsamt Graz durch die Digitalisierung photogrammetrischer Daten der Gebäude bestimmt. Die 170 Gebäude haben insgesamt einen Bruttorauminhalt von ca. 740.000 m³, dieser Wert bezieht sich auf das Volumen von der Geländekante bis zur Traufe (ohne Volumen des Dachstuhls und Kellers). Der Anteil der Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude ist annähernd gleich groß.

Das gesamte Gebäude-Lager für das Testgebiet entspricht in etwa 346.000 t. Der Hauptteil entfällt mit ca. 48 % auf zementgebundene Baustoffe und keramische Baustoffe (ca. 41 %) gefolgt von Holz mit ca. 10 %. Die Detailergebnisse des Lagers für das Testgebiet sind in der Tabelle 7-2 angeführt.

Tabelle 7-2: Lager der Gebäudeinfrastruktur im Testgebiet in Tonnen

Gebäudeart	Baujahr Kategorie	Brutto Raum Inhalt je Gebäudekategorie [BRI]	Zementgebundene Baustoffe [t]	Keramische Baustoffe[t]	Mineralische Dämmstoffe [t]	Holz [t]	Eisen/Stahl [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]	PVC [t]
Wohngebäude [t]	vor 1919	81.726	10.216	17.489	106	3.782	538	17	17	151
	1919 bis 1945	11.153	1.294	2.498	14	516	60	3	3	21
	1945 bis 1980	199.741	27.365	41.147	260	9.243	419	90	90	370
	1981 bis 2000	16.396	4.659	2.919	21	759	34	7	7	30
	ab 2000	54.758	15.561	9.747	71	2.534	115	25	25	101
	Σ WG	**363.774**	**59.095**	**73.800**	**473**	**16.834**	**1.167**	**142**	**142**	**673**

Gebäudeart	Baujahr Kategorie	Brutto Raum Inhalt je Gebäudekategorie [BRI]	Zementgebundene Baustoffe [t]	Keramische Baustoffe[t]	Mineralische Dämmstoffe [t]	Holz [t]	Eisen/Stahl [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]	PVC [t]
Nicht Wohngebäude [t]	vor 1919	6.310	1.793	1.123	8	292	34	2	2	12
	1919 bis 1945	21.445	6.094	3.817	28	992	116	6	6	40
	1945 bis 1980	109.150	31.018	19.429	142	5.051	589	33	33	202
	1981 bis 2000	58.713	16.685	10.451	76	2.717	317	18	18	109
	ab 2000	177.742	50.511	31.638	231	8.225	960	53	53	329
	Σ NWG	**373.360**	**106.102**	**66.458**	**485**	**17.277**	**2.016**	**112**	**112**	**691**
Σ Gebäudelager		**737.134**	**165.196**	**140.258**	**958**	**34.111**	**3.183**	**254**	**254**	**1.364**

7.2 Netzwerke Fallstudie Graz Eggenberg

Das Lager im Bestand Netzwerke umfasst lineare Bauwerke und Leitungen. Berücksichtigt werden Transportnetzwerke (Straße und Schiene), Energieversorgung, Wasserver- und entsorgung. Die Unsicherheiten betreffend Angaben über die Größe und Zusammensetzung der Lager im Bereich Netzwerke sind groß und sind in fehlenden Literaturangaben begründet. Weiterer Forschungsbedarf ist in diesem Bereich gegeben.

7.2.1 Straßennetz

Die Hierarchie/Rangordnung des Straßennetzes in Österreich stellt sich wie folgt dar:

- Bundesstraße (Autobahn und Schnellstraße)
- Landesstraße
- Gemeindestraße

Die Daten zum Straßennetz liegen für das Testgebiet in Form von Polygondaten vor. Es wird eine Materialabschätzung je m² Straße berechnet und mit der Anzahl der verzeichneten m² im Testgebiet multipliziert. Die spezifische Materialzusammensetzung je Straßenkategorie pro m² ist in der Tabelle 7-3 angeführt. Die Materialzusammensetzung basiert auf eigenen Berechnungen auf der Basis von [Steger et al., 2011, 11ff]. In der Abbildung 7-1 ist das Straßennetz des Testgebietes abgebildet.

Tabelle 7-3: Spezifische Materialzusammensetzung in [t/m²] je Straßenkategorie

Straßenkategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/m²]	Stein/Kies/Sand [t/m²]	Erdölbasierte Baustoffe [t/m²]
Bundesstraße	0,330	1,451	0,020
Landes- und Gemeindestraße	0,004	1,666	0,024
Quellenangabe: Eigene Berechnung auf Basis von [Steger et al., 2011, 11ff]			

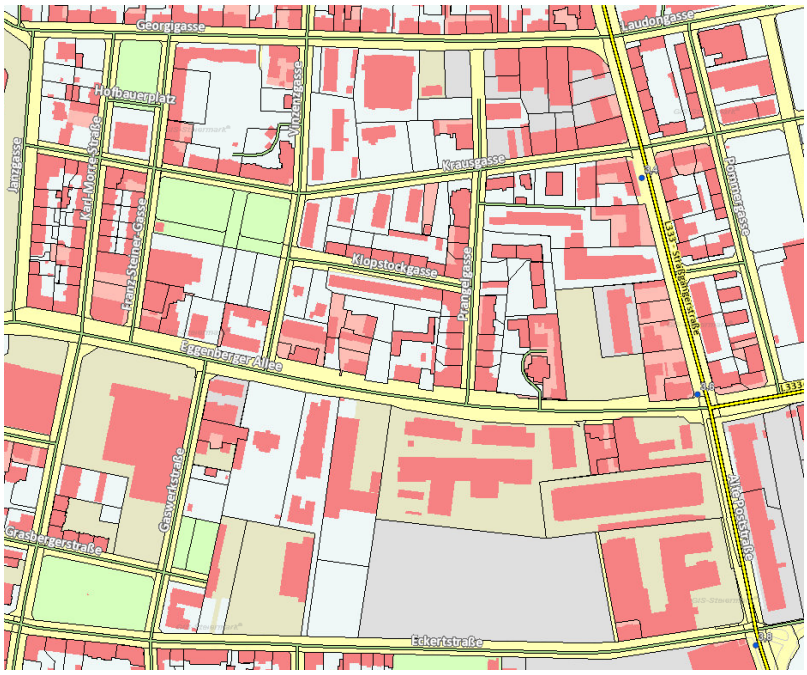


Abbildung 7-1: Straßennetz im Testgebiet Graz-Eggenberg

Im Testgebiet verlaufen ausschließlich Landes und Gemeindestraßen. Insgesamt befinden sich im Testgebiet 57.630 m² Straßenflächen. Von dieser Fläche ist die Straßenbahntrasse abgezogen, damit es nicht zu Doppelzählung kommt, da in der Materialzusammensetzung der Straßenbahntrasse die Betondeckplatten inkludiert sind. Das Lager der Straßeninfrastruktur beträgt im Testgebiet ca. 98.000 Tonnen, die Tabelle 7-4 stellt das Lager je Materialkategorie dar.

Tabelle 7-4: Lager der Straßeninfrastruktur im Testgebiet in Tonnen

Straßenkategorie	m² im Testgebiet	Zementgebundene Baustoffe [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]
Landes- und Gemeindestraße	57630	230	96.000	1.436
Summe:		97.625 t		

7.2.2 Schienennetz Eisenbahn und Straßenbahn

Im Testgebiet verläuft keine Eisenbahntrasse, sondern ausschließlich Straßenbahntrassen. Für die Zusammensetzung der Straßenbahntrasse, werden Daten aus [Gassner et al., 2014, 27] übernommen. In der zitierten Studie wird der Ökologische Fußabdruck der Wiener Linien berechnet. Der Materialeinsatz ist in der Tabelle 7-5 ausgeführt. Die Spurweite der Straßenbahn beträgt 1,4535 m, für die gesamte Breite gibt der Straßenbahnbetreiber Holding Graz Linien 2,635 m an. Die Daten zum Straßenbahnnetz liegen für das Testgebiet in Form von Vektordaten vor. Die Gesamtgleislänge der Straßenbahn im Testgebiet beträgt laut Betriebsangaben der Graz Holding Linien 3077 m. Mit den Güterwerten aus Tabelle 7-5 ergeben sich die verbauten Güter in Tabelle 7-6. Insgesamt beträgt das Lager für den Straßenbahnoberbau im Testgebiet etwa 14.000 Tonnen.

Tabelle 7-5: Gütereinsatz für einen Laufmeter Straßenbahnoberbau

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/lfm]	Stein/Kies/Sand [t/lfm]	Erdölbasierte Baustoffe [t/lfm]	Kupfer [t/lfm]
Straßenbahn	4,522	0,279	0,012	0,001
Quellenangabe: [Gassner et al., 2014, 27]				

Tabelle 7-6: Lager der Straßenbahn Infrastruktur im Testgebiet in Tonnen

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Kupfer [t]
Straßenbahn	13.915	858	38	2
Summe:	14.813 t			

7.2.3 Telekommunikation

Es gibt kaum valide Daten über die Materialzusammensetzung der Telekommunikationsinfrastruktur. Aus diesem Grund wird der Anteil des Kupfers an der Infrastruktur von [Wittmer, 2006] übernommen. Es wird angenommen, dass sich der Anteil von PVC (Mantel bzw. Isolierung) zu Kupfer (Leiter) 30 : 70 verhält. Der Gütereinsatz für Stein/Kies/Sand (als technisches Schüttmaterial) wird anhand der Trassenbreite abgeschätzt [Steger et al., 2011]. Die spezifische Materialzusammensetzung der Telekommunikationsleitungen je Kategorie ist in Tabelle 7-7 angeführt.

Tabelle 7-7: Gütereinsatz für einen Laufmeter Straßenbahnoberbau

Kategorie	**Stein/Kies/Sand [t/km]**	**Kupfer [t/km]**	**PVC [t/km]**	**Trassenbreit [in m]**
Anschlussleitung	150	0,45	1,04	0,25
Fern- und Regionalleitung	201	4,45	10,4	0,30
Quellen	Eigene Berechnung	[Wittmer, 2006]	Eigene Berechnung	Eigene Berechnung

Die Basisdaten zum Telekommunikationsnetz liegen für das Testgebiet in Form von Vektordaten vor. Es gibt zwei unterschiedliche Netzanbieter (Post/UPC) für TV und Telekommunikation, allerdings ohne ergänzende Attribute zu Leitungshierarchie, Material, Ausführung oder Bauperiode. Davon abgeleitet ist keine Unterscheidung in unterschiedliche Netzkategorien möglich. Es wird daher angenommen, dass es sich gänzlich um Anschlussleitungen handelt. Insgesamt sind im Testgebiet 5.920 m Telekommunikationsleitungen verbaut. Die Abschätzung des Lagers des Telekommunikationsnetzes im Testgebiet ist in der Tabelle 7-8 angegeben. Das Gesamtlager für das Telekommunikationsnetzwerk beträgt im Testgebiet etwa 900 Tonnen, davon sind 2,6 t Kupfer.

Tabelle 7-8: Lager der Telekommunikationsinfrastruktur im Testgebiet in Tonnen

Kategorie	Stein/Kies/Sand [t]	Kupfer [t]	PVC [t]
Anschlussleitung	888	2,64	6,16
Summe:	**897**		

7.2.4 Wasserversorgung

Die Leitungsinfrastruktur der Wasserversorgung unterteilt sich in Versorgungsleitungen und Anschlussleitungen. Anschlussleitungen haben einen Nenndurchmesser von DN 100. Im Bereich der Versorgungsleitungen gibt es eine breite Spannweite, von DN 150 bis hin zu DN 800 Nenndurchmesser. Die Materialzusammensetzung wird anhand von [Steger et al., 2011] berechnet, die Daten werden mit Werten aus [Ecoinvent Centre, 2007] aus dem Prozess „water supply network/km/CH/I“ ergänzt. Die durchschnittliche Trassenbreite wird von [Steger et al., 2011] übernommen und beträgt für Versorgungsleitungen 1 m und für Anschlussleitungen 0,5 m. Die spezifische Materialzusammensetzung des Wasserversorgungsnetzwerkes ist in der Tabelle 7-9 angeführt.

Tabelle 7-9: Gütereinsatz pro [km] Wasserversorgungsnetzwerk

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]	Kupfer [t/km]	Zink [t/km]	PVC [t/km]
Versorgungsleitungen	9,372	743	1,103	21,278	0,002	0,146	
Anschlussleitungen	0,384	484	00216	10,076		0,012	0,932
Quellen	Eigene Berechnung auf der Basis von [Steger et al., 2011] und [Ecoinvent Centre, 2007]						

Die Daten zum Wasserversorgungsnetz liegen für das Testgebiet in Form von Vektordaten vor. Insgesamt sind im Testgebiet 7.030 m Wasserversorgungsleitungen verbaut. Das Lei-

tungsnetz unterteilt sich in 69 % Versorgungsleitungen und 31 % Anschlussleitungen. Die Abschätzung des Lagers der Wasserversorgungsinfrastruktur im Testgebiet ist in der Tabelle 7-10 angegeben. Das Gesamtlager für die Wasserversorgungsinfrastruktur beträgt im Testgebiet knapp 5.000 Tonnen, wobei mehr als 95 % auf Sand, Kies und Stein entfallen.

Tabelle 7-10: Lager der Wasserversorgungsinfrastruktur im Testgebiet in Tonnen

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Eisen/Stahl [t]	Kupfer [t]	Zink [t]	PVC [t]
Versorgungsleitungen	45,19	3.582,75	5,32	102,60	0,01	0,70	0,00
Anschlussleitungen	0,85	1.068,67	0,48	22,25	0,00	0,03	2,06
Summe	**46,04**	**4.651,42**	**5,80**	**124,85**	**0,01**	**0,73**	**2,06**
Summe insgesamt	**4.830 t**						

7.2.5 Abwasserentsorgung

Die Materialzusammensetzung der Abwasserinfrastruktur unterscheidet sich bzgl. der eingesetzten Dimensionen. Insgesamt werden im Projekt fünf unterschiedliche Dimensionskategorien herangezogen und die Leitungen im Testgebiet nach dieser Kategorie eingeteilt und davon das Lager berechnet. Die Materialzusammensetzung wird auf Basis von [Steger et al., 2011] berechnet. Die Trassenbreite bezieht sich auf die Rohrleitung inklusive des umgebenden Schotterbettes und beruht auf eigenen Abschätzungen. Die Materialzusammensetzung je km Leitungsnetz der unterschiedlichen Dimensionskategorien ist in der Tabelle 7-11 angeführt.

Tabelle 7-11: Gütereinsatz für einen km Abwasserentsorgungsversnetzwerk und die Trassenbreite je Dimensionierung

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	keramische Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]	Trassenbreit [in m]
< DN 300	68,2		1006,8	1,1	0,9	0,45
DN 300 bis DN 400	216,1		1232,6	1,1	4,6	0,55
DN 400 bis DN 600	356,6		1587,3	1,1	8,2	0,70
DN 600 bis DN 800	725,2	114,2	2530,0	0,5	10,0	0,90

>DN 800	1383,0	315,5	3469,2	0,4	12,8	1,20
Quelle	Eigene Berechnung auf Basis von [Steger et al., 2011]					

Die Daten zum Abwasserentsorgung liegen für das Testgebiet in Form von Vektordaten vor. Insgesamt sind im Testgebiet 4.144 m Abwasserleitungen verbaut. Die Länge je Kategorie und die daraus resultierenden Lagerabschätzung sind in der Tabelle 7-12 zusammengefasst. Das Gesamtlager im Bereich Abwasserentsorgung entspricht etwa 14.700 Tonnen.

Tabelle 7-12: Lager der Abwasserentsorgungsinfrastruktur im Testgebiet in Tonnen und die Trassenlänge je Dimensionierung

Kategorie	Meter im Testgebiet [m]	Zementgebundene Baustoffe [t]	keramische Baustoffe [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Eisen/Stahl [t]
< DN 300	643	43,87		647,39	0,69	0,59
DN 300 bis DN 400	425	91,84		523,84	0,46	1,95
DN 400 bis DN 600	21	7,49		33,33	0,02	0,17
DN 600 bis DN 800	1.350	979,06	154,14	3.415,50	0,65	13,50
>DN 800	1.705	2.357,94	537,93	5.914,95	0,63	21,82
Summe	**4.144**	**3.480**	**692**	**10.535**	**2**	**38**
Summe insgesamt	**14.747 t**					

7.2.6 Energieversorgung

7.2.6.1 Stromnetz

Für die Lagerberechnung des Stromnetzes im Testgebiet werden Daten von [Steger et al., 2011] und aus der Ecoinvent-Datenbank herangezogen. Die Werte beziehen sich auf das Stromnetz der Schweiz und Deutschland. Aufgrund der vermuteten ähnlichen Siedlungsstruktur können diese Werte für die Steiermark übernommen werden. Das Stromnetz wird anhand der Spannung in drei Kategorien unterteilt, das Hochspannungsnetz (220 bis 380 kV), Mittelspannungsnetz (1 bis 110 kV) und Niederspannungsnetz (< 1 kV). Für die Materialzusammensetzung der Leitungen und der Trassenführung ist zwischen Erdleitungen und Freileitungen zu unterscheiden. Die Materialzusammensetzung und die Trassenbreite je Spannungskategorie und mit der Unterteilung zwischen Erdleitungen und Freileitung ist in der Tabelle 7-13 angegeben.

Tabelle 7-13: Gütereinsatz für einen km Stromnetzwerke und die Trassenbreite je Dimensionierung

Leitungsart	Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	Holz [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]	Kupfer [t/km]	Aluminium [t/km]	Blei [t/km]	PVC [t/km]	Trassenbreit [in m]
Freileitung in [t/km]	< 1 kV	4,200		1,63	0,40	1,12	2,0	0,77	0,224	0,617	1,00
	1 bis 110 kV	4,200		1,70	0,40	17,17	4,5	0,77	0,363	0,136	8,00
	220 bis 380 kV	210,000				31,08		2,91	0,134	0,067	30
Erdkabel in [t/km]	< 1 kV		235		0,10	0,40	2,2	1,70	0,300	0,90	0,35
	1 bis 110 kV		300		0,60	1,10	2,0	0,40	0,800	0,60	0,40
	220 bis 380 kV		600		1,00	2,00	6,8		2,000	1,00	0,80
Quelle	Eigene Berechnung auf Basis von [Steger et al., 2011] und [Ecoinvent Centre, 2007]										

Die Daten für die Stromentsorgung liegen für das Testgebiet in Form von Vektordaten vor. Es liegt keine Unterscheidung zwischen den beschrieben Daten in den Daten des Leitungskatasters vor. Die Leitungen wurden durch die Ressourcen Management Agentur (RMA) im Zuge von Begehungen und anhand des Netzplanes den genannten Kategorien eingeteilt. Im Leitungskataster sind die Stromzuleitungen der Straßenbeleuchtung nicht erfasst. Diese sind im Vergleich zu den restlichen Stromleitungen vernachlässigbar und werden daher nicht berücksichtigt. Insgesamt sind im Testgebiet 14.223 m Stromleitungen verlegt. Das Lager beträgt insgesamt ca. 3,4 Tausend Tonnen, der überwiegende Teil (97 %) entfällt auch Stein/Kies/Sand. In der Tabelle 7-15 ist das Lager der Stromleitungsnetze im Testgebiet je Leitungsdimension und die Länge je Leitungsdimension angegeben.

Tabelle 7-14: Lager der Stromleitungsinfrastruktur im Testgebiet in Tonnen und die Trassenlänge je Dimensionierung

Leitungsart	Kategorie	Meter im Testgebiet [m]	Zementgebundene Baustoffe [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Holz [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Eisen/Stahl [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]	Blei [t]	PVC [t]
Freileitung in [t/km]	< 1 kV	1.296	5	0	2	1	1	3	0	1	1
	1 bis 110 kV	0									
	220 bis 380 kV	0									
Erdkabel in [t/km]	< 1 kV	9.098	0	2.138		1	4	20	3	15	8
	1 bis 110 kV	3.829	0	1.149		2	4	8	3	2	2
	220 bis 380 kV	0									

7.2.6.2 Fernwärme

Für das Fernwärmenetz werden Daten von [Steger et al., 2011] herangezogen. Die Trassenbreite basiert auf eigenen Annahmen. Das Fernwärmenetz wird in vier unterschiedliche Leitungsdimensionen unterschieden. Die Materialzusammensetzung je Leitungskategorie und die dazugehörige Trassenbreite ist in der Tabelle 7-15 zusammengefasst.

Tabelle 7-15: Gütereinsatz für einen km Fernwärmenetzwerks und die Trassenbreite je Dimensionierung

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	mineral. Dämmstoffe [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]	Trassenbreit [in m]
<65		100,00		3,00	3,00	0,25
80-125		200,00		4,00	9,00	0,35
150-200		300,00		7,00	14,00	0,45
Durchschnitt FW Leitung > über 200 ND	40,48	403,15	2,45	4,66	35,26	0,55
Quelle	Eigene Berechnung auf Basis von [Steger et al., 2011]					

Die Daten zum Fernwärmenetz liegen für das Testgebiet in Form von Vektordaten vor. Es liegt keine Unterscheidung zwischen den beschriebenen Daten in den Daten des Leitungskatasters vor. Es wird die aufgrund der Netzstruktur die Annahme getroffen, dass es sich bei den Leitungen im Testgebiet um Zuleitungen mit einem Durchmesser von 80-125 ND handelt. Insgesamt sind 2.806 m Fernwärmeleitungen im Testgebiet verbaut, insgesamt berechnet sich ein Lager von ca. 600 t welches sich wie in Tabelle 7-16 angeführt aufteilt.

Tabelle 7-16: Lager der Fernwärmeleitung im Testgebiet in Tonnen

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t]	Stein/Kies/ Sand [t]	mineral. Dämmstoffe [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Eisen/Stahl [t]	**Summe** [t]
80-125		561		11	25	600

7.2.6.3 Gasnetz

Für die Materialzusammensetzung des Gasnetzes werden Daten aus der Ecoinvent-Datenbank herangezogen. Die Werte beziehen sich auf das Gasnetz der Schweiz. Aufgrund einer vergleichbaren Siedlungsstruktur und Bauweise können diese Werte für die Steiermark übernommen werden. Auf Unterschiede in Haupt- und Nebenleitungen kann aufgrund der Komplexität nicht eingegangen werden bzw. stehen die dafür notwendigen Daten nicht zur Verfügung. Die Daten bezüglich des Sandbettes der Leitungen wurden von [Steger et al., 2011] übernommen. In der Tabelle 7-17 ist die Materialzusammensetzung aus [Ecoinvent Centre, 2007] für den Prozess „Pipeline, natural gas, low pressure distribution network/CH/I U“ angegeben, in dieser Studie wird der Energieverbrauch für die Errichtung und der Transport nicht berücksichtigt. Dieser Prozess beinhaltet die Materialien für die Infrastruktur der Versorgung mit dem Energieträger Gas. Die Daten in der Tabelle 7-17 beziehen sich auf einen Kilometer Gasnetz.

Tabelle 7-17: Materialzusammensetzung Gasnetz auf 1 km Länge und die Trassenbreite je Dimensionierung

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t/km]	Stein/Kies/Sand [t/km]	Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Eisen/Stahl [t/km]	Trassenbreit [in m]
Gasnetz	6,552	600	6,36	11,54	0,40
Quelle	[Ecoinvent Centre, 2007] und [Steger et al., 2011]				

Die Abbildung 7-2 zeit das Gasversorgungsnetz des Testgebietes Graz Eggenberg.

Abbildung 7-2: Stromnetz im Testgebiet Graz-Eggenberg

Die Daten der Gasversorgung liegen für das Testgebiet in Form von Vektordaten vor. Insgesamt sind 4.593 m Gasleitungen im Testgebiet verbaut, es ergibt ein Lager von ca. 2.800 Tonnen welches sich wie in Tabelle 7-18 angeführt aufteilt.

Tabelle 7-18: Materialzusammensetzung Gasnetz auf 1 km Länge und die Trassenbreite je Dimensionierung

Kategorie	Zementgebundene Baustoffe [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Eisen/Stahl [t]	Summe [t]
Gasnetz	30,09	2.755,80	29,21	53,00	**2.868**

8 Lagerbestand und Lagerbewertung

8.1 Lagerbestand – Fallstudie Graz Eggenberg

Das gesamte Lager der verbauten Infrastruktur im etwa 0,3 km² umfassenden Testgebiet beträgt etwa 485.000 Tonnen. Davon entfallen etwa 70 % auf Gebäude und 30 % auf die Netzinfrastruktur. Die Abbildung 8-1 zeigt die Gegenüberstellung der beiden Lager und die unterschiedliche Materialzusammensetzung. In Kapitel 8.1.1 wird das Gebäudelager und in Kapitel 8.1.2 das Netzwerklager genauer dargestellt. Die spezifische Materialzusammensetzung je Lagerkategorie wird in Kapitel 7 im Detail beschrieben.

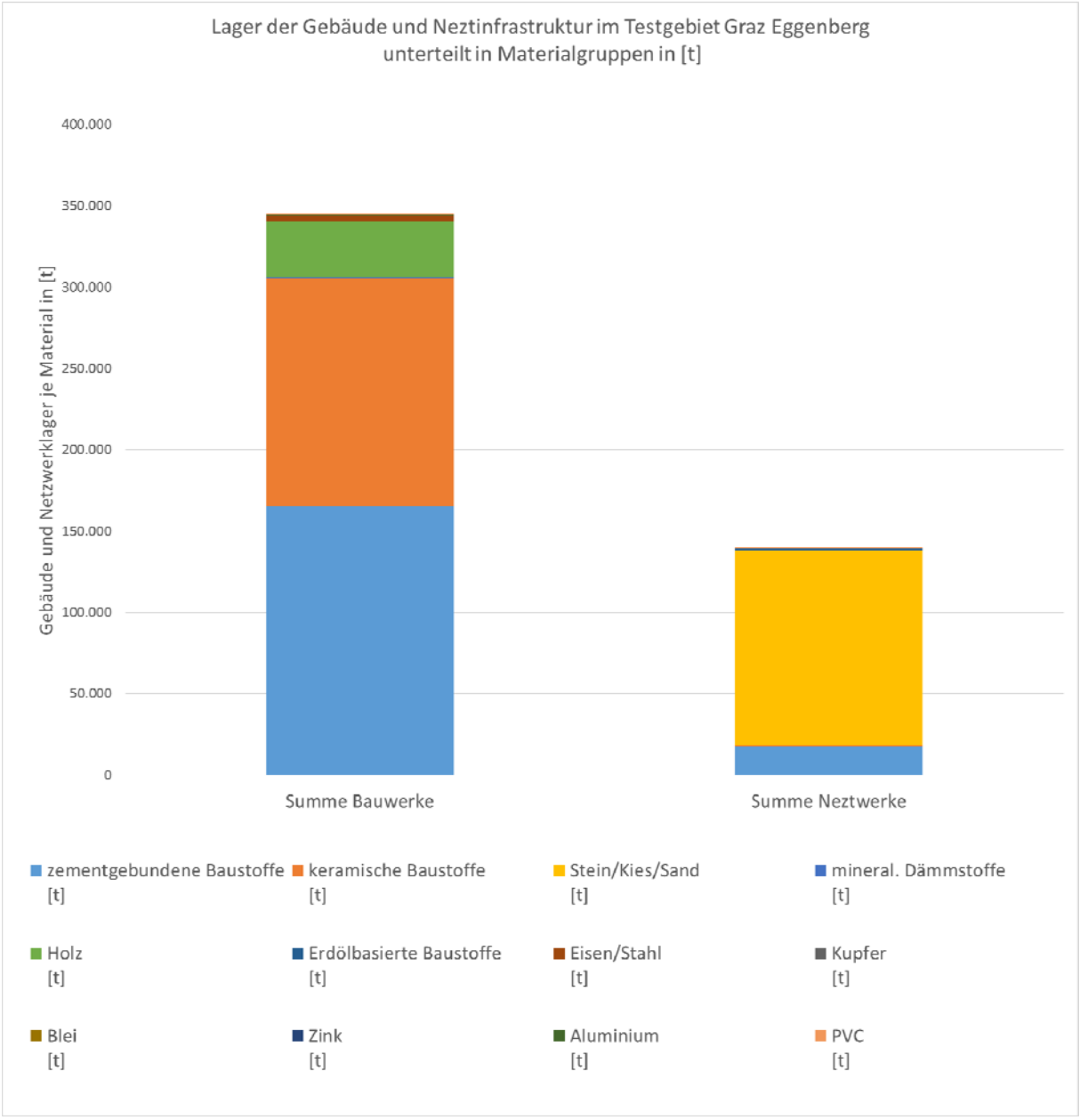


Abbildung 8-1: Lagerbestand im Testgebiet Graz Eggenberg unterteilt in Bauwerke und Netzwerke je Materialgruppen in [t]

8.1.1 Gebäude Graz Eggenberg

Das Lager der Gebäude im Testgebiet beträgt insgesamt etwa 346.000 Tonnen. Mit einem Anteil von insgesamt etwa 89 % dominiert die Kategorie „inertes Material“ die Zusammensetzung des Lagers. In der Abbildung 8-2 wird das Lager in die untersuchten Materialkategorien (Inertes Material, Organisches Material, Metalle und Schadstoffe) unterteilt.

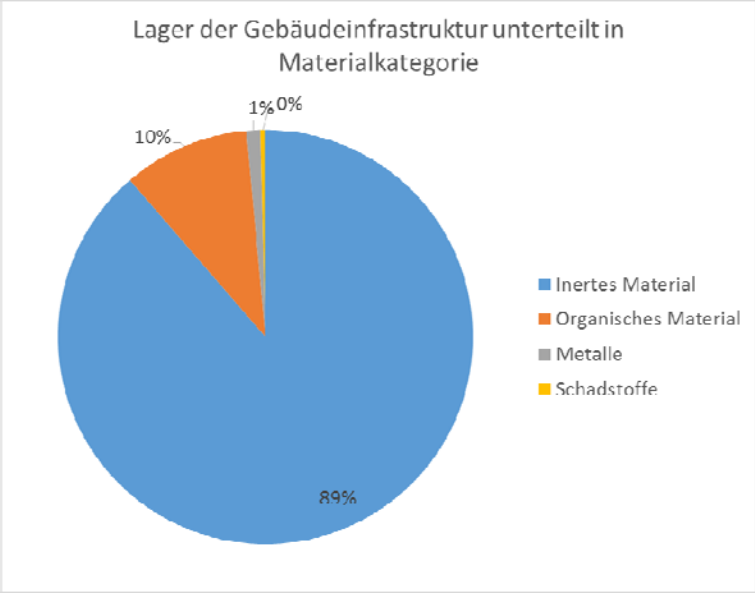


Abbildung 8-2: Lager der Gebäude im Testgebiet unterteilt in Materialkategorien

Das Verhältnis der Wohngebäude zu Nicht Wohngebäude beträgt in Bezug auf das Volumen etwa je 50 %. Der Lagerbestand der Nicht Wohngebäude übersteigt jene der Wohngebäude im Testgebiet um etwa 10 %. In beiden Kategorien dominieren die Materialgruppen: zementgebundene Baustoffe und keramische Baustoffe. Die Verteilung der untersuchten Materialgruppen je Gebäudekategorie ist in der Abbildung 8-4 dargestellt. Die Tabelle 8-1 untergliedert das Gebäudelager in Gebäudekategorien und Materialien.

