



# Controlling und Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung während des Rückbaus der Wohnsiedlung Bernerstrasse

## **Schlussbericht**

ausgearbeitet durch 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

im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich

Zürich, 9. Mai 2005

### **Impressum**

Titel: Controlling und Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung während des Rückbaus

der Wohnsiedlung Bernerstrasse.

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

Diese Studie wurde im Auftrag der Fachstelle nachhaltiges Bauen des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Studiennehmer verantwortlich.

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

Zusammenfassung i

## Zusammenfassung

Im Auftrag des Amtes für Hochbauten wurde während des Rückbaus der Wohnsiedlung Bernerstrasse ein Controlling der Bauabfall- und Aushubmaterialentsorgung durchgeführt. Es wurde überprüft, ob eine fach- bzw. umweltgerechte Entsorgung bzw. Verwertung der Materialien während des Rückbaus und den Aushubarbeiten erfolgt ist. Gleichzeitig wurden die mit der Entsorgung verbundenen Materialflüsse und Transporte erhoben. Die Daten aus den Erhebungen und die Erkenntnisse aus der Überwachung der Verwertung und Entsorgung sind im vorliegenden Bericht zusammengefasst.

Der Bericht dient als Nachweis für eine korrekte Entsorgung der Güter und stellt eine Grundlage für die Optimierung der Verwertung/Entsorgung bei künftigen Projekten dar.

Die Ziele des Controllings und der Güterflussanalyse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Qualitätssicherung im Bereich der Entsorgung und Verwertung der Materialien aus dem Rückbau und Aushub.
- Erfassen und Auswerten von mindestens 95% der Materialflüsse.
- Erfassen und Auswerten der Entsorgungs- und Verwertungswege.
- Aufzeigen der Optimierungspotentiale bei der Verwertung der Materialien und bei der Transportlogistik.

Insgesamt wurden die Flüsse von elf Güterkategorien erfasst. Die Verwertungswege und Verwertungsprozesse der einzelnen Güterkategorien wurden bis zu den Zielprozessen recherchiert und sind im vorliegenden Bericht detailliert beschrieben. Zusätzlich zu den erfassten Bauabfallkategorien wurden die abgeführten Aushubmengen erfasst und in die Kategorien U-Aushub (unverschmutzter Aushub), T-Aushub (tolerierbarer Aushub), V-Aushub (verschmutzter Aushub und Bodenaushub (Humus) unterteilt. Der Ablauf des Rückbaus und die Entsorgung auf der Baustelle und beim Entsorger wurden mittels Fotos dokumentiert.

Insgesamt wurden über 82'000 Tonnen Material von der Baustelle abgeführt (Tabelle 1.1). Das Aushubmaterial beanspruchte mit 51'100 Tonnen oder 62 % den grössten Anteil. Von den 31'000 Tonnen Bauabfall sind 11'600 Tonnen Betonabbruch und 14'500 Tonnen Mischabbruch, was einem Anteil von 85 % der gesamten Bauabfallmenge entspricht.

Über 92 % der Bauabfälle und 49 % des Aushubmaterials wurden einer Verwertung zugeführt. Bei den Bauabfällen liegt in quantitativer Hinsicht nur noch ein geringes Potential vor, in qualitativer Hinsicht ist eine Verbesserung durchaus möglich. Dazu muss die Aufbereitung des Beton- und Mischabbruches zu Granulaten optimiert werden, so dass diese als Zuschlagstoffe für den RC-Konstruktionsbeton eingesetzt werden können. Dies bedeutet, dass die Korngrössenklassierung verfeinert werden muss, damit die gewünschten Siebkurven hergestellt werden können.

Rund die Hälfte des unverschmutzten Aushubmaterials sowie der grösste Teil des Beton- und Mischabbruches konnte von der Firma Richi & Co. in Weiningen aufbereitet und verwertet werden. Die Distanz zum Aufbereitungsplatz war mit 7 km sehr kurz, so dass die durchschnittliche Transportdistanz (jeweils nur Hinweg) für die Verwertung und Entsorgung des gesamten Aushubmaterials mit 22 km/Fahrt und der Bauabfälle mit 13 km/Fahrt tief gehalten werden konnte.

In der Tabelle 1.1 sind neben den Mengen auch die Anzahl Fahrten, die zurückgelegten Kilometer, die Transportleistung in Tonnenkilometern (tkm), die durchschnittlichen Kilometer pro Fahrt (Hinweg) und die Verwertungsquoten nach Fraktionen getrennt aufgeführt. Insgesamt wurden

Zusammenfassung ii

knapp 4900 Fahrten durchgeführt, um eine totale Transportdistanz von knapp 90'000 km zurückzulegen. Es wurde eine totale Transportleistung von über 1'400'000 tkm erbracht, wobei der Abtransport der Bauabfallfraktionen nur einen Anteil von 22 % in Anspruch nahm. Die restlichen 78 % wurden für den Transport des Aushubmaterials benötigt. Bei der Annahme, dass 50 % der Rücktransporte Leerfahrten sind, ergibt sich eine Transportleistung von 2.1 Mio. tkm.

Tabelle 1.1: Verteilung der Fahrten, Volumina, Massen, Transportkilometer, Transportleistungen (als Tonnenkilometer, tkm), mittlere Transportdistanzen auf die entsorgten Fraktionen sowie die jeweiligen Verwertungsquoten.

Materialkategorie	Fahrten	Volumen	Masse	Transporte	Transportleistung	Durchschnittl.	Verwertungs-
	Anzahl	m <sup>3</sup>	t	km	tkm	km/Fahrt	quote in %
Aushub U	2'025	23'777	38'061	41'436	778'812	20	47
Aushub T und V	593	7'280	11'648	12'378	243'117	21	66
Humus	83	1'224	1'407	5'229	88'643	63	30
Summe Aushub	2'701	32'280	51'115	59'043	1'110'572	22	51
Asphalt	13	120	168	91	1'176	7	100
Asbesthaltige Materialien	3	29	31	189	1'953	63	0
Betonabbruch	563	7'257	11'592	3'941	81'144	7	100
Betonabbruch aus Aushub	137	1'457	2'331	959	16'318	7	50
Dachkies	35	223	357	245	2'498	7	100
Mischabbruch	1'104	14'493	14'493	9'027	118'504	8	99.5
Inertstoffe (Deponie)	218	3'018	1'374	13'482	84'949	62	0
Altholz	42	1'471	294	294	2'059	7	100
Grüngut	17	506	182	119	1'275	7	100
Metalle	23	720	163	370	2'625	16	100
Sperrgut	33	892	201	781	4'765	24	6
Summe Bauabfälle	2'188	30'186	31'187	29'498	317'267	13	91
Total	4'889	62'466	82'302	88'541	1'427'839	18	66

Die kurzen Transportdistanzen hängen mit der Auswahl des Unternehmens zusammen. Die Auswahl basierte neben weiteren Kriterien auf der ökologischen Beurteilung der eingereichten Offerten. Die zu erwartenden Transportdistanzen waren ein wichtiges Beurteilungskriterium im Bereich der Ökologie. Das vorliegende Projekt ist ein gutes Beispiel, um den Effekt von vorgezogenen Massnahmen zur Reduktion von Umweltbelastungen durch den Rückbau aufzuzeigen. Durch den Einbezug von (Zuschlags-)Kriterien im Bereich der Ökologie in den Submissionsunterlagen und der nachfolgenden Beurteilung der eingereichten Offerten konnte über die Wahl des Unternehmens ein relativ grosser Einfluss auf die Transportwege, aber auch auf die Qualität hinsichtlich der Verwertung erreicht werden.

Insgesamt konnten die in den Submissionsunterlagen geforderten Ziele, eine hohe Verwertungsquote zu erreichen und möglichst geringe Umweltbelastungen durch die Transporte zu verursachen, umgesetzt werden. Dennoch lassen sich, basierend auf den ausführlichen Untersuchungen im Bereich der Verwertung und der Transportlogistik, folgende Optimierungspotentiale formulieren:

#### Bereich Rückbau

- Die Demontagearbeiten vor dem Rückbau sind auszubauen, damit die Qualität des Mischabbruchs den Anforderungen für den Einsatz von RC-Beton im konstruktiven Bereich genügt. Dies gilt insbesondere für die schadstoffbelasteten Materialien wie Leuchten mit Kondensatoren, Vorschaltgeräten sowie den Leuchstoffröhren.
- Gipswände sind ebenfalls separat auszubauen und zu verwerten, da diese die Qualität des Mischabbruchs ebenfalls verschlechtern → höhere Feinanteile.

Zusammenfassung iii

### **Bereich Transporte**

• Zwischenlagermöglichkeiten für Humus und Aushubmaterial sollten möglichst frühzeitig abgeklärt werden, damit diese in die Planung einfliessen können.

- Eventuell sollte die Machbarkeit einer unternehmensübergreifenden, regionalen Plattform für die Verschiebung von Aushubmaterial geprüft werden, um die Logistik zu optimieren.
- Vermeidbare Transporte sollten unterbunden werden. So sollten brennbare Materialien nicht in weit entfernten Deponien zwischengelagert und erst später in den Kehrichtverbrennungsanlagen in der Stadt Zürich verbrannt werden.

### Bereich der Submission

- Für weitere Projekte ist zu prüfen, ob gewisse Entsorgungs- oder Verwertungswege schon in den Ausschreibungsunterlagen vorgegeben werden sollten. Nachfolgend einige Beispiele:
  - Falls keine Verwertung möglich ist, sind brennbare Materialien ohne Umwege in die nächstgelegene KVA zu entsorgen.
  - Altholz ist möglichst in regionale Altholzverbrennungsanlagen mit entsprechend ausgerüsteten Verbrennungsstufen zu liefern.
  - Inertstoffe sind in nahe gelegene Inertstoffdeponien zu führen. (Angabe von Deponien)
- Es ist ebenfalls zu prüfen, ob dem Unternehmer der Mehraufwand einer korrekte Entsorgung/Verwertung der Materialien in Rechnung gestellt wird, wenn dieser die in den Ausschreibungsunterlagen aufgeführten ökologischen Anforderungen nicht einhält. Als konkretes Bespiel sei hier die Entsorgung von Leuchtstoffröhren genannt. Falls diese nicht korrekt durchgeführt wird, hat der Unternehmer die hypothetischen Kosten für die Demontage und die korrekte Entsorgung der Leuchtstoffröhren dem Bauherrn zu vergüten.

Das vorliegende Projekt zeigt sehr gut auf, mit welchen effektiven Mitteln der Bauherr bzw. die ausführenden Planer die durch den Rückbau und Aushub verursachten Umweltbelastungen reduzieren können. Dies war einerseits möglich, weil die Bauleitung bestrebt war, den ökologischen Beurteilungskriterien bei der Auswahl der Unternehmen auch genügend Gewicht zu geben. Andererseits entstanden keine zusätzlichen Kosten aufgrund der Festlegung der ökologischen Kriterien. Denn das günstigste Angebot für die Rückbau- und Aushubarbeiten war zugleich auch das nach ökologischen Kriterien beste Angebot. Die Annahme, dass ökologisch vorteilhafte Lösungen teurer sind, konnte hier also widerlegt werden. Da die Distanzen zum Werkplatz des Rückbauunternehmens sehr kurz waren, konnte der Unternehmer die Transportkosten tief halten. Dies schlug sich dann auch im Preis für die total offerierten Leistungen nieder.

Die gute Zusammenarbeit zwischen der Bauleitung (bosshard & partner Architekturbüro AG) und dem Controller (Wertstoff-Börse GmbH) bildete die Basis für die erfolgreiche Umsetzung der in den Submissionsunterlagen geforderten Leistungen im Bereich der Ökologie.

## Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
1.1 Allgemeine Ausgangslage	1
1.2 Ausgangslage	2
1.3 Zielsetzung	
2 VORGEHEN UND METHODIK	3
2.1 Einleitende Massnahmen vor Projektbeginn	
Methode zur Erfassung der Güterflüsse  2.2.1 Systembeschreibung	<b>3</b>
2.3 Vorgehen	4
3 RESULTATE	7
3.1 Auswertung der Offerten und Unternehmergespräche	7
3.2 Dokumentation des Rückbaus	8
3.3 Organisation der Materialtrennung auf der Baustelle	11
3.4 Optimierungspotential beim Rückbau	11
3.5 Besuch auf dem Aufbereitungsplatz des Rückbauunternehmers	13
3.6 Güterflüsse	15
3.6.1 Verwertungswege von Metallen	
3.6.2 Verwertungswege von Altholz	
3.6.3 Entsorgung des Sperrgutes	
3.6.4 Verwertungswege des Misch- und Betonabbruchs	
3.6.5 Verwertungswege weiterer Fraktionen	
3.6.6 Verwertungs- und Entsorgungswege der Aushubfraktionen	21
3.7 Verwertungsquote und Potentiale	23
3.8 Transporte	
3.8.1 Emissionen	25
4 DISKUSSION	27
4.1 Zusammenarbeit mit der Bauleitung und den Unternehmen	27

Inhaltsverzeichnis

4.2	Allgemeine Beurteilung des Rückbaus und der Aushubarbeiten	27
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	29
6	LITERATUR	31

Einleitung 1

## 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeine Ausgangslage

Derzeit ist ein verstärkter Trend zum Rückbau von Wohn- und Industriebauten mit anschliessenden Ersatzneubauten in der Schweiz feststellbar. Mehrere Gründe sprechen für eine Fortsetzung dieser Entwicklungen in der nahen und mittelfristigen Zukunft. So entsprechen die Grundrisse sowie die Wohnflächen der in den 50er bis 70er Jahren erstellten Bauten nicht mehr den Bedürfnissen der heutigen Mieter. Die Sanierung der alten Gebäude und die Anpassung der Wohnungen an die heutigen Bedürfnisse sind nicht immer möglich oder teilweise so teuer, dass ein Rückbau mit anschliessendem Ersatzneubau in Betracht gezogen werden muss. Zudem lassen sich bei Neubauten energetisch bessere Lösungen erzielen als bei der Sanierung bestehender Bauten. Andererseits sind die bei einem Rückbau entstehenden Materialströme beachtlich. Ein Rückbau eines Gebäudes ist nur dann sinnvoll, wenn ein Grossteil der rückgebauten Materialien als Sekundärrohstoffe wieder in die Neubauten zurückgeführt wird.

In den vergangenen Jahren wurden grosse Anstrengungen im Bereich des Baustoffrecyclings unternommen. Heute gelangt der grösste Teil der mineralischen Baustoffe in die Verwertung. Allerdings gelangt noch immer ein beachtlicher Teil der rezyklierten Materialien in minderwertige Anwendungen, das heisst, in Anwendungen bei denen die materialtechnischen Anforderungen deutlich geringer sind als in den ursprünglichen Anwendungen. Konkret wird heute der Mischabbruch und auch ein relativ grosser Teil des Betonabbruchs weitgehend im Strassenbau verwertet. Damit wird zwar Primärkies ersetzt, es ist aber davon auszugehen, dass der Strassenbau in Zukunft im Vergleich zum Hochbau an Bedeutung verliert, d.h. weniger materialintensiv ist und dieser Verwertungsweg nur eine beschränkte Kapazität für diese RC-Granulate zur Verfügung stellen wird. Zudem entspricht die Verwertung im Strassenbau eher einem Downcycling. Die Lebensdauer des Materials wird verlängert, es ist aber davon auszugehen, dass es später deponiert werden muss. Aus diesem Grund sind Verwertungsprozesse zu fördern, welche ein tatsächliches Recycling zum Ziel haben. Dies setzt voraus, dass die Abbruchmaterialien möglichst hohe Qualitäten (d.h. möglichst geringe Schadstoffbelastung der Materialien, saubere Trennung der Materialien, optimierte Korngrössenverteilung usw.) aufweisen.

Um eine hohe Qualität zu erreichen, müssen gewisse Voraussetzungen in der Planung eines Rückbaus und später auf der Baustelle erfüllt werden. Die Rückbauunternehmen sollten schon vor Projektbeginn die spätere Nutzung der mineralischen Produkte als Sekundärressourcen in ihre Strategie einbeziehen. Dies wird nur teilweise gemacht. Der Rückbau und die Materialbewirtschaftung sind weitgehend getrennt geführte Geschäftseinheiten, die nur durch die Transportlogistik miteinander verknüpft sind. Dies führt dazu, dass die Qualitätskriterien für die Produktion von mineralischen Sekundärstoffen auf der Baustelle eine untergeordnete Rolle spielen, was schlussendlich durchaus Konsequenzen hat. So müssen die nicht erwünschten Materialien mittels aufwändiger Verfahrenstechnik wieder aussortiert werden.

Ein weiterer Aspekt des Qualitätsmanagements im Rückbau ist die lückenlose Kontrolle der sachgerechten Entsorgung und Verwertung der anfallenden Materialien, welche von der Bauleitung oder einem hinzugezogenen Controller durchgeführt werden sollte. Die Erfahrungen aus der Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung des VZ Werd (Rubli, 2003) haben gezeigt, dass ein Controlling nicht nur vom Bauherrn, sondern auch vom Entsorgungsunternehmer positiv aufgenommen wird. Ein Controlling, welches schon in den Submissionsunterlagen angekündigt wird, motiviert die Entsorgungs- bzw. Rückbauunternehmen, aber auch die Bauleitung, nach guten Entsorgungs- bzw. Verwertungslösungen zu suchen.

Einleitung 2

Das primäre Ziel der Güterflussanalyse bzw. des Controllings ist die Qualitätssicherung im Bereich der Entsorgung und Verwertung der rückgebauten Materialien in einem spezifischen Bauprojekt. Mit den Kenntnissen der Materialflüsse sowie der Transportwege kann aufgezeigt werden, in welchen Bereichen Optimierungspotentiale bestehen, die dann in künftigen Projekten umgesetzt werden können. Im Hintergrund steht dabei auch die Förderungsstrategie für den Recyclingbeton des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich, welche eine gesamtheitliche Betrachtung erfordert. Dieser Ansatz geht demnach über ein spezifisches Bauprojekt hinaus und öffnet den Fokus auf ein umfassendes Sekundärressourcenmanagement, welches die Planung, den Rückbau, die Verwertung und den Neubau beinhaltet.

## 1.2 Ausgangslage

Im Auftrag des Amtes für Hochbauten wurde während des Rückbaus der Wohnsiedlung Bernerstrasse ein Controlling der Bauabfallentsorgung durchgeführt und gleichzeitig die mit der Entsorgung verbundenen Materialflüsse und Transporte erhoben. Neben den durch den Rückbau anfallenden Fraktionen (gem. SIA 430) wie der Betonabbruch, Mischabbruch, Asphaltabbruch, Holz, Metalle usw. wurde ebenfalls sämtliches Aushubmaterial inkl. Bodenaushub erfasst. Es wurde überprüft, ob eine fach- bzw. umweltgerechte Entsorgung bzw. Verwertung der Materialien während des Rückbaus und den Aushubarbeiten erfolgt ist. Die Daten aus den Erhebungen und die Erkenntnisse aus der Überwachung der Verwertung und Entsorgung sind im vorliegenden Bericht zusammengefasst. Der Bericht dient als Nachweis für eine korrekte Entsorgung der Güter und stellt eine Grundlage für die Optimierung der Verwertung/Entsorgung bei künftigen Projekten dar.

Die Wohnsiedlung Bernerstrasse wurde 1959 als Hofrandbebauung erstellt und umfasste acht 3und 5-geschossige Wohnblöcke mit insgesamt 267 Wohnungen. Nachfolgend die wichtigsten Eckdaten, welche vor Projektbeginn im Zusammenhang mit dem Rückbau ermittelt wurden:

• Rückbauvolumen: ca. 60'000 m<sup>3</sup>

Abgeschätztes Materialvolumen: Ausbauasphalt: 300 m<sup>3</sup>

Betonabbruch: 7'800 m<sup>3</sup>
Mischabbruch: 20'000 m<sup>3</sup>

Rest: 50 Mulden (6m³ pro Mulde)

• Geplante Rückbauzeit: 1. März 2004 bis 30. September 2004 (6 Monate)

## 1.3 Zielsetzung

Die Ziele der Güterflussanalyse und des Controllings wurden bereits in der Einleitung erwähnt und sind nachfolgend nochmals in kurzen Stichworten aufgelistet:

- Qualitätssicherung im Bereich der Entsorgung und Verwertung
- Erfassen und Auswerten von ca. 95% der Materialflüsse
- Erfassen und Auswerten der Entsorgungs- und Verwertungswege
- Aufzeigen der Optimierungspotentiale bei der Verwertung und den Transporten
- Berechnen der durch die Transporte verursachten Schadstoffemissionen auf Grundlage der BUWAL-Richtlinie "Luftreinhaltung bei Bautransporten" (BUWAL 2001a).

Die Erkenntnisse aus der Güterflussanalyse sind in diesem Bericht aufgeführt.

## 2 Vorgehen und Methodik

## 2.1 Einleitende Massnahmen vor Projektbeginn

Die Implementierung eines Controllings der Bauabfallentsorgung während eines Umbau- oder Rückbauprojektes sollte schon in der Planungsphase stattfinden. Die Rahmenbedingungen müssen in den Submissionsunterlagen festgelegt werden, so dass diese bindend für die beteiligten Unternehmen sind. Im vorliegenden Projekt wurden diese Rahmenbedingungen in den Ausschreibungsunterlagen für die Abbruch- und Aushubarbeiten schriftlich festgelegt (Anhang A1).

Zusätzlich zu den Vorgaben in den Ausschreibungsunterlagen wurden die eingegangenen Offerten nach verschiedenen Kriterien wie Qualität, Ökologie/Umweltmanagement, Preis, Wirtschaftlichkeit und Lehrlingsausbildung bewertet, wobei das Kriterium Ökologie/Umweltmanagement gleich hoch gewichtet wurde wie die Kriterien Qualität und Preis. Neben der Bewertung der Offerten wurden unter der Führung der Bauleitung (bosshard + partner Architekturbüro AG, Siewerdstrasse 30, 8050 Zürich) Gespräche mit den Unternehmen abgehalten, bei denen die verschiedenen Kriterien und Rahmenbedingungen nochmals diskutiert und eventuelle Vorgaben im Bereich Ökologie und Umweltmanagement, aber auch in den anderen Bereichen, bindend festgelegt wurden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine relativ starke Einflussnahme auf die Unternehmen. So können ökologisch vorteilhafte Massnahmen bereits in dieser frühen Phase durchgesetzt werden, was später nur noch sehr beschränkt möglich ist.

## 2.2 Methode zur Erfassung der Güterflüsse

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.

### 2.2.1 Systembeschreibung

In der Abbildung 2.1 ist das System für die «Bauabfallentsorgung aus dem Rückbau der Wohnsiedlung Bernerstrasse» illustriert. Das System ist in die Subsysteme «Bauabfallentsorgung vor Ort» und «Verwertung/Entsorgung extern» unterteilt. Das erste Subsystem enthält die Sammelprozesse der einzelnen Abfallfraktionen in Einstoffmulden. Das Subsystem «Verwertung/Entsorgung extern» beinhaltet die diversen externen Verwertungs-Entsorgungsprozesse, welche zu Beginn des Rückbaus bekannt waren. Im Verlauf des Projektes wurde das System mit den zusätzlichen Entsorgungs- und Verwertungswegen und Prozessen ergänzt. Die tatsächlich durch die Unternehmen gewählten Verwertungs- bzw. Entsorgungsprozesse sind in den Güterflussanalysen des Resultatteils aufgeführt.

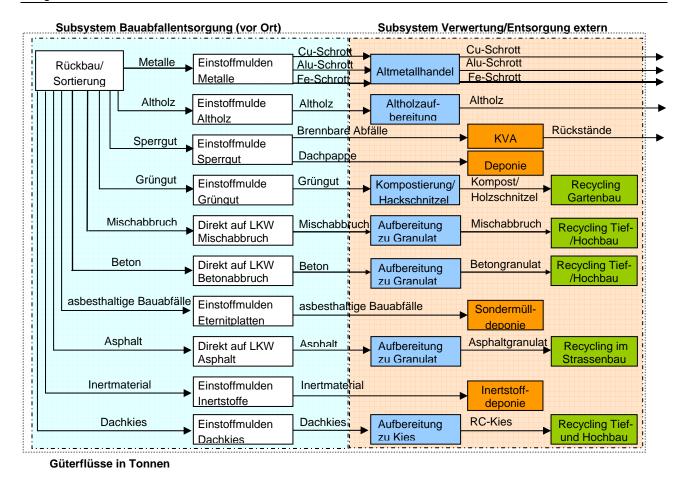


Abbildung 2.1: Systemanalyse der Bauabfallentsorgung des Rückbaus der Wohnsiedlung Bernerstrasse.

Die vorliegende Systemanalyse der projektspezifischen Bauabfallentsorgung bildete die Grundlage für die Erhebung der Flüsse. Nun können die einzelnen Flüsse zwischen den Prozessen mit Hilfe der Angaben auf den Lieferscheinen bzw. der vom Rückbauunternehmen (Richi & Co., Im Riesentobel, 8104 Weiningen) gelieferten EXCEL-Dateien bestimmt werden. Die Aufteilung der Güterflüsse nach den einzelnen Aufbereitungsprozessen wird anhand der Angaben der Rückbauunternehmen abgeschätzt.

