Universität für Bodenkultur
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt
Institut für Abfallwirtschaft

Ressourcenpotential städtischer Verkehrsinfrastruktur am Beispiel der Wiener U-Bahn

Masterarbeit
Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

eingereicht von
Marlies Gamsjäger
Stud Kennz.: 427 / Matr. Nr.: 0940357

Wien, Sommersemester 2015

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen einer groß angelegten Forschungsinitiative zu anthropogenen Ressourcen (Christian Doppler Labor für Anthropogene Ressourcen) erarbeitet. Die AutorInnen bedanken sich für die finanzielle Unterstützung dieser Forschungsinitiative durch das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft sowie der Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung.

Des Weiteren möchte ich mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die mich bei der Erstellung meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt Jakob Lederer, Ulrich Kral und Johann Fellner vom Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft an der Technischen Universität Wien für die tolle Betreuung meiner Arbeit. Die zahlreichen Anregungen und das stets rasche Feedback waren mir immer eine große Hilfe. Danke auch an das Institut für Abfallwirtschaft an der Universität für Bodenkultur, das mir die Bearbeitung einer externen Masterarbeit ermöglicht hat.

Außerdem möchte ich mich bei allen MitarbeiterInnen der Wiener Linien bedanken, die bereit waren mir Daten, Unterlagen und ihr Expertenwissen zur Verfügung zu stellen.

Ein großes Dankeschön gilt auch meiner Familie und den vielen lieb gewonnenen StudienkollegInnen, die mir während des gesamten Studiums zur Seite gestanden sind.

Kurzfassung

In den letzten Jahrzehnten hat sich Urban Mining zu einer möglichen Strategie im Bereich der Rückgewinnung anthropogener Ressourcen aus urbanen Gebieten entwickelt. In diesem Zusammenhang wurden bereits Studien zur Quantifizierung anthropogener Materialbestände in Gebäuden und ausgewählten Infrastruktureinrichtungen (Straßen, Energieversorgungsnetze) durchgeführt, jedoch weniger im Bereich von U-Bahn-Netzwerken. Die vorliegende Arbeit stellt einen Versuch dar abzuschätzen, in wie weit U-Bahnen als anthropogene Sekundärressourcenlagerstätten dienen können. Nach einer Quantifizierung des verbauten Materialbestandes eines ausgewählten Wiener U-Bahn-Abschnittes, erfolgte eine Darstellung der Inputs und Outputs, die im Rahmen einer kürzlich durchgeführten Sanierung des Abschnittes aus- bzw. eingebaut wurden. Des Weiteren wurden die Lebensdauern einzelner Bauteile erhoben. Aus den Ergebnissen kann zusammengefasst werden, dass überwiegend die Materialien Beton (507.000 t), Stahl und Eisen (124.000 t), Kupfer (630 t) und Aluminium (360 t) im betrachteten U-Bahn-Abschnitt verbaut sind. Hinsichtlich der erhobenen Lebensdauern zeigte sich, dass teilweise die theoretische von der praktischen Lebensdauerangabe abweicht. Mögliche Gründe hierfür können geänderte technische Vorschriften, oder auch bereits stattfindende Sanierungen im Bestand sein. Außerdem konnten Materiallager identifiziert werden, die zwar im Bestand enthalten sind, jedoch keine Funktion erfüllen (Hibernating Stocks). Dabei wurde festgestellt, dass vor allem die fehlende Kosteneffizienz, eingeschränkte Zugänglichkeit und die mangelnde Dokumentation Gründe für deren Entstehung darstellen.

Schlagwörter:

Urban Mining, Sekundärrohstoffe, Hibernating Stock, Anthropogener Materialbestand, U-Bahn-Infrastruktur

Abstract

During the last decades urban mining became a possible strategy with regard to the recovery of anthropogenic resources from urban areas. In this context some studies to quantify anthropogenic material stocks have been already carried out for buildings and selected infrastructure facilities (roads, energy supply networks), but to a far lesser extend in connection with subway networks. The present work represents an attempt to determine to which extent subway infrastructures represent an anthropogenic secondary resource deposit. After a quantification of the installed material stock in a selected subway section of the subway network in the city of Vienna, an illustration of the material inputs and outputs during a recently carried out general renovation of this section was done. Furthermore the lifetime of the individual components were examined. Based on the results, it can be summarized that the bulk of the subway section comprises of the materials concrete (507.000 t), steel and iron (124.000 t), copper (630 t) and aluminum (360 t). With regard to the collected data about lifetimes of construction elements in the investigated subway section, it can be shown that in some cases the theoretical lifetime as given in literature differs from the real one. Possible reasons for these deviations could be modified requirements, or already scheduled renovations in the past. Furthermore it was possible to identify material stocks which are included in the inventory, but fulfill no function anymore (hibernating stocks). In this connection it was found out that especially the missing cost-efficiency, limited accessibility and the lack of documentation are the main reasons for their development.

Keywords:

urban mining, secondary resources, hibernating stock, anthropogenic material stock, subway infrastructure

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1
   1.1 Aufbau der Arbeit 2
   1.2 Problemstellung 2
   1.3 Ziel und Fragestellung 2
   1.4 Geschichte der U-Bahn in Wien 3
2. Anthropogene Materiallager 5
   2.1 Anthroposphäre 5
   2.2 Aufbau anthropogener Lager 7
   2.3 Urban Mining – Nutzung des Anthropogenen Lagers 8
   2.4 Bestimmung anthropogener Lager 10
      2.4.1 Bestimmung anthropogener Lager in Gebäuden und Infrastrukturen 11
      2.4.2 Dynamik von Materialinputs und Outputs 13
   2.5 Der Hibernating Stock 13
3. Material und Methode 16
   3.1 Systemabgrenzung 16
   3.2 Datenbeschaffung 17
      3.2.1 Literaturrecherche 17
      3.2.2 Interne Unterlagen Wiener Linien 17
      3.2.3 ExpertInneninterviews 17
      3.2.4 Begehungen 18
   3.3 Ermittlung des Materialbestandes und der Materialflüsse während Sanierungstätigkeiten 18
4. Ergebnisse 20
   4.1 Beschreibung der Fallstudie 20
   4.2 Materiallager in U-Bahnen: Fallstudie: U1-Stammstrecke 21
      4.2.1 Konstruktive Bauelemente 22
      4.2.2 Gleisbau 23
      4.2.3 Innenausbau der Stationen 23
      4.2.4 Fördertechnik 24
      4.2.5 Niederspannungsanlagen 25
      4.2.6 Mittelspannungsanlagen 26
      4.2.7 Signal- und Nachrichtentechnik 27
      4.2.8 Traktionsschaltanlagen 27
      4.2.9 Stromschiene und Traktionskabel 28
      4.2.10 Brandrauchentlüftung 29
      4.2.11 Stationslüftungen 30
      4.2.12 Trockenlöschleitungen 31
      4.2.13 Zusammenfassung Materiallager in U-Bahnen 32
   4.3 Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten 36
      4.3.1 Konstruktive Bauelemente 37
      4.3.2 Gleisbau 37
      4.3.3 Innenausbau der Stationen 38
      4.3.4 Fördertechnik 38
      4.3.5 Niederspannungsanlagen 39
      4.3.6 Mittelspannungsanlagen 39
      4.3.7 Signal- und Nachrichtentechnik 39
      4.3.8 Traktionsschaltanlagen 41

4.3.9 Stromschiene und Traktionskabel 41
4.3.10 Brandrauchentlüftung 42
4.3.11 Stationslüftungen 43
4.3.12 Trockenlöschleitungen 43
4.3.13 Zusammenfassung Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten 44
4.4 Lebensdauern von Bauteilen 47
4.5 Hibernating Stocks 48
4.5.1 Fallbeispiel 1: Schwalllüfter 48
4.5.2 Fallbeispiel 2: Nieder- und Mittelspannungsanlagen 49
4.5.3 Gründe und Logik des Hibernating Stock 50
5. Diskussion 52
5.1 Materiallager in U-Bahnen 52
5.2 Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten 55
5.3 Gegenüberstellung der Lebensdauern 58
5.4 Hibernating Stocks 60
5.4.1 Gründe und Logik des Hibernating Stock 62
5.4.2 Klassifikation des Hibernating Stock 63
6. Schlussfolgerung 65
7. Abbildungsverzeichnis 66
8. Tabellenverzeichnis 67
9. Abkürzungsverzeichnis 69
10. Literaturverzeichnis 70
11. Anhang 74

1. Einleitung

Im österreichischen Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 verzeichnet das österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, 2011), dass seit den 1950er-Jahren der Ressourcenverbrauch vieler Materialien (z.B. Beton, Stahl, Kupfer, Aluminium) um ein Vielfaches gestiegen ist. Diese Zunahme führt einerseits dazu, dass die natürlichen Rohstofflagerstätten kontinuierlich abnehmen und andererseits die anthropogenen Materialbestände in Bauwerken (Gebäude, Infrastrukturanlagen) ansteigen (BMLFUW, 2011). Hinzu kommt, dass der Gebäudepark mit entsprechendem finanziellen und materiellen Aufwand bewirtschaftet werden muss, um ein vorgegebenes Serviceniveau aufrecht erhalten zu können (König et al., 2009). Neben den Gebäuden besitzen Infrastruktureinrichtungen (u.a. Strom, Wasser, Verkehr) eine besondere Rolle, da deren Errichtung eine langfristige Bewirtschaftung von mehreren Jahrzehnten mit sich bringt. Auf Grund dessen gewinnen Konzepte im Bereich des nachhaltigen Bauens, die den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken betrachten, zunehmend an Bedeutung (Wallbaum et al., 2011). Dies beinhaltet unter anderem den optimierten Einsatz materieller Ressourcen, von der Gewinnung, Errichtung über die Nutzung und Instandsetzung bis hin zum Rückbau und der damit verbundenen Rohstoffverwertung und Schadstoffentsorgung. Zentrales Thema ist dabei die Materialwahl in Hinblick auf zukünftiges Recycling, oder die Abschätzung der Sekundärrohstoffpotentiale bereits gebauter Infrastruktur (Wittmer, 2006; Wallsten et al., 2013b; Fichter und Hintemann, 2014). Darauf aufbauend kann der vorhandene, städtische Materialbestand als potentielle Rohstoffquelle für ein zukünftiges Wirtschaften betrachtet werden (Brunner, 2011). In diesem Zusammenhang wird der Begriff Urban Mining verwendet (Baccini und Brunner, 1991; Gradel, 2011). Dieses Konzept basiert auf der Annahme, dass diverse Materialien in Gebäuden und Infrastrukturen verbaut sind. Diese Lager stellen somit ein Ressourcenpotential dar, welches am Ende deren Lebensdauern verfügbar wird. Auf Basis der Materialzusammensetzung und deren jeweiligen Verweildauer im Bestand kann somit eine Prognose hinsichtlich des zukünftigen Outputs aus anthropogenen Materiallagern abgegeben werden (Brunner 2011). Durch diese Vorgehensweise sollen die vorhandenen Rohstoffe in den anthropogenen Beständen verstärkt genutzt werden, um die Umwelt und die natürlichen Lagerstätten zu schonen (Tanikawa und Hashimoto, 2009). Dabei zeigt Graedel (2011), dass die Gewinnung von Primärrohstoffen, im Vergleich zur Nutzung von anthropogenen Ressourcen, energieintensiver ist und vermehrt zu Schadstoffemissionen führt.

Neben der generellen Materialzusammensetzung, sowie der Lebensdauer von einzelnen Bauteilen sind in diesem Zusammenhang ungenutzte Materialbestände (Hibernating Stocks) von besonderem Interesse (Krook et al., 2011). Das sind Ressourcenmengen in Gebäuden oder Infrastruktureinrichtungen, die keine Funktion mehr erfüllen, jedoch nicht ausgebaut, gesammelt und einer entsprechenden Verwertung zugeführt werden (Lohm, 1998). Solche Bestände sind laut Krook et al. (2011) aus der Perspektive der Ressourcenbewirtschaftung von wesentlichem Interesse, da diese Materialien nicht in Verwendung stehen und somit grundsätzlich schon jetzt für den Recyclingprozess verfügbar sind.

Laut Wiedenhofer et al. (2015) können urbane Materialakkumulationen, im Rahmen von Urban Mining, als zukünftige Sekundärressourcenlagerstätten betrachtet werden.

Dafür ist jedoch ein umfassendes, systematisches Wissen über die verbauten Materialien (Konzentration, Menge, Zugänglichkeit), deren Dynamik, sprich Lebensdauer, sowie deren Recyclingpotential und ökonomische Durchführbarkeit erforderlich (Brunner, 2011). In diesem Zusammenhang fanden bereits Untersuchungen des Gebäudeparks (siehe Kleemann et al., 2014; Lichtensteiger, 2006; Deilmann et al., 2005) und auch im Bereich von Infrastrukturen, z.B. Straßen und Eisenbahnen (Tanikawa et al., 2002; Tanikawa und Hashimoto, 2009) oder Energieversorgungsnetzwerke (Krook et al., 2011), statt. Im Hinblick auf U-Bahn-Netzwerke liegen gegenwärtig nur wenige Studien vor. In weiterer Folge ist auch nur wenig bekannt bezüglich des vorliegenden Materialbestandes in U-Bahnen, dessen Qualität, Dynamik und stattfindende Bewirtschaftung (Lederer et al., 2014b). Auf Grund dessen stellt diese Arbeit den Versuch dar, die potentielle Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen in städtischen Verkehrsinfrastrukturen, am Beispiel der Wiener U-Bahn, zu untersuchen. Als Fallbeispiel wird dabei der Abschnitt der U1-Stammstrecke zwischen den Stationen Reumannplatz und Schwedenplatz betrachtet.

1.1 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit erfolgt eine Vorstellung der Forschungsfrage, Problemstellung und Zielsetzung, um in weiterer Folge einen theoretischen Überblick über den aktuellen Stand des Wissens geben zu können. Dabei werden vorliegende Arbeiten im Bereich des Aufbaus und der Bestimmung anthropogener Materialbestände, sowie deren Dynamik durch Inputs und Outputs vorgestellt. Des Weiteren wird, basierend auf Fallstudien, eine Erklärung zu Hibernating Stocks gegeben. Darauf aufbauend werden die eingesetzten Materialien und Methoden vorgestellt, um anschließend die Ergebnisse der Fallstudie darzulegen. In der Diskussion werden die wesentlichen Resultate und Erkenntnisse weiterer Literaturangaben gegenübergestellt und vergleichend diskutiert. Abschließend erfolgen neben einer Schlussfolgerung auch Empfehlungen für weiteren notwenigen Forschungsbedarf in der Zukunft.

1.2 Problemstellung

Die zu untersuchende Problemstellung ergibt sich daraus, dass für Verkehrsinfrastrukturen und Anlagen des Infrastrukturbetreibers Wiener Linien kein netzweiter Überblick über 1) die Materialbestände und –flüsse und 2) die Lebensdauern der einzelnen Bauteile vorhanden ist. Im Speziellen bedeutet dies, dass konkretes, zielgerechtes Wissen über die verbauten Materialien und deren Nutzungszustand, ob sie in Betrieb oder nicht in Verwendung stehen, fehlt. Auf Grund dessen kann das Sekundärrohstoffpotential der Anlagen nicht abgeschätzt werden. Des Weiteren liegen keine systematischen Informationen über den Materialaufwand zur Erhaltung der bereits gebauten Verkehrsinfrastrukturen vor. Somit sind entscheidungsrelevante Informationen für die Bewertung der verbauten Materialien in den jeweiligen Infrastrukturanlagen nicht vorhanden.

1.3 Ziel und Fragestellung

Basierend auf der dargelegten Problemstellung ist das Ziel dieser Arbeit, anhand von einem Fallbeispiel Informationsgrundlagen und Empfehlungen für die lebenszyklusorientierte Bewirtschaftung von Verkehrsinfrastrukturanlagen zu erarbeiten. Als Beispiel dient dabei der Wiener U-Bahn-Abschnitt der U1-Stammstrecke zwischen den Stationen Reumannplatz und Schwedenplatz. Dieser

Bereich wird betrachtet, weil auf Grund der stattgefundenen Sanierung im Jahr 2012 eine gute Datenbasis zu Materialaustausch und -zusammensetzung erwartet wird. Daraus ergibt sich folgende übergeordnete Forschungsfrage: **Inwiefern stellt der Wiener U-Bahn-Abschnitt der U1-Stammstrecke eine anthropogene Sekundärrohstofflagerstätte dar?** Zur adäquaten Beantwortung dieser Forschungsfrage werden zusätzliche untergeordnete Fragestellungen formuliert:

1. Welche Menge an unterschiedlichen Materialien ist in ausgewählten Bauwerken der U-Bahn-Infrastruktur enthalten?
    a. In welchen Bauteilen treten diese Materialien auf?
2. Welche Materialmengen werden im Zuge von Sanierungsarbeiten ein- und ausgebaut?
    a. Welche Gründe gibt es für die einzelnen Sanierungsarbeiten?
    b. Welche Lebensdauern weisen die sanierten U-Bahn-Bauteile und Materialien auf?
3. Welche Materialien und Mengen gelten als sogenannte „ungenutzte Lager“ (Hibernating Stocks)?
    a. Dabei gilt es herauszufinden welche Bauelemente und Materialien durch Erneuerung zwar ihre Funktion verlieren und somit obsolet werden. Dennoch verbleiben diese Bestandteile im Bauwerk und werden nicht rückgewonnen.
    b. Neben der Fragestellung wo bzw. in welchen Bauteilen die Materialien enthalten sind, soll auch beantwortet werden ob diese grundsätzlich zugänglich und nutzbar sind.
4. Welche Gründe und Rahmenbedingungen sind für das Entstehen von ungenutzten Materialbeständen ausschlaggebend?
    a. Lässt sich aus den verschiedenen Gründen eine allgemeine Klassifikation ableiten?
    b. Falls ja, deckt sich diese Klassifikation mit jener über die ungenutzten Materialbestände von Ver- und Entsorgungsnetzen in schwedischen Städten (Wallsten et al., 2013a)?

1.4 Geschichte der U-Bahn in Wien

Schon während des 19. Jahrhunderts fanden Planungen über den Bau von U-Bahn-Netzen und Unterpflasterstraßenbahnen (USTRAB) in Wien statt, jedoch fehlten zur Realisierung die finanziellen Mitteln (Hinkel et al., 2004). Ab den 1960er Jahren wurde als kostengünstigere Alternative zur U-Bahn zunächst eine USTRAB verwirklicht. Da Straßenbahnen jedoch nur einen Teil ihrer Strecke unter der Erde geführt werden, haben USTRAB den Nachteil, dass Verzögerungen aus dem Straßenverkehr nicht vermieden werden können (Magistrat der Stadt Wien, s.a.). Schlussendlich wurde in Wien ab 1964, unter dem Druck des immer stärker werdenden innerstädtischen PKW-Verkehrs und beeinflusst vom Boom der in Bau befindlichen U-Bahn-Systeme in Nachbarstaaten, z.B. in München, über den Bau einer U-Bahn konkret nachgedacht. Es wurde eine Fülle von Netzvarianten untersucht, unter teilweiser Einbeziehung der mittlerweile fertig gestellten Unterpflasterstraßenbahntrassen. Aus diesen Netzentwürfen wurde ein allen Entwürfen gemeinsames engeres Grundnetz herausgearbeitet. Dieses enthielt die Linie U1 vom Reumannplatz zum Praterstern, die Linie U2 zwischen Schottenring und Karlsplatz, und die U4 von Hütteldorf nach Heiligenstadt (Hinkel et al., 2004). Am 26.01.1968 wurde im Wiener Gemeinderat der Bau des engeren Grundnetzes, bestehend aus U1, U2 und U4 (1. Ausbauphase) beschlossen. Dabei war geplant,

dass einzelne Strecken der Stadtbahn in das neue U-Bahn-Netz integriert werden sollen (Hödl, 2009). Die ehemalige Gürtelline ist heute zum überwiegenden Teil in die U6-Linie integriert. Die beiden Stadtbahnstrecken Wiental- und Donaukanallinie sind in vollem Umfang Bestandteil der heutigen U4 (Marincig, 1989). Im Zuge der geplanten Bauarbeiten zeigt Hinkel et al. (2004), dass die U1 vollständig neu gebaut werden musste und im Falle der U2 wurden die vorhandenen Unterpflasterstraßenbahntunnel mit einbezogen. Mit den bereits genannten Bauarbeiten wurde im November 1969 begonnen und im Februar 1978 konnte der erste Abschnitt vom Reumannplatz bis Karlsplatz (U1) eröffnet werden (Hödl, 2009).

Der Bau der U-Bahn hat wesentlich zur Veränderung des Wiener Stadtbildes beigetragen, da durch gezielte Änderungen der Individualverkehrsströme verkehrsarme Bereiche und Fußgängerzonen entstehen konnten (Foltin, 1989). Die Fertigstellung des U-Bahn-Grundnetzes hat für die Wiener Bevölkerung mehr Mobilität sowie den Aufschwung von Geschäfts- und Wohnvierteln gebracht. Zum Beispiel erhielt auch das Naherholungsgebiet Donauinsel, das zur gleichen Zeit entstand, durch die Fertigstellung der U1 einen besonderen Stellenwert für die Bevölkerung Wiens (Hinkel et al., 2004).

2. Anthropogene Materiallager

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand des Wissens hinsichtlich anthropogener Materiallager gezeigt. Dabei werden unterschiedliche Studien dargestellt, um den Zugang verschiedener Arbeiten zu einer ähnlichen Fragestellung zeigen zu können. Zu Beginn erfolgt eine Einführung zum Aufbau und zur Bestimmung eines Materialbestandes. Danach wird die Dynamik der Materialinputs und –outputs betrachtet. Abschließend wird auf den Begriff des Hibernating Stock, anhand von Fallstudien zur urbanen Infrastruktur, eingegangen.

2.1 Anthroposphäre

Am Aufbau der Erde sind gemäß Carol (1956) fünf Bereiche beteiligt: Litho-, Hydro-, Atmo-, Bio- und Anthroposphäre. Die erstgenannten anorganischen Hüllen umschließen die Erde kontinuierlich, während das organische Leben (Biosphäre), wie auch das Reich der Menschen (Anthroposphäre), in gewissen Teilen der Erdhülle fehlt. Die einzelnen Sphären differenzieren sich kontinuierlich, jedoch entsteht nirgends eine Grenze, die eine strikte Teilung der Sphären bewirken würde. Die in dieser Arbeit betrachtete Anthroposphäre bezeichnet den Lebensraum des Menschen, in dem von ihm gebaute und betriebene, biologische und technische Prozesse (z.B. Landwirtschaft, Energieversorgung, Transport, Kommunikationsnetze) erfolgen (Baccini und Brunner, 1991). Die Anthroposphäre ist somit eine vom Menschen geformte Kulturlandschaft, die neben den Naturlandschaften (Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre) auch am Aufbau der Landschaft beteiligt ist (Carol, 1956). Diese menschliche Lebenssphäre stellt ein komplexes System dar, welches sich aus Energie-, Material- und Informationsflüssen zusammensetzt. Des Weiteren werden auf Grund von menschlichen Bedürfnissen und Aktivitäten, wie Wohnen, Arbeiten oder Kommunizieren, Prozesse und Güter hervorgerufen (Baccini und Brunner, 1991).

Die Anthroposphäre und Umwelt formen gemeinsam ein geographisch definiertes offenes System, welches als „regionale Wirtschaft“ bezeichnet werden kann (siehe Abbildung 1). Das Subsystem Umwelt setzt sich dabei aus den Bereichen Boden, Wasser und Luft zusammen. Die Anthroposphäre ist in die folgenden vier Bestandteile gegliedert, die jeweils spezifische Aufgaben verfolgen (Baccini und Brunner, 1991; Baccini und Bader, 1996):

- **Land- und Forstwirtschaft**: Dient zur gezielten Produktion von Biomasse.
- **Industrie/Gewerbe/Handel**: Ermöglicht eine Verteilung von Produkten, die aus internen und importierten Rohstoffen oder Zwischenprodukten hergestellt wurden.
- **Private Haushalte**: Stellen die Zielprozesse für hergestellte Güter dar.
- **Abfallwirtschaft**: Übernimmt die Entsorgung der anfallenden Stoffwechselprodukte.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Anthroposphäre und die Interaktionen mit der umliegenden Umwelt, im Rahmen einer offenen, regionalen Wirtschaft.

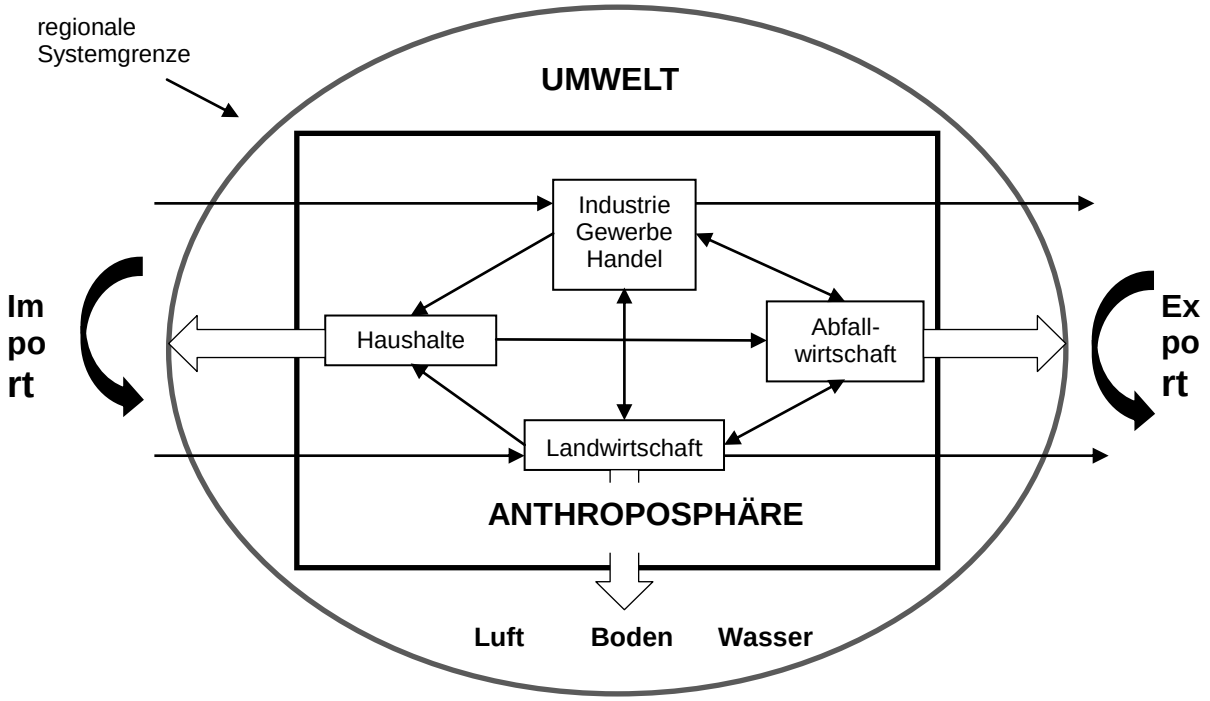

Abbildung 1: Schema der zentralen Interaktionen zwischen Anthroposphäre und Umwelt in einer regionalen Wirtschaft (nach Baccini und Brunner, 1991)

In Abbildung 1 repräsentieren die dünnen geraden Pfeile die Materialströme, die durch den Markt beeinflusst werden. Die gebogenen Pfeile symbolisieren die natürlichen Ströme. Die breiten Pfeile weisen auf Emissionen hin, die jedoch durch Umweltschutzmaßnahmen limitiert werden können. Laut Brunner und Baccini (1991) exportieren die Kompartimente Landwirtschaft und Industrie, Gewerbe und Handel einen Teil oder alles ihrer produzierten Güter zu dem Sektor der Haushalte. Dem Bereich der Abfallwirtschaft werden jene Güter zugeführt, welche in keiner Verwendung stehen oder keinen Wert mehr besitzen. Durch diese Prozesse interagiert die Anthroposphäre gemäß Brunner und Rechberger (2004) mit der umliegenden Umwelt. Müller (2006) betont in diesem Zusammenhang, dass menschliche Aktivitäten eine gestiegene Variation von Dienstleistungen, durch verschiedene Bestände an Kapital und Konsumgüter, nutzen. Deren Produktion, Betrieb, Wartung und Entsorgung verursachen Material- und Energieflüsse, die wiederum die Umwelt beeinflussen. Auf Grund dessen dienen laut Baccini und Brunner (1991) die drei Umweltkompartimente (Luft, Boden, Wasser) nicht nur als Material- und Energiequelle, sondern fungieren auch als kurz- (Stunden bis Jahre) und langfristige (Jahrhunderte bis Jahrtausende) Senken für übrig bleibende Ströme. Dabei werden in der Anthroposphäre zwei Netzwerke hinsichtlich Energie- und Materialströme überlagert (Baccini und Bader, 1996). Einerseits existiert ein natürlicher Strom, welcher primär durch die Sonnenenergie und Interaktionen der regionalen und globalen Ökosysteme angetrieben wird. Andererseits liegt ein anthropogener Strom vor, der durch die biologischen und kulturellen Bedürfnisse des Menschen hervorgerufen wird (Baccini und Brunner, 1991).

Zurückblickend, wuchs die Anthroposphäre bis zum Beginn der Industriellen Revolution ab dem 18. Jahrhundert nur langsam an. Auf Grund herrschender Regulativen, wie die verfügbare Ressourcenmenge für Ernährung und Energie, war die Anthroposphäre durch Mangelgesellschaften geprägt. Erst durch die Industrialisierung und Aufklärung begann der Ausbruch aus diesen natürlichen

Grenzen. Durch die Kombination neuer Gesellschafts- und Wirtschaftspolitik und technischer Innovationen gelang es, das Problem regional bedingter Verknappungen zu lösen und in den globalen Energie- und Stoffhaushalt einzugreifen (Baccini und Bader, 1996). In weiterer Folge stieg laut Krausmann et al. (2009) der globale Materialeinsatz innerhalb des 20. Jahrhunderts um das Achtfache an. Vor allem die Periode nach dem 2. Weltkrieg war charakterisiert durch ein rapides physikalisches Wachstum der Anthroposphäre, hervorgerufen durch den Anstieg der Bevölkerung und wirtschaftlicher Entwicklung. Dabei kam es zu einem Übergang, weg von der Dominanz der erneuerbaren Biomasse, hin zum Einsatz mineralischer Materialien. In weiterer Folge wurden gemäß Baccini und Brunner (1991) Städte, durch das zunehmende Wachstum (Urbanisierung) zur quantitativ bedeutendsten und dauerhaftesten Siedlungsform des Menschen in Industriegesellschaften. In diesem Zusammenhang stellt das Wachstum des sozialen und industriellen Metabolismus (Material- und Energieinput, Abfälle, Emissionen), einen Hauptfaktor für die vom Menschen verursachten Umweltveränderungen dar (Fischer-Kowalski und Haberl, 2007). Der Wandel in der Struktur und Größe des sozialen Metabolismus ist direkt, sowie indirekt mit Druck auf die Umwelt und Rohstoffknappheit verbunden. Auf Grund dessen nehmen diese Entwicklungen eine Schlüsselrolle, hin zu einer nachhaltigen Entwicklung, ein (Krausmann et al., 2009)

2.2 Aufbau anthropogener Lager

Baccini und Brunner (1991) beschreiben im Zusammenhang mit dem anthropogenen Stoffhaushalt mehrere Phänomene, nämlich die Produktion und den Konsum von Gütern, die Abfallproduktion und die Materialbilanz. Hinsichtlich der Materialbilanz eines definierten Systems zeigt eine Gegenüberstellung der Inputgüter und der anfallenden Abfälle, dass der Material- und Güterinput größer ist als der Output. Dies resultiert aus der divergierenden Zeitspanne zwischen Produktion und Beseitigung von Produkten (Brunner, 2011). In der nachfolgenden Abbildung 2 wird der urbane Stoffffluss schematisch dargestellt.

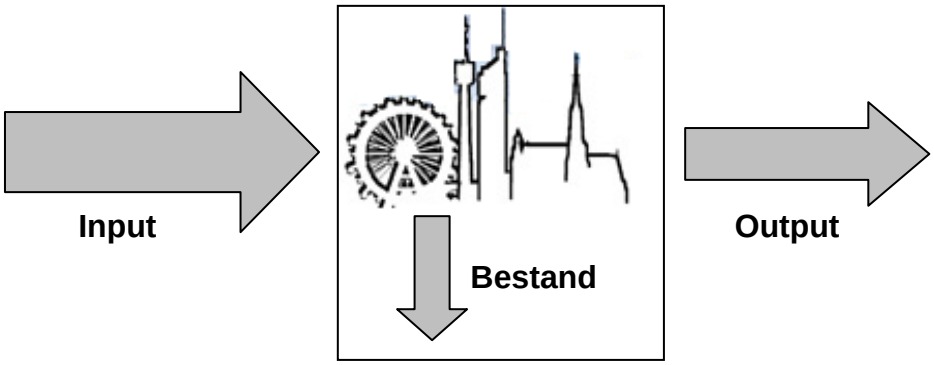

Abbildung 2: Schematische Darstellung des urbanen Stoffflusses (nach Daxbeck et al., 1996)

Abbildung 2 zeigt, dass der urbane Stoffffluss eines geographisch definierten Systems nicht im Fließgleichgewicht ist, dargestellt durch die unterschiedlichen Stärken der Pfeile. Auf Grund dessen kommt es zu einem Wachstum der Anthroposphäre durch den kontinuierlichen Aufbau von Beständen (Daxbeck et al., 1996, Baccini und Brunner, 1991). Dabei bilden sich verschiedene Lager in einem System, z.B. in Industrie, Handel und Landwirtschaft, Transportinfrastrukturen oder privaten Haushalten. Diese verbauten Materialien weisen üblicherweise eine Verweildauer im Bestand von Jahren bis mehreren Jahrzehnten auf (Brunner und Rechberger, 2004). Infolge der teilweise langen Lebensdauern einzelner Bestände,

beeinflussen sie nicht nur den Ressourcenfluss im Zuge der Errichtung, sondern auch während der Nutzung, Wartung und am Ende der Lebensdauer. Dies macht sie zu einem wichtigen Teil des sozialen Metabolismus und in weiterer Folge zu einem wichtigen Thema hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung (Wiedenhofer et al., 2015). In diesem Kontext ist es laut Baccini und Brunner (1991) möglich das Rohstoffpotential von Abfällen (Outputs), durch die Quantifizierung ein- und ausgehender Materialflüsse, zu evaluieren. Daraus ergibt sich die Möglichkeit gegenwärtig in Verwendung stehende Bestände als zukünftige anthropogene Sekundärressourcen, im Sinne von Urban Mining, betrachten zu können (Brunner, 2011).

2.3 Urban Mining – Nutzung des Anthropogenen Lagers

Das Konzept Urban Mining wird als die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen aus anthropogenen Systemen (z.B. Städte, Deponien) definiert (Brunner und Rechberger, 2004). Bonifazi und Cossu (2013) beschreiben Urban Mining als einen Wandel abfallwirtschaftlicher Strategien weg von einem linearen, hin zu einem zirkulären Ansatz. Der traditionelle lineare Ansatz basiert ausschließlich auf der Extrahierung von Rohstoffen, anschließender Produktion, Nutzung, Entsorgung und schlussendlich Deponierung. In diesem Kontext ermöglicht Urban Mining ein systematisches Management der anthropogenen Materialbestände und Abfälle. In diesem Zusammenhang zeigt das BMLFUW (2011), dass in Österreich pro Kopf durchschnittlich etwa 4.500 kg Eisen, 340 kg Aluminium und 200 kg Kupfer in der Anthroposphäre lagern. Diese potentiellen Rohstoffe sind jedoch oft für Jahrzehnte im städtischen Lager gebunden. Auf Grund dessen stellen Städte potenzielle Rohstofflager dar, die zukünftig genutzt werden können. Damit soll erreicht werden, dass die natürlichen Rohstofflagerstätten geschont, der Schadstoffausstoß, der durch die Gewinnung von Primärressourcen verursacht wird, reduziert und Energie eingespart wird (Bonifazi und Cossu, 2013).