Tabelle 8-1: Gebäudelager des Testgebietes unterteilt je Gebäudekategorie und Material in Tonnen

Gebäudekategorien	**BRI berechnet durch das Stadtvermessungsamt [BRI]**	**Lager in Tonnen je Material**							
		Zementgebundene Baustoffe [t]	Keramische Baustoffe [t]	mineral. Dämmstoffe [t]	Holz [t]	Eisen/ Stahl [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]	PVC [t]
Wohngebäude vor 1919	81.726	10.216	17.489	106	3.782	538	17	17	151
Wohngebäude 1919 bis	11.153	1.294	2.498	14	516	60	3	3	21

Gebäudekategorien	BRI berechnet durch das Stadtvermessungsamt [BRI]	Lager in Tonnen je Material							
		Zementgebundene Baustoffe [t]	Keramische Baustoffe [t]	mineral. Dämmstoffe [t]	Holz [t]	Eisen/ Stahl [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]	PVC [t]
1945									
Wohngebäude 1945 bis 1980	199.741	27.365	41.147	260	9.243	419	90	90	370
Wohngebäude 1981 bis 2000	16.396	4.659	2.919	21	759	34	7	7	30
Wohngebäude nach 2000	54.758	15.561	9.747	71	2.534	115	25	25	101
Summe Wohngebäude	**363.774**	**59.095**	**73.800**	**473**	**16.834**	**1.167**	**142**	**142**	**673**
Nicht Wohngebäude vor 1919	6.310	1.793	1.123	8	292	34	2	2	12
Nicht Wohngebäude 1919 bis 1945	21.445	6.094	3.817	28	992	116	6	6	40
Nicht Wohngebäude 1945 bis 1980	109.150	31.018	19.429	142	5.051	589	33	33	202
Nicht Wohngebäude 1981 bis 2000	58.713	16.685	10.451	76	2.717	317	18	18	109
Nicht Wohngebäude nach 2000	177.742	50.511	31.638	231	8.225	960	53	53	329
Summe Nicht Wohngebäude	**373.360**	**106.102**	**66.458**	**485**	**17.277**	**2.016**	**112**	**112**	**691**
Summe Bauwerke	**232.500**	**165.196**	**140.258**	**958**	**34.111**	**3.183**	**254**	**254**	**1.364**

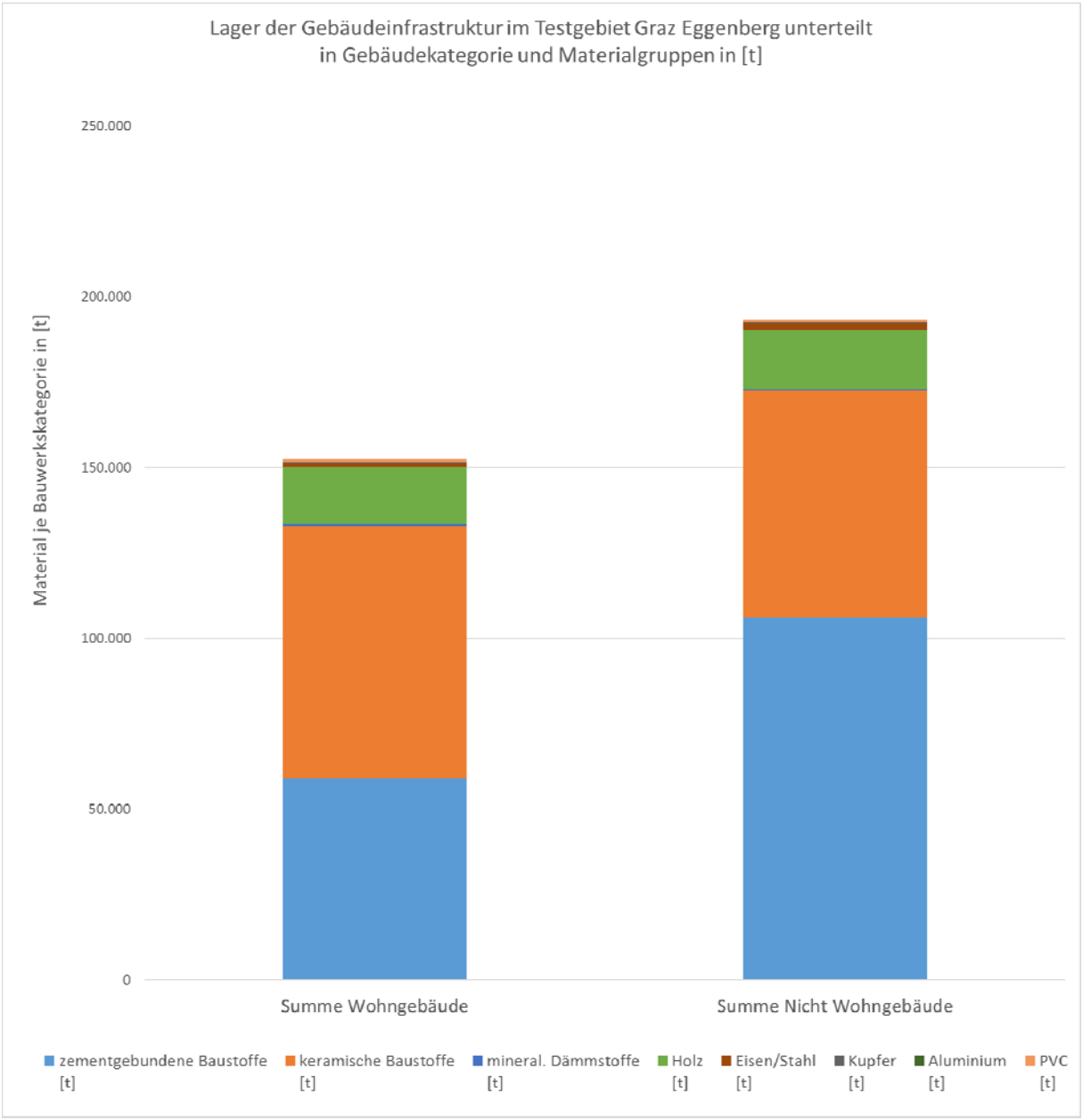


Abbildung 8-3: Lagerbestand der Bauwerke im Testgebiet Graz Eggenberg je Materialgruppen in [t]

8.1.2 Netzwerke Graz Eggenberg

Das Lager der Netzinfrastruktur im Testgebiet beträgt insgesamt etwa 140.000 Tonnen. Mit insgesamt etwa 99 % dominiert Inertes Material die Zusammensetzung des Lagers. Das Inerte Material wird im Speziellen für Schüttungen eingesetzt. Die Abbildung 8-5 zeigt das Lager je Netzwerkskategorie unterteilt je eingesetztem Material. Das bedeutendste Lager der Netzinfrastruktur stellt das Lager der Straßeninfrastruktur dar. Auf dieses entfallen etwa 70 %. Mit der Ausnahme der Netzwerkskategorien Bahn und Telekommunikation dominiert

in allen Netzwerkskategorien die Materialgruppe Stein/Kies/Sand. Die Tabelle 8-2 untergliedert das Netzwerklager in Netzwerkkategorien und Materialien.

Tabelle 8-2: Netzwerklager des Testgebietes unterteilt je Netzwerkkategorie und Material in Tonnen

Netzwerkkategorie	Summe [t]	Materialien in [t]										
		zementgebundene Baustoffe [t]	keramische Baustoffe [t]	Stein Kies Sand [t]	Holz [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Eisen Stahl [t]	Kupfer [t]	Blei [t]	Zink [t]	Aluminium [t]	PVC [t]
Telekommunikation	897	0	0	888	0	0	0	3	0	0	0	6
Fernwärme	598	0	0	561	0	11	25	0	0	0	0	0
Stromnetz	3.373	5	0	3.287	2	4	9	30	18	0	6	11
Gasnetz	2.868	30	0	2.756	0	29	53	0	0	0	0	0
Wassernetz	4.831	46	0	4.651	0	6	125	0	0	1	0	2
Abwassernetz	14.748	3.480	692	10.535	0	2	38	0	0	0	0	0
Bahnnetz	14.813	13.915	0	858	0	0	37	2	0	0	0	0
Straßennetz	97.625	231	0	96.012	0	1.383	0	0	0	0	0	0
Summe	**139.753**	**17.707**	**692**	**119.548**	**2**	**1.436**	**288**	**35**	**18**	**1**	**6**	**19**

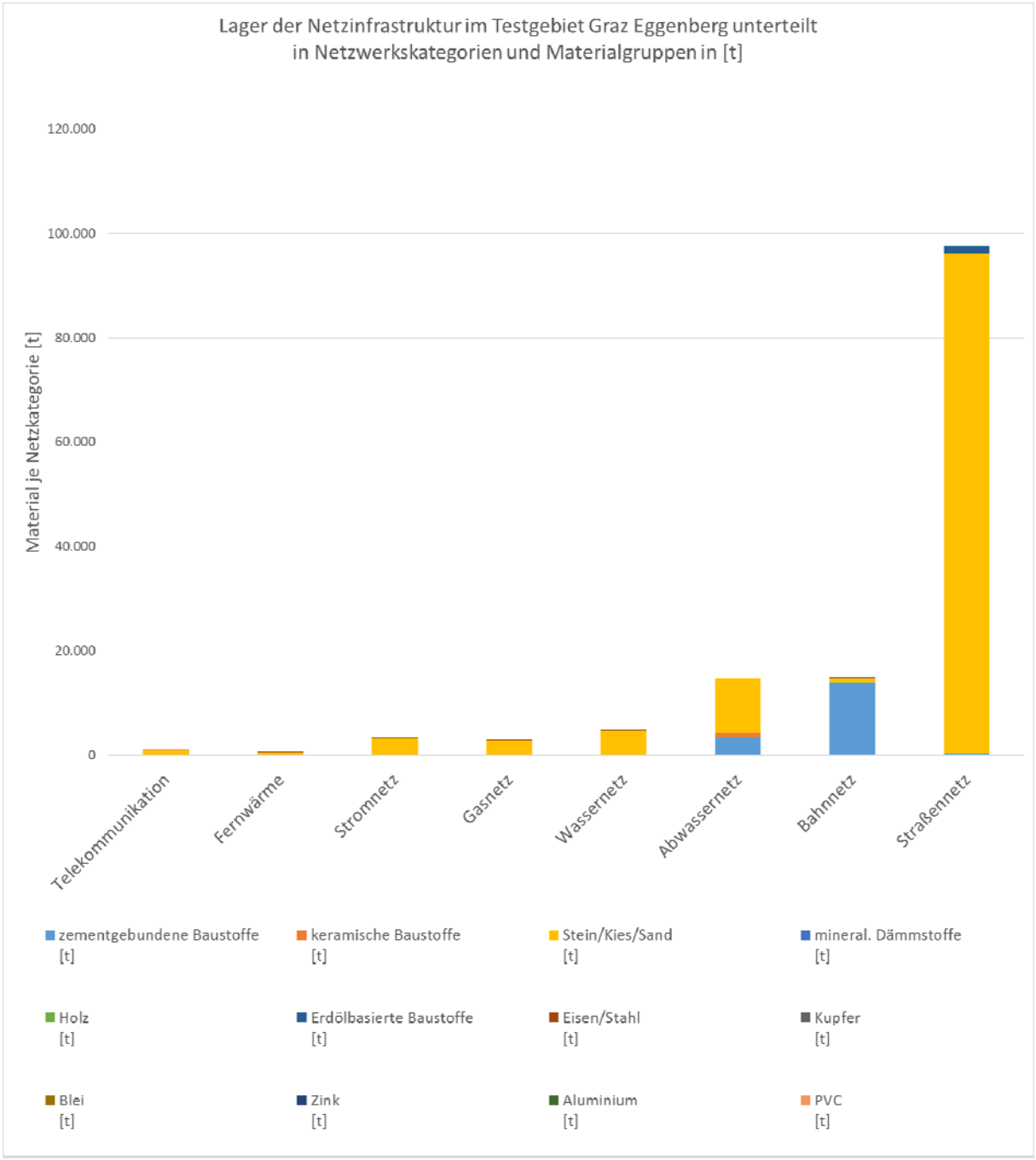


Abbildung 8-5: Lagerbestand der Netzinfrastruktur unterteilt je Untersuchten Bereich im Testgebiet Graz Eggenberg je Materialgruppen in [t]

8.2 Lagerbewertung– Fallstudie Graz Eggenberg

8.2.1 Ökonomische Bewertung – Urban Mining Potential

Für die ökonomische Bewertung werden der Materialwert und die Entsorgungskosten berücksichtigt (siehe Kapitel 2.4.1), die Abbruchkosten sind nicht berücksichtigt. Das errechnete Lager im Testgebiet hat einen errechneten Materialwert von etwa 6,5 Millionen Euro.

Bauwerke
Insgesamt errechnet sich für die in Bauwerken eingesetzten Materialien einen Sekundärrohstoffwert von etwa 5,3 Mio. Euro. Die Entsorgungskosten schwanken zwischen 6,8 Mio. Euro im Szenario Rückbau und 13 Mio. Euro im Szenario Demolierung.

Netzwerke
Insgesamt errechnet sich für die in Bauwerken eingesetzten Materialien einen Sekundärrohstoffwert von etwa 1,2 Mio. Euro. Die Entsorgungskosten schwanken zwischen 3,5 Mio. Euro im Szenario Rückbau und 5,7 Mio. Euro im Szenario Demolierung.

8.2.2 Ökologische Bewertung

Für die ökonomische Bewertung des Lagers wird der kumulierte Energieaufwand herangezogen, die Methodik wird im Kapitel 2.4.2 beschrieben. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) der in Gebäuden und Netzwerken verbauten Ressourcen im Testgebiet beträgt 1.685 Tera Joule Energie Äquivalente. Davon entfallen mehr als 90 % auf den Sektor Gebäude und die Verbleibenden fünf Prozent auf den Bereich Netzwerke. Die Abbildung 8-6 zeigt, den großen Abstand zwischen den beiden Bereichen. In Bezug auf die verbauten Massen, ist das Verhältnis zwischen Bauwerken und Netzwerken 70 zu 30.

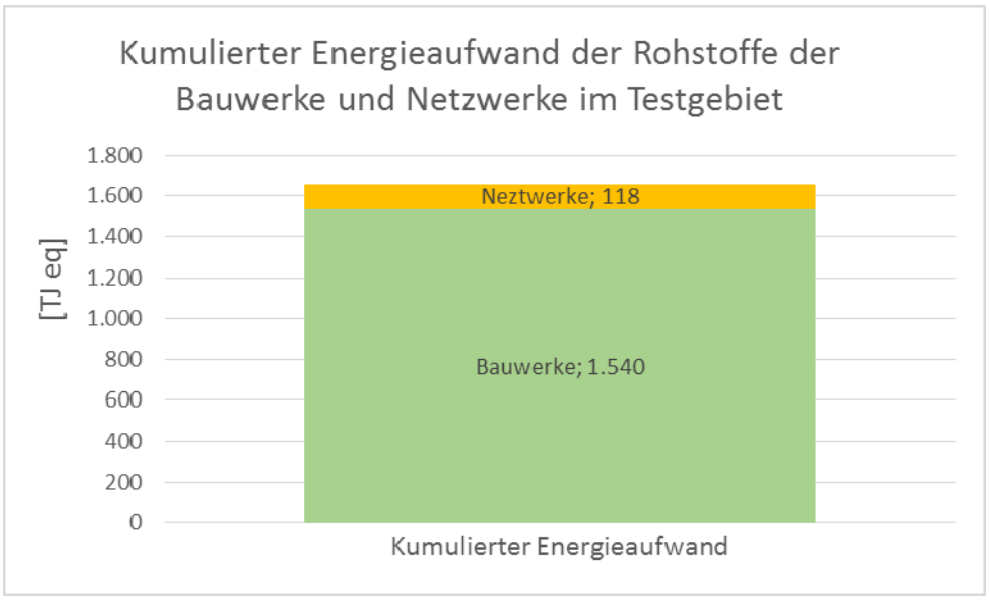


Abbildung 8-6: Kumulierter Energieaufwand in Tera Joule der im Testgebiet verbauten Ressourcen

Den höchsten kumulierten Energiebedarf im Bereich der Bauwerke haben die Rohstoffe zementgebundene Baustoffe, Eisen/Stahl, Holz und keramische Baustoffe (siehe: Abbildung 8-7). Für die Trocknung ist ein hoher Aufwand an Energie notwendig. Die Reihung der Baustoffe deckt sich nicht mit jener, der massenmäßig relevantesten verbauten Ressourcen. In der Abbildung 8-8 wird deutlich, dass die massenmäßig wichtigste Ressource zementgebundene Baustoffe darstellen, diese haben am gesamten KEA der Ressourcen im Bereich der Bauwerke jedoch nur einen Anteil von 6%. Der blaue Balken stellt den massenmäßigen Ressourceneinsatz und der orange Balken den kumulierten Energiebedarf dar. Keramische Baustoffe sind am zweitmeisten verbaut, diese haben im Vergleich zu den zementgebundenen Baustoffen einen wesentlich höheren KEA. Holz hat mit einem Anteil von <50 % einen sehr hohen Anteil am KEA der Verbauten Ressourcen, massenmäßig jedoch nur einen Anteil von ca. 20 %. Holz hat deshalb einen sehr hohen KEA, da angenommen wurde, dass es sich um künstlich getrocknetes Industrieholz handelt. Eisen/Stahl hat mit 6 % denselben Anteil wie Zementgebundene Baustoffe, massenmäßig jedoch nur einen Anteil von etwa 2 %.

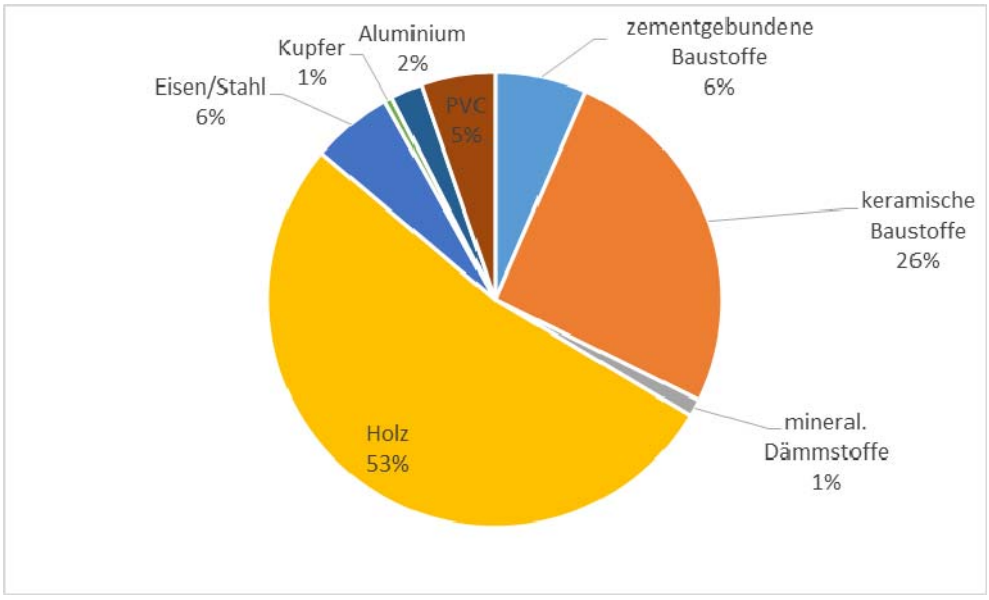


Abbildung 8-7: Verteilung des kumulierten Energieaufwandes für den Bereich Bauwerke

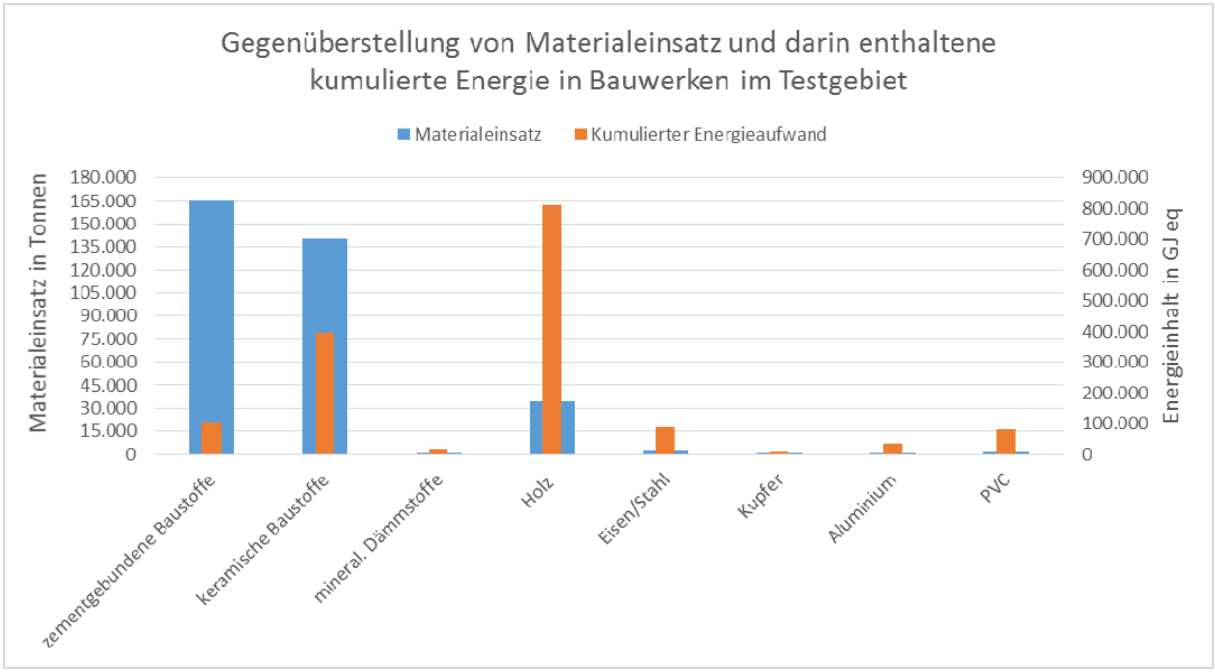


Abbildung 8-8: Gegenüberstellung des Materialeinsatzes [in Tonnen] vs. den kumulierten Energieinhalt [in GJ] für die Rohstoffe der Bauwerke im Testgebiet

Den höchsten kumulierten Energiebedarf im Bereich der Netzwerke haben die Erdölbasierten Baustoffe, Stein/Kies/Sand und zementgebundene Baustoffe (siehe: Abbildung 8-9). Der Anteil der Erdölbasierten Baustoffen ist auf die Straßenfahrbahn zurück zu führen. Massenmäßig ist diese Ressource für 1 % des Materialeinsatzes verantwortlich, jedoch für 65 % des KEAs im Bereich Netzwerke. Die Kategorie Stein/Kies/Sand ist massenmäßig die wichtigste Ressource mit ca. 85 %, durch den relativ geringen Energieaufwand in der Produktion ist diese Kategorie für ca. 14 % des KEA verantwortlich. Die Abbildung 8-10 stellt die Masse an verbauten Ressourcen (der blaue Balken) im Netzwerk zu deren kumulierten Energiebedarf gegenüber (der orange Balken).

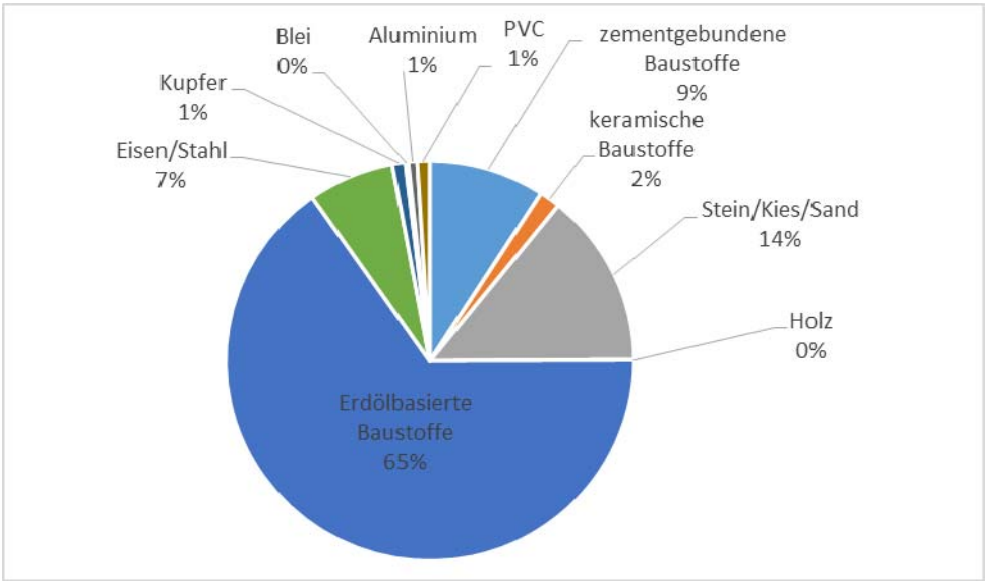


Abbildung 8-9: Verteilung des kumulierten Energieaufwandes für den Bereich Bauwerke

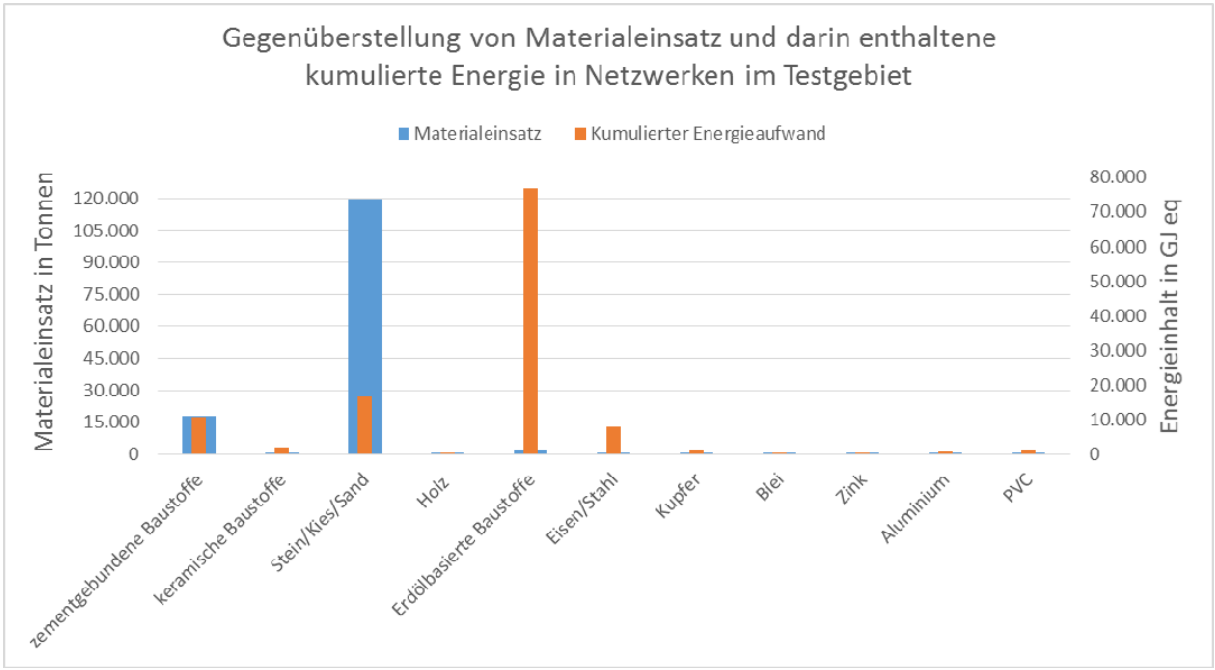


Abbildung 8-10: Gegenüberstellung des Materialeinsatzes [in Tonnen] vs. den kumulierten Energieinhalt [in GJ] für die Rohstoffe der Netzwerke im Testgebiet

8.3 Lagerbestand – Land Steiermark

Das gesamte Lager im etwa 16.400 km² großen Land Steiermark beträgt etwa 403 Millionen Tonnen. Es entfallen mehr als 98 % auf die verbauten Infrastruktur (Gebäude und Netzwerke).Davon entfallen etwa 47 % auf Gebäude und 53 % auf die Netzinfrastruktur. Der Ver-

gleich mit dem Testgebiet Graz Eggenberg (Gebäude 70 % zu Netzwerke 30 %) lässt vermuten, dass das Gebäudelager für das Land Steiermark unterschätz ist. Die Datenlage lässt eine detailliertere Betrachtung in dieser Studie nicht zu. Das Lager der Konsumgüter wird durch die Fahrzeuge dominiert und beträgt etwa 1,7 Millionen Tonnen. Die Abbildung 8-11 zeigt die Gegenüberstellung der Lager und die unterschiedliche Materialzusammensetzung. Die spezifische Materialzusammensetzung je Lagerkategorie wird in Kapitel 4 im Detail beschrieben. Mit mehr als 80 % wird das Lager durch die Materialkategorie Stein/Kies/Sand, gefolgt von keramischen Baustoffen (ca. 70 %) dominiert.

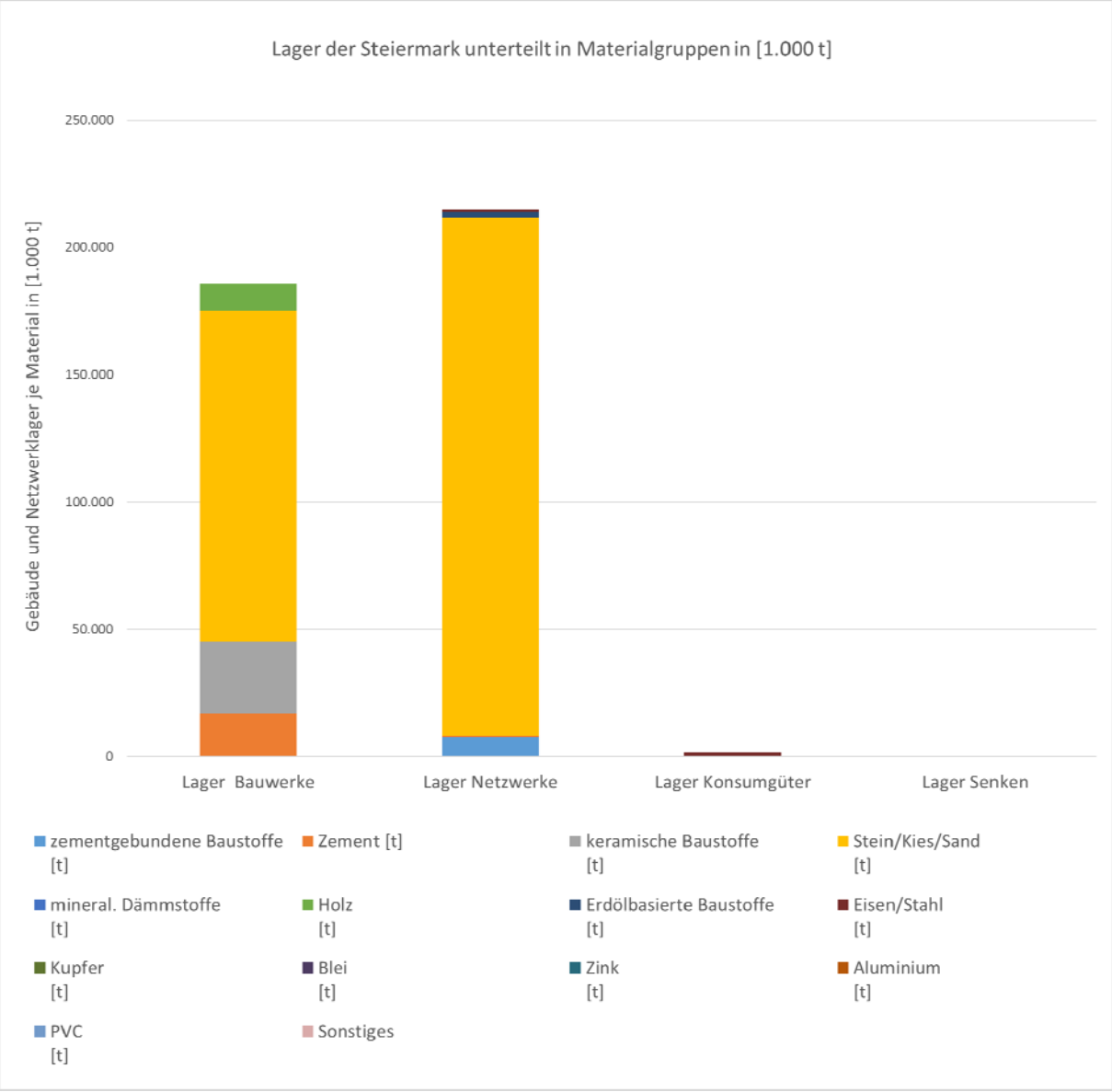


Abbildung 8-11: Lagerbestand der Steiermark unterteilt je Untersuchten Bereich in der Steiermark je Materialgruppen in [1.000 t]

8.3.1 Lagerbestand – Gebäude Land Steiermark

Das Lager der Gebäude im Land Steiermark beträgt insgesamt etwa 186 Millionen Tonnen. Mit einem Anteil von insgesamt etwa 94 % dominiert die Kategorie „inertes Material“ die Zusammensetzung des Lagers. Das Verhältnis der Wohngebäude zu Nicht Wohngebäude beträgt etwa 75/25. In beiden Kategorien dominieren die Materialgruppen: Sand/Stein/Kies, Keramische Baustoffe und Zement. Die Verteilung der errechneten Materialgruppen je Gebäudekategorie ist in Abbildung 8-12 dargestellt. Das errechnete Lager ist in der Tabelle 8-3 zusammenfassend aufgelistet.

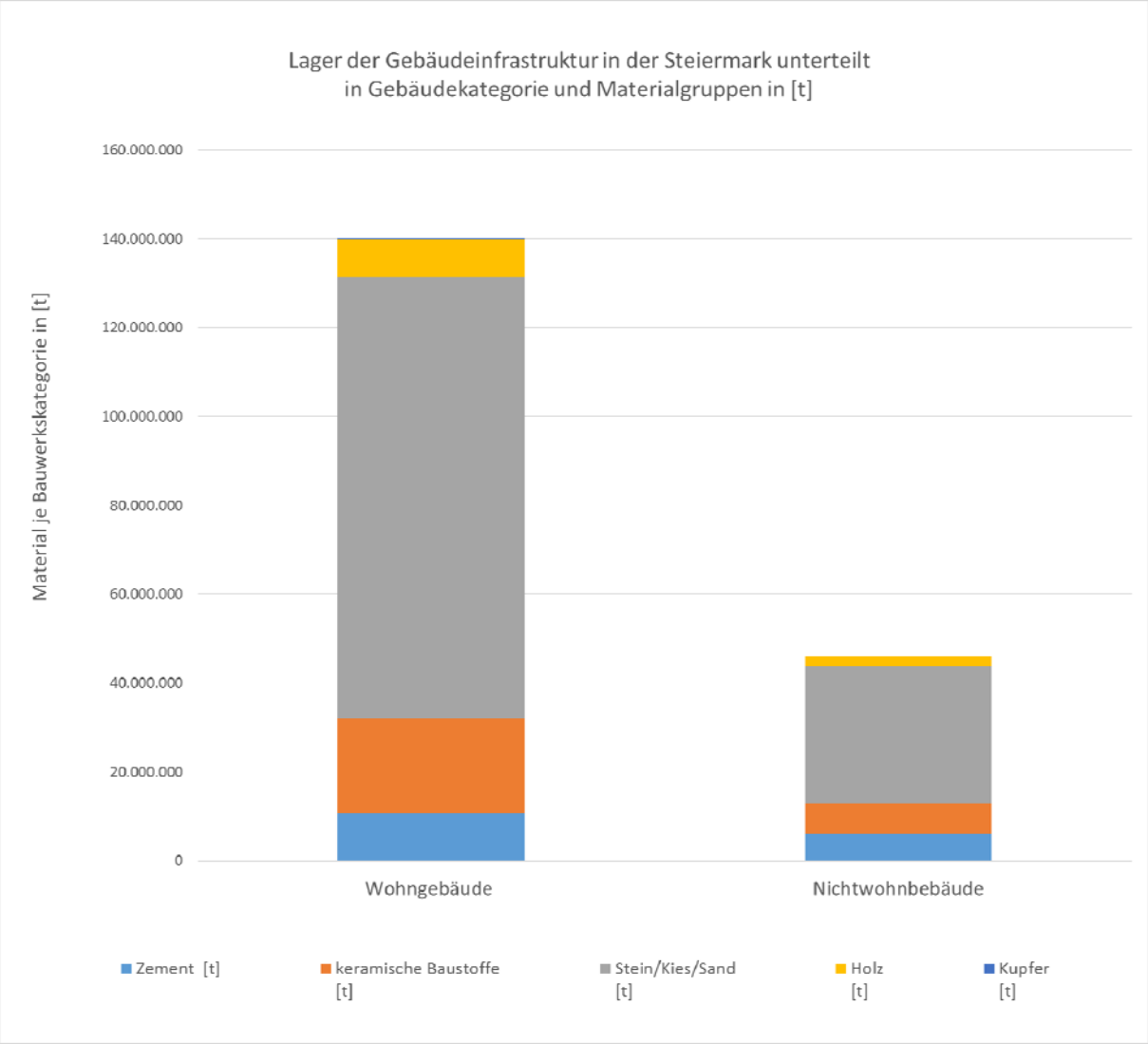


Abbildung 8-12: Lagerbestand der Wohn- und Nichtwohngebäude im Land Steiermark je Materialgruppen in [t]

Tabelle 8-3: Gebäudelager der Steiermark unterteilt je Bauwerkskategorie und Material in t

Gebäudekategorie	Summe	Zement [t]	keramische Baustoffe [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Holz [t]	Kupfer [t]
Wohngebäude	139.962.000	10.800.000	21.300.000	99.400.000	8.400.000	62.000
Nicht Wohngebäude	45.962.400	6.210.000	6.800.000	30.900.000	2.030.000	22.400
Summe	**185.924.400**	**17.010.000**	**28.100.000**	**130.300.000**	**10.430.000**	**84.400**

8.3.2 Lagerbestand – Netzwerke Land Steiermark

Das Lager der Netzinfrastruktur in der Steiermark beträgt insgesamt etwa 215 Millionen Tonnen. Mit insgesamt etwa 98 % dominiert Inertes Material die Zusammensetzung des Lagers. Die Straßeninfrastruktur ist das größte Materiallager, es ist insgesamt mit 187 Millionen Tonnen für etwa 87 % des Lagers verantwortlich. Die Abbildung 8-13 zeigt das Lager je Netzwerkskategorie unterteilt je eingesetztem Material. Die Tabelle 8-4 listet das Lager des Landes im Bereich Netzwerke untergliedert je Material auf.

