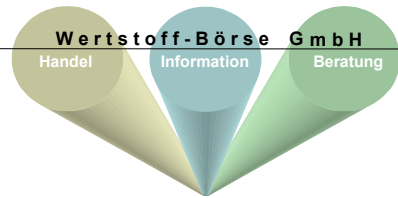




Amt für Hochbauten der Stadt Zürich



# Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung des VZ Werd

## Schlussbericht

Zürich, 3. Oktober 2003

## Impressum

*Titel:* Schlussbericht Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung des VZ Werd

*Auftraggeber:* Dr. Heinrich Gugerli  
Amt für Hochbauten der Stadt Zürich;  
Fachstelle nachhaltiges Bauen  
Lindenhofstrasse 21  
8021 Zürich  
Tel. 01 216 26 81 Fax 01 212 19 36  
[heinrich.gugerli@hbd.stzh.ch](mailto:heinrich.gugerli@hbd.stzh.ch)

*Liability Statement* Information contained herein have been compiled or arrived at Wertstoff-Börse GmbH from sources believed to be reliable. Nevertheless, Wertstoff-Börse GmbH or the authors do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.

*Autor:* Dr. Stefan Rubli  
Wertstoff-Börse GmbH  
Zelglistrasse 48  
8046 Zürich  
Tel. +41 (0)1 371 40 90 Fax +41 (0)1 371 40 04  
[rubli@wertstoff-boerse.ch](mailto:rubli@wertstoff-boerse.ch)

## Zusammenfassung

Das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich beabsichtigte in diesem Projekt eine Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung des Umbaus des Verwaltungszentrum Werd durchzuführen, um die lückenhaften Kenntnisse im Bereich der Bauabfallströme zu verbessern. Das Ziel der Studie ist, die wichtigsten Verwertungs- und Entsorgungswege der Hauptkomponenten des Rückbaus zu untersuchen und die Materialmengen zu quantifizieren. Die Resultate aus der Untersuchung sollen zudem das Optimierungspotential bei der Verwertung der Bauabfälle aufdecken. Es sollen Massnahmen vorgeschlagen werden, die aufzeigen, wie dieses Potential in Zukunft besser ausgeschöpft werden kann.

In einem ersten Schritt wurde ein Controllingkonzept entwickelt, welches die Grundlage für die Quantifizierung der Bauabfallfraktionen bildete. Das Konzept ist so ausgestaltet, dass es für zukünftige Controlling-Projekte ohne grossen zusätzlichen Aufwand genutzt werden kann. Das Erfassungs- und Controllingkonzept basiert auf vier Elementen, welche sich gegenseitig ergänzen. Während die "Besuche vor Ort" und die "Zusammenarbeit mit den Unternehmen/Entsorgern" dem Informationsaustausch dienen, sind die "Fotodokumentation" und die "Kontrolle der Lieferscheine anhand der Waagscheine" Kontrollinstrumente. Durch die gute Zusammenarbeit mit den an der Entsorgung beteiligten Unternehmen konnte eine detailliertere Erfassung der Güterflüsse durchgeführt werden, welche beispielsweise eine grobe Unterteilung der Metalle in die Fraktionen Eisen/Stahl, Aluminium und Kupfer ermöglichte. Die Verwertungswege und Verwertungsprozesse der einzelnen Güterkategorien wurden bis zu den Zielprozessen recherchiert und hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen beurteilt.

Insgesamt wurden während des Rückbaus knapp 3700 Tonnen Material entsorgt beziehungsweise verwertet. Die mineralischen Fraktionen (2600 Tonnen) haben mit Abstand den grössten Anteil am entsorgten Material, gefolgt von den Metallen (690 t), den brennbaren Abfällen (200 t) und dem Altholz (100 t). Die Sondermüllfraktion, welche grosse Anteile an asbesthaltigen Materialien aufwies, hatte mit ca. 90 Tonnen einen relativ hohen Anteil. Die Verwertungsquote der rückgebauten Materialien liegt bei einer begrenzten Betrachtung (d.h. ohne qualitative Beurteilung) bei über 60 Prozent, doch ein genauerer Blick auf die Wiederverwendung der verwertbaren Materialien lässt die tatsächliche Verwertungsquote d.h. ohne Downcycling auf bis zu 40 Prozent fallen. Verantwortlich für die deutlich tiefere Verwertungsquote ist die Verwendung eines Teils des mengenmässig gewichtigen Betonabbruchs für die Erstellung von Baupisten. Der Einsatz dieses langlebigen und qualitativ hochwertigen Materials in einer solch kurzlebigen Anwendung ist nicht sinnvoll. Die Verwendung als Baupistenmaterial entspricht deshalb eher einer hinausgezögerten Entsorgung.

Auch bei den brennbaren Abfällen ist noch ein beträchtliches Verwertungspotential vorhanden. Es existieren schon heute Verfahren, welche die Rückgewinnung neuwertiger Kunststoffe aus den in den Teppichen enthaltenen Kunstfasern (Polyamide) in großtechnischem Maßstab erlauben. Dieser Verwertungsweg sollte in Zukunft zumindest in Betracht gezogen werden.

Eine Analyse der Verwertungswege und der Verwertungsmöglichkeiten nach verschiedenen Fraktionen hat gezeigt, dass bei diesem Rückbauprojekt eine totale Verwertungsquote von 85 Prozent erreichbar gewesen wäre.

Damit ist das Controlling der Entsorgung nicht nur ein effizientes Instrument zur Überwachung der Entsorgung sondern auch ein Hilfsmittel um die Effizienz der einzelnen Verwertungsmassnahmen zu überprüfen und zu bewerten. Es bildet somit die Grundlage für eine Qualitätssicherung bei der Entsorgung von Bauabfällen, welches bis heute noch kaum ein Thema ist. Die Gründe, warum die Qualitätssicherung in diesem Bereich vernachlässigt wird, sind einerseits die grosse zeitliche

Belastung der Beteiligten, die keine Zeit für die Überwachung der Entsorgung haben. Andererseits fehlt den verantwortlichen Parteien das Know-how für die Beurteilung der einzelnen Entsorgungs- bzw. Verwertungswege. Dennoch wird eine Qualitätssicherung der Entsorgung in Zukunft immer wichtiger werden, weil die Materialien in verschiedene Verwertungsprozesse gehen und somit in den Kreislauf zurück gelangen. Eine effizientes Recycling kann aber nur erreicht werden, wenn gewährleistet ist, dass die Materialien, welche in den Verwertungsprozess gelangen, von einwandfreier Qualität sind. Ein weiterer Aspekt der Qualitätssicherung der Entsorgung ist der Nachweis, dass die Entsorgung und Verwertung der Materialien umweltgerecht erfolgt ist. Dieser Nachweis kann nur seriös erbracht werden, wenn eine unabhängige Überprüfung der Güterflüsse stattfindet. Dies sollte eigentlich auch für ein Bauunternehmen interessant sein, weil dieses damit belegen kann, was mit den entsorgten bzw. verwerteten Gütern geschehen ist.

Im heutigen System ist es dem Abbruchunternehmer überlassen, wie er die verschiedenen Güter aus dem Rückbau, unter Einhaltung der gesetzlichen Auflagen, entsorgt bzw. der Verwertung zuführt. Der Kostendruck zwingt die Abbruchunternehmen die kostengünstigsten Entsorgungsvarianten zu wählen, der ökologische Aspekt spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Grund wurde ein relativ grosser Teil der mineralischen Fraktionen nicht optimal verwertet oder gar deponiert. Es ist aber auch zu erwähnen, dass der Abbruchunternehmer nach innovativen Lösungen suchte und im Fall der Gipsverwertung auch welche fand. Die Suche nach kostengünstigen und ökologisch sinnvollen Verwertungswegen ist sehr zeitaufwändig und setzt Kenntnisse im Bereich der ökologischen Bewertung der verschiedenen Verwertungswege voraus, welche von einem Abbruchunternehmen nicht erwartet werden können. Hier sind neben dem allgemeinen Know-how in der Bauabfallverwertung auch teilweise ressourcen- und materialwissenschaftliche Grundlagenkenntnisse zur Beurteilung der Verwertungsprozesse notwendig.

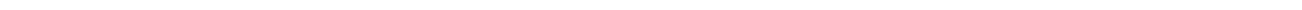
Bei grösseren Projekten sollten in den Submissionsunterlagen Anforderungen bezüglich der Verwertung der rückzubauenden Materialien formuliert werden. Dabei sollten zunächst einmal die Verwertungsziele festgelegt werden und in einem nächsten Schritt die Auflagen im Bereich der Verwertungswege ausgearbeitet werden. Das Controlling der Entsorgung und Verwertung sollte auf der Stufe Bauleitung erfolgen, wobei die Bauleitung selber oder ein Beratungsbüro das Controlling übernehmen sollten. Die Kompetenzen müssen dabei klar geregelt sein. Im Sinne einer optimalen Begleitung der Abbruchunternehmen steht diesen eine fachliche Beratungsstelle zur Verfügung, welches je nach Bedarf auftauchende Fragen bezüglich der einzelnen Verwertungswege beantwortet.

Mit der beim Rückbau im VZ Werd entwickelten Methodik der Qualitätssicherung kann die Verwertung der rückzubauenden Materialien systematisch verbessert werden. Damit wird gewährleistet, dass die in den Kreislauf zurückgeführten Materialien von hoher Qualität sind. Dies sind wichtige Voraussetzungen um das Image und die Akzeptanz der Sekundärressourcen zu verbessern.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1	Bewirtschaftung Bauabfallmengen.....	1
1.2	Schwierigkeiten bei der Datenerhebung .....	2
1.3	Ausgangslage .....	2
1.4	Zielsetzung .....	3
<b>2</b>	<b>METHODE UND VORGEHEN</b> .....	<b>3</b>
2.1	<b>Methode</b> .....	<b>3</b>
2.1.1	Systembeschreibung .....	3
2.2	<b>Vorgehen</b> .....	<b>4</b>
2.2.1	Festlegung der Rahmenbedingungen für die Gütererfassung .....	4
2.2.2	Einfluss der Asbestproblematik auf den Ablauf des Rückbaus .....	5
2.2.3	Erfassungs- und Controllingkonzept .....	5
2.2.4	Erfasste Güterkategorien.....	7
<b>3</b>	<b>RESULTATE</b> .....	<b>9</b>
3.1	<b>Güterflüsse</b> .....	<b>9</b>
3.1.1	Verwertungswege von Metallen .....	11
3.1.2	Verwertungsweg von Altholz .....	13
3.1.3	Brennbare Abfälle .....	13
3.1.4	Mineralische Bauabfälle .....	14
3.1.5	Sonderabfälle.....	16
3.1.6	Verwertungsquote und Potential .....	17
3.2	<b>Transporte</b> .....	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>ERKENNTNISSE AUS DEM PROJEKT</b> .....	<b>19</b>
4.1	<b>Rückbaubarkeit von Gebäudeteilen und Installationen</b> .....	<b>19</b>
4.1.1	Planungsebene.....	20
4.1.2	Materialebene .....	20
4.1.3	Allgemeine Bemerkungen .....	21
4.2	<b>Verwertung und Transporte</b> .....	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK</b> .....	<b>24</b>
5.1	<b>Das Controlling als Instrument zur Qualitätssicherung</b> .....	<b>24</b>
5.2	<b>Massnahmen und Perspektiven für die Optimierung der Verwertung</b> .....	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>27</b>

---



# 1 Einleitung

## 1.1 Bewirtschaftung Bauabfallmengen

Die durch die Bauwirtschaft erzeugten Abfallströme sind enorm und sind Ausdruck der baulichen Veränderungen des Bauwerks Schweiz. Werden die Bauabfallmengen den Siedlungsabfallmengen gegenüber gestellt, welche wir ja tagtäglich wahrnehmen, so lassen sich die Dimensionen sehr gut aufzeigen. Im Jahr 1997 wurden etwa 11.1 Mio. Tonnen Bauabfälle produziert (BUWAL Nr. 131, 2001), während die Produktion von Siedlungsabfällen inklusive der verwerteten Güter im Jahr 2000 bei 4.73 Mio. Tonnen lag (BUWAL Nr. 152, 2002). Die Bauabfallmengen sind also knapp 2.5 mal grösser als die Siedlungsabfallmengen.

In der Abbildung 1.1 sind die Mengen nach Bauabfallfraktionen illustriert, welche aufgrund von Modellrechnungen abgeschätzt wurden (BUWAL Nr. 131, 2001).