## 2.3 Vorgehen

Das Controllingkonzept basiert auf den Erfahrungen, welche im Rahmen von zuvor durchgeführten Controlling-Projekten gemacht wurden (Rubli 2003). Im folgenden Kapitel wird kurz auf die einzelnen Komponenten des Konzepts eingegangen. Detaillierte Angaben sind dem oben erwähnten Bericht zum Controlling des Umbaus des VZ Werd zu entnehmen.

## 2.3.1 Erfassungs- und Controllingkonzept

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.

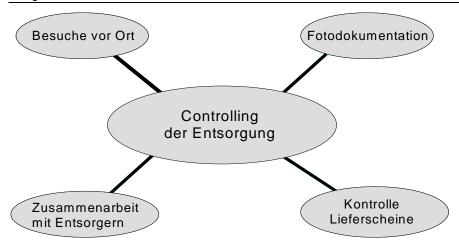


Abbildung 2.2: Die vier Elemente, auf denen das Erfassungs- und Controllingkonzept basiert.

#### Ziele der Besuche vor Ort

#### Informationsaustausch

- Information über den Stand der Arbeiten
- Diskussion der offenen Fragen
- Fotos zur Dokumentation der Abbrucharbeiten und des Entsorgung-/Verwertungkonzeptes des Rückbauunternehmers (Mulden)

### Überwachung der Entsorgung

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

#### 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

Durch die Besuche vor Ort und 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

- Angaben auf den Lieferscheinen werden erfasst.
- Kontrolle der in einer Excel-Datei angegebenen Daten anhand der Liefer- und Waagscheine der Verwertungsfirmen, Deponiebetreiber und Kehrichtverbrennungsanlagen.

Im Excelfile ist 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 Kehrichtverbrennungsanlagen stichprobenweise überprüft.

Teilweise sind nur die Volumina, aber nicht die Massen verfügbar. In solchen Fällen werden die Massen über die gängigen Ladedichten der einzelnen Fraktionen abgeschätzt.

## 2.3.2 Erfasste Güterkategorien

Es wurden die wichtigsten Verwertungs- und Entsorgungswege der Hauptkomponenten des Rückbaus untersucht und quantifiziert. Insgesamt wurden die Flüsse von zehn Güterkategorien erfasst. Diese sind in der Abbildung 2.1 eingezeichnet. Die Verwertungswege und die 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 in der Schweiz.

Zusätzlich zu den erfassten Bauabfallkategorien wurden die abgeführten Aushubmengen erfasst und in die Kategorien U-Aushub (unverschmutzter Aushub), T-Aushub (tolerierbarer Aushub) V-Aushub (verschmutzter Aushub) und Bodenaushub unterteilt.

## 3 Resultate

Im Resultatteil werden zunächst die Ergebnisse aus der Auswertung der Offerten sowie die Erfahrungen aus den Unternehmergesprächen vorgestellt. In einem weiteren Teil werden zunächst die Abläufe während des Rückbaus dokumentiert. Die Materialtrennung vor Ort und die ungefähre Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen sollen anhand der Bilder erkennbar werden. Damit wird das nachfolgende Güterflussschema mit den verschiedenen Güterflüssen und Verwertungsund Entsorgungsprozessen nachvollziehbarer. Die einzelnen Güterkategorien werden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, Aufbereitung und Verwertung mit Hilfe des Schemas analysiert und diskutiert. Zusätzlich wurde das gesamte Aushubmaterial inklusive Transportwege erfasst. In einem weiteren Kapitel wird auf die durch die Entsorgung der Bauabfälle und des Aushubes verursachten Transportkilometer eingegangen.

## 3.1 Auswertung der Offerten und Unternehmergespräche

Mit der Auswertung der Offerten (Anhang A) nach ökologischen Kriterien konnte erheblicher Einfluss hinsichtlich der Reduktion von Umweltbelastungen genommen werden<sup>1</sup>. Schliesslich waren die ökologischen Kriterien sowie ein Kombiangebot<sup>2</sup> (d.h. der Preis) eines Unternehmens ausschlaggebend für dessen Wahl (Auswertung der Offerten auf der CD). Bei dem erwähnten Unternehmen handelt es sich um die Firma Richi & Co. Das Unternehmen betreibt ihre Materialaufbereitungsanlagen im nur 7 km entfernten Weinigen. Damit konnte einerseits gewährleistet werden, dass im Rahmen des Projektes kurze Wege zurückgelegt wurden. Zudem verwertet das Unternehmen den Misch- und Betonabbruch sowie einen grossen Teil des verwertbaren Aushubmaterials in Weiningen. Die Firma Richi & Co. ist sowohl ISO 9001 als auch ISO 14001 zertifiziert. Damit ist gewährleistet, dass die Abläufe im Unternehmen standardisiert sind und eine stete Weiterentwicklung im Umweltbereich angestrebt wird. Der Unternehmer äusserte keine Bedenken hinsichtlich einer Überwachung der Entsorgung und Verwertung der Materialien von einer externen Stelle.

Die Angaben zu den geplanten Entsorgungs- und Verwertungswegen lagen vollständig vor, so dass eine Beurteilung nach ökologischen Kriterien durchgeführt werden konnten. Während des Unternehmensgespräches hinterliess Herr Richi einen sehr kompetenten und auch transparenten Eindruck. Es lagen keine Widersprüche zum abgegebenen Entsorgungskonzept vor.

Das genannte Vorgehen mit der Beurteilung der Offerten nach ökologischen Kriterien und den nachfolgenden Gesprächen mit den Unternehmen zeigte, dass vor der Vergabe noch wichtige Forderungen durchgesetzt werden können. Ein Unternehmer verfügte beispielsweise über keine Fahrzeuge mit Partikelfiltern. Nach dem Gespräch organisierte der Unternehmer eine Zusammenarbeit mit einem Subunternehmen, welches über entsprechende Fahrzeuge verfügte. Dies zeigt, dass der Einfluss in dieser frühen Phase des Projektes am stärksten ist. Nach der Vergabe sind solche Forderungen nicht mehr durchsetzbar.

\_

Das Zuschlagskriterium «Ökologie» wurde zusammen mit dem Kriterium «Qualität» am höchsten gewichtet (je 25%), das Kriterium «Preis» wurde mit 20% gewichtet, die weiteren Zuschlagskriterien wie die «Wirtschaftlichkeit» (Baustellenorganisation usw.) oder die «Termine» (Einhaltung der Termine) und die «Lehrlingsausbildung» wurden wesentlich tiefer gewichtet.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Der Unternehmer offerierte einen Preisnachlass, falls er den Zuschlag für die Rückbau- als auch die Aushubarbeiten erhalten würde.

### 3.2 Dokumentation des Rückbaus

Anfang April 2004 wurde mit dem Rückbau der ersten Gebäude begonnen. Zunächst wurden die nicht-mineralischen Fraktionen, bestehend aus Parkettböden, Tür- und Fensterrahmen, Alustoren, Balkongeländer, Eternitplatten usw. demontiert. Die nachfolgenden Abbildungen vermitteln einen Eindruck dieser Demontagearbeiten, welche relativ arbeitsintensiv sind, weil diese hauptsächlich von Hand ausgeführt werden müssen.



Abbildung 3.1: Demontage der Parkettböden (14.04.04).

Die in den Wohnungen demontierten Bauteile wurden über die Balkone, deren Geländer bzw. Eternitplatten zuvor entfernt wurden, in den Innenhof verfrachtet, dort nach den verschiedenen Fraktionen sortiert und in die bereitgestellten Einstoffmulden verladen. Die Eternitplatten wurden korrekt demontiert (Abbildung 3.4). Das heisst, die Platten wurden abgeschraubt und ebenfalls in die bereitgestellten Einstoffmulden gelegt (Abbildung 3.6).



Abbildung 3.2: Sortierung der Fraktionen ausserhalb des Gebäudes (14.04.04).



Abbildung 3.3: Bereits entfernte Türrahmen (14.04.04).



Abbildung 3.4: Demontierte Eternitplatten, welche als seitliche Balkonabdeckungen verwendet wurden (14.04.04).

Auf den Dächern wurde zunächst der Kies mittels eines Kleinbaggers in Mulden verladen (Abbildung 3.7). Der Kies wurde vom Rückbauunternehmer gewaschen und kann entweder als Zuschlagstoff für die Betonproduktion oder als RC-Kies verwendet werden. Insgesamt wurden ca. 360 Tonnen **Dachkies** wiederverwertet. Die unter der Korkplatten Kiesschicht liegenden und die wurden ebenfalls Dachpappe entfernt und gesammelt (Abbildung 3.5). Insgesamt fielen 160 Tonnen von dieser brennbaren Fraktion an.



Abbildung 3.5: Entfernung Dachpappe und Korkplatten (23.06.04)

Das Material wurde in die Deponie Tännlimoos der Riesi AG im Kanton Zug geführt. Dort werden die brennbaren Materialien geshreddert, zwischengelagert und später in die Kehrichtverbrennungsanlagen des Kantons Zürich zurückgeführt. Dieses an sich aus ökologischer Sicht sinnlose Verfahren ausschliesslich wurde ökonomischen aus Erwägungen des Rückbauunternehmens gewählt. Die direkte Lieferung in die sehr nahe KVA Limmattal oder in die KVA Josephstrasse ist aufgrund der hohen Annahmepreise teurer als die Lieferung in die Deponie Tännlimoos im Kanton Zug mit der anschliessenden Rückführung in eine der genannten KVAs. Dies ist damit zu erklären, dass die KVAs im Winter höhere Vergütungen für den produzierten Strom und die Wärme erhalten und deshalb die Annahmetarife für Abfall von Grosslieferanten entsprechend anpassen. Auch nach der Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) scheinen sich solche Lösungen noch immer zu lohnen. Die Kupferbleche



Abbildung 3.6: Einstoffmulde mit Eternitplatten (27.04.04).



Abbildung 3.7: Entfernung des Dachkieses (27.04.04).



Abbildung 3.8: Mulden mit Altkupfer (27.04.04).

mit denen die Dachabschlüsse ausgestattet waren, wurden ebenfalls separat gesammelt. Da die Preise für Altkupfer in den vergangenen Jahren stark angestiegen sind, haben sich auch andere Leute für diese Fraktion interessiert. Über Nacht und an Wochenenden wurden Kupfer und auch andere Altmetalle gestohlen. Der Rückbauunternehmer hat deshalb die gefüllten Mulden aufeinander gestellt, um weiteren Diebstählen vorzubeugen (Abbildung 3.8).

Nach der Demontage der oben erwähnten Materialien konnte mit dem eigentlichen Rückbau der Gebäude begonnen werden, welche im Idealfall nur noch aus der mineralischen Gebäudestruktur bestehen sollten. Zunächst wurden die dreigeschossigen Wohngebäude (siehe Abbildung 3.2) mit den Raupenbaggern, welche mit Abbauhämmern, Abbruchzangen usw. bestückt werden können, abgebrochen. Wie auf den untenstehenden Abbildungen zu erkennen ist, wurde während dieser Phase kein selektiver Rückbau betrieben. Die Betondecken und das Mauerwerk (Backsteine, Kalksandsteine und Gips) wurden ohne eine weitere Materialtrennung abgebrochen. In der Abbildung Nr. 1 ist zu erkennen, dass auf der rechten Seite des Gebäudes ein Schutzvorhang, welcher an einem Kran befestigt wird und deshalb leicht verschiebbar ist, benutzt wurde. Damit konnte ein aufwändiger Gerüstbau vermieden werden. Zudem scheint diese Schutzvorrichtung bezüglich der Sicherheit eher besser als ein konventionelles Gerüst abzuschneiden, bei dem auch immer die Gefahr besteht, dass dieses während der Rückbauarbeiten umstürzen könnte.









Abbildung 3.9: Ablauf des Rückbaus der Gebäude – 1. Rückbau eines dreigeschossigen Gebäudes und Aufbau einer Rampe für den Rückbau des fünfgeschossigen Gebäudes – 2. Abbruch bis auf das Kellergeschoss – 3. Abräumen des Mischabbruches und Freilegung der Kellerwände – 4. Rückbau des Kellergeschosses und Abtransport des Betonabbruches.

Die Abbruchmaterialien wurden zu einer Rampe aufgebaut, so dass das oberste Stockwerk der fünfgeschossigen Gebäude für den Raupenbagger mit den entsprechenden Anbaugeräten erreichbar wurde (Abbildung Nr. 1+2). Die Gebäude wurden dann bis auf die Kellergeschosse zurückgebaut. Der Mischabbruch wurde abgeräumt und der Verwertung zugeführt. Nun wurden die Kellerwände freigelegt (Abbildung Nr. 3). Dazu wurde das Aushubmaterial rund um den Keller entfernt. Anschliessend wurde das Kellergeschoss inklusive Bodenplatte zurück gebaut. Der aus dem Rückbau entstehende Betonabbruch wurde separat abgeführt und gelangte ebenfalls in die Verwertung.