Tabelle 8-4: Netzwerklager des Landes Steiermark unterteilt je Netzwerkkategorie und Material in Tonnen

Netzwerkkategorie Land Steiermark	Summe [t]	Materialien in [t]										
		zementgebundene Baustoffe [t]	Zement [t]	Stein/Kies/Sand [t]	Holz [t]	Erdölbasierte Baustoffe [t]	Eisen/Stahl [t]	Kupfer [t]	Blei [t]	Zink [t]	Aluminium [t]	PVC [t]
Telekommunikation	**4.954.619**			4.706.869				74.278				173.471
Fernwärme	**162.232**	4.817		145.975		2.935	8.214					
Stromnetz	**383.516**	135.905			51.825		91.165	70.145	8.433		3.506	22.537
Gasnetz	**87.955**	23.587				22.824	41.544					
Wassernetz	**101.435**					4.964	95.805	9		657		
Abwassernetz	**6.508.452**	4.552.000	150.000	1.302.000		190.212	314.240					
Straßennetz	**187.096.451**	2.221.880	483.141	182.252.661		2.055.005	83.765					
Bahnnetz	**15.573.984**	427.499		14.872.012	66.690	7.664	196.670	1.754			1.696	
Straßenbahnnetz	**284.706**	258.180		18.536			7.944	46				
Summe	**215.153.349**	**7.623.868**	**633.141**	**203.298.052**	**118.515**	**2.283.603**	**839.347**	**146.232**	**8.433**	**657**	**5.202**	**196.008**

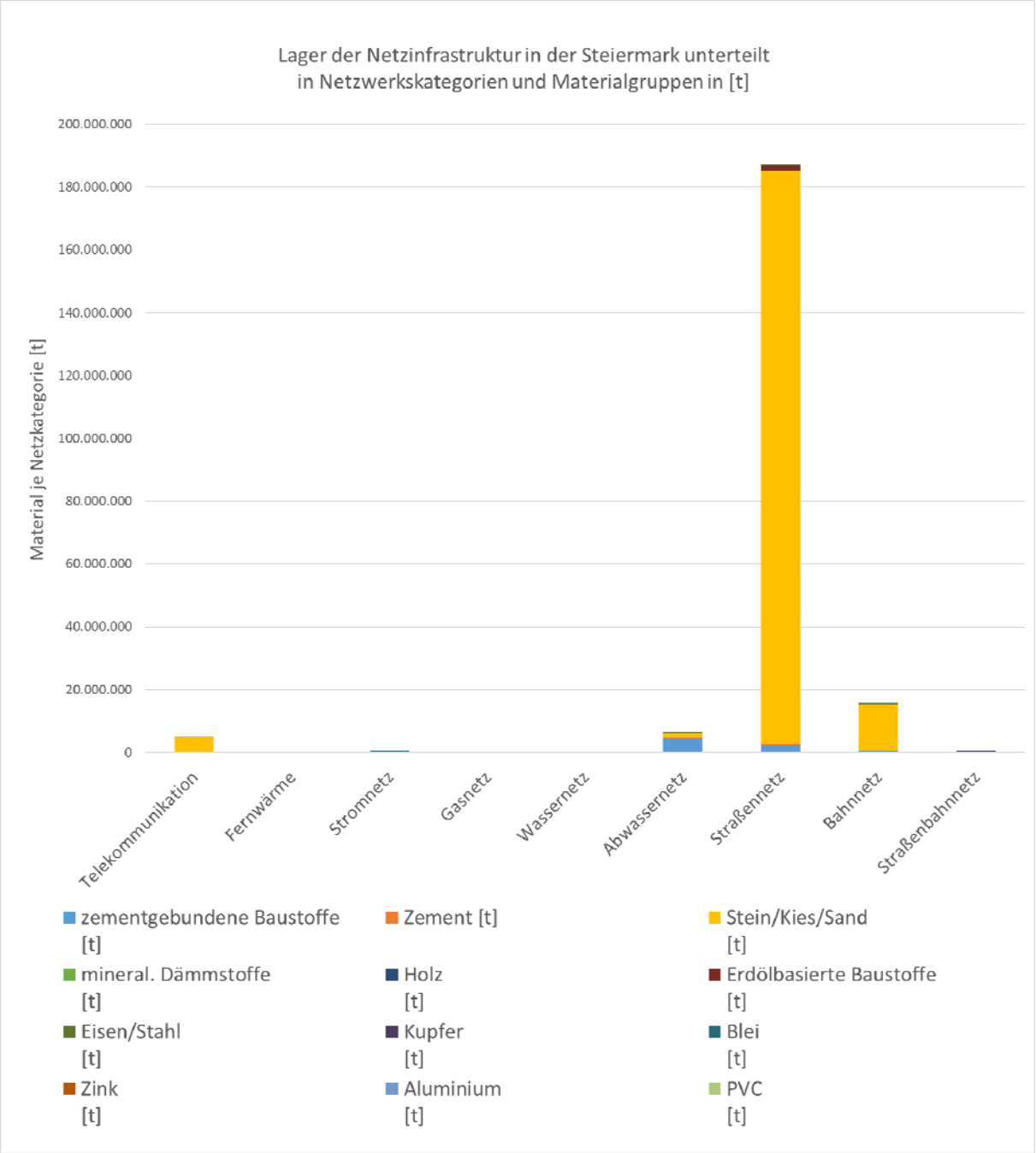


Abbildung 8-13: Lagerbestand der Netzinfrastruktur unterteilt je Untersuchten Bereich in der Steiermark je Materialgruppen in [t]

8.4 Lagerbewertung – Land Steiermark

8.4.1 Ökonomische Bewertung– Urban Mining Potential

Für die ökonomische Bewertung werden der Materialwert und die Entsorgungskosten berücksichtigt (siehe Kapitel 2.4.1), die Abbruchkosten sind nicht berücksichtigt. Die Senken wurden in der ökonomischen Bewertung des Lagers nicht berücksichtigt. Das errechnete Lager in der Steiermark hat einen errechneten Materialwert von etwa 5 Milliarden Euro.

Die theoretischen Entsorgungskosten schwanken je Reinheitsgrad und dieser ist von der Art des Rückbaues abhängig. Es wird hier einerseits von Rückbau und andererseits von Demolierung ausgegangene. Der Arbeitsaufwand ist in beiden Szenarien nicht berücksichtigt.

Bauwerke
Insgesamt errechnet sich für die in Bauwerken eingesetzten Materialien einen Sekundärrohstoffwert von etwa 1,4 Milliarde Euro. Zu beachten ist, dass in der Hochrechnung des Lagers nur das Metall Kupfer betrachtet wurde, es ist davon auszugehen dass der tatsächliche Wert höher ist. Die Entsorgungskosten schwanken zwischen 4,6 Milliarden im Szenario Rückbau und 7,1 Milliarden im Szenario Demolierung.

Netzwerke
Insgesamt errechnet sich für die in Bauwerken eingesetzten Materialien einen Sekundärrohstoffwert von etwa 2,4 Milliarde Euro. Die Entsorgungskosten schwanken zwischen 5,7 Milliarden im Szenario Rückbau und 8,7 Milliarden im Szenario Demolierung.

Konsumgüter
Im Bereich der Konsumgüter wird nur der Materialwert berechnet, da langlebige Konsumgüter in Österreich in der Regel kostenfrei entsorgt werden können. Der Sekundärrohstoffwert der langlebigen Konsumgüter der Steiermark liegt bei knapp einer Milliarde Euro. Aufgrund des hohen Metallinhalts errechnet sich bei einem im Vergleich zu Gebäuden und Netzwerken geringem massenmäßigem Anteil am Gesamtlager ein relativ hoher Sekundärrohstoffwert für die langlebigen Konsumgüter der Steiermark.

8.4.2 Ökologische Bewertung

Für die ökonomische Bewertung des Lagers wird der kumulierte Energieaufwand herangezogen, die Methodik wird im Kapitel 2.4.2 beschrieben. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) der in Gebäuden, Netzwerken und Konsumgütern (nur Kfz) verbauten Ressourcen in der Steiermark beträgt 610 Tausend Tera Joule Energie Äquivalente. Davon entfallen mehr etwa 60 % (410.000 Tj eq) auf den Sektor Gebäude, 30 % (200.000 Tj eq) auf die Netzinfrastruktur und die verbleibenden 10 % (70.000 Tj eq) auf Konsumgüter. In der Abbildung 8-14 wird der kumulierte Energieaufwand unterteilt je Bereich dargestellt. In Bezug auf die eingesetzten Massen, haben die Bauwerke und die Netzwerke je einen Anteil von etwa 50 %.

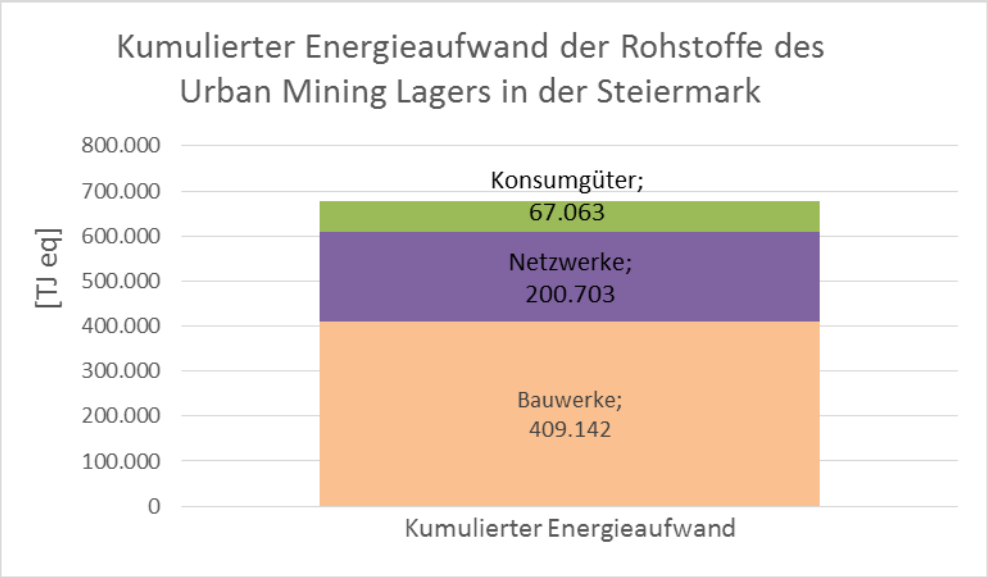


Abbildung 8-14 Kumulierter Energieaufwand in Terajoule der verbauten Ressourcen in der Steiermark

Die Abbildung 8-15 zeigt die Masse [in Tonnen] der eingesetzten Ressourcen im gesamten Urban Mining Lager der Steiermark (Bauwerke, Netzwerke, Konsumgüter) und die in den verschiedenen Ressourcen gespeicherte Energie [in Terajoule] in einer gemeinsamen Darstellung. Die Masse der eingesetzten Ressourcen wird als blauer Balken und die darin enthaltene Energie als schmaler oranger Balken dargestellt.

Den höchsten kumulierten Energiebedarf des Urban Mining Lagers der Steiermark berechnet sich für den Rohstoff Holz mit 37 %, gefolgt von Keramischen Baustoffen mit 32 %. Diese beiden Rohstoffe sind jeweils hauptsächlich dem Gebäudelager zuzurechnen. In Bezug auf die gesamte eingesetzte Masse entfällt auf diese beiden Rohstoffe zusammen ein Anteil von etwa 10 %.

Für die Trocknung ist ein hoher Aufwand an Energie notwendig, weshalb der KEA von Holz hoch ist. In der für die Berechnung verwendete Version der Ecoinvent Datenbank 2.2 ist ein hoher Trocknungsaufwand inkludiert, in der aktuelleren Version der Datenbank 3.1. reduziert sich der Aufwand um etwa 50 % [Ponsioen, 2015]. Es kann daher angenommen werden, dass der Anteil der gespeicherten Energie im Holzlager geringer ist als dargestellt.

Der Energieinhalt der Ressourcen: Keramische Baustoffe, der Erdölbasierte Baustoffe (Straßeninfrastruktur) und Eisen/Stahl sind nach jenen von Holz am Höchsten.

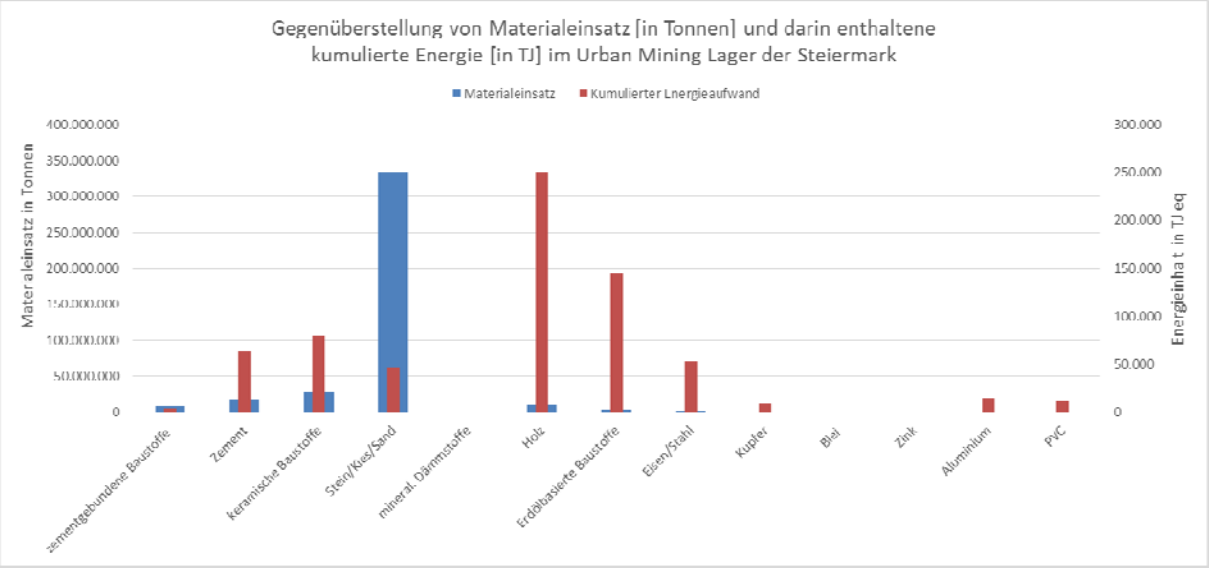


Abbildung 8-15: Gegenüberstellung des Materialeinsatzes [in Tonnen] vs. den kumulierten Energieinhalt [in TJ] für die Rohstoffe des Urban Mining Lagers der Steiermark

8.5 Visualisierung des Lagers – Fallstudie Graz Eggenberg

8.5.1 Der Urban Mining Kataster – Onlineanwendung

Die Onlineanwendung des Urban Mining Katasters wird für das Testgebiet Graz Eggenberg in einer 2D und einer 3D Ausführung ausgearbeitet. Der UMKAT wird mit dem Programm Esiri der Firma Synergis erstellt. In der 2D-Variante sind neben den Bauwerken auch die Netzwerke abgebildet. Die Methodischen Grundlagen werden in Kapitel 2.3.3 erklärt.

8.5.1.1 UMKAT in 2-D Ausführung

Im 2D-UMKAT werden die Ergebnisse für das Testgebiet Graz Eggenberg für die Bauwerke und Netzwerke in einer Karte dargestellt. Der Bezugswert ist m². Die Datengrundlagen bildet die in Kapitel 2.3 beschriebene Vorgehensweise. Je Bauwerk werden materialrelevante Informationen angezeigt. Es werden die in Abbildung 8-16 angezeigten Informationen angezeigt. Die Daten stammen einerseits aus dem Adress-GWR (Adresse, Nutzungsart, Baujahr (teilweise unvollständig vorhanden)), Aufnahmen im Testgebiet (Fassadendämmung, Dachform, Deckungsart, Fensteranzahl, Fenstermaterial, Fallrohre). Für jedes Bauwerk werden Fotos von allen zugänglichen Himmelsrichtungen in das System geladen und mit dem Gebäude verlinkt.

Die angezeigten Materialmengen wurden anhand der Kubatur und der Materialzusammensetzung je Nutzungskategorie und Baualter berechnet. Bei der SAPE.AREA handelt es sich um die Grundfläche des Gebäudes. Auf diese Fläche werden die spezifischen Materialmen-

gen für den 2D-UMKAT berechnet und dargestellt. Damit können Bauwerke mit unterschiedlicher Kubatur in der zweidimensionalen Darstellung anhand der tatsächlich verbauten Fläche dargestellt werden.

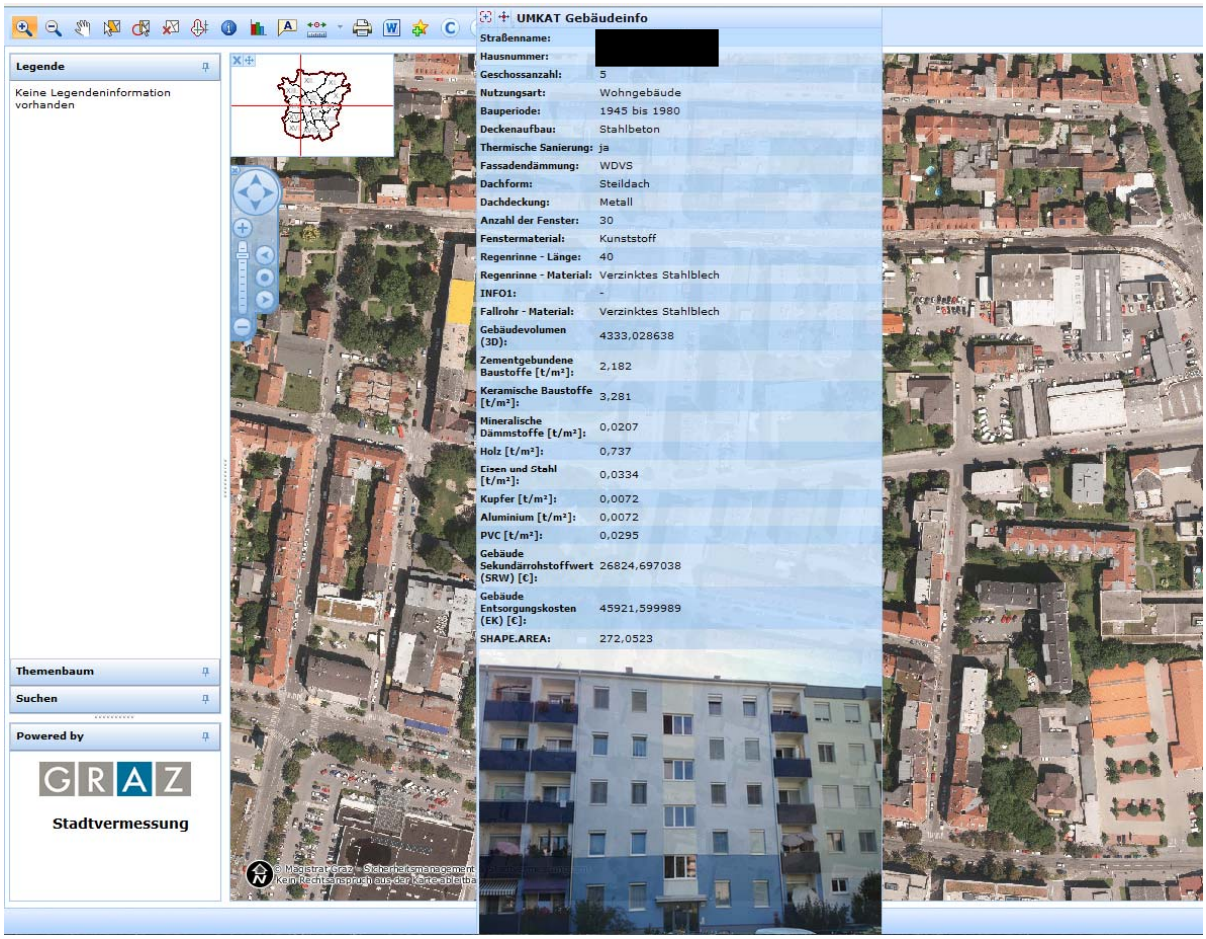


Abbildung 8-16: 2D-UMKAT – Information je Bauwerk

In der 2D-UMKAT online Anwendung kann zwischen den Materiallayern gewechselt werden. Die Materiallyer können einerseits im 10cm Raster und andererseits auf 20m aufgerastert dargestellt werden. Die Abbildung 8-18 zeigt das Lager der zementgebundenen Baustoffe im Raster 10x10 cm. Die Auffrasterung auf 20x20 m wird in der Abbildung 8-19 dargestellt. Die Daten sind mit den Ergebnissen im Kapitel 8.5.2 beschrieben und interpretiert.

Jeder Rasterwert kann einzeln Abgefragt werden. In der Abbildung 8-17 wird eine Rasterwertabfrage für Kupfer dargestellt. Es kann für jeden Raster (10x10 cm) der Kupferanteil pro m² angezeigt werden. In der Abbildung ist der Detaillierungsgrad des UMKAT deutlich zu erkennen. Die diversen Netzwerke werden entsprechend dem spezifischen Kupfergehalt je m² dargestellt. In einem Materiallyer werden die Materialgehalte von Bauwerken und Netzwerken in einem Layer aufsummiert dargestellt. Die Rasterwertabfage zeigt den Gesamtgehalt für einen bestimmten Raster an.

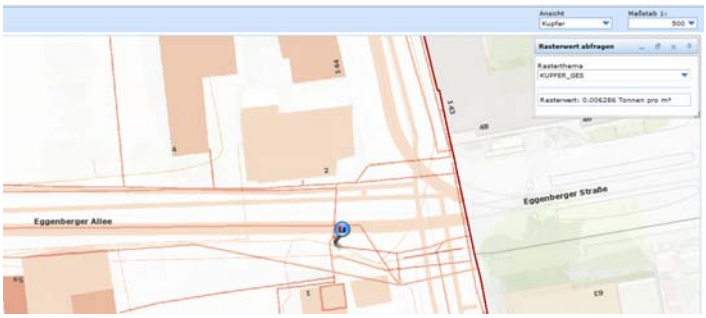


Abbildung 8-17:– Detailierungsgrad des Kupfer-Layers inklusive Rasterwertabfrage in [t/m²]

Abbildung 8-18: 2D-UMKAT des Testgebietes Graz Eggenberg – Zementgebundene Baustoffe Layer 10x10 cm Raster [t/m²]

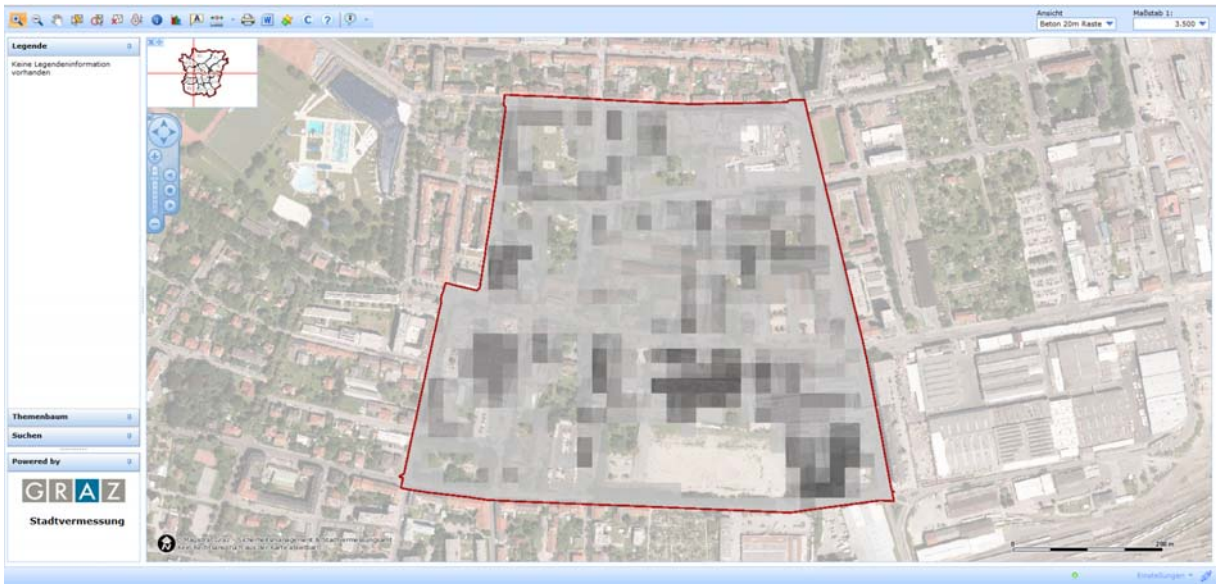


Abbildung 8-19: 2D-UMKAT des Testgebietes Graz Eggenberg – Zementgebundene Baustoffe Layer 20x20 m Raster [t/m²]

Entsorgungskosten

Die in Kapitel 8.2.1 beschriebene ökonomische Bewertung des Testgebietes Graz Eggenberg wird im 2D-UMKAT visuell aufbereitet. Die Abbildung 8-20 zeigt die Entsorgungskosten für die verbauten Materialien im Testgebiet. Je dunkler die Bereiche dargestellt sind, desto höher sind die berechneten Entsorgungskosten. Je mehr Materialien in einem Bauwerk bzw. Netzwerk verbaut sind, desto höher sind auch die Entsorgungskosten.

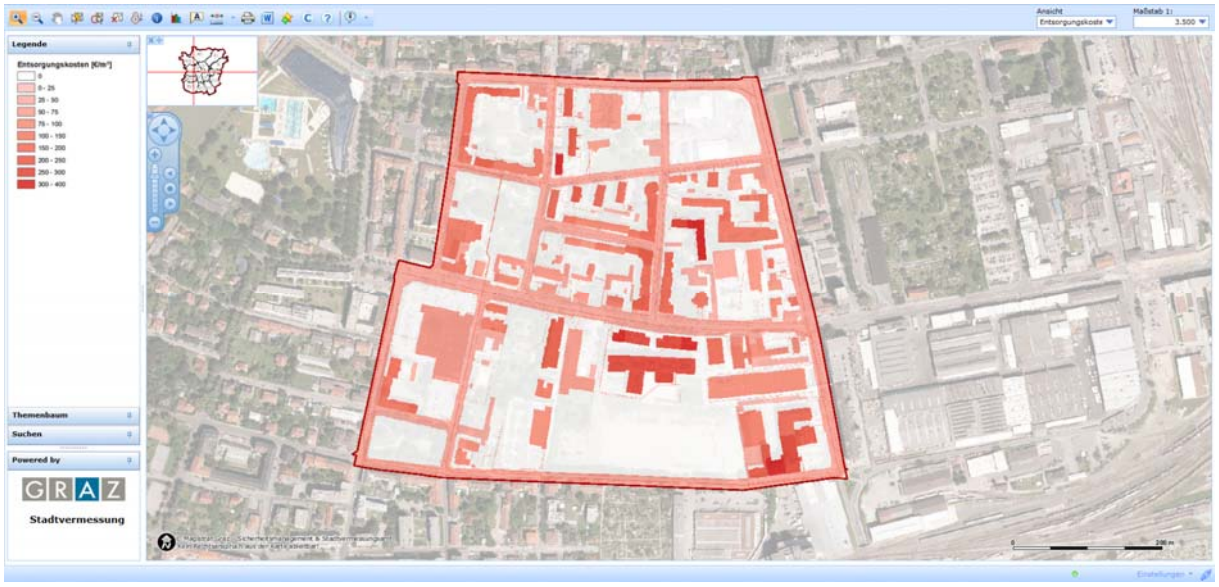


Abbildung 8-20: 2D-UMKAT des Testgebietes Graz Eggenberg – Layer Entsorgungskosten [€/m²]

Urban Mining Potential

Das theoretische Urban Mining Potential wird anhand des Marktpreises von Sekundärrohstoffen dargestellt. Für das Testgebiet Graz Eggenberg werden die Entsorgungskosten und die möglichen Erlöse durch den Absatz von Sekundärrohstoffen im Kapitel 8.2.1 gegenübergestellt. Die Abbildung 8-21 zeigt die theoretischen Erlöse aus dem Verkauf von aufbereiteten Sekundärrohstoffen für das Testgebiet. Die Werte werden in Euro pro m² angezeigt. Je Raster kann eine Abfrage durchgeführt werden, siehe Abbildung 8-22. In der Abbildung 8-25 wird Ergebnis in der für den Druck aufbereiteten Form dargestellt.

Abbildung 8-21: 2D-UMKAT des Testgebietes Graz Eggenberg – Layer Sekundärrohstoffpreise [€/m²]

Abbildung 8-22: Abbildung 8-23:– Rasterwertabfrage in [€/m²] für ein Bauwerk

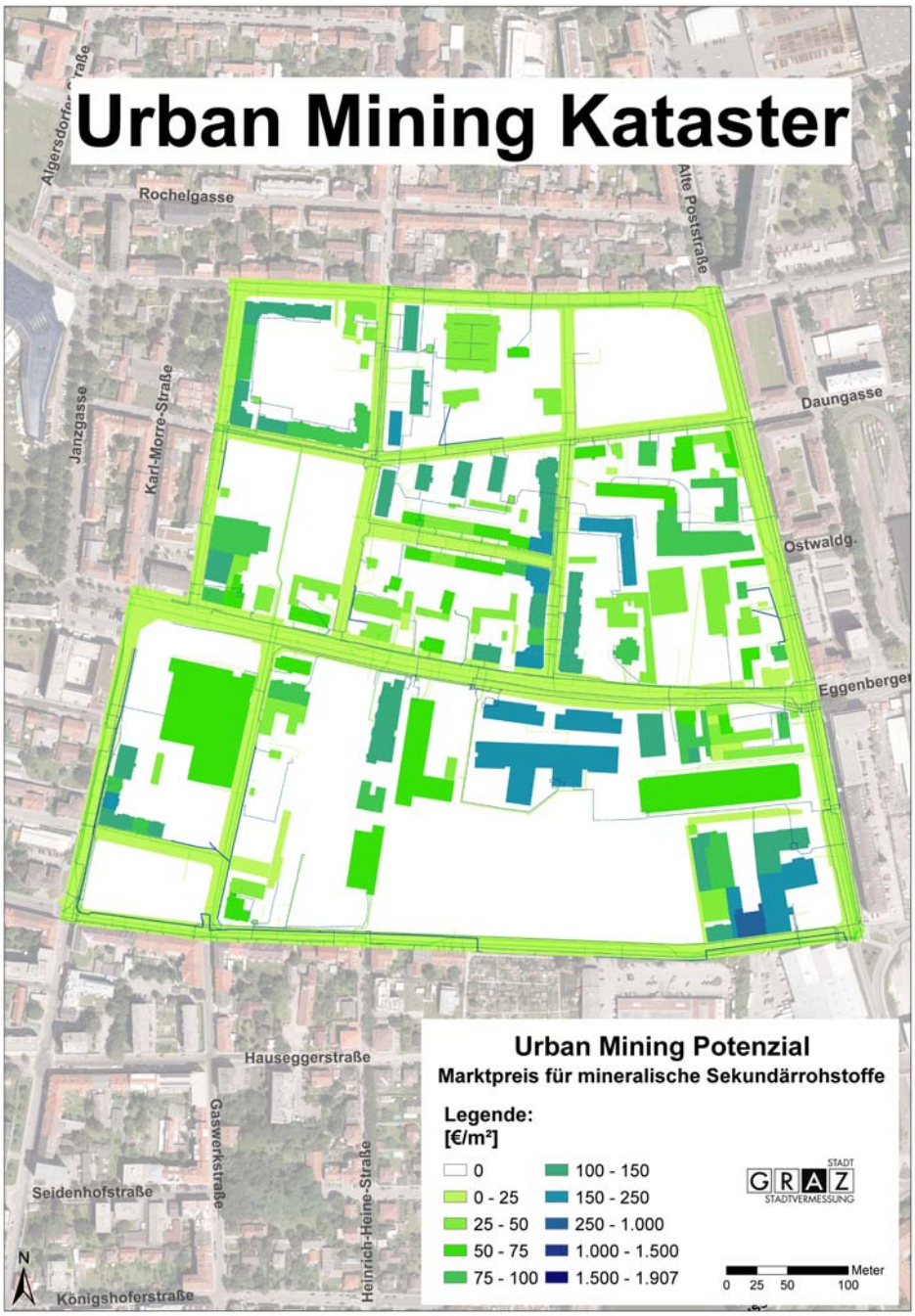


Abbildung 8-24: Visualisierung des Urban Mining Potentials für das Testgebiet Graz Eggenberg

Neben der m² bezogenen Darstellung werden möglichen Erlöse auch pro Gebäude dargestellt. Es wird der Materialwert je Gebäude berechnet und diese in 10 Klassen in unterschiedlichen Farben dargestellt. Mithilfe dieser Darstellung können potentiell werthaltige Gebäude schnell identifiziert werden. Die Abbildung 8-25 zeigt die auf Gebäude bezogene Darstellung für das Testgebiet. Wie die Legende (links im Bild) zeigt, weisen jene Gebäude einen besonders hohen Wert auf welche rot dargestellt werden.