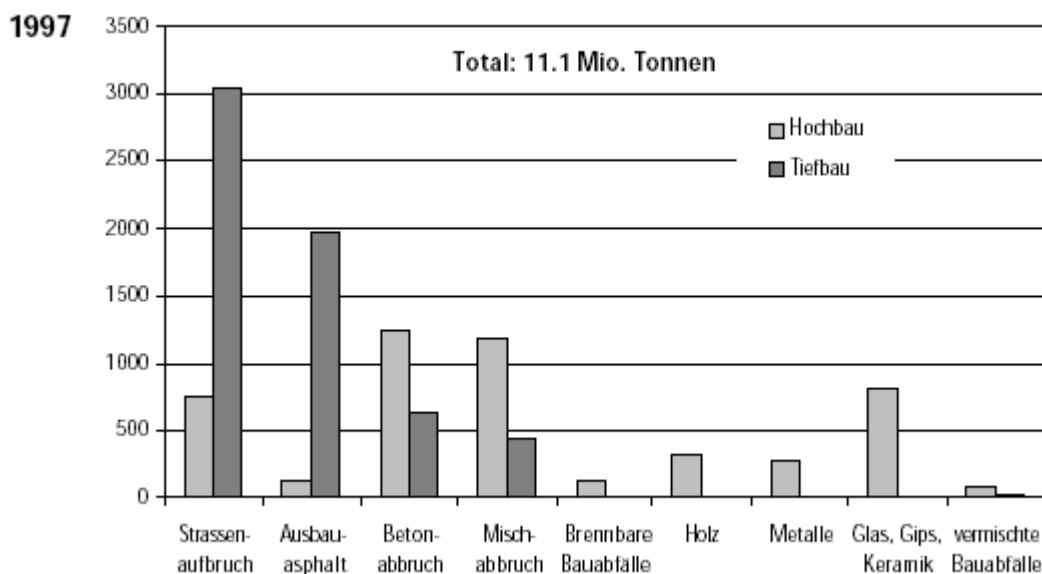


Abbildung 1.1: Modellrechnungen der Bauabfallmengen 1997 (Quelle: BUWAL Nr. 152, 2002)

Sehr grosse Mengen, nämlich ca. 6 Mio. Tonnen werden im Tiefbau erzeugt. Den Hauptanteil der Materialien aus diesem Bereich tragen dabei der Strassenaufbruch und der Ausbauasphalt. Bei den Materialien aus dem Hochbau sind der Betonabbruch, der Mischabbruch und die inertesten Materialien (Glas, Gips, Keramik) die Hauptfraktionen.

Diese Materialien sind eigentlich nicht primär als Abfälle zu bezeichnen, weil ein relativ grosser Teil wieder in die Verwertung gelangt. Vor allem das Material aus dem Strassenbau wird zu einem grossen Teil direkt auf der Baustelle wiederverwertet. Der Anteil der Direktverwertung am gesamten Bauabfall beträgt etwa 42 Prozent (4.7 Mio. Tonnen). Daraus ergibt sich ein Total der jährlich zu entsorgenden Bauabfällen von 6.4 Mio. Tonnen.

### Verwertung

Rund 4.3 Mio. Tonnen der zu entsorgenden Mengen werden nach einer entsprechenden Aufbereitung wieder verwertet. Dabei handelt es sich vornehmlich um Betongranulat (1.7 Mio. Tonnen), Mischabbruchgranulat (1.3 Mio. Tonnen), Asphaltgranulat (0.5 Mio. Tonnen) sowie Kiessand (0.5 Mio. Tonnen). Die restlichen 0.3 Mio. Tonnen setzen sich aus verschiedenen Fraktionen wie Metalle, Glas, Keramik und Gips zusammen.

### *Deponierung*

Gemäss der Modellrechnung werden 1.7 Mio. Tonnen Bauabfälle deponiert. Rund die Hälfte davon (0.8 Mio. Tonnen) besteht aus den mineralischen Komponenten Glas, Keramik und Gips etc. Die restlichen Anteile entfallen auf den Mischabbruch (0.4 Mio. Tonnen), Betonabbruch (0.2 Mio. Tonnen), Ausbausphalt (0.1 Mio. Tonnen), Strassenaufbruch (0.1 Mio. Tonnen) sowie auf übrige Abfälle (0.1 Mio. Tonnen).

### *Verbrennung*

Die Menge der brennbaren Bauabfälle beläuft sich auf knapp 0.4 Mio. Tonnen. Zu zwei Dritteln d.h. 0.27 Mio. Tonnen fallen diese in Form von Bau-/Altholz an.

## **1.2 Schwierigkeiten bei der Datenerhebung**

Wie erwähnt beruhen die oben genannten Zahlen auf Modellrechnung, welche vom Baubestand und schon vorhandenen Erhebungen ausgehend berechnet wurden. Es fehlen gesamtschweizerische Erhebungen, weil nur einige Kantone solche Statistiken führen. Die Gründe für das Fehlen von Statistiken sind einerseits in der grossen Anzahl von Verwertungsanlagen zu suchen, andererseits sind die Materialströme sehr komplex und durchmischen sich teilweise.

## **1.3 Ausgangslage**

Anfang der 90er Jahre setzte in der Abfallwirtschaft, aus ökologischen Gründen und aufgrund der sich abzeichnenden Verknappung der Verbrennungskapazitäten, der Trend zur Abfalltrennung bzw. Abfallverwertung ein. Im Zuge dieser Abfalltrennung kam es auch in der Bewirtschaftung der Bauabfälle zu Massnahmen, welche die Trennung der Bauabfälle schon auf den Baustellen vorsah. Dies äusserte sich in der SIA-Empfehlung 430, welche auch heute die Grundlage für eine ökologische Bewirtschaftung der Bauabfälle bildet. Nur eine konsequente Umsetzung dieser Empfehlung gewährleistet eine ökologische Bewirtschaftung der Materialien im Sinne einer Annäherung an das Schliessen von Materialkreisläufen. Allerdings sind noch weitergehende Massnahmen erforderlich, um einen wirklichen Stoff- bzw. Materialkreislauf in Gang zu setzen.

Die heutige Bewirtschaftung der Materialien entspricht, mit Ausnahme der Metalle, eher einem Downcycling als einem Recycling. Zudem wird die SIA-Empfehlung aus verschiedenen Gründen noch immer nicht vollständig umgesetzt.

Nachfolgend einige Gründe die in der Praxis geltend gemacht werden:

- Der organisatorische Aufwand ist zu gross.
- Die Platzverhältnisse sind schwierig.
- Das Ganze ist zu teuer.
- Wer trägt die Kosten?

Ein weiterer Grund, warum die SIA-Empfehlung teilweise nicht durchgesetzt werden kann, ist der Termindruck auf der Baustelle. Es bleibt keine Zeit für die Überwachung der Abfalltrennung auf der Baustelle und für die Kontrolle der fachgerechten Entsorgung der einzelnen Fraktionen. Zudem sind die Kompetenzen für ein Bauabfall-Controlling meistens nicht geregelt. Aus diesem Grund ist heute weitgehend unbekannt, welche Bauabfallströme bei grösseren Umbauten oder Rückbauten generiert werden und wohin diese fliessen.

## 1.4 Zielsetzung

Um die oben erwähnten lückenhaften Kenntnisse im Bereich des Bauabfallströme zu verbessern, beabsichtigte das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich (Fachstelle nachhaltiges Bauen) eine Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung des Umbaus des Verwaltungszentrums Werd durchzuführen. Dabei sollten die wichtigsten Verwertungs- und Entsorgungswege der Hauptkomponenten (gemäss SIA-Empfehlung 430) des Rückbaus untersucht und quantifiziert werden. Die Arbeit fand ohne Einflussnahme auf den Ablauf des Rückbaus statt.

Ein weiteres Ziel der Studie war die Entwicklung eines Konzepts für ein effizientes Controlling der Bauabfallentsorgung. Dieses Konzept bildete die Grundlage für die Quantifizierung der untersuchten Bauabfallfraktionen. Das Konzept sollte so ausgestaltet sein, dass es für spätere Controlling-Projekte ohne grossen zusätzlichen Aufwand genutzt werden kann.

# 2 Methode und Vorgehen

## 2.1 Methode

Als methodische Grundlage für die Systembeschreibung und die Güterflussanalyse diente die Methode der Stoffflussanalyse nach Baccini und Bader (Baccini, 1996). Grundsätzlich werden bei dieser Methode die Systemgrenzen des Untersuchungsobjektes definiert. Innerhalb des Systems werden die Prozesse und Flüsse zwischen den einzelnen Prozessen definiert. Dabei werden die Prozesse im System als rechteckige Kästchen und die Güterflüsse als Pfeile eingezeichnet. Dieser Aufbau ermöglicht eine einfache Visualisierung der Flüsse, was die Interpretation der Resultate erleichtert.

### 2.1.1 Systembeschreibung

In der Abbildung 2.1 ist das System "Bauabfallentsorgung VZ Werd" illustriert. Das Gesamtsystem beinhaltet sowohl die Entsorgungsprozesse vor Ort als auch die externen Verwertungs- bzw. Entsorgungsprozesse. Das System ist in zwei Subsysteme unterteilt, um ein besseres Verständnis zu erreichen. Im Subsystem "Bauabfallentsorgung beim VZ Werd" sind die Prozesse vor Ort zusammengefasst. Es enthält den Prozess "Demontage/Sortierung" sowie die Sammelprozesse der einzelnen Abfallfraktionen in Einstoffmulden. Das Subsystem "Verwertung/Entsorgung extern" beinhaltet die diversen externen Verwertungs- und Entsorgungsprozesse, welche im Verlauf des Projektes näher definiert und untersucht wurden. So sind beispielsweise die Betreiber der genannten Verwertungs- bzw. Entsorgungsprozesse in den Güterflussanalysen des Resultatanteils aufgeführt.

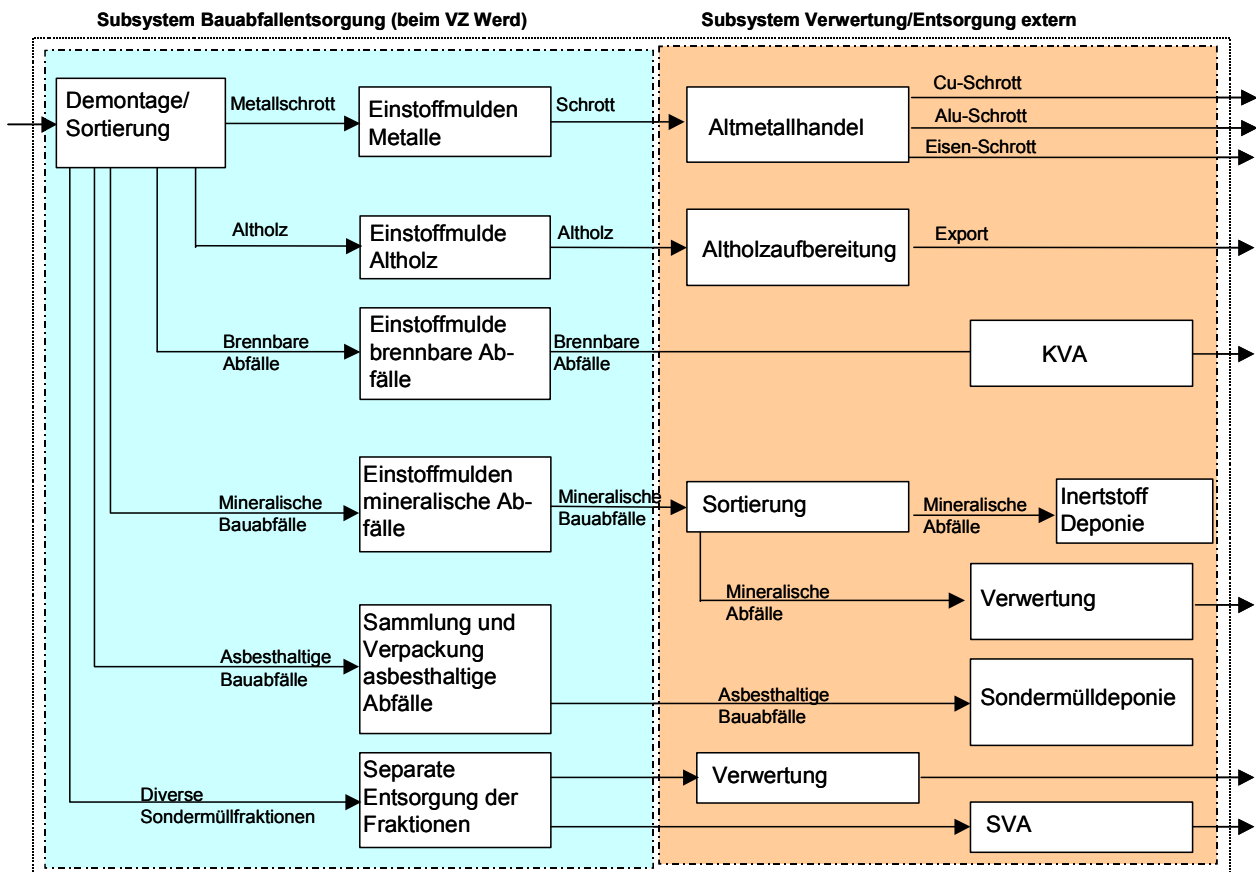


Abbildung 2.1: Systemanalyse der Bauabfallentsorgung des Verwaltungszentrums Werd.

Die vorliegende Systemanalyse bildete die Grundlage für das Erfassungskonzept. Einerseits zeigt es auf, welche Flüsse an welchen Orten bestimmt werden müssen, um eine vollständige Erfassung zu erreichen. Andererseits zeigt es welche Entsorgungsprozesse miteinander verknüpft sind.