Während des Rückbaus wurden die aus dem Betonabbruch herausstehenden Armierungseisen Trennscheiben abgetrennt und in Einstoffmulden gesammelt. Die Armierungseisen im Betonabbruch werden nach dem Brechen des Betons auf dem Aufbereitungsplatz des Unternehmers mittels Magnetabscheidung zurück gewonnen. Diese Eisenfraktion, welche beim Unternehmer anfällt, kann nur grob abgeschätzt werden, weil das Betonabbruchmaterial von verschiedenen Baustellen gebrochen wird.

## 3.3 Organisation der Materialtrennung auf der Baustelle

Die Organisation der Materialtrennung auf der Baustelle kann als gut beurteilt werden. Die Materialtrennung nach Fraktionen wurde gemäss den SIA-Empfehlungen 430 durchgeführt. Die folgenden Abbildungen sollen einen Eindruck der Materialtrennung auf der Baustelle vermitteln.



Abbildung 3.10: Mulden mit dem Dachkies und brennbaren Materialien (14.04.04).



Abbildung 3.11: Mulden mit Aluminium und brennbaren Materialien(11.05.04).



Abbildung 3.12: Mulde mit Alteisenfraktion, welche hauptsächlich aus Armierungseisen besteht (23.06.04) Kupferblechen (11.05.04).



Abbildung 3.13: Mulden mit Asphaltabbruch und

Die Mulden wurden den verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungskanälen zugeführt. Auf die detaillierten Güterflüsse wird im Kapitel 3.6 eingegangen.

## 3.4 Optimierungspotential beim Rückbau

Die Optimierungspotentiale beim Rückbau lassen sich durch die regelmässig durchgeführten Begehungen während der Rückbauarbeiten aufzeigen. Potentiale bestehen vor allem in den Bereichen Schadstoffminimierung und Reduktion der Feinanteile in der Mischabbruchfraktion.

Im Bereich der Schadstoffminimierung in der Mischabbruchfraktion ist die nicht vollständige Demontage von Bauteilen. Schadstoffquellen welche potentielle darstellen, zu erwähnen. Als Beispiel dienen die Küchenbeleuchtungen, Leuchtstoffröhren und die entsprechenden Vorschaltgeräte enthalten. Während Vorschaltgeräte nachträglich durch Magnetabscheidung entfernt werden können, ist dies bei den Leuchtstoffröhren nicht der Fall. beim Diese werden Rückbau zerstört. Leuchtstoffröhren enthalten etwa 15 - 30 mg Quecksilber, welches bei der Zerstörung als giftiger Quecksilberdampf freigesetzt wird. Die sachgerechte Entsorgung, das heisst, die vorgängige Demontage mit der Rückführung in den Recyclingprozess über die Sammelstellen, muss unbedingt eingehalten werden. Wie erwähnt war dies nicht der Fall, obwohl Controller mehrmals Problematik hingewiesen hat. Hier fehlte beim Bauführer einfach der Wille, diese Forderung umzusetzen. Es zeigt sich, dass die Verknüpfung zwischen dem **Prozess** «Rückbau» und den nachfolgenden Aufbereitungs- und Recyclingprozessen im Bewusstsein des Unternehmens bzw. dessen Angestellten noch zu wenig verankert ist. Hier müssen sicherlich noch weitere Anstrengungen unternommen werden, um diese Situation zu verbessern.



Abbildung 3.14: FL-Leuchte in einer Küche (01.07.04).



Abbildung 3.15: Dieses Beispiel zeigt, dass die Leuchten nicht entfernt wurden (13.07.04).

So könnte beispielsweise schon in den Ausschreibungsunterlagen erwähnt werden, dass dem Rückbauunternehmen bei einer nicht fachgerecht durchgeführten Entsorgung der Materialien, der tatsächliche Aufwand für eine fachgerechte Entsorgung in Rechnung gestellt wird. Im konkreten Fall würde diese bedeuten, dass der Unternehmer die Kosten für die Demontage der Leuchten und Leuchtstoffröhren inklusive deren Rückführung in eine fachgerechte Entsorgung/Verwertung zu tragen hätte.

Ein weiteres Optimierungspotential ergibt sich bei den mineralischen Abbruchfraktionen. So wurden die Gipswände vorgängig nicht separat demontiert und gelangten somit in die Mischabbruchfraktion. Gerade diese Fraktion trägt bei der weiteren Aufbereitung zu Granulaten dazu bei, dass der unerwünschte Feinanteil im Mischabbruchgranulat steigt, was wiederum die Verwertungsmöglichkeiten einschränkt. Zudem ist eine aufwändige Verfahrenstechnik notwendig, um den Gips allenfalls von der Mischabbruchfraktion zu trennen. Würde die Gipsfraktion separat gesammelt, könnte diese beispielsweise einer Verwertung in Zementwerken als Korrekturstoff in der Rohmehlherstellung zugeführt werden. Auch hier ist zu erkennen, dass auf der Baustelle noch zu wenig an die nachfolgenden Aufbereitungs- und Verwertungsprozesse gedacht wird.

## 3.5 Besuch auf dem Aufbereitungsplatz des Rückbauunternehmers

Wie bereits im Kapitel 2.3.1 erwähnt, wird im Rahmen des Controllings der Aufbereitungsplatz des Rückbauunternehmers besucht, um festzustellen, welche Aufbereitungskonzepte für die Verwertung der verschiedenen Materialien eingesetzt werden. Auf diese Weise wird erkennbar, welche Verwertungswege für die einzelnen Materialien vom Unternehmer vorgesehen sind und wo allenfalls ein Potential bezüglich der Qualität der Sekundärprodukte besteht. Der Besuch fand zusammen mit Herrn Andrianello (Bauleitung; bosshard + partner Architekturbüro AG) am 6. Juni 2004 bei der Firma Richi & Co. in Weiningen statt. Herr Richi stellte das gesamte Aufbereitungsund Verwertungskonzept für die mineralischen Fraktionen (Betonabbruch, Mischabbruch- und Asphalt- abbruch) vor. Zunächst wird der Misch- und Betonabbruch bis zur Aufbereitung zwischen-

gelagert (Abbildung 3.16). Bei Bedarf wird der Misch- oder Betonabbruch (jeweils getrennt) mittels Prallmühlen auf die gewünschte Korngrösse zerkleinert. Danach werden die Armierungseisen oder weitere Eisenfraktionen durch Magnetabscheidung entfernt und der Alteisensammlung zugeführt. Das Granulat wird über Förderbänder einem Trommelsieb zugeführt, um einerseits die gewünschte Endkorngrösse bzw. Korngrössenverteilung zu erreichen. Andererseits lassen sich auf diese Weise die grösseren Holz- und Kunststoffbestandteile aussortieren. In der Abbildung 3.17 ist eine solche mobile Brechanlage, wie sie bei der Firma Richi & Co. eingesetzt wird, dargestellt. Wie erwähnt, wird der Betonabbruch und der Mischabbruch jeweils separat gebrochen und verwertet. Der Markt für die Betongranulate ist bedeutend besser als für die Mischabbruchgranulate. Für Betongranulate können auf dem Markt je nach Korngrössenklasse Preise zwischen 14 bis 25 Fr./m<sup>3</sup> erzielt werden. Für Mischabbruchgranulate liegt die Preisspanne mit 5 bis 15 Fr./m<sup>3</sup> deutlich tiefer. Umgekehrt sieht es bei den Entsorgungspreisen aus. Während der Betonabbruch <70 cm häufig für 0 bis 10 Fr./m<sup>3</sup> entsorgt werden kann, muss für die Entsorgung von Mischabbruch mit Preisen zwischen 35 bis 55 Fr./m³ gerechnet werden. Die Situation beim Mischabbruch dürfte sich in Zukunft im Kanton Zürich eher



Abbildung 3.16: Zwischengelagerte Mischabbruchfraktion von der Baustelle "Werdwies" und aufbereitetes Mischabbruchgranulat 0-32mm (rechts).



Abbildung 3.17: Aufbereitung zu Beton- und Mischabbruchgranulat.

noch verschärfen, weil die Unternehmen Schwierigkeiten haben, das Mischabbruchgranulat abzusetzen. Sie werden deshalb gezwungen sein, neue Einsatzgebiete für Mischabbruchgranulat zu erschliessen. Dies wird jedoch nur möglich sein, wenn im Bereich der Qualität weitere Verbesserungen erzielt werden. Wie bereits erwähnt, müssen einerseits schon während des Rückbaus Massnahmen getroffen werden, um die Schadstoffbelastung des Mischabbruchs tief zu halten, andererseits darf der Feinanteil im Mischabbruch nicht zu hoch sein, weil gerade diese Feinfraktion für gewisse Anwendungen wie Beton aus Mischabbruchgranulat, störend ist. Eventuell sind auch neue Anwendungen für die Verwertung der Feinfraktion zu entwickeln.

Es ist zu erwähnen, dass die Firma Richi &Co. diese Entwicklung erkannt hat und Massnahmen zur Optimierung der Baustoffverwertung eingeleitet hat. Im Laufe des Jahres 2005 wird das Entsorgungs- und Recyclingzentrum Weiningen den Betrieb aufnehmen. In der neuen Halle

(Abbildung 3.19) wird ein Biomassekraftwerk erstellt, das mit einem Drehrohr zur thermischen Behandlung von organisch belasteten Böden gekoppelt ist. In einem anderen Teil der Halle wurde bereits eine neue Bausperrgutanlage in Betrieb genommen (Abbildung 3.19). Im Mittelteil der Halle soll die Triagierung der Böden der aussortierten belasteten und mineralischen Feinfraktion aus der Bausperrgutsortieranlage erfolgen. In den Aussenbereichen Halle der die Materialbewirtschaftung ebenfalls neu organisiert. So werden künftig mittels einer stationären Brechanlage die verschiedenen Granulate hergestellt. Die Beton- und Mischabbruchgranulate werden in Zukunft in weitere Korngrössenklassen unterteilt. Mit dem RC-Kies aus der thermischen Behandlung des belasteten Aushubmaterials kann somit ein RC-Konstruktionsbeton hergestellt werden, welcher allenfalls auch höhere Anteile an Mischabbruchgranulaten enthält. Die eingeschlagene Strategie und die damit verbundenen (hohen) Investitionen zeigen, dass das Unternehmen seine Zukunft im Bereich der Sekundärressourcen sieht, obwohl es noch über erhebliche Kiesreserven verfügt. Wie bereits erwähnt, müssen die vorgelagerten Prozesse, wie der Rückbau von Objekten, in diese Strategie mit einbezogen werden. Nur so wird es gelingen, eine unter



Abbildung 3.18: Vordergrund: Zwischengelagerte Mischabbruch- und Betongranulate Hintergrund: Neue Halle mit Biomassekraftwerk und Bausperrgutsortieranlage.



Abbildung 3.19: Bausperrgutsortieranlage.

ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten nachhaltige Bewirtschaftung der Materialien zu erreichen.

## 3.6 Güterflüsse

In der Abbildung 3.20 sind die Güterflüsse zwischen den einzelnen Prozessen illustriert. Die Pfeildicken sind mengenproportional zu den Güterflüssen eingezeichnet und ermöglichen damit einen raschen Überblick über den quantitativen Verlauf sämtlicher Güterflüsse aus dem Rückbau. Die Prozesse sind so angeordnet, dass die Aufbereitung/Sortierung (blaue Kästchen), die Entsorgung (orange Kästchen) und das Recycling (grüne Kästchen) gut unterscheidbar sind.

Die mineralischen Fraktionen weisen bei den Bauabfällen, d.h. ohne den Aushub, mit insgesamt über 29'000 Tonnen mit Abstand die grössten Flüsse auf, wobei der Mischabbruch mit 14'500 Tonnen und der Betonabbruch mit 11'600 Tonnen die grössten Anteile innerhalb der mineralischen Fraktion einnehmen. Der Beton- und Mischabbruch wurde zum Aufbereitungsplatz der Firma Richi & Co. nach Weiningen transportiert und dort für die diversen Anwendungen im Hoch- und Tiefbau aufbereitet. Zirka 10 % des Mischabbruchs wurden der Firma Eberhard (Ebirec) nach Rümlang zur Aufbereitung zugeführt. Ein kleiner Teil des Mischabbruchs gelangte in die Deponie. Grundsätzlich können die aufbereiteten Fraktionen in hydraulisch gebundener Form, d.h. als Zuschlagstoffe im Recyclingbeton (Mager- und Konstruktionsbeton) oder in lockerer Form als RC-Kiessand B bzw. Mischabbruchgranulat eingesetzt werden. Die eingezeichnete Verteilung auf die einzelnen Anwendungsbereiche basiert auf den Angaben der Unternehmen. Diese sind in der Tabelle 3.1 detailliert aufgelistet.