Abbildung 8-25: 2D-UMKAT des Testgebietes Graz Eggenberg – Layer Entsorgungskosten [€/Gebäude]

8.5.1.2 UMKAT in 3-D Ausführung

Für das Testgebiet wird der Urban Mining Kataster für Gebäude in 3D dargestellt. In einer online Anwendung können die berechneten Materialinformationen je Bauwerk abgerufen werden. Wie die Abbildung 8-26 zeigt wird im 3D-UMKAT das Urban Mining Potential in 3D dargestellt, als Vergleich wird rechts das 3D-Gebäudemodell aus Vermessungsdaten der Stadt Graz dargestellt. Es besteht die Möglichkeit zwischen den Ansichten zu wechseln und beide Darstellungen parallel (im split-screen) darzustellen.

Abbildung 8-26: 3D-UMKAT des Testgebietes Graz Eggenberg im Splitscreen

Im 3D-UMKAT werden die Umrisse des Gebäudes transparent dargestellt. Die Menge der verbauten Materialien füllen das Bauwerk je nach spezifischer Dichte der Materialien aus. Jedes Material wird in einer eigenen Farbe dargestellt, siehe Abbildung 8-27. Jene Materialien welche in geringer Konzentration vorkommen, werden aufgrund der Lesbarkeit nicht über die gesamte verbaute Fläche dargestellt. Diese werden als Säulen dargestellt, damit die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Materialien erkennbar sind.

Abbildung 8-27: 3D-UMKAT - Material-Legende

Die Abbildung 8-28 zeigt das Urban Mining Potential des Testgebietes. Die Blickrichtung kann frei gewählt werden. Als Hintergrund wird das Luftbild eingeblendet, es sind Bäume und Freiflächen erkennbar. Die Bauwerke werden transparent entsprechend ihrer tatsächlichen Kubatur dargestellt.

Abbildung 8-28: 3D-UMKAT – Testgebiet Graz Eggenberg Potential

Die Anwendung erlaubt es, den Maßstab zu verändern und einzelne Bauwerke näher zu betrachten. Wird ein Gebäude betrachtet, wird es detailliert dargestellt und die Materialzusammensetzung wird ersichtlich. Die Abbildung 8-29 zeigt eine Gebäudeauswertung im Splittsreen. Rechts wird das Gebäude im 3D-Modell dargestellt und links wird die verbaute Materialmenge des Gebäudes dargestellt. Pro Gebäude lassen sich die verbauten Materialmengen, den Wert der Sekundärrohstoffe und die Kosten für die Deponierung auswerten. Die Abbildung 8-30 und Abbildung 8-31 zeigen, wie diese Informationen dargestellt werden. Wird ein Gebäude markiert, so wird die Kubatur bläulich dargestellt und wird der Informationsbutton aktiviert werden die verbauten Materialien für das markierte Bauwerk angezeigt. Wie in der Abbildung 8-30 ersichtlich, werden die Massenbaustoffe (Beton, Ziegel, Holz) über die gesamte verbaute Fläche dargestellt. Jene Materialien welche in geringerer Menge im Bauwerk verbaut sind, werden als Balken mit einer kleineren Grundfläche dargestellt.

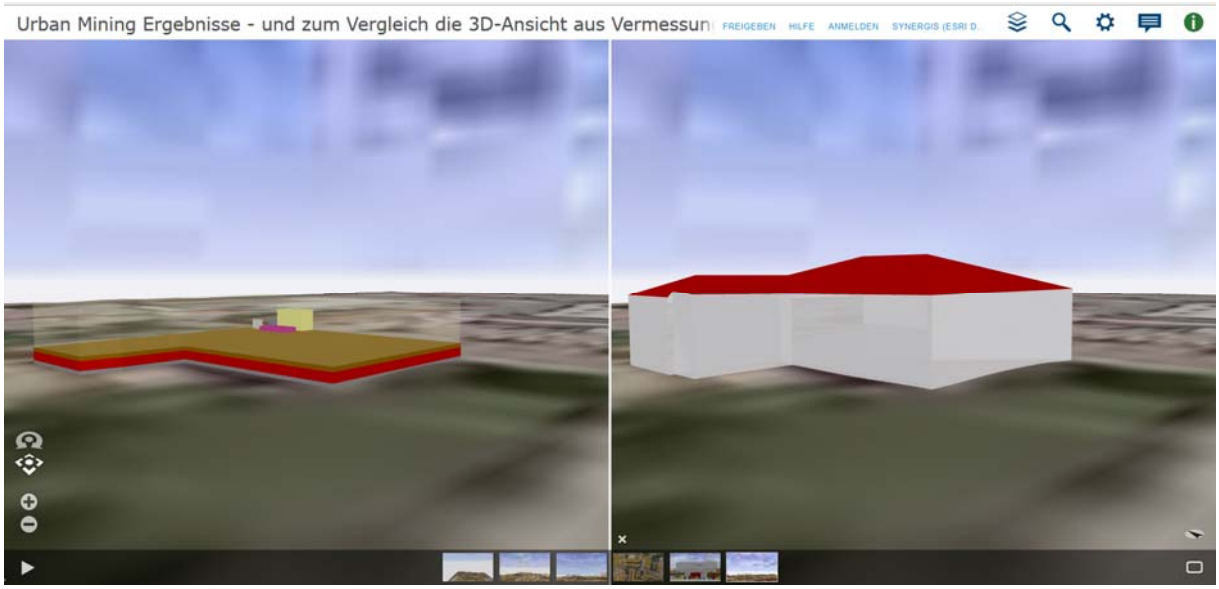


Abbildung 8-29: 3D-UMKAT – Einzelbetrachtung eines Bauwerkes im Splitscreen

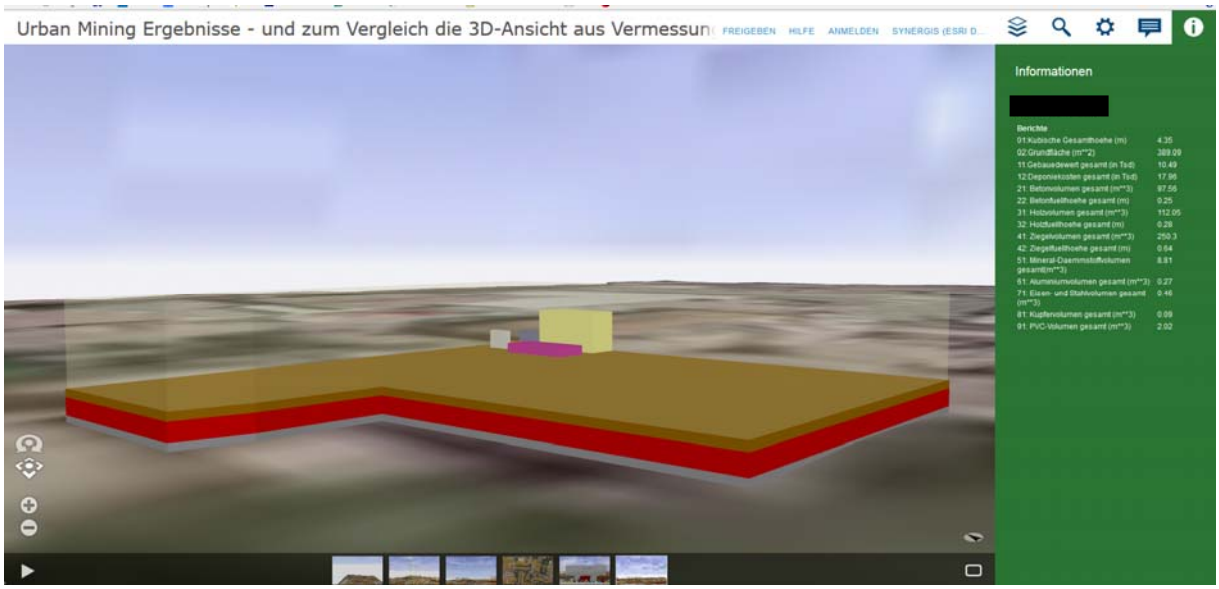


Abbildung 8-30: 3D-UMKAT – Einzelbauwerkbetrachtung inkl. Auswertung

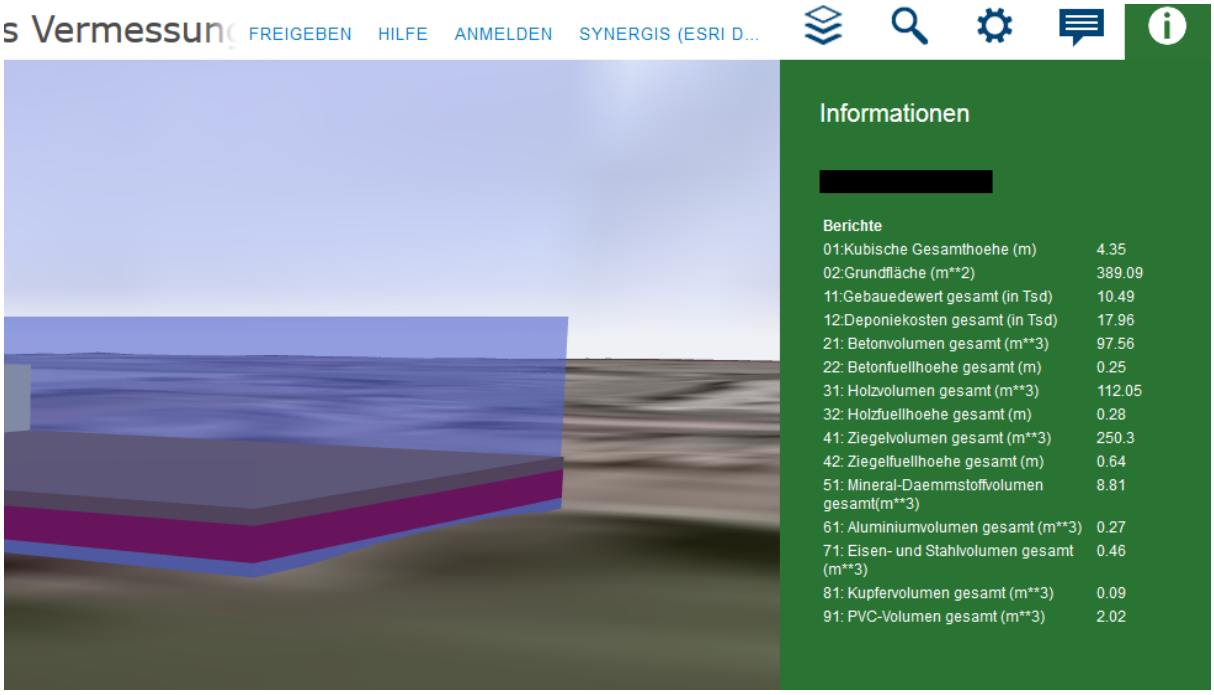


Abbildung 8-31: 3D-UMKAT – Einzelbauwerkbetrachtung – Auswertung im Detail

8.5.2 Beispiel: Zementgebunde Baustoffe

Das Lager des der zementgebunden Baustoffe wird in der Abbildung 8-32 ohne Rasterung dargestellt. Die Visualisierung des „Beton-Lagers“ zeigt, dass der Hochbau hauptverantwortlich für die Lagerbildung ist. Die Netzwerke bilden im Bereich des Betons eine untergeordnete Rolle. Im Testgebiet sind einige „Hot spots“ von stark betonhaltigen Lagern zu identifizieren, die vor allem bei zweiten Abbildung mit einer 20 x 20 m Rasterung besser zum Vorschein kommt (siehe: Abbildung 8-33). Wenig überraschend ist das Gelände des FH Joanneum Research solch ein Hot Spot. Dies deckt sich mit den Informationen zu Bauperiode, Nutzung und Volumina. Ebenfalls klar zeichnet sich das Areal eines großen Lebensmittelhändlers im westlichen Bereich des Testgebietes ab. Die dicht mit großvolumigen Wohnbauten der 1960er bis 1980er Jahre verbauten Gebiete nördlich der Eggenberger Allee zeichnen sich ebenfalls deutlich ab.

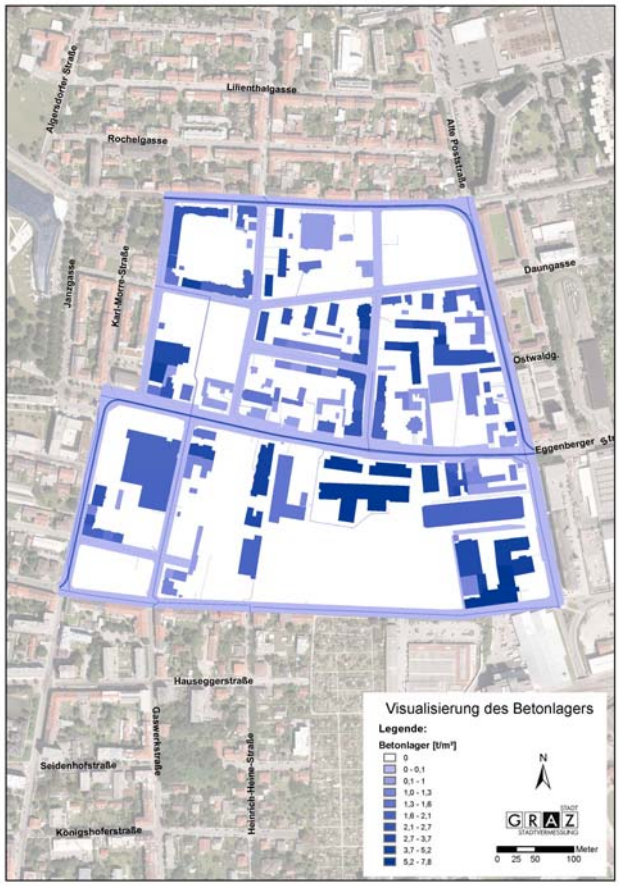


Abbildung 8-32: Visualisierung des zementgebundene Baustoffe, ohne Rasterung

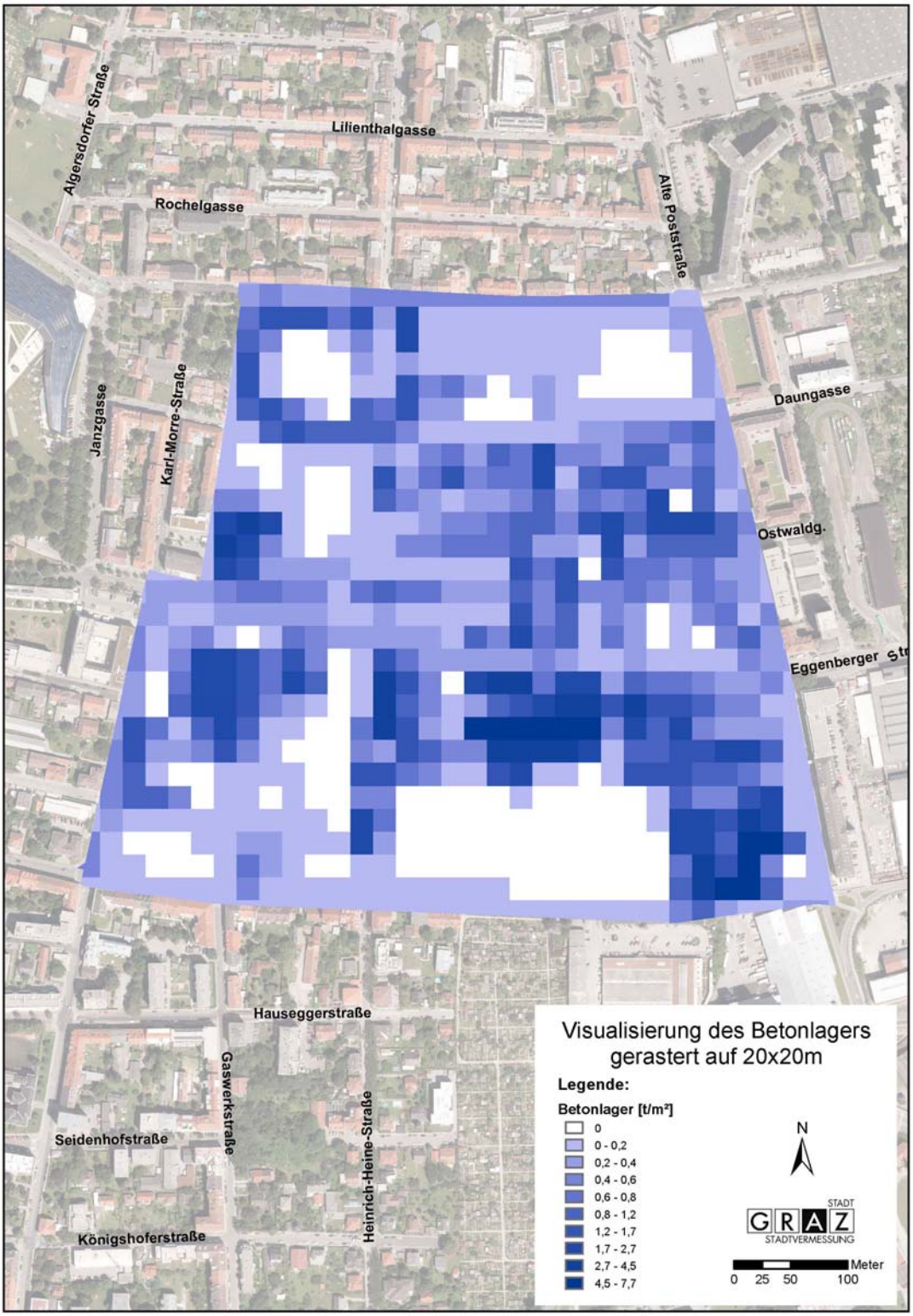


Abbildung 8-33: Visualisierung des zementgebundene Baustoffe in der 20x20 Meter Rasterung

8.5.3 Beispiel: Keramische Baustoffe

Das Lager des der keramischen Baustoffe wird in der Abbildung 8-34 ohne Rasterung dargestellt. Die Visualisierung des „Ziegel-Lagers“ zeigt, dass der Hochbau hauptverantwortlich für die Lagerbildung ist. Die Netzwerke bilden im Bereich der Keramischen Baustoffe eine untergeordnete Rolle. Im Testgebiet sind einige „Hot spots“ von stark ziegelhaltigen Lagern zu identifizieren, die vor allem bei zweiten Abbildung 8-35 mit einer 20 x 20 m Rasterung besser zum Vorschein kommt. Klar zeichnet sich das Areal eines großen Lebensmittelhändlers im westlichen Bereich des Testgebietes ab. Die dicht mit großvolumigen Wohnbauten der 1960er bis 1980er Jahre verbauten Gebiete nördlich der Eggenberger Allee sind deutlich zu erkennen.

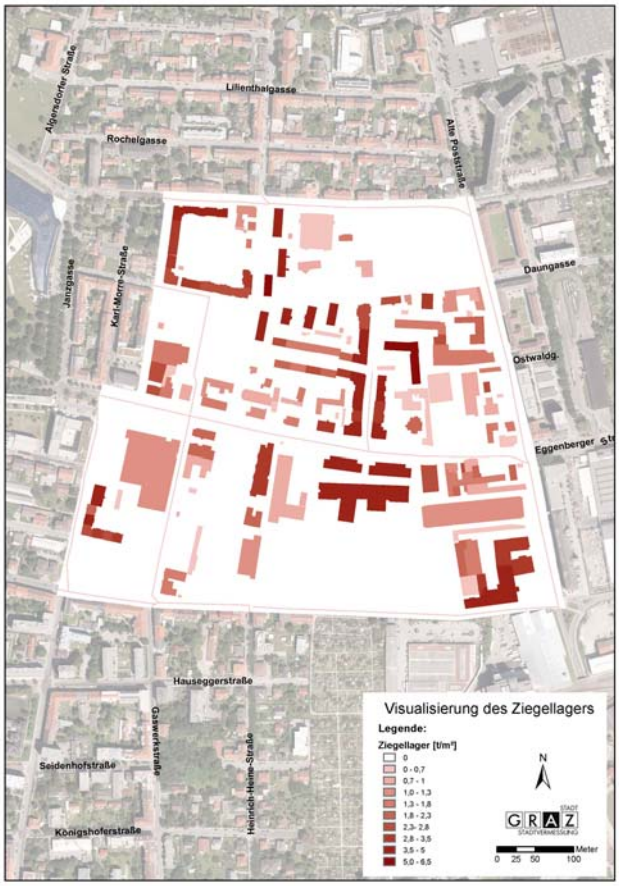


Abbildung 8-34: Visualisierung der keramischen Baustoffe ohne Rasterung

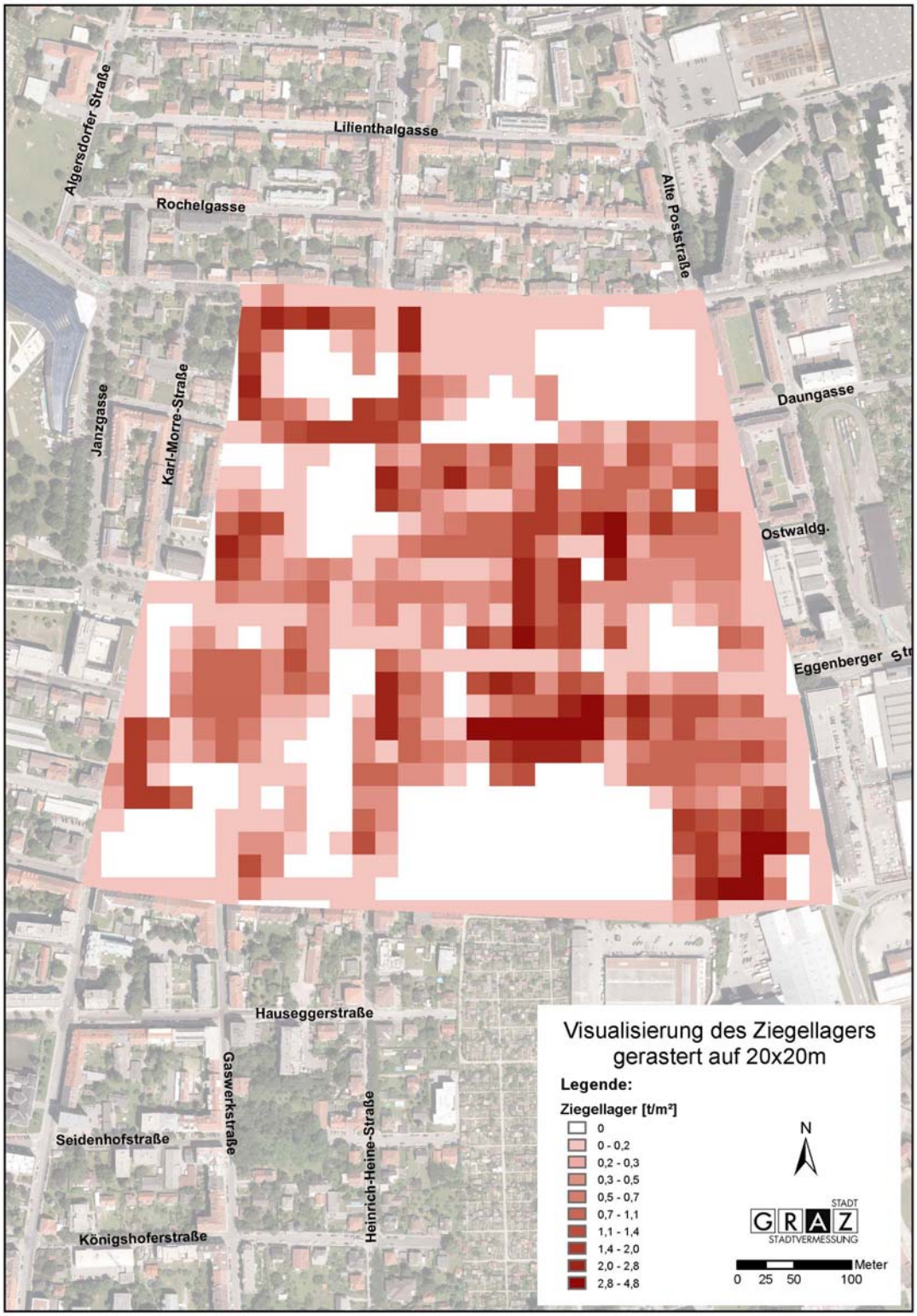


Abbildung 8-35: Visualisierung der keramischen Baustoffe in der 20x20 Meter Rasterung

8.5.4 Beispiel: Stein,Kies, Sand

Das Lager an Stein, Kies und Sand beschränkt sich als Lockergestein auf den Tiefbau (Straße und Netzwerke). Das Lager des wird in der Abbildung 8-36 ohne Rasterung dargestellt. Die Körnungen für die Produktion von Beton werden hier nicht betrachtet und finden sich dementsprechend in der Kategorie „zementgebundene Baustoffe“ wieder. Die Verkehrsinfrastruktur dominiert diese Lagerkategorie klar. Die Ver- und Entsorgungsnetze weisen im Testgebiet zwar ein längeres Netz auf. Durch die im Vergleich große Trassenbereite wird dieser Vorteil der Ver- und Entsorgungsnetze bei der Straßeninfrastruktur wettgemacht. Im 20 x 20 m Raster zeichnet sich das Straßennetz deutlich von der sonstigen Ver- und Entsorgungsinfrastruktur ab.

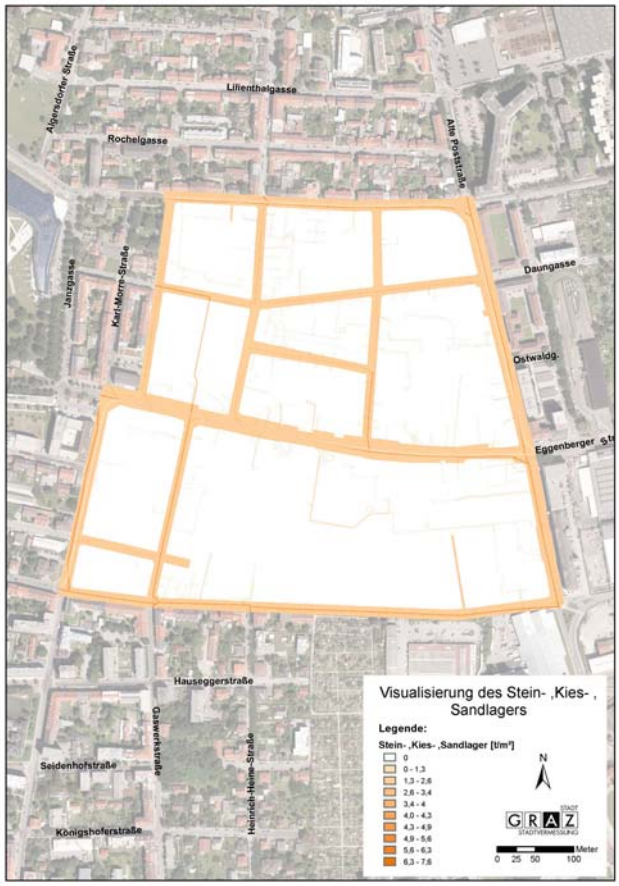


Abbildung 8-36: Visualisierung des Sand/Stein/Kies Lagers ohne Rasterung

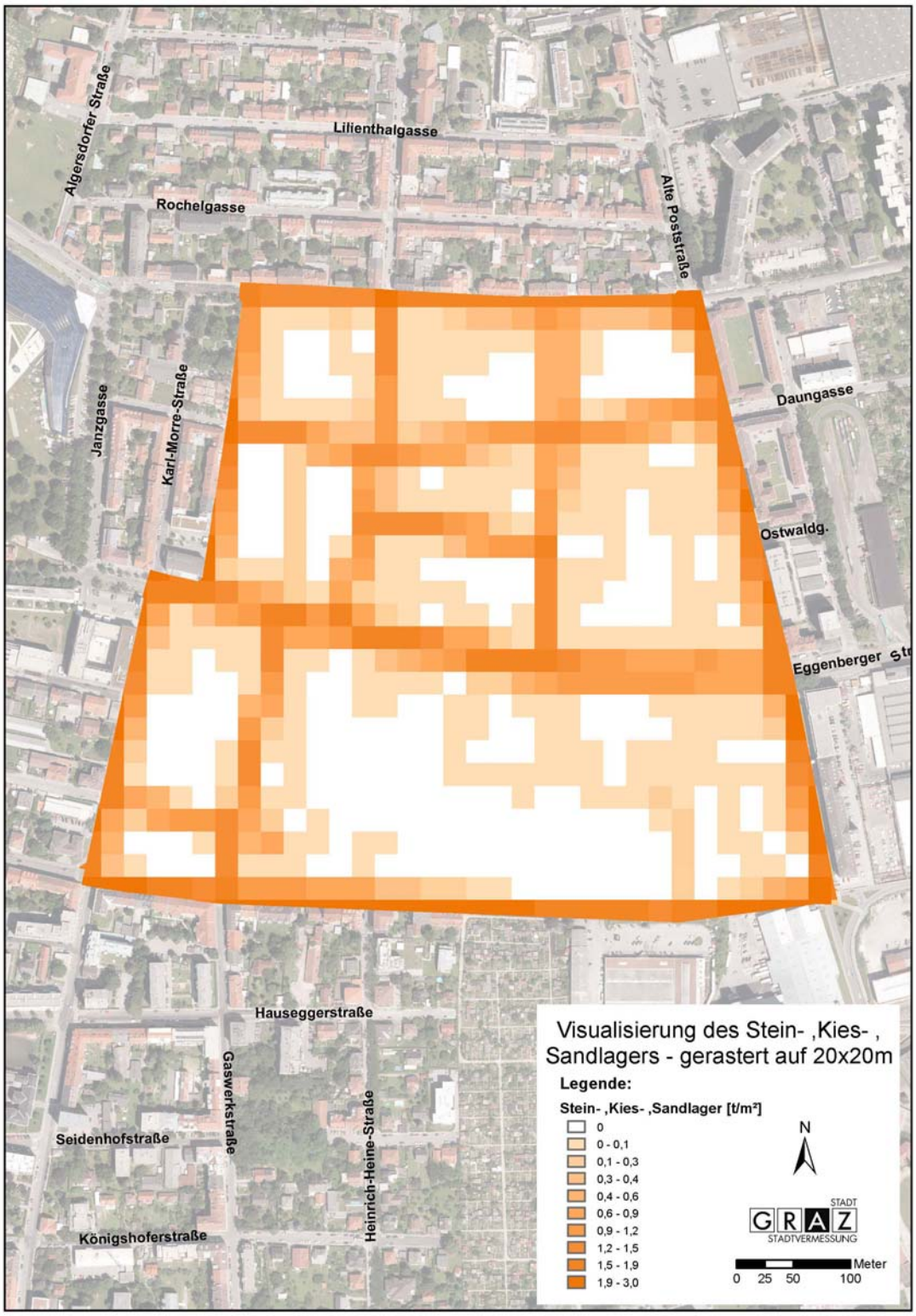


Abbildung 8-37: Visualisierung des Sand/Stein/Kies Lagers in der 20x20 Meter Rasterung

9 Rechtliche Rahmenbedingungen und Instrumente

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Nutzung des Urban Mining Potentials betreffen eine breites Spektrum von Rechtsmaterien unterschiedlicher Hoheit. Die rechtlichen Rahmenbedingungen umfassen Gesetze, welche die Rohstoffgewinnung (v.a. Mineralrohstoffgesetz - MinroG) regeln, über den Bereich Abfallwirtschaft (v.a. Abfallwirtschaftsgesetz - AWG) bis hin zu Eigentumsrechten (v.a. Allgemeines bürgerlicher Gesetzbuch - ABGB). Neben Gesetzen, sind für das Thema Urban Mining auch diverse Europäische und nationale politische Strategiepapiere von hoher Relevanz (v.a. „Ressourcenschonendes Europa“, „Ressourceneffizienzaktionsplan – REAP“). Je nach Eigentumsverhältnissen der unterschiedlichen Lagerstätten, unterscheiden sich auch die möglichen Anreizsysteme und Regelungsmöglichkeiten um das Urban Mining zu forcieren:

- Informationen
- Förderungen
- Gesetze/Verordnungen

Besitz und Eigentum

Die Verfügung und der Besitz über Eigentum ist in Österreich durch das Allgemeine Bürgerliche Gesetzbuch *[ABGB, 2015] geregelt.* Die Besitzverhältnisse geben Aufschluss, wer über Sachen verfügen darf. Im ABGB heißt es wörtlich:

> ***Von dem Besitze.***
> ***Inhaber. Besitzer.***
> *§ 309. Wer eine Sache in seiner Macht oder Gewahrsame hat, heißt ihr Inhaber. Hat der Inhaber einer Sache den Willen, sie als die seinige zu behalten, so ist er ihr Besitzer.*
>
> ***Begriff des Eigentumes;***
> ***Eigentum im objektiven Sinne.***
> *§ 353. Alles, was jemanden zugehöre, alle seine körperlichen und unkörperlichen Sachen, heißen sein Eigentum.*
>
> ***im subjektiven.***
> *§ 354. Als ein Recht betrachtet, ist Eigenthum das Befugnis, mit der Substanz und den Nutzungen einer Sache nach Willkür zu schalten, und jeden Andern davon auszuschließen.*

In einem ersten Schritt bei der optimierten Bewirtschaftung von anthropogenen Lagerstätten gilt zu klären, welche Akteure welche Verfügungsgewalt über welche anthropogenen Lagerstätten haben. In einem weiteren Schritt sind Maßnahmen und Instrumente zu entwickeln, die zu einer optimierten Nutzung dieser Lagerstätten im Sinne des Urban Mining führen.