Die Möglichkeit Städte als Rohstoffquellen zu betrachten kam erstmals Ende der 1960er Jahre durch die US-amerikanische Soziologin Jane Jacobs auf. Sie formulierte die These, dass in der Zukunft Städte potenzielle Minen zur Ressourcengewinnung darstellen werden. Ihrer Ansicht nach werde es durch eine wachsende Wirtschaft dazu kommen, dass Städte stetig anwachsen und reich an Rohstoffen werden (Jacobs, 1969 zit. nach Johansson et al., 2013). Das von ihr formulierte Konzept kann als erster Ansatzpunkt in Richtung Urban Mining verstanden werden (Graedel, 2011). Die von Jacobs formulierte Annahme basierte laut Graedel (2011) auf einigen Fakten hinsichtlich bestehender Unterschiede bei der Gewinnung von primären, im Vergleich zu sekundären Ressourcen. Einerseits ist der Abbau von primären Ressourcen energieintensiver und aus umweltrelevanter Perspektive auch problematischer, als die Nutzung von Sekundärressourcen. Diesbezüglich zeigt das BMLFUW (2011), dass für die Herstellung von 1 t Aluminium etwa 85 t Ressourcen benötigt werden (Energieeinsatz, Wasserverbrauch, Materialeinsatz). Demgegenüber kann durch den Einsatz von Sekundärmetallen dieser Ressourceneinsatz deutlich reduziert werden. So beträgt im Falle von Aluminium die Energieeinsparung durch die Verwendung von Aluminiumschrott 95 %. Zusätzlich betont Graedel (2011), dass der Metallgehalt aus extrahiertem Gestein kontinuierlich abnimmt, während die Abbauraten gleichbleibend ansteigen.

In diesem Kontext beschreiben Wallsten et al. (2013), dass seit Beginn der Industrialisierung im 18. Jahrhundert ein beschleunigter Prozess des Materialtransfers von der Natur in die Gesellschaft stattfindet. Diese umfangreichen

Materialakkumulationen im urbanen Bereich können als Lagerstätten von Sekundärrohstoffen betrachtet werden. Jedoch müssen hinsichtlich einer effektiven Nutzung dieser Bestände umfassende Informationen über die vorhandenen Materialien verfügbar sein (Brunner, 2011). Im Vergleich dazu wird zur Klassifikation natürlicher Rohstoffbestände das sogenannte McKelvey-Diagramm von der USGS (US Geological Survey) verwendet. Dabei wird unterschieden zwischen Ressourcen, Reserven und anderen Vorkommen. In der nachfolgenden Abbildung 3 ist eine vereinfachte Form des McKevley-Diagramms dargestellt.

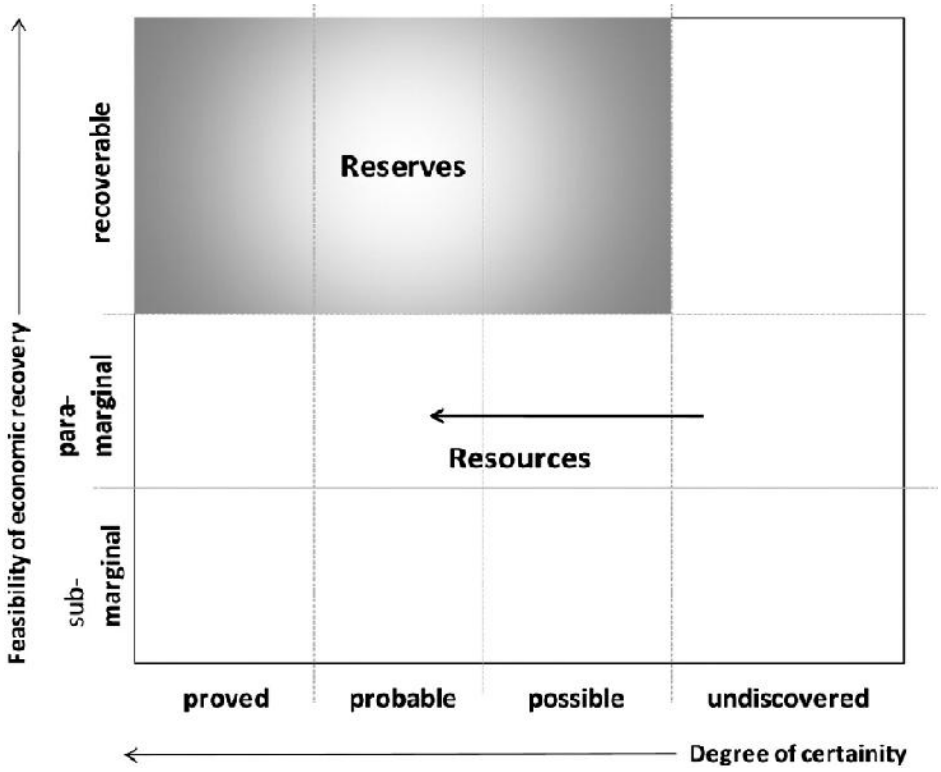

Abbildung 3: McKelvey-System zur Ressourcenklassifikation (Smil, 2003)

Abbildung 3 zeigt die Einteilung von Rohstoffvorkommen in Reserven und Ressourcen, hinsichtlich der Faktoren Sicherheit und wirtschaftlicher Durchführbarkeit. In diesem Zusammenhang werden Ressourcen als Materialkonzentrationen, die bestimmte physikalische und chemische Mindestanforderungen erfüllen, definiert. Zusätzlich muss eine wirtschaftliche Gewinnung gegenwärtig oder zukünftig gegeben sein. Im Gegensatz dazu stellen Reserven jene Teile der Ressourcenbasis dar, die zurzeit ökonomisch abbaubar sind. Andere Vorkommen, die in Abbildung 3 auf Grund der Vereinfachung nicht abgebildet werden, beziehen sich auf nicht-konventionelle und minderwertige Materialien, die aus gegenwärtiger Sicht keine nutzbaren Ressourcen darstellen (USGS, 1980). Daraus ist abzuleiten, dass je höher die Sicherheit, bezüglich des Vorhandenseins potentieller Materialien, und je geringer die Kosten für deren Gewinnung ist, desto besser können die Rohstoffvorkommen genutzt werden. Der horizontal verlaufende Pfeil in Abbildung 3 verdeutlicht den zunehmenden Grad an Sicherheit, weg von unentdeckten, hin zu geprüften Lagerstätten. In Bezug auf Urban Mining müssen laut Brunner (2011) auch für anthropogene Materialbestände und –flüsse systematische Informationen, wie vorliegende Konzentrationen, Mengen, Zugänglichkeit, Lebensdauer der einzelnen Komponenten und ökonomische Machbarkeit, vorhanden sein. Erst dadurch kann eine adäquate, nachhaltige Bewirtschaftung anthropogener Ressourcenbestände ermöglicht werden.

2.4 Bestimmung anthropogener Lager

Hinsichtlich der Bestimmung urbaner Materiallager stellt die Materialflussanalyse (MFA) eine mögliche Methode zur Erfassung, Beschreibung und Interpretation von urbanen Stoffwechselprozessen dar (Brunner und Rechberger, 2004). Dabei handelt es sich um ein systematisches, iteratives Verfahren, um für einen definierten Raum in einer bestimmten Zeitperiode die Materialflüsse und –bestände zu quantifizieren. Es verbindet die Quellen, die Pfade und die vorübergehenden oder endgültigen Materialsenken (Baccini und Bader, 1996; Brunner und Rechberger, 2004). In diesem Zusammenhang existieren verschiedene Ansätze zur Quantifizierung des Materialbestandes. Zur Anwendung kommen dabei die top-down und bottom-up Technik. Die top-down Methode berechnet die Inputrate eines ausgewählten Materials in ein definiertes System. Das Material wird anschließend dem Spektrum potentieller Verwendung zugeordnet, wobei für jede Nutzung eine durchschnittliche Nutzungsdauer angenommen wird. Anhand dieser Informationen, kann die Rate des entsorgten Materials berechnet werden. Die Differenz zwischen den gesamten Inputs und des Güteroutputs innerhalb einer gewissen Zeitspanne produziert eine Aufnahme des Materialbestandes (Kapur und Graedel, 2006; Gordon et al., 2006). Diese Vorgehensweise eignet sich gemäß Graedel (2011) eher für die Anwendung auf nationaler oder globaler Ebene. Im Vergleich dazu werden bei einer bottom up Methode die prinzipiellen Lagerstätten und Dienstleistungseinheiten, z.B. Gebäude und Fahrzeuge, der betrachteten Stoffe identifiziert und summiert. Der Gehalt je Serviceeinheit wird mit der Information, bezüglich der Anzahl vorhandener Einheiten kombiniert (Gordon et al., 2006). Dadurch kann die Quantität der jeweiligen Stoffe innerhalb der Lagerstätte festgestellt werden, um in weiterer Folge den in Verwendung stehenden Materialbestand zu ermitteln (Kapur und Graedel, 2006). Laut Graedel (2011) erzielen sorgfältig durchgeführte bottom-up und top-down Studien ähnliche Ergebnisse.

Ein Beispiel für die Durchführung einer top-down MFA stellt das Projekt PILOT dar, wobei für die gesamte Stadt Wien eine Quantifizierung des anthropogenen Stoffhaushaltes für Kohlenstoff, Stickstoff und Blei erfolgte. Dabei wurde eine Güteranalyse durchgeführt, um darauf aufbauend die Konzentrationen an Kohlenstoff, Stickstoff und Blei in den einzelnen Gütern zu berechnen. Daraus erfolgte die Abschätzung der vorhandenen Stoffflüsse und Lager (Daxbeck et al., 1996). In einer anderen top-down Studie wird durch eine Materialflussanalyse der in Verwendung stehende Stahlbestand für etwa 200 Länder abgeschätzt. Dadurch sollen Muster identifiziert werden, wie sich diese Materialbestände über die Zeit entwickeln werden (Pauliuk et al., 2013). In einer ähnlichen Analyse prognostizieren Hu et al. (2010), basierend auf einer Materialflussanalyse, die Dynamik des ländlichen und urbanen Gebäudebestands in China zwischen 1900 und 2100. Darauf aufbauend wird das Modell erweitert zur spezifischen Untersuchung der Eisen- und Stahlnachfrage, sowie der Schrottverfügbarkeit aus dem chinesischen Gebäudesektor. Demgegenüber quantifizieren Chen und Graedel (2012) durch eine dynamische Materialflussanalyse die anthropogenen Aluminiumbestände und deren Flüsse in den USA zwischen 1900 und 2009. Dadurch soll erhoben werden, wie viel Aluminium in die U.S.-amerikanische Anthroposphäre eintrat, den Bestand verlassen oder durchlaufen hat und akkumuliert wurde.

Im Falle von spezifischen Materialien, wie einigen Metallen, wird angenommen, dass der anthropogene Materialbestand schon nahezu so groß ist, wie die bekannten natürlichen Vorkommen (Gordon et al., 2006; Kapur und Graedel, 2006; Krausmann

et al., 2009; Lederer et al., 2014a). Mögliche Gründe dafür können einerseits die langen Verweildauern im urbanen Bestand und andererseits die zunehmende Materialerschließung, infolge des wachsenden weltweiten Pro-Kopf-Konsums, darstellen (Brunner und Rechberger, 2004). Diese Material- und Güterakkumulation kann jedoch als eine potentielle Lagerstätte betrachtet werden (Brunner, 2011), zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen (Urban Mining).

Bei den genannten Studien (Chen und Graedel, 2012; Daxbeck et al., 1996; Gordon et al., 2006; Hue et al., 2010; Kapur und Graedel, 2006; Lederer et al., 2014a; Pauliuk et al., 2013) handelt es sich um allgemeine top-down Studien, die den anthropogenen Materialbestand auf einer nationalen Ebene, basierend auf länderspezifischen Input- und Output-Materialflussanalysen, darstellen (Graedel (2011). Dabei werden jedoch keine Details bezüglich der Beschaffenheit dieser Bestände dargelegt. Jedoch sind gerade solche Informationen entscheidend für die Quantifizierung und Abschätzung der potentiellen Nutzung urbaner Materiallager. In diesem Zusammenhang sind Fallstudien auf lokaler Ebene erforderlich, um ausgewählte Teile des anthropogenen Materialbestandes hinsichtlich ihres Sekundärressourcenpotentials zu analysieren. In weiterer Folge kann eine Aussage über das Ausmaß, die Rückgewinnbarkeit, die ökonomische Durchführbarkeit und räumliche Verteilung getroffen werden (Lederer et al., 2014b).

2.4.1 Bestimmung anthropogener Lager in Gebäuden und Infrastrukturen

Aus traditioneller Sicht lag das Hauptinteresse der Stadtplanung und Politik auf der Planung und Gestaltung neuer Gebäude und Infrastrukturen. In den letzten Jahrzehnten setzte aber eine entgegengesetzte Entwicklung ein, wobei sich das Interesse weg vom Wachstum, hin zur Bewirtschaftung bereits bestehender Strukturen verschob (Kohler et al., 2009). Dabei wird der Gebäudebestand als ein Forschungsprojekt betrachtet. In diesem Zusammenhang fanden diverse Arbeiten statt, wo im Vergleich zu traditionellen Ansätzen (Fokus auf Errichtungskosten), der gesamte vorhandene Bestand untersucht wurde. Obwohl verschiedene Ansätze zur Generierung von Informationen, bezüglich der Charakterisierung eines Materialbestandes und dessen Dynamik (Input und Output), existieren (Kohler und Hassler, 2002), ist die Materialzusammensetzung nicht genau bekannt (Kohler und Yang, 2007). Dieser Übergang von Neubautätigkeiten zu Sanierungs- und Renovierungsarbeiten, unterstreicht, dass eine Wissensbasis über den vorhandenen Gebäudebestand von hoher Wichtigkeit ist (Kohler und Hassler, 2002). Eine mögliche Methode zur Gebäudecharakterisierung und Datengenerierung zum Zwecke der vorhandenen Materialzusammensetzung wurde von Kleemann et al. (2014) angewendet. Dabei wurde auf Basis zugänglicher Baudokumente und Begehungen vor Ort der Materialbestand abgeschätzt. Durch Kombination dieser Informationen mit Angaben zu geplanten Abbruch- und Renovierungsaktivitäten kann die zukünftige, recyclingfähige Menge und Zusammensetzung von Abbruchmaterialien quantifiziert werden.

Neben bereits stattfindenden Untersuchungen des Gebäudeparks (Kleemann et al., 2014) werden auch teilweise die Materialbestände von Infrastrukturanlagen erhoben. Dabei sind laut Kohler und Hassler (2002) sichere Daten zur Anzahl der vorhandenen Strukturen, Ausmaß der Netzwerke und deren Zustand notwendig. Jedoch ist das verfügbare Wissen in der Praxis sehr heterogen. In diesem Kontext haben Tanikawa et al. (2002), gemäß des bottom-up Ansatzes eine Materialflussanalyse durchgeführt, um den verbauten Materialbestand im Bereich des Gebäudeparks und Straßenbaus in der japanischen Stadt Kitakyushu, zu

quantifizieren. Bei dieser Betrachtung wurden, mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS), die jeweiligen Standorte, Größe der Einrichtungen und jeweiliger Materialeinsatz analysiert. Des Weiteren erfolgte eine Abschätzung der zukünftigen Materialinputs und –outputs, durch die Einbeziehung des Errichtungsjahres und dem zukünftigen Sanierungszeitplan (siehe Kapitel 2.3.2 Dynamik von Materialinputs und Outputs). In einer ähnlichen Analyse von Tanikawa und Hashimoto (2009) wird der Materialbestand von Gebäuden, Straßen und Eisenbahnen in zwei Städten, Salford Quays (Großbritannien) und Wakayama City (Japan), durch die Anwendung einer 4d-GIS Datenbasis, abgeschätzt.

Im Bereich von Infrastruktureinrichtungen wurden von Lederer et al. (2010), entsprechend des bottom-up Ansatzes, eine Inventarisierung der immobilen U-Bahninfrastruktur und des Wagenmaterials für die Verlängerung der Wiener U-Bahn-Linie U2 durchgeführt. Dabei wurden anhand von Primärdaten des Herstellers bzw. Betreibers und Sekundärliteratur der materielle (Beton, Stahl, Kupfer, Aluminium), als auch der energetische Aufwand (Elektrizität, Treibstoffe, Fernwärme) zur Bereitstellung der Infrastruktur und des Betriebes dargelegt. In weiterer Folge wurde der Ökologische Fußabdruck für diesen U2-Abschnitt berechnet. In einer darauf aufbauenden Studie von Ott et al. (2012) wurde eine Materialflussanalyse für den Bereich der Wiener U-Bahn-Linie 2 für ausgewählte Prozesse des Baus, Betriebs und der Instandhaltung durchgeführt. Dadurch konnte ein kumulierter Materialaufwand, je nach eingesetzter Bauweise (Hochlage oder Tieflage), und ein kumulierter Energieaufwand quantifiziert werden. Im Vergleich dazu quantifizierten Krook et al. (2011) den urbanen Kupferbestand, akkumuliert in unterirdisch gelegenen Stromnetzen, in zwei schwedischen Städten. Dabei wurde der Kupferbestand durch die Multiplikation der Kabellänge, auf Basis vorhandener GIS-Daten des Betreibers, mit einer durchschnittlichen Kupferkonzentration, quantifiziert. Im Zuge einer ähnlichen Studie erhoben Wallsten et al. (2013), die Mengen verschiedener Metallbestände (Kupfer, Aluminium, Eisen) und deren räumliche Verteilung in den Infrastruktursystemen (Strom, Telekommunikation, Heizung) einer schwedischen Stadt. Es erfolgte eine Materialflussanalyse, entsprechend des statischen bottom-up Ansatzes. Dabei wurden die Daten (GIS, Karten, Statistiken, historische Unterlagen) zur Netzwerklänge mit den angenommenen Metallgehalten multipliziert. Die Ergebnisse wurden in einer GIS-Karte veranschaulicht. Die beschriebene Herangehensweise von Krook et al. (2011) für Stromkabel und von Wallsten et al. (2013b) für verschiedene Infrastruktursysteme, wurden auch von Tanikawa et al. (2002) für Straßennetzwerke gewählt. In diesem Kontext führten auch Lederer et al. (2014b) eine Fallstudie zur Prospektion und Erkundung der anthropogenen Ressourcenlagerstätten im Wiener U-Bahn-Netz durch. Nach einer Quantifizierung und Bewertung der Extrahierbarkeit im Bestand verbauter Materialien, erfolgte anschließend eine Ressourcenklassifikation. Der verwendete Ansatz beruht dabei ebenfalls auf der Multiplikation spezifischer Materialintensitäten mit einzelnen Abschnittslängen.

Diese Beispiele zeigen einen Schritt in Richtung der Untersuchung und Erkundung von Materialen in verschiedenen urbanen Infrastruktureinrichtungen, zur Bestimmung ihres jeweiligen anthropogenen Ressourcenpotentials. Bezüglich der U-Bahn-Einrichtungen ist, im Vergleich zu anderen Bereichen (z.B. Gebäude), noch relativ wenig über den vorhandenen Materialbestand und dessen Eigenschaften aus Sicht der Materialrückgewinnung (Größe, Qualität, Dynamik, Bewirtschaftung), vorhanden (Lederer et al., 2014b).

2.4.2 Dynamik von Materialinputs und Outputs

Auf Basis der in Kapitel 2.4.1 dargestellten Beispiele kann gezeigt werden, dass in urbanen Regionen eine umfangreiche Menge an Konstruktionsmaterial für die Errichtung und Erhaltung von Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen benötigt wird. Somit gelangen unterschiedliche Materialien in einen Bestand, bis ihre Lebensdauer erreicht ist, sie extrahiert werden und als Abfall das System wieder verlassen (Tanikawa und Hashimoto, 2009). Daraus ergibt sich gemäß Kohler und Hassler (2002) die Notwendigkeit eines Werteverständnisses für die Zusammensetzung und langfristige Dynamik des vorhandenen Materialbestandes. Darauf aufbauend kann eine Definition einer zukünftigen Vorgehensweise im Baubereich erfolgen. Die dabei notwendigen räumlichen und zeitlichen Informationen, zur Charakterisierung des urbanen Metabolismus (Tanikawa und Hashimoto, 2009), können nur durch eine multidisziplinäre, wissenschaftliche Forschung erzielt werden (Kohler und Hassler, 2002). In diesem Zusammenhang betonen Reck et al. (2008), dass die Analyse anthropogener Ressourcenzyklen neue Perspektiven hinsichtlich der Ressourcenverwendung, dem Recyclingpotential und auch der Umweltpolitik liefern kann. Zusätzlich ermöglicht eine Quantifizierung der Ressourcen- und Bestandsdynamik eine Evaluierung der zukünftigen Materialverfügbarkeit (z.B. Metalle) und kann das mögliche Potential für Urban Mining abschätzen (Chen und Graedel, 2012)

Im Bezug auf die Dynamik materieller Inputs und Outputs ist die Lebensdauer der einzelnen Komponenten von zentraler Bedeutung. Kohler und Yang (2007) präsentieren, bezüglich des langfristigen Managements des Gebäudebestandes, unterschiedliche Ansätze und Strategien zur Modellierung der vorhandenen Materialbestände. In diesem Zusammenhang haben Tanikawa et al. (2002) das durchschnittliche Alter des Gebäudeparks in der japanischen Stadt Kitakyushu analysiert. Dadurch konnte festgestellt werden welcher Anteil zukünftig einen nicht mehr funktionstüchtigen Bestand darstellen und somit ein neuer Materialfluss als Abfall entstehen wird. In einer Studie von Tanikawa und Hashimoto (2009) wurde der Verlauf von Abbruchtätigkeiten, mit Hilfe von GIS, in städtischen Gebieten analysiert. In weiterer Folge konnten die Output-Ströme von bestehenden Materialbeständen für die nahe Zukunft abgeschätzt werden.

Schmied und Mottschall (2013) betrachten die durch Bau, Instandhaltung und Betrieb der Schieneninfrastruktur, freigesetzten Treibhausgasemissionen in Deutschland. Im Zuge dessen wurden für einzelne Infrastrukturelemente Lebensdauern angenommen. Auch von Steger et al. (2011) und Fendrich (2007) werden Lebensdauerangaben für verschiedene Infrastrukturmaterialien im Bereich des Schienenverkehrs angegeben. Eine nähere Betrachtung und Vergleich mit Ergebnissen aus dem U-Bahn-Bereich erfolgt im Kapitel 5.3 Gegenüberstellung der Lebensdauern. Im Gegensatz zu Gebäuden und oberirdischen Verkehrsinfrastrukturen gibt Lederer et al. (2014b) einen Überblick über die in Wiener U-Bahnen verbauten Materialien, angenommene Lebensdauer und darauf aufbauend deren Sekundärrohstoffpotential.

2.5 Der Hibernating Stock

Der Hibernating Stock stellt jene Ressourcenmenge dar, die ursprünglich für einen technischen Zweck konsumiert wurde, aber jetzt nicht mehr verwendet wird oder nicht mehr die geforderten Leistungen erbringt (Lohm, 1998; Kapur und Graedel, 2006). Der Begriff umfasst dabei alle außer Betrieb genommenen Elemente in einem

Bestand, die weder gesammelt noch einer entsprechenden Verwertung in der Abfallwirtschaft zugeführt werden (Lohm, 1998). Beispiele für Hibernating Stocks inkludieren einerseits Elektroaltgeräte, wie Mobiltelefone, Küchengeräte und Computer, die dennoch z.B. auf privaten Dachböden oder in Kellern gelagert werden. Andererseits gehören auch nicht mehr in Gebrauch befindliche Infrastruktureinrichtungen, wie Stromnetze und Eisenbahnschienen, diesem Bestand an (Kapur und Graedel, 2006).

Solche „ruhenden" Bestände können einen spezifischen, materiellen und energetischen Wert aufweisen, was deren Rückgewinnung profitabel machen könnte. Allerdings verursacht diese Vorgehensweise Kosten für die Extraktion, den Transport und die Sammlung (Lohm, 1998). In diesem Zusammenhang beschreibt Lohm (1998), dass zwischen in Verwendung und nicht in Verwendung stehenden Gütern, ein erheblicher Wertewandel stattfindet. Von einem positiven Ausgangsnutzen des Produktes, reduziert sich der Wert so drastisch, dass der enthaltene Material- und Energiewert der obsolet gewordenen Güter und Materialien, nicht die Sammlungskosten abdecken kann. Auf Grund dessen wird dieses Gut höchstwahrscheinlich dort bleiben wo es sich gerade befindet (Wallsten et al., 2013b).

Identifizierte Hibernating Stocks können gemäß Krook (2011) ein wichtiges Rohstoffvorkommen für die Zukunft darstellen, durch die Entfernung der nicht mehr in Verwendung stehenden Materialien aus Gebäuden und Infrastruktursysteme. Als ein klassisches Beispiel für Hibernating Stocks führen Krook et al. (2011) unterirdisch verlegte Stromleitungen an. Dies trifft vor allem dann zu, wenn nicht mehr funktionstüchtige Einrichtungen durch neue Leitungen ersetzt werden. In diesem Fall muss das zu extrahierende Kabel so lange in Betrieb bleiben, bis die neu eingebaute Leitung mit dem Stromnetz verbunden wird. Durch diese Vorgehensweise kann eine kontinuierliche Stromversorgung und minimale Störung während der Wartungsarbeiten gewährleistet werden. Jedoch erfolgen Sanierungsarbeiten, auf Grund des hohen Kostendruckes der offenen Schächte im städtischen Bereich, immer in einzelnen Schritten, wobei ein Teil des Netzes freigelegt, gewartet und wieder verschüttet wird. Das bedeutet, wenn die Reparaturarbeiten abgeschlossen sind und das ältere, nicht mehr in Verwendung stehende Kabel vom Stromnetz getrennt wird, weist dieses nur mehr eine unzureichende Zugänglichkeit, durch die erneute unterirdische Situierung, auf. Somit ist es nicht möglich, das abgetrennte Kabel, anhand von konventionellen Methoden, zu extrahieren (Krook et al., 2011; Wallsten et al., 2013a).

Als potenzielle Sekundärrohstoffquellen können neben Stromnetzwerken, auch folgende Bereiche herangezogen werden: veraltete Heizungs- und Wasserversorgungssysteme, Transportnetzwerke, baufällige Gebäude und aufgelassene militärische Strukturen (Krook et al., 2011). Auch wenn die Quantitäten dieser Materialbestände nicht umfangreich sind, sind sie jedoch meist zugänglich. Dadurch können diese Bestände rasch in den Recyclingstrom integriert werden, wenn den BesitzerInnen ausreichende Anreize dafür gegeben werden (Kapur und Graedel, 2006). Die UNEP (2010) ordnet solchen Materialbeständen, aus der Perspektive des Urban Mining, ein wesentliches Interesse zu, auf Grund der Tatsache, dass diese Produkte und Materialien nicht in Verwendung stehen und grundsätzlich für Recyclingprozesse verfügbar sind. Jedoch bedeutet eine potenzielle Rezyklierbarkeit noch nicht, dass es aus ökonomischer Sicht durchführbar ist.

In diesem Kontext wurden von Krook et al. (2011) der Kupferbestand in lokalen Stromnetzen in zwei schwedischen Städten quantifiziert. Dabei wurde unterschieden zwischen dem Kupferbestand, der noch in Verwendung steht und jenem, der nicht mehr in Betrieb ist. Zusätzlich wurden die Kosten für eine potentielle Extraktion der identifizierten Hibernating Stocks bewertet. Die Kupferbestände wurden anhand von GIS-Daten zu den jeweiligen Kabellängen und der durchschnittlichen Kupferkonzentration abgeschätzt. Im Vergleich dazu analysierten Wallsten et al. (2013b) die in Verwendung stehenden und außer Betrieb befindlichen Bestände an Aluminium, Kupfer und Eisen in mehreren Infrastrukturnetzwerken einer schwedischen Stadt. Für diese Vorgehensweise wurden verschiedene Daten (GIS, Netzkarten, Statistiken) von Netzwerkbetreibern und historische Quellen zur verlegten Kabellänge herangezogen. Darauf aufbauend wurden die angenommenen Längen mit der jeweiligen Metallkonzentration multipliziert.

In einer weiteren Analyse von Hibernating Stocks beschreibt Wallsten et al. (2013a) die sogenannte Hibernation-Logik, welche sich aus zwei aufeinander folgenden menschlichen Handlungen zusammensetzt. Zuerst werden die Infrastrukturkomponenten getrennt und anschließend in ihren unterirdischen Standorten zurück gelassen. In diesem Zusammenhang ergeben sich drei unterschiedliche räumliche Muster, warum Teile eines Infrastruktursystems außer Betrieb genommen werden:

- **Infrastructure coma**: Eine Bewusstlosigkeit tritt auf, wenn ein Infrastruktursystem in seiner Gesamtheit außer Betrieb genommen wird, z.B. beim Wechsel von Gleichstrom auf Wechselstrom. Die Rückgewinnung dieser Materialien ist laut Graedel (2011) theoretisch möglich, aber wegen oft schwierig zugänglicher Standorte oder subökonomischer Verhältnisse, unwahrscheinlich.

- **Infrastructure paralysis**: Die Trennung von Infrastrukturzonen, wie ehemalige Industriegebiete, Umwandlung von Industriestandorten in Wohngebiete, Systemexpansion in Gebiete, die schon ein konkurrierendes System für denselben Zweck haben, kann zu einer Lähmung führen.

- **Dormant cells:** Ruhende Bereiche sind das Ergebnis von Fehlern, Ausfällen oder wenn Bestandteile ihre Lebensdauer überschritten haben. Diese Kategorie wird wesentlich durch die lokalen Umweltbedingungen (Feuchtigkeit, Bewegungen des Untergrundes, Temperaturveränderungen, Wassereintritt, Verkehrsbedingungen), Zeitstress, geringe Achtsamkeit beim Einbau/Ausbau/Reparatur, Kostendruck (billige, leichte Komponenten anstelle hochqualitativer Materialien mit längerer Lebensdauer) und geringer Anreiz für sorgfältige Dokumentation, beeinflusst.

Im Zuge dieser Arbeit werden auf Basis von zwei Fallbeispielen existierende Hibernating Stocks entlang des ausgewählten U-Bahn-Abschnittes und deren Entstehungsgründe identifiziert. Darauf aufbauend erfolgen eine Klassifizierung und ein anschließender Vergleich mit den beschriebenen Klassifikationsmustern (siehe Kapitel 5.4.2 Klassifikation des Hibernating Stock).

3. Material und Methode

Im nachfolgenden Kapitel erfolgen neben einer Systemabgrenzung, hinsichtlich der ausgewählten Fallstudie, ein Überblick über die verwendeten Materialien und eingesetzten Methoden, zur Beantwortung der vorgestellten Forschungsfrage.

3.1 Systemabgrenzung

Im Rahmen dieser Arbeit wird als Fallstudie ein Wiener U-Bahn-Streckenabschnitt der Linie U1 berücksichtigt. Dieser eignet sich für eine Betrachtung, weil dieser Teil der U1-Stammstrecke (Schwedenplatz-Reumannplatz) in den vergangenen Jahren saniert wurde. Bereits 2002 wurden z.B. im Bereich der Stationen- und Streckenelektrifizierung Erneuerungen durchgeführt, jedoch fand der Hauptteil der Renovierungsarbeiten im Sommer 2012 statt. Auf Grund dessen wird eine ausreichende Datengrundlage erwartet.

Während sich die gesamt eingebaute Materialmenge in einem U-Bahn-Abschnitt grundsätzlich zu jeder Zeit erheben lässt (siehe Frage 1 Kapitel 1.2 Ziel und Fragestellung), kann im Rahmen von Sanierungen die dabei ein- und ausgebauten Materialmengen und das Alter der ausgetauschten Bauteile (siehe Frage 2) bestimmt werden. Außerdem kann durch eine Sanierung auch festgestellt werden, welche Bauteile und die darin enthaltenen Materialien zwar nicht mehr genutzt, jedoch nicht ausgebaut werden (Hibernating Stock; siehe Frage 3). Mit Hilfe von Interviews können auch die Gründe dafür ermittelt werden (siehe Frage 4).

Im Zuge der Untersuchung der U1-Stammstrecke wird die bereits abgeschlossene Sanierung aus dem Jahr 2012 als zusätzliche Informationsquelle herangezogen. Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt den von der Renovierung betroffenen U1-Abschnitt.

Abbildung 4: Abschnitt der U1-Modernisierung zwischen Reumannplatz und Schwedenplatz (Wiener Linien, 2012)

3.2 Datenbeschaffung

In der vorliegenden Arbeit wird eine Kombination aus mehreren Methoden angestrebt, um einen umfassenden Einblick in die Thematik bekommen und eine adäquate Lösung für die beschriebene Problemstellung liefern zu können. Die notwendigen Daten wurden in einem schrittweisen Ansatz erhoben:

1. Sammlung themenrelevanter Informationen und Daten aus öffentlich zugänglichen Quellen
2. Abhaltung mehrerer ExpertInneninterviews und Sichtung interner Dokumente der Wiener Linien
3. Durchführung eigener Begehungen und selektiver Beprobungen vor Ort

Der zentrale Grund für diese schrittweise Vorgehensweise ist, dass sich die Datenlage in den jeweiligen Schritten, während der Erhebungen, als unzureichend heraus gestellt hat. Dies machte es jeweils notwendig den nächsten, tiefer ins Detail gehenden Schritt zu machen. Im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Bestandteile der dargelegten Vorgehensweise kurz vorgestellt.

3.2.1 Literaturrecherche

Im Zuge der Literaturrecherche wird bereits vorhandene spezifische und allgemeine Literatur herangezogen. Spezifische Angaben beziehen sich auf das Wiener U-Bahn Netz oder die Linie U1 und umfassen dabei historischen Quellen über den Bau des Wiener U-Bahn-Netzwerkes (Hödl, 2006, 2009; Hinkel, 1985, 1989, 2004; Foltin, 1989; Marincig, 1989), sowie auch projektspezifische Literatur, die sich bereits mit ähnlichen Problemstellungen befasst hat (Lederer et al., 2010, 2014b; Ott et al., 2012; Machowetz, 2014). Zum Zwecke einer vergleichenden Gegenüberstellung werden zusätzlich noch Literaturangaben aus den Bereichen der allgemeinen Eisenbahn- und U-Bahn-Konstruktion, mit einem Fokus auf die jeweils verwendeten Materialien und deren angenommenen Lebensdauern, verwendet (Schmied und Mottschall, 2013; Steger et al., 2011; Fendrich, 2007).

3.2.2 Interne Unterlagen Wiener Linien

Als weitere Informationsquelle dienen Unterlagen die von Seiten des Infrastrukturbetreibers Wiener Linien zur Verfügung gestellt werden. Dabei handelt es sich um Pläne, Ausschreibungen, Leistungsverzeichnisse, Massenermittlungen, und sonstige Dokumente. In diesem Zusammenhang wurden Begehungen vor Ort und Gespräche mit beteiligten Personen (z.B. ProjektleiterInnen, MitarbeiterInnen und Stationsverantwortliche Personen) durchgeführt.

3.2.3 ExpertInneninterviews

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mehrere mündliche Leitfaden-gestützte, halbstrukturierte ExpertInneninterviews (Atteslander, 2010) mit Kontaktpersonen von den Wiener Linien durchgeführt. Ziel ist es dabei, zusätzlich zu den, durch die Literaturrecherche und Datensammlung, generierten Daten, weitere Informationen zur Beantwortung der genannten Fragestellungen zu erlangen. Die erstellten Interviewleitfäden setzen sich aus mehreren thematischen Feldern mit jeweils offen formulierten Leit-, Zusatz- und Eventualfragen zusammen (Froschauer und Lueger, 2003). Die Formulierung dieser Leitfragen orientiert sich an der gestellten Forschungsfrage und dem vorhandenem Datenmaterial. Für jedes Interview wurde ein neuer Leitfaden erstellt, um gewonnene Aussagen aus vorangegangenen

Gesprächen bei Bedarf in nachfolgende Interviews einfließen lassen zu können oder gegebenenfalls zu vertiefen.