## 2.2 Vorgehen

Im Folgenden wird das während des Projektes durchgeführte Erfassungs- und Controllingkonzept vorgestellt. Da relativ wenige Firmen an der Entsorgung der Materialien beteiligt waren, die Demontage der Hauptbestandteile erfolgte durch ein Abbruchunternehmen (AWDemontage GmbH), konnte der organisatorische Aufwand für das Controlling und die Datenerhebung dementsprechend angepasst werden.

### 2.2.1 Festlegung der Rahmenbedingungen für die Gütererfassung

Vor Beginn der Arbeiten wurden in einer ersten Sitzung mit der Bauherrschaft, der Bauleitung und dem Abbruchunternehmen die Kompetenzen und der Ablauf der Erfassung der Abfallfraktionen festgelegt. Es wurden dabei die folgenden Vereinbarungen getroffen:

- Das von der AWDemontage GmbH vorgelegte Entsorgungskonzept (im Anhang) muss unterschrieben werden und ist damit bindend.
- Auch andere Unternehmen, welche Material während des Rückbaus entsorgen, müssen der Bauleitung ein unterzeichnetes Entsorgungskonzept einreichen.
- Die AWDemontage GmbH gibt der Bauleitung die Lieferscheine ab. Alternativ können diese auch direkt der Wertstoff-Börse GmbH zugestellt werden.

- Die Richtigkeit und Vollständigkeit der Lieferscheine wird von der Wertstoff-Börse GmbH durch Stichproben und Besuche vor Ort überprüft.

Die aufgeführten Punkte bildeten die Rahmenbedingungen für die Erfassung und das Controlling der Bauabfallentsorgung. In der ersten Phase des Rückbaus fand ein intensiver Informationsaustausch zwischen der Bauleitung und der Wertstoff-Börse GmbH statt. Dies war insbesondere deshalb notwendig, weil bei den ersten Demontagearbeiten asbestbelastetes Material auftauchte. Wie sich herausstellte, nahm diese Problematik unvorhergesehene Ausmaße an, so dass einerseits eine grosse Verzögerung des Rückbaus entstand und andererseits der ganze Ablauf der Entsorgung neu geregelt werden musste. Im nachfolgenden Kapitel wird kurz auf die mit der Asbestproblematik zusammenhängenden, zusätzlichen Massnahmen bezüglich der Entsorgung eingegangen.

### **2.2.2 Einfluss der Asbestproblematik auf den Ablauf des Rückbaus**

Die Untersuchungen nach asbestbelasteten Materialien zeigten, dass dieses Material beinahe im gesamten Gebäude als Rohrleitungsisolierung eingesetzt wurde. Das heisst, dass fast in jedem Raum eine Asbestsanierung durchgeführt werden musste. Das Sanierungskonzept sah deshalb den folgenden Ablauf bezüglich des Rückbaus vor:

#### 1. Etappe

- In einer ersten Etappe wurden die Deckenbleche, die Teppiche, Wandkästen, die Brüstungsabdeckungen und Kanäle demontiert, um an die asbesthaltigen Rohre zu gelangen.
- Diese Arbeiten erfolgten etagenweise von oben nach unten.
- Bevor das Material demontiert und von den Etagen nach unten zu den Mulden transportiert wurde, musste es mit Leim besprüht werden, um eventuell vorhandene Asbestfasern zu binden.

#### 2. Etappe

- Die asbesthaltigen Rohrisolierungen wurden von einer darauf spezialisierten Firma (BELFOR Suisse AG) fachgerecht entsorgt. Nach Angaben der Firma handelte es sich um zirka 18 Kilometer Rohrleitungsisolierungen und Lüftungskanäle, welche dekontaminiert werden mussten.
- Das asbesthaltige Material wurde jeweils in Plastiksäcke (doppelt) abgepackt und in einer Sondermülldeponie entsorgt. Dieses Material wurde als separate Position erfasst (Abbildung 2.1).

#### 3. Etappe

- Nach der erfolgten Asbestsanierung konnten die eigentlichen Abbrucharbeiten durchgeführt werden.

Diese Massnahmen verursachten eine Verzögerung des Rückbaus von mehr als einem halben Jahr.

### **2.2.3 Erfassungs- und Controllingkonzept**

Ein effizientes Controlling kann nur in Zusammenarbeit mit den beteiligten Unternehmen erreicht werden. Deshalb ist es wichtig, den Unternehmen den Sinn des Controllings verständlich zu machen, um die Skepsis gegenüber solchen Massnahmen abzubauen. Dies ist wiederum nur möglich, indem ein gegenseitiges Vertrauensverhältnis aufgebaut wird. Das entwickelte Erfassungs- und Controllingkonzept basiert auf vier unterschiedlichen Elementen, welche sich gegenseitig

ergänzen. In der Abbildung 2.2 sind diese Elemente schematisch dargestellt. Während die "Besuche vor Ort" und die "Zusammenarbeit mit den Unternehmen/Entsorgern" eher im Bereich des Informationsaustausches liegen, sind die "Fotodokumentation" und die "Kontrolle der Lieferscheine anhand der Waagscheine" den Kontrollinstrumenten zuzuordnen.

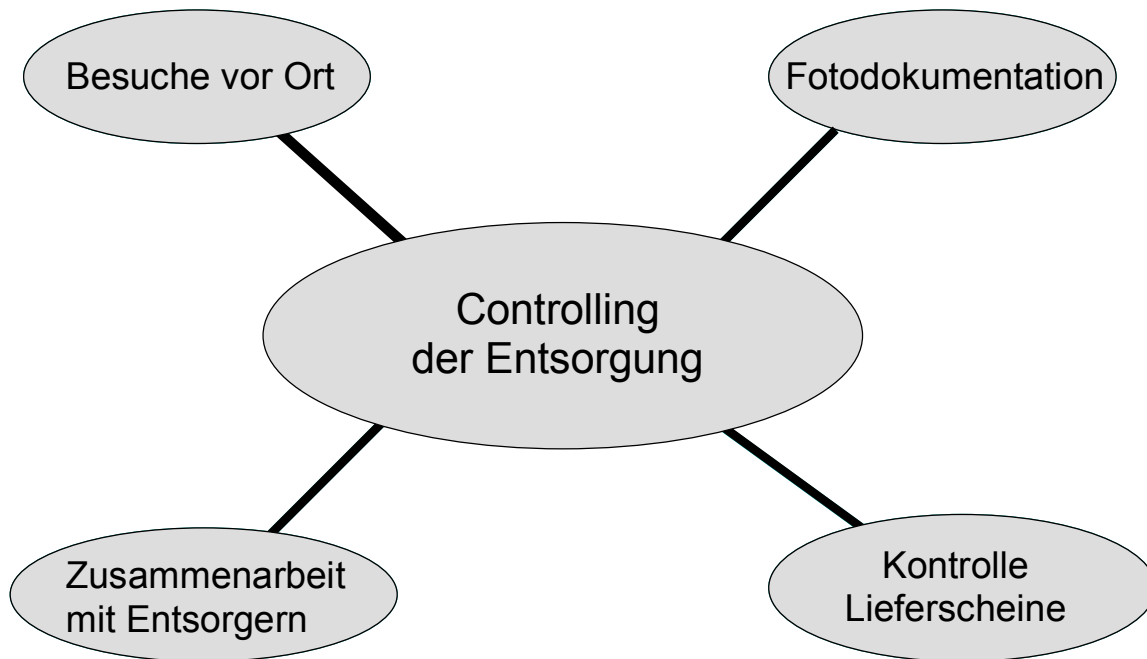


Abbildung 2.2: Die vier Elemente auf der das Erfassungs- und Controllingkonzept basiert.

### *Ziele der Besuche vor Ort*

#### Informationsaustausch

- Information über den Stand der Arbeiten
- Übergabe der Lieferscheine
- Diskussion der offenen Fragen
- Fotos vom Stand der Abbrucharbeiten und von der Entsorgung/Verwertung (Mulden)

#### Überwachung der Entsorgung

- Es finden angekündigte und unangekündigte Besuche statt.
- Die Besuchsintervalle sind unregelmässig. Zu Beginn ist die Besuchsintensität höher.

Das Ziel der Besuche vor Ort ist einerseits die Informationsbeschaffung, andererseits haben die unangekündigten und unregelmässigen Besuche einen überwachenden Effekt, da die Unternehmen nicht wissen, wann mit einer Kontrolle zu rechnen ist. Sind die Intervalle kurz und unregelmässig gewählt, dann ist die Versuchung, Missbrauch zu betreiben, relativ aufwändig und mühsam.

### *Ziele der Fotodokumentation*

- Unterstützendes Controlling-Element
- Hilfsmittel zur Abschätzung der Zusammensetzung der abgeführten Materialien
- Hilfsmittel beim Nachweis von fehlenden oder ungenauen Angaben

Die Fotodokumentation eignet sich gut zur Visualisierung der Entsorgungsabläufe sowie für den Nachweis von unvollständig deklarierten Abfallfraktionen. Zudem wird damit der Stand der Arbeiten dokumentiert.

### *Ziele der Zusammenarbeit mit den Entsorgern*

- Gegenseitiges Vertrauen aufbauen
- Bessere Informationsbeschaffung
- Interesse beim Entsorger wecken

Die gute Zusammenarbeit zwischen den Entsorgern und dem Controller bildet die Grundlage für eine seriöse Erfassung der Güterflüsse. Es ist deshalb wichtig, dass die an der Entsorgung beteiligten Unternehmen die Gründe für die Durchführung eines Bauabfall-Controllings kennen. Durch die Besuche vor Ort und eventuell auch beim Entsorger selber kann ein Vertrauensverhältnis aufgebaut werden, welches einen optimalen Ablauf der Erhebung der Güterflüsse ermöglicht.

### *Ziel bei der Kontrolle der Lieferscheine und Waagscheine*

- Angabe aus den Lieferscheinen werden erfasst.
- Kontrolle der im Lieferschein angegebenen Daten anhand der Waagscheine der Verwertungsfirmen, Deponiebetreiber und Kehrrechtverbrennungsanlagen.

Die Angaben aus den Lieferscheinen werden in eine EXCEL-Datei übertragen (Anhang). Dabei wird das Lieferdatum, das Material, das Muldenvolumen, das Gewicht, der Abladeort und die Lieferscheinnummer erfasst. Zusätzlich werden die Transportdistanzen eingetragen. Die Angaben werden mit Hilfe der Waagscheine der Verwertungsfirmen, Deponiebetreiber und Kehrrechtverbrennungsanlagen stichprobenweise überprüft, wobei die entsprechenden Waagscheinnummern ebenfalls in die Tabelle übertragen werden (Tabellen im Anhang). Die Datenerhebung erfolgte vom 13. November 2002 bis zum 18. September 2003.

Teilweise waren nur die Volumina aber nicht die Massen bekannt. In solchen Fällen wurden die Massen über die Ladedichten der Mulden abgeschätzt. Die Ladedichten wurde aus den bekannten Volumen und den dazugehörigen Massen bestimmt (Abbildung 3.9).

## **2.2.4 Erfasste Güterkategorien**

Wie erwähnt, wurden die wichtigsten Verwertungs- und Entsorgungswege der Hauptkomponenten (gemäss SIA-Empfehlung 430) des Rückbaus untersucht und quantifiziert. Durch die gute Zusammenarbeit mit den an der Entsorgung beteiligten Unternehmen konnte eine detailliertere Erfassung durchgeführt werden, welche beispielsweise eine grobe Unterteilung der Metalle in die Fraktionen Eisen/Stahl, Aluminium und Kupfer ermöglichte. In der Tabelle 2.1 sind die erfassten Güterkategorien aufgelistet. Die Verwertungswege und Verwertungsprozesse der einzelnen Güterkategorien wurden bis zu den Zielprozessen recherchiert und sind im Resultatteil detailliert beschrieben. Die Zielprozesse werden in dieser Studie wie folgt definiert: Letzte Prozesse in der Verwertungs- bzw. Entsorgungskette.

Tabelle 2.1: Aufteilung der erfassten Güterkategorien

Hauptfraktionen	Güterkategorien
Metalle	Eisen-/Stahlschrott Aluminiumschrott Kupferschrott
Altholz	Altholz

Brennbare Abfälle	Brennbare Abfälle
Mineralische Abfälle	Betonabbruch Mischabbruch Gipsplatten
Sonderabfälle	Asbesthaltige Abfälle Kühlmittel Leuchtstoffröhren Kondensatoren PCB-haltiges Material (PCB=Polychlorierte Biphenyle)

## 3 Resultate

Im Resultatteil werden zunächst die erhobenen Güterflüsse präsentiert und die entsprechenden Verwertungswege und Zielprozesse anhand einer detaillierten Güterflussanalyse vorgestellt. Die einzelnen Güterkategorien werden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Verwertung analysiert und diskutiert. In einem weiteren Kapitel wird auf die durch die Entsorgung verursachten Transportkilometer eingegangen. Im Kapitel 4 wird die Rückbaubarkeit von Materialien bzw. von Gebäudeteilen oder Installationen basierend auf den Erfahrungen aus dem Rückbau des VZ Werd diskutiert.