- Hochbau (nach Besitzverhältnissen)
    - Privatpersonen (ca. 89 % der Gebäude sind in privatem Eigentum)
    - Körperschafen öffentlichen Rechts (ca. 4 %)
    - Gemeinnützige Bauvereinigungen (ca. 3 %)
    - Sonstige juristische Personen (ca. 4 %)
- Tiefbau
    - Straßennetz in Besitz von Gebietskörperschaften (v.a. Bund, Land, Gemeinde)
    - Schienennetze in der Regel in Besitz von Gebietskörperschaften oder ausgelagerten Gesellschaften
- Netze
    - Wasser- und Abwasser v.a. im Besitz der Gemeinde
    - Telekommunikation (v.a. Privatunternehmen oder (teil)verstaatlichte Unternehmen (Post/Telekom)
    - Stromnetz (v.a. Privatunternehmen oder (teil)verstaatlichte Unternehmen)

Das Mineralrohstoffgesetz

Der Abbau von mineralischen Primärressourcen ist in Österreich durch das Mineralrohstoffgesetz [MinroG, 2015] geregelt. Primäre Rechtsgrundlage ist seit dem 1. Jänner 1999 das Mineralrohstoffgesetz (MinroG). Für das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von mineralischen Rohstoffen ist danach eine Bewilligung der Bezirkshauptmannschaften oder, bei untertägiger Gewinnung, des Wirtschaftsministers notwendig. Zu den grundeigenen Bodenschätzen gehören in Österreich auch Asbest und Quarzstein (nicht Quarzsand). Die wesentlichsten Änderungen gegenüber der früheren Rechtslage sind insbesondere:

- Das Aufsuchen, Gewinnen und das im betrieblichen Zusammenhang mit dem Aufsuchen oder Gewinnen erfolgende Aufbereiten sämtlicher mineralischer Rohstoffe unterliegt nun mehr dem Bergrecht.
- Für das obertägige Gewinnen und Aufbereiten grundeigener mineralischer Rohstoffe wurden im Interesse des Umwelt- und Nachbarschaftsschutzes Abbauverbotszonen geschaffen, die sich an naturschutzrechtlichen Festlegungen, an Festlegungen im Flächenwidmungsplan und an überörtlichen Raumordnungsvorschriften der Länder orientieren.
- Für bestimmte mineralische Rohstoffe, deren Vorkommen im Verhältnis zu ihrer großen volkswirtschaftlichen Bedeutung selten sind (Magnesit, hochwertige Tone, hochwertiger Kalkstein, hochwertiger Quarzsand und Diabas), sollte die vorangeführte Bindung der obertägigen Gewinnung an landes- und gemeindeplanerische Vorgaben jedoch nicht zum Tragen kommen, daher wurden diese mineralischen Rohstoffe in den Katalog der bergfreien mineralischen Rohstoffe aufgenommen. Sie stehen jedoch nach wie vor im Eigentum des Grundeigentümers.

Urban Mining ist nicht Bestandteil des MinroG. Aufgrund des gestärkten Umwelt- und Nachbarschaftsschutzes ist jedoch davon auszugehen, dass die abbaubaren Primärressourcen stetig abnehmen.

Europäische und Nationale Zielvorgaben im Bereich Ressourcenbewirtschaftung

Anfang Februar 2011 wurde von der Europäischen Kommission die Mitteilung „Grundstoffmärkte und Rohstoffe: Herausforderungen und Lösungsansätze“ veröffentlicht. Wegen der unterschiedlichen politischen und geologischen Rahmenbedingungen innerhalb der einzelnen Mitgliedstaaten der EU sei es nicht zweckmäßig, allgemeine Vorschriften über eine Rohstoffplanungspolitik festzuschreiben. Es sei viel sinnvoller, dass jeder Mitgliedstaat jene Maßnahmen ergreift, die eine

1) nationale Rohstoffpolitik mit geeignetem Gesetzesrahmen und Informationsrahmen,
2) eine Rohstoffplanungspolitik, und
3) eine auf Nachhaltigkeit abzielende Rohstoffpolitik verfolgen,

welche die wirtschaftlichen, umweltrelevanten und sozialen Gesichtspunkte gleichermaßen abdecken.

Österreichische Rohstoffstrategie

In der Österreichischen Rohstoffstrategie wird festgehalten, dass Österreich insbesondere unentbehrliche metallische Hochtechnologie-Rohstoffe betreffend in hohem Maße importabhängig ist. Das Aufkommen an Baurohstoffen, die gemeinsam mit den Industrieminerale mit einem Verbrauch von etwa 110 Mio. t pro Jahr jene Rohstoffgruppen mit dem höchsten Bedarf in Österreich darstellen, wird aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Überlegungen den Umweltschutz betreffend nahezu zur Gänze aus heimischen Lagerstätten aufgebracht werden. Mineralische Rohstoffe sind endliche Ressourcen und obwohl die geologische Verfügbarkeit zwar derzeit als unproblematisch zu betrachten ist, sind dennoch Verknappungen aufgrund handels- und geopolitischer Faktoren zu verzeichnen. Weiters wird festgehalten, dass konkurrierende Raumnutzungssituationen, wie beispielsweise Baulandnutzung oder Naturschutzgebiete versus Rohstoffgewinnung zu Einschränkungen der Zugänglichkeit zu Lagerstätten, insbesondere Baurohstoffe betreffend auftreten. Dies hat zur Folge, dass der Zugang zu Rohstoffen zunehmend zum Standort- und Wettbewerbsfaktor auch für Österreich wird. Die drei Säulen der österreichischen Rohstoffstrategie sind [BMWFW, 2015]:

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

Ressourceneffizienzaktionsplan (REAP)

Ressourceneffizienz ist zentrales Element einer nachhaltigen Entwicklung Ressourceneffizienzpolitik ist ein zentrales Element für das Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung und verbindet den Schutz der Umwelt mit positiven Anreizen für die Wirtschaft und globaler, sozialer Verantwortung. Ressourceneffizienz ist ein wichtiger Innovationstreiber. In Österreich übersteigt der inländische Ressourcenverbrauch die heimische Ressourcenentnahme zum Teil deutlich. Eine höhere Ressourceneffizienz wird somit zu einem zunehmend wichtigen Kosten- wie Wettbewerbsfaktor für Unternehmen, gleichzeitig stellt sie aber auch einen wichtigen Beitrag für die Rohstoffsicherheit Österreichs dar, wenn nämlich bereits importierte Rohstoffe durch geeignete Kreislaufstrategien weiterhin für die Wirtschaft zur Verfügung stehen. Kreislauf- und Sekundärrohstoffwirtschaft erhalten somit auch im Themenfeld Rohstoffsicherung eine besondere Bedeutung. Dies betrifft auch und insbesondere die derzeit viel diskutierten so genannten kritischen bzw. knappen Rohstoffe [BMLFUW, 2012]. Eine Maßnahme von vielen des REAP zielt exakt auf „urban mining“ ab.

> *„Maßnahme 6 des REAP mit dem Titel: Nutzung anthropogener Lager („Urban Mining“) zielt auf die Forcierung der Nutzung von Sekundärressourcen ab. Ein wichtiges Zukunftsthema für die Abfallwirtschaft ist der Bereich des Recyclings von Materialien aus Infrastrukturen („urban mining“). Große Mengen an wertvollen Stoffen und Materialien (z. B. Metalle wie Kupfer) sind in den bereits bestehenden Infrastrukturen unseres Wirtschaftssystems eingebaut und gespeichert. Ihre effiziente Wiedergewinnung erfordert einen recyclingorientierten Rückbau sowie entsprechende Informationssysteme wie z.B. der Gebäudepass. Um die ökonomische und ökologische Sicherheit bei der Nutzung von Recyclingbaustoffen und damit die Marktnachfrage zu erhöhen soll eine Abfallbehandlungspflichten- und Abfallende-Verordnung für Baurestmassen (erwartet für 2012) erlassen werden. Diese soll verpflichtende Qualitätskriterien für Recyclingbaustoffe fixieren. Auch soll die Umsetzung der Vorgaben des Aktionsplans zur Förderung der nachhaltigen öffentlichen Beschaffung im Bereich Hochbau und Tiefbau durch unterstützende Maßnahmen erleichtert werden. Untersuchungen sollen unter dem Stichwort „Landfill Mining“ feststellen, ob die auf österreichischen Deponien gelagerten Materialien auf effiziente Art rezykliert werden können [BMLFUW, 2012].*

Der im Jahr 2012 erstellte REAP wird 2014/15 durch RESET2020 weiterentwickelt und operativ konkretisiert.

Recycling-BaustoffVO

Die durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasser (BMLFUW) in Ausarbeitung befindliche Recycling-Baustoffverordnung in Kombination mit der ÖNORM B 3151 „Rückbau als Standardabbruchmethode“ wird zukünftig den Rahmen bei Abbruchtätigkeiten in Österreich vorgeben. Nach einer durchgeführten und dokumentierten Schadstofferkundung ist das Rückbaukonzept das zentrale Element dieser Verordnung. Das Rückbaukonzept gemäß ÖNORM B 3151 ist bereits bei Bauvorhaben, bei denen mehr als 100 t Bau- und Abbruchabfälle anfallen, zu erstellen. Bis 3.500 m³ umbauten Raum gemäß

ÖNORM B 3151 von einer rückbaukundigen Person, ab 3.500 m³ gemäß ONR 192130 oder ÖNORM EN ISO 16000-32 durch eine befugte Fachperson oder Fachanstalt.

Land Steiermark

Landesabfallwirtschaftsplan 2010 (L-AWP)

Der Landesabfallwirtschaftsplan der Steiermark aus dem Jahr 2010 [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2010] definiert Visionen und Strategie bis in das Jahr 2020. Die Schwerpunktsetzungen gem. EU-Abfallrahmenrichtlinie (v.a. Ressourcenschonung durch Abfallvermeidung und zielgerichtete Abfallbewirtschaftung, die Schaffung einer „Recycling-Gesellschaft“ und die Aufforderung zur Förderung des Einsatzes wirtschaftlicher Instrumente) sind ebenso in der Steiermark bestmöglich umzusetzen. Die Elemente der „Recycling-Gesellschaft“ und der wirtschaftlichen Instrumente sind im Sinne des Konzeptes der nachhaltigen Entwicklung als tragende Säulen neben der Ressourcenschonung und dem Schutz der Umwelt deutlicher herauszuarbeiten.

Vision 2020 – Die Steiermark nimmt im Jahr 2020 eine Vorreiterrolle im nachhaltigen Ressourcenmanagement ein.

Strategie 1: Nachhaltiges Ressourcenmanagement zum Schutz der Umwelt

Ziel 3: Ressourcenschonung (Boden, Deponievolumen, Rohstoffe, Wasser, Energie)
Die FA19D betreibt aktiv Wissensmanagement im Bereich der Ressourcenschonung. Dazu sind Studien (insbesondere lebenszyklus- oder stoffstromorientierte Betrachtungen zu den Themenbereichen „Urban Mining“, Substituierbarkeit von Rohstoffen durch Sekundärrohstoffe, Schadstoffentfrachtung) zu beauftragen und zu veröffentlichen.

- *Bis zum Jahr 2015 ist eine Vorschau auf die dann voraussichtlich noch vorhandenen Deponiekapazitäten zu erstellen und zu evaluieren.*

Strategie 2 – Nachhaltiges Ressourcenmanagement in der Gesellschaft

Ziel 1: Erhöhung des Bewusstseins für die Notwendigkeit zur Ressourcenschonung und Abfallvermeidung in der Bevölkerung Ein hoher Wissenstand in der Bevölkerung zu Ressourcenschonung und Abfallvermeidung ist anzustreben. Gezielte Informations- und Qualifizierungsinitiativen auf allen Bildungsebenen sind in Form von Kampagnen, Aktionen und Pilotprojekten durchzuführen.

Nachhaltigkeitsbericht 2012

Ziel des Nachhaltigkeitsberichtes der Steiermark [Land Steiermark - Lebensressort, 2012] ist es über Legislaturperioden hinweg strategisch wichtige Ziele und Maßnahmen im Ressortbereich (Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Wohnbauförderung) anzusprechen und erkennbar zu machen. Die zentralen Themen sind dabei Sicherheit – Lebensqualität – intelligente Ressourcennutzung. Die Steiermark soll sich als Ganzes auf dem Weg von der Abfall- zur Stoffflusswirtschaft machen.

Intelligente Ressourcennutzung
Neben der Stärkung der so genannten Recycling-Gesellschaft werden die Prioritäten in den Bereichen geförderter Holzbau, spezifische Beratungen und Bewusstseinsbildung zum Thema Wald/Forst sowie in der Rückgewinnung wieder verwertbarer Materialien in Mülldeponien (Landfill Mining) gesetzt.

Steirisches Landesentwicklungsprogramm 2009

Die Sicherung von Rohstoffen für die Industrie, Wirtschaft und Bevölkerung ist ein relevanter Teil des Steirischen Landesentwicklungsprogrammes. Einerseits durch Schaffung von Vorrangzonen für primärer Abbaugebiete (→ Siehe Österreichischer Rohstoffplan), andererseits durch (eine derzeit nicht erfolgte) Optimierung der Nutzung anthropogener Lagerstätten (→ urban mining/UMKAT). Ziel ist ein möglichst hoher Selbstversorgunggrad in der Region bzw. in Österreich.

Im Steirischen Landesentwicklungsprogramm von 2009 sind in regionalen Entwicklungsprogrammen insbesondere nachstehende Vorrangzonen in den jeweiligen Planungsregionen planlich abzugrenzen und Ziele und Maßnahmen festzulegen:
[…]
Rohstoffvorrangzonen, das sind Flächen, die der Sicherung von regional und überregional bedeutenden Vorkommen mineralischer Rohstoffe dienen.
[Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2009]

Stmk. Abfallwirtschaftsgesetz - StAWG 2004

Im Steiermärkischen Abfallwirtschaftsgesetz von 2004 sind die Grundsätze, Ziele bzw. die Ausrichtung der Abfallwirtschaft im Bundesland definiert.

Ziele und Grundsätze

Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass

1. *schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,*
2. *die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden,*
3. *Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden,*
4. *bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotenzial aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und 5. nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt [LGBl. Nr. 65/2004, 2004].*

Stadt Graz

Stadtentwicklungskonzept 4.0 (Stadt Graz)

Graz verpflichtet sich im Stadtentwicklungskonzept (STEK 4.0) zu einer massiven Reduktion des Ressourcenverbrauchs auf ein Fünftel. Insgesamt soll sich Graz zu einer Smart City entwickeln. Durch einen

> *energie- und ressourcenoptimierten Städtebau gelingt es, in den Handlungsfeldern Energie, Ökologie, Infrastruktur, Mobilität, Stadtplanung, Gesellschaft, Gebäude und Wirtschaft Synergien zu erzielen, die zu einer gesteigerten Attraktivität durch eine hohe Lebensqualität für BürgerInnen und InvestorenInnen und einer sicheren Perspektive für Privatinvestitionen führen. Dies gelingt durch innovative Ansätze, neue Informations- und Kommunikationstechnologien, durch intelligente Systemintegration und durch Vernetzung zwischen den genannten Themenbereichen/Handlungsfeldern, wodurch eine deutliche Effizienzsteigerung bzw. die Reduktion des Energieverbrauchs (insbesondere fossiler Energie) erreicht wird. Mit dem geringstmöglichen Ressourceneinsatz entsteht der größtmögliche (gesamtgesellschaftliche) Nutzen. Das Kreativitäts- und Innovationspotenzial wird durch optimal funktionierende Infrastrukturen und Dienstleistungen mit technologischen Innovationen erhöht und der urbane Lebensstil grundsätzlich verändert [Magistrat der Stadt Graz, 2013].*

Darüber hinaus bekenn sich die Stadt Graz zu einer integrativen Stadtplanung über Ressortgrenzen hinweg:

> *Stadtentwicklung ist kein reines Thema der Raumplanung, vielmehr betrifft sie als fachübergreifende Querschnittsmaterie alle Lebensbereiche. Innerhalb der Stadt Graz wird Stadtentwicklung von allen Abteilungen und Unternehmungen im Rahmen ihr es jeweiligen Aufgabenbereiches verantwortlich betrieben und unterstützt. Durch interdisziplinäre Kooperationen werden Chancen und Herausforderungen umfassend betrachtet und genutzt. Die Einbeziehung von ExpertInnen aus Forschung und Wissenschaft sowie von lokalen Vereinen und Multiplikatoren verbreitert das Feld Stadtentwicklung zusätzlich und bringt neue Ideen und Ansätze in den Prozess ein [Magistrat der Stadt Graz, 2013].*

Ziel der Stadtplanung ist Graz „qualitätsvoll“ wachsen zu lassen:

> *Primär wird ein Wachstum in infrastrukturell gut versorgten Gebieten angestrebt. Innenentwicklungen, wie Stadterneuerungen und Nachverdichtungen in bebauten Gebieten, oder Flächenrecycling, wie die Umnutzung von ehemaligen Kasernen bzw. innerstädtischen Gewerbearealen, werden unter Berücksichtigung der Umgebung grundsätzlich einer Ausdehnung des Baulandes vorgezogen [Magistrat der Stadt Graz, 2013].*

10 Technisch-wirtschaftliche Barrieren und Hemmnisse des Urban Mining

In der Anthroposphäre wurde im Laufe der letzten hundert Jahre ein enormes Lager (verbaute Metalle, Sand, Kies, etc.) aufgebaut. Es besteht im Wesentlichen aus der Gebäudeinfrastruktur und den Netzen (z.B. Straßennetz, Telefonnetz). Massemäßig beträgt das anthropogene Lager in Österreich 467 t pro Einwohner und es wächst jährlich um etwa 12 t pro Einwohner. Das Lager wächst jedoch nicht nur massemäßig, auch die eingesetzten Stoffe reichern sich in der Anthroposphäre an. Dies bedeutet, dass gegenwärtig die anthropogenen Lager aufgebaut werden und nur relativ geringe Mengen in der Abfallwirtschaft landen. Während die rezyklierten Mengen sowohl massemäßig als auch stofflich gut bekannt sind, sind die Wertstoffkonzentrationen in der Infrastruktur und die Wertstofffrachten, die sich noch in den deponierten Abfällen bzw. in den nicht kontrollierten Outputflüssen aus der Anthroposphäre befinden, weitgehend unbekannt. Dem anthropogenen Lager kommt daher in Zukunft im Vergleich mit den natürlichen Rohstoffvorkommen eine immer größer werdende Bedeutung zu. Einerseits, da die anfallenden Abfallmengen kontinuierlich zunehmen werden und andererseits, da es gilt, möglichst viele Wertstoffe, die in der Anthroposphäre gelagert sind bzw. diese verlassen, zu erkennen um diese - soweit technisch und ökonomisch sinnvoll - von den Deponien fern zu halten und dem Recycling zuzuführen. Der Bergbau wird noch über Jahrzehnte seine Bedeutung beibehalten, jedoch wird die Suche nach Wertstoffen in Urbanen Systemen noch vor deren Ausbau eine der wichtigen Forschungsfragen der nächsten Zeit sein (mining cities instead of mining nature). Das Thema „Urban Mining“ wird in Hinkunft durch die Verknappung natürlicher Vorkommen und der steigenden Nachfrage an Bedeutung zunehmen. Daher sind bereits heute entsprechende Methoden der Wertstofferkundung in urbanen Systemen zu entwickeln bzw. weiterzuentwickeln.

Im Bergbau werden Prospektionsmethoden eingesetzt, um neue geogene Lagerstätten zu identifizieren. Im Wesentlichen wird mittels geophysikalischer und geochemischer Vorerkundung versucht, möglichst kosteneffizient die Wahrscheinlichkeit eines Fehlschlags beim Auffinden einer Lagerstätte zu minimieren. Die Frage, die sich in diesem Zusammenhang stellt, können durch Prospektionsmethoden der Geologie potentielle Wertstoffe im anthropogenen Lager identifiziert und deren Mengenpotentiale abgeschätzt werden? Beziehungsweise in welcher Form, in welcher Konzentration müssen Stoffe vorliegen, um deren Abbau aus der Infrastruktur interessant zu machen? Welche Gewinnungsmethoden sind aus technischer Sicht anwendbar? Eine Ressource muss in einer gewissen Konzentration und Verfügbarkeit vorliegen, damit diese effizient gefördert werden kann. Es wird zwischen Potential und Reserven unterschieden. Die Abbildung 10-1 zeigt, dass je nach verfügbarer Technik, Grad der Prospektion sowie dem erzielbarem Preis die größe der Reserve variiert.

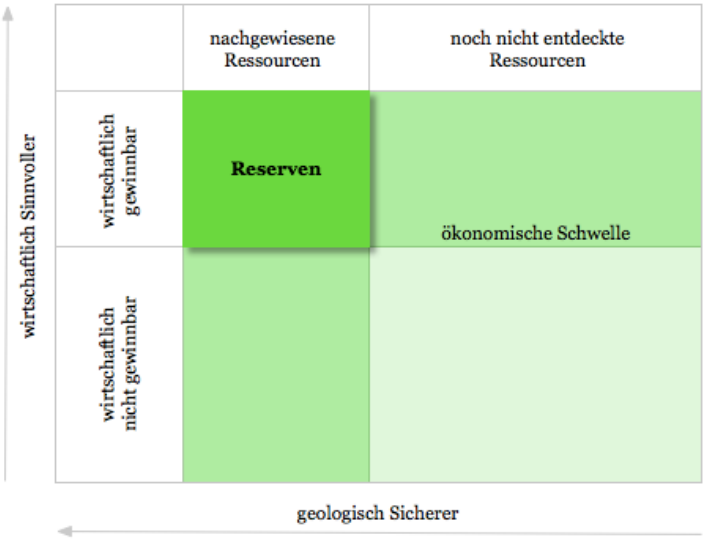


Abbildung 10-1: Ressoucenstock vs. Reserve [Schrader, 2010]

Die wichtigsten Parameter für wirtschaftsgeologische Bewertungen sind:

- Quantität und Qualität der mineralischen Ressource;
- Geologische, geotechnische, berg- und verfahrenstechnische, rechtliche, sozio-ökonomische und umweltrelevante Faktoren, welche bestimmen, welcher Teil der Ressource sich als bauwürdig einstufen lässt.

Alle Angaben über Quantität und Qualität von mineralischen Ressourcen sind prinzipiell ungenau. Schon geometrische Dimensionen und Qualitätsverteilungen lassen sich oft nur bedingt objektiv bestimmen und wesentliche Fragen, z.B. die Kontinuität von Mineralisationen zwischen Aufschlüssen und Bohrungen oder die Quantität und Qualität von Ressourcen als Funktion von Grenzgehalten und/oder Mindestmächtigkeiten, unterliegen subjektivem geologischem Ermessen. Die Bestimmung bauwürdiger Reserven erfordert zusätzliche Annahmen und Schätzparameter, z.B. Abbauverluste und Erzverdünnung, Aufbereitungsverluste, Vermarktung und Erlöse sowie die Einschätzung rechtlicher, wirtschaftlicher, sozialer, politischer und umweltrelevanter Faktoren. Die wirtschaftsgeologische Bewertung lässt sich daher nicht leicht standardisieren und nur beschränkt objektivieren und normen. Wesentlich ist die Qualität der geologischen Analyse sowie das Annehmen angemessener und realistischer Parameter für Technik, Wirtschaft, Soziales und Umwelt [Horkel & Horkel, 2008].

Die Gewinnung von (mineralischen) Rohstoffe erfolgt vor allem aus bereits in der Natur vorgebildeten Anreicherungen. Diffus vorhandene Rohstoffe werden in der Regel nicht abgebaut, da die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist. Die Prospektionstätigkeit, als Suche nach mineralischen Anreicherungen, umfasst im Wesentlichen zwei Bereiche. Ersten die Kategorisierung und Systematisierung von Lagerstätten (Entstehung, Milieu, Reichtum). Zweitens sind Methoden zu entwickeln und anzuwenden, um Lagerstätten konkret ausfindig zu machen [Schmidt, 1986]:

Österreichischer Rohstoffplan

Im Österreichischen Rohstoffplan [Weber L. (Hrsg.) et al., 2012] wird darauf verwiesen, dass es im Bereich den mineralischen Rohstoffe ausreichend Reserven in Österreich gibt. Es ist aus rohstoffgeologischer Sicht auch mittel- bis langfristig keine physischen Verknappungen zu befürchten. Die Zugänglichkeit von Rohstoffvorkommen wird aber immer schwieriger. Davon sind die international handelsfähigen mineralischen Rohstoffe, aber auch die vermeintlich im Überfluss vorhandenen Baurohstoffe, die aufgrund des niedrigen Rohstoffpreises nur regional handelsfähig sind, betroffen. In der Tabelle 10-1 wird die Importabhängigkeit je Rohstoffgruppe, aus dem Österreichischen Rohstoffplan abgebildet. Es fällt besonders auf, dass Österreich im Bereich der Metalle zu 100 % von Importen abhängig ist.

Tabelle 10-1: Importabhängigkeit je Rohstoffgruppe in Österreich [Weber L. (Hrsg.) et al., 2012]

Rohstoffgruppe	Eigenaufbringung Österreich 2009	Importabhängigkeit Österreich 2009
Eisen und Stahlveredler	6,5 %	93,5 %
Nichteisenmetalle	0 %	100 %
Edelmetalle	0 %	100 %
Industrieminerale	98 %	2 %
Kohlen	0 %	100 %
Kohlenwasserstoffe	12 %	88 %

Trotz ausreichender Lagerstättenvorräte ist das angebotsseitige Versorgungsrisiko bei den Baurohstoffen grundsätzlich als kritisch zu beurteilen. Als Gründe sind die konkurrierenden Nutzungsansprüche der Siedlungs- und Schutzgebiete und der für die Versorgung erforderlichen bergbaulichen Abbauflächen zu nennen. Die zukünftigen Bedarfsschwerpunkte sind in den Regionen Wien einschließlich Umland, Linz-Wels, Innsbruck und Tiroler Unterland, Salzburg und Umgebung sowie Graz zu erwarten. Die Abbildung 10-1 zeigt die rohstoffgeologische Eignung Österreichs. Generell kann davon ausgegangen werden, dass in den Regionen mit erhöhtem Rohstoffbedarf auch ein größeres Versorgungsrisiko zu erwarten ist. Hier sind daher frühzeitig im Sinne der Umsetzung des Österreichischen Rohstoffplanes rohstoffpolitische Maßnahmen zur Sicherstellung einer verbrauchernahen Versorgungsstruktur zu ergreifen. Eine Veränderung der bestehenden verbrauchernahen Versorgungsstruktur mit einer mittleren Transportweite von 30 km hätte wachsende verkehrsbedingte Umweltbelastungen sowie Preiserhöhungen bei Baurohstoffen zur Folge.

Der österreichische Rohstoffplan berücksichtigt ausschließlich geogene Rohstoffe. Anthropogene Lagerstätten (Urban Mining) werden nicht berücksichtigt.

Die Erde ist ein geschlossenes System. Rohstoffvorkommen, in denen sich mineralische Rohstoffe angereichert haben, sind nur in geologischen Zeiträumen erneuerbar. Ihre Lage ist geologisch vorgegeben und nur selten in der Nähe ihrer Verbraucher. Die Erhaltung der Zugänglichkeit derart standortgebundener Vorkommen ist daher eine wesentliche Grundlage für eine künftige Rohstoffversorgung. Jede auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Rohstoffpolitik muss aber auch zum Ziel haben, sowohl mit den Rohstoffen als auch mit dem Naturraum sparsam umzugehen. Grundsätzlich sollen vorab alle Maßnahmen ergriffen werden, den Verbrauch an primären Rohstoffen (Baurohstoffe, Erze, Industrieminerale, Energierohstoffe) zu reduzieren (Wiederverwertung von Alt- und Abfallstoffen, „Urban Mining“, Anwendung rohstoff- und energiesparender sowie rohstoff- und energieeffizienter Technologien, u.a.m) [Weber L. (Hrsg.) et al., 2012].

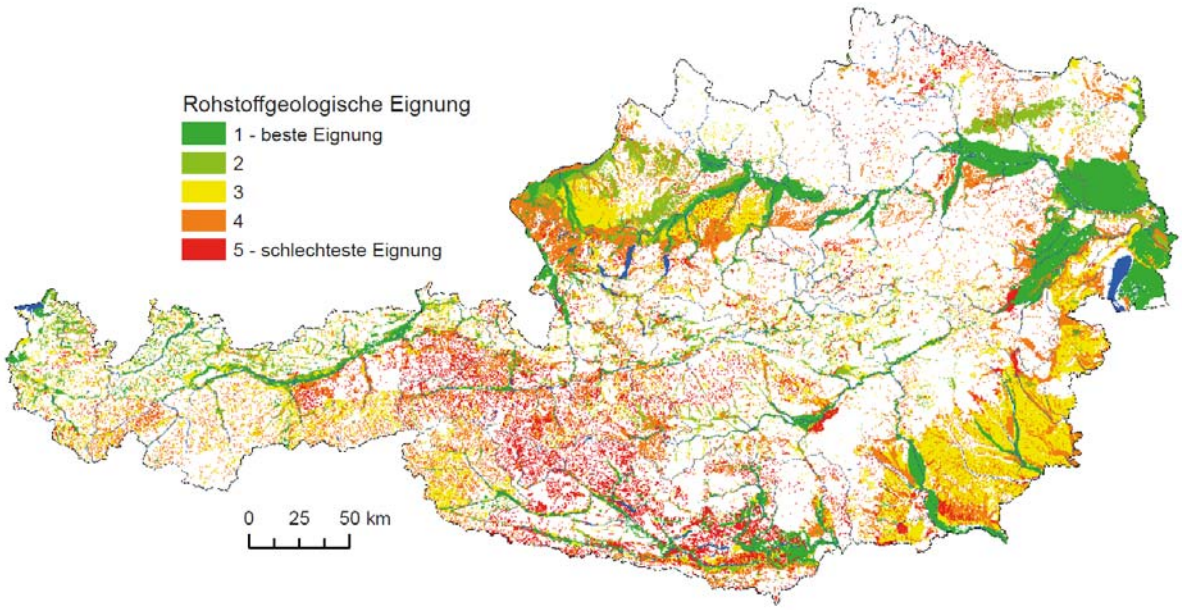


Abbildung 10-2: Rohstoffgeologische Eignung – Österreich [Weber L. (Hrsg.) et al., 2012]

11 Effizienz des Urban Mining in der Steiermark

11.1 Ist/Soll-Vergleich – Potentialanalyse

Mineralische Baurestmassen

Gemäß der Fortschreibung des Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 fallen in Österreich 2013 ca. 8,33 Mio. t Abfälle aus dem Bauwesen (exkl. Bodenaushub) an, von denen 7,23 Mio. t einer Verwertung zugeführt werden. Die Recyclingquote liegt demnach in Österreich knapp über 86 % [BMLFUW, 2015]. Damit werden Vorgaben der EU-Abfallrahmenrichtlinie (< 70 % Recyclingquote für Abfälle aus dem Bauwesen bis 2020) bereits heute erfüllt. Bei genauerer Analyse der Statistik fällt jedoch auf, dass die Recyclingquoten vor allem der sehr hohen Verwertungsquote bei Tiefbaurestmassen (> 90 %) geschuldet ist.

Das gegenwärtige Recycling von Baurestmassen aus dem Hochbau ist nicht nur eine quantitative Herausforderung, sondern auch ein qualitative. Gegenwärtig wird der Großteil der mineralischen Baurestmassen im Zuge von bautechnischen Anwendungen verfüllt. Die Wiederverwendung von Bauteilen und das hochqualitative Recycling (z.B. Erzeugung von Recycling-Beton) sind in Österreich gegenwärtig die Ausnahme, aber aus Sicht der Ressourcenschonung und -effizienz von mineralischen Grundrohstoffen zu propagieren.

Aus dem Abbruch von Bauwerken (Hochbau) stammende Abfälle werden gegenwärtig nur zu ca. 40 bis 60 % (qualifizierte Schätzung) rezykliert. Hintergrund dieser niedrigen Verwertungsquote sind einerseits Abbruch- und Aufbereitungstechnologien, die nicht dem Stand der Technik entsprechen. Andererseits ist der Wissensstand über in Abbruchgebäuden enthaltenen Bauteilen und deren Materialzusammensetzung gering. Dies bedeutet, dass ein Abbruchunternehmen vor Abbruchtätigkeiten nicht weiß, welche Schad-, Wert- und Störstoffe in einem Abbruchgebäude enthalten sind. Dieser Umstand erschwert die Verwertung von Abfällen in erheblichem Maße.

Wie im Landesabfallwirtschaftsplan des Landes Steiermark festgehalten wird, sind dem Referat Abfallwirtschaft und Nachhaltigkeit systematische Aufzeichnungen und Bilanzen über das Abfallaufkommen aus dem Baubereich (gewerbliche Abfälle) nicht zugänglich. Die Datenlage in diesem Bereich ist mit großen Unsicherheiten behaftet [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2010]. Im Landesabfallwirtschaftsplan werden die Zahlen von [Daxbeck & Flath, 2009] herangezogen, diese werden in der Tabelle 11-1 angeführt.