Die Ergebnisse der Befragungen basieren ausschließlich auf diesen Aussagen. Die Protokolle aller verwendeten Besprechungen sind im Anhang einsehbar. Alle abgehaltenen Interviews wurden mit Kontaktpersonen von Wiener Linien und Herstellerfirmen durchgeführt. InterviewpartnerInnen waren u.a. Projektleiter, Zivilingenieure, zuständige Personen für Haustechnik und Stationsverantwortliche Personen. Die Gespräche wurden von der Autorin persönlich, in einem einmaligen oder teilweise mehrmaligen Treffen durchgeführt und in einem Protokoll dokumentiert. Auf eine wortwörtliche Niederschrift der Gesprächsinhalte wurde verzichtet, um eine angenehme Gesprächsatmosphäre zu generieren und eine zurückhaltende oder distanzierte Haltung der befragten Personen vermeiden zu können. In weiterer Folge wurden zentrale Aussagen in einem Protokoll niedergeschrieben, wobei der Inhalt in den Vordergrund gestellt wird.

Im Rahmen der Durchführung der ersten Interviews im Juli 2014 wurden vor allem Fragen bezüglich der geplanten oder bereits durchgeführten Renovierungsarbeiten, wie diese Arbeiten ablaufen, welche Anlagenteile betroffen sind und welche Zuständigkeitsbereiche die einzelnen Personen innehaben, gestellt. Somit war es möglich einen ersten Überblick über die Umbau- und Sanierungstätigkeiten zu bekommen und die einzelnen Kontaktpersonen kennenzulernen. Darauf aufbauend kam es bei den nachfolgenden Interviews, zwischen September 2014 und Februar 2015 zu einer inhaltlichen Verschiebung der Fragestellungen. Es wurde primär nach den jeweils enthaltenen Materialmengen im Gebäudebestand, den pro Erneuerungszyklus ein- und ausgebauten Materialien und über das Vorhandensein ungenutzter Materiallager im Bestand (Hibernating Stocks) gefragt. Des Weiteren wurden mögliche Gründe und herrschende Rahmenbedingungen thematisiert, wodurch eine Entwicklung von Hibernating Stocks ermöglicht und unterstützt wird.

3.2.4 Begehungen

Zusätzlich zu den Gesprächen wurden mehrere Begehungen vor Ort durchgeführt. Im Rahmen dieser Begehungen wurden fotografische Aufnahmen von den jeweils erneuerten bzw. ein- oder ausgebauten Anlagenteilen erstellt, um eine bildliche Dokumentation der Umbau- und Sanierungsarbeiten zu ermöglichen. Diese Vorgehensweise wurde auch dazu genutzt, um mit zuständigen Personen oder ProjektleiterInnen Gespräche zu führen und somit einen Informationsaustausch zu ermöglichen.

3.3 Ermittlung des Materialbestandes und der Materialflüsse während Sanierungstätigkeiten

Im Rahmen der Fallstudie U1-Stammstrecke wurden verschiedene Fachbereiche der Wiener Linien identifiziert, die am Bau und/oder Sanierung des U1-Abschnittes involviert waren. Nachfolgende Bereiche wurden hinsichtlich der Datenerhebung mit einbezogen:

- Konstruktive Bauelemente
- Gleisbau
- Innenausbau der Stationen
- Fördertechnik
- Niederspannungsanlagen
- Mittelspannungsanlagen

- Signal- und Nachrichtentechnik
- Traktionsschaltanlagen
- Stromschiene und Traktionskabel
- Brandrauchentlüftung
- Stationslüftung
- Trockenlöschleitungen

In weiterer Folge werden die jeweils verbauten Infrastrukturelemente, Materialien und Mengen, welche vor der Sanierung im U-Bahn-Bestand vorhanden waren, erhoben. Zusätzlich werden, auf Basis der zuvor genannten Datenquellen, die materiellen Inputs und Outputs für jene Bereiche abgeschätzt, die von der Sanierung im Jahr 2012 betroffen waren. Durch diese Vorgehensweise kann einerseits der Materialbestand an sich identifiziert werden. Andererseits werden somit die Veränderungen, hervorgerufen durch die ausgebauten bzw. eingebauten Materialien während der Sanierungstätigkeiten, erhoben (Tanikawa et al., 2002).

Außerdem kann durch die Miteinbeziehung der Lebensdauern von einzelnen Infrastrukturelementen und Materialien das potenzielle, zukünftige Aufkommen von Sekundärressourcen projiziert werden (Tanikawa et al., 2002; Lederer et al., 2014b). In diesem Zusammenhang werden Angaben zu Lebensdauern für die jeweiligen U-Bahn-Infrastrukturelemente und Materialien, aus der Literatur entnommen (Ott et al., 2012; Schmied und Mottschall, 2013; Steger et al., 2011). Zusätzlich zu diesen theoretischen Angaben wird anhand der vorherrschenden Sanierungspraxis und den Aussagen der MitarbeiterInnen bei Wiener Linien, die praktische Lebensdauer der jeweiligen Bestandteile identifiziert. Dabei werden mögliche Gründe für eine Abweichung zwischen beiden diskutiert.

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse, resultierend aus den bereitgestellten, internen Unterlagen der Wiener Linien und Interviews mit MitarbeiterInnen, dargestellt. Dabei erfolgt eine Untergliederung. Zuerst werden die Materialbestände, die im betrachteten U-Bahn-Abschnitt verbaut sind bzw. vor der Sanierung enthalten waren, dargestellt. In weiterer Folge können die Inputs und Outputs der stattgefundenen Sanierungsarbeiten abgeschätzt werden. Des Weiteren werden aus den erhobenen Daten die praktischen Lebensdauern der einzelnen Infrastrukturelemente angegeben. Abschließend erfolgt eine Darstellung von identifizierten Hibernating Stocks. Darauf aufbauend werden auch die Entstehungsgründe für diese ungenutzten Materialbestände, die vonseiten der MitarbeiterInnen von Wiener Linien angegeben werden, dargestellt.

4.1 Beschreibung der Fallstudie

Die Fallstudie bezieht sich auf die Wiener U-Bahn Linie 1. Der erste Abschnitt dieser Linie, zwischen den Stationen Reumannplatz und Kagran, war Bestandteil der 1. Ausbauphase des U-Bahn-Netzes. Dieser erfolgte zwischen 1969 und 1982 und umfasst eine Länge von 11.009 m (Hinkel et al., 2004). Der zweite Abschnitt zwischen den Stationen Kagran und Leopoldau (4.644 m) wurde in den Jahren von 2002 bis 2006 errichtet. Der dritte Abschnitt, ausgehend von der Station Reumannplatz bis zur Haltestelle Oberlaa umfasst 4.700 m. Die Bauarbeiten dazu begannen 2010 und werden voraussichtlich bis 2017 fertiggestellt sein. Daraus ergibt sich eine Gesamtlänge der U1-Linie von etwa 19.440 m (Hödl, 2009). In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die einzelnen Bauabschnitte der U1-Linie, deren Länge, Baulage und Bauweise aufgelistet.

Tabelle 1 :Bauabschnitte der U1-Linie, jeweilige Länge, Baulage und Bauweise (Quellen: 1) Hinkel, 1985; 2) Hödl, 2009; Hödl, 2006)

Bau-abschnitt	Bauphase	Länge [m]	Baulage	Bauweise (BW)	Quelle
U1/1-4	2	4.644	hoch/tief	offene BW/Stahlbeton	2)
U1/A	1	1.236	tief	offene BW	1)
U1/B	1	1.080	tief	geschlossene BW	1)
U1/C	1	540	tief	offene BW	1)
U1/D	1	1.465	tief	geschlossene BW	1)
U1/E	1	1.450	tief	geschlossene BW	1)
U1/F	1	1.088	tief	offene BW	1)
U1/G	1	628	tief	offene BW	1)
U1/H	1	865	Brücke	Stahlbeton	1)
U1/J	1	1.112	hoch	Stahlbeton	1)
U1/K	1	1.400	hoch	Stahlbeton	1)
U1/L	1	145	hoch	Stahlbeton	1)
U1/5-10	3	4.600	hoch/tief	offene BW/Stahlbeton	2)
Gesamt U1	**1-2**	**15.653**			

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Abschnitt der U1-Stammstrecke, welcher in Tabelle 1 rötlich hinterlegt ist. Dieser Streckenteil wird durchgehend in Tieflage geführt und weist eine Gesamtlänge von ungefähr **4.960 m** auf. Dieser Bereich umfasst die Stationen Reumannplatz (RP), Keplerplatz (KE), Südtiroler Platz (SL),

Taubstummengasse (TA), Karlsplatz (KP), Stephansplatz (SZ) und Schwedenplatz (SP).

4.2 Materiallager in U-Bahnen: Fallstudie: U1-Stammstrecke

Für die U1-Stammstrecke werden Daten und Unterlagen zu den einzelnen Bereichen separat erfasst. In Tabelle 2 erfolgt eine grobe Übersicht über die betrachteten Abschnitte, deren jeweiligen Infrastrukturelemente und hauptsächlich verbaute Materialien. Dabei ist zu erwähnen, dass andere Materialien (z.B. Glas, Kunststoff), in dieser Arbeit zwar teilweise erhoben werden, jedoch zur Beantwortung der Forschungsfrage nicht berücksichtigt werden. Dies liegt daran, dass diese Stoffe im Bestand nur in marginalen Mengen vorliegen und keinen ausreichenden ökonomischen Wert als Sekundärrohstoffe aufweisen (Lederer et al., 2014).

Tabelle 2: Betrachtete Bereiche, Elemente und verbaute Materialien der U1-Stammstrecke

Bereiche	Elemente	Materialien
Konstruktive Bauelemente	Tunnel	Stahl, Beton
Gleisbau	Schienen	Stahl
Innenausbau der Stationen	Verkleidungen, Ausstattung	Stahl, Glas, Aluminium, Naturstein
Fördertechnik	Aufzüge, Fahrtreppen	Stahl, Aluminium
Niederspannungsanlagen	Kabel	Kupfer, Aluminium
Mittelspannungsanlagen	Kabel	Kupfer, Aluminium
Signal- und Nachrichtentechnik	Kabel	Kupfer, Aluminium
Traktion	Stromschiene, Schaltanlagen	Kupfer, Aluminium, Eisen
Brandrauchentlüftung	Lüftungskanäle, Ventilatoren	Stahl, Eisen
Stationslüftungen	Lüftungskanäle, Ventilatoren	Stahl, Eisen
Trockenlöschleitungen	Leitungen	Eisen

Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass sich eine U-Bahn-Linie aus vielen verschiedenen Komponenten zusammensetzt. Neben den konstruktiven Bauelementen im Bereich des Tiefbaus und der Elektrifizierung der Strecke, besitzen auch Sicherheitseinrichtungen wie Signal- und Nachrichtentechnik, Brandrauchentlüftung oder Trockenlöschleitungen eine hohe Wichtigkeit. Hinsichtlich der eingesetzten Materialien kann gezeigt werden, dass überwiegend Beton, Stahl und Eisen, Kupfer und Aluminium im Bestand enthalten sind. Während Stahl und Beton überwiegend im Bereich Tiefbau eingesetzt werden, befinden sich die Haupteinsatzgebiete von Kupfer und Aluminium vor allem im Bereich der Elektrifizierung, Signal- und Nachrichtentechnik oder auch im Innenausbau der Stationen.

Auf Grund des teilweise hohen Alters der U-Bahn-Einrichtungen (Baubeginn 1969) und des kontinuierlichen Anwachsens des Bestandes ist es nicht für alle Komponenten möglich Daten, bezüglich des ursprünglichen Materialbestandes (vor der Sanierung), zu erheben. Dies trifft vor allem auf die Bereiche Gleisbau, Signal- und Nachrichtentechnik, Trockenlöschleitungen, Traktionsschaltanlagen, Stromschienen und Traktionskabel zu. Jedoch kam es im Zuge der Sanierung im Jahr 2012 in diesen Abschnitten zu einer vollkommenen Erneuerung des Bestandes. Dabei wurde der gesamte ursprüngliche Bestand entfernt und neu eingebaut (1:1 Austausch). Auf Grund der gleichen Wirkung und der notwendigen Erhaltung derselben Funktion kann diesbezüglich die Annahme getroffen werden, dass der Abtrag dem Bestand entsprach und dieser wieder vollständig eingebaut wurde.

Nähere Angaben zu den sanierten Bereichen werden im Kapitel 4.3 dargestellt. Nachfolgend werden detailliertere Angaben zu den (ursprünglichen) Beständen innerhalb der einzelnen Bereiche gemacht.

4.2.1 Konstruktive Bauelemente

Der U1-Streckenabschnitt zwischen Reumannplatz und Schwedenplatz hat insgesamt eine Länge von etwa 4.960 m und befindet sich ausschließlich in Tieflage. Beim Bau der Tunnel kamen zwei verschiedene Methoden zum Einsatz, die Deckelbauweise und Schildbauweise. Die Art und Quantität der eingesetzten Materialien in der U-Bahn-Konstruktion hängt wesentlich von der eingesetzten Konstruktionsmethode ab (Lederer et al., 2014b). In der folgenden Tabelle 3 sind die jeweiligen Materialintensitäten und gesamten Materialmengen je nach Bauweise dargestellt.

Tabelle 3: Materialintensität der U1-Stammstrecke je eingesetzter Baumethode (modifiziert nach Lederer et al., 2014b) Quellen zur Materialintensität: 1) Ott et al., 2012; 2) Hödl, 2006; 3) Hödl, 2008; 4) Hinkel, 1985

Material	Bauweise	Abschnitts-länge [m]	Material-intensität [t/m]	Material-menge total [t]	Literatur-quelle
Beton	Deckelbauweise	2.085	241	502.500	2)
Stahl	Deckelbauweise	2.085	6	12.500	2)
	Baustahl Stationen Unterirdisch	4.960	0,1	500	1)
	Verkleidungsstahl Stationen Unterirdisch	4.960	0,2	1.000	1)
	Schildbauweise Stahltübbinge (Tunnelbohrmaschine TBM)	2.875	34	97.800	4)
	Spundwände Deckelbauweise	2.085	4	8.300	3)

Tabelle 3 zeigt, dass rund 2.085 m der U1-Stammstrecke in Deckelbauweise und 2.875 m in Schildbauweise errichtet wurden. Die Menge an Stahl in den verschiedenen Strukturelementen zeigt Variationen zwischen diesen beiden Konstruktionsmethoden. Während bei der Deckelbauweise nur etwa 6 t Stahl/m verbaut werden, weist die Schildbauweise eine höhere Materialintensität von etwa 34 t Stahl/m auf. In weiterer Folge kann in der nächsten Tabelle 4 die gesamte eingesetzte Beton- und Stahlmenge für den Bereich der U1-Stammstrecke zusammengefasst werden.

Tabelle 4: Gesamte Beton- und Stahlmenge der Konstruktiven Bauelemente für die U1-Stammstrecke (nach Lederer et al., 2014b)

Material	Materialmenge [t]
Beton	503.000
Stahl	120.000
Gesamt	**623.000**
Materialintensität [t/m]	**126**

Tabelle 4 zeigt, dass auf dem U1-Streckenabschnitt, hinsichtlich der eingesetzten Baumethoden, insgesamt etwa 623.000 t an Beton und Stahl verbaut sind. Das ergibt einen durchschnittlichen Materialeinsatz von 126 t/m. Der überwiegende Anteil,

etwa 80 % der konstruktiven Bauelemente, bezieht sich auf Beton. Stahl macht mit knapp 120.000 t ungefähr 20 % dieses Bestandes aus.

4.2.2 Gleisbau

Im Bereich Gleisbau werden neben den verlegten Schienen aus Stahl, auch die Betonschwellen betrachtet. In der nachfolgenden Tabelle 5 werden die Materialintensitäten (t/m) und Materialmengen (t) der jeweiligen Elemente dargestellt. Dabei wird für alle Angaben die gesamte Abschnittslänge der U1-Stammstrecke verwendet (4.960 m).

Tabelle 5: Materialintensitäten und Materialmengen im Bereich Gleisbau (modifiziert nach Lederer et al., 2014b) Quellen zur Materialintensität: 1) Ott et al., 2012; 2) Lederer et al., 2014b zit. nach Strabag, s.a.; 3) Hödl, 2006; 4) Lederer et al., 2014b zit. nach Voestalpine, 2013; 5) Schmied und Mottschall, 2013

Material	Element	Material-intensität [t/m]	Material-menge total [t]	Literaturquelle
Beton	Schwellen	0,96	4.700	1),5)
Stahl	Schienen	0,38	1.900	2),3),4)

Tabelle 5 zeigt, dass hinsichtlich des Einsatzes von Betonschwellen eine Materialintensität von 0,96 t/m angenommen werden kann. Für den betrachteten Abschnitt ergibt sich daraus eine verbaute Betonmenge von etwa 4.700 t. Im Vergleich dazu weist Stahl eine Materialintensität von 0,38 t/m auf. Somit ergibt sich im Bereich der Schienen eine gesamte Stahleinsatzmenge von ungefähr 1.900 t.

4.2.3 Innenausbau der Stationen

Die U-Bahn-Stationen in Tieflage werden in Stahlbeton ausgeführt, während die Tragkonstruktionen und Aufgangsüberdachungen aus Stahl gefertigt werden. Für Angaben hinsichtlich des eingesetzten Bau- und Verkleidungsstahles in unterirdischen Stationen siehe Tabelle 2. Der nicht tragende Innenausbau der Stationen erfolgt mittels Leichtbaukonstruktionen (Ott et al., 2012). Im öffentlich zugänglichen Bereich werden entweder Wandverkleidungen aus beschichteten Aluminium- bzw. Pressphenolplatten (Widl, 2015), oder Glaspaneele eingesetzt. Des Weiteren werden Fußböden aus Naturstein, sowie Deckenverkleidungen aus Aluminiumpaneele verwendet (Ott et al., 2012). In der nachfolgenden Tabelle 6 erfolgt eine mengenmäßige Aufschlüsselung der durchschnittlich verbauten Materialien pro Station. Dabei werden die Hauptkomponenten Glas, Naturstein und Aluminium differenziert.

Tabelle 6: Innenausbau der Stationen in Tieflage (nach Ott et al., 2012)

Tieflage	Glas [t]	Naturstein [t]	Aluminium [t]
Pro Station	130	360	15
Gesamt	900	2.500	100

Tabelle 6 stellt dar, dass pro Station in Tieflage eine durchschnittliche Menge von 130 t Glas, 360 t Naturstein und 15 t Aluminium eingesetzt wird. Die Summe aller Stationen ergibt sich durch die Multiplikation der einzelnen Werte pro Station mit der Anzahl der Haltestellen entlang der U1-Stammstrecke. In weiterer Folge ist in den sieben Stationen insgesamt eine Menge von etwa 900 t Glas, 2.500 t Naturstein und 100 t Aluminium verbaut.

4.2.4 Fördertechnik

Die Fördertechnik in Tiefstationen setzt sich aus Aufzügen und Fahrtreppen zusammen. In den zwei folgenden Tabellen wird zuerst eine Übersicht über die Anzahl der installierten Aufzüge und deren räumliche Zuteilung dargestellt. Anschließend erfolgt eine Material- und Mengenabschätzung eines standardisierten Aufzuges.

Tabelle 7: Anzahl der Aufzüge in U1-Stationen der Stammstrecke (nach Ehn, 2014)

U1-Station	Anzahl Aufzüge
Reumannplatz	1
Keplerplatz	1
Südtiroler Platz	3
Taubstummengasse	1
Karlsplatz	3
Stephansplatz	4
Schwedenplatz	3
Gesamt	**16**

Tabelle 7 zeigt, dass entlang der U1-Stammstrecke insgesamt 16 Aufzüge installiert sind. Dabei ist zu erkennen, dass vor allem bei größeren Verkehrsknotenpunkten, wo zwei oder mehr U-Bahn-Linien aufeinander treffen (z.B. Karlsplatz, Stephansplatz, Schwedenplatz), auch mehr Aufzüge im Einsatz sind.

Hinsichtlich der nachfolgenden Abschätzung der verbauten Materialien und Mengen pro Aufzug müssen zur Vereinheitlichung zwei Annahmen getroffen wurden. Für alle Aufzüge wird neben einer einheitlichen Förderhöhe von 10 m auch eine idente Traglast von 1.600 kg angenommen (Ehn, 2014).

Tabelle 8: Material- und Mengenabschätzung pro Aufzug (nach Ehn, 2014)

Bauteil	Gesamtmasse [t]	Stahl [t]	Glas [t]
Kabine + Rahmen	0,3		0,3
	2,5	2,5	
Gegengewicht	3,6	3,6	
Schienen	0,9	0,9	
Schienenbefestigungen	0,2	0,2	
Tragseile	0,2	0,2	
Motor und Getriebe	1,0		
3 Schachttüren	0,1		0,1
	0,7	0,7	
Steuerung und Verkabelung	0,3		
Schachtgrubenausrüstung	0,1	0,1	
Gesamt pro Aufzug	**10**	**8,2**	**0,4**
Gesamt alle Aufzüge	**160**	**130**	**6**

Tabelle 8 zeigt, dass pro Aufzug ein Materialaufwand von etwa 10 t notwendig ist, wobei 8,2 t Stahl und 0,4 t Glas eingesetzt werden. Daraus ergibt sich für die insgesamt 16 verbauten Aufzüge in den Stationen der U1-Stammstrecke eine Masse von ungefähr 160 t. Hinsichtlich der eingesetzten Materialien überwiegt der Anteil an Stahl (130 t), gefolgt von Glas für die Aufzugskabinen (6 t). Nur ein massenmäßig

geringer Anteil bezieht sich auf die Steuerung, Verkabelung, Getriebe und Motor. Im Gegensatz dazu geben die nächsten zwei Tabellen die Anzahl der eingebauten Fahrtreppen und deren Material- und Mengenabschätzung wider.

Tabelle 9: Anzahl der Fahrtreppen in U1-Stationen (nach Ehn, 2014)

U1-Station	Anzahl Fahrtreppen
Reumannplatz	4
Keplerplatz	3
Südtiroler Platz	13
Taubstummengasse	4
Karlsplatz	25
Stephansplatz	15
Schwedenplatz	16
Gesamt	**80**

Aus Tabelle 9 ist zu erkennen, dass insgesamt 80 Fahrtreppen auf dem betrachteten U1-Abschnitt verbaut sind, wobei die überwiegende Anzahl in den U-Bahn-Knotenpunkten Karlsplatz, Stephansplatz und Schwedenplatz installiert sind.

Tabelle 10: Massenabschätzung Fahrtreppen für eine gesamte Hubhöhe von 627 m (nach Ott, 2012)

Komponenten	Masse pro Hubhöhe [kg/m]	Gesamtmasse [t]
Stahl	1.100	690
Aluminium	330	210
Kupfer	14	9
Glas	210	130
Elektronische Bestandteile	4	3
Elektrotechnische Bestandteile	2	1
sonstige Bestandteile	60	40
Gesamt	**1.650**	**1.080**

In Bezug auf Tabelle 10 erfolgte die Berechnung der Massen über die Hubhöhe, die im gesamten Abschnitt zwischen Reumannplatz und Schwedenplatz etwa 627 m beträgt. Daraus ergibt sich eine Gesamtmasse für alle 80 Fahrtreppen von circa 1.080 t. Die mengenmäßig bedeutendsten Materialien sind dabei Stahl (690 t) und Aluminium (210 t). Der Stahl wird vor allem im Bereich des Gerüstes und der Trägerkonstruktion eingesetzt, während die Stufen und Verkleidungen der Fahrtreppen hauptsächlich aus Aluminium bestehen (Ehn, 2014).

4.2.5 Niederspannungsanlagen

Im Bereich der U-Bahn-Infrastruktur fungieren Niederspannungsanlagen (NSP) als Betriebsmittel zur Verteilung von elektrischer Energie zu Endverbrauchern. Dieser Strom kann zur Verrichtung von mechanischer Arbeit (Fahrtreppen und Aufzüge), sowie zur Wärme- und Lichterzeugung eingesetzt werden. Hierzu werden alle NSP-Anlagen von Mittelspannungsanlagen gespeist. Die darin eingesetzten Kabel weisen unterschiedliche Durchmesser auf und bestehen hauptsächlich aus Kupfer (Leutgeb, 2015). In der nachfolgenden Tabelle 11 erfolgt eine Darstellung der Kupfermenge in den Kabelinstallationen des Niederspannungsbereichs.

Tabelle 11: Massenabschätzung der Leitungen im Niederspannungsbereich (nach Ott et al., 2012)

Komponente	Material	Masse [t]
Kabel der Niederspannungsanlagen	Kupfer	270

Tabelle 11 zeigt, dass entlang der U1-Stammstrecke etwa 270 t Kupfer in den Leitungen der Niederspannungsanlagen verbaut sind. Dabei konnten jedoch keine Daten zur enthaltenen Kabellänge erhoben werden. Grund dafür ist die unzureichende Dokumentation, da die verbauten Bestände ein hohes Alter aufweisen. Des Weiteren kann auf Grund des beträchtlichen Umfangs an Kabeln keine zielgerichtete Abschätzung diesbezüglich abgegeben werden (Brandstetter, 2014, persönliche Mitteilung).

4.2.6 Mittelspannungsanlagen

Die Mittelspannungsanlagen setzen sich aus einem 20 kV-Kabelnetz (Ringleitung) und den davon abgehenden Zuleitungen in den Bereich der Niederspannungsanlagen zusammen. Diese Ringleitung ist pro U-Bahn-Linie vorhanden und dient zur Stromeinspeisung in die Niederspannungsanlagen und zur Versorgung sonstiger Verbraucher in den Stationen (z.B. Gastronomie, Einzelhandel). Diese Einrichtungen befinden sich auf der Strecke im Tunnel in Kabeltrögen. In den Stationen werden die Leitungen in Kabeltrassen unter den Bahnsteigen zu Kollektoren weiter geführt. Die 20 kV-Leitung besteht aus Aluminium und weist einen Querschnitt von 185 mm^2 auf (Leutgeb, 2015). Die nächste Abbildung 5 zeigt verlegte Leitungen im Bereich der Mittelspannungsanlagen.

Abbildung 5: Kabel der Mittelspannungsanlagen

Auf Basis der Abschnittslänge der U1-Stammstrecke von 4.960 m kann laut Leutgeb (2015) die Länge der 20 kV-Leitung abgeleitet werden, in dem die Kabellänge als doppelte Streckenlänge angenommen wird. Somit ergibt sich eine Gesamtlänge der Ringleitung von etwa 10.000 m. Auf Grund der fehlenden Datengrundlage im Bereich der Zuleitungen können diese Kabelmengen nicht quantifiziert werden. In der Tabelle

12 wird für den verwendeten Kabeltyp die Länge, Masse pro Laufmeter und die Gesamtmasse der verbauten Leitungslänge angegeben.

Tabelle 12: Massenabschätzung der 20kV-Leitungen im Mittelspannungsbereich (nach Leutgeb, 2015)

Kabeltyp	Länge [m]	Masse pro Lfm [t]	Gesamtmasse [t]
20 kV-Kabel, 185 mm^2	10.000	0,00145	14,5

Tabelle 12 zeigt, dass in der gesamten Ringleitung entlang der U1-Stammstrecke, bei einer Annahme von 0,00145 t/Lfm Kabel, 14,5 t an Aluminium verbaut sind. Diese 20 kV-Leitung wurde ab dem Jahr 2002 installiert, um durch diese Umstellung eine Unabhängigkeit gegenüber dem bis dahin verwendeten Wienstrom erlangen zu können.

4.2.7 Signal- und Nachrichtentechnik

Die Hauptbestandteile der Signal- und Nachrichtenkabel sind Polyethylen und Kupfer. Des Weiteren ist es ein geringer Anteil an Stahlbewährung in den Kabeleinrichtungen vorhanden. Dieses eingearbeitete Stahlband fungiert als Sicherheitseinrichtung (Strahberger, 2014). In der nächsten Tabelle 13 sind die verlegte Kabellänge entlang der U1-Stammstrecke und der gesamte bzw. durchschnittliche Kupfergehalt angegeben. Dabei ist zu erwähnen, dass diese Angaben den während der Sanierung 2012 eingebauten Kabellängen entsprechen. Auf Grund von fehlenden Daten über die verbauten Materialien vor der Sanierung bzw. Angaben zum entfernten Bestand, wird durch die Annahme eines 1:1 Austausches der neue Bestand auch als der ursprüngliche Bestand vor der Sanierung angenommen.

Tabelle 13: Signal- und Nachrichtenverkabelung entlang der U1-Stammsträcke, einschließlich des Kupfergehaltes (nach Strahberger, 2014)

Kabel	Kabellänge [km]	Kupfergehalt [t]	Durchschnittlicher Kupfergehalt (t/km)
Gesamt	573	150	0,26

Tabelle 13 stellt dar, dass auf dem U1-Streckenabschnitt zwischen Reumannplatz und Schwedenplatz insgesamt 573 km an Signal- und Nachrichtenkabel verlegt sind. Diese verbauten Infrastrukturelemente weisen einen Gesamtgehalt an Kupfer von etwa 150 t und einen durchschnittlichen Kupfergehalt von 0,26 t/km auf. Für eine detaillierte Auflistung der einzelnen Kabeltypen und spezifischen Kupfergehalten siehe Tabelle 24 Kapitel 4.3.7 Signal- und Nachrichtentechnik.

4.2.8 Traktionsschaltanlagen

Die Traktionsschaltanlagen sind Teil der Traktionsanlagen, die einerseits die Zuführung des Traktionsstromes bis zu den Unterwerken und andererseits die Stromschiene für die Elektrifizierung der Strecke (siehe Kapitel 4.2.9) und die Isolatoren der Schiene umfassen (Ott et al., 2012). Im Rahmen der Traktionsschaltanlagen wird zwischen Einspeise- und Kuppelstationen unterschieden. Die Stationen Reumannplatz (RP), Südtiroler Platz (SL) und Karlsplatz (KP) sind Einspeisestationen, während die Stationen Keplerplatz (KE), Taubstummengasse (TA), Stephansplatz (SZ) und Schwedenplatz (SP) im Aufbau einer Kuppelstation entsprechen (Guttmann, 2014). Die folgende Tabelle 14 zeigt eine Massenabschätzung, getrennt nach Einspeise- und Kuppelstation. Für

detailliertere Angaben zur Massenabschätzung der Traktionsschaltanlagen siehe Anhang 1 und 2.

Tabelle 14: Massenabschätzung Traktionsschaltanlagen nach Einspeise- und Kuppelstationen (nach Guttmann, 2014)

Traktionsschaltanlagen	Anzahl [Stk.]	Masse [t]
Einspeisestation	3	75,7
Kuppelstation	4	14,9
Gesamt	7	85,6

Tabelle 14 zeigt, dass alle 3 Einspeisestationen und 4 Kuppelstationen eine Gesamtmasse an verbauten Materialien von etwa 85,6 t aufweisen. Eine Aufschlüsselung nach Materialien konnte auf Grund fehlender Daten nicht durchgeführt werden. Eine quantitative Abschätzung der eingebauten Materialien ist laut Guttmann (2014) schwierig, da keine Standardmodelle in jeder Schaltanlage eingesetzt. In der nachfolgenden Abbildung ist das Innenleben eines Schaltkastens dargestellt.

Abbildung 6: Innenleben eines Schaltkastens

Aus Abbildung 6 ist erkenntlich, dass bei diesen Bauteilen unterschiedliche Materialien verwendet werden. Es kann jedoch laut Guttmann (2014) angenommen werden, dass der überwiegende Anteil sich aus Kupfer, Aluminium und Eisen zusammensetzt.

4.2.9 Stromschiene und Traktionskabel

Die Stromschienen und Traktionskabel befinden sich entlang der Strecke und dienen zur Elektrifizierung der U-Bahn-Züge. Die Stromschienenanlagen werden mit 750 Volt bespannt (Kramreither, 2014). In der nachfolgenden Tabelle 15 ist eine Material- und Mengenabschätzung für die Bereiche Stromschiene und Traktionskabel entlang der U1-Stammstrecke angegeben.

Tabelle 15: Material- und Massenabschätzung im Bereich Stromschienen und Traktionskabel (nach Kramreither, 2014)

Material	Masse [t]
Eisen	500
Kupfer	210
Aluminium	30
GFK	20
Gesamt	**760**

Tabelle 15 zeigt, dass in Bezug auf die Gesamtmasse etwa 760 t im Bestand verbaut sind. Der überwiegende Anteil wird von Eisen (500 t) eingenommen, gefolgt von Kupfer (210 t). Im Gegensatz dazu machen Aluminium (30 t) und glasfaserverstärkte Kunststoffe (20 t) nur einen geringen Anteil aus.

4.2.10 Brandrauchentlüftung

Für die Brandrauchentlüftung entlang der U1-Stammstrecke sind folgende Lüftungsbauwerke von Bedeutung (Lassy, 2014):

- Favoritenstraße 76
- Favoritenstraße 50
- Paulanergasse
- Neuer Markt
- Fleischmarkt

In diesen Bereichen wurden die Längen der installierten Lüftungskanäle und die dort verbauten Mengen an verzinktem Stahlblech erhoben. Da die Einrichtungen im Bereich Favoritenstraße 76 und Fleischmarkt nur betonierte Lüftungskanäle besitzen und somit nur in geringem Umfang Stahlblech enthalten, können diese vernachlässigt werden. In der nächsten Abbildung 7 werden Stahlblech-Lüftungskanäle der Brandrauchentlüftung gezeigt.

Abbildung 7: Stahlblech-Lüftungskanäle der Brandrauchentlüftung

Für alle Lüftungskanäle wird eine Stahlblech-Stärke von 1,1 mm und eine Dichte von 7,85 t/m^3 angenommen. In der nachfolgenden Tabelle 16 werden die berechneten Längen, Flächen, Volumina angegeben, um schließlich die Massen an verzinktem Stahlblech und deren räumliche Zuordnung darzustellen.

Tabelle 16: Abschätzung der Stahlblech-Lüftungskanäle im Bereich der Brandrauchentlüftung U1-Stammstrecke (nach Lassy, 2014)

Lüftungsgebäude	Fläche [m^2]	Volumen [m^3]	Masse [t]
Favoritenstraße 50	333	0,4	2,9
Paulanergasse	670	0,7	5,8
Neuer Markt	912	1	7,9
Gesamt	1.900	2,1	16,5

Aus Tabelle 16 ist ersichtlich, dass insgesamt 16,5 t an verzinktem Stahlblech, mit einer Gesamtfläche von etwa 1.900 m^2 und einem Gesamtvolumen von 2,1 m^3, in den genannten drei Lüftungseinrichtungen verbaut sind. Zusätzlich sind im Bereich der U1-Stammstrecke 27 Brandrauchventilatoren, teilweise verschiedener Type, installiert. In der nachfolgenden Tabelle 17 werden die Standorte der Ventilatoren, und die jeweils vorhandene Stückzahl angegeben. Dabei wird ein Durchschnittsgewicht von 2 t pro Ventilator angenommen. Zusätzlich kann die Annahme getroffen werden, dass die darin verbauten Einzelteile überwiegend aus Eisen bestehen.

Tabelle 17: Anzahl der Ventilatoren der Brandrauchentlüftung entlang der U1-Stammstrecke, einschließlich Massenabschätzung (nach Lassy, 2014)

Standort	Stückzahl	Masse [t]
Favoritenstraße 76	2	4
Favoritenstraße 50	2	4
Taubstummengasse	4	8
Paulanergasse	4	4
Karlsplatz Unterwerk	2	4
Neuer Markt	4	8
Fleischmarkt	4	8
Ferdinandstraße	4	8
Rotensterngasse	1	2
Gesamt	**27**	**54**

Tabelle 17 zeigt, dass sich für die 27 verbauten Ventilatoren unter der Annahme eines Durchschnittsgewichtes von 2 t je Ventilator eine Eisenmenge von insgesamt 54 t ergibt.