### 3.1 Güterflüsse

Die Abbildung 3.1 veranschaulicht die Güterflüsse zwischen den einzelnen Prozessen. Die Pfeildicken sind mengenproportional zu den Güterflüssen eingezeichnet. Bei den Prozessen "Einstoffmulden Metalle" und "Einstoffmulden mineralische Abfälle" war aufgrund der Datenlage eine weitere Aufteilung auf die Einzelfraktionen möglich. Die Einzelfraktionen wurden jeweils erst auf der Outputseite der genannten Prozesse eingezeichnet, um eine übersichtliche Darstellung zu gewährleisten. Die Abbildung ermöglicht einen raschen Überblick über den Verlauf und die Quantität der wichtigsten Güterflüsse. Die mineralischen Fraktionen erzeugen mit 2600 Tonnen mit Abstand die grössten Flüsse. Gut zu erkennen ist die Aufteilung dieser Fraktionen im Prozess "Sortieren" auf die Prozesse "Inertstoffdeponie" beziehungsweise "Verwertung". Während ca. 90 Prozent des Betons zur Verwertung gelangt, ist die Verwertungsquote beim Gips und Mischabbruch deutlich tiefer. Es ist aber zu erwähnen, dass die Qualität der Verwertung mit den Angaben in dieser Abbildung noch nicht beurteilt werden kann. Auf die spezifische Verwertung der einzelnen Güter wird im Kapitel 3.1.4 vertieft eingegangen.

Der Metallschrott bildet mit 690 Tonnen die zweitwichtigste Fraktion. Die weitere Aufteilung auf die Fraktionen Kupfer-(Cu-), Aluminium-(Al-) und Eisen/Stahl-(Fe-)schrott zeigt, dass der Eisenschrott rund 85 Prozent Anteil am Gesamtschrott aufweist. Dennoch ist zu erwähnen, dass sich eine separate Trennung der Metalle lohnt, da die Schrottpreise für Aluminium und Kupfer um ein Vielfaches (Faktor 10-20) höher liegen als beim Eisen/Stahl. Der Eisen-/Stahlschrott wird in der Schweiz im Stahlwerk zu Herstellung von Baustahl eingeschmolzen. Die Aluminium- und Kupferschrotte werden grösstenteils ins Ausland (Deutschland und Italien) exportiert, wo sie in spezialisierten Schmelzwerken eingeschmolzen werden. Durch den Einsatz von Sekundärressourcen in der Metallherstellung lassen sich einerseits Primärressourcen einsparen, andererseits benötigt das Einschmelzen von Schrott sehr viel weniger Energie als die Produktion aus Primärressourcen.

Als weitere Fraktionen folgen die brennbaren Abfälle, das Altholz und die asbesthaltigen Bauabfälle. Das Altholz wurde in einer Aufbereitungsanlage zu Schnitzeln verarbeitet und anschliessend nach Italien zur Spanplattenproduktion exportiert.

Im Laufe der Asbestsanierung fiel rund 86 Tonnen asbesthaltiges Material an, welches auf der Baustelle in Plastiksäcken doppelt verpackt wurde und in einer Sondermülldeponie zur Ablagerung gelangte.

Die kleinsten, aber keinesfalls vernachlässigbaren Fraktionen, sind die Sondermüllfraktionen. Es wurden rund 0.5 Tonnen Leuchtstoffröhren der Verwertung zugeführt und 1.2 Tonnen Kältemittel umweltgerecht entsorgt. Zudem mussten schätzungsweise 2 Tonnen PCB-haltigen Abdichtungen in einem aufwändigen Verfahren entfernt und gesammelt werden. Auch dieses Material wurde in einer Sondermüllverbrennungsanlage (SVA) thermisch behandelt.

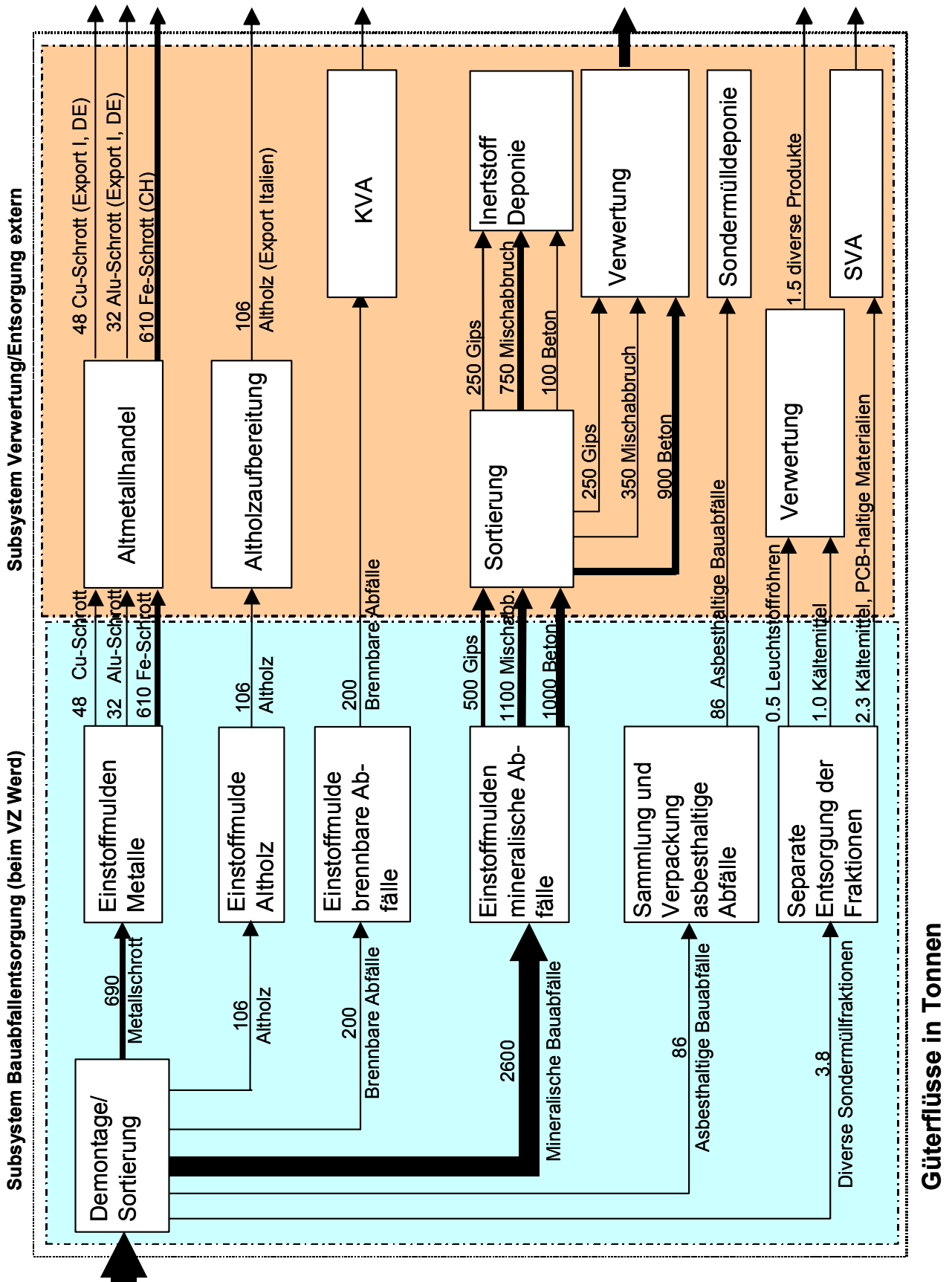


Abbildung 3.1: Güterflüsse der Entsorgung des Rückbaus des VZ Werd in Tonnen. Verwertungswege und Verwertungsprozesse.

Die einzelnen Verwertungswege und Verwertungsprozesse lassen sich einfach aus der Güterflussanalyse herauslesen. Für die qualitative Analyse und Bewertung der Verwertung bzw. Entsorgung der verschiedenen Fraktionen sind neben den Güterflüssen weitere Informationen

notwendig. So muss der Ablauf in den jeweiligen Verwertungsprozessen recherchiert werden. Es muss zudem bekannt sein, was mit den Produkten aus den Verwertungsprozessen im weiteren Verlauf geschieht und welche alternative Möglichkeiten sich zum heutigen Zeitpunkt anbieten. In der Tabelle 3.1 sind die Zielprozesse und Verwertungsorte nach Güterkategorien zusammengefasst.

Tabelle 3.1: Hauptfraktionen, Güterkategorien und dazugehörige Zielprozesse für die Entsorgung bzw. Verwertung von Materialien.

Hauptfraktionen	Güterkategorien	Zielprozess
Metalle	Eisen-/Stahlschrott Aluminiumschrott Kupferschrott	Stahlwerk (CH, DE) Alu-Hütten/-Giessereien (DE, IT) Kupferhütten (DE, IT)
Altholz	Altholz	Spanplattenwerk (IT)
Brennbare Abfälle	Brennbare Abfälle	KVA (Josephstrasse), KVA (Limmattal)
Mineralische Abfälle	Betonabbruch Mischabbruch  Gipsplatten	Betonrecycling (Tiefbau) Inertstoffdeponie (Signer AG; Beringen SH) RC-Kies (Signer AG; Beringen SH) Gipsproduktion (Rigips AG; Leissigen BE) Zementproduktion (Holcim AG; Brunnen SZ) Gipsproduktion (Fixit AG; Zeglingen, Holderbank BL) Inertstoffdeponie (Signer AG, Beringen SH)
Sonderabfälle	Asbesthaltige Abfälle Kältemittel R12 Kältemittel R22 Leuchtstoffröhren Kondensatoren PCB	Sondermülldeponie (Deponie Hanegg; Horgen ZH) Verbrennung in KVA (SVA Genf oder Basel) Recycling (Prochimac SA) Recycling (SM-Recycling, Aarau) Sondermüllverbrennung (Basel) Sondermüllverbrennung (Basel)

CH: Schweiz; DE: Deutschland; IT Italien

Die Verwertungswege der einzelnen Güter werden im Anschluss nach Hauptfraktionen detailliert besprochen. Die Beschreibung der Prozesse soll einerseits einen kurzen Einblick in die Verwertungsindustrie geben, andererseits wird auf die Qualität des Recyclings eingegangen. Allfällige Massnahmen für eine Erhöhung der Recyclingquote werden ebenfalls diskutiert.

### 3.1.1 Verwertungswege von Metallen



Abbildung 3.2: Sammlung der "Kliko" in 1m<sup>3</sup>-Mulden in den einzelnen Etagen und Umladung im EG.

Die Metalle wurden auf der Baustelle getrennt nach Güterkategorien Eisen/Stahl, Aluminium und Kupfer in Einstoffmulden gesammelt. Da für den Transport auf der Baustelle nur die Lifte zur Verfügung standen, musste alles Material in 1 m<sup>3</sup> - Mulden gesammelt werden und auf der Verladerrampe im Erdgeschoss in grössere Mulden von 12 – 22 m<sup>3</sup> Volumen überführt werden (Abbildung 3.2). Über 90 Prozent des Metallschrottes wurde der Dietiker Metallhandel AG in Regensdorf geliefert, die restlichen 10 Prozent gingen zur Neomontana AG in Zürich. Bei der Dietiker Metallhandel AG werden die verschiedenen Schrottfaktionen gesammelt und bei Bedarf in einem Shredder zerkleinert.

Die verschiedenen Fraktionen werden nach Schrottqualität sortiert und anschliessend an die verschiedenen Schmelzwerke im In- und Ausland weiterverkauft.

### *Eisen*

Die Zusammensetzung der Eisenfraktion aus dem VZ Werd war vielfältig. Ein relativ grosser Teil des gesammelten Eisenschrottes bestand aus Deckenblechen und Lampengehäusen (Abbildung 3.3). An der nach oben gerichteten Seite der Deckenbleche befanden sich Isolationsmatten, die mit den Blechen verklebt waren. Da sich das Material nur sehr mühsam entfernen liessen, versuchte der Entsorger die Bleche inklusive der Matten dem Schrotthandel zuzuführen. Die Dietiker Metallhandel AG nahm diese Bleche schliesslich nur noch gegen eine Entsorgungsgebühr an. Aus diesem Grund suchte der Entsorger nach Alternativen und konnte die Bleche der Neomontana AG liefern, welche die Bleche ver-



mutlich ebenfalls der Stahl Gerlafingen AG lieferte. Dieses Beispiel zeigt, wie flexibel der Entsorgungsmarkt funktioniert. Der Entsorger kümmert sich kaum für eine ökologisch sinnvolle Verwertung sondern sucht die für ihn finanziell optimalste Lösungen. Oft fehlen die Zeit und das Wissen um sich mit diesem Aspekt der Verwertung auseinander zusetzen. Die Eisenfraktion setzte sich aus weiteren verschiedenen Bauteilen wie Lüftungskanäle, Heizungsrohre, Schaltschränke, Armierungseisen usw. zusammen.

Die Eisen-/Stahlfraktion wird grösstenteils in der Schweiz bei der Stahl Gerlafingen AG, welche zur Swiss Steel Gruppe gehört, zu Bau- und Betonstahl verwertet. Ein kleiner Teil wird an ausländische Stahlwerke in Italien und Deutschland geliefert.