Tabelle 11-1: Anfall an Baurestmassen in der Steiermark im Jahr 2008 nach [Daxbeck & Flath, 2009]

Baurestmassen	Anfallende Menge in t
Mineralischer Bauschutt	360.000
Straßenaufbruch	172.000
Asbestzement	11.800

Baurestmassen	Anfallende Menge in t
Betonabbruch	195.000
Gleisschotter	63.400
Baustellenabfälle	158.400
GESAMT	**961.400**

Im Landesabfallwirtschaftsplan 2010 wird für 20 % der anfallenden Baurestmassen und Aushubmaterialien eine stoffliche Verwertung angegeben. Die Vision 5 des L-AWP 2005 setzt das Ziel bis 2015 die Verwertungsquote auf 30 % zu geben. Die tatsächliche Verwertungsquote von Hochbaurestmassen weist eine sehr große Unsicherheit auf. Je nach verwendeter Quelle schwankt diese zwischen 20 % (laut Erhebung bei Anlagenbetreibern) und 60 % (laut BRV) [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2010]. Anbetracht der EU-Abfallrahmenrichtlinie, die für 2020 eine Mindestverwertungsquote für Bau- und Abbruchabfälle von 70 % vorsieht, sind jedenfalls Maßnahmen zur Erhöhung der Verwertungsquote zu unternehmen. Damit dem objektiven Monitoring Rechnung getragen wird, ist jedenfalls die Datenlage zu verbessern.

Eigene Berechnungen zeigen ein differenziertes Bild der anfallenden Mengen aus dem Abbruch im Hochbau. Es wird angenommen, dass von den ca. 350.000 Gebäuden ca. 0,36 % pro Jahr abgebrochen werden [Bergauer-Culver, 2014]. Dies entspricht ca. 1.300 Gebäuden ohne Berücksichtigung von Nutzungstypen. Unter Annahme einer aliquoten Abbruchquote für alle Nutzungstypen ergibt sich für die Steiermark folgendes erwartetes Bild:

- Ca. 1.140 Abbrüche von Wohngebäuden
- Ca. 40 Abbrüche von Wohnbauähnlichen Gebäuden
- Ca. 80 Abbrüche von Industrie und Gewerbeobjekten

Diese Abbruchgebäude haben ein errechnetes Volumen von ca. 1.600.000 m³ Rauminhalt. Davon entfallen ca. 1.400.000 m² (ca. 88 %) auf Wohngebäude. Unter Zuhilfenahme der Materialzusammensetzung von Gebäuden gemäß Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg enthalten die genannten Abbruchgebäude (Hochbau) folgende Materialien [Rentz et al., 2001]:

- Beton/Betonabbruch ca. 240.000 bis 270.000 t
- Ziegel/Ziegelabbruch ca. 300.000 bis 330.000 t
- **GESAMT** **ca. 550.000 bis 600.000 t**

Die tatsächlich anfallenden Mengen von Abfällen aus dem Bauwesen (v.a. mineralischer Bauschutt) sind über das Elektronische Datenmanagement Umwelt (EDM) des BMLFUW zu erheben. Eine diesbezügliche Anfrage konnte von der zuständigen Behörde in der Projektlaufzeit nicht positiv beantwortet werden. Aktuelle Daten über die anfallenden Mengen von Abfällen aus dem Bauwesen stehen für die Steiermark aus diesem Grund nicht zur Verfügung. Es sind Bestrebungen des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung (Abteilung 14) im Gange den Prozess der Generierung von aktuellen Daten zum Abfallaufkommen zu optimieren. Ergebnisse dieses Prozesses sind in der Projektlaufzeit nicht zu erwarten.

Holz in Bauwerken

In den ca. 350.000 Gebäuden in der Steiermark sind in etwa 10.430.000 t Holz gespeichert. Der Großteil des Lagerbestandes (ca. 80 %; 8.400.000 t) entfällt dabei auf die Wohngebäude. Die Nicht-Wohngebäude haben gegenüber den Wohngebäuden einen geringen Anteil, dort sind etwa 2.030.000 t gespeichert (vergleiche Kapitel 8.3.1). Bei einer angenommenen Abbruchrate von 0,36 % des Gebäudebestandes werden pro Jahr ca. 1.300 Gebäude abgebrochen [Bergauer-Culver, 2014]. Dabei fallen etwa 37.500 t Abbruchholz pro Jahr an. Die Menge, die als Bau- und Abbruchholz in die Abfallwirtschaft gelangt ist gegenwärtig in der Steiermark nicht bekannt. Österreichweit wurden gemäß BAWP 2011 im Jahr 2009 ca. 277.000 t gesammelt. Diese Abfälle setzen sich aus Bauabfällen (Neubau) und Abbruchabfällen (Abbruch und Sanierung) zusammen. Umgerechnet auf die Steiermark ergibt sich eine Menge von ca. 40.000 t [BMLFUW, 2011].

Kunststoffe in Bauwerken

In Österreich sind Daten über anfallende Dämmstoffabfälle nicht verfügbar. In Deutschland wurden im Jahr 2011 rund 208.300 Tonnen Dämmstoffabfälle gesammelt und verwertet. Umgerechnet auf die Einwohneranzahl (2011: ca. 81,8 Mio. Ew.) ergibt das ein Aufkommen von 2,54 kg pro Einwohner. Unter der Prämisse, dass Deutschland und Österreich einen ähnlichen Gebäudebestand und eine ähnliche Sanierungsquote aufweisen errechnet sich umgelegt auf Österreich ein jährliches Aufkommen von ca. 21.500 t an Dämmstoffabfällen. Der Anteil der Steiermark an der Gesamtbevölkerung Österreichs beträgt 2013 ca. 14,3 %. Umgelegt auf den Anfall von Dämmstoffabfällen errechnet sich ein Aufkommen von ca. 3.100 t pro Jahr. Der Marktanteil von Kunststoffschäumen beträgt in Österreich seit Jahren ca. 50 %. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass pro Jahr ca. 1.500 t Dämmstoffabfälle auf Kunststoffbasis anfallen [Huber, 2013].

Kupfer in Bauwerken

Im Gebäudelager in der Steiermark sind etwa 64.000 t Kupfer gespeichert (siehe Kapitel 8.3.1.). Es wird angenommen, dass von den ca. 350.000 Gebäuden ca. 0,34 % pro Jahr abgebrochen werden [Bergauer-Culver, 2014]. Dies entspricht einer Kupferfracht von 218 t pro Jahr, die in die AWS gelangen. Es existieren jedoch keine offiziellen Zahlen über das tatsächliche Kupferschrottaufkommen aus dem Gebäudeabbruch. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass aufgrund der gängigen Praxis bei Abbruchtätigkeiten ein nicht zu vernachlässigender Teil der Kupferfracht in den Baurestmassen verbleibt und daher dem Recycling nicht zugeführt werden kann.

Langlebige Konsumgüter (bspw. KFZ)

Es sind keine Zahlen über die Verschrottung von Altautos in der Steiermark veröffentlicht. In der Studie von [Zlodnjak, 2013] wird die Anzahl der verschrottenden Fahrzeuge für die Steiermark für das Jahr 2012 auf etwa 40.300 geschätzt. Wird diese Zahl mit der in Tabelle 4-41 angeführten Materialzusammensetzung multipliziert, so berechnen sich insgesamt etwa 46.000 t/a (siehe Tabelle 11-2).

Tabelle 11-2: Aufkommen in [t/a] je Materialkategorie der anfallenden Altautos in der Steiermark

Material	Aufkommen in der Steiermark 2012 [t/a]
Eisen/Stahl	30.225
Aluminium	2.821
Kupfer	403
Andere NE-Metalle	403
Kunststoffe	10.881
Reifen	1.612

Von den jährlich ca. 40.300 abgewrackten Fahrzeugen werden nur etwa 27 % (10.800) in der Steiermark verwertet. Der Verbleib der restlichen 29.500 Fahrzeuge ist unbekannt [Zlodnjak, 2013]. Für 70 % der Altfahrzeuge und damit für etwa 32.200 Tonnen Recyclingmaterial sind offiziell weder der Verbleib noch der Stand der Verwertung oder die von der Europäischen Union festgesetzten Verwertungsziele bekannt.

11.1.1 Potential in Bauwerken

Die Datenlage über das Abfallaufkommen im Bereich Baurestmassen erschwert eine Beurteilung des Potentials. Im Vergleich zu den Zahlen aus dem L-AWP 2010 sind die errechneten Mengen an mineralischen Baurestmassen geringer. Zu berücksichtigen ist, dass hier nur die Mengen aus dem Hochbau erhoben wurden. Die Zahlen im L-AWP beinhalten auch den Anfall aus dem Tiefbau.

Für Abbruchholz liegt das errechnete Potential in etwa im Bereich der aus dem Bundesschnitt abgeleiteten Werte für die Steiermark.

Für die errechneten theoretischen Mengen im Bereich Kupfer und Kunststoffe sind keine äquivalenten Zahlen über das tatsächliche Sammelaufkommen in der Steiermark verfügbar.

Generell kann festgehalten werden, dass je effizienter und hochwertiger mineralische Baurestmassen in Abbruchgebäuden separiert und recycelt werden, desto mehr Wertstoffe (v.a. Metalle, Holz, Kunststoff) werden einer Verwertung zugeführt. Ein Instrument, um das Recycling von Baurestmassen aus dem Hochbau qualitativ und quantitativ zu heben, ist die Forcierung des verwertungsorientierten Rückbaus. Der verwertungsorientierte Rückbau hat zum Ziel, die in Abbruchgebäuden enthaltenen Bauteile und Baustoffe gemäß der Abfallhierarchie (vgl. EU-Abfallrahmenrichtlinie) zu behandeln. D.h. der verwertungsorientierte Rückbau umfasst den zerstörungsfreien Rückbau von funktionstüchtigen Bauteilen aus Abbruchgebäuden für den Wiedereinsatz (Wiederverwendung). Darüber hinaus sollen bei weiteren Abbruchtätigkeiten die anfallenden Abfallfraktionen möglichst getrennt gesammelt werden, um eine hochqualitative Verwertung zu ermöglichen. Z.B. muss Beton getrennt von gipshal-

tigen Baustoffen gesammelt werden, um das hochqualitative Recycling von Betonabbruch nicht zu gefährden.

Durch verbesserte Daten wird die Grundlage geschaffen, um Abfälle aus dem Bauwesen zukünftig quantitativ (→ Steigerung der Recyclingquote) und qualitativ (→ Sekundärbaustoffe; Wiederverwendung von Bauteilen) optimiert zu verwerten. Für bestehende Gebäude ist dieses Ziel nur mit erheblichem Aufwand umsetzbar, da in der Regel keine Pläne und Beschreibungen der verbauten Produkte mehr existieren. Beim Neubau ermöglichen jedoch neue Entwicklungen im Bereich der Planungstools (hier: Building Information Model - BIM) Aspekte der Nachhaltigkeit, der Abfallwirtschaft und des Facility Managements optimiert zu integrieren.

11.1.2 Potential in Netzwerken

Das relevanteste Lager im Bereich der Netzwerke, mit dem größten Mengenzuwachs, stellt die Straßeninfrastruktur dar. In diesem Bereich gilt Urban Mining als Stand der Technik. Abbruchmaterial, welches bei Straßensanierungen anfällt, wird in der Regel im Straßenunterbau wieder eingesetzt. Es können sowohl Asphalt als auch Beton Deckschichten recycelt werden. Nachdem dies sehr oft direkt auf der Baustelle bzw. von den ausführenden Baufirmen selbst durchgeführt wird, sind keine Zahlen über Verwertungsquoten verfügbar.

Im Bereich der Schieneninfrastruktur, Energieversorgung und der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung wird das Urban Mining Potential gering eingeschätzt. In diesen Netzen werden in der Regel keine relevanten Abschnitte stillgelegt. Die Netze werden laufend saniert. Im Zuge der Sanierungsarbeiten werden die alten durch neue Leitungssysteme ersetzt, d.h. der Altbestand wird rückgebaut und verwertet bzw. beseitigt. Es sind jedoch keine Zahlen bezüglich der jährlich anfallenden Mengen verfügbar.

Der Telekommunikationsbereich zeigt die Auswirkung von Technologiesprüngen auf. Durch das rasante Wachstum des Mobilfunkbereiches und der damit verbundene Bedeutungsverlust des Festnetzbereiches, wird es zu Verschiebungen in der benötigten Netzinfrastruktur kommen. Auch im Bereich des Datentransfers kommt es durch die Umstellung auf Glasfaserkabel zu einer veränderten Materialzusammensetzung des Leitungsnetzes. Der Telekommunikationsbereich wird durch private Versorger bereitgestellt, es sind keine Zahlen bezüglich der rückgebauten Mengen oder der stillgelegten Leitungen welche nicht rückgebaut wurden in amtlichen Statistiken verfügbar.

11.1.3 Potential in Konsumgütern

Im Jahr 2012 wurden rund 11.749 t Elektroaltgeräte (EAG) von den kommunalen und gewerblichen Sammelstellen übernommen. Pro Kopf ergibt dies für das Jahr 2012 eine Sammelmasse von 9,7 kg [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2015a]. Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie die verpflichtende Getrenntsammlung der Elektro-

und Elektronikaltgeräte, die seit August 2005 besteht, ist die kostenlose Rücknahmepflicht durch Gemeinden, Fachhandel, Hersteller und Entsorger gegeben. Durch die einhergehende verstärkte Öffentlichkeitsarbeit kann mit einem weiteren Anstieg der Sammelmassen von Elektro- und Elektronikaltgeräten in Zukunft gerechnet werden. Das europaweit vorgegebene Sammelziel von 4 kg pro Einwohner und Jahr wurde um 100 % überschritten. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass das Sammelsystem von der Bevölkerung angenommen wird.

Im Bereich der Altfahrzeuge ist der Verbleib von 70 % außer Dienst gestellter Fahrzeuge nicht bekannt. Es kann hier für die Steiermark von einem Potential von etwa 32.200 Tonnen Recyclingmaterial (v.a. Eisen/Stahl, Aluminium und Kunststoff) ausgegangen werden.

11.1.4 Ziele für die Bewirtschaftung

Europäische Ebene

Ressourceneffizienz ist ein wichtiger Bestandteil von „Europa 2020“, der EU-Strategie für wirtschaftliches Wachstum und Schaffung von Arbeitsplätzen in den kommenden 10 Jahren. Zu den sieben Leitzielen von „Europa 2020“ zählt unter anderen die Initiative für ein ressourcenschonendes Europa. Diese bietet einen langfristigen Rahmen zur Unterstützung politischer Maßnahmen. Ziel ist es, dass Ressourceneffizienz konsequent in alle relevanten Politikfelder einbezogen wird [Europäische Kommission, 2011b].

Der Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa zeigt die beträchtlichen Auswirkungen von Bautätigkeiten auf die Bereiche natürliche Ressourcen, Energie, Klimawandel und Umwelt. Das in der Abfallrahmenrichtlinie formulierte Ziel, bis zum Jahr 2020 in der Wiederverwendung, Wiederverwertung und/oder Rückführung von bei Bau- bzw. Abrisstätigkeiten entstehenden Abfällen eine Quote von 70 % zu erreichen, bietet der Wertschöpfungskette des Baugewerbes wertvolle Geschäfts- und Entwicklungschancen. Es könnte sich daher günstig für das Baugewerbe auswirken, wenn Abfall besser und eindeutiger definiert würde und Meldepflichten für die Abfallbeförderungen sowie Vorschriften über die Merkmale von Bauprodukten hinsichtlich der Verwendung von Werkstoffen, der Haltbarkeit und der Umweltverträglichkeit harmonisiert würden [Europäische Kommission, 2012].

Österreich

Auf nationaler Ebene schreibt der Ressourceneffizienz Aktionsplan (REAP) die Ziele für die Schonung natürlicher Ressourcen fest. Darin wird im Aktionsfeld Kreislaufwirtschaft mit der Maßnahme 6 explizit Urban Mining thematisiert. Urban Mining gilt politisch als wichtiges Zukunftsthema, da relevante Mengen an Stoffen und Materialien in bereits bestehenden Infrastrukturen des Metabolismus verbaut sind. Die effiziente Widergewinnung erfordert einen recyclingorientierten Rückbau sowie entsprechende Informationssysteme [BMLFUW, 2012].

Land Steiermark

Mit der Vision 2020 des L-AWP 2010 gibt die Steiermark bereits im Titel „Die Steiermark nimmt im Jahr 2020 eine Vorreiterrolle im nachhaltigen Ressourcenmanagement ein“ die Zielrichtung vor. Darin wird im Ziel 3 Ressourcenschonung (Boden, Deponievolumen, Rohstoffe, Wasser, Energie) aktives Wissensmanagement im Bereich der Ressourcenschonung durch die FA19D festgeschrieben [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2010]. Mit dem UMKAT wird dieses Vorhaben unterstützt, z.B. kann ein effizientes Monitoring für bestimmte Abfallströme (z.B. Einbau von Schlackenzement in Fahrbahnen) über einen ausgebauten UMKAT erfolgen.

12 Maßnahmenbündel zur Effizienzsteigerung

12.1 Rechtliche Maßnahmen

Definieren des Endes der Abfalleigenschaft für mineralische Baurestmassen zur Forcierung der Produktion qualitativ hochwertiger Sekundärbaustoffe. Eine gleichzeitige Novellierung des ALSAG unterstützt die Verwertung von mineralischen Baurestmassen.

Die Definition des Endes der Abfalleigenschaft von Baurestmassen macht den Übergang vom Abfall zum Produkt transparent und nachvollziehbar. Dies ist äußerst relevant für die Beitragspflicht gemäß ALSAG, da für Baurestmassen, die das Abfallende erreichen, kein ALSAG-Beitrag zu entrichten ist. Um Entsorgungskosten und ALSAG-Beitrag zu vermeiden, werden Abbruchunternehmen und Recyclingbetriebe danach streben, möglichst reine Baurestmassen von hoher Qualität zu produzieren. Eine Erhöhung des ALSAG-Beitrages verstärkt diesen positiven Effekt und unterstützt das Urban Mining Potenzial von Baurestmassen.

Der österreichische Rohstoffplan stellt die raumordnerische Grundlage für die Versorgungssicherheit Österreichs mit Ressourcen aus geogenen Lagerstätten dar. In Analogie zum Rohstoffplan ist ein Konzept zu entwickeln, um anthropogene Lagerstätten sichtbar und nutzbar zu machen.

Der österreichische Rohstoffplan dient als bundesweiter Masterplan zur Rohstoffsicherung in Österreich. Das Ergebnis dieses Plans ist die Ausweisung von „Rohstoffsicherungsgebieten“. Mit der Umsetzung des Plans sind die Bundesländer über deren Raumordnungsgesetze betraut. Gegenwärtig werden ausschließlich geogene Lagerstätten zur Rohstoffsicherung herangezogen. Eine Maßnahme zur Forcierung des Urban Mining ist den bestehende Rohstoffplan um den Themenbereich der Sicherung von anthropogenen Lagerstätten zu ergänzen. Durch die Erweiterung des Geltungsbereiches des Rohstoffplans wird ein Beitrag geliefert, die Versorgung Österreichs mit relevanten Ressourcen optimiert zu sichern.

Umsetzung der Kriterien der Grundanforderung (GA) 7 „Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“ der EU-BauproduktenVO zur Förderung des Lebenszyklusgedanken im Bauwesen.

Durch die neue EU-Bauproduktenverordnung werden die bestehenden 6 Grundanforderungen an Bauprodukte bzw. Bauwerke um den Aspekt „Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“ erweitert. Zur optimierten Umsetzung der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen sind die Kriterien in der GA 7 zu präzisieren und in den betroffenen OIB-Richtlinien bzw. Produktnormen zu implementieren. Dadurch wird ein relevanter Beitrag geliefert den Lebenszyklusgedanken im Bauwesen zu etablieren.

Implementierung eines Gebäudematerialinformationssystem in die Bauordnungen/-gesetze der Bundesländer, sowie in begleitenden Gesetzen (z.B. Wohnbauförderung) zur Förderung des Lebenszyklusgedankens im Neubau.

Zur Umsetzung eines Gebäudematerialinformationssystems sind im Zuge des Ansuchens um Bewilligung eines Neubauvorhabens, ab einer zu definierenden Größe, Daten über eingesetzte Baumaterialien/-produkte in einem Gebäudematerialinformationssystem an die Baubehörde zu übermitteln. Gebäudematerialinformationssysteme sollen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes nutzbar sein und einen relevanten Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz liefern. Durch die verbesserte Informationsgrundlage über eingesetzte Bauprodukte und deren Verortung im Gebäude wird die Sanierung bzw. der Rückbau erleichtert. Beim Abbruch stehen dem Abbruchunternehmen umfangreiche Informationen zur Verfügung, die die Verwertung der anfallenden Baurestmassen erleichtern.

Der „verwertungsorientierte Rückbau“ ist als Stand der Technik bei Sanierungs- und Abbruchtätigkeiten in die Bauordnungen/Baugesetze zu implementieren. Eine gleichzeitige Harmonisierung der neun Bauordnungen/Baugesetze wirkt dabei unterstützend.

Der verwertungsorientierte Rückbau ist ein relevantes Instrument zur optimierten Nutzung des Urban Mining Potenzials des Gebäudelagers. Dieser Stand der Technik ist in der ÖNORM B 3351 „Rückbau als Standardabbruchmethode“ festgeschrieben und wird mit der in Ausarbeitung befindlichen Recycling-BaustoffVO für verbindlich erklärt. Zur Unterstützung des verwertungsorientierten Rückbaus ist vorbereitend eine Schadstofferkundung, sowie ein Rückbaukonzept zu erstellen. Der verwertungsorientierte Rückbau ist eine Grundlage, die in Infrastruktur gespeicherten Ressourcen optimiert einer Verwertung nach dem Ende der Nutzungsdauer zuzuführen.

Durch eine Ökologisierung öffentlicher Ausschreibungen ist der Einsatz von Sekundärrohstoffe zu forcieren.

Zur Schaffung eines Marktes für Sekundärrohstoffe sind Auftraggeber der öffentlichen Verwaltung zu motivieren, im Neubau einen zu definierenden Prozentsatz an Sekundärbaumaterialien einzusetzen. Durch diese Maßnahme, die im Bundesvergabegesetz zu verankern ist, wird die Nachfrage nach Sekundärbaumaterialien stimuliert und ein Beitrag dazu geliefert, diese Produkte langfristig konkurrenzfähiger zu machen. Damit wird der Lebenszyklusgedanke im Bauwesen forciert. Der Markt für Recyclingbaustoffe soll durch Leuchtturmprojekte der öffentlichen Verwaltung stimuliert werden.

Ressourceneffiziente Ausrichtung der Volkswirtschaft forcieren

Die Mitteilung KOM(2011)571 beschreibt die Herausforderungen und Chancen auf Europas Weg zur Ressourceneffizienz. Das Abfallwirtschaft kann du diesem Ziel relevante Beiträge leisten. Ein Bereich ist die Abfallwirtschaft in Richtung Kreislaufwirtschaft zu erweitern. In der Europäischen Union fallen jedes Jahr ca. 2,7 Milliarden Tonnen Abfall an. Wiederverwendet

oder recycelt werden im Durchschnitt nur 40 % unserer festen Abfälle, der Rest geht auf Deponien oder in Verbrennungsanlagen. Das Gesamtabfallaufkommen in der EU ist zwar stabil, doch bestimmte Abfallströme, z. B. Bau- und Abbruchabfälle, Klärschlämme und ins Meer entsorgte Abfälle nehmen weiter zu. Wenn aus Abfällen Ressourcen werden sollen, die als Rohstoffe in die Wirtschaft zurückgeführt werden, muss der Wiederverwendung und dem Recycling eine viel höhere Priorität eingeräumt werden. Eine Kombination von Strategien würde dazu beitragen, eine vollständige Recyclingwirtschaft zu schaffen, darunter Produktdesign nach dem Lebenszykluskonzept, bessere Zusammenarbeit aller Marktteilnehmer der Wertschöpfungskette, bessere Abfallsammelsysteme, ein geeigneter Regelungsrahmen, Anreize für Abfallvermeidung und Recycling sowie öffentliche Investitionen in moderne Anlagen für Abfallbehandlung und hochwertiges Recycling [Europäische Kommission, 2011a].
Die Kommission wird den Sekundärwerkstoffmarkt und die Nachfrage nach recycelten Werkstoffen durch wirtschaftliche Anreize und durch die Erarbeitung von Kriterien für das Ende der Abfalleigenschaft ankurbeln. Die bestehenden Ziele auf den Gebieten Vermeidung, Wiederverwendung, Recycling, Verwertung und Abkehr von Deponien überprüfen, um zu einer auf Wiederverwendung basierenden Wirtschaft überzugehen [Europäische Kommission, 2011a].

12.2 Technische Maßnahmen

Gebäudelager

Als Instrument zur Effizienzsteigerung der Bewirtschaftung des Gebäudelagers ist vor allem der Paradigmenwechsel von der Demolierung zu einem verwertungsorientierten Rückbau zu nennen. Der verwertungsorientierte Rückbau hat das Ziel die bei Abbruchtätigkeiten (Sanierung, Teilabbruch, Totalabbruch) anfallenden Baurestmassen einer bestmöglichen Verwertung im Sinne der 5-stufigen Abfallhierarchie zuzuführen. Gegenwärtig dominiert die stoffliche Verwertung von mineralischen Baurestmassen als technisches Schütt- und Füllmaterial. Tatsächliches Recycling im Sinne einer Nutzung in einem gleichwertigen Produkt (z.B. Recyclingbeton) findet gegenwärtig kaum statt.

Der rechtlich-technische Rahmen für die Durchführung von Abbruchtätigkeiten bzw. die Sammlung und Behandlung der dabei anfallenden Abfälle wird über die in Ausarbeitung befindliche Recycling-BaustoffVO neu formuliert. Ergänzend wurde die ÖNORM B 3151 „Rückbau als Standardabbruchmethode“ formuliert. Diese Norm umfasst Begriffsdefinitionen, Ablaufprozesse, Rückbaukonzepte und Dokumentationsvorlagen.

Neben diesen „end-of-pipe“-Maßnahmen sind ebenfalls Instrumente für eine integrative Lebenszyklusbetrachtung zu entwickeln. Ob und wie ein (Bau-)produkt rückbaufähig, wiederverwendbar bzw. wiederverwertbar ist, entscheidet in hohem Maße das Produktdesign. In der seit 1. Juli 2013 gültigen EU-BauproduktenVO wird auf diesen Umstand explizit Bezug genommen. Bauprodukte müssen künftig derart entworfen und produziert werden, dass möglichst geringe Umweltauswirkungen entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu erwarten sind. Festgelegt ist diese Regel in der Grundanforderung 7 „Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“ im Anhang I der EU-BauproduktenVO:

Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;
b) das Bauwerk muss dauerhaft sein;
c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

Die neue Grundanforderung ist integraler Bestandteil der EU-BauproduktenVO und daher direkt wirksam und von den Baustoffproduzenten bei der Neuproduktion von Bauprodukten zu berücksichtigen bzw. umzusetzen. Ein einheitliches Regelwerk zu Umsetzung existiert jedoch gegenwärtig nicht auf nationaler (→ OIB) bzw. auf Europäischer Ebene (→ CEN). Übergeordnetes Ziel der genannten Bestrebungen ist es Materialkreisläufe im Bauwesen zu schließen, um dadurch Umweltauswirkungen möglichst gering zu halten.

Netzwerke

Siehe Gebäude - Netzwerke sollen nicht ohne Rückbau stillgelegt werden. Es ist der Forschungsbedarf zu erheben, ob historisch still gelegte Netzwerke rückgebaut wurden bzw. werden.

Konsumgüter

Sammelsysteme existieren im Bereich des urban mining bei Elektroaltgeräten. Bei Elektroaltgeräten („Weiße Ware“) stellt, ähnlich der Problematik bei Altautos, die Verbringung von nicht sachgemäß deklarierter Occassionsware ein Problem dar. Hier gilt es dem unkontrollierten Abfluss von Sekundärressourcen in Form von Altfahrzeugen entgegenzuwirken.

Senken

„Landfill Mining" beschäftigt sich mit dem geordneten Rückbau von Deponien zur Gewinnung nutzbarer Rohstoffe aus Abfällen (Deponien als Roh-, Wert- und Energiestofflager). Die in der Vergangenheit eingebauten Abfälle werden dabei abgegraben, aufbereitet und einer möglichen Verwertung zugeführt. Nur mehr der nicht verwertbare Anteil der Abfälle wird erneut deponiert

Daten und Fakten zur Steiermark – Quelle: [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2015b]

- 147 Deponien, davon 81 in Betrieb
- 384 registrierte Altablagerungen, davon 141 Verdachtsflächen und 18 ausgewiesene Altlasten

- Abgelagerte Abfallmenge seit 1960: ca. 32 Milliarden Kilogramm
- Verfüllte Kubatur: ca. 23 Mio. m³
- Jährlicher Deponievolumenverbrauch im Bereich der Massenabfalldeponien: ca. 200.000 m³
- Aktuell verfügbares Deponievolumen auf steirischen Massenabfalldeponien: ca. 2,5 Mio. m³
- Restlaufzeit Massenabfalldeponien: ca. 11 Jahre
- Metallanteil in Deponien: ca. 2 bis 4 Massen-%

Das von der FFG im Rahmen des BRIDGE-Programms geförderte Projekt LAMIS beschäftigt sich mit der Möglichkeit eines geordneten Rückbaus von Altdeponien zur Gewinnung nutzbarer Rohstoffe aus Abfällen (Deponie als Wert-, Roh- und Energiestofflager). Die in der Vergangenheit eingebauten Abfälle werden dabei abgegraben, aufbereitet und einer stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt. Nur mehr der nicht verwertbare Anteil wird erneut einer geordneten Deponierung zugeführt. In diesem Projekt werden die Deponiestandorte der Steiermark näher untersucht und mögliche rentable Deponien identifiziert [Wolfsberger, 2015].

Ein dazu vergleichbares Projekt ist für die Explorationsphase im Bereich des Urban Mining ebenfalls wichtig, um in die Umsetzungsphase zu gelangen.

12.3 Wirtschaftliche Maßnahmen

Marktsituation / Preisgestaltung

Der Preis von Waren und Gütern orientiert sich vor allem am Verhältnis von Angebot und Nachfrage. Waren und Güter, die in einem Übermaß angeboten werden, aber nur in einem geringen Maße nachgefragt werden, haben in der Regel einen geringen Preis. Die Frage, ob Sekundär- gegenüber Primärrohstoffen eingesetzt werden orientiert sich an mehreren Faktoren der Preisbildung:

a) Preisgestaltung gemäß Angebot und Nachfrage
b) Technische Qualitätskriterien
c) Akzeptanz (Nachfrageseite)
d) Potenzielle Entsorgungskosten

Ad a) Entsorgungspreise vs. Aufbereitungspreisen

Der Preis für Primärrohstoff (Sand, Kies, Schotter) variiert regional.

Brechsand (0/4):	€ 14,- bis € 17,- pro Tonne
Betonschotter (0/16):	€ 11,- bis € 20,- pro Tonne
Kantkorn (4/8):	€ 12,- bis € 17,- pro Tonne

Der Preis für Recyclingbaustoffe variiert ebenfalls regional.

Betonrecycling (0/63):	€ 5,5 bis € 9,- pro Tonne

Hochbaurestmassen - RMH (0/63):	€ 3,5 bis € 6,- pro Tonne
Asphaltgranulat (0/22):	€ 6,5 bis € 14,50 pro Tonne

Entsorgungspreise:	
Betonabbruch (sortiert):	€ 8,- bis € 10,- pro Tonne
Ziegelabbruch (sortiert):	€ 10,- bis € 30,- pro Tonne
Asphaltabbruch (sortiert):	€ 8,- bis € 16,- pro Tonne
Bauschutt (unsortiert):	ca. € 40,- pro Tonne

Ad b) Technische Qualitätskriterien

Beim Urban Mining von Wertstoffen aus der Infrastruktur ist neben dem reinen Preis die (verfahrens-)technische Komponente relevant. Es gilt zu klären, welche Sekundärbaustoffe sich für eine Wiederverwendung bzw. ein Recycling eignen und welche Qualitätskriterien zu erfüllen sind. Die technische Eignung für den Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen wird in der Regel über nationale bzw. Europäische Normen geregelt. Für die Umsetzung dieser Normen ist in der Regel technischer und wirtschaftlicher Aufwand notwendig. Dies bedeutet, dass die Kosten für die Aufbereitung steigen und den Preis für Sekundärrohstoffe erhöhen. Je Material ergeben sich hier unterschiedliche Voraussetzungen, die an den Sekundärrohstoff gestellt werden (Auswahl):

- **Betonabbruch:**
  - Verwertung als technisches Schüttmaterial
    - BRV-Richtlinie bzw. Recycling-BaustoffVO (in Ausarbeitung)
  - Verwertung als Bestandteil für Recycling-Beton
    - ÖNORM EN 13242 „Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Straßenbau“
  - Wiederverwendung
    - Bautechnische und bauphysikalische Eignung wie Neuprodukt

- **Asphaltabbruch**
  - Recycling von Asphaltabbruch zu neuem Asphalt unter Berücksichtigung von Qualitätsmerkmalen technischen möglich
    - ÖNORM EN 13108-8: Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 8: Ausbauasphalt
    - ÖNORM B 3580-1: Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 1: Asphaltbeton - Empirischer Ansatz - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13108-1

- **Altholz**
  - Anforderungen gemäß RecyclingholzVO für stoffliches Recycling einzuhalten

- **Stahlrecycling**
  - Kupfer gilt schon lange als schädliches Begleitelement in Stahl. Es ist das Schlüsselelement für die Heißbrüchigkeit. Metallurgisch stellen die Kupfer- und Zinnanreicherungen im Schrott bereits heute für die Stahlhersteller ein

großes Problem dar. Beide Elemente lassen sich aufgrund ihrer gegenüber Eisen geringeren Affinität zum Sauerstoff aus der Stahlschmelze nicht entfernen. In den Bestimmungen der Schrottnomenklatur wird bei unlegiertem Kohlenstoffstahlschrott der Cu-Gehalt auf 0,15 % und der Zinngehalt auf kleiner 0,02 % begrenzt [Rösner, 1992].