4.2.11 Stationslüftungen

Die Stationslüftungen beziehen sich auf die Lüftungen in den Stationsbereichen und Betriebsräumen, jedoch nicht auf die vorhandenen Tunnellüftungen entlang der Strecke (siehe 4.2.10 Brandrauchentlüftung). In Tabelle 18 erfolgt eine Massenabschätzung der verbauten Lüftungskanäle entlang der U1-Stammstrecke. Alle Lüftungskanäle bestehen aus verzinktem Stahlblech, mit einer Dichte von 7,85 t/m^3, und weisen eine Materialstärke von 0,6-1,1 mm auf. Dabei wurde zur Vereinheitlichung ein Durchschnittswert von 0,8 mm angenommen.

Tabelle 18: Längen- und Massenabschätzung des verzinkten Stahlblechs in Stationslüftungen

Abschnitt	Länge [m]	Volumen [m3]	Masse [t]
Schwedenplatz *	1.000	2,2	15
Stephansplatz *	1.000	2,2	15
Karlsplatz	1.600	2,8	21,8
Taubstummengasse	770	1,4	11,1
Südtiroler Platz	810	1,3	10,3
Keplerplatz	580	0,6	4,9
Reumannplatz	930	2,1	16,8
Gesamt	**6.700**	**12,6**	**95**
* Länge und Masse abgeschätzt			

Tabelle 18 zeigt, dass in den angeführten Stationen Lüftungseinrichtungen und -kanäle mit einer Länge von insgesamt 6.700 m verbaut sind. Daraus ergibt sich eine Gesamtmasse von etwa 95 t an verzinktem Stahlblech. Genaue Daten hinsichtlich der Kanallänge sind nur im Bereich zwischen Karlsplatz und Reumannplatz vorhanden. Für die Stationen Stephansplatz und Schwedenplatz, wurde auf Basis eines Vergleiches zu ähnlich großen Stationen, eine Abschätzung getroffen. Zusätzlich sind in den Stationen von Schwedenplatz bis Reumannplatz insgesamt 94 Lüfter verbaut.

4.2.12 Trockenlöschleitungen

Trockenlöschleitungen sind Sicherheitseinrichtungen, die sowohl in den unterirdischen Stationsbereichen als auch in den Tunnelabschnitten installiert sind (Barwig, 2014). Die folgende Abbildung 8 zeigt einen Teil einer Trockenlöschleitung am Bahnsteig der Station Karlsplatz.

Abbildung 8: Trockenlöschleitung am Bahnsteig der Station Karlsplatz

Es handelt sich dabei um Transportleitungen für Löschpulver oder Löschwasser, die im Falle eines Brandes, von der Feuerwehr eingesetzt werden können (Barwig,

2014).In der nachstehenden Tabelle 19 erfolgt ein Überblick bezüglich der verlegten Längen der Trockenlöschleitungen, je nach Stations- oder Streckenbereich. Dabei ist zu erwähnen, dass dieser Abschnitt im Zuge der Sanierung 2012 vollkommen erneuert wurde.

Tabelle 19: Längen- und Massenabschätzung der Trockenlöschleitungen entlang der U1-Stammstrecke

Bereiche	Länge [Lfm]
Stationen	840
Strecke	8.730
Gesamt	9.570

Tabelle 19 zeigt, dass in den sieben Stationen entlang der U1-Stammstrecke insgesamt 840 Lfm an Trockenlöschleitungen verlegt sind. Dies entspricht der 7-fachen Bahnsteiglänge, die jeweils 120 m beträgt. Auf der Strecke sind 8.730 m installiert, was eine Gesamtlänge (Stationen und Strecke) von 9.570 m ergibt. Die Trockenlöschleitungen des ursprünglichen Bestandes, vor der Sanierung, waren aus verzinktem Stahl gefertigt. Eine genaue Aufschlüsselung der ursprünglich enthaltenen Materialmengen und Massen, war auf Grund fehlender Datenbasis nicht möglich. Nach der Sanierung 2012 weist der Materialbestand der Trockenlöschleitungen einen Eisenanteil von etwa 114 t auf. Dies kann auch für den ursprünglichen Bestand angenommen werden. Im Gegensatz dazu setzen sich die neu eingebauten Elemente aus Stahlguss und einer Betonauskleidung im Inneren zusammen. Nähere Angaben zu den ein- und ausgebauten Materialien, Massen und Abschnittslängen werden im Kapitel 4.3.12 Trockenlöschleitungen dargestellt.

4.2.13 Zusammenfassung Materiallager in U-Bahnen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Kapitel 4.2.1 bis 4.2.12 zusammengefasst. Hierzu werden die Materialmengen von Beton, Stahl und Eisen, Kupfer und Aluminium sowie deren Situierung im Bestand abgebildet. Zusätzlich werden in Tabelle 20 Angaben über die Datenverfügbarkeit in den betrachteten Bereichen angeführt.

Tabelle 20: Datenverfügbarkeit zum ursprünglichen Materialbestand in den einzelnen Bereichen

Bereich	Datenverfügbarkeit
Konstruktive Bauelemente	Ja
Gleisbau	Ja
Innenausbau der Stationen	Nein
Fördertechnik	Ja
Niederspannungsanlagen	Nein
Mittelspannungsanlagen	Teilweise
Signal- und Nachrichtentechnik	Nein
Traktionsschaltanlagen	Teilweise
Stromschiene und Traktionskabel	Nein
Brandrauchentlüftung	Ja
Stationslüftungen	Ja
Trockenlöschleitungen	Nein

Tabelle 20 zeigt in welchen Bereichen, hinsichtlich der Bestimmung des ursprünglichen Materiallagers vor der Sanierung, Daten zur Quantifizierung

vorhanden sind. Im Falle der Konstruktiven Bauelemente, Brandrauchentlüftung, Fördertechnik, Gleisbau und Stationslüftungen kann auf Basis der vorhandenen Unterlagen der ursprüngliche Materialbestand entlang der U1-Stammstrecke erhoben werden. Jedoch ist dabei zu berücksichtigen, dass die genannten Infrastrukturelemente nicht Bestandteile der Sanierung im Jahr 2012 waren (Ausnahme: Fördertechnik). In den Bereichen, die nur eine teilweise Datenverfügbarkeit aufweisen, konnten Angaben zum Materialbestand z.B. auf Basis von Aussagen der MitarbeiterInnen getroffen werden.

Bezüglich der anderen Komponenten (Signal- und Nachrichtentechnik, Stromschiene, Traktionskabel, Trockenlöschleitungen) wurde auf Grund des vollständigen Austausches der Materialbestände während der Sanierung die Annahme getroffen, dass der neue Bestand (nach der Sanierung) dem ursprünglichen Bestand (vor der Sanierung) entspricht. Des Weiteren muss betont werden, dass in keinen der betrachteten Bauteile Angaben zur entfernten Materialmenge (z.B. Entsorgungsnachweise) vorliegen. Auf Grund dessen wurden zur Quantifizierung dieser Materiallager die Input-Angaben der Renovierungstätigkeiten heran gezogen. Diese Vorgehensweise verdeutlicht den vorherrschenden Datenmangel bezüglich der untersuchten U-Bahn-Infrastruktur.

In der nachfolgenden Tabelle 21 werden je Einsatzbereich die insgesamt verbauten Materialmengen aufgelistet. Jedoch kann in dem Bereich der Traktionsschaltanlagen keine Angabe zu den einzelnen Materialmengen angegeben werden, auf Grund fehlender Daten (siehe Kapitel 4.2.8 Traktionsschaltanlagen). Die Kennzeichnung mit k.A. (keine Angabe) gibt an, dass in den Bereichen die jeweiligen Materialien höchstwahrscheinlich enthalten sind, jedoch keine Daten zu deren Quantifizierung erhoben werden konnten. Mit der Angabe 0 wird angenommen, dass die Materialien in diesen Beständen nicht bzw. nur in marginalen Mengen vorliegen.

Tabelle 21: Auflistung der insgesamt verbauten Materialmengen je nach Einsatzbereich

Bereich	Beton [t]	Stahl und Eisen [t]	Kupfer [t]	Aluminium [t]
Konstruktive Bauelemente	503.000	120.000	0	0
Gleisbau	4.700	1.900	0	0
Innenausbau der Stationen	0	0	0	110
Fördertechnik	0	780	9	210
Niederspannungsanlagen	0	0	270	k.A.
Mittelspannungsanlagen	0	0	k.A.	15
Signal- und Nachrichtentechnik	0	0	150	k.A.
Traktionsschaltanlagen	0	k.A.	k.A.	k.A.
Stromschiene und Traktionskabel	0	500	210	30
Brandrauchentlüftung	0	60	0	0
Stationslüftungen	0	95	0	0
Trockenlöschleitungen	0	115	0	0
Gesamt	**508.000**	**> 124.000**	**> 640**	**> 360**
Materialintensität t/km	**102.000**	**25.000**	**130**	**70**

Aus Tabelle 21 ist ersichtlich, dass eine gesamte Betonmenge von etwa 503.000 t gänzlich im Bereich der konstruktiven Bauelemente verbaut ist, da nur ein geringer Anteil im Gleisbau als Betonschwellen verwendet wird. Im Vergleich dazu wird Stahl und Eisen (124.000 t) in verschiedenen Bereichen eingesetzt, z.B. Gleisbau, Fördertechnik und Stromschiene. Die Materialien Kupfer (640 t) und Aluminium

(360 t) nehmen eine, auf die Masse bezogene, untergeordnete Rolle ein, werden jedoch auch in diversen Bauteilen verwendet. Unter Berücksichtigung der betrachteten Streckenlänge (4.960 m) können die einzelnen Materialintensitäten berechnet werden. Für Beton und Stahl/Eisen ergeben sich hohe Materialeinsätze von etwa 102.000 t/km und 25.000 t/km. Demgegenüber weist Kupfer eine Materialintensität von circa 130 t/km, während sich Aluminium auf etwa 70 t/km beläuft. Bei den Materialien Stahl/Eisen, Kupfer und Aluminium ist zu betonen, dass jeweils ein höheres Potential bezüglich der vorliegenden Materialmenge existiert. Jedoch kann auf Grund fehlender Unterlagen nur eine Abschätzung dieser Bereiche durchgeführt werden. In den nachfolgenden vier Abbildungen wird die Verteilung der Materialien Beton, Stahl/Eisen, Kupfer und Aluminium auf die einzelnen Bauteile grafisch aufbereitet.

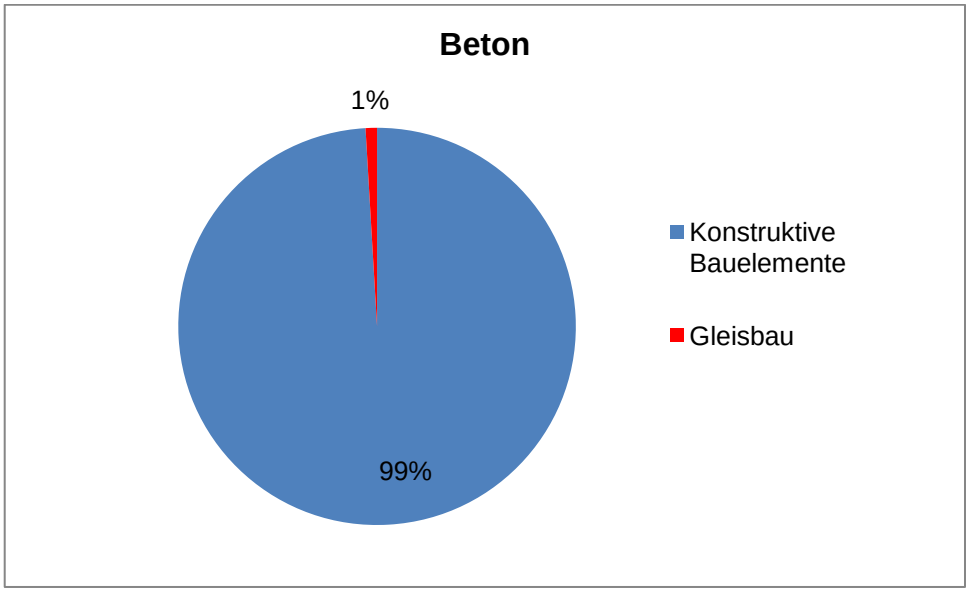

Abbildung 9: Betonbestand, aufgeteilt nach Bauteilen

Abbildung 9 zeigt deutlich, dass Beton hauptsächlich nur im Bereich der konstruktiven Bauelemente (99 %) enthalten ist. Ein mengenmäßiger geringer Anteil befindet sich im Gleisbau (1 %).

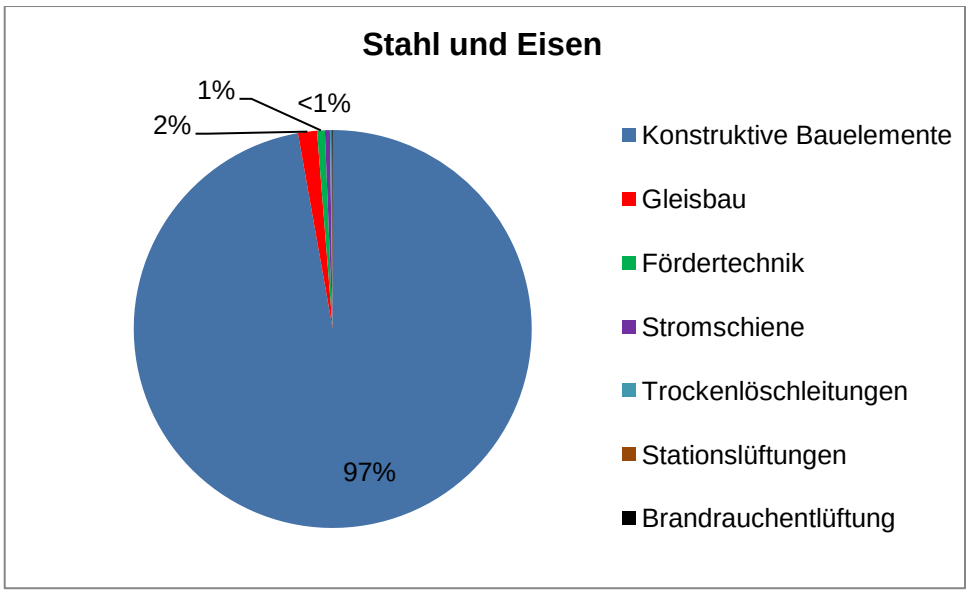

Abbildung 10: Stahl- und Eisenbestand, aufgeteilt nach Bauteilen

Abbildung 10 stellt den gesamten Stahl- und Eisenbestand dar, aufgeteilt auf die einzelnen Bereiche. Auch hier ist klar zu erkennen, dass der überwiegende Anteil in den konstruktiven Bauelementen (97 %) verwendet wird. Während in den Bereichen Gleisbau und Fördertechnik nur etwa 2 bzw. 1 % des Stahl- und Eisenbestandes enthalten sind, weisen die anderen Komponenten Stromschiene, Trockenlöschleitungen, Stationslüftungen und Brandrauchentlüftung nur marginale Mengen (<1 %) auf.

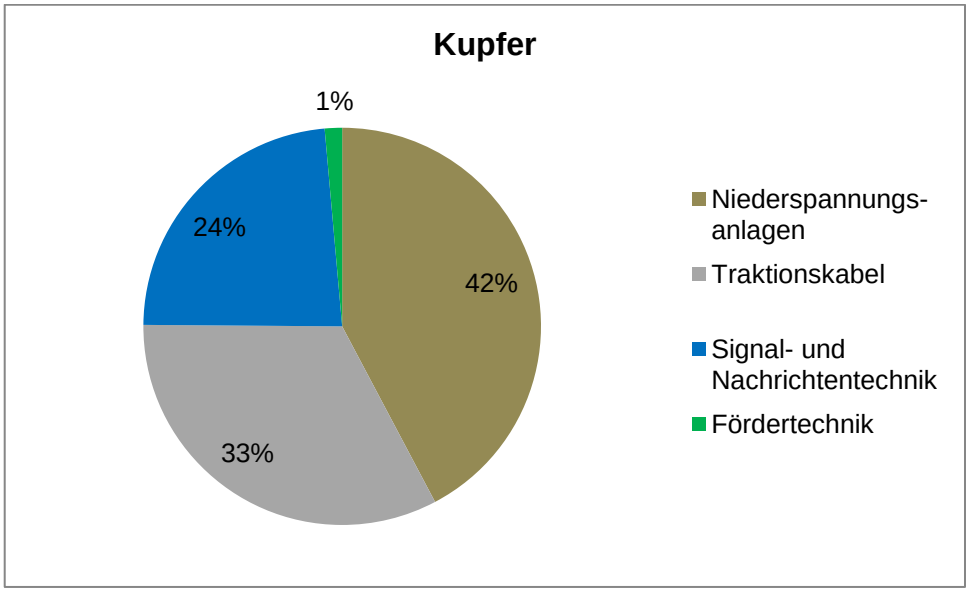

Abbildung 11: Kupferbestand aufgeteilt nach Bauteilen

In Abbildung 11 sind der Kupferbestand und dessen Zuteilung zu den einzelnen Bereichen dargestellt. Hierbei ist der Großteil der Kupfermenge (75 %) in den Niederspannungsanlagen und Traktionskabel entlang der Strecke enthalten. Auch im Bereich der Signal- und Nachrichtentechnik ist ein höherer Anteil von 24 % vorhanden, während die Fördertechnik nur eine geringe Kupfermenge zum Betrieb benötigt.

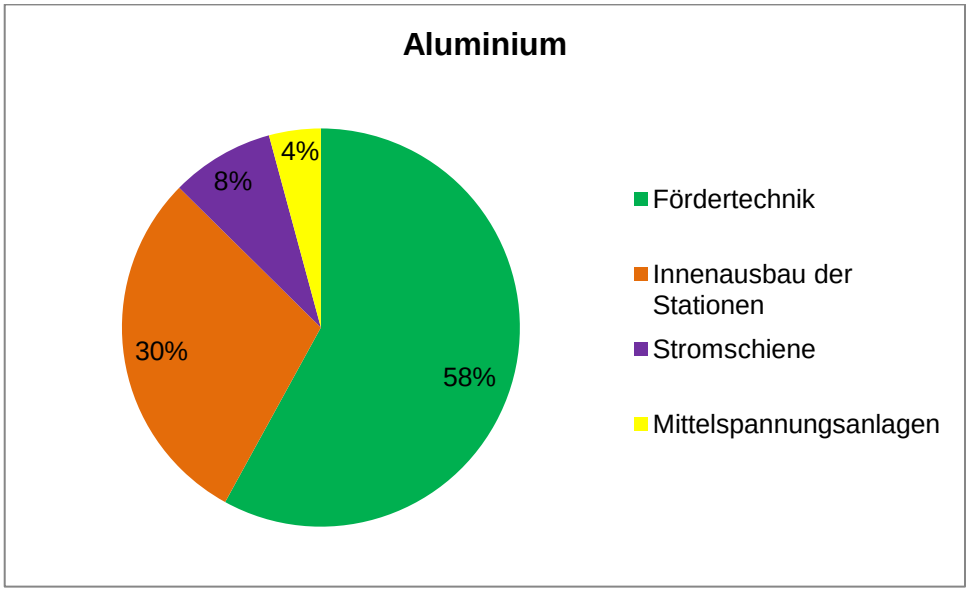

Abbildung 12: Aluminiumbestand aufgeteilt nach Bauteilen

Abbildung 12 stellt den Aluminiumbestand in den einzelnen Bauteilen dar. Dabei kann gezeigt werden, dass mehr als die Hälfte im Bereich der Fördertechnik

eingesetzt wird. Auch der Innenausbau der Stationen (30 %) weist einen höheren Aluminiumanteil auf. Im Gegensatz dazu werden für die Stromschienen (8 %) und Mittelspannungsanlagen (4 %) geringere Mengen benötigt.

Im Vergleich zur dargestellten Zusammensetzung der einzelnen Materialbestände Beton, Stahl und Eisen, Kupfer und Aluminium, wird in der nächsten Abbildung 13 der prozentuelle Anteil der Materialien pro Einsatzbereich angegeben.

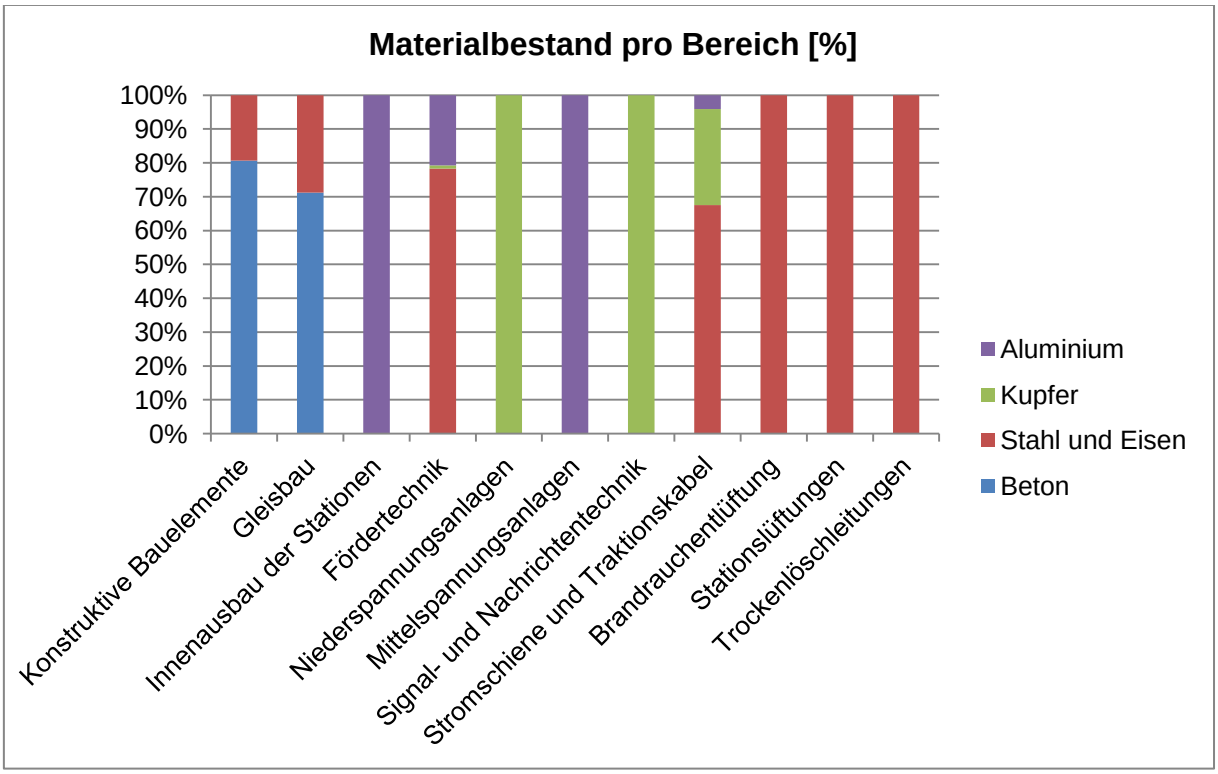

Abbildung 13: Prozentuelle Aufteilung des Materialbestandes pro Bereich

Abbildung 13 zeigt zusammenfassend, welche Materialien in den jeweiligen Bauteilen vorhanden sind. Dabei ist zu erkennen, dass in dieser Betrachtung in den Bereichen Nieder- und Mittelspannungsanlagen, Signal- und Nachrichtentechnik, Brandrauchentlüftung, Stationslüftungen und Trockenlöschleitungen jeweils nur ein Material verbaut ist. Im Falle des Innenausbaus der Stationen und Mittelspannungsanlagen handelt es sich um Aluminium. In den Komponenten der Niederspannungsanlagen sowie der Stromschiene und Traktionskabel wird ausschließlich Kupfer eingesetzt. In den Bereichen der Brandrauchentlüftung, Stationslüftungen und Trockenlöschleitungen liegt nur Stahl und Eisen vor. Demgegenüber zeigen die Bereiche Stromschiene und Traktionskabel wie auch Fördertechnik, dass dort jeweils mehrere Materialien eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um Stahl bzw. Eisen, Kupfer und Aluminium, wobei auch hier Stahl und Eisen mengenmäßig überwiegen. Des Weiteren ist aus Abbildung 13 deutlich zu erkennen, dass Beton nur in den Bereichen Konstruktive Bauelemente und Gleisbau vorhanden ist.

4.3 Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten

In den Sommermonaten Juli und August des Jahres 2012 kam es auf der U1-Stammstrecke zwischen den Stationen Reumannplatz und Schwedenplatz zu umfangreichen Sanierungstätigkeiten. Auf Grund dessen kam es zu einer Einstellung des Fahrbetriebes für den genannten Zeitraum. Im Zuge der Sperre wurden

Verschleißerscheinungen an den Gleisen saniert, Weichen eingebaut, Rolltreppen erneuert und notwendige technische Neuerungen im Hinblick auf die Südverlängerung durchgeführt (Freidl, 2014). Nach Aufhebung der Sperre im September 2012 war ein Großteil der Umbauarbeiten an der U1 abgeschlossen und der betroffene Streckenabschnitt wurde wieder dem Betrieb übergeben. Im nachfolgenden Abschnitt werden die durchgeführten Sanierungstätigkeiten und die jeweils aus- bzw. eingebauten Materialmengen (Input, Output) genauer beschrieben. Des Weiteren werden die Gründe, warum diese Arbeiten durchgeführt wurden und Angaben zu den jeweiligen Lebensdauern dargestellt.

4.3.1 Konstruktive Bauelemente

Bezüglich der konstruktiven Bauelemente fanden keine Sanierungsarbeiten, während der allgemeinen Sperre, statt. Grund dafür ist, dass es sich in diesem Bereich primär um langfristige Strukturen handelt, z.B. tragende Tunnelkonstruktionselemente aus Beton und Stahl. Für diese Bauteile können Lebensdauern von mehr als 100 Jahren angenommen werden (Lederer et al., 2014b). In weiterer Folge kann auf Grund der ausschließlichen Tieflage der U1-Stammstrecke angenommen werden, dass ein Abbruch dieser Bestandteile sehr unwahrscheinlich ist.

4.3.2 Gleisbau

Die Renovierungsarbeiten des Gleisbaus wurden in zwei Abschnitte untergliedert. Im Bereich zwischen den Stationen Taubstummengasse (TA) und Reumannplatz (RP) wurde der Bau einer doppelten Gleisverbindung durchgeführt. Der Grund für diesen Neubau war, dass dieses Bauwerk einen schnelleren und sicheren Wechsel der U-Bahn-Garnituren zwischen den beiden Gleisen ermöglicht. Somit könne im Falle eines Störfalls ein eingleisiger Betrieb rasch eingerichtet und besser aufrecht erhalten werden (Freidl und Kugler, 2014). In der nachfolgenden Tabelle 22 sind ausgewählte Inputs und Outputs der einzelnen Leistungen im Bereich des Gleisbaues, einschließlich der Materialmengen von Beton und Stahl, aufgelistet.

Tabelle 22: Inputs und Outputs der Sanierung im Bereich Gleisbau

LGPosNr.	Beschreibung der Leistung	Länge je Schiene [m]	Beton [t]	Stahl [t]
450201	Gleis und Schwellen abtragen	1.300	1.250	495
450202A	Gleis und Holzschwellen abtragen	400		150
450407A	Vignolschienen einbauen	250		95
Output gesamt		**1.950**	**1.250**	**740**
450203A	Gleisneulage Bi-Blockschwellen	380	360	145
450204A	Gleisneulage schotterloser Oberbau	1.200	1.150	460
450407B	Vignolschienen einbauen	250		95
Input gesamt		**1.830**	**1.500**	**700**

Tabelle 22 zeigt einzelne Positionen des Ausschreibungs- und Leistungsverzeichnisses der Gleisbauarbeiten. Es ist zu erkennen, dass der gesamte Output von 1.950 m je Schiene und der gesamte Input von 1.830 m je Schiene sich in einer vergleichbaren Größenordnung bewegen. Hinsichtlich der aus- und eingebauten Materialien zeigt sich ein ähnliches Bild. Dabei wurden insgesamt 740 t Stahl und 1.250 t Beton aus dem Bestand entfernt. Demgegenüber wurden 700 t Stahl und 1.500 t Beton eingebaut. Dies verdeutlicht, dass im Zuge der Sanierung der damalige Bestand vollkommen ausgebaut und neu eingebaut wurde (1:1

Austausch), was bedeutet, dass der Abtrag dem Bestand entsprach (Freidl und Kugler, 2014).

Der zweite Renovierungsabschnitt bezog sich auf den Streckenteil zwischen den Stationen Stephansplatz (SZ) und Taubstummengasse (TA). Dort wurde auf einer Länge von etwa 4 km der Austausch von Schallschutzmatten vorgenommen. Dies war nötig, da die verbauten Elemente ihre Lebensdauer bereits erreicht hatten (etwa 35 Jahre). Die ursprünglichen Matten bestanden aus Mineralfasern, umhüllt von einer Kunststofffolie. Diese Folie wurde im Verlauf der Jahre brüchig und ermöglichte einen Wasserzutritt, wodurch es zu Beschädigungen an den Matten kam. Bei den neu verlegten Matten handelt es sich um Hartschalldämmplatten aus Sylomer, die eine geringere Anfälligkeit diesbezüglich aufweisen (Freidl und Kugler, 2014). Auf eine Massenerhebung dieser Materialien wird jedoch verzichtet, auf Grund fehlenden Sekundärrohstoffwerts.

4.3.3 Innenausbau der Stationen

Im Bereich der Innenausstattung der Stationen wurden keine Erneuerungen im Bestand vorgenommen, jedoch ist der Innenausbau Objekt laufender Instandsetzungsarbeiten. Laut Widl (2015) ist für die einzelnen Bauteile, z.B. Wandverkleidungen aus Aluminium oder Pressphenol, eine längere Lebensdauer anzunehmen. Jedoch wird diese Beständigkeit vor allem durch externe Einflüsse, wie Vandalismus oder auch auf Grund einer möglichen Ermüdung der Aufhängung, verkürzt.

4.3.4 Fördertechnik

Die Zeit der allgemeinen U1-Sperre wurde im Bereich der Fördertechnik dazu genutzt, alle Fahrtreppen in der Station Stephansplatz auszutauschen. Dabei handelte es sich um 15 Fahrtreppen mit einer Gesamthubhöhe von etwa 112 m. In anderen Stationen erfolgten keine Erneuerungen der Fördertechnik. In der nächsten Tabelle 23 wird die Gesamtmasse der eingesetzten Materialien für die aus- und eingebauten Fahrtreppen dargestellt.

Tabelle 23: Massenabschätzung der Fahrtreppen für die Station Stephansplatz (eigene Darstellung nach Ott, 2012)

Materialien	Gesamtmasse [t]
Stahl	125
Aluminium	37
Kupfer	1,6
Glas	23,5
Elektronische Bestandteile	0,4
Elektrotechnische Bestandteile	0,2
sonstige Bestandteile	6,6
Gesamt	**194**

Tabelle 23 zeigt, dass bei einer Hubhöhe von 112 m insgesamt etwa 194 t an Materialien verbaut wurden, wobei Stahl (125 t), Aluminium (37 t) und Glas (24 t) überwiegen. Hinsichtlich der Sanierung in diesem Bereich wird angenommen, dass dieselben Materialmengen jeweils aus- und wieder eingebaut wurden, zwecks Erhaltung der ursprünglichen Funktion. Im Bereich der Fördertechnik wiesen die Fahrtreppen zum Zeitpunkt der Sanierung ein Alter von etwa 35 Jahren auf. Dies zeigt, dass diese Einrichtungen ganzheitlich erneuert wurden, obwohl sie ihre

theoretische Lebensdauer von 40 Jahren noch nicht erreicht hatten. Der wesentliche Grund für die Erneuerung war, dass ein Aus- und erneuter Einbau während des U-Bahn-Betriebes nicht durchführbar gewesen wäre, da für diese Arbeiten ein enormer Platzbedarf herrscht. Dies würde eine erneute Einstellung des U-Bahn-Verkehrs erfordern, was aus ökonomischer Sicht nicht tragbar wäre (Ehn, 2014).

4.3.5 Niederspannungsanlagen

Die Komponenten der Niederspannungsanlagen wurden im Zuge der Sanierung 2012 nicht ausgetauscht. Auf Basis der primär eingesetzten Materialien Kupfer und Aluminium kann jedoch eine kürzere Lebensdauer, im Vergleich zu konstruktiven Bauelementen, angenommen werden (siehe 4.4 Lebensdauer von Bauteilen).

4.3.6 Mittelspannungsanlagen

Die Anlagen und Bestandteile der Mittelspannungsanlagen wurden nicht erneuert. Jedoch fanden bereits ab 2002 Erneuerungen in diesem Bereich statt. Dabei erfolgte eine Umstellung auf eine 20 kV–Ringleitung entlang der gesamten U1-Strecke, um eine Unabhängigkeit gegenüber dem Wienstrom erlangen zu können (Leutgeb, 2015).

4.3.7 Signal- und Nachrichtentechnik

Die Verkabelung der Signal- und Nachrichtentechnik wurde entlang der kompletten U1-Stammstrecke ausgetauscht. In den einzelnen Stationen erfolgte diesbezüglich jedoch keine Sanierung. In der nächsten Tabelle 24 erfolgt eine genaue Auflistung der verlegten Kabeltypen, Kabellängen und spezifischen Kupfergehalte.

Tabelle 24: Signal- und Nachrichtenverkabelung entlang der U1-Stammstrecke, einschließlich der spezifischen Längen und Kupferanteile (Strahberger, 2014)

Kabeltyp	CU-Anteil [kg/km]	Länge [m]	CU-Gehalt [kg]
MANTELLEI 3 x 2,5 mm^2	75	2.100	160
LAN-Installationskabel CAT 7		130	
PROBUS		2.100	
SIKA S-2Y2YBNY 2 x 1,5 mm^2	30	830	24
SIKA S-2Y2YBNY 4 x 1,5 mm^2	60	26.600	1.480
SIKA S-2Y2YBNY 7 x 1,5 mm^2	105	2.900	280
SIKA S-2Y2YBNY 19 x 1,5 mm^2	285	1.700	470
SIKA S-2Y2YBNY 24 x 1,5 mm^2	360	430	150
SIKA S-2Y2YBNY 48 x 1,5 mm^2	720	4.600	3.300
SICHKA S-X2Y2YCBNY 1 x 4 x 1,4 mm	118	36.700	4.300
SICHKA S-X2Y2YCBNY 4 x 4 x 1,4 mm	380	860	330
SICHKA S-X2Y2YCBNY 15 x 4 x 1,4 mm	1168	1.500	1.800
LISCHLEI 1 x (7 x 0,6)	20	22.800	460
ADERLEI 1 x 25 mm2	250	220	23
ADERLEI 1 x 70 mm2	700	90	34
FEKA F-2YC2YBNY 30 x 2 x 0,8 mm	425	4.100	1.700
SPEZLIKA 8-fasrig		2.300	
SPEZLIKA 144-fasrig		7.900	
BREAKOUT-Mehrlänge		250	
INSKAFLAM 3 x 2,5 mm^2	75	120	9
INSKAFLAM 5 x 2,5 mm^2	125	40	5
SIKAFLAM 2 x 1,5 mm^2	30	14.900	440
SIKAFLAM 4 x 1,5 mm^2	60	71.900	4.300
SIKAFLAM 7 x 1,5 mm^2	105	8.700	910
SIKAFLAM 19 x 1,5 mm^2	285	8	2.300
SIKAFLAM 24 x 1,5 mm^2	360	5.200	1.900
SIKAFLAM 37 x 1,5 mm^2	555	12.400	6.900
SIKAFLAM 48 x 1,5 mm^2	720	33.800	24.300
SISTEFLAM 1 x 4 x 1,4 mm	118	64.700	7.500
SISTEFLAM 1 x 4 x 1,4 mm (Lack)	118	12.400	1.500
SISTEFLAM 4 x 4 x 1,4 mm	380	17.500	6.600
SISTEFLAM 7 x 4 x 1,4 mm	595	14.400	8.600
SISTEFLAM 15 x 4 x 1,4 mm	1168	15.900	18.500
LILEIFLAM 1 x (7 x 0,6)mm	20	39.600	740
ADERFLAM 1 x 6 mm^2	60	4.200	250
ADERFLAM 1 x 25 mm^2	250	170	5
ADERFLAM 1 x 70 mm^2	700	260	140
FEKAFLAM 30 x 2 x 0,8	425	37.800	16.000
FEKAFLAM 50 x 2 x 0,8	645	52.800	34.000
LIKAFLAM 24-fasrig		33.000	
HF-Strahlend 1 1/4"		12.500	
HF-Nicht Strahlend 7/8"		1.900	
HF-Nicht Strahlend 1 1/4"		240	
HF-Nicht Strahlend h-flex 1/2"		220	
	Gesamt	**573.000**	**150.000**
	Kabel [km]	**573**	
	Kupfer [t]		**150**

Tabelle 24 zeigt, dass entlang der U1-Stammstrecke insgesamt etwa 570 km Kabel der Signal- und Nachrichtentechnik verlegt wurden. Diese Leitungen weisen insgesamt einen Kupfergehalt von ungefähr 150 t auf. Eine Erneuerung dieser Verkabelung war laut Strahberger (2014) erforderlich, da einerseits die eingebauten Materialien am Ende ihrer Lebensdauer (25 Jahre) angekommen waren und andererseits neue, modernere Systeme energiewirtschaftlicher und effizienter funktionieren würden. Des Weiteren mussten die geänderten technischen Vorgaben, bezüglich halogenfreier und PVC-freier Kabelsysteme, erfüllt werden (Strahberger, 2014).