### *Aluminium*

Der Aluschrott wird hauptsächlich nach Italien und Deutschland exportiert, da die Schmelzwerke in der Schweiz nur sehr hochwertiges Aluminium produzieren, welches beispielsweise in der Autoindustrie zum Einsatz gelangt. Es ist noch zu bemerken, dass die Schrottpreise von Aluminium sehr stark von der Qualität des Schrottes abhängig sind. Schon kleinste "Verunreinigungen" mit anderen Metallen bewirken einen starken Preisabschlag, weil das Material dadurch für gewisse Schmelzwerke nicht mehr verwertbar ist. Die Aluminiumfraktion bestand hauptsächlich aus Brüstungskanälen und aus Befestigungsstäben der Deckenelemente.



Abbildung 3.4: In Mulden gesammelte Brüstungskanäle aus Aluminium.

### *Kupfer*

Die Kupferfraktion setzte sich aus den drei Güterklassen Kupferkabel, Klimageräte (Kliko) und Elektroschrott zusammen. Mit knapp 60 Prozent machten die isolierten Kupferkabel den grössten Anteil aus, der Anteil der Kliko's (Abbildung 3.5) lag bei 25 Prozent und der Rest bestand aus Elektroschrott und diversen kupferhaltigen Gütern. Diese Fraktion wurde ebenfalls der Dietiker Metallhandel AG geliefert. Die Kabel werden entweder direkt ins Ausland exportiert oder sie

werden der Cablofer Bex SA zugeführt, welche die Kupferleiter in den Kupferkabeln mittels eines mechanischen Trennverfahrens von der Isolation trennt. Die reine Kupferfraktion geht in die Kupferhütten oder teilweise in Aluschmelzwerke zur Herstellung von speziellen Legierungen. Das Isolationsmaterial wird in der Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt.

Im Durchschnitt enthält ein Kupferkabel ungefähr 50 Prozent Kupfer, die andere Hälfte ist also Isolationsmaterial, welches entsorgt werden muss. Die "Kliko's" bestanden zu schätzungsweise 90 Gewichtsprozenten aus Kupfer, die restlichen 10 Prozent bestanden aus Aluminiumlamellen. Die Elektroschrottfraction enthielt diverse kupferhaltige Bauteile wie Elektroverteilungen, Motoren, usw. Der Kupferanteil in dieser Fraktion kann ebenfalls mit ungefähr 50 Prozent abgeschätzt werden. Mit diesen Angaben lässt sich in der Kupferfraktion eine Kupfermenge von ungefähr 30 Tonnen errechnen, was einem Anteil von 60 Prozent entspricht.



Abbildung 3.5: Kupferschrott der sich aus "Kliko's" und Verbindungsleitungen zusammensetzt.

### *Das Recyclingpotential ist bei den Metallen beinahe ausgeschöpft*

Das Potential um die Recyclingquoten der einzelnen Metalle zu erhöhen ist beschränkt. Da mit dem Handel von Altmetallen Geld zu verdienen ist, sind die Marktteilnehmer bestrebt, optimale Lösungen zu finden. Die ökonomischen Überlegungen sind in diesem Bereich meist auch ökologisch sinnvoll, weil mit dem Einsatz von Sekundärressourcen die entsprechenden Primärressourcen geschont werden können und die Produktion aus Sekundärressourcen weniger energieaufwändig ist.

### **3.1.2 Verwertungsweg von Altholz**

Etwas mehr als 100 Tonnen Altholz wurden aus dem VZ-Werd demontiert und der Biorec AG in Regensdorf zur Verwertung zugeführt. Dort wird das angelieferte Altholz zu Schnitzel geshreddert und nach Italien in ein Spanplattenwerk exportiert. An sich ist eine Verwertung von Altholz sinnvoll, doch verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die exportierten Althölzer teilweise mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen belastet sind. Die Trennung zwischen kontaminierten und nicht kontaminierten Hölzern basiert auf der Erfahrung der Altholzverwerter. Schon geshreddertes Material, welches ebenfalls der Biorec AG angeliefert wird, kann nur noch mit aufwändigen chemischen Analysen beurteilt werden, was aber kaum gemacht wird. Unter diesen Bedingungen ist eine Verwertung nicht empfehlenswert, da das problematische Material wieder in den Kreislauf zurückgelangt. Eine thermische Verwertung in einer mit entsprechenden Filtern ausgerüsteten Altholzverbrennungsanlagen in der Schweiz ist der zweckmäßigere Lösung, da in der Schweiz genügend Holz zur Nutzung zur Verfügung steht. Zudem ist Holz ein erneuerbarer Energieträger mit dem neben Wärme auch Elektrizität produziert werden kann und damit nicht erneuerbare Energieträger wie Heizöl oder Gas ersetzt. Demnächst werden im Rahmen der revidierten Stoffverordnung neue Grenzwerte für den Export von Altholz festgelegt. Damit kann ein relativ grosser Teil der anfallenden Altholzfraktionen nicht mehr exportiert werden und muss entweder in Altholzverbrennungsanlagen oder KVA's verbrannt werden.

### **3.1.3 Brennare Abfälle**

Die brennbaren Abfälle wurden in 12 – 22 m<sup>3</sup> - Mulden gesammelt und grösstenteils in die nahegelegenen KVA Josephstrasse transportiert. Neben diversen brennbaren Abfällen wie Kunststoffen, Verbundmaterialien und Isolationsmaterial beanspruchten die Teppiche einen relativ grossen Anteil (geschätzte 30 %) an der Abfallfraktion. Eine Sortierung der brennbaren Abfälle

fand nicht statt, da der Entsorger keine Möglichkeiten für eine Verwertung sah. Dennoch gäbe es ein nicht zu vernachlässigendes Verwertungspotential, welches eventuell genutzt hätte werden können.

#### *Verwertungspotential bei den brennbaren Abfällen*

Wie erwähnt, machten die Teppiche einen beträchtlichen Teil der brennbaren Materialien aus. Es existiert schon heute ein Verfahren, welche die Rückgewinnung neuwertiger Kunststoffe aus den in den Teppichen enthaltenen Kunstfasern (Polyamide) in großtechnischem Maßstab erlauben. Während bisherige Bemühungen um eine Wiederaufbereitung von Polyamiden durch einen Prozess des Downcyclings gekennzeichnet waren, erlaubt die eingesetzte Technologie erstmals ein echtes Recycling der Polyamide. Die stoffliche Verwertung von Altteppichen basiert auf einem aufwendigen Recyclingprozess. Dabei wird das hochwertige Polyamid 6 mit Hilfe der Novosynthese hergestellt. Über die Aufspaltung zu Caprolactam, die Gewinnung des Monomers und abschließende Polymerisation wird Neu-Polyamid erzeugt. Dieser neuwertige Rohstoff wandert entweder zurück in die Teppichboden- oder Textilindustrie oder findet Verwendung im Automobilbau sowie in der Kunststoff- und Faserindustrie. Gefertigt werden daraus zum Beispiel Bauteile für PKWs oder Haushaltsgegenstände. Die Anlagen für die Rückgewinnung der in den Teppichen enthaltenen Kunststoffen stehen in Deutschland. In künftigen Rückbauprojekten sollte dieser Weg zumindest in Betracht gezogen werden.



Abbildung 3.6: Entsorgung der Teppichfraktion.

Isolationsmatten aus Steinwolle sind ebenfalls wiederverwertbar. Die Fumroc AG in Flums nimmt die Steinwollematten und Platten zurück, dort wird das Material zu Mehl vermahlen und zusammen mit Zement zu Briketts gepresst und intern wieder als Rohstoff eingesetzt.

### **3.1.4 Mineralische Bauabfälle**

Die mineralischen Bauabfälle wurden nach den drei Kategorien Beton, Mischabbruch und Gips (Gipswände) getrennt gesammelt. Die Gesamtmenge der mineralischen Bauabfälle betrug 2600 Tonnen, wobei der Gips einen Anteil von 20 %, der Mischbruch von 42 % und der Beton von 38% hatten. Der Gips- und Betonabbruch wurde vor Ort in 7- 12 m<sup>3</sup> – Mulden gesammelt und dann im Magazin der AW Demontage GmbH zwischengelagert. Der Betonabbruch wurde von der AW Demontage GmbH selbst genutzt. Die Gipsfraktion wurde in grössere Mulden (35 m<sup>3</sup>) umgeladen und der Entsorgung bzw. Verwertung zugeführt.

#### *Gips*

Die Entsorgung des Gipsplatten erfolgte an verschiedenen Orten, weil die jeweiligen Abnehmer den Gips aus verschiedenen Gründen nicht mehr abnehmen konnten oder wollten. Zu Beginn konnten die Gipsplatten zunächst der Fixit AG in Zeglingen und danach in Leissigen (Kt. Bern) zugeführt werden. Den Gipsplatten hafteten Tapeten an, welche sich nur mit grossem zeitlichen Aufwand entfernen liessen. Die Gipswerke nahmen die tapetenbehafteten



Gipsplatten aus diesem Grund nicht mehr zur Verwertung an, so dass der Entsorger nach weiteren Entsorgungsmöglichkeiten suchen musste. Zunächst blieb nur die Entsorgung in der Inertstoffdeponie Birchbühl der Signer AG Beringen als Alternative übrig. Nach weiteren Abklärungen ergab sich die Möglichkeit, die Gipsfraktion im Rahmen eines Versuches im Zementwerk in Brunnen (Kt. Schwyz) in der Zementproduktion einzusetzen. Falls die Versuche positiv ausfallen, können auch zukünftig Gipsfraktionen in der Zementindustrie eingesetzt werden, wodurch einerseits die Deponierung hinfällig wird und andererseits der Primärressourceneinsatz bei der Zementproduktion vermindert wird.

Abbildung 3.7: Abgebrochene Gipswände.

Die Verwertungsquote für die Gipsfraktion lag somit bei ungefähr 50 Prozent.

### ***Mischabbruch***

Der Mischabbruch war mit 1100 Tonnen mengenmässig die grösste mineralische Fraktion. Die Entsorgung der Fraktion erfolgte aus rein ökonomischen Überlegungen. Nur deshalb lässt sich erklären, warum der Entsorger den Mischabbruch nach Schaffhausen führte. Im Raum Zürich gäbe es genügend Entsorger, welche die Mischabbruchfraktion entgegennehmen und verwerten. Nur liegen die Preis für die Verwertung dieser Fraktion in der Region Zürich höher als bei dem gewählten Abnehmer im Kanton Schaffhausen (Signer AG Beringen). Die Signer AG bereitet zwar auch einen Teil der Mischabbrüche auf, die Fraktionen müssen aber für eine Verwertung qualitativ hochwertig sein. Zudem verfügt die Signer AG über eine eigene Inertstoffdeponie (Deponie Birchbühl, Siblingen), in der das Material billig deponiert werden kann. Aus diesem Grund lag der Verwertungsanteil bei der Mischabbruchfraktion schätzungsweise bei 30 Prozent, was 350 Tonnen Material entspricht.

### ***Beton***

Wie bereits erwähnt, wurde die Betonfraktion im Magazin der AW Demontage GmbH. Zu einem späteren Zeitpunkt soll der Beton nach Angaben von Herr Wirth von der AW Demontage GmbH mittels eine mobilen Brechanlage aufbereitet werden. Ein relativ grosser Teil des Betonabbruchgranulats wird zur Herstellung von Baupisten genutzt (ca. 50 %). Dies bedeutet, dass die Verweildauer des an sich wiederverwertbaren Betonabbruchs nur verlängert wird. Das Material kann nach seiner Verwendung als Baupistenunterlage nicht mehr der Verwertung zugeführt werden und muss deshalb deponiert werden. Eine solche Anwendung entspricht also einem Downcycling zu einem minderwertigen Material. Der restliche Teil wird einem Tiefbauunternehmen zugeführt, welches das Material für den Unterbau in Strassen benutzt.

### ***Verwertungspotential bei den mineralischen Bauabfällen***

Das Verwertungspotential bei den mineralischen Bauabfällen kann noch verbessert werden. Im Bereich der Gipsverwertung scheint mit der angesprochen (noch provisorischen) Lösung in der Zementindustrie ein interessanter und sinnvoller Entsorgungsweg zur Verfügung zu stehen. Die Versuche werden zeigen, ob sich die Verwertung von Gipsabfällen in Zukunft im Grossmasstab realisieren lässt. Beim Mischabbruch wurde das schon vorhandene Potential nicht genutzt. Ein beachtlicher Teil dieser Fraktion wurde deponiert, obwohl genügend Verwertungsmöglichkeiten in der näheren Umgebung vorhanden gewesen wären. Hinzu kamen die zusätzlich geleisteten Fahrkilometer, welche die "Ökobilanz" der Mischabbruchentsorgung nochmals verschlechtert. Da es sich beim Mischabbruch in bezug auf die Menge um grosse Flüsse handelt, wirkt sich dies besonders stark auf die Verwertungsquote der mineralischen Fraktion aus. Auch die Verwertung des Betonabbruchs als Unterlage für Baupisten ist nicht optimal. Es handelt sich um ein Downcycling bei dem die Lebensdauer des Materials nur unwesentlich verlängert wird. Zudem kann das Material nach der Verwendung nicht mehr weiter genutzt werden, weil es mit Erdreich "verschmutzt" wird. Damit verbleibt nur noch die Deponierung als einziger Entsorgungsweg. Das

Betongranulat eignet sich für den Einsatz als Recyclingbeton im Hoch- oder Tiefbau. Dieser Verwertungsweg bietet die Möglichkeit eines effektiven Recyclings bei dem Primärkies ersetzt werden kann.