Ad c) Akzeptanz

Die Akzeptanz als relevanter jedoch „softes“ Instrument der Preisbildung. Ohne Akzeptanz der Akteure finden Sekundärbaustoffe keinen Abnehmer am Markt. Die Akzeptanz ist vor allem bei mineralischen Sekundärrohstoffen aufgrund der Auslegung des Altlastenbeitrags (ALSAG) durch das Finanzamt am Markt kaum gegeben. Darum finden diese Materialien am Markt kaum einen Abnehmer.

Ad d) potenzielle Entsorgungskosten

Die Entscheidung, ob Abfälle rezykliert oder deponiert werden hängt auch ursächlich an den potenziellen Entsorgungskosten. Sind diese sehr hoch, d.h. eine Entsorgung kommt sehr teuer, werden Anreize für das Recycling geschaffen.

Marktstimulation

Stellt sich kein funktionierender Markt für Sekundärrohstoffe aufgrund fehlender Nachfrage und/oder Angebot nicht ein, können Anreize zur Marktstimulierung umgesetzt werden. Im Kanton Zürich sind z.B. beim Bau von öffentlichen Gebäuden mindestens 20 % Sekundärrohstoffe einzusetzen. Der „Aktionsplan für eine nachhaltige öffentliche Beschaffung (NaBe)“ schlägt eine Einsatzquote von 5 % bei Hochbauten vor [BMLFUW, 2010].

Rechtssicherheit bzw. bürokratischer Aufwand

Nach gegenwärtiger Auslegung des Abfallbegriffes sind alle Materialien, die im Zuge von Abbruchtätigkeiten anfallen Abfall. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass alle Akteure, die mit diesen Materialien handeln bzw. produzieren eine Abfallsammler und Abfallbehandlergenehmigung gemäß § 24a AWG benötigen. Die Kosten für den administrativen Aufwand (z.B. Erfüllung der Aufzeichnungspflichten gem. AbfallbilanzVO) steigern die Kosten für Recyclingbaustoffe.

13 Ergebnisse

Die sachgemäße Verschneidung bzw. Interpretation von geocodierten Daten und Materialdaten kann durch das Projekt UMKAT erfolgreich demonstriert werden.

Mit dem Projekt UMKAT ist es erfolgreich gelungen ein Pilotprojekt im Bereich der Visualisierung des anthropogenen Lagers umzusetzen. Durch den UMKAT ist es möglich Wert-, Schad- und Störstoffe in anthropogenen Lagerstätten exakt zu verorten. Dieses zusätzliche Wissen über die exakte Allokation von Materialien in der Anthroposphäre ist ein entscheidender Schritt in Richtung einer optimierten Nutzung des „Bergwerk Stadt".

Mit dem UMKAT ist, in Analogie zur Suche nach geogenen Lagerstätten, die Prospektion anthropogener Lagerstätten gelungen.

Das Urban Mining-Potenzial des Gebäudebestandes und der Infrastruktur werden durch das Projekt UMKAT visualisiert und bewertet. Dadurch ist bekannt, welche Mengen an Wert- und Schadstoffen in diesen Lagern gebunden sind.

Der UMKAT macht anthropogene Lagerstätten sichtbar und stellt eine Grundlage für die Umsetzung regionaler Ressourcenmanagements dar.

Der UMKAT ist ein Instrument anthropogene Lagerstätten sichtbar und in der Folge nutzbar zu machen. Dadurch werden die Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft (z.B. Schonung von Ressourcen, Deponievolumen) unterstützt. Das Aufzeigen des Potenzials von Rohstoffquellen in der Stadt ist ein relevanter Schritt in Richtung eines regionalen Ressourcenmanagements. Darüber hinaus bietet der UMKAT eine Unterstützung für die Verwaltung im Bereich der Abfallwirtschaft. Der UMKAT dient der Plausibilitätsprüfung bei der Meldung zur Massenbilanz von abgebrochenen Gebäuden bzw. Infrastruktur (vgl. Steirischer Baurestmassenleitfaden bzw. Recycling-Baustoff-Verordnung). Der UMKAT unterstützt die Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft nicht nur am Ende des Lebenszyklus, sondern liefert auch Informationen, um unsere Siedlungen und Städte „smarter" zu machen, Materialkreisläufe zu schließen und dadurch negative Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus unserer Infrastruktur zu minimieren. Dies durch ein optimiertes Management von Wert- und Schadstoffen. Einerseits sollen Wertstoffe (v.a. Beton, Holz) möglichst in der Region gehalten werden. Andererseits soll der UMKAT helfen Schadstoffe (z.B. Asbest, PVC, FCKW) zu identifizieren und deren fachgerechte Entsorgung zu ermöglichen.

Den UMKAT als Instrument einer nachhaltig ausgelegten strategischen Raumplanung mit dem Ziel einer ressourceneffizienten Stadt ausbauen.

Der UMKAT liefert Erkenntnisse, die die Umsetzung einer ressourcenschonenden Stadtplanung (im Sinne des „Smart City-Konzeptes") ermöglichen. Durch das Wissen aus dem UMKAT kann die bestehende Infrastruktur in strategische Planungsüberlegungen bei der

Schaffung von Stadterweiterungsgebieten eingebunden werden. Dadurch können Ressourcen vor Ort identifiziert und eventuell an Ort und Stelle wieder eingesetzt werden (z.B. Betonabbruch vor Ort als Recyclingbeton wieder einsetzen um Materialkosten, Entsorgungskosten, Emissionen und Deponievolumen zu sparen).

14 Schlussfolgerungen

Mit dem UMKAT ist, in Analogie zur Suche nach geogenen Lagerstätten, die Prospektion anthropogener Lagerstätten gelungen. In einem nächsten Schritt sind Explorationsmaßnahmen zu ergreifen, um unter technisch-wirtschaftlichen Aspekten abbauwürdige Lagerstätten zu identifizieren und zu quantifizieren.

Das Urban Mining-Potenzial des Gebäudebestandes und der Infrastruktur werden durch das Projekt UMKAT visualisiert und bewertet. Dadurch ist bekannt, welche Mengen an Wert- und Schadstoffen in diesen Lagern gebunden sind. Aussagen über die Gewinnung dieser eingelagerten Materialien sind aufgrund unterschiedlicher Eigentumsstrukturen und Nutzungsdauern schwierig. Aus diesem Grund ist Forschungsbedarf gegeben, um anthropogene Lagerstätten nach deren Abbauwürdigkeit und technisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bewerten zu können.

14.1 Lokale Ebene (Stadt Graz)

Der UMKAT ist aufgrund seiner fach- und ressortübergreifenden geocodierten Inhalte zu Materialgehalt von Gebäuden und Infrastruktur eine relevante Informationsgrundlage für raumplanerisch-strategische Entscheidungen in der Stadt Graz.

Der UMKAT dient dazu anthropogen gelagerte Ressourcen in der Stadt sichtbar und daher nutzbar zu machen. Diese Informationen sind bei Umwidmungen, Erschließungen, Verdichtungen, Infrastrukturprojekten etc. in die Planung miteinzubeziehen, um den Verbrauch von Ressourcen und Energie möglichst gering zu halten. Dadurch wird das Ziel angestrebt, den Ressourcenverbrauch in der Stadt Graz zu reduzieren.

Konkrete operative Umsetzungsmöglichkeiten des UMKAT in Graz:

- **Koordinierte Sanierungen von Ver- und Entsorgungsnetzen**

In der Stadt Graz sind ca. 18 % (ca. 150 km) des Kanalnetzes sanierungsbedürftig. Die Sanierungsrate soll auf ca. 1 % (ca. 8 km) angehoben werden [Magistrat der Stadt Graz, 2013]. Bei den Sanierungsmaßnahmen ist auf die Materialeigenschaft der eingebauten Systeme zu achten. Die Informationen sind im digitalen Leistungskataster zu speichern. Die Verschneidung mit dem UMKAT ist technisch zu prüfen bzw. bereits in der Fallstudie teilweise erfolgt. Die rückgebauten Leitungen sind gemäß den Zielen und Grundsätzen der Abfallwirtschaft zu behandeln.

- **Nutzung von lokal vorhandenen geogenen und anthropogenen Rohstoffen (v.a. Bodenaushub, Schotter, mineralische Baurestmassen) bei der Umsetzung von Neubauvorhaben**

Bei der Umsetzung von Stadtteilentwicklungsprojekt (z.B. Smart City Graz) sind vor Ort vorhandene Baugrundstoffe in die Planung nach technisch-wirtschaftlichen Aspekte vorrangig

einzubeziehen. Bei geogenen Baugrundstoffen handelt es sich vor allem um lokal gewonnen Bodenaushub bzw. Lockergesteine. Anthropogene Baugrundstoffe werden aus den Abbruchmaterialien des Altbestandes gewonnen und sind bei fachgerechter Aufbereitung ein gleichwertiger Rohstoff zu primärem Sand und Kies.

- **Unterstützung eines umfassenden Ressourcenmanagement in der Stadt/Stadtregion**

Die Versorgung der Stadt mit mineralischen, metallischen und biologischen (v.a. Holz) Ressourcen sicherstellen. Dafür werden Primärressourcen eingesetzt. In einigen Anwendungen können Primär- durch Sekundärressourcen ersetzt werden (z.B. rezyklierten Gesteinskörnungen in Beton; Asphaltrecycling). Es werden Abhängigkeiten und Einzugsgebiete von Rohstoffen für die Stadt Graz ermittelt und potenzielle autochthone Substitute identifiziert.

14.2 Regionale Ebene (Land Steiermark)

Als konsequente Unterstützung der Versorgungssicherheit mit Rohstoffen in der Steiermark ist das Thema des „urban mining“ gezielt zu fördern. Der UMKAT liefert für dieses Vorhaben die wissenschaftlich-technische Grundlage.

Die Umsetzung dieses Vorhabens findet auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und in unterschiedlichen Ressorts/Wirtschaftsbereichen statt. Ziel ist die Positionierung von urban mining in der Landespolitik. Neben der Ausbeutung geogener Lagerstätten, ist die Nutzung anthropogener Lagerstätten voranzutreiben. Aus diesem Grund ist weiterer Forschungsbedarf in diesem Bereich vorhanden. Der UMKAT dient dabei der zentralen Speicherung und Visualisierung der generierten Ergebnisse und dient damit den Behörden als zentrales Instrument zur Steuerung von Planungsentscheidungen.

Konkrete operative Umsetzungsmöglichkeiten des UMKAT im Land Steiermark:

- **Monitoring für eine ökologische öffentliche Beschaffung**

Ökologisierung der öffentlichen Beschaffung. Es erfolgt eine Anpassung der Förderlandschaft vor allem im Bereich des Ressourceneinsatzes im Hochbau. Ziel ist die verstärkte Berücksichtigung z.B. von Recyclingbaustoffen in Kombination mit dem Förderkriterienkatalog der Landeswohnbauförderung.

- **Öko-Innovation in der steierischen Baustoffindustrie fördern**

Ein relevanter Treiber in der Wirtschaft sind ressourcen- und energieoptimierte Lösungen für Produkte und Dienstleistungen. Steirische Betriebe der Baustoffindustrie setzen im Sinne der neuen Grundanforderungen 7 der EU-BauproduktenVO „nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“ Leuchtturmprojekte um, und werden zu Vorzeigebetrieben in Österreich und Europa.

- **Forschungsförderung von Pilotprojekten im Bereich urban mining**

Nach der erfolgreichen Prospektion von urbanen Minen ist in einem weiteren Schritt die Förderung von Explorationsmaßnahmen voran zu treiben. Ein UMKAT 2.0 quantifiziert und bewertet in weiterer Folge, welche Vorkommen abbauwürdig sind.

- **Erstellen eines Energiekatasters**

Bei industriellen Produktionsprozessen fällt oft eine große Menge Energie (v.a. Wärme) an, die, falls für betriebsinterne Zwecke nicht verwendbar, ungenutzt in der Atmosphäre abgeleitet wird. Ein Energiekataster visualisiert und bewertet anfallende (gegenwärtig ungenutzte) industrielle Abwärme und verknüpft dieses Wissen mit potenziellen Abnehmer in der Region (z.B. angrenzende Betriebe, Verwaltungsgebäude, Dienstleistungsgebäude, Fernwärme für Wohnungen). Dadurch wird ein relevanter Beitrag zur Energieeffizienz geleistet.

- **Ressourceneffiziente Nutzung/Verwertung von mineralischen Baurestmassen in der Region (Ressourceneffizienzkoeffizient - ReEffK)**

Gegenüberstellung von Abfallaufkommen (z.B. durch Abbruchtätigkeiten) von mineralischen Baurestmassen mit freien Deponievolumen einerseits und Primärrohstoffvorkommen (z.B. Schotter) andererseits. Berechnung von Einzugsgebieten, die veranschaulichen, ob und wie mineralische Baurestmassen in einer Region bestmöglich verwertet werden können bzw. ob eine Aufbereitung von Baurestmassen am Anfallsort bzw. zentral in Aufbereitungsanlagen ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist.

14.3 Nationale Ebene (Österreich)

Der UMKAT ist als wissenschaftlich-technisch fundierte Basis über anthropogene Lagerstätten in Österreich auszubauen.

Die gebündelte Wissensbasis über anthropogene Lagerstätten ist eine relevante Grundlage für die optimierte Nutzung von mineralischen, metallischen und biogenen Wertstoffen. Darüber hinaus ist die gezielte Ausschleusung von Schadstoffen (z.B. Asbest, FCKW, Blei) ein relevanter Themenbereich. Der UMKAT liefert die Grundlage für die Erstellung eines Rohstoffplans anthropogener Lagerstätten in Österreich.

Konkrete operative Umsetzungsmöglichkeiten des UMKAT in Österreich:

- **Erstellung von Oberflächenmodellen städtischer Regionen**

Der UMKAT ist ein Instrument Materialdaten von Oberflächen in städtischen Regionen über Fernerkundungsmethoden zu speichern und zu bewerten. Einerseits um Wertstoffpotenziale abschätzen zu können (z.B. Kupfer). Andererseits um Schadstoffpotenziale (z.B. asbesthaltige Faserplatten) beziffern zu können.

- **Validierung für thermische Sanierungen / Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich der obersten Geschoßdecke/Dach**

Durch die Auswertung nächtlicher Befliegungen mit Thermographie-Kameras können Wärmeverluste im Bereich der Dächer dargestellt und Gegenmaßnahmen initiiert werden. Der UMKAT ist dabei ein potenzieller Ort der Speicherung und Verwaltung der erstellten Daten. Der UMKAT wird dadurch zu einem ressortübergreifenden Tool, um Fragen der Energie- und Ressourceneffizienz beantworten zu können.

- **Berücksichtigung der Ressourceneffizienz bei UVP-pflichtigen Großbauvorhaben**

Bei Großbauvorhaben sind verstärkt neben Aspekten der Energieeffizienz ebenfalls Themen der Ressourceneffizienz in Planung und Bau miteinbezogen werden. Vor allem die Nutzung von lokal vorhandenen geogenen und anthropogenen Ressourcen soll gefördert werden (z.B. Schotter, mineralische Baurestmassen). Ein erweiterter UMKAT liefert hierzu die Planungs- und Informationsgrundlage.

- **Exakte Allokation von Stahlwerkschlacken im Straßenunterbau**

Stahlwerkschlacken werden im Straßenbau seit Jahren als Substitut für Primärrohstoffe eingesetzt. Der UMKAT kann dabei als Monitoring-Tool eingesetzt werden, um die Mengen und Ursprung der Stahlwerkschlacken im Tiefbau exakt zu lokalisieren und zu speichern. Müssen die Straßen saniert werden, liegen Informationen über Inhalt und Menge der vorhandenen Schlacken vor.

14.4 Wirtschaft

Der UMKAT liefert eine neue Informationsgrundlage, um die Bewertung von Liegenschaften um das Thema der verbauten Ressourcen bzw. potenziellen Abbruchkosten zu ergänzen.

Neben reinen Grundstückspreisen bewertet der UMKAT den Altbestand auf Liegenschaften mit ein. Dies bedeutet, dass dem Eigentümer bzw. einem Investor ein Mehr an Informationen zur Bewertung zur Verfügung stehen. Die im Altbestand enthaltenen Materialien werden quantifiziert und fließen in die Bewertung der Liegenschaft ein. Zukünftig sollen anthropogene Lagerstätten in die Bewertung von Liegenschaften miteinfließen.

14.5 BürgerInnen

Der UMKAT ist als Instrument zur Sensibilisierung und Information der Bevölkerung zum Thema „urban mining“ zu etablieren.

Der UMKAT liefert leicht verständliche Information auf einem hochaggregierten Niveau über den Materialgehalt im Gebäudelager bzw. der Infrastruktur. Die Bevölkerung bekommt dadurch eine Informationsgrundlage für die Begriffe „urban mining“ und „Ressourceneffizi-

enz“. Langfristig soll im Bewusstsein der Bevölkerung verankert werden, dass es sich vor allem bei Abfällen, die bei Abbruchtätigkeiten in großer Menge anfallen, um verwertbare bzw. wertvolle Ressourcen handelt. Die Entsorgung auf einer Deponie ist der letzte und unwirtschaftlichste Weg sich dieser Abfälle zu entledigen.

Konkrete operative Umsetzungsmöglichkeiten des UMKAT für BürgerInnen:

- **Vereinfachte Erstellung einer Massenbilanz von Abbruchgebäuden für HauseigentümerInnen**

Gemäß Recycling-BaustoffVO bzw. ÖNORM B 3151 ist bei Abbruchtätigkeiten (> 100 t anfallende Abfälle) ein Rückbaukonzept zu erstellen. Ein Teil dieses Konzeptes ist die Erstellung einer Massenbilanz. Der UMKAT ermöglicht eine erste qualifizierte Schätzung der bei einem Totalabbruch zu erwartenden Mengen nach Materialklassen. Da die Informationen sensibel sind, werden diese nur dem Eigentümer (in Analogie zum Grundbuch) zur Verfügung gestellt.

15 Literaturverzeichnis

ABGB (2015) Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch (ABGB), Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch für die gesammten deutschen Erbländer der Oesterreichischen Monarchie. idF v. 22.05.2015.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2007) Privathaushalte in der Steiermark, Stand Volkszählung 2001 und Entwicklung 1971-2050. Graz.

Amt der steiermärkischen Landesregierung (2009) Landesentwicklungsprogramm. A 16 - Landes- und Gemeindeentwicklung. Graz.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2010) Landes- Abfallwirtschaftsplan 2010. Amt der Kärntner Landesregierung Fachabteilung 19D - Abfall - und Stoffflusswirtschaft. Graz.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2015a) Elektro- und Elektronik-Altgeräte: Abfall- und Mengenentwicklung. http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10168762/4373982/. 28.05.2015.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2015b) Landfill Mining - Steiermark will Sekundärrohstoffe und Energieträger aus alten Deponien zurückgewinnen. http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/11765190/46590/. 28.05.2015.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2015c) Schienennetz. Land Steiermark. http://www.verkehr.steiermark.at/cms/ziel/19814558/DE/.

Angerer, G.; Mohring, A.; Marscheider-Weidemann, F.; Wietschel, M. (2010) Kupfer für Zukunftstechnologien. Frauenhofer ISI. Karlsruhe.

Austrian Power Grid AG (2013) Masterplan 2030. Wien.

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU) (2003) Kontaminierte Bausubstanz, Erkundung, Bewertung, Entsorgung. Augsburg.

Belazzi, T.; Leutgeb, F. (2008) POSITIONSPAPIER DES LENKUNGSAUSSCHUSSES IM PROGRAMM „ÖKOKAUF WIEN“ ZUR VERMEIDUNG VON CHLORORGANISCHEN VERBINDUNGEN, INSBESONDERE PVC. Öko-Kauf-Wien. Wien.

Bergauer-Culver, B. (2014) Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden. Bundesministerium für Wirtschaft , Familie und Jugend.

BM für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006) Netzausbau durch Feileitungen und Erdkabel. Berlin.

BMLFUW (2010) Teil I des Österreichischen Aktionsplan zur nachhaltigen öffentlichen Beschaffung.

BMLFUW (2011) Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011. Hrsg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Wien.

BMLFUW (2012) Ressourceneffizienz Aktionsplan (REAP). Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion II. Wien.

BMLFUW (2015) Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2014. Hrsg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Wien.

BMVIT (2015a) Fakten zum österreichischen Bahnnetz. http://www.bmvit.gv.at/verkehr/eisenbahn/bahnnetz.html. 18.02.2015.

BMViT (2015b) Statistik Straße & Verkehr. Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abteilung IV/ST1.

BMVIT, B. (2014a) Planungsleitfaden Breitband Technische Verlegeanleitung zur Planung und Errichtung von Telekommunikations-Leerrohr-Infrastrukturen. Wien.

BMVIT, S. I.-u. K. (2014b) Breitband in Österreich
Evaluierungsbericht 2013. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.

BMWFW (2015) Die Österreichische Rohstoffstrategie. http://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Rohstoffstrategie/Seiten/default.aspx. 26.05.2015.

Bundesministerium der Finanzen (2000) AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter (AfA-Tabelle "AV").

Daxbeck, H.; Brauneis, L.; Buschmann, H.; Gassner, A. (2012) Operationalisierung der Ergebnisse des Cu-Haushalt Österreichs als Beitrag für ein Kupfer- Ressourcenmanagement in Österreich. Projekt ReMa-AT. Ressourcen Management Agentur (RMA). Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Wien.

Daxbeck, H.; Flath, J. (2009) Darstellung der Massenflüsse an Baurestmassen und an Bodenaushub in der Steiermark. Projekt BRM 08. Ressourcen Management Agentur (RMA). Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Wien.

Daxbeck, H.; Stockinger, M.; Brandt, B. (2006) Beitrag der Abfallwirtschaft zum Kupferhaushalt Österreichs. Projekt ABASG III - Kupfer. Ressourcen Management Agentur (RMA). Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Wien.

Ecoinvent Centre (2007) Ecoinvent data v2.0. Ecoinvent reports No. 1-25. Dübendorf (CH). Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Energie-Control Austria (2009) Gasnetz. http://www.e-control.at/de/industrie/gas/gasnetz. 25.02.2015.

Energie Graz GmbH & Co KG (2015) Fernwärme. http://www.energiegraz.at/energie/fernwaerme/fernwaerme.

Europäische Kommission (2011a) Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa. Brüssel.

Europäische Kommission (2011b) Ressourcenschonendes Europa – eine Leitinitiative innerhalb der Strategie Europa 2020. Hrsg. v. MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, D. R., DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN. Brüssel.

Europäische Kommission (2012) Strategie für die nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit des Baugewerbes und seiner
Unternehmen. Hrsg. v. RAT, M. D. K. A. D. E. P. U. D. Brüssel.

Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V.(FBS) (2004) Nutzungsdauer von Abwasserkanal-Systemen. In: tis Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau. 11/2004. S. 38-41.

Fell, C.; Papp, E. J. (2013) Neue Projekte: Fernwärme startet durch. In: FORUM Gas Wasser Wärme. 1/2013. S. 6-15.

Fellner, J.; Laner, D. (2010) „Hinten wird‘s eng“: knappe Ressource Letzte Senke. Österreichische Abfallwirtschaftstagung 2010, Abfallwirtschaft im Wandel -Werte, Märkte und Strukturen. Eisenstadt. ÖWAV. 12.

FGW, -. F. d.; Wärmeversorgungsunternehmungen, G.-u. (2013) Erdgas in Österreich Zahlenspiegel 2013. Wirtschaftskammer Österreich. Wien.

Frischknecht, R.; Jungbluth, N.; Althaus, H.-J.; Doka, G.; Dones, R.; Hischier, R.; Hellweg, S.; Humbert, S.; Margni, M.; Nemecek, T.; Spielmann, M. (2004) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. ecoinvent report No. 3. Dübendorf.

Fuchs-Hanusch, D. (s.a.) Wie alt werden Wasserleitungen - ab wann ist die Leitung zu erneuern? Institute of Urban Water Management and Landscape Water Engineering, Graz University of Technology. Graz.

Gassner, A.; Kanitschar, G.; Daxbeck, H.; Neumayer, S.; Brunner, P. H. (2014) Ökologischer Fußabdruck und CO2 Emissionen der Wiener Linien und deren Entwicklung bis ins Jahr 2035, Endbericht. Projekt ÖFRU II. Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft. Ressourcen Management Agentur (RMA). Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Wien.

GIS-Steiermark (2015) Digitaler Atlas Steiermark: Verkehr&Transport. Land Steiermark. http://gis2.stmk.gv.at/atlas/%28S%28vl13k2nkpnrcsubdzj1zf5ai%29%29/init.aspx?karte=verkehrtransport&ks=das&cms=da&massstab=800000. 16.02.2015.

Glenck, E.; Lahner, T.; Jereb, W.; Leitner, E. (2000) Bauwesen - Abfallstrategien in der Steiermark. Baurestmassen in der Steiermark (Band 2 - BRIST). Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Wien.

Horkel, A.; Horkel, K. (2008) Aspekte der wirtschaftsgeologischen Bewertung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt. Wien.

Huber, M. (2013) Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Universität für Bodenkultur. Institut für Abfallwirtschaft. WIen.

Industrieverband Hartschaum e.V. (2009) Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025. Industrieverband Hartschaum e.V., IVH. Heidelberg.

IVPU (2009) Wärmedämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum, Herstellung - Anwendung - Eigenschaften. Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. Stuttgart.

Jurik, P. (2015) Fernwärmenetz Österreich. Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmungen. Wien.

Kiesselbach, G. (2006) Zusammenstellung von allgemein gültigen Mindestanforderungen an einen sicheren und zuverlässigen Gasnetzbetrieb entsprechend den gesetzlichen und technischen Rahmenbedingungen in Österreich. in zusammenarbeit mit TÜV Österreich im Auftrag von Energie-Control GmbH. Wien.

Land Steiermark - Lebensressort (2012) Nachhaltigkeitsbericht 2012 des Lebebsressort Steiermark. Hrsg. v. Himmel, W. Graz.

LGBl. Nr. 65/2004 (2004) Steiermärkisches Abfallwirtschaftsgesetz 2004 - StAWG 2004. Graz.

Lichtensteiger, T.; Baccini, P.; Bader, H.-P.; Henseler, G.; Holzner, C. P.; Pedraza, A.; Scheidegger, R.; Wittmer, D. (2006) Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme. Ein Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten. Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Hrsg. v. Lichtensteiger, T. Zürich.

Magistrat der Stadt Graz (2013) 4.0 Stadtentwicklungskonzept (STEK) - vertiefende Betrachtungen. Stadtplanungsamt. Graz.

Marchtrenker, S. (2012) Betonstraßen im Materialkreislauf. Österreichischer Betonstraßentag 2012, Betonstraßenbau: heute und morgen. Wien.

Ministerium für ein Lebenswertes Österreich (2015) Vor Sorgen! Für den Erhalt unserer Trink- und Abwassernetze. http://www.wasseraktiv.at/vorsorgen/home/.

MinroG (2015) Bundesgesetz über mineralische Rohstoffe (Mineralrohstoffgesetz - MinroG). idF v. 26.05.2015.

Motschall, M.; Bergmann, T. (2013) Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. Umweltbundesamt UBA-FB 001786/1. Dessau-Foßlau.

Österreichs E-Wirtschaft (2014) Die österreichischen Stromnetze. Die Interessenvertretung der österreichischen E-Wirtschaft. http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/statistik/netze.html. 19.02.2015.

Ponsioen, T. (2015) Why My LCA Scores Radically Changed After The ecoinvent Update. http://www.pre-sustainability.com/why-my-lca-scores-radically-changed-after-the-ecoinvent-update/?utm_campaign=SimaPro+News+|+Why+LCA+Scores+Radically+Changed+After+Update&utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_content=Why+LCA+Scores+Radically+Changed+After+Update. 23.02.2015.

Rentz, O.; Seemann, A.; Schultmann, F. (2001) Abbruch von Wohn- und Verwaltungsgebäuden - Handlungshilfe. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

Rösner, H. (1992) Einfluß der über den Schrott aus dem Altautorecycling und aus Militärschrott eingebrachten metallischen Begleitelemente auf die Stahleigenschaften. Institut für Materialforschung und Anwendungstechnik. Luxembourg.

Schmidt, W. J. (1986) Die Grundlagen der Prospektion. Mitteilung der österreichischen geologischen Gesellschaft. Wien.

Schmied, M.; Mottschal, M. (2013) Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland. Öko-Institut e.V. - Institut für angewandte Ökologie. (FKZ 363 01 244). Berlin.

Schönbauer, A.; Brunner, P. H.; Reiner, I.; Glenck, E.; Smidt, E.; Obernosterer, R.; Schachermayer, E.; Rechberger, H.; Fehringer, R.; Daxbeck, H.; Stark, W. (1997) Zukünftige Anforderungen an die Abfallwirtschaft in der Steiermark für den Übergang zu einer nachhaltigen Stoffflusswirtschaft. Projekt AWS Steiermark. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.

Schrader, N. (2010) Ressourcen. http://exbook.de/20100310-ressourcen/. 27.05.2015.

Soukup, H. (2008) Entwicklung der Telefonanschlüsse Österreichs von 1945 bis 1993.

Spielmann, M.; Bauer, C.; Dones, R.; Tuchschmid, M. (2007) Transport Services. Ecoinvent report No. 14. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf.

Stark, W.; Vogel-Lahner, T.; Frühwirth, W. (2003a) Ausrichtung der Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten - Bauwerk Österreich. GUA - Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH. Vogel-Lahner Theres. Wien.

Stark, W.; Vogel-Lahner, T.; Frühwirth, W. (2003b) Bauwerk Österreich. Management von Baurestmassen nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und des langfristigen Umweltschutzes anhand der Güter- und Stoffbilanz des "Bauwerks Österreich". Endbericht. Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH (GUA). Wien.

Statistik Austria (2005) Handbuch Adress-GWR-Online. Teil A - Theoretisches Handbuch. Wien.

Statistik Austria (2011a) Begriffe und Definitionen zur Gebäude- und Wohnungszählung 2011. Registerzählung 2011. Wien.

Statistik Austria (2011b) Registerzählung 2011 - GWZ: Gebäude. Wien.

Statistik Austria (2012a) Handbuch Adress-GWR-Online. Teil A - Kapitel 3 Datenerfassung und Nutzungsmöglichkeiten. Wien.

Statistik Austria (2012b) Konsumerhebungen 2009/10, 2004/05 und 1999/2000, Ausstattungsgrad der privaten Haushalte - Zeitvergleich. Wien

Statistik Austria (2014a) KFZ-Bestand. Wien.

Statistik Austria (2014b) Privathaushalte nach Haushaltsgröße, Bundesländern und Alter der Haushaltsreferenzperson - Jahresdurchschnitt 2013. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/023302.html. 17.02.2015.

Steger, S.; Fekkak, M.; Bringezu, S. (2011) Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen. Wuppertal Institut. Ressourceneffizienz Paper 2.4. Wuppertal.

Teufel, D.; Bauer, P.; Lippold, R.; Braunfeld, S.; Schmitt, K. (1999) Öko-Bilanzen von Fahrzeugen. UPI, Umwelt- und Prognose- Institut e.V. Heidelberg.

Umweltbundesamt (2011) Deponierückbau Wirtschaftlichkeit, Ressourcenpotential und Klimarelvanz. Wien.

Umweltbundesamt (2013) Zehnter Umweltkontrollbericht - Wasser und Wasserwirtschaft. Wien.

Weber L. (Hrsg.); Heinrich, M.; Holnsteiner, R.; Moshammer, B.; Nötstaller, R.; Pfleiderer, S.; Reichel, C.; Reitner, H.; SChedl, A.; Untersweg, T.; Wagner, H.; Weber, L.; Wimmer-Frey, I. (2012) Der Österreichische Rohstoffplan. Hrsg. v. Archiv für Lagerstätten Forschung Band 26. Wien.

Wittmer, D. (2006) Kupfer im Regionalen Ressourcenhaushalt. Zürch.

Wolff, D.; Janow, K. (2011) Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung. Wolfenbüttel/Braunschweig.

Wolfsberger, T. (2015) Landfill Mining Österreich - Pilotregion Steiermark (LAMIS). http://avaw.unileoben.ac.at/de/forschung-ag_deponie_altlast_schlacke-landfill_mining/. 28.05.2015.

Zlodnjak, F. (2013) Die Auto(teile)verwertung in der Steiermark. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A14 - Abfallwirtschaft und Nachhaltigkeit. Graz.