4.3.8 Traktionsschaltanlagen

In den U1-Stationen Reumannplatz (RP), Keplerplatz (KE) und Südtiroler Platz (SL) wurden im Rahmen der Sanierung im Jahr 2012 die ursprünglichen Traktionsschaltanlagen entfernt und neue eingebaut bzw. teilweise wieder verwendet. In der nächsten Tabelle 25 erfolgt eine Massenabschätzung der erneuerten Traktionsschaltanlagen.

Tabelle 25: Massenabschätzung der neu eingebauten Traktionsschaltanlagen nach Einspeise- und Kuppelstationen (eigene Darstellung nach Guttmann, 2014)

Traktionsschaltanlage	Anzahl [Stück]	Masse [t]
Einspeisestationen	2	50,5
Kuppelstation	1	3,7
Gesamt	3	54,2

Tabelle 25 zeigt, dass für insgesamt drei Traktionsschaltanlagen, je eine Kuppelstation und zwei Einspeisestationen, 54,2 t an Materialien eingesetzt wurden. Für eine detaillierte Auflistung der Massenabschätzung je Einspeise- und Kuppelstation siehe Anhang 1 und 2. Auf Grund fehlender Datenbasis konnte keine anteilige Abschätzung der eingesetzten Materialien durchgeführt werden. Es ist jedoch laut Guttmann (2014) anzunehmen, dass der überwiegende Anteil sich aus Kupfer, Aluminium und Eisen zusammensetzt.

Bei den ausgebauten Traktionsschaltanlagen handelte es sich gemäß Guttmann (2014) um eine Anlagengeneration, die ihre Lebensdauer nach 40 Jahren bereits erreicht hatte. Der Austausch ermöglichte eine Erhöhung der Leistung und eine Verringerung des Taktintervalls. Des Weiteren wird durch die durchgeführten Sanierungsarbeiten eine vollautomatische Bedienung von der Ferne erreicht. Eine vollständige Sanierung in diesem Bereich war durch das knapp bemessene Zeitintervall im Sommer 2012 nicht möglich, somit wurden in der Station Karlsplatz (KP) die Traktionsschaltanlagen und auch die Traktionskabel erst später saniert (Guttmann und Kramreither, 2014).

4.3.9 Stromschiene und Traktionskabel

Im Zuge der Sanierung 2012 erfolgte im Bereich der Stromschienen und Traktionskabel keine Änderung im ursprünglichen Bestand, da es sich laut Kramreither (2014) um einen kompletten Aus- und wieder Einbau der vorhandenen Infrastrukturelemente handelte. In der nachfolgenden Tabelle 26 werden, die im Zuge der Sanierung eingebauten, Materialien und deren jeweilige Masse dargestellt.

Tabelle 26: Material- und Mengenabschätzung der Stromschienen und Traktionskabel entlang der U1-Stammstrecke: RP-Reumannplatz, KE-Keplerplatz, SL-Südtiroler Platz, TA-Taubstummengasse, KP-Karlsplatz, SZ-Stephansplatz (eigene Darstellung nach Kramreither, 2014)

Element	Abschnitt	Länge [km]	Anzahl [Stk.]	Material	Masse [t]	Notiz
Stromschiene	KP - SZ	2		Aluminium	30	15 kg/Lfm
	KP - RP	8		Eisen	480	60 kg/Lfm
Abdeckung	RP - SZ	10		GFK	20	2 kg/Lfm
Träger	KP - SZ		400	Aluminium	2,8	7 kg/Stück
	KP - RP		1600	Eisen	24	15 kg/Stück
Rückleiterverstärkungskabel		18		Kupfer	90	5 kg/Lfm
Traktionskabel	RP	7		Kupfer	35	5 kg/Lfm
	KE	1		Kupfer	5	
	SL	4,5		Kupfer	22,5	
	TA	3,5		Kupfer	17,5	
	KP	6,5		Kupfer	32,5	
	SZ	1,5		Kupfer	7,5	
				Gesamt	**767**	
				Eisen	504	
				Kupfer	210	
				Aluminium	33	
				GFK	20	

Tabelle 26 stellt dar, dass verschiedene Infrastrukturelemente im Bereich der Stromschienen und Traktionskabel ausgetauscht wurden. Insgesamt belief sich die eingesetzte Materialmenge auf 767 t, wobei der überwiegende Anteil auf die Materialien Eisen (504 t) und Kupfer (210 t) entfällt. Das Aluminium und der GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff) machen der Masse nach nur einen geringen Anteil aus. Des Weiteren wurde entlang des Streckenbereiches zwischen Stephansplatz (SZ) und Reumannplatz (RP) ein Teil der Traktionskabel (500 mm^2-Kupferkabel) entfernt und mit halogenfreien Kabeln getauscht. Der Grund dafür war, dass diese Kabel, gegenüber dem alten Bestand, ein besseres Brandwiderstandsverhalten aufweisen und geänderte Sicherheitsvorschriften einen Tausch verlangten. Zusätzlich wurde auf dem Streckenabschnitt zwischen Stephansplatz (SZ) und Karlsplatz (KP) die Eisenstromschiene durch eine Aluminiumstromschiene getauscht. Die daraus resultierenden Vorteile, sind neben einem geringeren Widerstand, ein leichterer Umgang, eine erhöhte Betriebssicherheit und, dass mehr Energie zur Verfügung steht. In diesem Zusammenhang wurden auch die Stromschienenträger von Eisen auf Aluminium getauscht. Entlang des gesamten Abschnittes erfolgte eine Erneuerung der Abdeckungen aus Glasfaserverstärktem Kunststoff (Kramreither, 2014).

4.3.10 Brandrauchentlüftung

Die Komponenten der Brandrauchentlüftung (Lüftungskanäle und Ventilatoren) wurden während der Umbauarbeiten 2012 keiner Sanierung unterzogen. Grundsätzlich weisen laut Lassy (2014) diese Einrichtungen lange Lebensdauern auf, wodurch eine Renovierung nach etwa 40 Jahren noch nicht erforderlich ist. Ähnliches gilt auch für die Komponenten der Stationslüftungen (siehe 4.3.11 Stationslüftungen)

4.3.11 Stationslüftungen

Auch im Bereich der Stationslüftungen erfolgte weder eine Sanierung der Lüftungskanäle noch der Ventilatoren. Jedoch kann auch hier auf Grund der eingesetzten Materialien, vor allem Stahl und Eisen, von einer längeren Lebensdauer ausgegangen werden.

4.3.12 Trockenlöschleitungen

Entlang der U1-Stammstrecke wurde der gesamte Bestand an Trockenlöschleitungen ausgetauscht, d.h. es wurde der vorhandene Bestand entfernt und neu installiert. Die neu eingebauten Elemente bestehen aus Stahlguss und einer Zementauskleidung im Inneren, die einen möglichen Feuchtigkeitseintritt vermeidet. Im Vergleich dazu bestanden die ursprünglichen Einrichtungen aus verzinktem Stahl (Barwig, 2014). Laut Angaben des Herstellers TRM-Tiroler Rohre (2014) werden für die Trockenlöschleitungen im U-Bahn-Bereich der Wiener Linien hauptsächlich Rohre mit einem Durchmesser von 80 mm verwendet, wobei sich daraus folgende Massenabschätzung pro Laufmeter ergibt:

- Gesamtgewicht: 16,3 kg/Lfm
- Eisen: 13,3 kg/Lfm
- Zementauskleidung: 3,0 kg/Lfm

In der nachfolgenden Tabelle 27 werden die Laufmeter der Trockenlöschleitungen in den Stationen und entlang der einzelnen Streckenabschnitte dargestellt. Zusätzlich werden die Gesamtmassen und Eisen- und Zementanteile aufgelistet. Hinsichtlich der Stationen besitzen die Trockenlöschleitungen eine einheitliche Länge von 120 m, was der Bahnsteiglänge pro Station entspricht.

Tabelle 27: Längen- und Massenabschätzung der Trockenlöschleitungen entlang der U1-Stammstrecke (eigene Darstellung nach Lenz, 2014)

Bereich	Länge [Lfm]	Masse [t]	Eisen [t]	Zement [t]
Stationen	840	13,7	11,2	2,5
Strecke	7.690	125,4	102,3	23,1
Gellertschacht Abstellhalle Gleis 1, 2	780	12,8	10,4	2,4
RP - Kollektor	260	4,2	3,5	0,8
RP - KE	580	9,5	7,7	1,7
SL - Kollektor bis Anschlusskasten	430	7,0	5,7	1,3
TA - SL Gleis 1	600	9,7	7,9	1,8
TA - SL Gleis 2	670	10,8	8,8	2,0
Paulanerschacht - TA	300	4,9	4,0	0,9
Paulanerschacht bis Anschlusskasten	80	1,3	1,0	0,2
KP - Paulanerschacht Gleis 1	430	7,0	5,7	1,3
KP - Paulanerschacht Gleis 2	620	10,1	8,3	1,9
KP - SZ Gleis 1	700	11,4	9,3	2,1
KP - SZ Gleis 2	730	11,9	9,7	2,2
SZ - Kollektor	470	7,7	6,3	1,4
SZ - Hochbereich	160	2,6	2,1	0,5
SZ - SP Gleis 1 und 2	890	14,4	11,8	2,7
Summe (Stationen und Strecke)	**8.500**	**139,1**	**113,5**	**25,6**

Aus Tabelle 27 ist ersichtlich, dass sich für alle Stationen entlang der U1-Stammstrecke (Reumannplatz - Schwedenplatz) eine Länge von insgesamt 840 Lfm ergibt, mit einer Masse von 13,7 t, wobei auf Eisen 11,2 t und auf Zement 2,5 t entfallen. Die Länge der Trockenlöschleitungen auf der Strecke beläuft sich auf etwa 7.700 Lfm mit einer Gesamtmasse von 125,4 t. Der Eisenanteil liegt bei 102,3 t und der Zementanteil bei 23,1 t. Zusammen ergibt sich daraus eine Gesamtlänge, für die Strecke und Stationen von 8.500 Lfm mit einer Masse von etwa 140 t, mit jeweils 114 t Eisen und 26 t Zement.

Dieser vollständige Austausch der Trockenlöschleitungen war laut Barwig (2014) notwendig, da die früheren verzinkten Stahlleitungen, die vor etwa 35 Jahren beim Neubau dieses Streckenabschnittes eingesetzt wurden, nicht mehr den sicherheitstechnischen Anforderungen entsprachen. Die Rohre können laut der Herstellerfirma TRM am Ende ihrer Lebenszeit vollständig wiederverwertet werden. Im Zuge dessen werden sie eingeschmolzen, um daraus wieder neue Rohre herstellen zu können. Sonstige enthaltene Stoffe, wie eine Zinkbeschichtung zum Korrosionsschutz sind nur in geringen Mengen vorhanden und werden thermisch verwertet (TRM, 2014).

4.3.13 Zusammenfassung Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten

Im folgenden Kapitel werden zusammenfassend die Ergebnisse der Kapitel 4.3.1 bis 4.3.12 dargestellt. Hierzu werden die gesamten Inputs und Outputs der Sanierungstätigkeiten, untergliedert nach den Materialien Beton, Stahl und Eisen, Kupfer und Aluminium abgebildet. Des Weiteren werden in der nächsten Tabelle 28 Angaben über die Datenverfügbarkeit in den betrachteten Bereichen gemacht.

Tabelle 28: Datenverfügbarkeit zu Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten in den einzelnen Bereichen

Bereiche	Datenverfügbarkeit	
	Output	Input
Konstruktive Bauelemente	Keine Sanierung	
Gleisbau	Ja	Ja
Innenausbau der Stationen	Keine Sanierung	
Fördertechnik	Nein	Ja
Niederspannungsanlagen	Keine Sanierung	
Mittelspannungsanlagen	Keine Sanierung	
Signal- und Nachrichtentechnik	Nein	Ja
Traktionsschaltanlagen	Nein	Teilweise
Stromschiene und Traktionskabel	Nein	Ja
Brandrauchentlüftung	Keine Sanierung	
Stationslüftungen	Keine Sanierung	
Trockenlöschleitungen	Nein	Ja

Tabelle 28 zeigt in welchen Bereichen, hinsichtlich der Bestimmung der Inputs und Outputs während der Sanierungstätigkeiten 2012, Daten zur Quantifizierung vorhanden sind. Die Bestandteile der Konstruktiven Bauelemente, Innenausbau der Stationen, Niederspannungsanlagen, Mittelspannungsanlagen, Brandrauchentlüftung und Stationslüftungen waren diesbezüglich von keinen Erneuerungen betroffen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass in den meisten sanierten Bereichen keine Daten zu den ausgebauten Materialbeständen (Output) vorliegen. Die vorhandenen

Unterlagen beziehen sich fast ausschließlich auf die Input-Menge in den jeweiligen Materialbestand. Hierzu ist zu betonen, dass in diesen Bereichen, laut Aussagen der Mitarbeiter von Wiener Linien (Strahberger, 2014; Kramreither, 2014; Guttman, 2014; Barwig, 2014), ein vollständiger Abbruch des vorhandenen Bestandes stattfand und dieser wiederum neu eingebaut wurde. Diese Vorgehensweise entspricht einem 1:1 Austausch, wodurch der ursprüngliche Bestand gleich dem neuen Bestand nach der Sanierung entspricht. Auf Grund dessen wurde angenommen, dass der entfernte Materialbestand (Output), der neu eingebauten Materialmenge (Input) entspricht. Dies verdeutlicht, dass es keine oder nur unzureichende Angaben über die Menge der entfernten Bauteile und Materialien gibt.

In der folgenden Tabelle 29 erfolgt eine Gegenüberstellung des ursprünglichen Materiallagers vor/nach der Sanierung mit den Inputs bzw. Outputs während der Renovierungsarbeiten. Die Kennzeichnung mit k.A. (keine Angabe) gibt an, dass in den Bereichen die jeweiligen Materialien höchstwahrscheinlich enthalten sind, jedoch keine Daten zu deren Quantifizierung vorhanden sind. Mit der Angabe 0 wird angenommen, dass die Materialien nicht oder nur in marginalen Mengen Bestandteil der jeweiligen Materialbestände bzw. der Inputs und Outputs der Sanierungstätigkeiten sind. Jene Bereiche die nicht Teil der Sanierung 2012 waren sind dementsprechend gekennzeichnet.

Tabelle 29: Gegenüberstellung des Materiallagers vor der Sanierung mit den Inputs und Outputs während der Sanierungstätigkeiten (Cu-Kupfer, Al-Aluminium)

Bereiche	**Materiallager vor/nach Sanierung**				**Output und Input der Sanierung**			
	Beton [t]	**Stahl/ Eisen [t]**	**Cu [t]**	**Al [t]**	**Beton [t]**	**Stahl/ Eisen [t]**	**Cu [t]**	**Al [t]**
Konstruktive Bauelemente	503.000	120.000	0	0	Keine Sanierung 2012			
Brandrauch-entlüftung	0	60	0	0	Keine Sanierung 2012			
Niederspannungs-anlagen	0	0	270	k.A.	Keine Sanierung 2012			
Mittelspannungs-anlagen	0	0	k.A.	15	Keine Sanierung 2012			
Fördertechnik	0	800	10	210	0	125	1,6	37
Gleisbau	4.700	1.900	0	0	1.500	700	0	0
Innenausbau der Stationen	0	0	0	110	Keine Sanierung 2012			
Signal- und Nachrichtentechnik	0	0	150	k.A,	0	0	150	k.A
Stationslüftungen	0	100	0	0	Keine Sanierung 2012			
Stromschiene und Traktionskabel	0	500	210	30	0	504	210	33
Traktionsschalt-anlagen	0	k.A.	k.A.	k.A	0	k.A.	k.A.	k.A
Trockenlösch-leitungen	0	120	0	0	0	115	0	0
Gesamt	**507.000**	**>124.000**	**>630**	**>360**	**1.500**	**1.400**	**360**	**70**

Tabelle 29 zeigt die ursprünglichen Bestände, untergliedert nach den Materialien Beton (507.000 t), Stahl und Eisen (124.000 t), Kupfer (630 t) und Aluminium (360 t).

Des Weiteren werden die Outputs und auch Inputs der Sanierungen angegeben. Dabei wurden 1.500 t Beton, 1.400 t Stahl/Eisen, 360 t Kupfer und 70 t Aluminium aus dem Bestand entfernt und wieder eingebaut. Daraus ergibt sich eine gesamte sanierte Materialmenge von etwa 3.300 t. Die identen Materialmengen des Outputs und Inputs resultieren daraus, dass in den sanierten Bereichen Gleisbau, Fördertechnik, Signal- und Nachrichtentechnik, Stromschiene und Traktionskabel sowie Trockenlöschleitungen ausschließlich ein Austausch und somit keine quantitative Änderung des Bestandes stattgefunden hat. Anschließend wird in der Abbildung 14 der sanierte Anteil (blaue Säule) am ursprünglichen Materialbestand (rote Säule) prozentuell dargestellt.

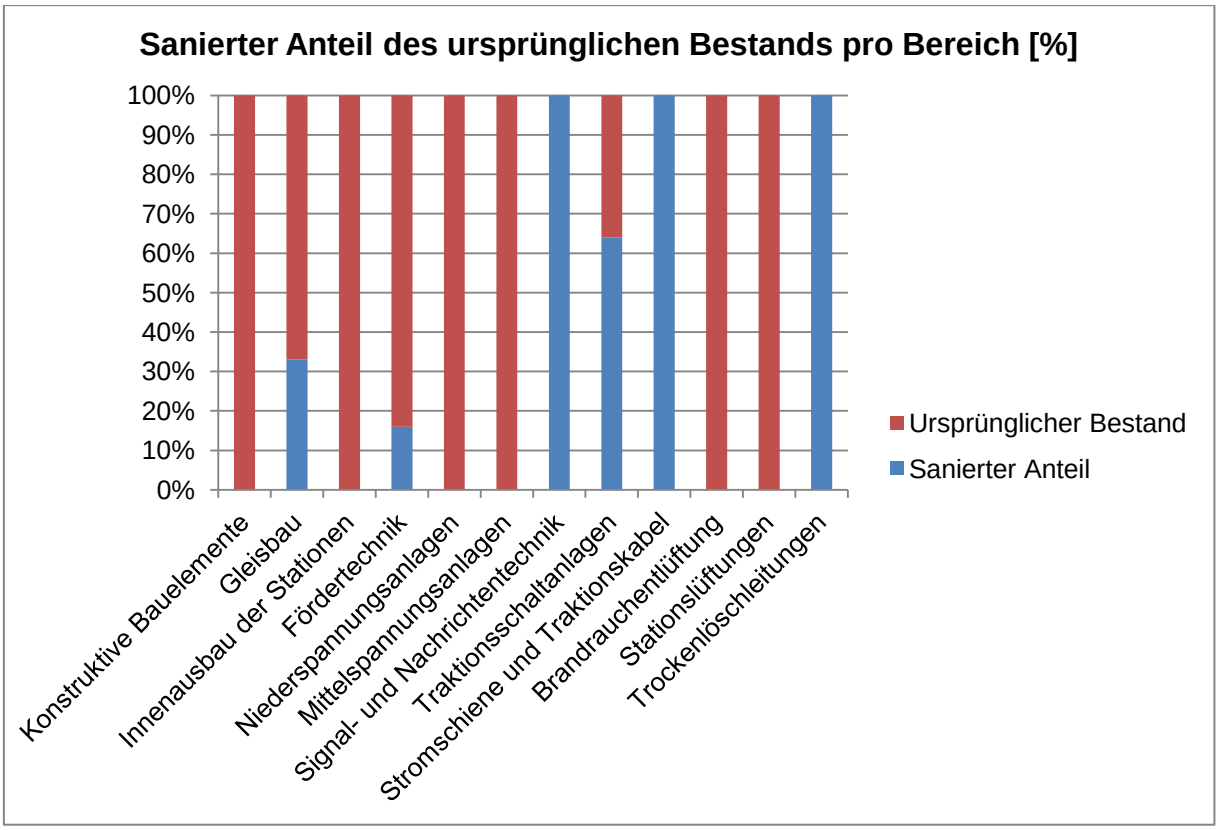

Abbildung 14: Prozentueller sanierter Anteil des ursprünglichen Materialbestands pro Bereich

Aus Abbildung 14 ist zu erkennen, dass in den Bereichen Konstruktive Bauelemente, Innenausbau der Stationen, Niederspannungsanlagen, Mittelspannungsanlagen, Brandrauchentlüftung und Stationslüftungen keine Sanierungen und somit auch keine Änderungen der enthaltenen Materialien stattfanden. Des Weiteren wird gezeigt, dass innerhalb der Signal- und Nachrichtentechnik, Stromschiene und Traktionskabel sowie den Trockenlöschleitungen 100 % des Bestandes saniert wurden. Somit wurde der gesamte Materialbestand in diesen Bereichen entfernt und neu eingebaut. Im Bezug auf den Gleisbau wurden etwa 33 % des ursprünglichen Bestandes erneuert, während im Bereich der Fördertechnik ungefähr 16 % saniert wurden. Hinsichtlich der Traktionsschaltanlagen wurden annähernd 64 % der Infrastrukturelemente ausgetauscht. In der nächsten Abbildung 15 erfolgt eine Darstellung der einzelnen Materialbestände von Beton, Stahl und Eisen, Kupfer sowie Aluminium, einschließlich der prozentuellen Angabe des jeweils sanierten Anteils.

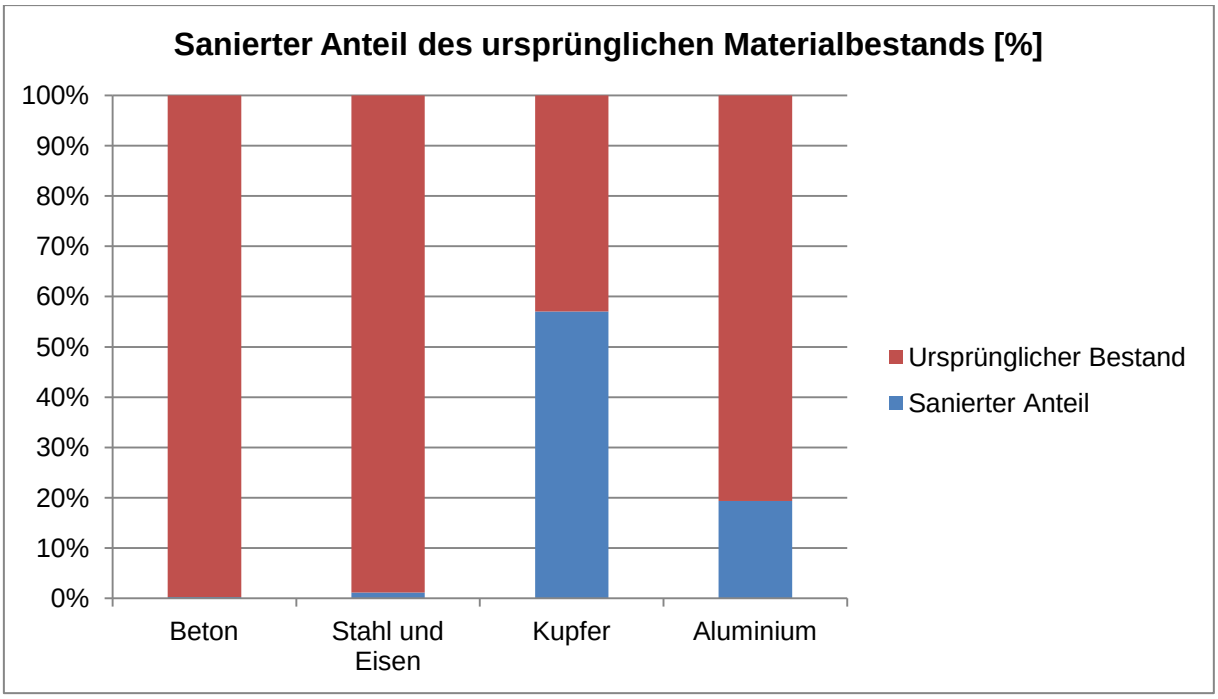

Abbildung 15: Sanierter Anteil (in %) des ursprünglichen Materialbestands

Abbildung 15 zeigt, dass der Beton- sowie Stahl- und Eisenbestand, während der Sanierung 2012, nur einer marginalen Erneuerung um 0,3 % bzw. 1,2 % unterlag. Im Vergleich dazu weisen Kupfer mit 57 % und Aluminium mit annähernd 20 % einen wesentlich höheren Anteil sanierter Bauteile auf.

4.4 Lebensdauern von Bauteilen

Auf Basis der erhobenen Daten und Aussagen der MitarbeiterInnen bei Wiener Linien werden im Anschluss die Lebensdauern der jeweiligen Infrastrukturelemente abgeleitet. Diese Angaben beziehen sich auf die praktische Lebensdauer, d.h. die tatsächlich stattfindende Sanierungspraxis. Für einen Vergleich mit Literaturangaben siehe Kapitel 5.3 Gegenüberstellung der Lebensdauern. In der nächsten Tabelle 30 werden die identifizierten Lebensdauern der jeweiligen Infrastrukturelemente entlang der U1-Stammstrecke dargestellt.

Tabelle 30: Angabe von Lebensdauern der sanierten Infrastrukturelemente entlang der U1-Stammstrecke durch die MitarbeiterInnen der Wiener Linien (Ehn, 2014; Leutgeb, 2015; Strahberger, 2014; Guttmann, 2014; Kramreither, 2014; Barwig, 2014)

Infrastrukturelement	Lebensdauer [a]
Fahrtreppen	35
Verkabelung der Nieder- und Mittelspannungs-anlagen	30-40
Signal- und Nachrichtentechnik	25
Traktionsschaltanlagen	40
Traktionskabel	30
Trockenlöschleitungen	35

Tabelle 30 zeigt, dass die Fahrtreppen zum Zeitpunkt der Sanierung ein Alter von etwa 35 Jahren aufwiesen (Ehn, 2014). Die Verkabelung im Bereich der Nieder- und

Mittelspannungsanlagen wurde während der Sanierung 2012 zwar nicht erneuert, weist jedoch eine Lebensdauer von etwa 30 bis 40 Jahre auf. Laut Leutgeb (2015) kann es hierbei zu Abweichungen kommen, auf Grund auftretender Schwierigkeiten und Beschädigungen im Rahmen des Einbaus. Eine ähnliche Lebensdauer von ungefähr 40 Jahren weisen auch Traktionsschaltanlagen auf (Guttmann, 2014). Der Erneuerungszyklus bei signal- und nachrichtentechnischer Verkabelung liegt bei etwa 25 Jahren. Gemäß Strahberger (2014) kann eine Erneuerung diesbezüglich notwendig werden, z.B. durch das Vorhandensein modernerer, effizienterer Infrastrukturelemente, auch wenn die Altbestände ihre Lebensdauer noch nicht erreicht haben. Die Trockenlöschleitungen weisen eine Lebensdauer von 35 Jahre auf, jedoch auch hier kann es zu Abweichungen kommen, wenn die geltenden Sicherheitsanforderungen nicht erfüllt werden (Barwig, 2014). In diesem Zusammenhang betonen auch Guttmann und Kramreither (2014), dass durch gegeben falls geänderte Sicherheitsvorschriften (z.B. Einbau von halogenfreien Kabeln), Sanierungsarbeiten erforderlich werden.

Die Komponenten der Brandrauchentlüftung (Lüftungskanäle und Ventilatoren) wurden während der Umbauarbeiten 2012 keiner Sanierung unterzogen. Grundsätzlich weisen Einrichtungen der Brandrauchentlüftung lange Lebensdauern auf, wodurch eine Renovierung nach etwa 40 Jahren noch nicht erforderlich ist. Ähnliches gilt ebenfalls für die Komponenten der Stationslüftungen (siehe 4.2.11 Stationslüftungen). Auch im Bereich des Innenausbaus der Stationen wurden keine Erneuerungen im Bestand vorgenommen. Laut Widl (2015) ist die Abschätzung der Lebensdauer von z.B. Wandverkleidungen aus Aluminium oder Pressphenol schwierig. Grundsätzlich würden diese Bauelemente einen längeren Zeitraum überdauern, jedoch wird diese Beständigkeit vor allem durch externe Einflüsse, wie Vandalismus oder auch auf Grund einer möglichen Ermüdung der Aufhängung, verkürzt.

4.5 Hibernating Stocks

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Darstellung identifizierter Hibernating Stocks, auf Basis von zwei Fallbeispielen, entlang des betrachteten U1-Abschnittes. Nachfolgend werden die von den MitarbeiterInnen der Wiener Linien angegeben Gründe und Rahmenbedingungen für deren Entstehung dargestellt. Für eine Gegenüberstellung mit Angaben aus der Literatur siehe Kapitel 5.4 Hibernating Stocks.

Hierbei ist zu erwähnen, dass der Begriff Hibernating Stock auf die Fragestellungen in der vorliegenden Arbeit nicht optimal zutrifft. In diesem Zusammenhang muss zwischen Hibernating Stock und Obsolete Stock unterschieden werden. Ein Hibernating Stock beschreibt einen Materialbestand der zurzeit außer Betrieb genommen wurde, aber grundsätzlich funktionsfähig wäre (Lohm, 1998). Im Gegensatz dazu handelt es sich bei Obsolete Stocks um Bestände die weder eine Funktion erfüllen, noch betriebsbereit sind (Daigo et al., 2007). Auf Grund dessen handelt es sich um ausrangierte Komponenten (Brunner, 1999 zit. nach Daigo et al., 2007), die durch neue, funktionierende Bauteile ersetzt wurden. Dadurch wäre die Bezeichnung der identifizierten Materialbestände im betrachteten U-Bahn-Abschnitt als Obsolete Stock zutreffender. Jedoch wird hinsichtlich der Vereinfachung und Einheitlichkeit weiterhin der Begriff Hibernating Stock verwendet.

4.5.1 Fallbeispiel 1: Schwalllüfter

Im Zuge der Erhebungen im Bereich der Brandrauchentlüftung konnte ein Bestand an Hibernating Stocks identifiziert werden. Im Streckenabschnitt zwischen Südtiroler

Platz und Schwedenplatz befinden sich sogenannte Schwalllüfter, die weder in Gebrauch noch funktionsfähig sind, aber dennoch im Bestand vorhanden sind. Diese Einrichtungen wurden laut Lassy (2014) in den 1970er Jahren eingebaut, um den Luftschwall, der sich beim Einfahren eines Zuges am Bahnsteig bildet, zu verringern. Jedoch konnten diese Installationen nicht den gewünschten Erfolg erzielen und wurden nach kurzer Laufzeit wieder außer Betrieb genommen. Mit einem Durchmesser von 2,5 – 3 m handelt es sich um große Ventilatoren, deren Demontage und Entfernung aus dem Bestand zu teuer wäre. Dadurch verbleiben sie weiterhin im Untergrund. Die Anzahl liegt bei 8 bis 10 Stück entlang der U1-Stammstrecke. In anderen Wiener U-Bahn-Linien sind solche Konstruktionen nicht verbaut. Diese Elemente befinden sich hauptsächlich in Querschlägen zwischen den U-Bahn-Gleisen, somit ist in diesem Zusammenhang nur eine geringe Menge an verzinktem Stahlblech verbaut. Eine Ausnahme davon stellt der Schwalllüfter im Bereich Theresianum-Notausstieg dar (Lassy, 2014). In der Tabelle 31 erfolgt eine Massenabschätzung der verbauten verzinkten Stahlblechmenge dieses Schwalllüfters.

Tabelle 31: Abschätzung der Stahlblech-Konstruktion des Schwalllüfters bei Theresianum-Notausstieg

Abschnitt	Fläche [m^2]	Volumen [m^3]	Masse [t]
Schwalllüfter Theresianum-Notausstieg	290	0,32	2,47

Tabelle 31 zeigt, dass aus der Abschätzung der Stahlblechkonstruktion des Schwalllüfters sich insgesamt eine Masse von etwa 2,5 t ergibt, mit einer Gesamtfläche von 286 m^2 und einem Gesamtvolumen von ungefähr 0,3 m^3. Die nächste Abbildung 16 zeigt Teile des ehemaligen in Betrieb befindlichen Schwalllüfters Theresianum-Notausstieg.

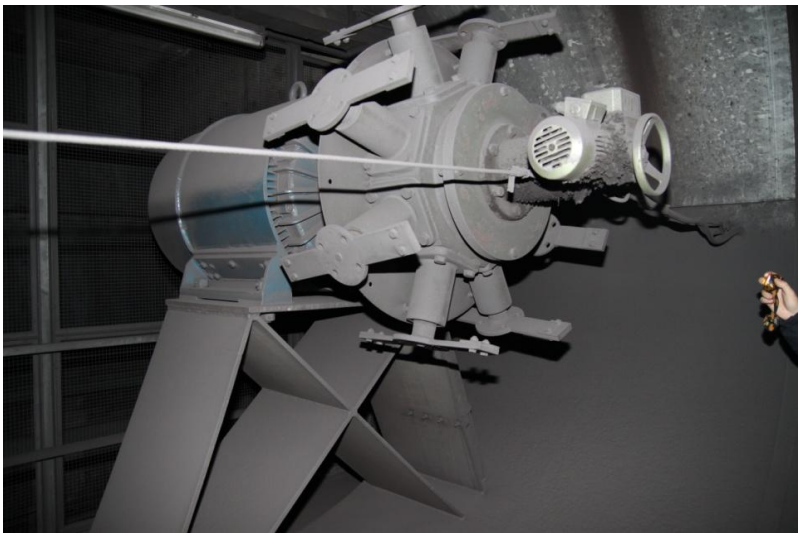

Abbildung 16: Schwallüfter Theresianum-Notausstieg

Dabei ist zu erwähnen, dass ein Teil der Lüfter, z.B. die Ventilatorenblätter, auf Grund der einfacheren Handhabung, bereits entfernt wurden (Lassy, 2014).