### **3.1.5 Sonderabfälle**

Die Sonderabfälle sind zwar bezüglich Mengen kaum relevant, doch das Gefährdungspotential, das von diesen Stoffen ausgeht, ist ungleich problematischer. Dies zeigt sich am besten an den getätigten Arbeitsaufwendungen für die Asbest- und PCB-Sanierung des Gebäudes. Der Arbeitsaufwand für diese Sanierung überstieg wohl den Aufwand für die Entsorgung der restlichen Bauabfälle. In dieser Studie ging es nur um die Erfassung der Sonderabfallströme und nicht um eine Bewertung der getätigten Massnahmen. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel nur kurz auf die anfallenden Abfälle und deren Verwertung bzw. Entsorgung eingegangen.

#### ***Asbesthaltiges Material***

Insgesamt fielen rund 86 Tonnen asbesthaltiges Material an, welches in die Sondermülldeponie Hanegg in Horgen zu Ablagerung überführt wurde. Die hohe Abfallmenge ist darauf zurückzuführen, dass auch potentiell asbesthaltige Bauteile, welche indirekt bei der Demontage kontaminiert hätten werden können, wie Sondermüll behandelt werden mussten. Die kontaminierten Bauteile waren vor allem Auskleidungen von Rohrisolationen und Brandschutzvorrichtungen in den Steigzonen. Nach Angaben der Firma Belfor AG handelte es sich um zirka 18 Kilometer Rohrleitungsisolierungen und Lüftungskanäle, welche dekontaminiert werden mussten. Das Material wurde in jeweils zwei Plastiksäcke verpackt und mittels Mulden in die Deponie transportiert. Aufgrund der Kontaminierung gab es bei diesem Material keine Verwertungsmöglichkeiten.

#### ***Kältemittel***

Es fielen 578 kg Kältemittel R12 und 614 kg Kältemittel R22 an. Die Kältemittel wurden von der Firma York Schweiz AG entnommen und der Prochimac SA in Neuenburg zu Entsorgung bzw. Verwertung zugeführt. Nach Angaben der Prochimac SA wurden 371 kg des Kältemittels R12 recycelt und 207 kg in einer Sondermüllverbrennungsanlage (SVA Genf oder Basel) thermisch behandelt. Das Kältemittel R22 wurde mittels eines Gaschromatographen auf seine Reinheit geprüft und konnte zu 100 Prozent wiederverwertet werden.

#### ***Leuchtstoffröhren***

Die Leuchtstoffröhren wurden von der Elektrofirma AZ Elektro AG demontiert und bei der Sonderabfallsammelstelle der KVA Hagenholz abgeliefert. Von dort werden die Leuchtstoffröhren der Verwertung zugeführt (SM Recycling AG). Die Leuchtstoffröhren können zu annähernd 100 % wiederverwertet werden. Das hochwertige Glas wird entweder wieder zu Leuchtstoffröhrenglas oder zu Glaswolle-Isolation verarbeitet. Die metallischen Teile gehen in die Metallindustrie und das Quecksilber geht zurück in die Lampenindustrie.

#### ***PCB-haltige Abfälle***

Die PCB-haltigen Abfälle bestanden hauptsächlich aus Fugendichtungen, welche auch in einem aufwändigen Verfahren entfernt werden muss. Die genaue Materialmenge war bis zur Redaktion des vorliegenden Berichts noch nicht bekannt. In der Güterflussanalyse wurde eine Menge von 2 Tonnen eingesetzt. Zudem wurden noch 48 kg Kondensatoren aus den Vorschaltgeräten der Leuchtstofflampen separat entsorgt, weil diese ebenfalls PCB enthalten können. Diese Abfälle wurden ebenfalls in einer Sondermüllverbrennungsanlage (Basel) thermisch unschädlich gemacht.

### 3.1.6 Verwertungsquote und Potential

In der Tabelle 3.2 ist die Verwertungsquote der rückgebauten Materialien aufgeführt. Die Verwertungsquoten der einzelnen Güterkategorien basieren auf den Informationen aus den Erhebungen der Güterflüsse und auf eigenen Abschätzungen.

Tabelle 3.2: Geschätzte Verwertungsquoten nach Fraktionen und potentielle Verwertungsquote bei einer optimalen Verwertung der einzelnen Fraktionen.

Fraktion	Güterflüsse [t]	Verwertungsquote in % (geschätzt)	Potential in % (geschätzt)	Bemerkungen
Metalle				Metallrecycling ist weitgehend optimiert
- Eisen	610	90	90	
- Kupfer	48	60	60	
- Aluminium	32	90	90	
Brennbare Abfälle	200	0	30	Teppichrecycling möglich, Isolationsmatten sind wiederverwertbar
Altholz	106	100	100	Altholzverbrennung ist vorzuziehen
Mineralische Bauabfälle				Gipsverwertung in Zementwerk Verwertung als RC-Kies Verwertung im RC-Beton
- Gips	500	50	80-90	
- Mischabbruch	1100	30	80	
- Beton*	1000	90	100	
Sonderabfälle	90	50	50	Verwertung von Leuchtstoffröhren und Kältemitteln
<b>Total (gewichtet nach Masse)</b>	<b>3686</b>	<b>61</b>	<b>85</b>	

\* Hier wurde die Verwendung des Betonabbruches (50% des gesamten Betonabbruches) als Baupistenunterlage der Verwertung zugerechnet. Bei einer Zuordnung des Betons zu den Abfällen würde die totale Verwertungsquote auf 50 % sinken!

Bei den Fraktionen "brennbare Abfälle" und vor allem bei den "mineralischen Bauabfällen" kann die Verwertungsquote noch deutlich verbessert werden. Berücksichtigt man zudem die Tatsache, dass hier die Verwendung des Betonabbruchs als Baupistenunterlage der Verwertung und nicht den Abfällen zugerechnet wurde, dann wird deutlich, welches Potential auch hinsichtlich der Qualität des Recyclings noch vorhanden ist. Bei einer optimalen Verwertung aller Fraktionen ist eine Quote von bis zu 85 % realistisch.

## 3.2 Transporte

Die Datenerfassung ist so aufgebaut, dass neben der Erfassung der Materialmengen auch die Transportkilometer erfasst werden können. Die zurückgelegten Distanzen zwischen dem VZ Werd und den Verwertern, KVA und Deponien wurden mittels eines Routenplaners (z. B. [www.map24.ch](http://www.map24.ch)) ermittelt. Die einzelnen Strecken wurden mit dem Faktor zwei multipliziert, da ein Transport mit jeweils einer Leerfahrt verbunden ist. Dies konnte auch der Entsorger bestätigen. Berücksichtigt wurden nur die Fahrten bis zum ersten Verwerter. So wurden beispielsweise bei den Metallen nur die Fahrten bis zur Dietiker Metallhandel AG einbezogen, der Weitertransport zu den Schmelzwerken wurde ausgeklammert.

Insgesamt wurden etwas mehr als 650 Fahrten durchgeführt um eine Transportdistanz von 27'500 km zurückzulegen. Über 50 Prozent der Gesamtdistanz wurde für den Transport der mineralischen Fraktion zurückgelegt (Tabelle 3.3). Dies ist einerseits auf die grosse Menge zurückzuführen,

andererseits mussten relativ grosse Distanzen zu den Verwertern oder Entsorgern bewältigt werden. Bei einer Verwertung des Mischabbruchs in der Region Zürich hätte sich die total zurückgelegte Distanz um über 15 Prozent d.h. 4500 km reduziert. Kombiniert mit einer höheren Verwertungsquote dieser Fraktion wäre die Verwertung in der Region Zürich der ökologisch deutlich sinnvollere Weg gewesen.

Tabelle 3.3: Verteilung der Fahrten, Volumina, Massen, Transportkilometer, Transportleistungen (als Tonnenkilometer, tkm) und mittlere Transportdistanzen auf die entsorgten Fraktionen.

Fraktion	Anzahl Fahrten (1)	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Masse [t]	Transport [km] (1)	Transportleistung [tkm]	Mittlere Transportdistanz [km]
brennbare Abfälle	124	1'886	197	843	670	3.4
Altholz	36	523	106	1'318	1'931	18.3
Aluminium	28	359	32	1'014	574	18.1
Alteisen	196	3'359	609	7'107	11'029	18.1
Kupfer	26	259	48	941	875	18.1
Gips	45	855	497	6'075	33'545	67.5
Mischabbruch	77	1'128	1'110	7'413	53'154	47.9
Beton	86	572	983	1'421	8'155	8.3
asbesthaltige Fraktion	38	811	86	1'398	1'583	18.4
<b>Total</b>	<b>656</b>	<b>9'752</b>	<b>3'667</b>	<b>27'531</b>	<b>111'516</b>	

(1) Hin- und Rückfahrt

Dies wird auch durch die Transportleistungen bestätigt, welche für die ökologische Bewertung in Tonnenkilometern (tkm) angegeben wird. Aus der Entsorgung der Bauabfälle resultierten über 110'000 Tonnenkilometer (Tabelle 3.3). Die Verteilung nach Tonnenkilometern ergibt einen Anteil von 85 Prozenten für die mineralische Bauabfällen. Die Eisenfraktion nimmt knapp 10 Prozent ein. Die restlichen Fraktionen haben Anteile von weniger als 2 Prozent (Abbildung 3.8).

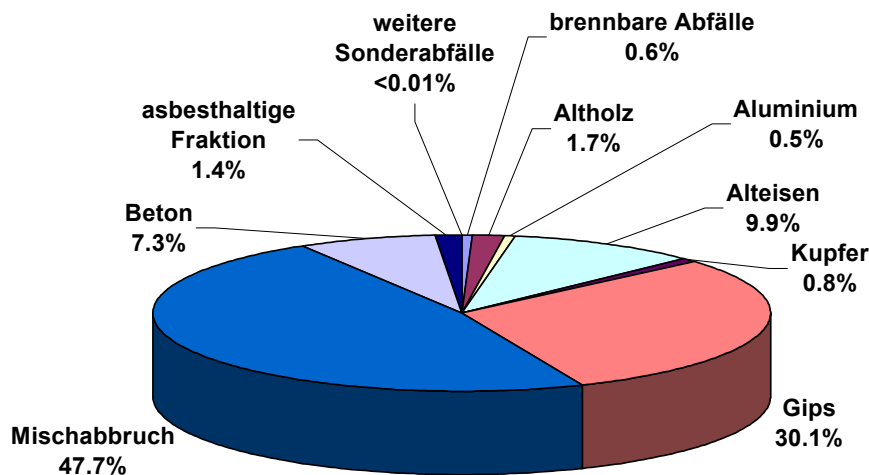


Abbildung 3.8: Verteilung der geleisteten Tonnenkilometer (tkm) nach Fraktionen.

In der Abbildung 3.9 sind die Ladedichten der Mulden nach Fraktionen aufgeführt. Die brennbaren Abfälle und die asbesthaltige Fraktionen weisen mit 100 kg/m<sup>3</sup> die gleichen Dichten auf. Dies ist auf die Ähnlichkeit der beiden Fraktionen zurückzuführen. Die asbesthaltige Fraktion enthielt relativ viel Isolationsmaterial, Plastik und Aluminiumbleche. Die Holzfraktion weist mit 200 kg/m<sup>3</sup> die doppelte Dichte wie die brennbaren Abfälle auf. Einerseits ist das spezifische Gewicht der Altholzfraktion höher, andererseits können die Holzteile besser gestapelt und in der Mulde

zerkleinert werden. Die Dichten der Eisen- und Kupferfraktion liegen im Bereich der Altholzfraktion, obwohl sie deutlich höhere spezifische Dichten aufweisen. Dies zeigt wiederum, dass die Metallfraktionen sehr viel sperriger sind und in den Mulden kaum verdichtet werden können. Die Dichte der Aluminiumfraktion ( $90 \text{ kg/m}^3$ ) liegen aufgrund der tieferen spezifischen Dichte von Aluminium tiefer als bei den anderen Metallen. Bei den mineralischen Fraktionen weist die Gipsfraktion mit  $580 \text{ kg/m}^3$  die tiefste Dichte auf, der Mischabbruch liegt mit  $1000 \text{ kg/m}^3$  doppelt so hoch und die Betonfraktion ist nochmals deutlich höher.