Zusätzlich zum Betonabbruch aus den Hochbauten fielen 2330 Tonnen Betonabbruch aus dem Aushub an. Hier handelt es sich um die Pfähle, die während der Aushubarbeiten entfernt wurden. Da sich ein gewisser Anteil mit dem Aushub vermischte, mussten rund 50 % dieser Fraktion deponiert werden. Die anderen 50 % wurden wie der restliche Betonabbruch aufbereitet.

Die rund 170 Tonnen Asphalt wurden zu RC-Kiessand A verarbeitet, welcher entweder in loser Form unter einer bindemittelgebundenen Deckschicht oder in hydraulisch bzw. bituminös gebundener Form eingesetzt werden kann.

Die 360 Tonnen Dachkies wurden im Kieswerk in Weiningen gewaschen und konnten dann als Zuschlagstoff im Beton oder in loser Form verwertet werden.

Als weitere Fraktionen folgen die Inertstoffe mit 1400 Tonnen, das Altholz mit 294 Tonnen, das Sperrgut mit 201 Tonnen, das Grüngut (inklusive Wurzeln und Stämme) mit 182 Tonnen, der Metallschrott mit 163 Tonnen und die Eternitplatten (Balkone) mit 31 Tonnen.

Bei den in der Deponie Gäsi in Niederurnen deponierten Inertstoffen handelt es sich um Schlamm und Schmutz aus den Kellern und um Aushubmaterial, welches mit Mischabbruch vermischt war. Bei diesem Material ist eine Deponierung kostengünstiger. Eine Aufbereitung zu einem minderwertigen Recyclingprodukt wäre mit grossem Aufwand verbunden und deshalb nur beschränkt sinnvoll.

Auf dem Areal musste zunächst eine Rodung durchgeführt werden. Die dabei anfallenden 58 Tonnen Stämme und Wurzelstöcke wurden geshreddert, mit dem Altholz vermischt und der Biorec AG in Regensdorf geliefert. Dort wird das angelieferte Altholz nach Katergorien sortiert. Das schwach belastete Altholz wird nach dem Shredderprozess nach Italien zur Spanplattenproduktion exportiert. Stärker belastetes Altholz muss in einer KVA oder in einer Altholzverbrennungsanlage, die mit entsprechenden Rauchgasreinigungsstufen ausgerüstet ist, verbrannt werden.

Das restliche Grüngut (124 Tonnen) wurde gehäckselt und auf dem Areal in Weiningen kompostiert.

Beim Sperrgut handelt es sich hauptsächlich um die Korkplatten und Dachpappe, welche vor dem Rückbau der Gebäude von den Dächern entfernt wurden. Weitere Sperrgutfraktionen waren Kunststoffe, Bodenbeläge und Verbundstoffe. Insgesamt fielen 160 Tonnen von dieser brennbaren Fraktion an. Wie bereits erwähnt, wurde das Material in die Deponie Tännlimoos der Riesi AG im Kanton Zug geführt. Dort werden die brennbaren Materialien geshreddert, zwischengelagert und später in die Kehrichtverbrennungsanlagen des Kantons Zürich zurückgeführt. Nur ein sehr geringer Teil von 21 Tonnen gelangte direkt von der Baustelle in die nahegelegene KVA Limmattal. Rund 13 Tonnen Sperrgut aus der Leerräumung der Gebäude wurden nach Weiningen zur Sortierung transportiert. Diese Fraktion setzte sich aus Altholz und alten Geräten wie Kochherden und Kühlschränken (diese wurden fachgerecht entsorgt) zusammen.

Die Eternitplatten wurden in die Deponie Gäsi nach Niederurnen (Kanton Glarus) transportiert und dort deponiert.

Die total abgeführte Aushubmenge übersteigt mit 51'000 Tonnen das Total der Bauabfälle (31'000 Tonnen) um 20'000 Tonnen. Etwas mehr als 23'000 Tonnen Aushub konnte verwertet werden, davon waren 7'700 Tonnen tolerierbarer oder verschmutzter Aushub, der zunächst in der Bodenwaschanlage der Firma Eberhard AG in Rümlang (ESAR) gereinigt werden musste und erst danach in die Verwertung gelangte. Immerhin 1'700 Tonnen Aushub konnten direkt auf anderen Baustellen als Hinterfüllungsmaterial eingesetzt werden. Damit konnte rund die Hälfte des Aushubmaterials verwertet werden. Die andere Hälfte (25'300 Tonnen) gelangte entweder in verschiedene Aushubdeponien (inkl. Humus). Ein geringer Teil des verschmutzen, lehmigen Aushubmaterials wurde in Sondermüllkompartimenten der DEZU in Lufingen (108 Tonnen) oder in der Deponie Hanegg (226 Tonnen) abgelagert.

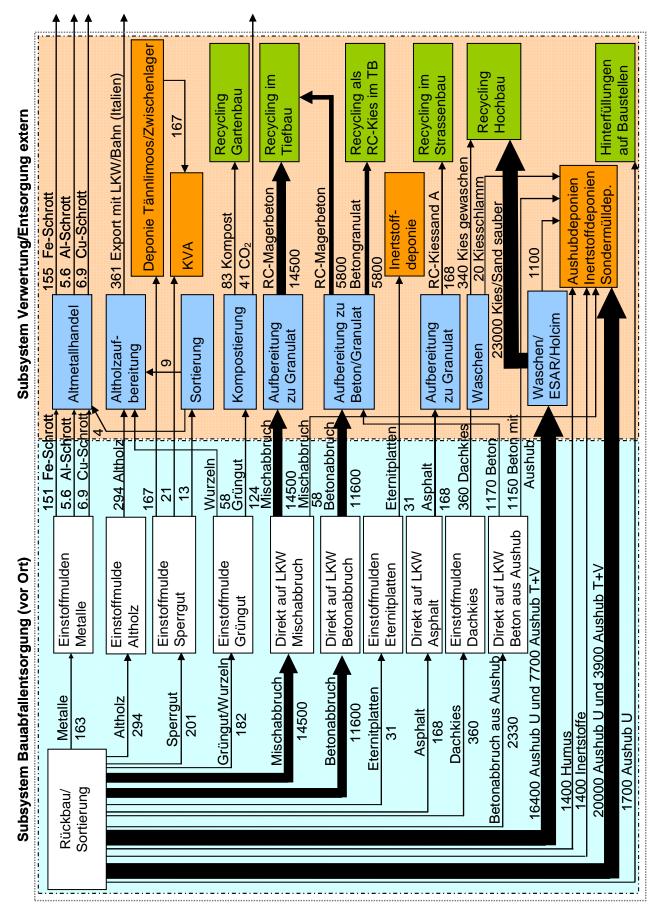


Abbildung 3.20: Güterflüsse aus dem Rückbau der Wohnsiedlung Bernerstrasse in Tonnen.

Die einzelnen Verwertungswege und Verwertungsprozesse lassen sich relativ 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 den verschiedenen Güterkategorien zusammengefasst.

Tabelle 3.1: Hauptfraktionen mit den dazugehörige Aufbereitungs- und Zielprozessen für die Entsorgung bzw. Verwertung der Materialien.

Hauptfraktionen	Aufbereitung	Zielprozesse
Metalle	Sortieren, trennen, schneiden	Schmelzen in Schmelzwerken
	→ Hügler AG;	→ Stahlwerke: von Moos Stahl AG und
	8600 Dübendorf	Steeltec AG der Swiss Steel Gruppe,
	→ Dietiker Metallhandel AG,	geringer Teil wir exportiert. Kupfer und Alu
	8105 Regensdorf;	werden in die entsprechenden Schmelz- werke nach Italien und Deutschland
	→ X.Wiederkehr AG;	exportiert.
	5622 Waltenschwil	
Altholz	Sortieren, shreddern	Verwertung in Spanplattenwerk
	→ Biorec AG;	→ Export nach Italien;
	8105 Regensdorf	Saviola-Gruppe (Italien)
Grüngut/Wurzeln	Mischen mit Altholz	Verwertung in Spanplattenwerk
	→ Wurzelstöcke/Stämme: Richi AG;	→ Export nach Italien;
	8104 Weiningen	Saviola-Gruppe (Italien)
	Mischen	Kompostierung
	→ Grüngut: Richi AG; 8104 Weiningen	→ Richi AG; 8104 Weiningen
Sperrgut	Ballenpresse, zwischenlagern	Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)
Opengat	→ Risi AG; Deponie Tännlimoos	→ KVA Limmattal, Josephstrasse usw.
Betonabbruch	Brechen, sieben	Verwertung
Botoriabbraon	→ Richi AG:	→ ca. 50% zu RC-Beton (Mager-, Hüll- und
	8104 Weiningen	Sohlenbeton);
	ŭ	→ ca. 50% als Komponente zu RC-
		Kiessand B für Tiefbau.
Mischabbruch	Brechen, sieben	Verwertung
	→ Richi AG;	→ RC-Beton (Mager-, Hüll- und
	8104 Weiningen  → Eberhard AG;	Sohlenbeton);  → RC-Beton M, Magerbeton: Sohlen und
	Rümlang	Hüllbeton für Tiefbau. Teilweise zu
		Konstruktionsbeton.
		Deponierung
		→ Deponie Gäsi, Niederurnen
Asphaltbelag	Brechen, sieben	Verwertung
	→ Richi AG;	→ RC-Kiessand A und Asphaltgranulat
	8104 Weiningen	
Eternitplatten		Deponierung
		→ Deponie Gäsi, Niederurnen
Dachkies	Waschen, sieben	Verwertung
	→ Richi AG; 8104 Weiningen	→ Konstruktionsbeton

Die Verwertungswege der einzelnen Güter werden im Anschluss nach Hauptfraktionen eingehend 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.

### 3.6.1 Verwertungswege von Metallen

Eisen-/Stahlschrott, Kupfer- und Aluschrott

Die Schrottfraktion enthielt verschieden Bleche, Stangen und Rohre, sowie vor allem die Armierungseisen aus dem Rückbau der Betondecken und -wände (Abbildung 3.12). Der Eisenschrott wurde der Hügler AG und der Dietiker Metallhandel AG zugeführt, welche die angelieferten Schrottfraktionen nach den verschiedenen Schrottqualitäten sortiert und den Schrott den Stahlwerken in der Schweiz (von Moos Stahl AG und Steeltec AG der Swiss Steel Gruppe) liefert. Es ist zu erwähnen, dass nur die Eisenfraktion, die direkt auf der Baustelle separiert wurde, aufgeführt ist. Das Eisen, welches mit dem Beton in die Aufbereitung gelangte, fällt dementsprechend auch dort an. Berechnet man den prozentualen Anteil des Eisens in Bezug auf den Beton beträgt dieser nur knapp 1.3Gew.%. Geht man von einem Anteil von 3%-5% Eisen im Beton aus, so ergäbe dies eine Menge von ca. 350-575 Tonnen. Damit müssten noch ca. 200-300 Tonnen Eisenschrott hinzugezählt werden.

Bei der separat gesammelten Alufraktion handelt es sich hauptsächlich um die Rollläden und Leitungsverkleidungen (Abbildung 3.11). Insgesamt wurden 5.6 Tonnen Aluminium gesammelt. Dieses wurde der Firma Hügler AG geliefert, die das Aluminium nach einer Sortierung in die entsprechenden Schmelzwerke ins Ausland (Deutschland und Italien) exportiert.

Bei der separat gesammelten Kupferfraktion handelt um die Dachabschlüsse, welche mit diesem Material ausgestattet wurden und die Kabelleitungen. Das Kupfer war relativ stark mit der Dachpappe verklebt, was keine gute Trennung auf der Baustelle erlaubte. Insgesamt wurden knapp 6 Tonnen Kupfer gesammelt, welches von der Firma Hügler AG und der X.Wiederkehr AG angenommen wurde. Die Altmetallsammler sortieren das angelieferte Kupfer nach der Qualität. Da das Altkupfer von der Baustelle Werdwies mit der Dachpappe verschmutzt war, reduzierte sich die Vergütung entsprechend.

Das Recyclingpotential ist bei den Metallen beinahe ausgeschöpft

Das Potential, noch höhere Recyclingquoten der einzelnen Metalle zu erreichen, 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.

### 3.6.2 Verwertungswege von Altholz

Rund 360 Tonnen Altholz (inkl. Wurzeln und Stämme) wurden der Biorec AG in Regensdorf geliefert. Die Biorec AG sortiert das Altholz nach der Schadstoffbelastung (Schwermetalle, PAK usw.) der angelieferten Holzfraktionen. Dies geschieht derzeit noch hauptsächlich visuell. Mit Inkrafttreten der neuen Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) im Jahr 2006 wird die Triagierung aufgrund einer repräsentativen Probenahme und der anschliessenden Analytik erfolgen. Je nach Belastungsgrad darf das Altholz in die Verwertung (Export nach Italien) gehen oder es

muss in einer Altholzverbrennungsanlage mit den entsprechenden Rauchgasreinigungsstufen oder in einer KVA verbrannt werden. Das Altholz aus diesem Projekt gelangte vermutlich grösstenteils per Bahn in ein Spanplattenwerk in Italien.