4.5.2 Fallbeispiel 2: Nieder- und Mittelspannungsanlagen

Auf Grund der schlechten Datenlage bezüglich der Einbauten der Nieder- und Mittelspannungsanlagen kann dafür keine detaillierte Bewertung vorgenommen werden. Laut Leutgeb und Widl (2015) muss jedoch angenommen werden, dass in

den genannten Bereichen ungenutzte Kabelbestände existieren. Vor allem im Bereich der Niederspannungsanlagen wird ein großes Potenzial vermutet. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die Wirtschaftlichkeit und Zugänglichkeit. Ein weiterer Faktor ist der Platzbedarf, d.h. wenn z.B. ausreichend Platz im Kabelkanal vorhanden ist und die Extraktion einen zu hohen finanziellen Aufwand darstellen würde. Auf Grund dessen würden die außer Betrieb genommenen Leitungen höchstwahrscheinlich nicht entfernt werden. Somit verbleiben die Altbestände neben den neu verlegten Kabeln und können nicht rückgewonnen und einer stofflichen Verwertung zugeführt werden (Leutgeb, 2015). Des Weiteren erscheint laut den Aussagen mehrerer Mitarbeiter der Wiener Linien (Strahberger, 2014; Leutgeb und Widl, 2015), durch die durchgängige unterirdische Situierung der U1-Stammstrecke, die Ausbildung von Hibernanting Stocks potenziell höher zu sein (siehe Wallsten et al., 2013b; Krook et al., 2011). In diesem Zusammenhang zeigt die folgende Abbildung 17 mehrere außer Betrieb genommene Kabel im Bestand der Mittelspannungsanlagen.

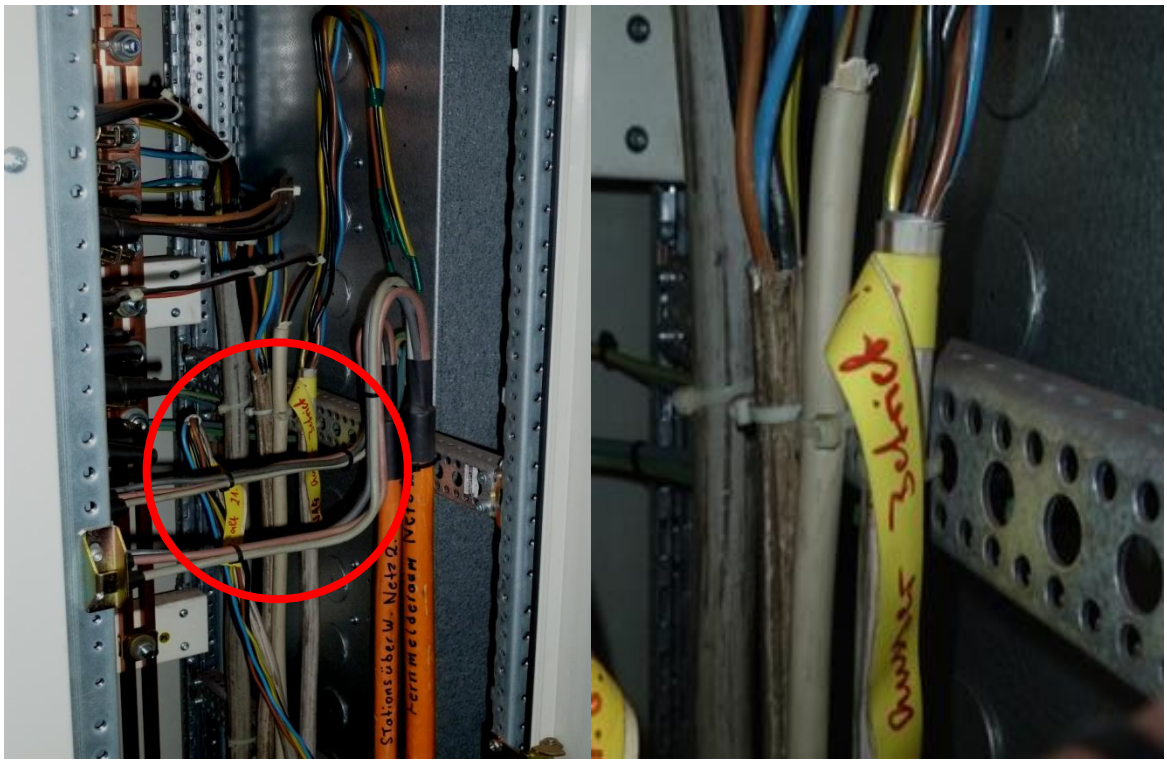

Abbildung 17: Außer Betrieb genommene Kabelbestände im Bereich der Mittelspannungsanlagen

Abbildung 17 zeigt nicht in Verwendung stehende Leitungen im Bereich der Mittelspannungsanlagen. Laut Leutgeb (2015) kann nicht angegeben werden, ob diese Kabel nur temporär außer Betrieb genommen wurden, durch stattfindende Wartungsarbeiten, oder als tatsächliche Hibernating Stocks im Bestand verbleiben.

4.5.3 Gründe und Logik des Hibernating Stock

Auf Basis der erhobenen Daten und durchgeführten Gesprächen mit MitarbeiterInnen der Wiener Linien, kann festgestellt werden, dass in verschiedenen Bereichen Hibernating Stocks existieren. Jedoch muss dabei berücksichtigt werden, dass das Vorliegen ungenutzter Materialbestände gegenwärtig ein relativ unbekanntes Phänomen darstellt, über das wenige Informationen vorliegen. Außerdem ist zu bedenken, dass einzelne Bauteile im U-Bahn-Bestand nur eine untergeordnete Rolle im Bezug auf Hibernating Stocks darstellen. Diesbezüglich werden im Bereich der

Signal- und Nachrichtentechnik oder Traktionskabel nur geringe Mengen vermutet, da die verlegten Materialien sich in leicht zugänglichen Kabelkanälen entlang der Strecke befinden. Dies führt zu geringen Kosten für die Entfernung, die durch die erzielbaren Erlöse, z.B. im Bereich der stofflichen Verwertung von Kupferkabeln, gedeckt werden können. (Strahberger, 2014; Kramreither, 2014). Angesichts dieser Aussagen stellen die Extraktionskosten einen wesentlichen Grund für die Entstehung von nicht in Verwendung stehenden Materialbeständen dar. Stehen diese Aufwendungen in keiner Relation zu den erzielbaren Erlösen, die durch eine stoffliche Verwertung erwirtschaftet werden können, kommt es zu Verlusten und somit zu keiner Entfernung dieser Infrastrukturelemente (Barwig, 2014).

Ein weiterer, zentraler Grund liegt in der nicht vorhandenen Dokumentation ungenutzter Materialbestände. Dadurch sind Hibernating Stocks und deren jeweiligen Standorte oft gar nicht erst bekannt (Leutgeb, 2015). In diesem Zusammenhang beschreiben Leutgeb und Widl (2015), dass im Bereich der Mittel- und Niederspannungsanlagen ein gewisser Anteil der nicht mehr in Verwendung stehenden Leitungen, im Zuge des Einbaus neuer Elemente, nicht entfernt wurde. Jedoch fehlen entsprechende Aufzeichnungen oder Grundlagen zu deren Abschätzung bzw. würde deren quantitative Erhebung zu enormen zeitlichen und finanziellen Aufwendungen führen. Somit kann keine genaue Aussage über den existierenden Bestand an Hibernating Stocks getroffen werden

5. Diskussion

Im nachfolgenden Kapitel werden die vorgestellten Ergebnisse diskutiert und mit weiterführender Literatur verglichen. Dabei sollen mögliche Zusammenhänge dargestellt und Prinzipien definiert werden, um eine kritische Beurteilung der Ergebnisse ermöglichen zu können.

5.1 Materiallager in U-Bahnen

Es wurden bereits verschiedene Studien zur Abschätzung der verbauten Materiallager in unterschiedlichen Bereichen des anthropogenen Bestandes durchgeführt (siehe Kapitel 2.4 Bestimmung anthropogener Lager). In diesem Kontext wurden U-Bahn-Infrastrukturen bisher wenig in die Analysen mit einbezogen. Erste Schritte in diese Richtung stellen eher allgemeine Studien (Lederer et al., 2014b) und erste detailliertere Untersuchungen der verbauten Materialbestände (Ott et al., 2012) dar. Diese Arbeit stellt einen weiteren Versuch dar, den Materialbestand und dessen Dynamik, auf Basis einer tiefgehenden Analyse, darzustellen.

Zusammenfassend kann in Bezug auf die Fragestellung 1 (siehe Kapitel 1.3 Ziel und Fragestellung) festgehalten werden, dass die überwiegend eingesetzten Materialien entlang der U1-Stammstrecke Beton (507.000 t), Stahl und Eisen (124.000 t), Kupfer (630 t) und Aluminium (360 t) sind. Dabei werden Beton und Stahl/Eisen vor allem im Bereich der unterirdischen Tunnelkonstruktionen und Stationsgebäuden eingesetzt. Im Gegensatz dazu tritt Kupfer hauptsächlich in den Bauteilen der Nieder- und Mittelspannungsanlagen, Signal- und Nachrichtentechnik und Traktionskabel auf. Aluminium wird überwiegend in den Bereichen der Mittelspannungsanlagen, Fördertechnik, Innenausbau der Stationen und Stromschiene eingesetzt. Andere Materialien wie Naturstein, Glas oder Kunststoff liegen auch im U-Bahn-Bestand vor, werden jedoch nicht quantifiziert, da sie nur einen geringen Sekundärrohstoffwert aufweisen. Die Vorgehensweise orientiert sich am bottom-up Ansatz und verwendet als primäre Datengrundlage interne Unterlagen der Wiener Linien, Aussagen einzelner MitarbeiterInnen und Begehungen des Bestandes vor Ort.

In einer Studie folgen Ott et al. (2012) in ihren Erhebungen einer Herangehensweise gemäß dem bottom-up Ansatz. Dabei wurde, in Zusammenarbeit mit den Wiener Linien, eine Materialflussanalyse für den Bereich der U2-Verlängerung (Schottenring bis Aspernstraße) durchgeführt. Neben verschiedenen Unterlagen und Datenbanken der Wiener Linien, wurde auch das Expertenwissen der MitarbeiterInnen als Quelle genutzt. Darauf aufbauend konnte der Materialinput für den Bau der gesamten Infrastruktur erhoben werden. Die Streckenlänge des betrachteten U2-Abschnittes beträgt etwa 10.400 m, wobei sich 30 % dieses Streckenabschnittes in Tieflage und 70 % in Hochlage befinden. Exemplarisch wurden insgesamt 980.000 t Beton und 57.000 t Stahl verbaut (Ott et al., 2012). In einer ähnlichen Studie erheben Lederer et al. (2014b) die Materialbestände des gesamten Wiener U-Bahn-Netzes hinsichtlich der Prospektion und Erkundung anthropogener Ressourcenlagerstätten. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das U-Bahn-System, bei einer Gesamtlänge von etwa 87 km, aus ungefähr 12 Mio. t Beton, 600.000 t Stahl, 10.000 t Kupfer und 6.000 t Aluminium zusammensetzt. Darauf basierend werden in der nachfolgenden Tabelle 32 die erhobenen Materialintensitäten (t/km) der U1-Stammstrecke mit Angaben der U2-Verlängerung und des gesamten Wiener U-Bahn-Netzes verglichen. Zusätzlich

werden anhand einer Studie von Schmied und Mottschall (2013) auch Werte aus dem Bereich der Eisenbahninfrastruktur angegeben.

Tabelle 32: Gegenüberstellung der Materialintensitäten unterschiedlicher U-Bahn-Abschnitte (Daten für Materialintensität stammen aus 1) Ott et al., 2012; 2) Lederer et al., 2014b; 3) Schmied und Mottschall, 2013)

Material	Materialintensität [t/km]			
	U1-Stammstrecke	U2-Verlängerung 1)	Wiener U-Bahn-Netz 2)	Eisenbahn 3)
Beton	102.000	79.000	134.000	3.000
Stahl und Eisen	25.000	6.000	7.000	400
Kupfer	130	80	120	15
Aluminium	70	80	70	4

Tabelle 32 zeigt, dass für den Neubau des U2-Abschnittes weniger Beton und Stahl/Eisen pro Kilometer als im Bereich der U1-Stammstrecke eingesetzt wurde. Auch die Angaben zum gesamten Wiener U-Bahn-Netz zeigen, dass im Vergleich zum U1-Abschnitt nur etwa 7.000 t Stahl pro Kilometer verbaut sind (Lederer et al., 2014b). Eine Begründung hierfür können die notwendigen konstruktiven Bauelemente im Bereich der unterirdischen Tunnelröhren und Stationen darstellen, da der U1-Abschnitt zwischen Reumannplatz und Schwedenplatz vollständig in Tieflage geführt wird. Demgegenüber werden die U2-Verlängerung und auch andere U-Bahn-Linien (U6, U4) hauptsächlich in Hochlage geführt. Des Weiteren wurden zu Beginn des Baus der U1-Strecke (Ende der 1960er Jahre) Gusstübbinge im Tunnelbau verwendet, was auch den hohen Stahl- und Eiseneinsatz begründet. Diese Guss-Bauteile wurden entlang der anderen Wiener U-Bahn-Linien nicht mehr eingesetzt. Heutzutage werden diese Elemente aus Beton gefertigt. Für Kupfer ergeben sich für die U1-Stammstrecke und die Angaben des gesamten Wiener U-Bahn-Netzes ähnliche Materialintensitäten von 120 bis 130 t/km. Jedoch muss dabei berücksichtigt werden, dass entlang des U1-Abschnittes durch die fehlende Datenlage (z.B. Traktionsschaltanlagen) ein höheres Potential in einzelnen Bereichen vorliegt. Hierzu muss erwähnt werden, dass es sich bei der U2-Verlängerung um eine vollständige Neubaustrecke handelt. Auf Grund der heute üblichen vorab Projektplanungen und Dokumentationen ist diese Erweiterung mit einer besseren Datenlage verbunden. Dadurch kann eine bessere Qualität und Aussagekraft der Ergebnisse erzielt werden. Für Aluminium geben Lederer et al. (2014b) eine Materialintensität von etwa 70 t/km für das gesamte U-Bahn-Netz an, was den Angaben der U1-Stammstrecke und auch der U2-Verlängerung annähernd entspricht. Die Angaben der Materialintensitäten zur Eisenbahn zeigen bei allen vier Materialien deutliche Unterschiede zu den jeweiligen Materialmengen aus dem Bereich der U-Bahn-Infrastruktur. Daraus kann abgeleitet werden, dass der U-Bahn-Bau wesentlich materialintensiver ist als die Errichtung eines Eisenbahnnetzes. Die Unterschiede in der Einsatzmenge von Beton und Stahl/Eisen lassen sich auf die mögliche Situierung der U-Bahn im Untergrund und die dafür notwendigen konstruktiven Bauelemente zurückführen. Diesbezüglich verläuft der überwiegende Anteil des von Schmied und Mottschall (2013) untersuchten Streckennetzes oberirdisch. Bei einer betrachteten Gesamtnetzlänge von etwa 63.000 km existieren rund 600 Tunnel mit einer Länge von etwa 450 km, was einem Anteil von weniger als 1 % entspricht. Demgegenüber befinden sich 100 % der U1-Stammstrecke und 30 % der U2-Verlängerung (Ott et al., 2012) in Tieflage.

Unter Berücksichtigung des Sekundärrohstoffwertes der verbauten Komponenten in U-Bahn-Systemen zeigen Lederer et al. (2014b), dass Kupfer, nach Stahl, das zweitwertvollste Material darstellt. In diesem Kontext quantifizieren Krook et al. (2011) den Kupferbestand von Stromnetzen in zwei schwedischen Städten. In den Städten Götenborg und Linköping ergibt sich dabei ein durchschnittlicher Kupfergehalt von 1,7 t/km für die Verkabelung im Mittelspannungsbereich und 1,2 t/km für die Niederspannungskabel. In weiterer Folge konnte durch die Multiplikation der spezifischen Materialintensitäten mit den jeweiligen Abschnittslängen eine Quantifizierung der Materialbestände erzielt werden. Auch Wallsten et al. (2013b) wählten diesen Ansatz zur Abschätzung der Eisen-, Aluminium- und Kupferbestände in verschiedenen, unterirdischen Infrastruktursystemen (Strom, Gas, Fernwärme) in der schwedischen Stadt Norrköping. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Materialintensität je nach betrachtetem Infrastruktursystem stark unterscheidet. Die Materialintensität von Kupfer im Gleich- und Wechselstromnetz variiert zwischen 1 bis 2,2 t/km. Im Vergleich dazu weist Aluminium eine geringere Materialintensität von 0,15-1 t/km auf. In den Fernwärme- und Gaseinrichtungen liegt die eingesetzte Eisenmenge zwischen 29 und 35 t/km. Hinsichtlich der durchschnittlichen Kupfermenge im Infrastrukturbestand der Stadt Norrköping decken sich die Angaben annähernd mit den Ergebnissen von Krook et al. (2011).

In weiteren Studien zur Untersuchung anthropogener Lagerstätten in Bauwerken und Infrastrukturnetzwerken (z.B. Tanikawa et al., 2002; Tanikawa und Hashimoto, 2009; Wiederhofer et al., 2015) wurde abweichend zur vorliegenden Arbeit die Bezugseinheit kg/EW (Einwohner) verwendet. Dies ermöglicht keinen aussagekräftigen Vergleich der jeweiligen Ergebnisse. Die Bezugseinheit kg/EW lässt sich für die betrachtete U1-Stammstrecke nicht anwenden, da es sich nur um einen Teil des Wiener U-Bahn-Systems handelt. Für eine sinnvolle Gegenüberstellung muss das vollständige U-Bahn-Netzwerk mit dem gesamten Gebäudebestand oder anderen Netzwerken verglichen werden (siehe Lederer et al., 2014b)

Bei den genannten Studien (Krook et al., 2011; Wallsten et al., 2013b; Lederer et al., 2014b) handelt es sich jeweils um eine Erhebung gemäß des bottom-up Ansatzes. Im Vergleich dazu existieren auch Analysen nach dem top-down-Ansatz. Hierbei wird versucht den gesamten Materialbestand innerhalb definierter Systemgrenzen zu erheben. Dabei werden jedoch keine Details bezüglich der Beschaffenheit dieser Bestände dargelegt. Diesbezüglich sind laut Lederer et al. (2014b) Fallstudien auf lokaler Ebene erforderlich, um ausgewählte Teile des anthropogenen Materialbestandes, hinsichtlich des Sekundärrohstoffpotentials zu analysieren. Erst dann kann eine Aussage über das Ausmaß, die Rückgewinnbarkeit, die ökonomische Durchführbarkeit und der räumlichen Verteilung getroffen werden. Die vorliegende Arbeit ist ein Versuch dieses Potential für U-Bahn-Infrastrukturen zu erheben. Lederer et al. (2014b) betonen jedoch, dass der von ihnen gewählte Ansatz (Multiplikation der Materialintensitäten mit spezifischen Abschnittslängen) mit möglichen Unsicherheiten in den Ergebnissen verbunden ist. Allerdings wird diese Methode oft im Bereich von Infrastruktursysteme eingesetzt (Tanikawa et al., 2002; Krook et al., 2011; Wallsten et al., 2013b). Diese Unsicherheiten sind existent und in komplexen Systemen, wie U-Bahn-Strukturen möglicherweise sogar noch höher. Jedoch verdeutlicht gerade dieses Problem, die Notwendigkeit weiterer Erhebungen im Detail. Im Falle einer guten Datenlage, wie bei Krook et al. (2011) oder auch Wallsten et al. (2013b) können Ergebnisse mit einer niedrigen Unsicherheit

produziert werden. Krook et al. (2011) beschreiben in ihren Untersuchungen, dass der Netzbetreiber kontinuierliche Aufzeichnungen führt, die teilweise bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts zurück reichen. Im Vergleich zu anderen Studien und der vorliegenden Arbeit kann daraus abgeleitet werden, dass das Vorhandensein und die Zugänglichkeit zu Daten die Qualität der Ergebnisse maßgeblich beeinflusst.

In Bezug auf die vorliegende Arbeit fungieren die Erhebungen von Lederer et al. (2014b) als wichtige Grundlage, da ein erster, grober Überblick über das zu untersuchende U-Bahn-System und dessen relevante Komponenten gegeben wird. Auf dieser Basis kann eine in die Tiefe gehende Erhebung stattfinden. Im Gegensatz zu Lederer et al. (2014b), wo nur öffentlich zugänglich Dokumente mit einbezogen wurden, fokussiert sich die vorliegende Arbeit auf den Zugriff interner Unterlagen des Netzbetreibers Wiener Linien, Interviews mit MitarbeiterInnen und Begehungen vor Ort. Jedoch treten auch im Zuge dieses Ansatzes Unsicherheiten im Bereich der resultierenden Ergebnisse auf. Ein zentrales Problem stellt dabei die fehlende Datengrundlage beim Netzbetreiber dar. Zu einer umfassenden Quantifizierung des Materialbestandes und dessen Ströme fehlen in dieser Arbeit 1) vollständige Angaben zu den aktuell verbauten Materialmengen und 2) Unterlagen dazu, was bei der Sanierung 2012 ausgebaut wurde und was anschließend damit passiert ist (z.B. Entsorgungsnachweise). In diesem Zusammenhang betonen auch Kohler und Hassler (2002) die Notwendigkeit zuverlässiger Modelle, hinsichtlich der Zusammensetzung und Dynamik des Gebäudebestands, da meist nur unzureichende Datengrundlagen vorliegen. Auf Grund dessen ist es laut Kohler et al. (2009) erforderlich, eine konsistente Datenbasis für den gesamten Gebäude- und Infrastrukturbestand zu schaffen. Auch Wiedenhofer et al. (2015) heben hervor, dass die primären Einschränkungen ihrer Untersuchungen sich auf die fehlende Datenverfügbarkeit, z.B. im Bereich der Bestandscharakteristik oder der Materialzusammensetzung, zurück führen lassen. In der vorliegenden Arbeit wurde im Falle nicht vorhandener Unterlagen oder nicht möglicher Datenbereitstellung auf ähnliche Studien aus dem Bereich der Materialbestandserhebung in U-Bahn-Systemen (Ott et al., 2012) herangezogen.

5.2 Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten

In der vorliegenden Arbeit wird für die U1-Stammstrecke die Sanierung während der Sommermonate im Jahr 2012 betrachtet. Die Renovierungstätigkeiten bezogen sich dabei auf die Bereiche Gleisbau, Fördertechnik, Signal- und Nachrichtentechnik, Traktionsschaltanlagen, Stromschiene, Traktionskabel und Trockenlöschleitungen. Der Großteil der darin verbauten Materialien setzt sich aus Beton, Stahl/Eisen, Kupfer und Aluminium zusammen.

Hinsichtlich der Materialbestände in U-Bahn-Infrastrukturen ist zu erwähnen, dass ein Großteil der Materialien langfristig im U-Bahn-Bestand verbleibt und innerhalb überschaubarer Zeiträume (< 100 Jahre) keiner Erneuerung unterzogen wird. Dabei handelt es sich vor allem um Beton und Stahl, die die Tragfähigkeit der unterirdischen Tunnelkonstruktionen gewährleisten (Lederer et al., 2014b). Im Gegensatz dazu existieren auch Komponenten (Aluminium, Kupfer), die eine kürzere Lebensdauer besitzen und somit nach deren Erreichen rückgewonnen werden können. In der nachfolgenden Abbildung 18 wird die prozentuelle Verteilung der Lebensdauer einzelner Materialien im U-Bahn-Bestand dargestellt.

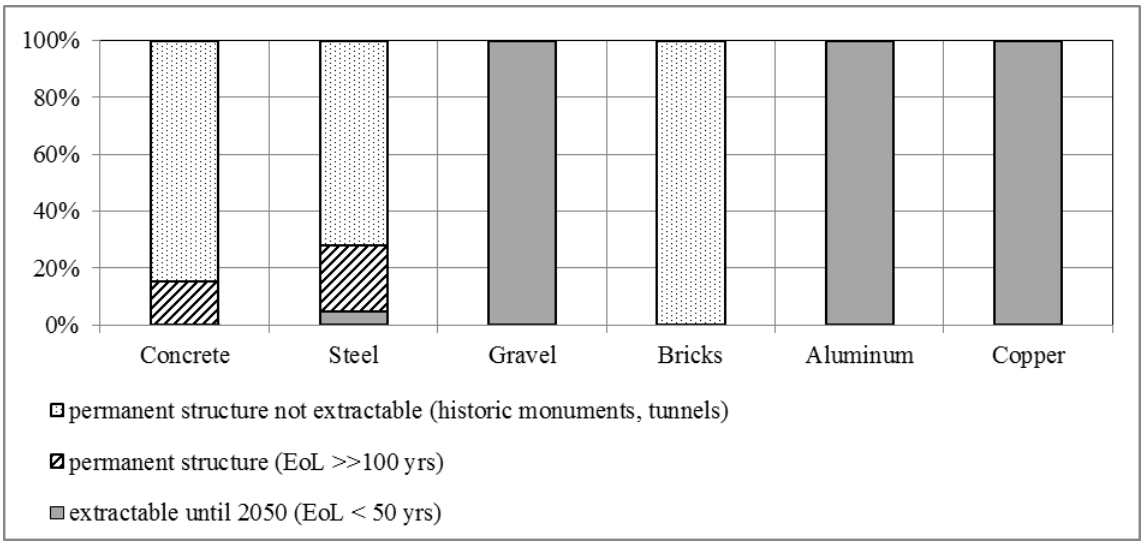

Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der Lebensdauern unterschiedlicher Materialien in U-Bahn-Netzwerken (Lederer et al., 2014b)

Abbildung 18 zeigt, dass im Falle von Beton und Stahl der überwiegende Anteil entweder in nicht extrahierbaren, permanenten Strukturen, oder in permanenten Strukturen, mit einer Lebensdauer von mehr als 100 Jahren, verbaut ist. Dadurch ist eine Rückgewinnung dieser Sekundärrohstoffe sehr unwahrscheinlich. Im Vergleich dazu ist die gesamte Menge an Kupfer und Aluminium in extrahierbaren Beständen verbaut, die eine geringere Lebensdauer (< 50 Jahre) aufweisen (Lederer et al., 2014b). Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 15 (siehe 4.3.13 Zusammenfassung Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten), wo der sanierte Anteil (in %) der ursprünglichen Materialbestände angegeben wird, ähnliche Muster. Im Rahmen der Sanierung 2012 wurde der Beton- und Stahlbestand nur marginal (< 1%) erneuert, da der überwiegende Anteil in dauerhaften Strukturen der konstruktiven Bauelemente enthalten ist. Demgegenüber wurden 57 % des Kupferbestandes und 19 % des Aluminiums ausgetauscht. Auf Grund der kürzeren Lebensdauern dieser Materialien ergibt sich ein regelmäßiger Erneuerungszyklus. Somit können diese Bauteile, im Sinne einer Rückgewinnung, als potentielle Sekundärrohstoffe wahrgenommen werden. Für genaue Lebensdauerangaben der jeweiligen Bauteile siehe Kapitel 5.3 Gegenüberstellung der Lebensdauern. Allerdings werden laut Lederer et al (2014b) nur etwa 2 % des gesamten Materialbestandes im Wiener U-Bahn-System als extrahierbar (< 100 Jahre) betrachtet. Jedoch stellt gerade diese Fraktion aus ökonomischer Sicht die wertvollste dar, weil sie 26 % des gesamten Wertes der Sekundärrohstoffe ausmacht.

Zur Beantwortung der Fragestellung 2a (siehe Kapitel 1.3 Ziel und Fragestellung) zeigen die Ergebnisse, dass Sanierungsarbeiten auf Basis unterschiedlicher Gründe durchgeführt werden. Ein von den MitarbeiterInnen der Wiener Linien erwähnte Anlass ist, dass Infrastrukturelemente oder deren Materialkomponenten das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben. Eine Erneuerung ist somit unerlässlich, um die Funktionsfähigkeit eines Systems aufrecht erhalten zu können (Gipfl, 2014). Des Weiteren finden auch Bestandserneuerungen statt, wenn die theoretische Lebensdauer noch nicht erreicht wurde. Dies kann der Fall sein bei Störungen oder Beschädigungen, aber auch wenn Sicherheitsvorschriften (z.B. Umstieg auf halogenfreie, brandbeständige Leitungen) geändert wurden (Guttmann und Kramreither, 2014). Guttmann (2014) betont auch, dass durch die Sanierung eine Erhöhung der Leistung und Verringerung des Taktintervalls erreicht wurde. Dies

verdeutlicht, dass Bauteile trotz voller Funktionsfähigkeit vor Ablauf ihrer Lebensdauer ausgetauscht werden. Ein weiterer Grund stellt auch die Durchführung einer allgemeinen Sanierung im Gesamtbestand dar (Ehn, 2014). Ein Beispiel hierfür stellt die Sanierung der U1-Stammstrecke im Jahr 2012 dar, wo der Betrieb grundsätzlich eingestellt und somit eine entsprechende Zugänglichkeit zu den Komponenten gegeben war (siehe Kapitel 4.3.4 Fördertechnik).

Im Kontext der Dynamik von Materialbeständen betonen Wiedenhofer et al. (2015), dass zur Modellierung zukünftiger Materialflüsse aus einem Bestand, ein systematisches Wissen über die Dynamik der in Verwendung stehenden Materialbestände notwendig ist. Des Weiteren sind diverse Angaben (z.B. Lebensdauer, Ausmaß, Wartungsanforderungen, Recyclingpotential) erforderlich. Eine unzureichende Datenverfügbarkeit und nicht stattfindende Dokumentation stellen dabei ein zentrales Hemmnis dar, da keine gezielte Aussage über den Bestand und dessen Inputs und Outputs getroffen werden kann. In der vorliegenden Arbeit sind keine Angaben über die Menge der ausgebauten Materialien (Output), während der Sanierung 2012, vorhanden. Die Datengrundlage bezieht sich ausschließlich auf die Inputs. Auf Grund dessen musste für jene Bereiche, wo laut MitarbeiterInnen der Wiener Linien ein vollständiger Abbruch des Bestandes und Wiedereinbau (1:1 Austausch) stattgefunden hat, folgende Annahme getroffen werden: Der Output aus dem ursprünglichen Bestand entspricht dem Input, da die gleiche Funktionsfähigkeit des Systems gewährleistet werden muss. Auf Grund dessen kann keine genaue Quantifizierung des ursprünglichen Materiallagers vor der Sanierung durchgeführt werden.

Zusätzlich betonen Wiedenhofer et al. (2015), dass die Bestandsgröße und die jeweilige Lebensdauer die zwei wichtigsten Faktoren, hinsichtlich der Beeinflussung des Materialbedarfs für Erneuerung und Wartung, darstellen. In diesem Zusammenhang konnten Tanikawa und Hashimoto (2009) feststellen, dass in Salford Quays zwischen 2011 und 2020 etwa 333 Bauwerke abgerissen werden. Für denselben Zeitraum wird für Wakayama City der Abbruch von knapp 9.500 Gebäuden erwartet. Die Untersuchungen des Gebäudeabbruches zeigen, dass die Lebensdauer von Gebäuden in beiden Untersuchungsgebieten kürzer ist als der nationale Durchschnitt. Für Salford Quays ergab sich eine Gebäudelebensdauer von etwa 81 Jahren, im Vergleich zu 128 Jahren für gesamt Großbritannien. Im Falle von Wakayama City zeigte sich, dass nach nur 28 Jahren die Gebäude ihre Lebensdauer erreicht haben und abgerissen werden, wobei der nationale Durchschnitt für Japan bei etwa 40 Jahren liegt (Tanikawa und Hashimoto, 2009). Diese Angaben zeigen, dass im Vergleich zu den identifizierten Abweichungen der Lebensdauern in U-Bahn-Systemen, auch die Lebensdauer des Gebäudebestandes von mehreren Aspekten geprägt wird. Laut Tanikawa und Hashimoto (2009) wird der Verlauf von Abbruchtätigkeiten durch den Standort, Grundstückspreis, umliegende Landnutzung und Stadtplanungen geprägt. Vor allem in dicht besiedelten Gebieten (z.B. Stadtzentrum, Geschäftsviertel) nehmen ökonomische Aspekte und einzuhaltende Bauvorschriften eine entscheidende Rolle ein. In diesem Zusammenhang betonen ebenfalls Guttmann und Kramreither (2014), dass die vorherrschende Sanierungspraxis im U-Bahn-Bereich hauptsächlich durch geänderte Bauanforderungen und die Einhaltung des aktuellen Stands der Technik geprägt wird. In Bezug auf die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit kann daraus abgeleitet werden, dass Gebäude und Infrastrukturelemente möglicherweise nicht erst dann erneuert werden, wenn sie ihre Lebensdauer erreicht haben bzw. ihre Funktionstüchtigkeit nicht mehr gegeben ist. Ein weiterer Aspekt ist laut Wiedenhofer

et al. (2015) die Nutzungsintensität der jeweiligen Bauteile. Hierzu müssen generell jene Infrastrukturen, die intensiv und häufig genutzt werden (z.B. Autobahnen), auch regelmäßiger gewartet und erneuert werden. Im Bereich des U-Bahn-Netzwerkes unterstreicht auch Loreth (2014) den Zusammenhang zwischen Erneuerungszyklus und Nutzungshäufigkeit. Vor allem historische Strecken und Stationsgebäude (z.B. U6-Linie) sind nicht auf die kurzen Fahrtintervalle der U-Bahn-Garnituren ausgerichtet. Auf Grund dessen weisen sie einen höheren Erhaltungsaufwand und kürzere Erneuerungsintervalle als neu gebaute Streckenabschnitte auf.

5.3 Gegenüberstellung der Lebensdauern

Im nachfolgenden Abschnitt werden die identifizierten Lebensdauern (siehe Fragestellung 2b Kapitel 1.3 Ziel und Fragestellung), im Rahmen der U1-Stammstreckensanierung, mit Angaben aus der Literatur verglichen. Auf Grund der unzureichenden Datenverfügbarkeit in einzelnen Abschnitten, konnten nicht in allen betrachteten Bereichen Lebensdauerangaben erhoben werden.

Im Bereich der Schieneninfrastruktur gehen Schmied und Mottschall (2013) von einer grundsätzlichen Lebensdauer von etwa 60 Jahren aus. Jedoch können langlebige Elemente, wie Brücken oder Tunnel, eine längere Lebensdauer aufweisen (etwa 100 Jahre). Bezüglich der Tunnelkonstruktionen und Stationsgebäuden im U-Bahn-Bereich wurden für die darin hauptsächlich verbauten Materialien (Beton, Stahl, Ziegel) keine spezifischen Angaben erhoben. In diesem Kontext geben jedoch Lederer et al. (2014b) an, dass diese Stoffe primär in permanenten Strukturen enthalten sind. Somit weisen sie eine längere Verweildauer im Bestand (> 100 Jahre) auf. Neben diesen langlebigen Strukturen betonen Schmied und Mottschall (2013), dass in weiterer Folge auch Einrichtungen vorliegen, die eine kürzere Lebensdauer aufweisen, z.B. Gleisschotter, Schienen und Signaltechnik. Dabei handelt es sich vor allem um die Materialien Aluminium, Schotter und Kupfer, die für kürzere Zeiträume im Bestand enthalten sind. In Bezug auf Schotter führen Lederer et al. (2014b) eine Lebensdauer von circa 15 Jahren an, die auch von Schmied und Mottschall (2010) angegeben wird. In der nachfolgenden Tabelle 33 werden die erhobenen Lebensdauern, basierend auf den Aussagen von MitarbeiterInnen (Wiener Linien), mit Angaben aus der Literatur verglichen. Im Falle der Kennzeichnung k.A. (keine Angabe), konnten keine Vergleichswerte aus der Literatur entnommen werden bzw. keine Angaben für die U1-Stammstrecke erhoben werden.