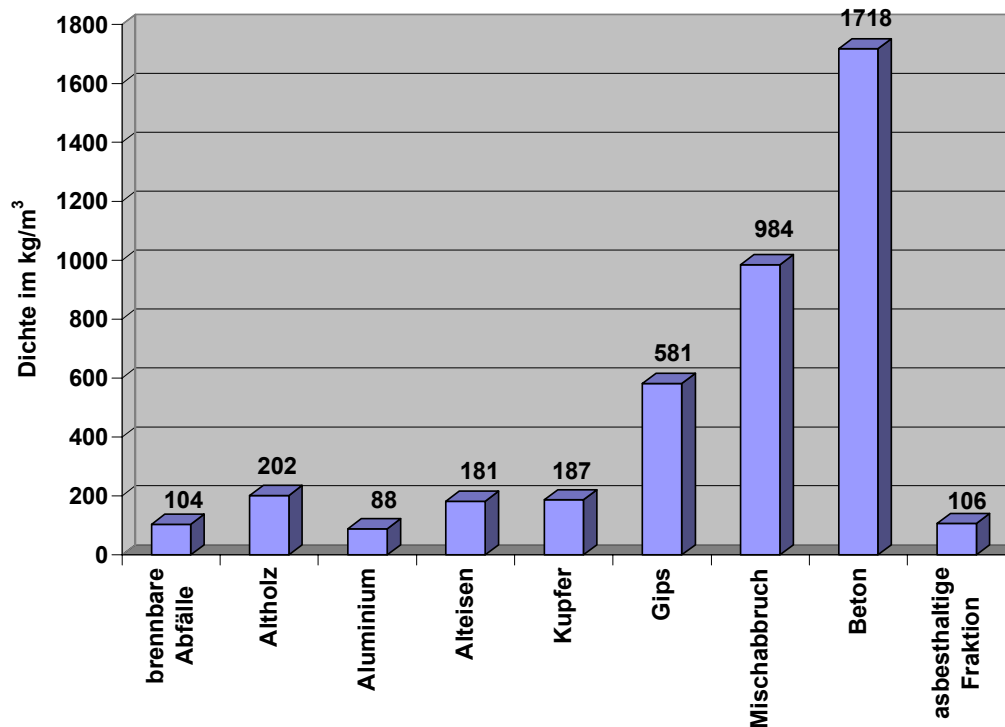


Abbildung 3.9: Ladedichten der Mulden nach Fraktionen.

Die Kenntnis der einzelnen Ladedichten sind eine wichtige Voraussetzung, um die zu erwartenden Fahrkilometer eines Rückbaus zu berechnen. Sind die ungefähren Materialmengen und die Lieferorte bekannt, dann lassen sich relativ aussagekräftige Abschätzungen machen, welche wiederum zur Berechnung der zu erwartenden Emissionen eines Bauprojektes benutzt werden können.

## 4 Erkenntnisse aus dem Projekt

### 4.1 Rückbaubarkeit von Gebäudeteilen und Installationen

Im Rahmen des Projektes „Strategie Baustoffmanagement 21“ wird zur Zeit an der Entwicklung eines Baustofflabels gearbeitet, welches analog zum MINERGIE-Label das ganze Gebäude erfassen soll. Dabei soll das Gebäude als Ganzes, die Nutzungsflexibilität der Bauweise, die Beständigkeit der Konstruktion bzw. deren Rückbaufähigkeit, die Materialökologie mit den Teilaspekten Verbrauch an neuem, nachwachsendem oder recyceltem Material, seine Wiederverwertbarkeit, benötigte Herstellungsenergie und Schadstoffemission während des ganzen Lebenszyklus beurteilt werden. Die Kompatibilität zur SIA-Empfehlung für nachhaltiges Bauen, welche gegenwärtig ausgearbeitet wird, soll gewährleistet werden.

Durch die ständige Begleitung des im Zusammenhang mit dem Umbau des VZ Werd durchgeführten Rückbaus und durch das Controlling der Entsorgung/Verwertung, ergaben sich einige Erkenntnisse im Bereich der Rückbaubarkeit von Gebäudeteilen bzw. Materialien sowie im Bereich der Verwertbarkeit der Materialien, welche möglicherweise in das oben erwähnte Projekt einfließen könnten. Es handelt sich vor allem um Erkenntnisse betreffend Kriterien, welche schon während der Planung der Gebäude, beziehungsweise bei der Wahl der Materialien berücksichtigt werden sollten. Im nachfolgenden Abschnitt werden einige (teilweise auch schon bekannte) Kriterien anhand von Beispielen dokumentiert.

#### 4.1.1 Planungsebene

Das Gebäude sollte derart geplant werden, dass der Rückbau von Gebäudeteilen und Installationen mit einem vertretbaren Aufwand möglich ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass davon auszugehen ist, dass nicht unbedingt ein totaler Rückbau stattfinden muss, sondern mit partiellen Rückbauten bzw. Umbauten, wie dies beispielsweise beim VZ Werd der Fall ist, gerechnet werden muss.

Es sind insbesondere die folgenden Punkte zu berücksichtigen:

- Steigleitungen und Lüftungsschächte müssen für die Demontage ohne grossen Aufwand zugänglich sein. Sie sind so zu planen, dass sie entweder vertikal erreichbar sind (genügend Raum für eine Person mit Werkzeug) oder dass die Vormauerungen mit kleinem Aufwand entfernt werden können.
- Technikräume wie Lüftungszentralen, Heizungsräume, Elektrozentralen, Notstromversorgung usw. sind so zu gestalten, dass Maschinen, andere Grossgeräte und Leitungen mit vertretbarem Aufwand, d.h. ohne Mauern oder Decken aufzureissen, demontiert werden können. In den Abbildung 4.1 bis Abbildung 4.3 ist der grosse Aufwand für die Demontage der Klimazentrale im 10. Obergeschoss des VZ Werd dokumentiert.
- Die Zugänge (Türen und Treppenhäuser) zu diesen Technikräumen müssen dementsprechend dimensioniert werden.



Abbildung 4.1: Rückbau der Klimazentrale im 10. OG.



Abbildung 4.2: Aufgefräste Betondecke für Abtransport der grossen Bauteile aus dem Gebäude.

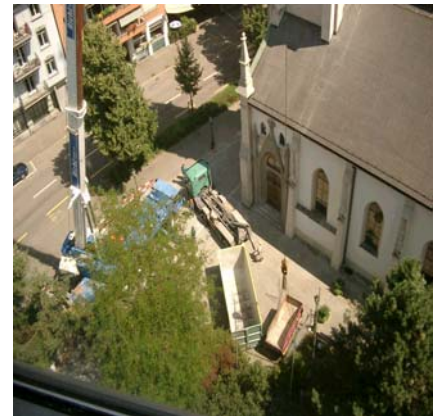


Abbildung 4.3: Baukran für den Transport der in der kleinen Mulde gesammelten Bauteile vom Dach in die Mulde des Lastwagens.

#### 4.1.2 Materialebene

Die Hauptkriterien für die Materialwahl wurden Eingangs schon erwähnt. Nachfolgend nochmals einige Kriterien, welche bei der Wahl der Materialien berücksichtigt werden sollten.

- Der Einsatz von Verbundmaterialien ist auf ein Minimum zu beschränken.

- Vor allem im Bereich der Isolationsmaterialien für Heizung, Lüftung und Klima steckt noch Optimierungspotential bezüglich der Demontage und der anschließenden Verwertung. Teilweise kann diese Material kaum oder nur mit grossem (Zeit- und Energie-) Aufwand von den Metallrohren/Kanälen entfernt werden. Als Beispiel können hier Heizungsrohre erwähnt werden, bei denen die Isolation mittels eines Drahtgeflechtes befestigt wurde. Die Trennung dieser Komponente ist sehr zeitintensiv. Ein weiteres Beispiel ist die in der untenstehenden Abbildung dargestellt Sandwichbauweise, welche nur durch einen energie- und zeitaufwändigen Prozess aufgetrennt werden kann.



Abbildung 4.4: Lüftungsrohre mit eingebauter Isolation.

- Der Einbau der Materialien sollte so gestaltet werden, dass eine relative einfache Demontage, getrennt nach verschiedenen Verwertungsfraktionen, möglich ist.

### 4.1.3 Allgemeine Bemerkungen

#### *Berücksichtigung der möglichen Verwertungswege bei der Beurteilung von Materialien*

Bei der Beurteilung der Materialien ist zu berücksichtigen, dass Materialien, welche heute noch entsorgt werden müssen, in Zukunft der Verwertung zugeführt werden könnten. Als Beispiele seien hier die Verwertung der Gipsplatten in der Zementproduktion sowie die Möglichkeit der Teppichverwertung erwähnt. Die neuen Verwertungsverfahren verändern selbstverständlich auch die Ökobilanzen dieser Materialien.

#### *Berücksichtigung der Lebensdauer von Materialien bei der Beurteilung von Materialien*

Die unterschiedlichen Verweilzeiten von Materialien und Bauteilen sollten ebenfalls in die Bewertung einbezogen werden. Dies betrifft hauptsächlich die technischen Installationen, welche im Durchschnitt kürzere Lebensdauern als das Grundgerüst eines Gebäudes aufweisen. Dies sollte in die Bewertung hinsichtlich der Rückbaubarkeit von Materialien oder Gebäudeteilen einfließen.

## 4.2 Verwertung und Transporte

Die Resultate aus der Untersuchung der Bauabfallströme in Verbindung mit einem Controlling der Entsorgung zeigen sehr gut auf, wo mengenmässig die grössten Flüsse auftreten, welche Verwertungs- und Entsorgungsprozesse im Laufe der Entsorgung der Baumaterialien durchlaufen werden und welches Potential im Bereich der Bauabfallverwertung und der damit verbundenen Transporte noch vorhanden ist. Durch das effiziente Controlling konnten die Entsorgungs- und Verwertungswege bis zur Wiederverwendung, Deponierung oder Verbrennung der einzelnen Materialien verfolgt werden. Damit lassen sich einerseits die gewählten Verwertungswege hinsichtlich ihrer Verwertung qualitativ beurteilen, andererseits können Optimierungsmassnahmen, die zu einer Erhöhung der Verwertungsquote führen, vorgeschlagen werden.

So liegt die Verwertungsquote der rückgebauten Materialien bei einer begrenzten Betrachtung (d.h. ohne qualitative Beurteilung) bei über 60 Prozent, doch ein genauerer Blick auf die Wiederverwendung der verwertbaren Materialien lässt die tatsächliche Verwertungsquote d.h. ohne Downcycling auf 50 Prozent fallen (Tabelle 3.2). Verantwortlich für die deutlich tiefere Verwertungsquote ist die Verwendung eines Teils des mengenmässig gewichtigen Betonabbruchs für die Erstellung von Baupisten. Der Einsatz dieses langlebigen und qualitativ hochwertigen Materials in einer solch kurzlebigen Anwendung ist nicht sinnvoll. Die Verwendung als Baupistenmaterial entspricht deshalb eher einer hinausgezögerten Entsorgung. Das Einsatzgebiet der verwertbaren Materialien sollte jedenfalls so gewählt werden, dass die jeweiligen Anwendungen den möglichen Lebensdauern der verwertbaren Materialien entsprechen. Konkret bedeutet dies für den Beton, dass der Betonabbruch wieder als Zuschlagstoff (RC-Kies) in den Beton oder allenfalls in den Strassenbau als Kofferung gelangen sollte.

Auch bei den scheinbar nicht mehr verwertbaren brennbaren Materialien ergibt sich ebenfalls ein Verwertungspotential. So stehen für die Teppiche, welche bei diesem Projekt schätzungsweise 30 Prozent der brennbaren Fraktion ausmachten, Verwertungsmöglichkeiten zur Verfügung, allerdings sind diese im Ausland. Dennoch sollte bei grösseren Umbauten, bei denen eine grosse Menge Teppiche anfallen, an solche alternative Verwertungsmöglichkeiten gedacht werden.

Das Verwertungspotential der rückgebauten Materialien im VZ Werd wird in der Tabelle 3.2 mit 85 Massenprozent beziffert. Diese Quote kann bei einer optimalen Verwertung der verschiedenen Güter erreicht werden. Bei einigen Gütern wie bei den Metallen, Holz und den Sonderabfällen ist das Potential schon heute weitgehend ausgeschöpft. Gleichwohl ist beim Altholz zu erwähnen, dass die Altholzverbrennung der Verwertung vorzuziehen ist, solange keine effizientere Aussortierung zwischen stark kontaminierten und leicht kontaminierten Altholzfraktionen erfolgt. Bei den mineralischen Bauabfällen kann die Verwertungsquote noch deutlich erhöht werden. Zwar stehen schon heute Verwertungsmöglichkeiten zur Verfügung, doch liegen die Annahmehöhen bei den Verwertern teilweise höher als diejenigen der Betreiber von Inertstoffdeponien. Ist die Preisdifferenz genügend hoch, dann transportiert der Entsorger dieses Material auch über grössere Distanzen, weil für ihn die Deponierung noch immer kostengünstiger ist. Vom ökologischen Standpunkt aus betrachtet ist dies nicht sinnvoll, weil neben der Deponierung auch noch höhere Emissionen durch den Transport entstehen. Es sei hier nochmals erwähnt, dass die totalen Transporte um 4500 km oder 15 Prozent tiefer lägen, wenn der Mischabbruch aus dem Rückbau einem Verwerter in der Region Zürich zugeführt worden wäre.

Die Untersuchung der Verwertungswege zeigte, wie weit die einzelnen Verwertungsprozesse teilweise entfernt sind. Die Materialien werden Hunderte von Kilometern zu den einzelnen Verwertern verschoben. So werden beispielsweise Kupfer- und Aluminiumfraktionen in der Schweiz gesammelt, diese müssen dann aber an Schmelzwerke in Deutschland oder Italien geliefert werden, weil die wenigen Schmelzwerke in der Schweiz nur qualitativ hochwertigen Schrott

entgegennehmen. Auch das Holz wurde nach Norditalien exportiert. Für die Entsorgung der mineralischen Fraktionen wurden mittlere Distanzen zwischen 8 km (Beton) bis 130 km (Gips) zurückgelegt. Im ähnlichen Bereich liegen die Sonderabfälle. Kurze Distanzen von 3 km bis 20 km wurden für den brennbaren Abfall und die asbesthaltige Fraktion zurückgelegt. Wie schon erwähnt, gäbe es auch im Transportbereich Optimierungsmöglichkeiten. Das grösste Potential liegt bei den mineralischen Fraktionen und beim Altholz, welches im Kanton Zürich verbrannt und thermisch genutzt werden könnte.