#### Verwertungspotential beim Altholz

Aus ressourcenwirtschaftlicher Sicht macht eine Verwertung des Altholzes in Spanplattenwerken in Italien wenig Sinn, da wir genügend ungenutztes Holz in unseren Wäldern haben. Zwar darf nur gering belastetes Altholz in die Spanplattenindustrie exportiert werden, eine Überprüfung der exportierten Altholzfraktionen ist aber derzeit nur beschränkt möglich. Zudem wird das Altholz nicht nur per Bahn, sondern auch mittels Lastwagentransporten nach Italien exportiert. Damit wird die Umweltbilanz dieses Verwertungsweges nochmals schlechter. Die thermische Nutzung des Altholzes in einer Altholzverbrennungsanlage mit entsprechenden Rauchgasreinigungsstufen in der Schweiz ist die zweckmässigere Lösung, da es sich beim Altholz um eine erneuerbare Ressource handelt und die Transportwege kurz sind.

## 3.6.3 Entsorgung des Sperrgutes

Wie bereits im Kapitel 3.2 erwähnt, machten über 80 % (166 Tonnen) des Sperrgutes eine kleine «Rundreise». Das Sperrgut wurde zunächst in die 35 km entfernte Deponie Tännlimoos in Baar geführt. Dort wurde der Abfall in einer Ballenpresse kompaktiert und zwischengelagert. In den nachfolgenden Wintermonaten wurden die Ballen den Zürcher Kehrichtverbrennungsanlagen geliefert (wiederum ca. 35 km Distanz). Das Ganze funktioniert nur, weil der Deponiebetreiber (Risi AG) einen Vertrag mit den Kehrichtverbrennungsanlagen hat, der im Winter höhere Preise vorsieht als im Sommer. Die Preisdifferenz scheint so gross zu sein, dass sich dieser Zwischentransport trotz der beträchtlichen Distanz noch immer lohnt.

Eine weitergehende Sortierung der brennbaren Bestandteile des Sperrgutes in die Fraktionen Boden- bzw. PVC-Beläge, Teppiche, Mineralwolle usw. wurde nicht durchgeführt. Meist ist die Trennung nach diesen Fraktionen während des Rückbaus zu zeitaufwändig und deshalb zu kostenintensiv. Zudem fehlen den Unternehmen die Kenntnisse über die allfällig vorhandenen Verwertungsmöglichkeiten.

#### Verwertungspotential beim Sperrgut

Das Potential ist deshalb vor allem beim Transport vorhanden. Solch unsinnige Lösungen sollten zukünftig verhindert bzw. nicht mehr zugelassen werden. Es ist deshalb zu überlegen, ob die Unternehmen schon vor Rückbaubeginn dazu verpflichtet werden, die brennbaren Abfälle direkt (d.h. ohne Umwege) in die städtischen KVA's zu führen. Falls alternative Verwertungsmethoden vorliegen, müssen diese inklusive Verwertungsorte angegeben werden.

#### 3.6.4 Verwertungswege des Misch- und Betonabbruchs

Der Beton- und Mischabbruch wurde zum Aufbereitungsplatz der Firma Richi & Co. nach Weiningen transportiert und dort für die diversen Anwendungen im Hoch- und Tiefbau aufbereitet. Zirka 10 % des Mischabbruchs wurden der Firma Eberhard (Ebirec) zur Aufbereitung zugeführt. Ein kleiner Teil des Mischabbruchs, nämlich 58 Tonnen, gelangte in die Deponie Gäsi in Niederurnen.

Die Firma Richi & Co. setzt die Beton- und Mischabbruchgranulate zu einem grossen Teil als Zuschlagstoffe in der Mager- oder Hüllbetonproduktion ein. Während 100 % des Mischabbruches, d.h. 14'500 Tonnen zu Magerbeton verarbeitet wurden, beträgt dieser Anteil bei den Betongranulaten nur rund 50 % (5800 t). Die anderen 50 % wurden zu RC-Kiessand B, welcher aus 80 % Kies und 20 % Betongranulat besteht, verarbeitet.

Verwertungspotential beim Beton- und Mischabbruch

Zurzeit baut das Unternehmen ein neues Aufbereitungskonzept auf. Diese setzt auf eine in qualitativer Hinsicht optimierte Aufbereitung des Beton- und Mischabbruchs zu entsprechenden Granulaten, so dass diese als Zuschlagstoffe für die Herstellung von RC-Konstruktionsbeton verwendet werden können. Dazu werden Granulate verschiedener Korngrössenklassen über den Siebprozess hergestellt. Diese werden nach den entsprechenden Korngrössenklassen in Gossen und Silos zwischengelagert. Dieses Vorgehen erlaubt, die für die Herstellung von Konstruktionsbeton notwendigen Siebkurven für die Zuschlagstoffe zu erreichen. Das Potential liegt im vorliegenden Fall bei der Produktion von qualitativ hochwertigen Recyclingprodukten, die dann für anspruchsvolle Anwendungen wie Konstruktionsbeton (und auch Sichtbeton) eingesetzt werden können.

### 3.6.5 Verwertungswege weiterer Fraktionen

Die rund 170 Tonnen Asphalt wurden in Weiningen zu RC-Kiessand A oder zu Asphaltgranulaten verarbeitet, beide Produkte können entweder in loser Form unter einer bindemittelgebundenen Deckschicht oder in hydraulisch bzw. bituminös gebundener Form eingesetzt werden.

Die 360 Tonnen Dachkies wurden im Kieswerk in Weiningen gewaschen und konnten dann als Zuschlagstoff im Beton oder in loser Form verwertet werden. Beim Waschvorgang werden die Feinanteile (>0.063 mm) ausgewaschen. Im vorliegenden Bericht wird jeweils von einem ausgewaschenen Feinanteil, welcher als sogenannter Kieswerkschlamm anfällt, von 5 % ausgegangen. Der Schlamm wird bis zur Stichfestigkeit stabilisiert und anschliessend deponiert.

Wie bereites erwähnt wurden die Eternitplatten in der Inertstoffdeponie Gäsi in Niederurnen deponiert.

Verwertungspotentiale dieser Fraktionen

Das Verwertungspotential dieser Fraktionen ist weitgehend ausgeschöpft, weil die Produkte wieder in die ursprüngliche Anwendung gelangen. Bei der Entsorgung der Eternitplatten besteht ein Potential betreffend des relativ weit von der Baustelle entfernten Deponiestandortes. Es hätten auch näher liegende Deponien angefahren werden können. Allerdings handelt es sich hier um geringe Mengen, welche deponiert werden mussten.

### 3.6.6 Verwertungs- und Entsorgungswege der Aushubfraktionen

Die Altlastensanierung wurde von der Gysi Leoni Mader AG begleitet. Das entsprechende Entsorgungskonzept ist im Bericht 02262-R-002 ausführlich dargelegt. In diesem Bericht wird festgelegt, welche Aushubfraktion zu welchen Anteilen in eine Verwertung gelangen oder deponiert werden. Die Güterflüsse im vorliegenden Bericht basieren auf den Angaben der Richi & Co. Rund 7700 Tonnen des belasteten Aushubmaterials (tolerierbarer und verschmutzter Aushub) wurden nach einer nasschemischen Behandlung (ESAR, Eberhard AG in Rümlang) als Zuschlagstoffe für die RC-Betonproduktion verwertet oder im Zementwerk der Holcim Siggenthal als Rohmehlersatz eingesetzt (ca. 1000 Tonnen). Rund 3900 Tonnen belasteter Aushub wurde deponiert, dazu kommen noch 1400 Tonnen Humus, welcher ebenfalls deponiert werden musste.

Rund 16'400 Tonnen Aushubmaterial wurde von der Richi & Co. in Weiningen gewaschen. Der Kies/Sand im Aushubmaterial wird nach dem Waschprozess als Zuschlagstoff für den Beton eingesetzt. In der Güterflussanalyse wird angenommen, dass rund 5% Feinanteile beim Waschprozess als Kiesschlamm anfallen, der nach einer Stabilisierung deponiert wird. Der Feinanteil im Aushub ist von dessen Qualität abhängig. Die angenommenen 5 % sind eher tief

angesetzt. Der Feinanteil kann auch Werte von 15 % annehmen. 1700 Tonnen Aushubmaterial konnte direkt auf andere Baustellen geführt werden.

Die verbleibenden 20'000 Tonnen Aushub wurden in Aushubdeponien (Auffüllungen) abgelagert.

Insgesamt konnte damit rund die Hälfte des Aushubmaterials einer Verwertung zugeführt werden.

#### Verwertungspotentiale dieser Fraktionen

Im Kanton Zürich wird ein erheblicher Aufwand betrieben, um belastetes Aushubmaterial so zu behandeln, dass es einer Verwertung zugeführt werden kann. Dies ist ein sinnvoller und gangbarer Weg. Im Bereich des unbelasteten Aushubmaterials ist das Verwertungspotential relativ schwierig abzuschätzen, da dieses von der Qualität des ausgehobenen Materials abhängig ist. Es ist anzunehmen, dass der Unternehmer das Material mit einem hohen verwertbaren Kies- und Sandanteil verwertet und das Material, welches tiefere Anteile an verwertbarem Material hat, in die Aushubdeponien führt.

Eventuell besteht ein Potential bei einer effizienteren Logistik, die es ermöglichen würde, Aushubmaterial innerhalb der Stadt Zürich gerade wieder einzusetzen. Die grösseren Unternehmen disponieren das eigene Material so gut wie möglich selbst. Möglicherweise würde aber eine unternehmensübergreifende Logistikplattform zu einer effizienteren Bewirtschaftung des Aushubmaterials führen. Ein solcher Ansatz würde schliesslich zu tieferen Transportleistungen und damit verbunden zu einer tieferen Umweltbelastung führen.

Ein weiteres Potential ist bei der Verwertung des Kieswerkschlammes vorhanden. Der anfallende Schlamm wird heute eingedickt und über Kammerfilterpressen und andere Verfahren bis zur Stichfestigkeit entwässert, so dass er deponiert werden kann. Seit Mitte 2004 besteht nun eine von verschiedenen Kieswerken gegründete Genossenschaft KIWE-Ca, die diesen Kieswerkschlamm als Kalziumdünger vermarktet. Derzeit liegen noch keine aussagekräftigen Zahlen über den Absatz dieses Düngers vor. Kann sich dieses Düngemittel im Markt etablieren, so würde dieser neue Verwertungsweg zu höheren Verwertungsquoten führen.

## 3.7 Verwertungsquote und Potentiale

In der Tabelle 3.2 ist die Verwertungsquote der zurückgebauten Materialien inklusive des abgeführten Aushubmaterials 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	Güter- flüsse [t]	Verwertungs- quote in % (geschätzt)	Potential in % (geschätzt)	Bemerkungen	
Metalle - Eisen/Kupfer/Alu	163	100	100	Metallrecycling ist weitgehend optimiert	
Sperrgut	201	6	6	Umwege über ein weit entferntes Zwischenlager sind zu vermeiden. Brennbares Material wird in die KVA geführt → thermische Nutzung	
Altholz/Wurzel/Stämme	361	100	100	100% Export nach Italien; Verbrennung in einer regionalen Altholzverbrennungsanlage ist der Exportlösung vorzuziehen.	
Grüngut	124	100	100	Kompostierung bei der Richi & Co. in Weiningen	
Mineralische Bauabfälle - Mischabbruch	14'500	99.5	100	99.5% Verwertung als Magerbeton 0.5% Deponie	
- Betonabbruch	11'600	100	100	50% Verwertung als Magerbeton 50% Verwertung als RC-Kiessand B Es besteht Potential bezüglich der Produktion von Konstruktionsbeton aus RC-Granulaten.	
Asphaltbelag	168	100	100	100% Verwertung als RC-Kiessand A	
Eternitplatten	31	0	0	z.Z. keine Verwertungsmöglichkeiten	
Dachkies	360	100	100	Verwertung bei der Richi & Co. in Weiningen	
Aushub	51'000	50	Nicht abschätz- bar	Verwertungspotential ist abhängig von der Qualität des Aushubmaterials. Optimierungsmassnahmen im Bereich der Logistik sind zu prüfen.	

Es wurden hohe Verwertungsquoten erreicht. Potentiale sind vor allem im Bereich der Produktaufbereitung vorhanden. So könnte zumindest das Betongranulat als Zuschlagstoff im Konstruktionsbeton eingesetzt werden. Die Richi & Co. ist momentan daran, die Aufbereitung der Granulate zu optimieren, so dass diese als Zuschlagstoffe für die Produktion von Konstruktionsbeton eingesetzt werden können.