Tabelle 33: Gegenüberstellung der erhobenen Lebensdauern mit Literaturangaben (Quellen der Lebensdauerangaben: 1) Lederer et al., 2014b; 2) Ott et al., 2012; 3) Steger et al., 2011; 4) Schmied und Mottschall, 2013; 5) Fendrich, 2007)

Infrastrukturelement	Lebensdauer Wiener Linien [a]	Lebensdauer Literatur [a]	Quelle
Konstruktive Bauelemente (Tunnel, Brücken)	k.A.	100	1)
Fördertechnik	40 (Aufzüge) 35 (Fahrtreppen)	30 25	2)
Trockenlöschleitungen	35	k.A.	
Signal- und Nachrichtentechnik	25	20 30-50	3) 5)
Mittel-/Niederspannungsanlagen	30-40	k.A.	
Traktionsschaltanlagen	40	k.A.	
Stromschienen	k.A.	8	2)
Schienen	35	30	4)

Im Bereich der Fahrtreppen kam es im Falle der Sanierung 2012 nach 35 Jahren zu einer Erneuerung der Elemente. Jedoch kann laut Ehn (2014) für Einrichtungen im Bereich der Fördertechnik (Aufzüge und Fahrtreppen) eine Lebensdauer von 40 Jahren angenommen werden. Im Vergleich dazu nennen Ott et al. (2002) für Aufzüge eine Lebensdauer von etwa 30 Jahren und für Fahrtreppen gar nur 25 Jahre. Nach einem ähnlichen Zeitraum von 35 Jahren wurden die Trockenlöschleitungen entlang der gesamten U1-Stammstrecke entfernt. Laut Barwig (2014) waren diese Einrichtungen noch funktionsfähig, konnten jedoch nicht mehr die geforderten Sicherheitsanforderungen erfüllen. Diese Sanierungspraxis entspricht auch den Aussagen von Guttmann und Kramreither (2014). Dabei werden vor allem Bestandserneuerungen durchgeführt, um technische Vorschriften und in weiterer Folge den aktuellen Stand der Technik erfüllen zu können.

Die Signal- und Nachrichtentechnik muss gemäß Strahberger (2014) nach etwa 25 Jahren erneuert werden, um einen störungsfreien Betrieb aufrecht erhalte zu können. Hierzu geben auch Steger et al. (2011) eine Nutzungsdauer von Signalanlagen von ungefähr 20 Jahre an. Schmied und Mottschall (2013) differenzieren dabei für den Schienenverkehr zwischen Haupt- und Vorsignale mit einer Lebensdauer von 25 Jahren und Weichensignale mit 15 Jahren. Abweichend dazu gibt Fendrich (2007), je nach Belastungen und Umgebungseinflüssen, eine Lebensdauer von 30 bis zu 50 Jahren an. Im Gegensatz dazu weisen die Bauteile im Bereich der Mittel- und Niederspannungsanlagen eine längere Lebensdauer von etwa 30 bis 40 Jahren auf. Hierbei kann es zu möglichen Abweichungen kommen, durch auftretende Schwierigkeiten und Beschädigungen im Rahmen des Einbaus. In weiterer Folge weisen diese Elemente eine hohe Robustheit auf (Leutgeb, 2015). In diesen Bereichen muss auch hinsichtlich der eingesetzten Materialien unterschieden werden. Grundsätzlich werden Kabeln aus Aluminium und Kupfer eingesetzt, die jedoch eine unterschiedliche Lebensdauer aufweisen. Gemäß Lederer et al. (2014b) muss für Aluminium eine kürzere Lebensdauer, z.B. 15 Jahre im Bereich der Traktionsstromversorgung angenommen werden, während Kupferkabeln eine mittlere Lebensdauer von 30 Jahren zugeordnet werden kann. Die zu erwartende Lebensdauer der Stromschienen ist abhängig vom Streckenbereich in dem sie installiert sind (Anfahrts-, Strecken-, Bremsbereich), kann aber laut Ott et al. (2012) mit etwa 8 Jahren angenommen werden.

Im Bereich der Schienen geben Schmied und Mottschall (2013) eine Lebensdauer von etwa 30 Jahren an. Vergleichend dazu wiesen die ausgetauschten Gleisanlagen, entlang der U1-Stammstrecke, zum Zeitpunkt der Sanierung ein ähnliches Alter von 35 Jahren auf. In diesem Kontext besitzen gemäß Schmied und Mottschall (2013) Schwellen eine Lebensdauer von etwa 30 bis 35 Jahren, während der Gleisunterbau für eine durchschnittliche Zeitspanne von 60 Jahren im Bestand verbleibt.

Zusammenfassend kann daraus abgeleitet werden, dass es zu Abweichungen zwischen den theoretischen Lebensdauerangaben aus der Literatur und den praktischen Lebensdauern im Bereich der U-Bahn-Infrastruktur der Wiener Linien kommen kann. Grund dafür kann die vorherrschende Sanierungspraxis im Materialbestand darstellen, da dabei Bauteile oder Komponenten vor Erreichen ihrer Lebensdauer entfernt werden. Aber auch unterschiedliche Nutzungsintensitäten und standortspezifische Umwelteinflüsse können diese Diskrepanz hervorrufen (siehe Kapitel 5.2 Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten).

5.4 Hibernating Stocks

In Hinsicht auf die Fragestellungen 4), 4a) und 4b) (siehe Kapitel 1.3 Ziel und Fragestellung) konnten entlang der U1-Stammstrecke vorhandene Hibernating Stocks identifiziert werden. Neben sogenannten Schwalllüftern in der Sektion Brandrauchentlüftung, kann im Bereich der Mittelspannungs- und Niederspannungsanlagen ein nicht geringer Anteil ungenutzter Materialbestände angenommen werden. Dabei handelt es sich vor allem um die Materialien Stahl, Kupfer und Aluminium. Doch gerade diese Metalle weisen laut Lederer et al. (2014b) die höchsten Sekundärrohstoffwerte auf, auch wenn sie mengenmäßig im Bestand nur einen geringen Anteil ausmachen. Zentral bei der Entstehung dieser Hibernating Stocks ist, dass die diversen Kabelelemente eine geringe Zugänglichkeit aufweisen, was die Kosten für deren Entfernung ansteigen lässt. Die Stahlblechkonstruktion des Schwalllüfters befindet sich im Tunnel auf der Strecke und ist, auf Grund der Lüftergröße, umfangreich. Eine Entfernung würde zu einem hohen Aufwand und eventuell zu einer Unterbrechung des U-Bahn-Verkehrs führen. Daraus kann abgeleitet werden, dass eine Extraktion dieser ungenutzten Materialbestände eher unwahrscheinlich ist.

Im Vergleich dazu quantifizieren Krook et al. (2011) den nicht in Betrieb befindlichen Kupferbestand im Stromnetz zweier schwedischer Städte (Göteborg, Linköping). Beispielhaft konnte in Göteborg festgestellt werden, dass etwa 20 % der Mittelspannungskabel (521 km) und 13 % der Leitungen im Niederspannungsbereich (692 km) nicht mehr in Verwendung stehen. In Göteborg befindet sich eine gesamte Kupferakkumulation in obsoleten Teilen des Stromnetzes von etwa 1.700 t. In einer ähnlichen Studie in der schwedischen Stadt Norrköping erhoben Wallsten et al. (2013b) die nicht in Verwendung stehenden Teile verschiedener Infrastrukturen und deren räumliche Distribution. Die Ergebnisse zeigen, dass über 20 % des gesamten Bestandes an Aluminium und Kupfer in diesen Systemen außer Betrieb sind. Dies entspricht etwa 5.000 t an Metallen. Die Quantifizierung dieser Metallbestände erfolgte auf Basis des Metallgehaltes pro Laufmeter Kabel oder Rohr. Dieser wurde mit einem Längenfaktor multipliziert, um den Gesamtgehalt des aktiven und inaktiven Bestandes zu erreichen (Wallsten et al., 2013b). Krook et al. (2011) folgten einer ähnlichen Vorgehensweise, wobei die vorherrschende Datenlage zu den jeweiligen Stromnetzen eine relativ genaue Erhebung der existierenden Hibernating Stocks ermöglichte. In diesem Zusammenhang beschreiben Krook et al. (2011), dass die

Stromnetzbetreiber in beiden Städten eine kontinuierliche Aufzeichnung ihrer Netzwerke seit Anfang des 20. Jahrhunderts verfolgen. Des Weiteren liegen Informationen über die verbaute Menge bzw. Länge, Zusammensetzung, räumliche Verteilung und Betriebszustandes des Netzes vor.

Betreffend die betrachtete U1-Stammstrecke liegen nur unzureichende oder keine Informationen zum Betriebszustand einzelner Komponenten vor. Eine entsprechende Dokumentation wird vom Netzbetreiber Wiener Linien nicht durchgeführt. Ein Grund für diese unzureichende Datenlage ist möglicherweise die Tatsache, dass es sich im Falle der U1-Stammstrecke um den ältesten Abschnitt des Wiener U-Bahn-Systems handelt. Diesbezüglich betont Lassy (2014), dass sich in den letzten Jahrzehnten, seit Baubeginn der Wiener U-Bahn, die Interessen des Betreibers verschoben haben. Er berichtet davon, dass in den frühen Bauphasen der Fokus auf dem funktionierenden Betrieb lag und wenige Überlegungen im Bereich zukünftig notwendiger Sanierungen bzw. Inputs und Outputs stattfanden. Im Vergleich dazu liegen bei aktuellen Neubauten, wie der U2-Verlängerung nach Seestadt, detailliertere und aussagekräftigere Unterlagen zum verbauten Materialbestand vor (Ott et al., 2012). Bezüglich der U1-Stammstrecke handelt es sich außerdem um einen kontinuierlich angewachsenen Bestand seit etwa 40 Jahren. Auf Grund dessen ist eine abschnittsweise, vollständige Erhebung allfälliger Hibernating Stocks kaum möglich und nur mit hohen zeitlichen und finanziellen Aufwendungen durchführbar. Jedoch können laut Leutgeb (2015) beträchtliche Hibernating Stocks, z.B. im Bereich der Nieder- und Mittelspannungsanlagen, angenommen werden. Ein Grund dafür ist u.a. die vorherrschende Sanierungspraxis, die keine Entfernung der Altbestände vorsieht, im Falle zu hoher Kosten, schwieriger Zugänglichkeit zu den Materialbeständen und wenn ausreichend Platz für neue Leitungen vorhanden ist (für weitere Gründe zur Entstehung von Hibernating Stocks siehe Kapitel 5.4.1). Jedoch muss, mit Verweis auf die Erhebungen von Krook et al. (2011), ebenfalls im Bereich der Mittel- und Niederspannungsanlagen, davon ausgegangen werden, dass in der U-Bahn-Infrastruktur große Mengen an potenziell nutzbarem Kupfer und Aluminium vorliegen.

Eine Vorgehensweise, gemäß dem bottom-up Ansatz, liefert im Normallfall detaillierte und aussagekräftige Ergebnisse, da die prinzipiellen Lagerstätten der betrachteten Stoffe identifiziert und aufsummiert werden. Der Gehalt je Serviceeinheit wird mit der Information, bezüglich der Anzahl vorhandener Einheiten kombiniert (Gordon et al., 2006), um in weiterer Folge den in Verwendung stehenden Materialbestand zu ermitteln (Kapur und Graedel, 2006). Jedoch ermöglicht dieser Ansatz nur im Falle vorliegender Daten und durchgeführter Dokumentationen adäquate Aussagen über vorhandene Hibernating Stocks. Des Weiteren stellt dieser Ansatz, im Vergleich zu top-down-Analysen, eine zeitlich und finanziell aufwendigere Vorgehensweise dar. Im Falle dieser Arbeit ist diese Herangehensweise jedoch sinnvoller, da gezielt spezifische Bestände und Materialien identifiziert werden sollen, auch wenn teilweise nur Vermutungen über die Bestandsgröße angestellt werden können. In dieser Arbeit konnten nur beispielhaft ungenutzte Materialbestände identifiziert werden, was weiterführende, zukünftige Forschungstätigkeit in diesem Bereich unabdingbar macht.

Auch außerhalb des Infrastrukturbereiches existieren Hibernating Stocks mit beträchtlichen Materialmengen. In diesem Kontext berichten Kapur und Graedel (2006) bezüglich elektrischer und elektronischer Geräte in privaten Haushalten im US-Bundesstaat Connecticut von einem nicht in Verwendung stehenden Kupferanteil

von etwa 8 %. Jedoch wird betont, dass sich für Produkte wie Kühlschränke oder Fernseher meist nur ein verzögerter Abgang in die Abfallwirtschaft und anschließendes Recycling ergibt. Im Gegensatz dazu besteht die Gefahr, dass Hibernating Stocks in Infrastruktureinrichtungen für lange Zeit nicht wahrgenommen und vergessen werden. Ein Beispiel dafür ist der Umstieg von der Gleichstromversorgung auf Wechselstrom in der schwedischen Stadt Norrköping. In den 1930er Jahren wurden dafür entsprechende Leitungen außer Betreib genommen, jedoch wurden diese nie aus dem Untergrund entfernt. Schätzungen nach enthalten diese Infrastrukturelemente etwa 230 t an Kupfer (Wallsten et al., 2013b).

Im nachfolgenden Abschnitt werden in Anlehnung an die Fragestellung 4 (siehe Kapitel 1.3 Ziel und Fragestellung) die Gründe für das Entstehen von Hibernating Stocks diskutiert und potentielle Lösungsmöglichkeiten genannt. Die einzelnen Aussagen der MitarbeiterInnen von Wiener Linien werden dabei mit Angaben aus der Literatur vergleichend gegenübergestellt. Anschließend werden die identifizierten, ungenutzten Materialbestände er U1-Stammstrecke im Kontext der in Kapitel 2.4 dargestellten Klassifikation von Hibernating Stocks (Wallsten et al., 2013a) diskutiert.

5.4.1 Gründe und Logik des Hibernating Stock

Durch die Aussagen der MitarbeiterInnen der Wiener Linien konnte die mangelhafte Zugänglichkeit zu Materialbeständen als wichtige Voraussetzung für die Ausbildung von Hibernating Stocks identifiziert werden. Auch Wallsten et al. (2013a) bezeichnen den unterirdischen Standort und die nicht direkte Wahrnehmung als die zentrale Rahmenbedingung für die Entstehung von ungenutzten Materialbeständen. Krook et al. (2011) sehen darin ein zentrales Risiko, dass solche urbanen Bestände, die möglicherweise Metalle (Kupfer, Eisen, Aluminium) enthalten, vergessen werden können. Des Weiteren ist auf Grund der unterirdischen Situierung eine wirtschaftliche Extraktion im Regelfall nicht durchführbar. Dies trifft vor allem zu, wenn obsolet gewordene Bestandteile unter Fußwegen und Straßenpflaster situiert sind. Mit diesen Ansichten kann eine Verbindung zu den Aussagen von Ehn (2014) gezogen werden. Ehn (2014) betont dabei, dass eine temporäre Einstellung des U-Bahn-Betriebes, zum Zwecke der Sanierung, enorme Kosten verursachen würde. In diesem Fall überwiegen die Erlöse aus der Materialrückgewinnung und Verwertung, bei weitem nicht die Kosten für Aushub, Standortsanierung, Lagerung des ausgehobenen Materials und Störung des Verkehrs (Krook et al., 2011). Diesbezüglich beschreibt auch Barwig (2014), dass es zu finanziellen Verlusten kommen würde, wodurch keine Entfernung und Verwertung dieser Infrastrukturelemente stattfinden würde. Erst wenn die Preise für Sekundärrohstoffe (z.B. Kupfer) um ein Vielfaches ansteigen würde, würden solche Initiativen zu einer möglichen ökonomisch sinnvollen Option werden (Krook et al., 2011, Wallsten et al., 2013b). Durch diese ähnlichen Anschauungen kann bereits festgestellt werden, dass die anfallenden Kosten und potenziell erzielbaren Erlöse das zentrale Entscheidungskriterium für die Rückgewinnung von Hibernating Stocks darstellen.

Wallsten et al. (2013a) sehen in der unzureichenden Dokumentation außer Betrieb genommener Infrastrukturelemente einen weiteren zentralen Grund für die Entstehung von Hibernating Stocks. Dies führt dazu, dass ungenutzte Bestände und deren jeweilige Standorte gar nicht bekannt sind. Auf Grund dessen würde deren räumliche und mengenmäßige Erhebung enorme finanzielle und zeitliche Aufwendungen verursachen. Leutgeb (2015) beschrieb diesbezüglich, dass im Bereich der Mittel- und Niederspannungsanlagen ein nicht kleiner Anteil der außer

Betrieb befindlichen Leitungen, im Zuge des Einbaus neuer Elemente, nicht entfernt wurde. Jedoch fehlen in diesem Zusammenhang entsprechende Aufzeichnungen oder Grundlagen zu deren Abschätzung. Somit kann keine quantitative Aussage über den vorhandenen Bestand an Hibernating Stocks getroffen werden.

Das Wiener-U-Bahnnetz wird nur von einem Besitzer (Wiener Linien) betrieben, ähnlich wie in der Studie von Krook et al. (2011). Grundsätzlich sollte dies eine adäquate Bewirtschaftung und Nutzung potenzieller Sekundärrohstoffe einfacher machen (Lederer et al., 2014b). Jedoch stellen Hibernating Stocks laut Krook et al. (2011) für Netzbetreiber ein neues Phänomen dar. Dieses liegt peripher zum eigentlichen Kerngeschäft und hat dadurch noch nicht Eingang in die Unternehmensstrategien und Vorgehensweisen gefunden. Diese Begründung wurde auch von vielen MitarbeiterInnen (Lassy, 2014) der Wiener Linien dar gebracht. Ihre Aufgabe sehen sie grundsätzlich darin, einen reibungslosen Betrieb des U-Bahn-Systems zu ermöglichen und aufrecht erhalten zu können. Eine nachhaltige Bewirtschaftung vorhandener Materialbestände und Infrastruktureinrichtungen, gemäß Urban Mining, liegt derzeit noch außerhalb ihrer angestrebten Ziele (Leutgeb und Widl, 2015; Magdits et al., 2014). Diese noch fehlende Miteinbeziehung in die traditionellen Prozeduren der Projektplanung zeigt laut Krook et al. (2011) ein zentrales organisatorisches Hemmnis für die Wiedergewinnung und Verwertung obsolet gewordener Elemente. Eine weitere Barriere hinsichtlich der Nutzung ungenutzter Lagerbestände liegt gemäß Wallsten et al. (2013a) darin, dass zurück gebliebene Infrastrukturbestandteile im Untergrund aus rechtlicher Sicht nicht als Abfälle deklariert werden und somit auch nicht den abfallwirtschaftlichen Regelungen unterliegen. Diverse Anpassungen in diesem Bereich würden möglicherweise zu einer bewussteren Wahrnehmung und verstärkten Rückgewinnung dieser Materialien führen.

Eine mögliche Lösung für diese Problemstellung stellt laut Wallsten et al. (2013b) eine integrierendere Herangehensweise dar. Dabei soll eine Rückgewinnung ungenutzter Materialien, im Zusammenhang mit anderen Instandhaltungsaktivitäten, erfolgen. Ein rentablerer Ansatz wäre dabei, die obsoleten Materialien zu entfernen, während andere Sanierungstätigkeiten am Netz durchgeführt werden. Die Kosten für die Wartungsarbeiten würden dadurch gleich bleiben. Jedoch ergeben sich durch diese Vorgehensweise auch gewisse Zusatzkosten, wie Extrahierung, Transport der Materialien zu Recyclingunternehmen, umfangreichere Projektplanung und Störung des Verkehrs. Deren Ausmaß ist aber wesentlich von situationsspezifischen Bedingungen abhängig, z.B. wo genau der Aushub erfolgt. In einer Studie konnten Krook et al. (2011) darlegen, dass für elektrische Leitungen mit einem Kupferanteil von etwa 3 kg/m, in vielen Fällen die Erlöse die zusätzlichen Kosten übersteigen würden. In diesem Zusammenhang stellt die Analyse diverser technischer, ökonomischer und institutioneller Rahmenbedingungen für die Rückgewinnung von Hibernating Stocks eine Herausforderung für die zukünftige Forschungstätigkeit dar. Auf Basis derer können Initiativen bezüglich Urban Mining voran getrieben und stimuliert werden.

5.4.2 Klassifikation des Hibernating Stock

Gemäß Wallsten et al. (2013a) ergeben sich drei verschiedene räumliche Muster, warum Teile eines Infrastruktursystems außer Betrieb genommen werden: 1) Infrastructure coma, 2) Infrastructure paralysis und 3) Dormant cells (siehe Kapitel 2.4 Der Hibernating Stock). Auf Basis der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass die identifizierten Hibernating Stocks entlang der U1-Stammstrecke nicht in die

Kategorie des Infrastructure coma fallen. Wallsten et al. (2013a) beschreiben nämlich in diesem Zusammenhang, dass dabei Infrastruktursysteme in ihrer Gesamtheit außer Betrieb genommen werden, z.B. im Falle eines kompletten Systemwechsels von Gleichstrom auf Wechselstrom. Dies trifft jedoch in Bezug auf die Fallstudie nicht zu. Auch die zweite Kategorie Infrastructure paralysis scheint keine adäquate Erklärung für die Entstehung von Hibernating Stocks geben zu können. Die notwendigen Voraussetzungen, z.B. die Systemexpansion in Gebiete, die bereits ein konkurrierendes System für denselben Zweck haben oder die Trennung von Infrastrukturzonen (Wallsten et al., 2013a) passen nicht für den betrachteten U-Bahn-Abschnitt. Des Weiteren definieren Wallsten et al. (2013a) Dormant Cells als ruhende Bereiche, die das Ergebnis von Fehlern, Ausfällen oder Überschreitungen der jeweiligen Lebensdauern sind. In Bezug auf die identifizierten und potenziellen Hibernating Stocks der U1-Stammstrecke kann dies als Erklärungsansatz für deren Entstehung heran gezogen werden. In diesem Zusammenhang beeinflussen gemäß Wallsten et al. (2013a) verschiedene Faktoren, wie herrschender Kostendruck oder Zeitstress beim Ein- oder Ausbau die Entstehung außer Betrieb befindlicher Infrastrukturelemente. Ähnliches beschreibt auch Strahberger (2014), dass auf Grund der finanziellen Aufwendungen von einer Entfernung und anschließenden Nutzung abgesehen wird. Einzige Ausnahmen in diesem Zusammenhang ergeben sich gemäß Kramreither (2014) wenn die potenziell erzielbaren Erlöse, im Rahmen der stofflichen Verwertung, die Kosten der Extraktion überschreiten. Dies ist trifft vor allem auf den Bereich der Traktionskabel zu, infolge der leichten Zugänglichkeit, verbunden mit einem hohen Kupferanteil und dessen ökonomischen Wert. Des Weiteren betonen Wallsten et al. (2013a) die geringen Anreize für eine mengenmäßige und räumliche Dokumentation von Hibernating Stocks. Dieser Aspekt wird auch von Leutgeb (2015) aufgegriffen. Er beschreibt, dass in der Regel Aufzeichnungen von nicht verwendeten Materialbeständen oder Grundlagen zu deren Abschätzung völlig fehlen. Somit kann einerseits keine Aussage bezüglich des vorhandenen nicht in Betrieb befindlichen Bestandes getroffen werden und andererseits ist man sich derer grundsätzlicher Existenz gar nicht bewusst. Zusammenfassend kann hinsichtlich der Fragestellungen 4a) und 4b) (siehe Kapitel 1.3 Ziel und Fragestellung) folgendes abgeleitet werden. Auf Grund des Nichtzutreffens der ersten beiden Erklärungsansätze und der Übereinstimmung mit den Aussagen vonseiten der Wiener Linien, scheint das Klassifikationsmuster der Dormant cells (Wallsten et al., 2013a) auf die Fallstudie zuzutreffen.

6. Schlussfolgerung

Im Zusammenhang mit der möglichen Nutzung anthropogener Materialbestände als potentielle Sekundärrohstoffquellen (Urban Mining), wurden bereits einige Arbeiten, vor allem im Bereich des Gebäudeparks, durchgeführt. Dabei wurden auch Infrastrukturanlagen (z.B. Eisenbahnen, Straßen) betrachtet, jedoch blieb der U-Bahn-Bereich bislang weitgehend unberührt. Auf Grund dessen stellt diese Arbeit den Versuch dar, zu erheben, ob U-Bahn-Infrastruktursysteme über ein Potential als nutzbare Sekundärrohstofflagerstätten verfügen. Dabei wird die U1-Stammstrecke des Wiener U-Bahn-Netzes als Fallbeispiel heran gezogen. Die Ergebnisse zeigen, dass die überwiegende Materialmenge (Beton und Stahl/Eisen) in permanenten Strukturen (Lederer et al., 2014b) enthalten ist. Auf Grund der langen Verweildauern im Bestand (>100 Jahre), ist eine Rückgewinnung dieser Komponenten nicht möglich. Unter Berücksichtigung der Lebensdauern einzelner Bauteile und der üblichen Sanierungspraxis kann jedoch gezeigt werden, dass Komponenten aus Kupfer und Aluminium eine kürzere Lebensdauer aufweisen. Dadurch können diese Materialien als potentielle Sekundärrohstoffe betrachtet werden.

Hinsichtlich einer möglichen Prognostizierung des zukünftigen Outputs aus dem betrachteten Materialbestand zeigt sich allerdings, dass es durch die vorherrschende Sanierungspraxis zu Abweichungen zwischen der theoretischen und praktischen Lebensdauer kommen kann. Die wesentlichen Gründe dafür sind geänderte technische Vorschriften, aber auch bereits stattfindende Sanierungen im Bestand, um den aktuellen Stand der Technik erfüllen zu können.

Des Weiteren konnten auf Ebene von Fallbeispielen vorhandene Hibernating Stocks im U-Bahn-Bestand identifiziert werden. Jedoch ist es auf Grund der nicht vorhandenen Datengrundlage bzw. deren unzureichende Verfügbarkeit nicht möglich eine genaue quantitative Abschätzung durchzuführen, obwohl z.B. im Bereich der Mittel- und Niederspannungsanlagen von einem beträchtlichen Anteil ausgegangen werden muss. Die Entstehungsgründe liegen dabei primär in der fehlenden Kosteneffizienz im Rahmen der Rückgewinnung, der unzureichenden Zugänglichkeit und der nicht vorliegenden Aufzeichnungen von existierenden Hibernating Stocks. Diese mangelnde Kenntnis, über das Ausmaß und die räumliche Distribution, betont den dringenden Forschungsbedarf in diesem Bereich. Zukünftige Arbeiten sollten sich in Zusammenarbeit mit dem Netzwerkbetreiber auf nicht in Verwendung stehende Materialbestände fokussieren, um die Sicherheit bezüglich deren Existenz und tatsächliche Bestandsgröße zu verbessern. Des Weiteren ist es notwendig, darauf aufbauend mögliche Methoden zur Materialrückgewinnung zu entwickeln und implementieren, mit dem Ziel die Kosten für die Rückgewinnung zu minimieren. In diesem Kontext muss laut Wiedenhofer et al. (2015) der zusätzliche Nutzen einer verbesserten Datenlage und einheitlichen Harmonisierung betont werden. Diesbezüglich würden neben dem Netzwerkbetreiber und der Wissenschaft, auch darauf basierende Politikempfehlungen sehr profitieren.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema der zentralen Interaktionen zwischen Anthroposphäre und Umwelt in einer regionalen Wirtschaft (nach Baccini und Brunner, 1991) 6

Abbildung 2: Schematische Darstellung des urbanen Stoffflusses (nach Daxbeck et al., 1996) 7

Abbildung 3: McKelvey-System zur Ressourcenklassifikation (Smil, 2003) 9

Abbildung 4: Abschnitt der U1-Modernisierung zwischen Reumannplatz und Schwedenplatz (Wiener Linien, 2012). 16

Abbildung 5: Kabel der Mittelspannungsanlagen 26

Abbildung 6: Innenleben eines Schaltkastens 28

Abbildung 7: Stahlblech-Lüftungskanäle der Brandrauchentlüftung 29

Abbildung 8: Trockenlöschleitung am Bahnsteig der Station Karlsplatz 31

Abbildung 9: Betonbestand, aufgeteilt nach Bauteilen 34

Abbildung 10: Stahl- und Eisenbestand, aufgeteilt nach Bauteilen 34

Abbildung 11: Kupferbestand aufgeteilt nach Bauteilen 35

Abbildung 12: Aluminiumbestand aufgeteilt nach Bauteilen 35

Abbildung 13: Prozentuelle Aufteilung des Materialbestandes pro Bereich 36

Abbildung 14: Prozentueller sanierter Anteil des ursprünglichen Materialbestands pro Bereich 46

Abbildung 15: Sanierter Anteil (in %) des ursprünglichen Materialbestands 47

Abbildung 16: Schwallüfter Theresianum-Notausstieg 49

Abbildung 17: Außer Betrieb genommene Kabelbestände im Bereich der Mittelspannungsanlagen 50

Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der Lebensdauern unterschiedlicher Materialien in U-Bahn-Netzwerken (Lederer et al., 2014b) 56

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 :Bauabschnitte der U1-Linie, jeweilige Länge, Baulage und Bauweise (Quellen: 1) Hinkel, 1985; 2) Hödl, 2009; Hödl, 2006) 20

Tabelle 2: Betrachtete Bereiche, Elemente und verbaute Materialien der U1-Stammstrecke 21

Tabelle 3: Materialintensität der U1-Stammstrecke je eingesetzter Baumethode (modifiziert nach Lederer et al., 2014b) Quellen zur Materialintensität: 1) Ott et al., 2012; 2) Hödl, 2006; 3) Hödl, 2008; 4) Hinkel, 1985.....22

Tabelle 4: Gesamte Beton- und Stahlmenge der Konstruktiven Bauelemente für die U1-Stammstrecke (nach Lederer et al., 2014b) 22

Tabelle 5: Materialintensitäten und Materialmengen im Bereich Gleisbau (modifiziert nach Lederer et al., 2014b) Quellen zur Materialintensität: 1) Ott et al., 2012; 2) Lederer et al., 2014b zit. nach Strabag, s.a.; 3) Hödl, 2006; 4) Lederer et al., 2014b zit. nach Voestalpine, 2013; 5) Schmied und Mottschall, 2013.....23

Tabelle 6: Innenausbau der Stationen in Tieflage (nach Ott et al., 2012) 23

Tabelle 7: Anzahl der Aufzüge in U1-Stationen der Stammstrecke (nach Ehn, 2014) 24

Tabelle 8: Material- und Mengenabschätzung pro Aufzug (nach Ehn, 2014).....24

Tabelle 9: Anzahl der Fahrtreppen in U1-Stationen (nach Ehn, 2014) 25

Tabelle 10: Massenabschätzung Fahrtreppen für eine gesamte Hubhöhe von 627 m (nach Ott, 2012) 25

Tabelle 11: Massenabschätzung der Leitungen im Niederspannungsbereich (nach Ott et al., 2012) ..26

Tabelle 12: Massenabschätzung der 20kV-Leitungen im Mittelspannungsbereich (nach Leutgeb, 2015).....27

Tabelle 13: Signal- und Nachrichtenverkabelung entlang der U1-Stammsträcke, einschließlich des Kupfergehaltes (nach Strahberger, 2014) 27

Tabelle 14: Massenabschätzung Traktionsschaltanlagen nach Einspeise- und Kuppelstationen (nach Guttmann, 2014).....28

Tabelle 15: Material- und Massenabschätzung im Bereich Stromschienen und Traktionskabel (nach Kramreither, 2014).....29

Tabelle 16: Abschätzung der Stahlblech-Lüftungskanäle im Bereich der Brandrauchentlüftung U1-Stammstrecke (nach Lassy, 2014) 30

Tabelle 17: Anzahl der Ventilatoren der Brandrauchentlüftung entlang der U1-Stammstrecke, einschließlich Massenabschätzung (nach Lassy, 2014) 30

Tabelle 18: Längen- und Massenabschätzung des verzinkten Stahlblechs in Stationslüftungen 31

Tabelle 19: Längen- und Massenabschätzung der Trockenlöschleitungen entlang der U1-Stammstrecke.....32

Tabelle 20: Datenverfügbarkeit zum ursprünglichen Materialbestand in den einzelnen Bereichen.....32

Tabelle 21: Auflistung der insgesamt verbauten Materialmengen je nach Einsatzbereich 33

Tabelle 22: Inputs und Outputs der Sanierung im Bereich Gleisbau 37

Tabelle 23: Massenabschätzung der Fahrtreppen für die Station Stephansplatz (eigene Darstellung nach Ott, 2012) 38

Tabelle 24: Signal- und Nachrichtenverkabelung entlang der U1-Stammstrecke, einschließlich der spezifischen Längen und Kupferanteile (Strahberger, 2014). 40

Tabelle 25: Massenabschätzung der neu eingebauten Traktionsschaltanlagen nach Einspeise- und Kuppelstationen (eigene Darstellung nach Guttmann, 2014).....41

Tabelle 26: Material- und Mengenabschätzung der Stromschienen und Traktionskabel entlang der U1-Stammstrecke: RP-Reumannplatz, KE-Keplerplatz, SL-Südtiroler Platz, TA-Taubstummengasse, KP-Karlsplatz, SZ-Stephansplatz (eigene Darstellung nach Kramreither, 2014). 42

Tabelle 27: Längen- und Massenabschätzung der Trockenlöschleitungen entlang der U1-Stammstrecke (eigene Darstellung nach Lenz, 2014). 43

Tabelle 28: Datenverfügbarkeit zu Inputs und Outputs bei Sanierungstätigkeiten in den einzelnen Bereichen 44

Tabelle 29: Gegenüberstellung des Materiallagers vor der Sanierung mit den Inputs und Outputs während der Sanierungstätigkeiten (Cu-Kupfer, Al-Aluminium) 45

Tabelle 30: Angabe von Lebensdauern der sanierten Infrastrukturelemente entlang der U1-Stammstrecke durch die MitarbeiterInnen der Wiener Linien (Ehn, 2014; Leutgeb, 2015; Strahberger, 2014; Guttmann, 2014; Kramreither, 2014; Barwig, 2014) 47

Tabelle 31: Abschätzung der Stahlblech-Konstruktion des Schwalllüfters bei Theresianum-Notausstieg 49

Tabelle 32: Gegenüberstellung der Materialintensitäten unterschiedlicher U-Bahn-Abschnitte (Daten für Materialintensität stammen aus 1) Ott et al., 2012; 2) Lederer et al., 2014b; 3) Schmied und Mottschall, 2013) 53

Tabelle 33: Gegenüberstellung der erhobenen Lebensdauern mit Literaturangaben (Quellen der Lebensdauerangaben: 1) Lederer et al., 2014b; 2) Ott et al., 2012; 3) Steger et al., 2011; 4) Schmied und Mottschall, 2013; 5) Fendrich, 2007) 59

9. Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BAWP	Bundes-Abfallwirtschaftsplan
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
GIS	Geoinformationssysteme
KE	Keplerplatz
k.A.	keine Angabe
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KP	Karlsplatz
Lfm	Laufmeter
m	Meter
mm	Millimeter
mm^2	Quadratmillimeter
m^2	Quadratmeter
m^3	Kubikmeter
Mio.	Million
MFA	Materialflussanalyse
Mrd.	Milliarde
PKW	Personenkraftwagen
RP	Reumannplatz
SL	Südtiroler Platz
SP	Schwedenplatz
Stk.	Stück
SZ	Stephansplatz
t	Tonne
TA	Taubstummengasse
u.a.	unter anderem
UNEP	United Nations Environment Programme
WL	Wiener Linien
z.B.	zum Beispiel

10. Literaturverzeichnis

Atteslander, P., 2010. Methoden der empirischen Sozialforschung. 13. Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG.

Baccini, P., Brunner, P.H., 1991. Metabolism of the Anthroposphere. Heidelberg, Berlin, New York: Springer.

Baccini, P., Bader, H.-P., 1996. Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung und Steuerung. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.

BMLFUW-Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2011. Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011.

Bonifazi, G., Cossu, R., 2013. The Urban Mining Concept. Waste Managment. 33, 497-498.

Brandstetter, W., 2014. Persönliche Mitteilung. Telefonat am 18.11.2015.

Brunner, P.H., 2011. Urban Mining – A Contribution to Reindustrializing the City. Journal of Industrial Ecology. 15, 339-341.

Brunner, P.H., Rechberger, H., 2004. Practical Handbook of Material Flow Analysis. Boca Raton: Lewis Publishers.

Carol, H., 1956. Zur Diskussion um Landschaft und Geographie.