Bei der Bewertung der Materialien oder Gebäudeteilen hinsichtlich deren Verwert- und Rückbaubarkeit ist zu berücksichtigen, dass Materialien, welche heute noch entsorgt werden müssen, in Zukunft der Verwertung zugeführt werden könnten. Als Beispiele seien hier die Verwertung der Gipsplatten in der Zementproduktion sowie die Möglichkeit der Teppichverwertung erwähnt. Die neuen Verwertungsverfahren verändern selbstverständlich auch die Ökobilanzen dieser Materialien. Die unterschiedlichen Verweilzeiten von Materialien und Bauteilen sollten ebenfalls in die Bewertung einbezogen werden. Dies betrifft hauptsächlich die technischen Installationen, welche im Durchschnitt eine kürzere Lebensdauer als das Grundgerüst eines Gebäudes aufweisen.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

### 5.1 Das Controlling als Instrument zur Qualitätssicherung

Das Controlling der Entsorgung ist nicht nur ein effizientes Instrument zur Überwachung der Entsorgung sondern auch ein Hilfsmittel um die Effizienz der einzelnen Verwertungsmaßnahmen zu überprüfen und zu bewerten. Das Controlling bildet somit die Grundlage für eine Qualitätssicherung bei der Entsorgung von Bauabfällen, welches bis heute noch kaum ein Thema ist. Die Gründe warum die Qualitätssicherung in diesem Bereich vernachlässigt wird, sind einerseits die grosse zeitliche Belastung der Beteiligten, die keine Zeit für die Überwachung der Entsorgung haben, andererseits fehlt den verantwortlichen Parteien das Know-how für die Beurteilung der einzelnen Entsorgungs- bzw. Verwertungswege. Dennoch wird eine Qualitätssicherung der Entsorgung in Zukunft immer wichtiger werden, weil die Materialien in verschiedene Verwertungsprozesse gehen und somit in den Kreislauf zurück gelangen. Ein effizientes Recycling kann aber nur erreicht werden, wenn gewährleistet ist, dass die Materialien, welche in den Verwertungsprozess gelangen, von einwandfreier Qualität sind. Ein weiterer Aspekt der Qualitätssicherung der Entsorgung ist der Nachweis, dass die Entsorgung und Verwertung der Materialien umweltgerecht erfolgt ist. Dieser Nachweis kann nur erbracht werden, wenn eine Überprüfung der Güterflüsse stattfindet. Dies sollte eigentlich auch für ein Bauunternehmen interessant sein, weil dieses damit belegen kann, was mit den entsorgten bzw. verwerteten Gütern geschehen ist.

- **Das Controlling bildet die Grundlage für eine Qualitätssicherung bei der Entsorgung und Verwertung von Bauabfällen.**
- **Eine Qualitätssicherung in diesem Bereich wird immer wichtiger, weil die Materialien zukünftig vermehrt in den Kreislauf zurückgeführt werden.**
- **Mit dem Controlling als Element der Qualitätssicherung werden die Entsorgungs- und Verwertungswege der Materialien nachweis- und optimierbar.**

### 5.2 Massnahmen und Perspektiven für die Optimierung der Verwertung

Das Projekt hat aufgezeigt, bei welchen Materialien eine effizientere Verwertung möglich ist und welche Verwertungsquoten erreicht werden können. Im Folgenden werden Massnahmen und Perspektiven vorgestellt, die es erlauben sollen, in zukünftigen Projekten eine qualitativ hochstehende Verwertung der rückgebauten Materialien zu erreichen.

Im heutigen System ist es dem Abbruchunternehmer überlassen, wie er die verschiedenen Güter aus dem Rückbau, unter Einhaltung der gesetzlichen Auflagen, entsorgt bzw. der Verwertung zuführt. Der Kostendruck zwingt die Abbruchunternehmen die kostengünstigsten Entsorgungsvarianten zu wählen, der ökologische Aspekt spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Grund wurde ein relativ grosser Teil der mineralischen Fraktionen (Beton- und Mischabbruch) nicht optimal verwertet oder gar deponiert. Es ist aber auch zu erwähnen, dass der Abbruchunternehmer nach innovativen Lösungen suchte und im Fall der Gipsverwertung auch welche fand. Die Suche nach kostengünstigen und ökologisch sinnvollen Verwertungswegen ist sehr zeitaufwändig und setzt Kenntnisse im Bereich der ökologischen Bewertung der verschiedenen Verwertungswege voraus, welche von einem Abbruchunternehmen nicht erwartet werden können. Hier sind neben dem allgemeinen Know-how in der Bauabfallverwertung auch teilweise ressourcen- und materialwissenschaftliche Grundlagenkenntnisse zur Beurteilung der Verwertungsprozesse notwendig.

*Mit welchen Massnahmen kann die Bauabfallverwertung optimiert werden? Was sind die Perspektiven?*

Die Massnahmen für eine optimierte Verwertung der Bauabfälle sind auf zwei Ebenen anzusetzen, welche sich idealerweise ergänzen sollten:

**I. Festlegung der Verwertungsziele in den Submissionsunterlagen.**

**II. Controlling und fachliche Begleitung während des Rückbaus.**

Bei grösseren Projekten sollten in den Submissionsunterlagen Anforderungen bezüglich der Verwertung der rückzubauenden Materialien formuliert werden. Dabei sollten zunächst einmal die Verwertungsziele festgelegt werden und in einem nächsten Schritt die Auflagen im Bereich der Verwertungswege ausgearbeitet werden. Das Controlling der Entsorgung und Verwertung sollte auf der Stufe Bauleitung erfolgen, wobei die Bauleitung selber oder ein Beratungsbüro das Controlling übernehmen sollten. Bei grösseren Projekten sollte eventuell eine EDV-Lösung entwickelt werden, um das Datenmanagement effizient zu gestalten. Hier könnte eine elektronische Plattform ein Lösungsansatz darstellen, auf der die Entsorger ihre Daten (aus Lieferscheine) online in einer Datenbank ablegen könnten. Am Schluss des Projektes könnte dann jedes an der Entsorgung beteiligte Unternehmen die entsprechenden Daten abrufen und damit auch belegen, wo die einzelnen Güter entsorgt bzw. verwertet wurde. Die Kompetenzen und Verantwortlichkeiten müssen dabei aber klar geregelt sein. Im Sinne einer optimalen Begleitung der Abbruchunternehmen steht diesen eine fachliche Beratungsstelle zur Verfügung, welches je nach Bedarf auftauchende Fragen bezüglich der einzelnen Verwertungswege beantwortet. In der Abbildung 5.1 ist ein Beispiel, wie ein solches Projekt ablaufen könnte schematisch dargestellt.

Nach Abschluss des Rückbaus sollte ein kurzer Bericht mit den wichtigsten Eckdaten und Erkenntnissen aus der Verwertung verfasst werden. Darin enthalten sind die Güterflüsse, die Entsorgungsorte, eventuell die Transportkilometer und die totale Verwertungsquote. Zudem sind die verantwortlichen Personen (Abbruchunternehmen, Bauleitung und Controller), welche bei allfälligen Fragen kontaktiert werden können, zu bezeichnen. Dieser kurze Bericht bildet ein zentrales Element der Qualitätssicherung der Entsorgung/Verwertung und sollte bei mittelgrossen bis grossen Projekten zum Standard werden. Die Kosten für ein Controlling dürften im Bereich von ein bis zwei Prozent der Rückbaukosten liegen.

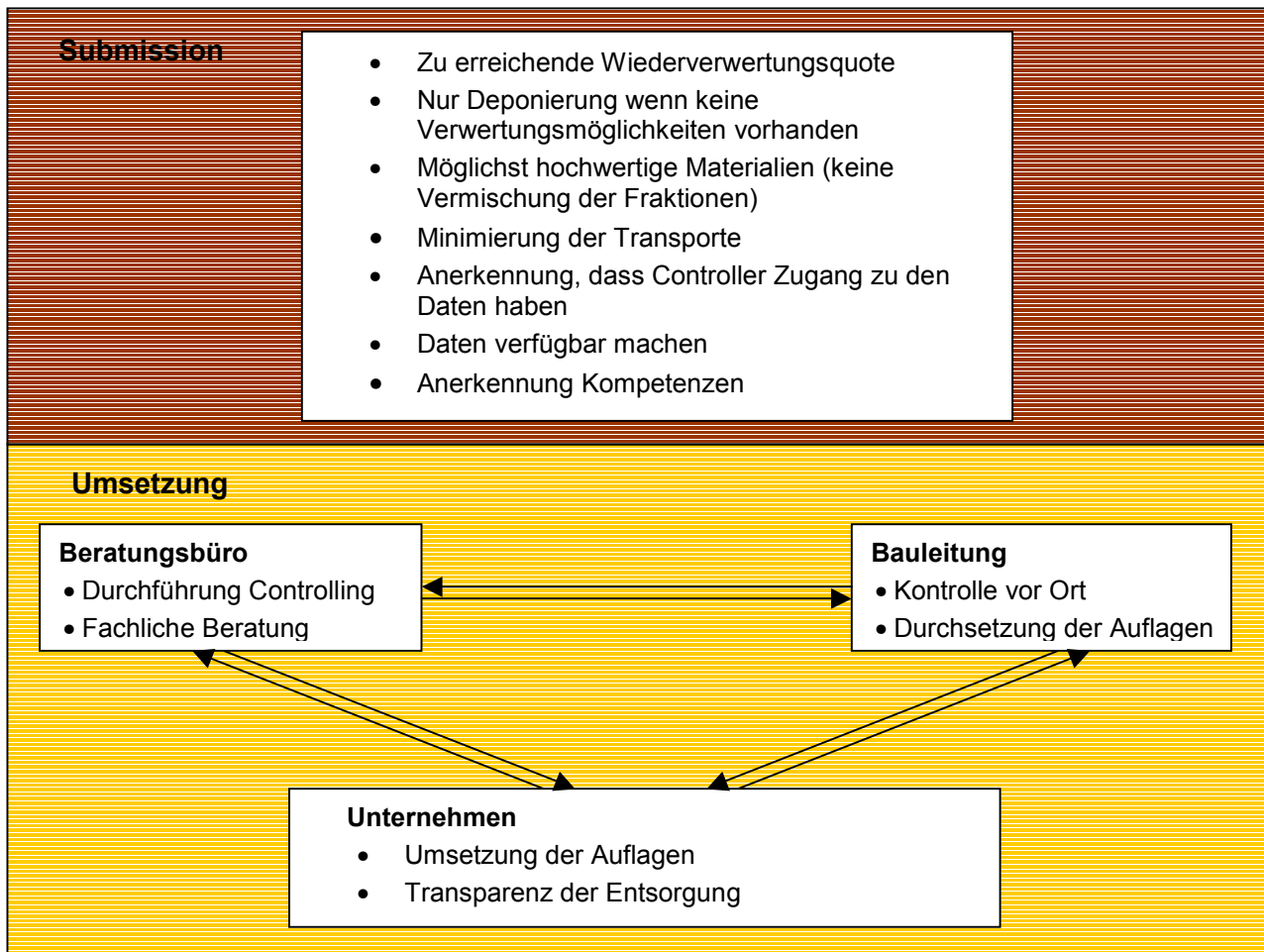


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung der Organisation eines Controllings der Verwertung.

Die Pfeile zwischen den Kästchen stellen den Kommunikationsablauf dar. Die Abbruchunternehmen liefern die Daten (Lieferscheine) der Bauleitung ab. Die Bauleitung ihrerseits überprüft die ordnungsgemäße Trennung auf der Baustelle. Die Lieferscheine werden dem Beratungsbüro weitergegeben, welches die Daten verwaltet und die Lieferscheine mit den Waagscheinen der Verwerter, Deponiebetreiber und der KVA vergleicht. Das Beratungsbüro steht der Bauleitung und den Abbruchunternehmen für allfällige fachliche Fragen zur Verfügung.

Mit den erwähnten Massnahmen kann die Verwertung der rückzubauenden Materialien systematisch verbessert werden. Sie bilden die Basis für eine Qualitätssicherung beziehungsweise für eine Qualitätsentwicklung, welche gewährleistet, dass die in den Kreislauf zurückgeführten Materialien von hoher Qualität sind. Dies lässt sich dann wiederum zu Werbezwecken nutzen, um den Einsatz von Sekundärressourcen im Bau zu fördern.

## 6 Literatur

Baccini P., Bader H.P. 1996, *Regionaler Stoffhaushalt*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

BUWAL 2001, *Bauabfälle in der Schweiz*, Schriftenreihe Umwelt-Materialien Nr.131, BUWAL, Bern

BUWAL 2002, *Abfallstatistik 2002*, Schriftenreihe Umwelt-Materialien Nr. 152, BUWAL, Bern