16 Anhang

16.1 Material- und Energieverbrauch der Materialien

Tabelle 16-1: Zusammensetzung 1 m³ Normalbeton aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Materialeinsatz	Menge	Einheit
Concrete mixing plant/CH/I U	4,57E-07	p
Diesel, burned in building machine/GLO U	22,7	MJ
Electricity, medium voltage, at grid/CH U	4,36	kWh
Gravel, round, at mine/CH U	1890	kg
Heavy fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U	3,09	MJ
Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U	13,3	MJ
Lubricating oil, at plant/RER U	0,0119	kg
Natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW/RER U	1,16	MJ
Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U	300	kg
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	0,0238	kg
Synthetic rubber, at plant/RER U	0,00713	kg
Tap water, at user/CH U	186	kg
Transport, barge/RER U	49,2	tkm
Transport, freight, rail/CH U	6,82	tkm
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,998	tkm
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	9,44	tkm
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Heat, waste	15,7	MJ
Abfälle	Menge	Einheit
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	16,9	kg
Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/CH U	0,0951	kg
Treatment, concrete production effluent, to wastewater treatment, class 3/CH U	0,0143	m3

Tabelle 16-2: Zusammensetzung von 1 kg Normalziegel aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Materialeinsatz	Menge	Einheit
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	0,0394	kWh
Transport, lorry >28t, fleet average/CH U	0,014	tkm
Transport, freight, rail/RER U	0,00009	tkm
Natural gas, high pressure, at consumer/RER U	1,24	MJ
Limestone, milled, packed, at plant/CH U	0,0239	kg

Diesel, burned in building machine/GLO U	0,0297	MJ
Lubricating oil, at plant/RER U	1,32E-05	kg
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	3,06E-05	kg
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	0,00468	tkm
Tap water, at user/RER U	0,0272	kg
Clay, at mine/CH U	1,35	kg
Mine, clay/CH/I U	2E-10	p
Sand, at mine/CH U	0,0147	kg
Limestone, crushed, for mill/CH U	0,000396	kg
Pulverised lignite, at plant/DE U	0,0245	MJ
Sheet rolling, chromium steel/RER U	1,57E-07	kg
Sheet rolling, steel/RER U	1,57E-05	kg
Heavy fuel oil, at regional storage/RER U	0,000381	kg
Light fuel oil, at regional storage/RER U	0,00541	kg
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	8,58E-07	kg
Polystyrene, expandable, at plant/RER U	0,000352	kg
Packaging film, LDPE, at plant/RER U	0,000542	kg
Transport, passenger car/RER U	0,0166	personkm
Wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant/RER U	0,000053	m3
EUR-flat pallet/RER U	1,61E-05	p
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Carbon dioxide, fossil	0,18	kg
Carbon monoxide, fossil	0,000391	kg
Heat, waste	0,142	MJ
Hydrogen chloride	1,22E-05	kg
Hydrogen fluoride	1,06E-05	kg
Nitrogen oxides	0,00026	kg
Particulates, < 2.5 um	0,000014	kg
Sulfur dioxide	9,98E-05	kg
Particulates, > 10 um	4,68E-06	kg
Benzene	2,96E-06	kg
Formaldehyde	1,64E-05	kg
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	7,63E-05	kg
Phenol	1,3E-07	kg

Tabelle 16-3: Zusammensetzung von 1 kg gebrochenem Kies aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen	Menge	Einheit
Gravel, in ground – in ground	1,04	kg
Occupation, mineral extraction site - land	0,000288	m2a
Occupation, water bodies, artificia l- land	6,27E-05	m2a
Transformation, from unknown - land	3,51E-05	m2

Transformation, to mineral extraction site - land	2,88E-05	m2
Transformation, to water bodies, artificial - land	6,27E-06	m2
Water, unspecified natural origin/m3 – in water	0,00135	m3
Materialeinsatz	Menge	Einheit
Lubricating oil, at plant/RER U	2,5E-06	kg
Mine, gravel/sand/CH/I U	4,75E-11	p
Recultivation, limestone mine/CH U	1,27E-06	m2
Building, hall, steel construction/CH/I U	2,85E-06	m2
Conveyor belt, at plant/RER/I U	9,51E-08	m
Diesel, burned in building machine/GLO U	0,0143	MJ
Industrial machine, heavy, unspecified, at plant/RER/I U	9,51E-05	kg
Electricity, medium voltage, at grid/CH U	0,00906	kWh
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	0,000051	kg
Heat, light fuel oil, at boiler 10kW, non-modulating/CH U	0,00491	MJ
Synthetic rubber, at plant/RER U	0,000004	kg
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	2,92E-06	tkm
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	1,72E-05	tkm
Transport, van <3.5t/CH U	1,55E-05	tkm
Tap water, at user/RER U	0,0122	kg
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Heat, waste	0,0326	MJ
Particulates, < 2.5 um	4E-10	kg
Particulates, > 10 um	5,6E-09	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	2E-09	kg
Abfälle	Menge	Einheit
Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	2,5E-06	kg
Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/CH U	2,12E-06	kg

Tabelle 16-4: Zusammensetzung von 1 kg Gipskartonplatten aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen	Menge	Einheit
Water, unspecified natural origin/m3	0,000182	m3
Materialeinsatz	Menge	Einheit
Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant/RER U	9,68E-06	kg
Electricity, medium voltage, at grid/DE U	0,0937	kWh
Glass fibre, at plant/RER U	0,000161	kg
Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER U	1,36	MJ
Potato starch, at plant/DE U	0,0029	kg
Silicone product, at plant/RER U	0,000129	kg
Stucco, at plant/CH U	0,811	kg
Tap water, at user/RER U	0,364	kg

Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	0,3	tkm
Whitelined chipboard, WLC, at plant/RER U	0,0484	kg
Wooden board manufacturing plant, organic bonded boards/RER/I U	1,67E-11	p
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Heat, waste	0,337	MJ

Tabelle 16-5: Zusammensetzung von 1 kg Steinwolle aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen	Menge	Einheit
Water, well, in ground	0,005337	m3
Materialeinsatz	Menge	Einheit
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	0,0394	kWh
Transport, lorry >28t, fleet average/CH U	0,014	tkm
Transport, freight, rail/RER U	0,00009	tkm
Natural gas, high pressure, at consumer/RER U	1,24	MJ
Limestone, milled, packed, at plant/CH U	0,0239	kg
Diesel, burned in building machine/GLO U	0,0297	MJ
Lubricating oil, at plant/RER U	1,32E-05	kg
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	3,06E-05	kg
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	0,00468	tkm
Tap water, at user/RER U	0,0272	kg
Clay, at mine/CH U	1,35	kg
Mine, clay/CH/I U	2E-10	p
Sand, at mine/CH U	0,0147	kg
Limestone, crushed, for mill/CH U	0,000396	kg
Pulverised lignite, at plant/DE U	0,0245	MJ
Sheet rolling, chromium steel/RER U	1,57E-07	kg
Sheet rolling, steel/RER U	1,57E-05	kg
Heavy fuel oil, at regional storage/RER U	0,000381	kg
Light fuel oil, at regional storage/RER U	0,00541	kg
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	8,58E-07	kg
Polystyrene, expandable, at plant/RER U	0,000352	kg
Packaging film, LDPE, at plant/RER U	0,000542	kg
Transport, passenger car/RER U	0,0166	personkm
Wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant/RER U	0,000053	m3
EUR-flat pallet/RER U	1,61E-05	p
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Ammonia	0,000562	kg
Cadmium	9,16E-09	kg
Carbon dioxide, fossil	0,53847	kg
Carbon monoxide, fossil	4,21E-05	kg
Chromium	4,57E-09	kg
Copper	8,64E-09	kg

Formaldehyde	0,000105	kg
Heat, waste	1,5836	MJ
Hydrogen chloride	1,77E-05	kg
Hydrogen fluoride	9,25E-08	kg
Lead	5,7E-08	kg
Nitrogen oxides	0,000883	kg
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0,000381	kg
Particulates, < 2.5 um	0,000127	kg

Tabelle 16-6: Zusammensetzung von 1 m³ Schnittholz/Nadelholz aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Materialeinsatz	Menge	Einheit
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	16,6	kWh
Sawn timber, softwood, raw, forest-debarked, u=70%, at plant/RER U	1,1	m3
Softwood, allocation correction, 1/RER U	-0,099	m3
Technical wood drying, infrastructure/RER/I U	6,09E-06	p
Wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW/CH U	638	MJ
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Heat, waste	59,9	MJ

Tabelle 16-7: Zusammensetzung von 1 kg Bitumen aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen	Menge	Einheit
Water, river	0,000558	m3
Water, cooling, unspecified natural origin/m3	0,003972	m3
Materialeinsatz	Menge	Einheit
Tap water, at user/CH U	0,014982	kg
Ammonia, liquid, at regional storehouse/RER U	1,97E-06	kg
Calcium chloride, CaCl2, at plant/RER U	1,6E-05	kg
Hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant/RER U	8,77E-05	kg
Iron sulphate, at plant/RER U	4,93E-05	kg
Lime, hydrated, packed, at plant/CH U	3,45E-05	kg
Lubricating oil, at plant/RER U	2,44E-05	kg
Nitrogen, liquid, at plant/RER U	0,000812	kg
Soap, at plant/RER U	2,64E-06	kg
Sodium hypochlorite, 15% in H2O, at plant/RER U	4,93E-05	kg
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	1,17E-05	kg
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,001321	tkm
Transport, freight, rail/RER U	0,007935	tkm
Crude oil, production RME, at long distance transport/CH U	0,074	kg
Crude oil, production RAF, at long distance transport/CH U	0,552	kg

Crude oil, production NG, at long distance transport/CH U	0,374	kg
Electricity, medium voltage, at grid/CH U	0,019889	kWh
Refinery gas, burned in furnace/MJ/CH U	0,8986	MJ
Heavy fuel oil, burned in refinery furnace/MJ/CH U	0,20771	MJ
Refinery gas, burned in flare/GLO U	0,032843	MJ
Heavy fuel oil, burned in refinery furnace/MJ/CH U	0,20771	MJ
Refinery gas, burned in flare/GLO U	0,032843	MJ
Refinery/RER/I U	1,98E-11	p
Chemicals organic, at plant/GLO U	0,00104	kg
Propylene glycol, liquid, at plant/RER U	6,24E-07	kg
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Ammonia	7,24E-08	kg
Benzene	5,81E-06	kg
Benzene, ethyl-	1,45E-06	kg
Butane	5,81E-05	kg
Butene	1,45E-06	kg
Ethane	1,45E-05	kg
Ethene	2,9E-06	kg
Heptane	1,45E-05	kg
Hexane	2,9E-05	kg
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	4,42E-11	kg
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	2,42E-12	kg
Hydrocarbons, aromatic	6,62E-13	kg
Methane, fossil	1,63E-05	kg
Particulates, > 10 um	9,86E-06	kg
Pentane	7,25E-05	kg
Propane	5,81E-05	kg
Propene	2,9E-06	kg
Toluene	8,7E-06	kg
Xylene	5,81E-06	kg
Dinitrogen monoxide	5,84E-07	kg
Nitrogen oxides	1,11E-05	kg
Heat, waste	0,010522	MJ
Sulfur dioxide	1,24E-05	kg
Emissione in Wasser	Menge	Einheit
Aluminium	2,79E-08	kg
Barium	5,58E-08	kg
Boron	2,23E-07	kg
Calcium, ion	2,79E-05	kg
Chloride	4,44E-05	kg
Cyanide	9,66E-08	kg
Fluoride	2,49E-06	kg

Hydrocarbons, aromatic	4,01E-07	kg
Iron, ion	2,79E-07	kg
Magnesium	1,39E-05	kg
Manganese	1,11E-07	kg
Mercury	5,58E-11	kg
Molybdenum	5,58E-09	kg
Nitrate	4,58E-06	kg
Phosphorus	2,16E-07	kg
Potassium, ion	5,58E-06	kg
Selenium	8,37E-09	kg
Silver, ion	2,79E-08	kg
Sodium, ion	0,000168	kg
Sulfide	5,58E-08	kg
Suspended solids, unspecified	5,58E-06	kg
Toluene	5,58E-07	kg
Xylene	5,58E-08	kg
Ammonium, ion	1,71E-06	kg
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	8,12E-09	kg
Benzene	1,15E-08	kg
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	8,12E-09	kg
Sulfate	0,000102	kg
Arsenic, ion	5,54E-09	kg
Cadmium, ion	5,54E-09	kg
Chromium, ion	1,24E-07	kg
Copper, ion	5,54E-09	kg
Lead	1,75E-07	kg
Nickel, ion	7,31E-09	kg
Strontium	3,87E-07	kg
Vanadium, ion	1,66E-08	kg
Zinc, ion	9,54E-08	kg
Benzene, ethyl-	1,22E-10	kg
BOD5, Biological Oxygen Demand	1,45E-06	kg
DOC, Dissolved Organic Carbon	1,41E-08	kg
TOC, Total Organic Carbon	5,71E-06	kg
COD, Chemical Oxygen Demand	6,82E-06	kg
Hydrocarbons, unspecified	5,67E-08	kg
Nitrogen, organic bound	2,73E-06	kg
Oils, unspecified	1,45E-07	kg
Phenol	1,54E-07	kg
Abfälle	Menge	Einheit
Disposal, refinery sludge, 89.5% water, to hazardous waste incineration/CH U	0,00012	kg

Tabelle 16-8: Zusammensetzung 1 kg Blassstahl niedrig legiert aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen	Menge	Einheit
Water, unspecified natural origin/m3	0,0027	m3
Materialeinsatz	**Menge**	**Einheit**
Iron scrap, at plant/RER U	0,12501	kg
Pig iron, at plant/GLO U	0,9	kg
Oxygen, liquid, at plant/RER U	0,07145	kg
Transport, barge/RER U	0,00066	tkm
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	0,0594	tkm
Transport, freight, rail/RER U	0,1076	tkm
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	0,021944	kWh
Hard coal coke, at plant/RER U	0,00025	MJ
Natural gas, high pressure, at consumer/RER U	0,0375	MJ
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,015156	tkm
Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U	0,0425	kg
Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO U	0,022	kg
Blast oxygen furnace converter/RER/I U	1,33E-11	p
Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr, at plant/GLO U	0,032853	kg
Ferronickel, 25% Ni, at plant/GLO U	0,045	kg
Ferromanganese, high-coal, 74.5% Mn, at regional storage/RER U	0,015278	kg
Dolomite, at plant/RER U	0,00275	kg
Molybdenite, at plant/GLO U	0,000596	kg
Emissionen in die Luft	**Menge**	**Einheit**
Carbon dioxide, fossil	0,0756	kg
Carbon monoxide, fossil	0,00473	kg
Chromium	1,85E-07	kg
Copper	2,5E-08	kg
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	3,05E-14	kg
Heat, waste	0,11675	MJ
Lead	5,15E-07	kg
Manganese	6,05E-07	kg
Nitrogen oxides	1,25E-05	kg
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	1,2E-10	kg
Particulates, < 2.5 um	4,75E-05	kg
Abfälle	**Menge**	**Einheit**
Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH U	0,0029	kg
Disposal, dust, unalloyed EAF steel, 15.4% water, to residual material landfill/CH U	0,001063	kg
Disposal, basic oxygen furnace wastes, 0% water, to residual material landfill/CH U	0,032077	kg

Tabelle 16-9: Zusammensetzung 1 kg Elektrostahl niedrig legiert und nicht legiert aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Materialeinsatz	Menge	Einheit
Anode, aluminium electrolysis/RER U	0,003	kg
Electric arc furnace converter/RER/I U	4E-11	p
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	0,42361	kWh
Hard coal mix, at regional storage/UCTE U	0,014	kg
Iron scrap, at plant/RER U	1,105	kg
Natural gas, high pressure, at consumer/RER U	0,975	MJ
Oxygen, liquid, at plant/RER U	0,05073	kg
Quicklime, in pieces, loose, at plant/CH U	0,055	kg
Refractory, basic, packed, at plant/DE U	0,0135	kg
Transport, freight, rail/RER U	0,12055	tkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,11905	tkm
Emissionen in die Luft	**Menge**	**Einheit**
Benzene, hexachloro-	2E-08	kg
Benzene	2,29E-06	kg
Cadmium	3,65E-08	kg
Carbon monoxide, fossil	0,00232	kg
Chromium	1,25E-06	kg
Copper	2,31E-07	kg
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	4,54E-12	kg
Heat, waste	3,0126	MJ
Hydrocarbons, aromatic	7,7E-05	kg
Hydrogen chloride	5,2E-06	kg
Hydrogen fluoride	2,35E-06	kg
Lead	1,81E-06	kg
Mercury	2,24E-06	kg
Nickel	7,01E-07	kg
Nitrogen oxides	0,00018	kg
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	3,73E-08	kg
Particulates, < 2.5 um	0,000166	kg
Particulates, > 10 um	5,86E-05	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,000166	kg
Polychlorinated biphenyls	2,33E-08	kg
Sulfur dioxide	0,000077	kg
Zinc	2,29E-05	kg
Abfälle	**Menge**	**Einheit**
Disposal, dust, unalloyed EAF steel, 15.4% water, to residual material landfill/CH U	0,0096	kg
Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH U	0,005	kg
Disposal, slag, unalloyed electr. steel, 0% water, to residual material landfill/CH U	0,0928	kg

Tabelle 16-10: Zusammensetzung 1 kg Kupfer - Produktionsmix aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Materialeinsatz aus der Technosphäre	Menge	Einheit
Iron scrap, at plant/RER U	0,21975	kg
Transport, barge tanker/RER U	0,10998	tkm
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	8,5268	tkm
Transport, freight, rail/RER U	0,71733	tkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,099073	tkm
Copper, primary, at refinery/ID U	0,022032	kg
Copper, primary, at refinery/RLA U	0,16908	kg
Copper, primary, at refinery/RER U	0,23888	kg
Copper concentrate, at beneficiation/RLA U	0,19666	kg
Copper concentrate, at beneficiation/RER U	0,13366	kg
Copper, secondary, at refinery/RER U	0,21975	kg
Copper concentrate, at beneficiation/ID U	0,11111	kg
Copper, from imported concentrates, at refinery/DE U	0,1305	kg

Tabelle 16-11: Zusammensetzung von 1 kg Primärzink aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen	Menge	Einheit
Water, river	0,038905	m3
Materialeinsatz	Menge	Einheit
Diesel, burned in building machine/GLO U	0,041885	MJ
Electricity, medium voltage, aluminium industry, at grid/GLO U	3,275408	kWh
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	0,20971	kWh
Hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW/RER U	6,920298	MJ
Natural gas, burned in industrial furnace >100kW/RER U	1,595863	MJ
Oxygen, liquid, at plant/RER U	0,10825	kg
Resource correction, PbZn, cadmium, negative/GLO U	0,039549	kg
Steam, for chemical processes, at plant/RER U	1,092269	kg
Transport, freight, rail/RER U	1,879565	tkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,31715	tkm
Zinc concentrate, at beneficiation/GLO U	1,902832	kg
Resource correction, PbZn, zinc, positive/GLO U	0,001664	kg
Resource correction, PbZn, indium, negative/GLO U	0,000659	kg
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Arsenic	1,26E-05	kg
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	4,99E-11	kg
Heat, waste	12,54641	MJ
Lead	0,000104	kg

Mercury	3,99E-06	kg
Particulates, < 2.5 um	0,000188	kg
Particulates, > 10 um	3,6E-05	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	3,6E-05	kg
Sulfur dioxide	0,017455	kg
Zinc	0,002077	kg
Emissionen in Wasser	Menge	Einheit
Arsenic, ion	1,18E-06	kg
BOD5, Biological Oxygen Demand	0,00031	kg
Cadmium, ion	3,67E-06	kg
COD, Chemical Oxygen Demand	0,000466	kg
Copper, ion	3,99E-06	kg
DOC, Dissolved Organic Carbon	0,000182	kg
Fluoride	2,98E-05	kg
Lead	4,19E-05	kg
Mercury	1,72E-07	kg
TOC, Total Organic Carbon	0,000182	kg
Zinc, ion	4,57E-05	kg
Abfälle	Menge	Einheit
Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH U	0,031983	kg
Treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3/CH U	0,038905	m3

Tabelle 16-12: Zusammensetzung von 1 kg Primäraluminium aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen	Menge	Einheit
Water, cooling, unspecified natural origin/m3	0,00471	m3
Materialeinsatz	Menge	Einheit
Aluminium casting, plant/RER/I U	1,54E-10	p
Aluminium, primary, liquid, at plant/RER U	1	kg
Argon, liquid, at plant/RER U	0,0015	kg
Chlorine, liquid, production mix, at plant/RER U	0,0001	kg
Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	0,0018	kg
Palm oil, at oil mill/MY U	0,00008	kg
Cryolite, at plant/RER U	0,0004	kg
Electricity, medium voltage, aluminium industry, at grid/GLO U	0,016	kWh
Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/CH U	0,441	MJ
Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	0,641	MJ
Nitrogen, liquid, at plant/RER U	0,0006	kg
Refractory, fireclay, packed, at plant/DE U	0,0007	kg
Rock wool, at plant/CH U	0,00011	kg
Transport, freight, rail/RER U	0,00322	tkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,00161	tkm
MG-silicon, at plant/NO U	0,0108	kg

Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Heat, waste	0,0576	MJ
Hydrogen fluoride	0,000003	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,000007	kg
Abfälle	Menge	Einheit
Disposal, dross from Al electrolysis, 0% water, to residual material landfill/CH U	0,00011	kg
Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH U	0,00099	kg

Tabelle 16-13: Zusammensetzung von 1 kg Sekundärblei aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Materialeinsatz	Menge	Einheit
Iron scrap, at plant/RER U	1,5446	kg
Secondary sulphur, at refinery/RER U	0,001385	kg
Sodium sulphate, powder, production mix, at plant/RER U	0,000615	kg
Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U	0,26923	kg
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	7,55E-12	kg
Iron (III) chloride, 40% in H2O, at plant/CH U	0,00032	kg
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	0,054154	kWh
Heat, hard coal coke, at stove 5-15kW/RER U	0,61538	MJ
Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	1,0776	MJ
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,61262	tkm
Limestone, milled, packed, at plant/CH U	0,008923	kg
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Antimony	8,62E-09	kg
Heat, waste	0,19495	MJ
Lead	1,95E-06	kg
Sulfur dioxide	0,010923	kg
Abfälle	Menge	Einheit
Disposal, nickel smelter slag, 0% water, to residual material landfill/CH U	0,067692	kg

Tabelle 16-14: Zusammensetzung von 1 kg Suspensions-Polyvinylchlorid aus [Ecoinvent Centre, 2007]

Natürliche Ressourcen und Materialeinsatz	Menge	Einheit
Oil, crude, in ground	0,46589	kg
Gas, natural, in ground	0,55953	m3
Coal, hard, unspecified, in ground	0,16549	kg
Coal, brown, in ground	0,061929	kg
Peat, in ground	0,000423	kg
Wood, unspecified, standing/m3	4,73E-09	m3
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	0,89991	MJ
Uranium, in ground	2,12E-05	kg

Energy, gross calorific value, in biomass	0,006757	MJ
Barite, 15% in crude ore, in ground	4,51E-07	kg
Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	0,001145	kg
Clay, bentonite, in ground	7,53E-07	kg
Anhydrite, in ground	7,46E-08	kg
Calcite, in ground	0,028069	kg
Clay, unspecified, in ground	4,05E-08	kg
Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	2,66E-08	kg
Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	4,32E-11	kg
Dolomite, in ground	1,24E-06	kg
Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	2,17E-05	kg
Feldspar, in ground	2,17E-06	kg
Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	7,51E-09	kg
Fluorspar, 92%, in ground	8,55E-08	kg
Granite, in ground	1,22E-14	kg
Gravel, in ground	2,41E-08	kg
Cinnabar, in ground	1,31E-07	kg
Magnesite, 60% in crude ore, in ground	0	kg
Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	2,5E-10	kg
Olivine, in ground	6,21E-08	kg
Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	1,58E-08	kg
Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	1,56E-13	kg
Sylvite, 25 % in sylvinite, in ground	3,1E-05	kg
TiO2, 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	0	kg
Sulfur, in ground	0,000111	kg
Sand, unspecified, in ground	7,18E-06	kg
Shale, in ground	2,12E-07	kg
Sodium chloride, in ground	0,60689	kg
Sodium nitrate, in ground	0	kg
Talc, in ground	0	kg
Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	3,08E-09	kg
Water, unspecified natural origin/m3	0,006344	m3
Water, river	0,001601	m3
Water, lake	0,000449	m3
Water, well, in ground	0,001867	m3
Water, cooling, unspecified natural origin/m3	0,45443	m3
Emissionen in die Luft	Menge	Einheit
Heat, waste	29,886	MJ
Particulates, > 10 um	0,000154	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,000207	kg
Particulates, < 2.5 um	0,00012	kg

Carbon monoxide, fossil	0,001143	kg
Carbon monoxide, biogenic	1,5E-07	kg
Carbon dioxide, fossil	1,7734	kg
Carbon dioxide, biogenic	0,000232	kg
Sulfur dioxide	0,002602	kg
Hydrogen sulfide	6,65E-08	kg
Nitrogen oxides	0,003727	kg
Ammonia	2,09E-05	kg
Chlorine	1,96E-06	kg
Hydrogen chloride	5,32E-05	kg
Fluorine	1,74E-10	kg
Hydrogen fluoride	4,06E-06	kg
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0,004983	kg
Aldehydes, unspecified	9,13E-06	kg
Lead	1,42E-07	kg
Mercury	2,13E-07	kg
Sulfate	2,2E-17	kg
Dinitrogen monoxide	5,01E-05	kg
Hydrogen	1,72E-05	kg
Ethane, 1,2-dichloro-	0,000183	kg
Ethene, chloro-	7,32E-05	kg
Cyanide	0	kg
Methane, fossil	0,00391	kg
Methane, biogenic	2,43E-07	kg
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic	8,48E-08	kg
Carbon disulfide	4,38E-13	kg
Methane, dichloro-, HCC-30	6,27E-08	kg
Copper	1,79E-07	kg
Arsenic	2,94E-08	kg
Cadmium	4,88E-08	kg
Silver	2,31E-16	kg
Zinc	1,25E-07	kg
Chromium	8,41E-08	kg
Selenium	3,28E-08	kg
Nickel	1,86E-06	kg
Antimony	1,07E-08	kg
Ethene	0,000108	kg
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	4,28E-14	kg
Benzene	6,51E-06	kg
Toluene	4,04E-06	kg
Xylene	1,86E-06	kg
Benzene, ethyl-	1,04E-09	kg

Styrene	2,71E-08	kg
Propene	1,52E-05	kg
Emissionen in Wasser	Menge	Einheit
COD, Chemical Oxygen Demand	0,00137	kg
BOD5, Biological Oxygen Demand	0,00037	kg
Lead	7,41E-07	kg
Iron, ion	8,04E-05	kg
Sodium, ion	0,003402	kg
Acidity, unspecified	1,85E-07	kg
Nitrate	3,09E-05	kg
Mercury	2,85E-08	kg
Ammonium, ion	0,000111	kg
Chloride	0,065307	kg
Cyanide	5,23E-07	kg
Fluoride	7,35E-07	kg
Sulfide	1,74E-09	kg
Hydrocarbons, unspecified	7,76E-05	kg
Suspended solids, unspecified	0,000465	kg
Oils, unspecified	7,29E-05	kg
Chlorinated solvents, unspecified	2,71E-06	kg
Chlorine	1,68E-06	kg
Phenol	2,05E-08	kg
Solved solids	9,19E-05	kg
Phosphorus	5,48E-06	kg
Nitrogen	4,96E-05	kg
Sulfate	0,004851	kg
Ethane, 1,2-dichloro-	4E-07	kg
Ethene, chloro-	1,09E-06	kg
Potassium, ion	2,62E-07	kg
Calcium, ion	0,002995	kg
Magnesium	5,91E-07	kg
Chromium, ion	1,19E-07	kg
Chlorate	5,15E-05	kg
Bromate	7,82E-09	kg
TOC, Total Organic Carbon	0,000419	kg
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	9,5E-06	kg
Aluminium	2,04E-07	kg
Zinc, ion	3,61E-06	kg
Copper, ion	1,04E-06	kg
Nickel, ion	4,87E-07	kg
Carbonate	6,62E-06	kg
Arsenic, ion	1,42E-08	kg

Cadmium, ion	6,22E-09	kg
Manganese	1,21E-06	kg
Tin, ion	1E-18	kg
Strontium	5,61E-14	kg
Silicon	0	kg
Benzene	2,29E-08	kg
Hydrocarbons, aromatic	6,3E-08	kg
Abfälle	Menge	Einheit
Disposal, facilities, chemical production/RER U	0,000106	kg
Disposal, tailings from hard coal milling, in impoundment/GLO U	0,003077	kg
Disposal, spoil from coal mining, in surface landfill/GLO U	0,055331	kg
Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/CH U	0,012562	kg
Disposal, average incineration residue, 0% water, to residual material landfill/CH U	0,017442	kg
Disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration/CH U	1,71E-05	kg
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	0,001276	kg
Disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration/CH U	0,00284	kg

16.2 Lagerzusammensetzung Schieneninfrastruktur in der Steiermark

Tabelle 16-15: Lager an Sand/Kies im Unterbau der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorien in 1.000 Tonnen

Sand/Kies Unterbau	Menge	Einheit
Normalspur Eingleisig	5.586	1.000 t
Normalspur Mehrgleisig	4.170	1.000 t
Schmalspur (Eingleißig= Annahme)	915	1.000 t
Summe	**10.672**	**1.000 t**

Tabelle 16-16: Lager an Stahl für die Schienen der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorie in 1.000 Tonnen

Stahl - Schienen	Menge	Einheit
Normalspur Eingleisig	63	1.000 t
Normalspur Mehrgleisig	61	1.000 t
Schmalspur (Eingleißig= Annahme)	10	1.000 t
Summe Stahl	**134**	**1.000 t**

Tabelle 16-17: Lager an Schweller unterteilt je Material der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorie

Schweller	Betonschweller		Holzschweller		Stahlschweller
in [Tonnen]	Beton [t]	Stahl [t]	Holz [t]	Imprägnieröl [t]	Stahl [t]
Normalspur Eingleisig	196.707	5.220	31.320	2.668	3.451
Normalspur Mehrgleisig	189.924	4.830	30.240	2.576	3.318
Schmalspur (Eingleißig= Annahme)	32.219	855	5.130	437	565
Summe	**418.850**	**10.905**	**66.690**	**5.681**	**7.334**

Tabelle 16-18: Lager der Schienenbefestigungen der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorie

Befestigung der Schienen	Betonschweller		Holzschweller		Stahlschweller	
in [Tonnen]	Eisen [t]	Kunststoff [t]	Eisen [t]	Kunststoff [t]	Eisen [t]	Kunststoff [t]
Normalspur Eingleisig	3.350	870	5.011	46	264	12
Normalspur Mehrgleisig	3.213	840	4.838	50	252	13
Schmalspur (Eingleißig= Annahme)	549	143	821	8	43	2
Summe	**7.111**	**1.853**	**10.670**	**104**	**559**	**26**

Tabelle 16-19: Lager des Schotters der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorie in 1.000 Tonnen

Schotter			
in [1000 t]	Beton-schweller	Holz-schweller	Stahl-schweller
Normalspur Eingleisig	1.554	351	67
Normalspur Mehrgleisig	1.491	344	69
Schmalspur (Eingleißig= Annahme)	255	58	11
Summe	**3.300**	**753**	**147**

Tabelle 16-20: Lager der Stromzufuhr der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorie

Stromzufuhr in [Tonnen]	Kupfer	Bronze
Normalspur Eingleisig	332	202
Normalspur Mehrgleisig	540	330

Tabelle 16-21: Lager der Masten für Stromabnehmer der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorie

Masten für Stromabnehmer				
in [Tonnen]	Beton	Bewehrungsstahl	Stahl	Aluminium
Normalspur Eingleisig	3.293	6.199	3.284	646
Normalspur Mehrgleisig	5.355	10.080	5.340	1.050
Summe	**8.648**	**16.279**	**8.624**	**1.696**

Tabelle 16-22: Lager des Unterwerks der Schieneninfrastruktur unterteilt je Streckenkategorie

Unterwerk		
in [Tonnen]	Kupfer	Stahl
Normalspur Eingleisig	133	218
Normalspur Mehrgleisig	216	354
Summe	**349**	**572**

16.3 Ökonomisches Urban Mining Potential

Tabelle 16-23: Entsorgungskosten

Entsorgungskosten				
Bezeichnung Material	**Beschreibung Abfallfraktion**	**Entsorgungs-kosten**	**Einheit**	**Quelle**
zementgebundene Baustoffe [€/t]	Betonabbruch	16	€/t	Cemex
Ziegel [t/km]	Bauschutt (sortiert)	27	€/t	Cemex
Gips [t/km]	Gips-Mauersteine Gipskartonplatten	105	€/t	Cemex
Stein/Kies/Sand [t/km]	Bauschutt (sortiert)	27	€/t	Cemex
mineral. Dämmstoffe [t/km]	Mineralfaser	120	€/t	Cemex
Holz [t/km]	Holzabfälle (behandelt)	56,5	€/t	Cemex
Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	Asphaltabbruch (sortiert)	16	€/t	Cemex
Eisen/Stahl [t/km]	Eisen-/Stahlabfälle	20	€/t	Cemex
Kupfer [t/km]	Blechabfälle	35	€/t	Cemex
Aluminium [t/km]	Blechabfälle	35	€/t	Cemex
Zink [t/km]	Blechabfälle	35	€/t	Cemex

Entsorgungskosten				
Bezeichnung Material	**Beschreibung Abfallfraktion**	**Entsorgungs-kosten**	**Einheit**	**Quelle**
Blei [t/km]	Blechabfälle	35	€/t	Cemex
FCKW [t/km]		k.A.	€/t	
PVC [t/km]		k.A.	€/t	
Asbest [t/km]	Asbestzement	85	€/t	Cemex

Tabelle 16-24: Urban Mining Potential – Sekundärrohstoffpreise

Urban Mining Potenzial - Sekundärrohstoffpreise				
Material	**angenommener Verwertungsweg**	**Preis Sekun-därroh-stoffs**	**Ein hei t**	**Quelle**
zementgebundene Baustof-fe [€/t]	Betongranulat	7	€/t	Cemex
Ziegel [t/km]	mineralische Baurestmas-sen	4	€/t	Cemex
Gips [t/km]	k.A.	k.A.	€/t	
Stein/Kies/Sand [t/km]	mineralische Baurestmas-sen	4	€/t	Cemex
mineral. Dämmstoffe [t/km]	k.A.	k.A.	€/t	
Holz [t/km]	Recyclingholz f. Plattenin-dustrie	10	€/t	eigene Annahme
Erdölbasierte Baustoffe [t/km]	k.A.	k.A.	€/t	
Eisen/Stahl [t/km]	Stahlschrott	850	€/t	www.schrottpreis.org
Kupfer [t/km]	Kupferschrott	4000	€/t	www.schrottpreis.org
Aluminium [t/km]	Aluminiumschrott	800	€/t	www.schrottpreis.org
Zink [t/km]	Zinkschrott	800	€/t	www.schrottpreis.org
Blei [t/km]	Bleischrott	850	€/t	www.schrottpreis.org
FCKW [t/km]	keine Verwertung --> Ent-sorgung	0	€/t	eigene Annahme

Urban Mining Potenzial - Sekundärrohstoffpreise				
Material	**angenommener Verwertungsweg**	**Preis Sekundärrohstoffs**	**Einheit**	**Quelle**
PVC [t/km]	keine Verwertung --> Entsorgung	0	€/t	eigene Annahme
Asbest [t/km]	keine Verwertung --> Entsorgung	0	€/t	eigene Annahme