Chen, W.-Q., Gradel, T.E., 2012. Dynamic analysis of aluminium stocks and flows in the United States: 1900-2009. Ecological Economics. 81, 92-102.

Daigo, I., Igarashi, Y., Matsuno, Y., Adachi, Y., 2007. Accounting for Steel Stock in Japan. ISIJ International. 47 (7), 1065-1069.

Daxbeck, H., Lampert, C., Morf, L., Obernosterer, R., Rechberger, H., Reiner, I., Brunner, P.H., 1996. Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien: Projekt PILOT. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abteilung Abfallwirtschaft.

Deilmann, C., Gruhler, K., 2005. Stoff- und Energieflüsse von Gebäuden und Infrastrukturen als Grundlage für ein vorausschauendes szenariogeleitetes Stoffstrommanagement. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. 57 (7/8), 103-109.

Fendrich, L., 2007. Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Fichter, K., Hintemann, R., 2014. Beyond Energy. Journal of Industrial Ecology. 18, 846-858.

Fischer-Kowalsi, M., Haber, H., 2007 Socioecological Transitions and Global Change: Trajectories of Social Metabolism and Land Use. Celtenham:Elgar.

Foltin, K., 1989. Gestalterische Auswirkungen der Linie auf verkehrsberuhigte Bereiche. In: MA 38 (Hrsg.): Die U-Bahn-Linie U6. Wien: Compress Verlag, 39-40.

Froschauer, U., Lueger, M., 2003. Das qualitative Interview. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.

Hinkel, W., 1985. Die 1. Und 2. Ausbauphase der Wiener U-Bahn 1969-1993: Eine Dokumentation über das im Betrieb befindliche U-Bahn-Netz. Wien: Compress Verlag.

Hinkel, W., 1989. Die U-Bahnlinie U6. Wien: Compress Verlag.

Hinkel, W.H., Treiber, K., Valenta, G., Liebsch, H., 2004. U-Bahnen gestern-heute-morgen von 1863 bis 2010. Wien: Schmid Verlag.

Hödl, J., 2006. Die Linie U1: Geschichte, Technik, Zukunft. Wien: Wiener Linien GmbH & Co KG.

Hödl, J., 2009. Das Wiener U-Bahn-Netz: 200 Jahre Planungs- und Verkehrsgeschichte. Wien: Wiener Linien GmbH & Co KG.

Hu, M., Pauliuk, S., Wang, T., Huppes, G., Van der Voet, E., Müller, D.B., 2010. Iron and steel in Chinese residential buildings: A dynamic analysis. Resources, Conservation and Recycling. 54, 591-600.

Johansson, N., Krook, J., Eklund, M., Berglund, B., 2013. An integrated review of concepts and initiatives for mining the technosphere: towards a new taxonomy. Journal of Cleaner Production. 55, 35-44.

Kleemann, F., Lederer, J., Aschenbrenner, P., Rechberger, H., Fellner, J., 2014. A method for determining buildings‘ material cmposition prior to demolition. Building Research & Information. 1-12.

Kohler, N., Hassler, U., 2002. The building stock as a research object. Building Research & Information. 30, 226-236.

Kohler, N., Yang, W., 2007. Long-term management of building stocks. Building Research & Information. 35, 351-362.

Kohler, N., Steadman, P., Hassler, U., 2009. Research on the building stock and its applications. Building Research & Information. 37, 449-454.

König, H., Kohler, N., Kreißig, J., Lützkendorf, T., 2009. Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., Fischer-Kowaslki, M., 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. Ecological Ecomomics. 68, 2696-2705.

Krook, J., Carlsson, A., Eklund, M., Fränegard, P., Svensson, N., 2011. Urban mining: hibernating copper stocks in local power grids. Journal of Cleaner Production. 19, 1052-1056.

Lichtensteiger, T., 2006. Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme: Ein Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten. Zürich: vdf-Hochschulverlag.

Lederer, J., Kral, U., Brunner, P.H., 2012. Vom Ökologischen Fußabdruck zum Ressourcen- und Umweltmanagement am Beispiel der Wiener Linien (ÖFRU). Arbeitspaket 1: Ökologischer Fußabdruck der U2 Verlängerung. Wien: Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien.

Lederer, J., Laner, D., Fellner, J., 2014a. A framework for the evaluation of anthropogenic resources: the case study of phosphorus stocks in Austria. Hournal of Cleaner Production. 84, 368-381.

Lederer, J., Kleemann, F., Ossberger, M., Rechberger, H., Fellner, J., 2014b. Prospecting and exploring anthropogenic resource deposits: the case study of Vienna's subway network. Journal of Industrial Ecology.

Lohm, U., Bergbäck, B., Hedbrandt, J., Jonsson, A., Östlund, C., 1998. Urban Metabolism: Metals in Stockholm. a MacTempo case study: Annex 2.

Magistrat der Stadt Wien, s.a. Geschichte des Wiener U-Bahn-Netzes – Generelle U-Bahn-Planung. https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/u-bahn/geschichte.html (03.04.2015).

Marincig, H., 1989. Die Geschichte der Gürtelstrecke. In: MA 38 (Hrsg.): Die U-Bahn-Linie U6. Wien: Compress Verlag. 25-28.

McKelvey, V.E., 1972. Mineral resource estimates and public policy. American Science. 60, 32-40.

Müller, D.B., 2006. Stock dynamics for forecasting material flows – Case study or housing in The Netherlands. Ecological Economics. 59, 142-156.

Ott, C., Kral, U., Brunner, P.H., 2012. Vom Ökologischen Fußabdruck zum Ressourcen- und Umweltmanagement am Beispiel der Wiener Linien (ÖFRU). Arbeitspaket 2: Ressourcen- und umweltbezogene Wissensbasis für die Wiener Linien. Wien: Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien.

Pauliuk, S., Wang, T., Müller, D.B., 2013. Steel all over the world: Estimating in-use stocks of iron for 200 countries. Resources, Conservation and Recycling. 71, 22-30.

Reck, B., Müller, D.B., Rostkowski, K., Graedel, T.E., 2008 Anthropogenic nickel cycle: Insights into use, trade and recycling. Environmental Science & Technology. 3394-3400.

Schmied, M., Mottschall, M., 2013. Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland. Berlin: Öko-Institut e.V.

Steger, S., Fekkak, M., Bringezu, S., 2011. Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.

Strabag, s.a. U-Bahn U2/4+5, Stadion. Köln. Wien: Strabag AG.

Tanikawa, H., Hashimoto, S., 2009. Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS. Building Research & Information. 37, 483-502.

Tanikawa, H., Hashimoto, S., Moriguchi, Y., 2002. Estimation of material stock in urban civil infrastructures and buildings for the prediction of waste generation. Paper presented at The Fifth International Conference on Ecobalance.

U.S. Geological Survey (USGS), 1980. Principles of a Resource/Reserve Classification For Minerals. US Geological Survey Circular. 831.

Voestalpine 2013. Hauptabmessungen der Vignolschienen. www.voestalpine.com/schienen/static/sites/c011/downloads/downloads/profilliste_2013.pdf.

Wallbaum, H., Kytzia, S., Kellenberger, S., 2011. Nachhaltig Bauen. Zürich: vdf-Verlag.

Wallsten, B., Johansson, N., Krook, J., 2013a. A Cable Laid Is a Cable Played: On the Hibernation Logic behind Urban Infrastructure Mines. Journal of Urban Technology. 20, 85-103.

Wallsten, B., Carlsson, A., Fränegard, P., Krook, J., Svanström, S., 2013b. To prospect an urban mine: Assessing the metal recovery potential of infrastructure cold spots in Norrköping, Sweden. Journal of Cleaner Production. 55, 103-111.

Wiedenhofer, D., Steinberger, J.K., Eisenmenger, N., Haas, W., 2015. Maintenance and Expansion–Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25. Journal of Industrial Ecology.

Wittmer, D., Lichtensteiger, T., Baccini, P. 2003. Copper Exploration for Urban Mining. Proceedings of Cobre 2003, Vol. 2, Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum: Montreal. 2003; 85-101.

Wittmer, D., 2006. Kupfer im regionalen Ressourcenhaushalt: Ein methodischer Beitrag zur Exploration urbane Lagerstätten. Doktorarbeit. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

11. Anhang

Anhang 1: Massenabschätzung Einspeisestationen (Guttmann, 2014)

UW - Unterwerk					
Anzahl	**Schaltfelder**	**Masse pro Schaltfeld [t]**	**Gesamt-masse [t]**	**Länge pro Schaltfeld [m]**	**Gesamt-länge [m]**
2	PAF	0,25	0,5	0,8	1,6
4	BP	0,6	2,4	0,8	3,2
1	HP	0,6	0,6	0,8	0,8
1	GLR	0,7	0,7	2,9	2,9
1	GLR-Trafo	8	8		
Summe			**12,2**		**8,5**
1	EB-Anlage	0,8	0,8		
1	LT-Anlage	0,3	0,3		
2	Batterieanlage	1	2		
Summe			**3,1**		
ÜS - Übergabestelle					
4	PAF	0,25	1	0,8	3,2
2	BKF	0,35	0,7	0,8	1,6
2	WKF	0,35	0,7	0,8	1,6
2	KF	0,35	0,7	0,8	1,6
1	SF	0,2	0,2	0,8	0,8
1	FSU	0,15	0,15	0,5	0,5
Summe			**3,45**		**9,3**
Zubehör					
1	Montage-material	2,5	2,5		
1	Kabel	2	2		
1	30 m^2 Zwischen-boden	2	2		
Summe			**6,5**		
Gesamtsumme pro Einspeisestation			25,25		17,8
Gesamtsumme aller 3 Einspeisestationen			**75,75**		**53,4**

Anhang 2: Massenabschätzung Kuppelstationen (Guttmann, 2014)

Massenabschätzung - Kuppelstation			
Element	**Stück**	**Masse pro Stück [t]**	**Gesamt-masse [t]**
Bahnsteigkuppelfeld (BKF)	2	0,35	0,7
Querkuppelfeld (QKF)	1	0,5	0,5
Steuerfeld (SF)	1	0,2	0,2
Fehlerspannungsüberwachung (FSU)	1	0,2	0,2
Kabel	1	0,3	0,3
Zwischenboden	26 m^2	0,07	1,82
Gesamtsumme pro Kuppelstation			3,72
Gesamtsumme aller 4 Kuppelstationen			**14,88**

Anhang 3: Besprechungsprotokoll 1

TeilnehmerInnen	Hans Strahberger	Wiener Linien, F57 Zugsicherung und Nachrichtentechnik
	Ulrich Kral	TU Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	9.9.2014 / 9:00 – 10:00	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Datenerhebung	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Johann Fellner	

Kommunikation TU/WL

Hr. Strahberger schlägt strukturelle Änderungen bei der Datenbeschaffung vor. Beispiel: WL-interner Projektsteckbrief (Kurzdarstellung, Ansprechpartner für das Projekt bei den WL und Vertretung nach außen, interne Kostenstelle, Regelung zur Geheimhaltung der Daten), WL-interner Ordner zur Ablage aller projektrelevanten Dateien). Hr. Kral strebt Besprechung mit Hr. Ossberger und Hr. Nalezek an um erwähnten Änderungen umzusetzen.

Vorstellung des Projektes

- Christian Doppler Labor „Anthropogene Ressourcen“ – Case Study A.
- Ansprechpartner WL-intern: Hr. Ossberger, Hr. Nalezek
- Projektziele und Datenbedarf

Sanierung U1-Stammstrecke: Reumannplatz - Schwedenplatz

- Verkabelung (Nachrichtentechnik) in der Strecke wurden komplett getauscht
- Keine Sanierung diesbezüglich in den Stationen
- Eingebaute Materialien waren am Ende ihrer Lebensdauer
- Lebens- bzw. Erneuerungszyklus nachrichtentechnischer Kabel von ca. 25 Jahren

- Neue, moderne Systeme sind energiewirtschaftlich effizienter, Erneuerung unbedingt notwendig

Datenbedarf und -bereitstellung

- Hr. Kral: Materialbestände (Kabel für Zugsicherung und Signaltechnik) in den 3 betrachteten Abschnitten (Stationen und Strecke):
    - U6: Josefstädter Straße – Nußdorfer Straße
    - U1: Reumannplatz – Karlsplatz
    - U4: Hütteldorf – Karlsplatz
- Hr. Strahberger:
    - Kabelmengen (was, wie viel) bei Werksabnahme bekannt. Rund 2-3% Verluste durch Einbau. Eingebaute Mengen sind verfügbar, auch wo sie verbaut wurden.
    - U6 Station Josefstädter Straße: keine Erneuerung der Streckenverkabelung, nur neue Stationsverkabelung
    - Hr. Strahberger stellt für die o.g. Abschnitte folgende Unterlagen zur Verfügung:
        - Trassen- und Stationsbestand
        - Unterlagen zu verbauten Signalkabel -> unterschiedliche Kabeltypen, Längen und Durchmesser

Ungenutzte Bestände (Kabel, Leitungen, etc.)

- Nur geringe Menge vermutet bzw. keine Daten darüber vorhanden
- Materialien leicht zugänglich, da in Kabelkanälen.
- Geringe Kosten für Entfernung

Anhang 4: Besprechungsprotokoll 2

TeilnehmerInnen	Peter Barwig	Wiener Linien, B68g Elektro- und Maschinentechnik
	Bernd Stodola	Wiener Linien, B68g Elektro- und Maschinentechnik
	Ulrich Kral	TU Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	12.09.2014 / 9:00 – 10:00	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Datenerhebung	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Johann Fellner	

1. **Vorstellung des Projektes**
    a. Christian Doppler Labor „Anthropogene Ressourcen“– Case Study A.
    b. Ansprechpartner WL-intern: Hr. Ossberger, Hr. Nalezek
    c. Projektziele und Datenbedarf
    d. Benötigter Detailierungsgrad
2. **Sanierung U1-Stammstrecke: Reumannplatz - Schwedenplatz**
    a. **Trockenlöschleitungen** wurden komplett ausgetauscht (Gesamtlänge 8km) Trockenlöschleitungen sind Sicherheitseinrichtungen -> Transportleitung für die Feuerwehr
        i. ausgebaute Leitungen aus verzinktem Stahl

   ii. eingebaute Leitungen aus Stahlguss mit Betonauskleidung im Inneren
   iii. ausgetauscht nach ca. 35 Jahren, um sicherheitstechnische Anforderungen aufrechtzuerhalten
- b. **Stationslüftungen**: bezieht sich auf die Lüftungen in den Betriebsräumen, keine Zuständigkeit für Tunnellüftungen (wurden im Zuge der Sanierung nicht ausgetauscht)

3. Sonstige Informationen

- a. Sanitärausstattung (Edelstahl und Keramik)
   i. Auflistung der vorhandenen WC-Anlagen, Waschbecken etc.
- b. Klimageräte -> überschaubare Menge, nicht in jeder Station vorhanden
- c. Bestand an Trockenlöschleitungen entlang betrachteter U-Bahn-Abschnitte:
   i. U6 (Otto-Wagner-Stationen) -> keine Trockenlöschleitungen installiert
   ii. U4 -> wird diesbezüglich gerade nach gerüstet
   iii. U1 -> kompletter Austausch während Sanierung U1-Stammstrecke

4. Datenbedarf und –bereitstellung

- a. Daten bezüglich der verbauten Materialmenge in den einzelnen Lüftern inkl. Lüftungskanäle (Materialdurchmesser und Längen)
   -> Fa. Troges Lüftungstechnik: Kontaktperson Geschäftsführer Christof Braunegg Tel: +43 (0)1258 1627-15; c.braunegg@troges.at
- b. Länge der Trockenlöschleitungen pro Abschnitt, Materialzusammensetzung und Massen (TRM-VRS-Druckrohr, DN 80)
   -> TRM-Tiroler Röhren Werke: Kontaktperson Hr. Pasa 0664 322 88 35 (zuständig für den Vertrieb in Ostösterreich)
- c. Hr. Barwig: Stellt Unterlagen bezüglich der Auflistung aller Lüftungsanlagen entlang der U1-Stammstrecke zur Verfügung
- d. Bernhard Schlamp (bernhard.schlamp@wienerlinien.at): Abwicklung Projekt Trockenlöschleitungen

5. Ungenutzte Bestände (Kabel, Leitungen, etc.)

- a. Trockenlöschleitungen wurden eins-zu-eins ausgetauscht, keine zurückgebliebenen Bauelemente
- b. Kosten für die Entfernung der nicht mehr in Verwendung stehenden Elemente stehen in keiner Relation zum erzielbaren Erlös (Verwertung) -> zu hohe Kosten

Anhang 5: Besprechungsprotokoll 3

TeilnehmerInnen	Markus Ehn	Wiener Linien, Elektro- und Maschinentechnik
	Rainer Bauer	KONE, Rolltreppenabteilung
	Ulrich Kral	TU Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	12.09.2014 / 10:00 – 10:45	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Datenerhebung	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Johann Fellner	

1. Vorstellung des Projektes

- c. Christian Doppler Labor „Anthropogene Ressourcen“– Case Study A.

d. Ansprechpartner WL-intern: Hr. Ossberger, Hr. Nalezek
e. Projektziele und Datenbedarf
f. Benötigter Detailierungsgrad

6. Fördertechnik: Rolltreppen und Aufzüge

a. Gesamtes WL-Netz: 350 Rolltreppen, 300 Aufzüge
b. Rolltreppen:
i. WL bezieht von 4-5 verschiedenen Rolltreppenherstellern
ii. Wesentliche Bestandteile:
1. Gerüst (Edelstahl)
2. Stufen (Aluminium)
3. Trägerkonstruktion
4. Verkleidung
iii. Höchstlast pro Stufe: 200kg (2 Fahrgäste)
c. Aufzüge:
i. Standard Glaskabine (geringe Anzahl an älteren Aufzügen mit Blechausführung)
ii. Hauptbestandteile Glas und Stahl

7. Abschätzung der Materialmenge

a. Möglichkeit durch Aufschlüsselung nach Prozent
b. Beispiel Massenberechnung Rolltreppe:
i. Hubhöhe 5,88m
ii. 78 Stufen pro Rolltreppe
iii. 15kg Aluminium pro Stufe -> 1,2t nur Aluminium (Stufen)
iv. 15t Eigengewicht der Rolltreppe mit ca. 40m^2 Verkleidung (2mm Blech) -> 1t Edelstahl
v. Rest: Antrieb, Ketten, Wellen, Bodenblech, etc. (hauptsächlich Stahl bzw. Stahlguss)

8. Sanierung U1-Stammstrecke: Reumannplatz – Schwedenplatz

a. Fahrtreppen: Lebensdauer von 40 Jahren
b. Zeit der allgemeinen Sperre auf Grund der U1-Sanierung (Sommer 2012) wurde genutzt, um alle Fahrtreppen in der Station Stephansplatz auszutauschen, auch wenn die Lebensdauer nicht ganz erreicht wurde (nur etwa 35 Jahre)
-> innerhalb des Betriebes wäre ein Ausbau nicht durchführbar

Anhang 6: Besprechungsprotokoll 4

TeilnehmerInnen	Heinz Kramreither	Wiener Linien, Elektro- und Maschinentechnik
	Herbert Guttmann	Wiener Linien, Elektro- und Maschinentechnik
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	02.10.2014 / 10:00 – 10:45	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Datenerhebung	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Ulrich Kral, Johann Fellner	

2. Vorstellung des Projektes

c. Christian Doppler Labor „Anthropogene Ressourcen“ (WL-intern „Urban Mining”)
d. Projektziele und Vorgehensweise

e. Betrachtete U-Bahnabschnitte und Datenbedarf
f. Benötigter Detailierungsgrad

9. Stromschienen (Hr. Kramreither)

a. Sanierungstätigkeit U1-Stammstrecke

i. Keine Änderung im Bestand an sich -> nur Austausch/Erneuerung der vorhandenen Infrastrukturelemente
ii. Zwischen Reumannplatz und Stephansplatz wurden teilweise die Traktionskabel (500mm^2-Kupferkabel) entfernt und neue halogenfreie Kabel eingebaut -> Verbesserung des Brandverhaltens
iii. Auf diesem Streckenabschnitt wurde im Bereich zwischen Stephansplatz und Karlsplatz die Eisenstromschiene auf Aluminiumstromschienen getauscht. Im Bereich der Gleisbauarbeiten wurden Eisenstromschienen de- und wiedermontiert (Wechsel von Eisen auf Aluminium bringt mehrere Vorteile -> geringerer Widerstand, erhöhte Betriebssicherheit, es steht mehr Energie zur Verfügung).
iv. Im Bereich des Stromschienentausches auf Aluminium wurden auch die Stromschienenträger auf Kunststoff (GFK – glasverstärkter Kunststoff) getauscht.

b. Erneuerte Mengen:

i. 14km Traktionskabel ein- und wieder ausgebaut (5kg/Laufmeter -> 70t)
ii. 500 Stromschienenträger ersetzt -> Tausch der Träger nur im Bereich der Aluminiumschiene (Träger aus Kunststoff), im Bereich der Fe-Schiene wurden die alten Träger wiederverwendet
iii. 2km Eisenstromschiene auf Aluminium gewechselt
iv. 3,8km Kunststoffabdeckungen erneuert (GFK)

c. Ungenutzte Materiallager

i. Im Bereich der Stromschienen und Traktionskabel sind keine bzw. nur sehr wenige Altanlagen/Infrastrukturelemente, die nicht in Betrieb stehen, existent -> alte Kabelwege wurden auch für die neuen Kabel verwendet (leichte Zugänglichkeit)
ii. Ausbau der alten Kupferkabel (Erlöse für Entsorgung)

d. Datenbereitstellung

i. Hr. Kramreither hat während des Gespräches Informationen zu den, während der Sanierung der U1-Stammstrecke, eingebauten Materialien dargelegt (was wurde ausgetauscht/eingebaut, tlw. mit Mengenangabe)
ii. Hr. Kramreither hat angeboten Daten zu recherchieren und zur Verfügung zu stellen:
    1. Bestandsdaten zu Traktionskabel, Stromschienen, Stromschienenträger und Kunststoffabdeckungen für den Streckenabschnitt Reumannplatz – Schwedenplatz
    2. Grobe mengenmäßige Materialzusammensetzung (Eisen, Aluminium, Kupfer, etc.) der jeweiligen Infrastrukturelemente

10. Traktionsschaltanlagen und Unterwerke (Hr. Guttmann)

a. Sanierungstätigkeit U1-Stammstrecke

i. Neue Schaltanlagen in den Stationen Reumannplatz, Keplerplatz und Südtiroler Platz -> alte Anlagen wurden entfernt bzw. teilweise wiederverwendet, da es sich um eine alte Anlagengeneration handelte, die in die Jahre gekommen war; dies machte einen Austausch notwendig, um eine höhere Leistung bzw. ein geringes Taktintervall zu ermöglichen, Bedienung von der Ferne

ii. Karlsplatz: Schaltanlagen wurden erst später saniert, da das Zeitintervall der Sanierung (Juli und August 2012) zu kurz war (trifft auch auf Traktionskabel zu)

b. Materialzusammensetzung der Anlagen

i. Kunststoffschaltanlagen (kunststoffisolierte Anlagen)
ii. Geringer Fe-Anteil
iii. Schalter -> Kupfer, Eisen
iv. Schwierige quantitative Abschätzung der eingebauten Materialien -> unterschiedliche Materialien pro Schalter, kein Standardmodell
v. Zur genaueren Abschätzung schlagen die beiden Herren einen Begehungstermin vor Ort vor

c. Ungenutzte Materiallager

i. Keine Altanlagen vorhanden, da sie 1 zu 1 ausgetauscht werden

d. Datenbereitstellung

i. Hr. Guttmann hat während des Gespräches Unterlagen zur Verfügung gestellt, in denen getrennt nach Unterwerk und Übergabestelle (für die 4 sanierten Stationen) die Massen der jeweiligen Schaltfelder aufgelistet sind
   1. UW-Unterwerk besteht aus mehreren Räumlichkeiten: Gleichrichterraum, EB(Eigenbedarf)-Raum, Batterieraum und Traffo-Boxen
   2. ÜS-Übergabestelle besteht nur aus einer Räumlichkeit

Anhang 7: Besprechungsprotokoll 5

TeilnehmerInnen	Michael Freidl	Wiener Linien, B67
	Christian Kugler	Wiener Linien, B67
	Hr. Frey-Trauer	Wiener Linien, Leitung U1-Sanierung
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	31.10.2014 / 11:00 – 12:00	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Datenerhebung	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Ulrich Kral, Johann Fellner	

1. Vorstellung des Projektes

a. Christian Doppler Labor „Anthropogene Ressourcen“ (WL-intern „Urban Mining”)

b. Projektziele und Vorgehensweise

c. Betrachtete U-Bahnabschnitte

d. Datenbedarf und benötigter Detailierungsgrad

2. Sanierung U1-Stammstrecke 2012

a. Sanierungstätigkeiten

ii. Abschnitt Taubstummengasse – Reumannplatz :
   1. Durchgeführt durch B67
   2. Ansprechpersonen: Hr. Freidl und Hr. Kugler

3. Bau einer doppelten Gleisverbindung, da diese einen schnelleren Wechsel zwischen den beiden Gleisen ermöglicht (anstelle von Gleis 3). Zweck des Umbaus war den U-Bahn-Betrieb bei möglichen Störfällen mit einem eingleisigen Betrieb aufrecht erhalten zu können -> Hauptgrund der Sanierung 2012
4. Im Zuge der Sanierung wurde in diesem Bereich (Gleisbau, Oberbau) der damalige Bestand vollkommen ausgebaut und neu eingebaut -> Abtrag entsprach Bestand

iii. Abschnitt Stephansplatz - Taubstummengasse:
1. Durchgeführt durch B63
2. Ansprechpersonen: Hr. Feldhofer und Hr. Banovits
3. Austausch der Schallschutzmatten auf einer Länge von ca. 4km
4. Grund für Tausch: Lebensdauer der Materialien war erreicht, ursprüngliche Platten aus Mineralfaser mit einer Hülle aus Kunststoff -> Kunststoff durch Wasserzutritt beschädigt
Neu verlegte Hartschalldämmplatten aus Sylomer (Elastomer-Kunststoff)

iv. Sonstige Informationen:
1. Bezüglich der Tunnelbauten existieren keine Bestandspläne
2. Gleicher Schwellenabstand bei Gleisen von 65cm
3. Unterscheidung: Gleislänge und Schienenlänge -> Gleislänge mal 2 ergibt Schienenlänge

b. Datenbereitstellung: Folgende Unterlagen bzw. Pläne wurden bereitgestellt:

- Ausschreibungs- und Leistungsverzeichnis Gleis- und Baumeisterausschreibung (Bereich B67)
- Regelquerschnitt Tourengleis
- Gleiswechsel (U1 Stammstrecke Ertüchtigung)
- Gleisschema Gleiswechsel (U1 Stammstrecke Ertüchtigung)
- Übersichtsplan (U1 Stammstrecke Ertüchtigung)

Anhang 8: Besprechungsprotokoll 6

TeilnehmerInnen	Hans Strahberger	Wiener Linien, F57 Zugsicherung und Nachrichtentechnik
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	11.11.2014 / 10:00 – 10:15	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Datensichtung	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Johann Fellner, Ulrich Kral, Jakob Lederer	

Datensichtung

Bereitstellung einer Auflistung der verbauten Signal- und Nachrichtenkabel entlang der U1, U6 und U4. Diese Auflistung bezieht sich nur auf die Kabel entlang der Strecke, keine Darstellung des Bestandes in den Stationen. Die Hauptbestandteile dieser Kabel sind Polyethylen und Kupfer. Des Weiteren gibt es einen geringen Anteil an Stahlbewährung (eingearbeitetes Stahlband), was als Sicherheitseinrichtung fungiert.

Außerdem wurden abschnittsweise Strahlend- bzw. Nicht Strahlend-Kabel verlegt, die hauptsächlich aus Polyethylen bestehen und einen vernachlässigbaren Cu-Anteil aufweisen.

Erklärung der verwendeten Abkürzungen:

- LIKA - Lichtleiter
- FEKA – Fernmeldekabel
- FLAM – flammbeständig

Die neu verbauten Kabel sind alle halogenfrei und enthalten kein PVC.

Zusammenarbeit mit Schwechater Kabelwerke

Hinweis von Herrn Strahberger, dass Informationen zum Stationsbestand möglicherweise über Herrn Dr. Jodl von der TU Wien gewonnen werden können. Da das von ihm betreute Projekt „Lebenszykluskosten von U-Bahn-Stationen“ intensive Datenerhebungen in diesem Bereich durchgeführt hat. Vermeidung von Doppelerhebungen.

Anhang 9: Besprechungsprotokoll 7

TeilnehmerInnen	Heinz Kramreither	Wiener Linien, Elektro- und Maschinentechnik
	Herbert Guttmann	Wiener Linien, Elektro- und Maschinentechnik
	Jakob Lederer	TU Wien
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	27.11.2014 / 09:00 – 10:30	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Begehung vor Ort	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Ulrich Kral, Johann Fellner	

Klärung Material- und Massenabschätzung:

- FE-Stützer, nur aus FE, kein Materialmix(außer Isolator) - (ca. 15kg/Stk.)
- Kunststoffstützer (GFK) für die Aluminiumstromschiene (ca. 7kg/Stk.)
- Rückleiterverstärkungskabel, gleiches Kabel wie Traktionskabel
  -> aus Kupfer mit 5kg/Lfm
- Regelabdeckung ca. 2kg/Lfm aus GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff)
- Rückleiterverstärkung : 2x500 mm²/Gleis entlang der Strecke
- 20 kV Leitung: Alu
- Im Kabelkanal liegen die 20 kV Leitung, die Traktionsstromversorgung, und teilweise die Signalkabel

Anmerkung zum Kabeltausch: Ein Grund dafür sind geänderte Sicherheitsvorschriften (z.B. Einbau von Halogenfreien Kabeln); getauscht wird nicht immer nur dann, wenn die Kabel am Ende ihrer Funktionsfähigkeit sind, sondern vor allem, wenn generelle Sanierungen anstehen und der Betrieb sowieso eingeschränkt ist (siehe U4 Sanierung).

Zuteilung der U1-Stationen: Kuppelstation oder Einspeisestation:

- Reumannplatz: Einspeisestation
- Keplerplatz: Kuppelstation
- Südtiroler Platz: Einspeisestation
- Taubstummengasse: Kuppelstation

- Karlsplatz: Einspeisestation
- Stephansplatz: Kuppelstation
- Schwedenplatz: Kuppelstation

Begehung:

- Wechsel von Eisen- auf Aluminiumstromschiene ->unter anderem leichteres Handling/weniger Verluste
- 20.000V-Trafos (keine Öltrafos), jede Einspeisestation besitzt grundsätzlich 2 Trafos (je 7 to)
- Gleichrichterraum, Aufbereitung des Traktionsstroms (750V DC)
- Bei U1 Reumannplatz (und U4) wurde die Plusbahnwand getauscht, die Minusbahnwand wurde adaptiert; bei der U3 wurde nichts getauscht
- Auf der Plusbahnwand verläuft eine durchgehende Sammelschiene (aus Cu, ca. 4x 150x15 mm); in einem Standard Gleichrichterraum befinden sich auf jeder Seite-ca. 8 Schaltschränke
- 160 Stück Nickel-Cadmium-Batterien, insgesamt zweimal -> duales System, fällt eine Einheit aus, übernimmt die andere
- Im Kabelkeller befinden sich die Versorgungsleitungen sowie die 10 kV Leitung (3 polig)
- Schalterraum für den Bahnhof Erdberg: Jede Stromschiene wird von 2 Seiten eingespeist (z.B. Reumannplatz und Südtiroler Platz als Einspeisestationen versorgen beide die Kuppelstation Keplerplatz)
- Gelbe Stromschienenabdeckung, jeweils mit einer Länge von 1,8m

Anhang 10: Besprechungsprotokoll 8

TeilnehmerInnen	Daniel Dötzl	Wiener Linien
	Gerald Leutgeb	Wiener Linien
	Johannes Widl	Wiener Linien
	Jakob Lederer	TU Wien
	Marlies Gamsjäger	TU Wien, Diplomandin
Datum / Zeit	27.02.2015 / 08:30 – 09:30	
Ort	Wiener Linien GmbH & Co KG, Erdbergstraße 202, 1030 Wien	
Thema	Datenverfügbarkeit	
Verteiler	Anwesende, Markus Ossberger, Thomas Nalezek, Johann Fellner	

1. Mittelspannungsanlagen

- 20kV–Kabelnetz auf der U-Bahn, Ringleitung (jede U-Bahnlinie hat eine eigene) Länge der 20kV-Leitung ca. 2 x die Länge des U-Bahnabschnittes
- **Beispiel**: Einspeisung der U1 in Leopoldau, Einsatz von Paralleltransformatoren in allen Stationen -> wenn ein Transformator ausfällt, übernimmt die Versorgung der andere Transformator; Haupteinspeisung -> Leistungsversorgung der U1, im Falle eines Ausfalles kann auf eine 2. Haupteinspeisung umgeschaltet werden. Wenn diese auch ausfällt gibt es noch eine Nebeneinspeisung bzw. als letzte Möglichkeit Notstromaggregate (Sicherheitskonzept!)

- Kabel der Mittelspannungsanlagen bestehen aus Aluminium und verbinden die einzelnen Stationen miteinander, 3 verwendete Kabeltypen (50, 185, 240 mm^2) -> Kabeldurchschnitt ist abhängig vom Leistungsbedarf (Nieder- oder Mittelspannung)
- Die Einrichtungen der Mittelspannungsanlagen wurden bereits vor der Sanierung 2012 durchgeführt, begonnen bereits 2002. Dabei erfolgte die Umstellung auf die eigenen 20 kV-Leitungen, weg vom Wienstrom. 2012 wurde während der Einstellung in den Sommermonaten nur ein Kabelschutz ausgebildet, sonst keine Tätigkeiten.
- Schutzsystem: Einbau zahlreicher Schalter im System, SF6-Anlagen (gekapselt) -> kein freier Zugang zu den Anlagen der Mittelspannung
- Im Vergleich zu den Mittelspannungsanlagen, weisen die Niederspannungsanlagen wesentlich größere Kabelmengen und –längen auf.
- **Altbestände:** Annahme, dass ein nicht kleiner Anteil der nicht mehr in Verwendung stehenden Kabel, im Zuge des Einbaus neuer Elemente, nicht entfernt wurde. Immer eine Frage der Wirtschaftlichkeit (Kosten-Erlöse) und des Platzbedarfes. Wenn ausreichend Platz im Kabelkanal vorhanden ist und die Extraktion einen hohen Aufwand darstellt, werden die alten außer Betrieb genommenen Kabeln höchstwahrscheinlich nicht entfernt.
- Lebensdauer von Al-Kabeln kann mit 30-40 Jahre angenommen werden. Wenn die Anfangsschwierigkeiten (z.B. Einbau und Beschädigungen) überwunden wurden, sind die Elemente recht stabil in Betrieb (geringe Fehleranfälligkeit).
- Festlegung eines Termins am Karlsplatz zur Begehung der Anlagen und Einrichtungen der Mittel- und Niederspannung: 05.03.2015 um 9:00

2. Innenausstattung der Stationen

- Keine Unterlagen zur Abschätzung der verbauten Materialmengen, da zu 90 % alle Arbeiten in diesem Bereich in Regie abgewickelt werden.
- Verkleidungen in den U-Bahnstationen aus Aluminium (beschichtet) oder Pressphenol. Unterscheidung durch den Glanz und Löcher sind nur in den Platten aus Pressphenol, in Aluminiumplatten keine Löcher, Blechstärke < 1mm
- Die Lebensdauer solcher Verkleidungen ist schwierig abzuschätzen, würden prinzipiell sehr lange halten, jedoch Einflüsse durch Vandalismus oder Ermüdung der Aufhängung
- Die alten Decken in den Stationen entlang der U1-Stammstrecke (U-Profile) wurden alle aus dem Bestand entfernt (Lebensdauer 30-40 Jahre).
- Einsatz von Sicherheitsglas (VSG) in den Stationsbereichen, Problem Vandalismus -> Erhaltung