Die Verwertungsunternehmen müssen sich nach den Absatzmärkten richten. Es bestehen noch immer relativ grosse Vorbehalte seitens der Bauherren und Planer gegenüber dem Einsatz von

Sekundärmaterialien im Konstruktionsbeton. Aus diesem Grund sind die Absatzmärkte für RC-Konstruktionsbeton noch beschränkt. Das Amt für Hochbauten nimmt hier noch immer eine Pionierrolle ein. Es dürfte aber eine Frage der Zeit sein, bis sich auch private Bauherren für den vermehrten Einsatz dieser Produkte entschliessen.

## 3.8 Transporte

Die Datenerfassung ist so aufgebaut, dass neben den Materialmengen auch die Transportkilometer ermittelt werden können. Die zurückgelegten Distanzen zwischen der Baustelle "Wohnsiedlung Bernerstrasse" und den Verwertern, KVA und Deponien wurden mittels eines Routenplaners (www.map24.ch) abgeschätzt. Bei den angegebenen Transportkilometern und Transportleistungen wurde nur die Hinfahrt berücksichtigt. Da anzunehmen ist, dass es bei den Rückfahrten auch Leerfahrten gibt, müssten diese mit dem entsprechenden Faktor multipliziert werden. Dieser Faktor dürfte in etwa bei 1.5 und 2 liegen.

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 Stahlwerken wurde nicht mehr berücksichtigt.

In der Tabelle 3.3 sind die Anzahl Fahrten, die abgeführten Materialmengen in Kubikmetern und Tonnen, die zurückgelegten Kilometer, die Transportleistung in Tonnenkilometern (tkm) sowie die durchschnittlichen Kilometer pro Fahrt nach Fraktionen getrennt aufgeführt. Insgesamt wurden knapp 4900 Fahrten durchgeführt, um eine totale Transportdistanz von 90'000 km zurückzulegen. Es wurde eine totale Transportleistung von über 1'400'000 tkm erbracht, wobei der Abtransport der Bauabfälle nur einen Anteil von 22 % in Anspruch nahm. Der Rest wurde für den Transport des Aushubmaterials benötigt.

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

Materialkategorie	Fahrten	Volumen	Masse	Transporte	Transporte Transportleistung	
	Anzahl	m <sup>3</sup>	t	km	tkm	km/Fahrt
Aushub U	2'025	23'777	38'061	41'436	778'812	20
Aushub T und V	593	7'280	11'648	12'378	243'117	21
Humus	83	1'224	1'407	5'229	88'643	63
Summe Aushub	2'701	32'280	51'115	59'043	1'110'572	22
Asphalt	13	120	168	91	1'176	7
Asbest	3	29	31	189	1'953	63
Betonabbruch	563	7'257	11'592	3'941	81'144	7
Betonabbruch aus						
Aushub	137	1'457	2'331	959	16'318	7
Dachkies	35	223	357	245	2'498	7
Mischabbruch	1'104	14'493	14'493	9'027	118'504	8
Inertstoffe (Deponie)	218	3'018	1'374	13'482	84'949	62
Altholz	42	1'471	294	294	2'059	7
Grüngut	17	506	182	119	1'275	7
Metalle	23	720	163	370	2'625	16
Sperrgut	33	892	201	781	4'765	24
Summe Bauabfälle	2'188	30'186	31'187	29'498	317'267	13
Total	4'889	62'466	82'302	88'541	1'427'839	18

Die tiefe Transportleistung bei der Entsorgung und Verwertung der Bauabfälle ist auf die kurze Distanz zum Aufbereitungsplatz der Firma Richi &Co. in Weinigen zurückzuführen. Da vor allem die Fraktionen, wie der Misch- und Betonabbruch über sehr kurzen Distanzen von 7 km transportiert wurden, konnte die durchschnittliche Distanz mit 13 km pro Fahrt tief gehalten werden. Im Vergleich dazu wurden beim Teilrückbau des Schulhauses Falletschen eine durchschnittliche Transportdistanzen von 23 km pro Fahrt zurückgelegt (Rubli, 2005). Dies entspricht einem Mehraufwand von über 75 % gegenüber dem Projekt Bernerstrasse.

Die kurzen Transportdistanzen hängen mit der Auswahl des Unternehmens zusammen. Diese basierte neben weiteren Kriterien auch auf der ökologischen Beurteilung der eingereichten Offerten. Die zu erwartenden Transportdistanzen waren ein wichtiges Beurteilungskriterium im Bereich der Ökologie.

Das vorliegende Projekt ist ein gutes Beispiel, um den Effekt von vorgezogenen Massnahmen zur Reduktion von Umweltbelastungen durch den Rückbau aufzuzeigen. Durch den Einbezug von (Zuschlags-)Kriterien im Bereich der Ökologie in den Submissionsunterlagen und der nachfolgenden Beurteilung der eingereichten Offerten konnte über die Wahl des Unternehmens ein relativ grosser Einfluss auf die Transportwege, aber auch auf die Qualität hinsichtlich der Verwertung erreicht werden.

Die kurzen Distanzen zum Aufbereitungsplatz der Richi & Co. in Weiningen wirkten sich ebenfalls auf die durchschnittliche Transportdistanz bei der Entsorgung und Verwertung des Aushubmaterials aus. Die durchschnittliche Distanz von 22 km pro Fahrt ist darauf zurückzuführen, dass rund die Hälfte des Aushubmaterials nach Weiningen (7 km) zur Verwertung gelangte. Die restliche Menge wurde in weiter entfernte Deponien geführt. In der Tabelle 3.4 sind die Entsorgungs- und Verwertungsorte des unbelasteten Aushubmaterials, die Mengen, die Anzahl Fahrten und die durchschnittliche Transportdistanz pro Fahrt aufgeführt.

Tabelle 3.4: Entsorgungs- und Verwertungsorte des unbelasteten Aushubmaterials, abgeführte Mengen, Anzahl Fahrten und die durchschnittliche Transportdistanz pro Fahrt.

Entsorgungs-/ Verwertungsort	Menge in Tonnen	Art der Entsorgung	Anzahl Fahrten	Durchschnittliche Distanz pro Fahrt	
Richi Weiningen	16366	Verwertung	940	7	
Hüntwangen	13651	Deponie	682	33.4	
Weiach	5356	Deponie	268	35.6	
Mülligen	232	Deponie	11	23.4	
Würenlingen	173	Deponie	9	26.9	
Glattfelden	581	Deponie	29	36	
diverse Abnehmer	1702	Verwertung	86	11.5	
Summe/Durchschnitt	38061		2025	20	

#### 3.8.1 Emissionen

Die Aushub- und Bauabfalltransporte verursachten Emissionen von zirka 73 Tonnen  $CO_2$ , 0.47 Tonnen  $NO_x$  und 14 Kilogramm Partikel (Emissionsfaktoren aus: BUWAL 2001a; Durchschnitt alle LKW 2006) (Tabelle 3.5). Allerdings wurden hier nur die Hinfahrten zu den Entsorgungsorten berücksichtigt. Die Daten müssten mit dem Faktor 2 multipliziert werden, wenn es sich bei den Rückfahrten ausschliesslich um Leerfahrten gehandelt hat. Es kann aber angenommen werden, dass nur ca. 50 % der Rückfahrten Leerfahrten waren. Um die verursachten Emissionen abzuschätzen, sind die Daten mit den Faktor 1.5 zu multiplizieren. Die  $CO_2$ - Emissionen von 110 Tonnen (1.5 x 73.1 Tonnen) entsprechen einem Energiegehalt von ca. 1.5 Terajoule (TJ) und einem

Dieselverbrauch von ca. 35 Tonnen (bei 30 L/100 km). Dies bedeutet, dass der mit den Aushubund Bauabfalltransporten benötigte Energieaufwand grob abgeschätzt ca. 1.5 % der grauen Energie der abgebrochenen Wohnsiedlung entspricht (Annahme: Lebensdauer Gebäude 50 Jahre, graue Energie 100 MJ/m²a). Die neuen Gebäude werden eine Betriebsenergie (Heizung + Warmwasser) von ca. 4.7 TJ/a (1300 MWh/a) benötigen. Geht man von einer Lebensdauer von 50 Jahren für die neu erstellten Gebäude aus, so entspricht der Energiebedarf für die Transporte (Rückbau+Aushub) ca. 0.6% der Betriebsenergie der Gebäude.

Tabelle 3.5: Emissionen aus den Aushub- und Bauabfalltransporten (Emissionsfaktoren aus: BUWAL 2001; Durchschnitt aller LKWs im Jahr 2006). In diesen Berechnungen sind nur die Hinfahrten zu den Entsorgungsorten berücksichtigt. Es kann angenommen werden, dass nur ca. 50 % der Rückfahrten Leerfahrten waren. Um die verursachten Emissionen abzuschätzen, sind die Daten in der Tabelle mit den Faktor 1.5 zu multiplizieren.

Materialart	Totale Distanz	Emissions- faktor	Emission NO <sub>x</sub>	Emissions- faktor	Emission CO <sub>2</sub>	Emissions- faktor	Emission Partikel
	km	NO <sub>x</sub> [g/km]	Tonnen	CO <sub>2</sub> [g/km]	Tonnen	Part. [g/km]	Tonnen
Aushub	59000	5.35	0.316	826	48.7	0.155	0.009
Bauabfälle	29500	5.35	0.158	826	24.4	0.155	0.005
Summe	88500	5.35	0.474	826	73.1	0.155	0.014

In Bezug auf die Minimierung der Transporte ist nur geringes Potential vorhanden. Erwähnt wurde bereits das Beispiel der brennbaren Fraktion, welche aus ökonomischen Gründen zunächst in den Kanton Zug geführt wurde und erst später zurück in die städtischen Kehrichtverbrennungsanlagen ging. Die Inertstoffdeponie, in die knapp 3000 Tonnen Material geführt wurde, lag mit einer Distanz von 62 Kilometern relativ weit weg. Hier hätte sicherlich eine näher gelegen Deponie angefahren werden können. Um diese Transporte zu minimieren wurde ein Teil des belasteten Humus auf der Baustelle zwischengelagert. Dabei handelt es sich um ca. 1000 m³ Material, was knapp der Hälfte des gesamthaft anfallenden Humus entspricht. Theoretisch hätte auch ein Teil des Aushubmaterials zwischengelagert werden können. Die Platzverhältnisse waren aber trotz der Grösse des Projektes eher knapp, weshalb kein zusätzliches Aushubmaterial zwischengelagert werden konnte. So musste beispielsweise der Humus während der Bauzeit mehrmals verschoben werden, was zu einem erheblichen Aufwand führte.

Schon erwähnt wurde die Möglichkeit, die Logistik zu optimieren, indem unternehmensübergreifende Lösungen angestrebt werden. So könnte eine (Handels-)Plattform, auf der die Kapazitäten von Aushubmaterial für Hinterfüllungen in der Stadt Zürich ausgeschrieben werden können, betrieben werden. Zudem könnten Zwischenlager für Aushubmaterial innerhalb der Stadt erstellt werden, welche die Bedürfnisse der Stadt abdecken. Damit liessen sich die Transporte ebenfalls reduzieren. Solche Ansätze müssen erst entwickelt und überprüft werden, bevor eine Realisierung möglich wird. Diskussion 27

## 4 Diskussion

## 4.1 Zusammenarbeit mit der Bauleitung und den Unternehmen

Die Zusammenarbeit mit der Bauleitung (Herr Donato Andrianello und Herr Marcel Mathe; bosshard +partner Architekturbüro AG) war hervorragend. Schon in der frühen Phase wie bei der Beurteilung der Offerten nach ökologischen Kriterien, wurde eine Zusammenarbeit angestrebt, welche sich über die gesamte Projektdauer sehr gut entwickelte. Durch die Teilnahme an den Bausitzungen zu Beginn der Rückbauarbeiten konnten Optimierungsmassnahmen im Bereich der Materialtransporte diskutiert und wie beispielsweise bei der Zwischenlagerung des Humus auch umgesetzt werden. Das Interesse seitens der Bauleitung, sich mit den ökologischen Belangen im Rückbau auseinanderzusetzen, war jederzeit gut erkennbar und verstärkte sich im Verlauf des Projektes. So ergaben sich gemeinsame Führungen während des Rückbaus und gemeinsame Vorträge zum Thema Rückbau (z.B. Veranstaltung des Swiss Engineering STV oder Vortrag im Rahmen des Seminars "DEPLANNING" der Professur für Architektur und Städtebau der ETH Zürich). Der gegenseitige Erfahrungsaustausch wird sich sicherlich auch auf spätere Projekte positiv auswirken.

Mit der Firma Richi & Co., welche sowohl die Rückbau- als auch die Aushubarbeiten durchgeführt hat, ergab sich ebenfalls eine sehr gute Zusammenarbeit. Insbesondere Herr Richi informierte in transparenter Weise. So stellte er die Aufbereitungsprozesse in Weinigen persönlich vor und zeigte auf, wie diese Prozesse in Zukunft weiterentwickelt werden. Das Unternehmen hat sich für eine langfristige Strategie entschieden, welche die Aufbereitung der Bauabfälle und damit die Herstellung von Sekundärressourcen zum Ziel hat. Dies ist mit erheblichen Investitionen verbunden und zeigt, dass der Unternehmer, der noch über grosse Kiesreserven verfügt, auch wirklich an positive Entwicklung im Bereich der Sekundärressourcen glaubt.

## 4.2 Allgemeine Beurteilung des Rückbaus und der Aushubarbeiten

Die Resultate der Untersuchung der Bauabfall- und Aushubmaterialströme in Verbindung mit dem Controlling der Entsorgung zeigen auf, wo die grössten Materialflüsse auftreten, welche Verwertungs- und Entsorgungsprozesse die Materialien durchlaufen haben und wie aufbereitete Materialien wieder eingesetzt werden. Zudem konnten anhand der weitergehenden Analyse der Verwertungswege die Verwertungspotentiale, unter Berücksichtigung qualitativer Aspekte, aufgezeigt werden.

In der Abbildung 3.20 ist die Dominanz des Aushubmaterialflusses mit einem Anteil von 62% an den totalen Flüssen sehr gut zu erkennen. Diese Dominanz verstärkt sich noch in Bezug auf die Transportleistung (Tabelle 3.3), bei der das Aushubmaterial einen Anteil von über 78% einnimmt. Die im Vergleich zu den Materialflüssen nochmals höheren Anteile bei den Transportleistungen sind auf die relativ weit entfernten Aushubdeponien zurückzuführen, in denen das nicht verwertbare Aushubmaterial abgelagert wurde. Damit wird deutlich, dass die Entsorgung des Aushubmaterials auch in Bezug auf die Luftemissionen mit Abstand die grösste Belastung während der Rückbauund Aushubphase darstellt. Weitere wichtige Fraktionen, in Bezug auf die Mengen, waren die Betonabbruchfraktionen. Aus diesem Grund sind Massnahmen Emissionsminderung beim Transport des Aushubmaterials sowie des Misch- und Betonabbruches besonders effektiv. Rund die Hälfte des Aushubmaterials konnte in Weiningen aufbereitet und verwertet werden. Die Distanz zum Aufbereitungsplatz war mit 7 km sehr kurz, so dass die durchschnittliche Transportdistanz für die Verwertung und Entsorgung des Aushubmaterials tief Diskussion 28

gehalten werden konnte. Die mengenmässig ebenfalls bedeutenden Beton- und Mischabbruchfraktionen wurden auch in Weiningen aufbereitet.

Es ist kein Zufall, dass solch kurze Distanzen für die Aufbereitung der verwertbaren Materialien zurückgelegt wurden. Vielmehr kommen hier die in den Submissionsunterlagen aufgeführten ökologischen Kriterien zum tragen, die bei der Evaluation der eingereichten Offerten eine wichtige Rolle spielten und schliesslich den Ausschlag für die Wahl des Unternehmens gaben. Dies unterstreicht, dass mit solchen Massnahmen entscheidende Effekte zur Verminderung der Umweltbelastungen erreicht werden können.

Weitere Massnahmen zur Reduktion der Emissionen aus den Transporten wurden im vorangegangenen Kapitel aufgeführt. Neben der Zwischenlagerung von Aushubmaterial auf der Baustelle könnte eine effizientere Logistik zu verminderten Transportleistungen führen. In diesem Bereich fallen auch die Leerfahrten, die ebenfalls auf ein Minimum zu beschränken sind. Dies dürfte seit der Einführung der LSVA auch im Sinne der Transportunternehmen sein. Grösseres Potential ist im technischen Bereich zu sehen. Im vorliegenden Projekt wurden Fahrzeuge der Kategorie EURO 3 mit einem Gesamtgewicht von 32 Tonnen bzw. 40 Tonnen eingesetzt, die mit schwefelarmen Treibstoffen betrieben werden. Gerade bei solch hohen Materialmengen sollten in der Ausschreibung die aktuellsten Fahrzeugkonzepte (EURO 3 bzw. EURO 4), die Nachrüstung der Lastwagen mit Partikelfiltern und saubere Treibstoffe gefordert werden. Damit wird eine weitere Schadstoffreduktion (z.B. NO<sub>x</sub> bis 47%; Partikel bis 90% Reduktion gem. BUWAL 2001) erreicht. In der Baubewilligung wurden als Auflage kurze Transportwege und ein Transportdispositiv verlangt. Es wurden keine weiteren Auflagen im Bereich der Lufthygiene bei Bautransporten gemacht. Sämtliche Massnahmen und Auflagen müssen schliesslich auch überprüft werden, damit die Umsetzung gewährleitstet ist.

Über 92 % der Bauabfälle und 49 % des Aushubmaterials wurden einer Verwertung zugeführt. Bei den Bauabfällen liegt in quantitativer Hinsicht nur noch ein geringes Potential vor, in qualitativer Hinsicht ist eine Verbesserung durchaus möglich. Dazu muss die Aufbereitung des Beton- und Mischabbruches zu Granulaten optimiert werden, so dass diese als Zuschlagstoffe für den RC-Konstruktionsbeton eingesetzt werden können. Dies bedeutet, dass die Korngrössenklassierung verfeinert werden muss, damit die gewünschten Siebkurven hergestellt werden können. Die Firma Richi & Co. baut zurzeit ein solches Konzept zur Produktion von RC-Konstruktionsbeton auf. Damit dürfte in Zukunft ein weiteres Werk in Stadtnähe zur Verfügung stehen, welches in der Lage sein dürfte, Konstruktionsbeton aus Betongranulaten oder gar Mischabbruchgranulaten herzustellen. Dies ist durchaus im Sinne des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich, welches den Einsatz von Sekundärmaterialien bei ihren Bauvorhaben stark fördert. Dieses Vorgehen erlaubt zudem ein tatsächliches Recycling der Materialien, währenddessen der Einsatz im Tiefbau eher einem Downcycling entspricht.

Im Bereich des Rückbauprozesses braucht es weitere Massnahmen, damit die Beton- und vor allem die Mischabbruchgranulate zur Herstellung von Konstruktionsbeton eingesetzt werden können. Insbesondere ist darauf zu achten, dass der Mischabbruch nicht mit schadstoffbelasteten Materialien verunreinigt wird. Als Beispiel seien hier nochmals die quecksilberhaltigen Leuchtstoffröhren bzw. die entsprechenden Leuchten, die Vorschaltgeräte und Kondensatoren (evtl. PCB-haltig) enthalten, zu erwähnen. Diese sind, wie weitere schadstoffbelastete Materialien, vor dem Rückbau der mineralischen Fraktionen zu demontieren (wurde hier nicht gemacht). Falls keine saubere Trennung der Materialien erfolgt, wird sich dies negativ auf die Vermarktung des RC-Betons auswirken. Dies würde dann die aufwändigen und kostenintensiven Massnahmen des Unternehmers im Bereich der Aufbereitung der Sekundärmaterialien unterminieren. Ein weiteres Beispiel ist die Gipsfraktion. Auch Gipswände sollten aus Qualitätsgründen separat demontiert werden. Im Nachhinein lässt sich diese Fraktion, auch mit aufwändiger Verfahrenstechnik, nicht mehr aus der Mischabruchfraktion

Schlussfolgerungen 29

heraussortieren. Der Gips führt zu einer Zunahme der unerwünschten Feinanteile im Mischabbruch, welche sich negativ auf das Abbindeverhalten auswirken.

## 5 Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Schlussbericht zum Controlling der Rückbau- und Aushubarbeiten, welches in Verbindung mit einer Güterflussanalyse durchgeführt wurde, sind die wichtigsten Entsorgungs- und Verwertungswege mit den einzelnen Güterflüssen zusammengefasst. Auf der mitgelieferten CD sind alle Daten in Form von Excelfiles aufgeführt und einsehbar. Damit kann der Bauherr jederzeit auf die Daten zurückgreifen, um allfällige Fragen bezüglich der Materialflüsse zu beantworten, sofern diese nicht im Bericht zu finden sind. Der Bericht ist als Teil der Qualitätssicherung im Rückbau zu verstehen.

Da neben der Erhebung der Güterflüsse und Transporte auch die einzelnen Verwertungswege detaillierter recherchiert wurden, können die Optimierungspotentiale bezüglich der Verwertung und der Transporte aufgezeigt werden. Zusammenfassend sind folgende Optimierungspotentiale zu erwähnen:

#### Bereich Rückbau

- Die Demontagearbeiten vor dem Rückbau sind auszubauen, damit die Qualität des Mischabbruches die Anforderungen für den Einsatz von RC-Beton im konstruktiven Bereich eingehalten werden können. Dies gilt insbesondere für die schadstoffbelasteten Materialien wie Leuchten mit Kondensatoren, Vorschaltgeräten und Leuchtstoffröhren.
- Gipswände sind ebenfalls separat auszubauen und zu verwerten, da diese die Qualität des Mischabbruchs ebenfalls verschlechtern → höhere Feinanteile.

#### Bereich Transporte

- Zwischenlagermöglichkeiten für Humus und Aushubmaterial sollten möglichst frühzeitig abgeklärt werden, damit diese in die Planung einfliessen können.
- Eventuell sollte die Machbarkeit einer unternehmensübergreifenden, regionalen Plattform für die Verschiebung von Aushubmaterial geprüft werden, um die Logistik zu optimieren.
- Vermeidbare Transporte sollten unterbunden werden. So sollten brennbare Materialien nicht in weit entfernten Deponien zwischengelagert und erst später in den Kehrichtverbrennungsanlagen in der Stadt Zürich verbrannt werden.

#### Bereich der Submission

- Eventuell sollten gewisse Entsorgungs- oder Verwertungswege schon in den Ausschreibungsunterlagen vorgegeben werden. Nachfolgen einige Beispiele:
  - Falls keine Verwertung möglich ist, sind brennbare Materialien ohne Umwege in die nächstliegende KVA zu entsorgen.
  - Altholz ist möglichst in regionale Altholzverbrennungsanlagen mit entsprechend ausgerüsteten Verbrennungsstufen zu liefern.
  - Inertstoffe sind in nahe gelegene Inertstoffdeponien zu führen.

Schlussfolgerungen 30

• Es ist ebenfalls zu prüfen, ob dem Unternehmer der Mehraufwand für eine korrekte Entsorgung/Verwertung der Materialien in Rechnung gestellt wird, wenn dieser die in den Ausschreibungsunterlagen aufgeführten ökologischen Anforderungen nicht einhält. Als konkretes Bespiel sei hier die Entsorgung von Leuchtstoffröhren genannt. Falls dies nicht korrekt durchgeführt wird, hat der Unternehmer die hypothetischen Kosten für die Demontage und die korrekte Entsorgung der Leuchtstoffröhren dem Bauherrn zu vergüten.

Das vorliegende Projekt zeigt sehr gut auf, mit welchen effektiven Mitteln der Bauherr bzw. die ausführenden Planer die durch den Rückbau und Aushub verursachten Umweltbelastungen reduzieren können. Durch den Einbezug von (Zuschlags-)Kriterien im Bereich der Ökologie in den Submissionsunterlagen und durch die nachfolgende Beurteilung der eingereichten Offerten konnte über die Wahl des Unternehmens eine relativ grosse Einflussnahme auf die Transportwege, aber auch auf die Qualität der Verwertung erreicht werden. Dies bedeutet, dass schon in einer sehr frühen Phase des Projektes wichtige Massnahmen im Bereich der Transportlogistik, der Güterflüsse und der Verwertung zu implementieren sind, um die Umweltbelastungen eines Projektes zu minimieren. Zudem lassen sich vor der Auftragsvergabe die vorgeschlagenen Massnahmen am effizientesten durchsetzen. Während der Ausführung ist der Einfluss auf die Unternehmen nur noch gering. Wichtig ist zudem, dass die Umsetzung der Vorgaben überprüft wird, um zu gewährleisten, dass die offerierten Leistungen auch tatsächlich erbracht werden.

Literatur 31

## 6 Literatur

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

BUWAL 2001a, Luftreinhaltung bei Bautransporten, Vollzug Umwelt, BUWAL, Bern.

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

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

Rubli St. 2003: Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung des VZ Werd, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich.

Rubli St. 2005: Controlling und Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung während des Teilrückbaus des Schulhauses Falletschen, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich.