



Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Ab- fallvermeidung und Abfallrecyc- ling der EU

(Projekt EnBa)

ACTION 6

Evaluierung des Stands der Technik und
mittelfristiger Entwicklungsmöglichkeiten
von selektivem Rückbau und Baurest-
massenaufbereitung

Endbericht



Dieses Projekt wird im Rahmen
von LIFE+ von der Europäischen
Union finanziert

finanziert durch:

Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft,
Umwelt u. Wasserwirtschaft

Land Niederösterreich Land Oberösterreich
Land Steiermark Land Kärnten



lebensministerium.at



Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Ab- fallvermeidung und Abfallrecyc- ling der EU

ACTION 6

Evaluierung des Stands der Technik und
mittelfristiger Entwicklungsmöglichkeiten
von selektivem Rückbau und Baurest-
massenaufbereitung

Endbericht

**DAVID CLEMENT
KERSTIN HAMMER
PAUL H. BRUNNER**

finanziert
im Rahmen von LIFE+ von der Europäischen Union
durch das
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft
Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Amt der Kärntner Landesregierung

Wien, September 2010

IMPRESSUM :

(Vers.1.0)

Projektsachbearbeitung:

David Clement, Kerstin Hammer, Paul H. Brunner

TU Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft,
Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement

Karlsplatz 13/226

1040 Wien

Tel.: +43 (0)1 58801.22641

Fax: +43 (0)1 58801.22697

Email: office@iwa.tuwien.ac.at; <http://iwr.tuwien.ac.at/ressourcen>

Leadpartner:

Ressourcen Management Agentur (RMA)

Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

ZVR Zahl: 482686233

Argentinerstraße 48/2. Stock

1040 Wien

Tel.: +43 (0)1 913 22 52.0

Fax: +43 (0)1 913 22 52.22

Email: office@rma.at; www.rma.at

Kurzfassung

Ziel von Aktion 6 ist die Evaluierung der Verfahren und Technologien des Gebäudeabbruches und der Baurestmassenaufbereitung. In erster Linie wird ermittelt, welche Verfahren und Technologien derzeit in der österreichischen Abbruch- und Baurestmassenaufbereitungspraxis eingesetzt werden. Andererseits wird das zur Verfügung stehende technologische Potential für die Aufbereitung von Baurestmassen untersucht. Für die Beschreibung der Verfahren und Technologien werden folgende Kenngrößen ermittelt:

- Trennschärfen für verschiedene Abfallfraktionen
- Möglichkeiten der Getrennthaltung von Fraktionen auf der Baustelle und bei der Lagerung
- Eigenschaften und Qualitäten der Produkte aus der Aufbereitung unter technischen und ökologischen Gesichtspunkten
- Emissionen
- Energieverbrauch
- Kosten

Anhand dieser Kenngrößen soll es in einem weiteren Schritt möglich sein, die verschiedenen Verfahren und Technologien in der letzten Lebensphase eines Gebäudes miteinander zu vergleichen und nach ökologischen und ökonomischen Kriterien zu bewerten.

Die Datenerhebung für die Evaluierung der Verfahren und Technologien der österreichischen Baurestmassenwirtschaft erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Praxis. Abbruchfirmen sowie Aufbereitungsanlagenbetreiber wurden zu den derzeit eingesetzten Verfahren befragt, Anlagenhersteller lieferten wertvolle technische Informationen über die Technologien und gaben Abschätzungen über künftige Entwicklungen. Eigene Beobachtungen im Rahmen der dokumentierten Gebäudeabbrüche und eine Literaturrecherche ergänzen die Datenerhebung.

Die Daten wurden im Hinblick auf die in Aktion 7 und 8 vorgesehene Szenarioanalyse erfasst. Zur Darstellung der Material- und Stoffflüsse der österreichischen Baurestmassenwirtschaft wird in diesen Aktionen die Methode der Stoffflussanalyse eingesetzt. Die Verfahren und Technologien werden deshalb als Prozesse definiert und mit Kennzahlen belegt. Die Kennzahlen sind in erster Linie die Transferkoeffizienten, die Trennschärfen der Erkundung und des selektiven Rückbaus sowie die Abscheideleistung verschiedener Sortier- und Aufbereitungsstufen darstellen. Die Transferkoeffizienten stellen Möglichkeit der Ausschleusung von Wert- und Schadstoffen (Trennschärfe) dar. Des Weiteren werden Energieverbrauch, Zeitaufwand und Kosten der Verfahren festgelegt. Die Qualität der entstehenden Produkte wird für jedes Verfahren beschrieben.

Als erster Schritt in der letzten Lebensphase eines Gebäudes hat die Abbruchplanung große Bedeutung. Die Bestandsaufnahme durch Begehung und Erkundung liefert wertvolle Informationen zu Zustand und Zusammensetzung eines Gebäudes; mit geringem Aufwand können bereits 70 – 80 % der Wert- und Schadstoffe lokalisiert werden. Neben ihren Sicher-

heitstechnischen Aspekten gewährleistet die Abbruchplanung einen effektiven, koordinierten und raschen Arbeitsfortgang.

Der selektive Rückbau ist eine komplexe Thematik. Die große Heterogenität im Bauwesen – die Menge an eingesetzten Baustoffen und Bauweisen macht Pauschalaussagen über den selektiven Rückbau schwierig. Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit verschiedener Rückbautiefen ergeben sich aus der Zusammensetzung und Verbindungsart der Bauteile im Gebäude. Transferkoeffizienten können bei der Entkernung Werte von bis zu 0,95 – 1 erreichen, z.B. für kontaminierte Bauteile, Bodenbeläge, Tür- und Fensterrahmen, wobei der Arbeitsaufwand meistens sehr hoch ist. Nach der Entkernung kann das Gebäude ohne weitere Trennung der anfallenden Materialien demoliert oder selektiv abgebrochen werden, was eine Trennung der tragenden Substanz ermöglicht, z.B. der Fraktionen Ziegel und Beton. In der Praxis hat sich der selektive Rückbau nur zum Teil durchgesetzt. In einem Punkt sind sich jedoch alle Akteure der Baurestmassenwirtschaft einig: nur durch den selektiven Rückbau kann eine hohe Qualität der Sekundärrohstoffe gewährleistet werden.

Anschließend an den Gebäudeabbruch wird der Bauschutt auf der Baustelle händisch oder maschinell durch Greifer sortiert. Die Trennschärfen für diesen Arbeitsschritt sind deutlich geringer als die des selektiven Rückbaus. Für die meisten Bauteile bewegen sie sich zwischen 40 und 75 %. Material, das beim Abbruch vermischt wird kann nicht mit der Genauigkeit getrennt werden wie am stehenden Gebäude.

Bei der Aufbereitung der Baurestmassen setzten sich immer mehr die mobilen Anlagen durch. Diese verfügen über Brechstufe, Magnetabscheider und eine oder mehrere Siebstufen und können vor Ort auf der Baustelle eingesetzt werden. Da sie lediglich in der Lage sind, die Eisenfraktion abzuscheiden, können mobile Anlagen keine sortenreinen Materialien herstellen. Vor allem Leichtstoffe wie Holz und Kunststoffe müssen vor oder nach der Anlage manuell aussortiert werden. Stationäre Anlagen könne aus beliebig vielen Komponenten für die Zerkleinerung, die Siebung und die Sortierung zusammengesetzt werden. Bei den Sortieranlagen hat sich vor allem die Windsichtung durchgesetzt. Diese ist imstande, für die Leichtfraktion Trennschärfen von bis zu 95 % zu erreichen. Die Nassaufbereitung erzielt höhere Reinheitsgrade der mineralischen Fraktion als die Windsichtung und kann zum Teil auch mineralische Fraktionen voneinander trennen (z.B. Ziegel und Beton). Sie wird in der Praxis seltener eingesetzt, da die erforderliche Prozesswasseraufbereitung und Abwasserreinigung die Betriebskosten deutlich erhöhen.

Innovative Technologien der Sortierung wie z.B. die sensorgestützten Verfahren konnten sich in der Praxis noch nicht flächendeckend durchsetzen; als Grund dafür werden die hohen Kosten und der niedrige Durchsatz angegeben. Obwohl viele der befragten Akteure der Meinung sind, dass sich diese Verfahren in absehbarer Zeit in Österreich nicht durchsetzen werden gibt es in Österreich eine Anlagen, die ein automatisches Sortierverfahren mittels Farberkennung einsetzt. Dieses wird für hochwertige Ziegelsplittfraktionen mit hohem Marktwert eingesetzt.

Aufgrund der Heterogenität der Baumaterialien und Bauweisen ist die funktionelle Einheit für die verschiedenen Verfahren unterschiedlich. Beim Abbruch beziehen sich Kennzahlen hauptsächlich auf Bauteile, während sich die Verfahren der Aufbereitung auf Materialmengen beziehen.

Die Evaluierung des Stands der Technik für den selektiven Rückbau und die Baurestmassenaufbereitung in Österreich liefert ein interessantes Bild der österreichischen Abbruch- und Recyclingpraxis. Einerseits zeichnet sich ein Trend ab, der aus ökonomischen Gründen in Richtung Vereinfachung der Verfahren geht, andererseits gibt es in der Praxis Akteure, die innovative Verfahren einsetzen und erfolgreich betreiben. Dieses Bild zeigt, dass ein technologisches Potential an Möglichkeiten besteht, um die Bewirtschaftung der Baurestmassen aus ökonomischer und ökologischer Sicht nachhaltig zu verbessern.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	V
INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
1 EINLEITUNG	1
2 ZIELSETZUNG	3
3 METHODIK	4
3.1 Datenerhebung	4
3.1.1 <i>Literaturrecherche</i>	4
3.1.2 <i>Interviews und Gespräche</i>	4
3.1.3 <i>Eigene Beobachtungen auf den begleiteten Baustellen</i>	5
3.2 Kategorisierung der Verfahren und Technologien	5
3.2.1 <i>Das System</i>	6
3.2.1.1 <i>Systemgrenzen</i>	7
3.2.1.2 <i>Material- und Stoffflüsse</i>	7
3.2.1.3 <i>Prozesse</i>	8
3.2.2 <i>Kennzahlen der Prozesse</i>	9
3.2.2.1 <i>Transferkoeffizient</i>	9
3.2.2.2 <i>Produktqualität</i>	11
3.2.2.3 <i>Emissionen</i>	11
3.2.2.4 <i>Energieverbrauch</i>	11
3.2.2.5 <i>Kosten und Aufwand</i>	11
4 ERGEBNISSE	13
4.1 Vorbereitungsphase: die Abbruchplanung	13
4.1.1 <i>Vorgehensweise</i>	13
4.1.1.1 <i>Bestandsaufnahme</i>	14
4.1.1.2 <i>Abbruchplanung</i>	16
4.1.1.3 <i>Arbeitssicherheit und Schutzmaßnahmen</i>	17
4.1.2 <i>Kenngößen</i>	18
4.1.2.1 <i>Trennschärpen bei der Erkundung von Bauwerken</i>	19

4.1.2.2	<i>Erfassung der Möglichkeiten und des Aufwandes der Trennung von Bauteilen und Baustoffen.....</i>	20
4.1.2.3	<i>Kosten und Nutzen der Abbruchplanung.....</i>	20
4.1.2.4	<i>Einfluss der Abbruchplanung auf die darauf folgenden Prozesse in Bezug auf ihre Kenngrößen.....</i>	21
4.2	<i>Der Gebäudeabbruch.....</i>	22
4.2.1	<i>Begriffsdefinitionen und Aufbau.....</i>	23
4.2.1.1	<i>Methoden des Abbruches.....</i>	23
4.2.2	<i>Die Demolierung.....</i>	24
4.2.2.1	<i>Verfahren und Technologien der Demolierung.....</i>	24
4.2.2.2	<i>Kenngrößen der Demolierung.....</i>	29
4.2.3	<i>Der selektive Rückbau.....</i>	33
4.2.3.1	<i>Verfahren und Technologien des selektiven Rückbaus.....</i>	34
4.2.3.2	<i>Arbeitsschritte des selektiven Rückbaus.....</i>	37
4.2.3.3	<i>Demontagegruppen.....</i>	39
4.2.3.4	<i>Schadstoffe.....</i>	41
4.2.3.5	<i>Kenngrößen des selektiven Rückbaus.....</i>	42
4.3	<i>Manuelle Sortierung auf der Baustelle.....</i>	48
4.3.1	<i>Verfahren der manuellen Sortierung.....</i>	48
4.3.1.1	<i>Händische Sortierung.....</i>	48
4.3.1.2	<i>Maschinelle Sortierung auf der Baustelle.....</i>	48
4.3.1.3	<i>Händische Sortierung am Leseband.....</i>	48
4.3.2	<i>Kennzahlen der Sortierung.....</i>	49
4.3.2.1	<i>Trennschärfe.....</i>	49
4.3.2.2	<i>Kosten/ Aufwand.....</i>	50
4.3.2.3	<i>Produkte / anfallende Fraktionen.....</i>	52
4.4	<i>Bauschuttzubereitung.....</i>	54
4.4.1	<i>Anlagentypen.....</i>	55
4.4.1.1	<i>Mobile Zubereitungsanlagen.....</i>	56
4.4.1.2	<i>Stationär betriebene mobile Zubereitungsanlagen.....</i>	57
4.4.1.3	<i>Stationäre Zubereitungsanlagen.....</i>	57
4.4.1.4	<i>Vor- und Nachteile der Anlagentypen.....</i>	57
4.4.2	<i>Anlagenkomponenten.....</i>	58
4.4.2.1	<i>Zerkleinerung.....</i>	59
4.4.2.2	<i>Klassierung.....</i>	62

4.4.2.3	Sortierung	64
4.4.2.3.1	Magnetabscheider	65
4.4.2.3.2	Trockene Sortierverfahren: Windsichter	65
4.4.2.3.3	Weitere trockene Verfahren	68
4.4.2.3.4	Nasse Aufbereitungsverfahren	69
4.4.2.3.5	Vergleich zwischen Trocken – und Nassaufbereitung	72
4.4.2.4	Innovative Verfahren zur Aufbereitung von Baurestmassen	72
4.4.2.4.1	Sortierroboter	72
4.4.2.4.2	Sensorgestützte Verfahren	73
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	77
6	LITERATUR	79
7	ANHANG	83
	<i>Protokolle der geführten Gespräche</i>	83

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Vereinfachtes System „Baurestmassenwirtschaft Österreich“: Verfahren und Technologien</i>	7
Abbildung 2: Transferkoeffizient einer mobilen Aufbereitungsanlage für Eisen.	10
Abbildung 3: Ablauf der Abbruchplanung	14
Abbildung 4: Erkundung Wandaufbau [Quelle: RMA]	16
Abbildung 5: Erkundung Aufbau Decken [Quelle: RMA]	16
Abbildung 6; Lokalisierung von Schadstoffherden: Kamin [Quelle: RMA].....	16
Abbildung 7: Schadstofferkundung: Bitumenhältige Dichtbahn unter Badfliesen [Quelle: RMA]	16
Abbildung 8: Schematische Darstellung des Gebäudeabbruchs	22
Abbildung 9: Einreißen bei Demolierung (Bild: RMA)	27
Abbildung 10: Abgreifen des Dachstuhles bei Demolierung (Bild: RMA).....	28
Abbildung 11: Abgreifen mit hydraulischer Zange bei Demolierung (Bild: RMA).....	29
Abbildung 12: Bauschutt aus einer Demolierung (Bild: RMA).....	31
Abbildung 13: Bauschutt aus einer Demolierung mit vorhergehender Entkernung (Bild: RMA)	31
<i>Abbildung 14: Entkernung – Ausbau Türen (Bild: RMA)</i>	40
<i>Abbildung 15: Entkernung – Ausbau Decken (Bild: TU Wien)</i>	40
<i>Abbildung 16: Entkernung – Ausbau Fensterrahmen händisch (Bild: TU Wien)</i>	41
Abbildung 17: Entkernung – Ausbau Bodenbeläge (Bild: RMA)	41
<i>Abbildung 18: Entkernung – Ausbau Fensterrahmen mit Kleinbagger (Bild: TU Wien)</i>	41
<i>Abbildung 19: Entkernung – Ausbau Heraklitplatten (Bild: TU Wien)</i>	41
<i>Abbildung 20: Selektiver Abbruch: Abgreifen des Dachstuhls (Bild: RMA)</i>	44
Abbildung 21: Schematische Darstellung des Gebäudeabbruchs – Prozess Aufbereitung	54
Abbildung 22: mobile Aufbereitungsanlage in Betrieb (Bild: TU Wien)	56
Abbildung 23: Backenbrecher (Zibulski).....	60
Abbildung 24: Prallbrecher (Zibulski)	60
Abbildung 25: Schlagwalzenbrecher (Zibulski)	61
Abbildung 26: Schematische Darstellung des Gebäudeabbruch - Prozess Sortierung	64
Abbildung 27: Verfahrensschema Gegenstromwindsichtung und Querstromwindsichtung (www.b-i-m.de)	67
Abbildung 28: Prallsichter (Zibulski)	69
Abbildung 29: Verfahrensschema eines Aquamators(BIM) (www.b-i-m.de)	71
Abbildung 30: Verfahrensschema der sensorgestützten Sortierung	74
Abbildung 31: Aufbau und Funktionsweise eines Wirbelstromabscheider mit exzentrisch gelagertem Polrad (Pretz)	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-2: mögliche Trennschärfen für die Erkundung von Wert- und Schadstoffen im Rahmen einer Gebäudebegehung (Steinberger und Pirker 2010).....	19
Tabelle 4-3: Aufwand und Kosten der Abbruchplanung bei einfachen Wohngebäuden (Steinberger und Pirker 2010);(Wirtschaftskammer Österreich 1948)	20
Tabelle 4-4: Trennschärfen der Demolierung (geschätzt).....	30
<i>Tabelle 4-5: Bei der Demolierung entstehende Emissionen (Doka 2009)</i>	<i>32</i>
Tabelle 4-6: Energieverbrauch der Demolierung (Doka 2009).....	32
<i>Tabelle 4-7: Leistungskennwerte und Kosten der Demolierung (Korth und Lippok 1987), (Wilkomm 1990)</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 4-8: Vor- und Nachteile der manuellen und maschinellen Entkernung</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 4-9: Demontagegruppen.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 4-10: mögliche Trennschärfen der Entkernung für Demontagegruppen (Schätzung, nach Beobachtungen)</i>	<i>43</i>
Tabelle 4-11: Trennschärfen der Entkernung bezogen auf Baumaterialien (Schätzung, nach Beobachtungen)	43
Tabelle 4-12: Trennschärfen für den selektiven Abbruch (geschätzt, nach Beobachtungen)	44
Tabelle 4-13: Bei der Entkernung angefallene Fraktionen	45
<i>Tabelle 4-14: Aufwand für Entkernungsarbeiten und selektiven Abbruch (Rentz, Ruch et al. 1994), (Rentz, Ruch et al. 1998)</i>	<i>47</i>
Tabelle 4-15: Leistungskennwerte und Kosten des manuellen Abtragens	47
<i>Tabelle 4-16: Trennschärfen für die Sortierung auf der Baustelle nach (Rentz, Seemann et al. 2003)</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 4-17: Sortierdauer für das Trennen von Stör- und Fremdstoffen aus dem Abbruchmaterial auf der Baustelle (Rentz, Seemann et al. 2003)</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 4-18: Sortierdauer für Stör- und Fremdstoffe baumaterialbezogen (Rentz, Seemann et al. 2003)</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 4-19: Vor- und Nachteile mobiler und stationärer Bauschuttrecyclinganlagen (Bucher 2004), (Bilitewski, Gewiese et al. 1995), (Dress 1989), (Rentz, Seemann et al. 2003)</i>	<i>58</i>
<i>Tabelle 4-20: Anlagenkomponenten</i>	<i>59</i>
Tabelle 4-21: Vergleich verschiedener Brechertypen (Kohler 1997), (Rentz, Seemann et al. 2003)	61
Tabelle 4-22: Vor- und Nachteile der Trocken und Nassverfahren für die Aufbereitung von Baurestmassen (Rentz, Seemann et al. 2003)	72

1 Einleitung

In Österreich fallen jährlich mehr als acht Millionen Tonnen Baurestmassen aus dem Tief- und Hochbau an (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2006). Baurestmassen sind damit neben Bodenaushub die massenmäßig wichtigste Abfallkategorie. Die durchschnittliche Verwertungsquote für Baurestmassen liegt derzeit bei ca. 70 %. Dieser Wert kommt vor allem durch die hohe Recyclingquote von Asphaltaufbruch und Beton des Tiefbaus zu Stande. Für Bauschutt aus dem Hochbau liegt die Verwertungsquote bei 60 % (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 2006). Diese Fraktion ersetzt vorwiegend Kies und Sand als Schüttmaterial und im Straßenunterbau. Ein geringerer Teil findet den Weg in eine hochwertigere Wiederverwertung als z.B. Betonzuschlag oder in die Zementindustrie.

Da derzeit Recyclingbaustoffe nur einen sehr kleinen Teil des Marktes an Baustoffen abdecken können, bleiben sie vorderhand ein Nischenprodukt das mit Vermarktungsproblemen zu kämpfen hat. Zusätzlich verhindert die niedrige Akzeptanz von Recycling-Baustoffen bei öffentlichen und privaten Bauvorhaben – die teils auf schlechten Erfahrungen und teils auf Vorurteilen basiert – das Entstehen eines funktionierenden Absatzmarktes für Sekundärrohstoffe. Ihre Konkurrenzprodukte, die mineralischen Primärrohstoffe, scheinen reichlich vorhanden zu sein und deren relativ billige Gewinnung steht der aufwendigen Aufbereitung der Baurestmassen gegenüber.

Ein weiteres Problem besteht in der Qualität: Die großen Mengen an anfallenden Baurestmassen müssen schnell und kostengünstig aufbereitet werden und erreichen nicht immer den gewünschten Reinheitsgrad. Die maschinelle Aufbereitung umfasst meistens nur eine Brech-, einige Siebstufen und einen Magnetabscheider.

Vor allem die hochwertige Wiederverwertung von Sekundärrohstoffen stellt ein wirtschaftliches Problem dar. (Hansen 1992) zeigt, dass der Einsatz von Betonzuschlagstoff aus Recyclingmaterial bis zu 50 % teurer sein kann als die Verwendung von Primärkies. Im Anbetracht der Nachteile von Sekundärzuschlagstoffen (schlechtere Betonqualität, höherer Zementbedarf) müssten diese laut (Hansen 1992) um 25 % billiger sein als Primärkies oder -sand, um konkurrenzfähig zu sein.

In diesem Sinne hat die Aufbereitung der Baurestmassen eine wichtige Bedeutung. Die Anforderungen an sie sind einerseits die Gewährleistung einer guten Materialqualität, und andererseits sollte sie kostengünstig sein. Diese beiden Faktoren sind meistens gegenläufig. Je besser die Materialqualität, desto teurer werden die Verfahren. Beispiele aus der Praxis zeigen aber dass sich der Einsatz aufwendiger Verfahren unter gewissen Umständen rechnen kann – bei Existenz eines entsprechenden Absatzmarktes für Sekundärrohstoffe.

Ein Problem des Baurestmassenrecycling ist die Dispersion der Schadstoffe. Dispersion findet einerseits während der Nutzungsphase statt (Migrationsverhalten bestimmter Schadstoffe) und andererseits durch die Aufbereitung selbst. Werden Schadstoffquellen nicht bereits

beim Rückbau entfernt, verteilen sich Schadstoffe während des Abbruches und der Aufbereitung im Sekundärrohstoff und können später nur mit prohibitiv hohen Kosten aus dem Material entfernt werden.

Aus diesem Grund ist die Art des Rückbaus eines Gebäudes entscheidend für die Qualität der Anfallenden Baurestmassen. Je selektiver ein Gebäude rückgebaut wird, umso sortenreiner sind die anfallenden Materialfraktionen und umso eher eignen sie sich für ein hochwertiges Recycling.

Aktion 6 des EnBa Projektes befasst sich mit den Technologien und Verfahren des selektiven Rückbaus und der Baurestmassenaufbereitung. In Kapitel 2 werden das Ziel und die Fragestellungen dieses Arbeitspaktes beleuchtet. Kapitel 3 beschreibt die eingesetzte Methodik der Datenbeschaffung und der Aufarbeitung der gesammelten Informationen. In Kapitel 4 werden Verfahren und Technologien des Gebäudeabbruches, der Sortierung und der Baurestmassenaufbereitung qualitativ und quantitativ beschrieben. Schließlich werden in Kapitel 5 die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

2 Zielsetzung

Ziel von Aktion 6 ist die Erhebung und Analyse der Verfahren und Technologien, die innerhalb der letzten Lebensphase eines Gebäudes, nämlich der Abbruch- und Entsorgungsphase, eingesetzt werden. Mittelfristige Entwicklungsmöglichkeiten dieser Verfahren sowie die zukünftige Anwendung neuer Technologien werden abgeschätzt.

In erster Linie wird ermittelt, welche Verfahren und Technologien derzeit in der österreichischen Abbruch- und Baurestmassenaufbereitungspraxis eingesetzt werden. Andererseits wird das zur Verfügung stehende technologische Potential für die Aufbereitung von Baurestmassen untersucht.

Die erfassten Daten sollen eine Bewertung der Verfahren und Technologien in Hinblick auf die in Aktion 7 festgelegten Kriterien und Ziele ermöglichen. Es werden vor allem folgende Kenngrößen und Charakteristika ermittelt:

- Trennschärfen für verschiedene Abfallfraktionen
- Möglichkeiten der Getrennthaltung von Fraktionen auf der Baustelle und bei der Lagerung
- Eigenschaften und Qualitäten der Produkte aus der Aufbereitung unter technischen und ökologischen Gesichtspunkten
- Emissionen
- Energieverbrauch
- Kosten

Anhand dieser Kenngrößen soll es in einem weiteren Schritt möglich sein, die verschiedenen Verfahren und Technologien in der letzten Lebensphase eines Gebäudes miteinander zu vergleichen und nach ökologischen und ökonomischen Kriterien zu bewerten.

Die Verfahren der Abbruch- und Entsorgungsphase werden in drei Abschnitte unterteilt: der Abbruch, die Aufbereitung und die Sortierung (wobei sich die letzteren zwei teilweise überschneiden).

Jeder dieser Abschnitte verfolgt das gleiche Ziel: die kostengünstige Materialseparation und –aufbereitung für das Recycling oder die Deponierung unter Einhaltung der Umweltauflagen. Durch den Einsatz lediglich eines dieser Verfahren kann dieses Ziel in den meisten Fällen nicht erreicht werden. In der Praxis werden deshalb verschiedene dieser Verfahren miteinander kombiniert. Da bei Gebäudeabbruch und Bauschutttaufbereitung die Wirtschaftlichkeit der Verfahren im Vordergrund steht, werden oft Kombinationen eingesetzt, die aus ökologischen Gesichtspunkten nicht optimalen sind. Ein weiteres Ziel von Aktion 6 ist es deshalb auch, einige derzeit eingesetzte Verfahrenskombinationen mit möglichen optimalen Kombinationen zu vergleichen.

Die im Rahmen von Aktion 8 gebildeten Szenarien entstehen aus verschiedenen Kombinationen dieser Verfahren und Technologien. Es werden Verfahren des Abbruches mit Technologien der Aufbereitung und der Sortierung kombiniert und nach den oben benannten Kenngrößen bewertet. Aktion 6 liefert den Datensatz für diese Bewertung.

3 Methodik

3.1 Datenerhebung

Die Erhebung der für Aktion 6 notwendigen Daten erfolgte auf verschiedene Wege: durch Literaturrecherche, Interviews und Gespräche sowie durch eigene Beobachtungen auf den Baustellen während der begleiteten Gebäudeabbrüche im Rahmen von Aktion 2. Die Datenerhebung wurde als iterativer Prozess gestaltet. Dies bedeutet, dass die Fragestellung zu Beginn von Aktion 6 grob definiert und während der Recherche schrittweise ausgearbeitet wurde. Vor allem die Interviews mit Anlagenherstellern und –Betreibern ermöglichten eine der Praxis angepasste Fragestellung zu erarbeiten.

3.1.1 Literaturrecherche

Es wurden relevante Literaturwerke und Forschungsberichte analysiert. Werke, die die gängige Praxis und den Stand der Technik des Rückbaues und der Baurestmassenaufbereitung beschreiben, sowie solche, die potentiell zukünftig einsetzbare Technologien analysieren, wurden konsultiert (siehe Literaturverzeichnis).

3.1.2 Interviews und Gespräche

Das wichtigste Instrument der Datenbeschaffung für Aktion 6 sind Interviews und Gespräche mit verschiedenen Stakeholdern des Abbruch- und Aufbereitungssektors. Erster Schritt dafür ist die Festlegung der entscheidenden Stakeholder dieser Sektoren für die in Aktion 6 bearbeiteten Fragestellungen. Zu den berücksichtigten Branchen zählen Abbruchfirmen, Anlagenhersteller und Anlagenbetreiber. Aus diesen Bereichen wurden folgende Stakeholder befragt:

1. Anlagenhersteller:

- 2 Hersteller mobiler Anlagen der Klasse „Kompaktanlagen“ von bis zu 25 t Gewicht
- 2 Hersteller mobiler Anlagen der Klasse >30 t, die z.T. stationär eingesetzt werden
- 1 Hersteller für stationäre Anlagen und Sortieranlagen (Siebung, Nassaufbereitung, sensorgestützte Sortierung)

2. Anlagenbetreiber

- 2 Betreiber stationärer Anlagen

3. Abbruchfirmen

- 2 leitende Mitarbeiter von Abbruchunternehmen
- 2 Baustellenleiter im Rahmen von begleiteten Abbrüchen

Die Protokolle der geführten Interviews und Gespräche sind im Anhang 1 enthalten.

3.1.3 Eigene Beobachtungen auf den begleiteten Baustellen

Die Begleitung und Dokumentation der Abbrüche im Rahmen von Aktion 2 bietet die Möglichkeit, wertvolle Daten zum Stand der Technik des Abbruches und der Aufbereitung zu erfassen. Der gesamte Ablauf eines Gebäudeabbruches wird in allen Phasen verfolgt und analysiert. Folgende Methoden aus den verschiedenen Schritten des Gebäudeabbruches wurden untersucht:

1. Erkundung

Durch die eigenständig durchgeführte Wert- und Schadstofferkundung kann der Aufwand und die Trennschärfe derselben grob ermittelt werden (siehe Aktion 4).

2. Entkernung / Abbruch

Während des Abbruches wird beobachtet, welche Bauteile und Baustoffe rückgebaut/entfernt werden. Eingesetzte Verfahren und Geräte sowie der Aufwand werden erfasst.

3. Aufbereitung und Sortierung

Bei jedem Abbruch werden die für Aufbereitung und Sortierung eingesetzten Technologien und Verfahren festgehalten. Maschinenstunden, Durchsatzmengen, Energieverbrauch und Kosten werden ermittelt. Die Analyse der anfallenden Materialfraktionen im Labor ermöglicht es in einem weiteren Schritt Trennschärfen für die verschiedenen Technologien und Verfahren zu bestimmen.

3.2 Kategorisierung der Verfahren und Technologien

Für die Erfassung und Darstellung der Bewirtschaftung der österreichischen Baurestmassen wird in den Aktionen 7 und 8 die Methode der Stoffflussanalyse (SFA) verwendet. Die untersuchten Verfahren und Technologien werden deshalb als „Prozesse“ im Hinblick auf ihre Integration in die Methode der SFA beschrieben. Im Folgenden werden die wichtigsten Begriffe dieser Methode im Zusammenhang mit dem EnBa – Projekt erklärt.

3.2.1 Das System

Die Verfahren und Technologien müssen in einem zusammenhängenden System betrachtet werden. Anhand dieses Systems wird bestimmt, welche Parameter und Kennzahlen für die einzelnen Schritte im System (sog. Prozesse) im Rahmen dieser Aktion ermittelt werden.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt das Materialflusssystem „Baurestmassenwirtschaft Österreich“. Die Material- und Stoffflüsse werden im Rahmen von Aktion 6 nicht quantifiziert, die genauere Ausführung dieses Systems erfolgt in den Aktionen 7 und 8. In Aktion 6 wird für die Darstellung und Einteilung der Verfahren und Technologien in verschiedenen Prozessen ein vereinfachtes System erstellt.

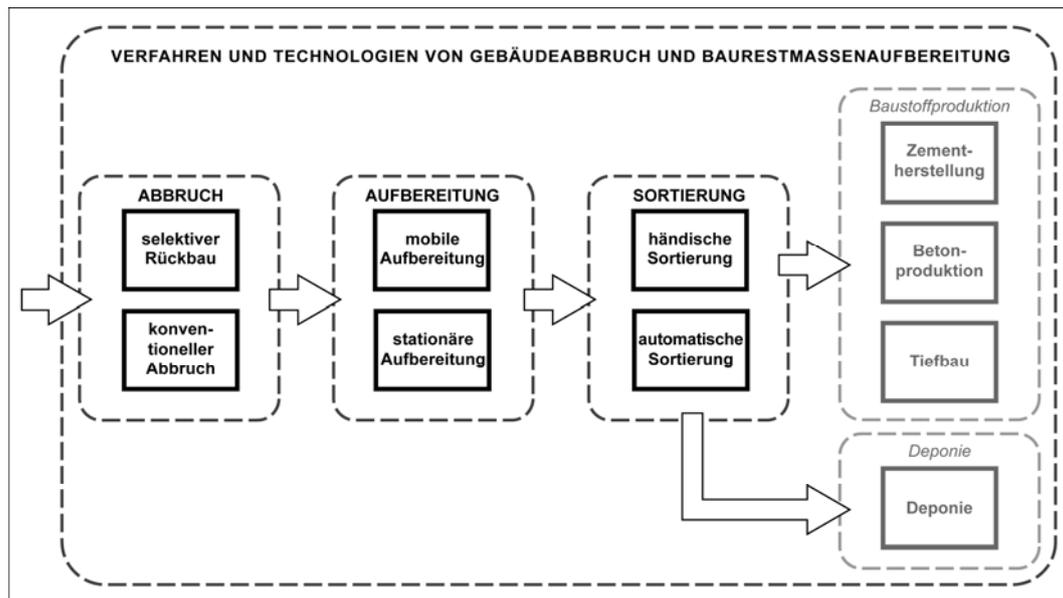


Abbildung 1: Vereinfachtes System „Baurestmassenwirtschaft Österreich“: Verfahren und Technologien

Im Rahmen von Aktion 6 werden die ersten drei Bereiche von Abbildung 1 betrachtet; der vierte Bereich betrifft den Wiedereinsatz der Sekundärprodukte in die Bauwirtschaft oder ihre Deponierung. Dieser Punkt wird in den Aktionen 7 und 8 behandelt.

3.2.1.1 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen bestimmen die räumliche und zeitliche Abgrenzung des Systems. Zusätzlich definieren sie, welche Prozesse und Materialflüsse betrachtet werden. Für das System „Baurestmassenwirtschaft Österreich“ gelten folgende Grenzen:

- Räumlich: Österreichisches Staatsgebiet
- Zeitlich: 1 Jahr (2008)
- Inhaltlich: Letzte Lebensphase eines Gebäudes: Abbruch, Aufbereitung und Wiederverwertung / Entsorgung.

3.2.1.2 Material- und Stoffflüsse

Materialflüsse sind für Aktion 6 insofern relevant, als dass sie mitbestimmen, welche Prozesse untersucht werden. Das EnBa -Projekt beschäftigt sich hauptsächlich mit mineralischen Baurestmassen. Hauptaugenmerk liegt deshalb auf den Prozessen, die diesen Materialfluss betreffen. Die Flüsse nichtmineralischer Materialien sind für das EnBa - Projekt insofern interessant, als dass sie die Qualität der mineralischen Fraktion beeinträchtigen. Sie werden so

lange betrachtet bis sie aus der mineralischen Fraktion als Wert- oder Störstoffe entfernt werden.

Es werden folgende Materialflüsse betrachtet:

- Mineralische Baurestmassen:
 - Beton
 - Ziegel
 - Bauschutt gemischt
- Nichtmineralische Materialien:
 - Holz
 - Eisenfraktion
 - Nichteisenmetalle
 - Leichtfraktion (Kunststoff und Holz)
 - Weitere Materialien (z.B. schadstoffhaltige Materialien)

Die Quantifizierung der Materialflüsse erfolgt in den Aktionen 7 und 8.

Flüsse auf Stoffebene werden nach Vorliegen der Laborergebnisse aus Aktion 2 in den Aktionen 7 und 8 betrachtet.

3.2.1.3 Prozesse

Ein Prozess ist definiert als „die Umwandlung, der Transport oder die Lagerung von Materialien“ (Brunner und Rechberger 2004). Es sind dies die definierten kleinsten Einheiten, die in Aktion 6 betrachtet werden (z.B. Prozess „mobile Aufbereitungsanlage“). Prozesse werden als „Black Box – Prozesse“ betrachtet; das heißt, dass lediglich die In- und Outputs von Prozessen von Interesse sind (Brunner und Rechberger 2004). Bestehen Prozesse aus mehreren Verfahren, werden diese zu einem einzigen Prozess zusammengefasst. In der systematischen Betrachtungsweise der „Baurestmassenwirtschaft in Österreich“ bilden die im Folgenden dargestellten Verfahren und Technologien die systemrelevanten Prozesse. Prozesse sind Schritte, in denen Material- und Stoffströme verändert oder in ein Lager umgewandelt werden. Der Prozess „Aufbereitungsanlage für Baurestmassen“ z.B. trennt den Materialstrom „Abbruchmaterial“ in mindestens zwei Materialströme auf, die sich in ihrer Zusammensetzung vom ersten unterscheiden: Eisenmetalle und mineralischer Bauschutt. Für die Abschätzung der Auswirkungen von potentiell zukünftig einsetzbaren Technologien werden Prozesse betrachtet, die zurzeit keine praxisrelevante Anwendung in der Baurestmassenbewirtschaftung finden oder nur in einzelnen Fällen eingesetzt werden. So wird z.B. der Prozess „sensorgestützte Sortierung“ im System berücksichtigt. Folgende Prozesse der Baurestmassenbewirtschaftung in Österreich werden näher betrachtet.

1. Prozess „Abbruch“:

- a. Demolierung
- b. Selektiver Rückbau

2. Prozess „Manuelle Sortierung auf der Baustelle“

3. Prozess „Baurestmassenaufbereitung“:

- a. Mobile Anlagen (vor Ort – Aufbereitung)
- b. Stationär betriebene mobile Anlagen
- c. Stationäre Anlagen (zentrale Aufbereitung)

Die in Punkt 3 (Baurestmassenaufbereitung) angeführten Prozesse werden aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt. So besteht jede Anlage zumindest aus einer Zerkleinerungsstufe und einem Magnetabscheider. Komplexe Anlagen verfügen über mehrere Sieb- und Sortierstufen. Die Abbruchplanung wird im Rahmen von Action 6 auch beschrieben, da sie mittlerweile Bestandteil eines recyclinggerechten Gebäudeabbruches ist. Im System „Baurestmassenwirtschaft Österreich“ wird sie jedoch nicht als Prozess berücksichtigt da sie keine Umwandlung, Transport oder Lagerung von Materialien beinhaltet. Im Rahmen von Aktion 6 wird der Prozess „Transport“ nicht betrachtet. Dieser wird in der Szenarioanalyse in Aktion 8 berücksichtigt.

3.2.2 Kennzahlen der Prozesse

Um die Prozesse miteinander vergleichen und in der Szenarioanalyse kombinieren zu können werden sie mit Kennzahlen belegt. Problematisch ist die Festlegung der funktionellen Einheit, auf die sich die Kennzahlen beziehen. Da der Prozess „Gebäudeabbruch“ sehr stark der Bauweise des Gebäudes abhängt, ist dessen funktionelle Einheit das Bauteil. Durch die großen Unterschiede in der Zusammensetzung verschiedener Bauteile können Trennschärfen und Aufwand des Gebäudeabbruches pro Tonne nicht allgemein festgelegt werden. Auch wenn die Beschaffenheit des Abbruchmaterials ebenfalls stark von der Gebäudezusammensetzung abhängt, ist es möglich die Kennwerte der Aufbereitung und Sortierung auf Materialmengen zu beziehen, was eine Verallgemeinerung dieser Kennzahlen für die Baurestmassenwirtschaft zulässt. Aus diesem Grund sind die in Aktion 6 ermittelten Kennzahlen für alle Prozesse nicht einheitlich. Dadurch dass der Prozess „Abbruch“ nicht durch die gleichen Kennzahlen mit den anderen Prozessen verglichen werden kann, wird es in den Aktionen 7 und 8 notwendig sein, zwei verschiedene Systeme zu erstellen und zu analysieren: Ein System wird den Gebäudeabbruch betrachten, der andere die Sortierung und Aufbereitung der Baurestmassen. Die ermittelten Kennzahlen liegen für die Komponenten der Bauschuttufbereitung nicht vollständig vor. Diese Verfahrenskomponenten werden für die Materialflussanalyse in den Aktionen 7 und 8 zu den Prozessen „mobile Anlage“ bzw. „stationäre Anlage“ miteinander kombiniert. Deshalb wurden viele Kennzahlen für die Anlagen ermittelt, und nicht für die einzelnen Komponenten. In Aktion 6 werden deshalb nur die Kennzahlen angeführt, die für einzelne Verfahrenskomponenten ausschlaggebend sind.

3.2.2.1 Transferkoeffizient

Zur Bestimmung der Trennschärfen werden Transferkoeffizienten festgelegt. Der Transferkoeffizient beschreibt die Aufteilung eines Materials in einem Prozess und ist für jeden Out-

put eines Prozesses definiert (Brunner und Rechberger 2004). Er beschreibt den Anteil eines bestimmten Stoffes / Materials, der durch einen bestimmten Fluss den Prozess verlässt.

$$k_{rz} = \frac{F_{rz}}{\sum F_{hr}} \quad (3.1)$$

wobei

k_{rz} = Transferkoeffizient für best. Stoff / Material von Bilanzprozess r nach Zielprozess z

F_{rz} = Stoff-/ Materialanteil von Bilanzprozess r nach Zielprozess z

F_{hr} = Input- Fluss in Bilanzprozess r (von Herkunftsprozess h) für best. Stoff / Material

Anhand von Abbildung 2 wird beispielsweise der Transferkoeffizient einer mobilen Aufbereitungsanlage für den Stoff Eisen in die mineralische Fraktion > 32 mm erklärt.

Der Transferkoeffizient wird wie folgt berechnet :

$$k_{1a} = \frac{F_a}{F_1 + F_2} \quad (3.2)$$

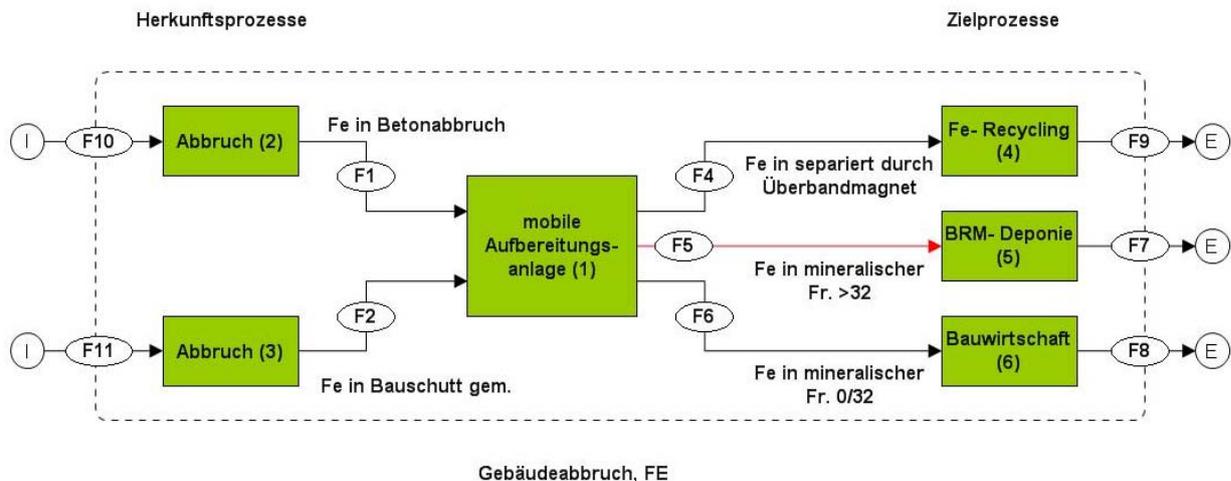


Abbildung 2: Transferkoeffizient einer mobilen Aufbereitungsanlage für Eisen.

Der Transferkoeffizient gibt die Leistungsfähigkeit von Sortieranlagen und –Prozessen an. Je höher er für den Fluss eines Stoffes / Materials in die gewünschte Fraktion ist, desto sortenreiner fallen die Fraktionen der Baurestmassen an. Da Sortenreinheit eines der wichtigsten Kriterien für die Qualität der Baurestmassen ist, bildet der Transferkoeffizient einen entscheidenden Faktor für die Beurteilung der eingesetzten Verfahren und Technologien. Wie oben angemerkt, ist es jedoch nicht möglich für bestimmte Prozesse genaue Transferkoeffizienten festzulegen. Für solche Prozesse wurden Annahmen getroffen. Ermittelt werden diese Werte vor allem aus den eigenen Betrachtungen im Rahmen der Gebäudeabbrüche. Genauso sind

die Transferkoeffizienten bei Prozessen der Aufbereitung und der Sortierung von verschiedenen technologieunabhängigen Faktoren abhängig. Der wichtigste dieser Faktoren ist die Zusammensetzung des Inputmaterials, die bei den Baurestmassen sehr unterschiedlich sein kann (Anibas, Helfried et al. 2010).

3.2.2.2 Produktqualität

Ziel der Verfahren und Technologien der Baurestmassenaufbereitung ist primär das Erreichen einer für die Wiederverwertung bzw. die Deponierung ausreichenden Produktqualität. Die Produktqualität wird im Rahmen von Aktion 6 in zweierlei Hinsicht betrachtet:

1. Es wird die technische Qualität der rezyklierten Baustoffe bewertet. Die Zerkleinerungsaggregate beeinflussen hierbei in erster Linie die Kornform und Sieblinie.
2. Die ökologische Qualität der rezyklierten Baustoffe wird durch deren Sortenreinheit beeinflusst. Diese hängt von der Trennschärfe der verschiedenen Fraktionen beim Gebäudeabbruch und bei der Baurestmassenaufbereitung ab.

Da diese Aspekte vor allem von der Zusammensetzung und der Beschaffung des Inputmaterials abhängen, ist es nicht möglich in allen Fällen allgemeine quantitative Aussagen über die Technologien zu treffen.

3.2.2.3 Emissionen

Es werden den Verfahren des Abbruchs, der Aufbereitung und der Sortierung Emissionen zugeschrieben (Lärm, Staub, Erschütterungen). Die Emissionen an CO₂ und SO_x, die als ökologische Indikatoren in die Bewertung eingehen werden in den Aktionen 7 und 8 ermittelt.

3.2.2.4 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch der betrachteten Verfahren wird ermittelt.

3.2.2.5 Kosten und Aufwand

Zentrales Entscheidungskriterium für den Einsatz von Abbruch- und Aufbereitungstechnologien sind die Kosten bzw. der zeitliche Aufwand der Verfahren. Beim Gebäudeabbruch sind es vor allem die Personalkosten und die Kosten für die eingesetzten Geräte, die zum Tragen kommen. Bei der Aufbereitung und (maschinellen) Sortierung machen die Investitions- und Betriebskosten für die Anlagen und die dazugehörigen Bauteile und Außenanlagen den Großteil des finanziellen Aufwandes aus.

4 Ergebnisse

4.1 Vorbereitungsphase: die Abbruchplanung

Voraussetzung für die sachgerechte Durchführung eines Abbruchvorhabens ist die Abbruchplanung. Diese dient nicht nur der Abschätzung des Gefahrenpotentials und somit der Minderung von emissions- und arbeitsbedingten Risiken, sondern unterstützt den Rückbau von Gebäuden an sich. Durch eine rückbauorientierte Aufnahme des Gebäudes kann der Rückbau zielgerichtet durchgeführt werden. Die Erkennung von Wertstoffen ermöglicht deren Rückgewinnung und somit die Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung. Im Gegensatz zum Industriebau weiß man bei Wohngebäuden meistens nicht, welche Schadstoffe zu erwarten sind; eine Voruntersuchung ermöglicht deren Lokalisierung und Entfernung und verhindert somit schädliche Emissionen und Kontaminationen.

Die Planung muss die Baustellenlogistik, die Aufbereitung der Baurestmassen und schließlich deren Wiederverwendung oder Deponierung berücksichtigen. Bei Bauvorhaben fallen durch strengere Auflagen von Seiten der Behörden Abbruch- und Entsorgungskosten immer mehr ins Gewicht. Eine akkurate Planung des Gebäudeabbruches ist unumgänglich, um diese Kosten zu quantifizieren und in die Gesamtrechnung einzuplanen. Zusätzlich enthält die Abbruchplanung die Bestimmungen zur Arbeitssicherheit auf der Baustelle.

4.1.1 Vorgehensweise

Es gibt keine bindenden Vorschriften die eine Abbruchplanung vorsehen. Das BauKg und die BauV betreffen lediglich Maßnahmen betreffend die Sicherheit und den konstruktiven Zustand des Gebäudes, die im Vorfeld von Abbrucharbeiten durchzuführen sind. Die ÖNORM B 2251 sowie die ONR 192130 sehen eine Reihe von planerischen Tätigkeiten vor, die Bestand eines Abbruchplanes sein könnten, geben jedoch keine Anweisungen über die Erstellung eines solchen. Im Folgenden wird deshalb ein Vorschlag für die Vorgehensweise bei der Planung eines Abbruches erarbeitet. Zusammenfassend zeigt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** den Ablauf der Abbruchplanung.

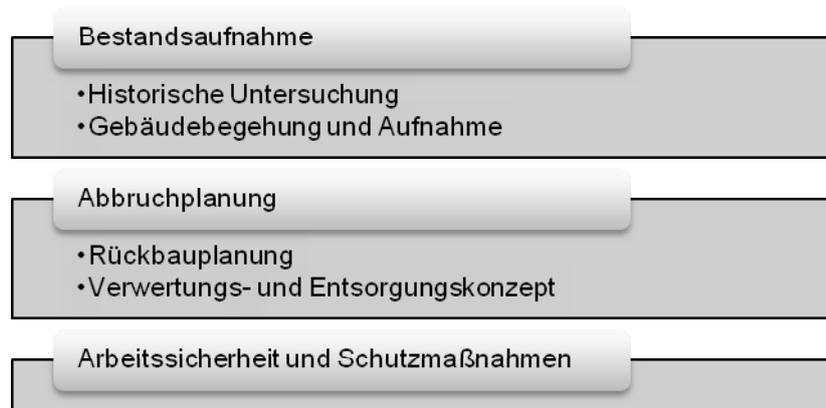


Abbildung 3: Ablauf der Abbruchplanung

4.1.1.1 Bestandsaufnahme

Voraussetzung für die Erstellung eines Abbruchplanes ist eine detaillierte Bestandsaufnahme des Gebäudes. Dabei werden qualitative und quantitative Daten erhoben, welche die konstruktiven Verhältnisse, Schadstoffe und damit zusammenhängende Gefahren, Wertstoffe und Verwertungspotentiale von Bauteilen betreffen. Je detaillierter die Bestandsaufnahme erfolgt, desto akkurater und zielgerichteter kann der Abbruch in Hinsicht auf ökonomische und ökologische Kriterien geplant werden. Eine Bestandsaufnahme empfiehlt sich weil man bei Wohngebäuden, im Gegensatz zum Industriebau meistens nicht weiß, welche Schadstoffe zu erwarten sind.

Historische Untersuchung

Vor der Begehung und Aufnahme des Gebäudes werden alle zur Verfügung stehenden Informationen erfasst. Es können dies konstruktive Pläne, verschiedene Dokumentationen sowie Hinweise von Bürgern (Nachbarn) sein. Dabei können vor allem Informationen zur konstruktiven Bauweise, den Materialien der Tragkonstruktion, den Dimensionen von Bauteilen sowie zu Sanierungs-, Neu- und Umbaumaßnahmen während der Nutzungsphase ermittelt werden. Da bis dato keine Aufzeichnungspflicht für in Wohngebäuden eingebaute Materialien besteht kann eine solche Untersuchung die für den selektiven Rückbau erforderlichen Informationen nicht vollständig liefern; sie erleichtert jedoch die darauf folgende Gebäudebegehung.

Gebäudebegehung und Aufnahme

Ziel der Gebäudebegehung ist die Lokalisierung von Wert- und Schadstoffen, die Festlegung der Verbindungsart zwischen Bauteile, die Untersuchung des konstruktiven Zustandes des Gebäudes und die Überprüfung der Aktualität der Planunterlagen.

Die rückzubauenden Bauteile werden in Hinsicht auf statische Verhältnisse, Art und Zustand der Bauteile und Baustoffe auf ihren baulichen Zustand untersucht. Vor allem müssen die tragenden Bauteile sowie Schäden an diesen bestimmt werden (Biegansky 1997).

Nächster Schritt ist die Bestandsaufnahme bezüglich der Gebäudesubstanz. Diese muss umfassend sein und gewährleisten, dass vor Beginn der Arbeiten bautechnische Fragestellungen beantwortet werden können (Biegansky 1997). Alle im Gebäude verbaute Materialien werden lokalisiert und soweit dies möglich ist, quantitativ erfasst. Bauteile mit Schadstoffpotential werden ausgewiesen und die Art und Konzentration der Schadstoffe, deren Mobilität und Verhalten beim Rückbau abgeschätzt. Die Lokalisierung von Schadstoffen ist besonders wichtig, denn meistens befinden sich diese nur in kleinen Teilen des Gebäudes. Die Entfernung dieser „kleinen Teilen“ verhindert somit die Kontamination des großen, nicht kontaminierten Materialstroms (Schultmann und Rentz 2001). Falls Zweifel hinsichtlich des Schadstoffvorkommens bestehen sollen analytische Untersuchungen von Bauteilen durchgeführt werden. Zu diesem Zweck ist ein Probenahme- und Analyseplan zu erstellen. Eine detaillierte Beschreibung möglicher schadstoffhaltiger Bauteile sowie des Vorgehens bei der Erkundung und Ausbau von Schadstoffen erfolgt in Aktion 4. Ebenso werden die Bauteile bezüglich ihres Wiederwendungs- und Wiederverwertungspotentials untersucht und mögliche Entsorgungs- und Verwertungswege bestimmt.

Besonders wichtig während der Begehung ist die Untersuchung der Verbindungsart zwischen verschiedenen Bauteilen und verschiedenen Materialschichten. Diese bestimmt den Aufwand und die Möglichkeiten der Trennung der Bauteile sowie der Ausschleusung von Schadstoffen bereits beim Rückbau des Gebäudes.

Resultat der Bestandsaufnahme ist eine Liste von Materialien, die Informationen über Bauteile und den entsprechenden Baumaterialien enthält (Schultmann und Rentz 2001).

Jedes Bauteil sollte dabei durch folgende Merkmale beschrieben werden:

- Größe und Masse
- Lage im Gebäude
- Konstruktiver Zustand und Funktion (tragend – nicht tragend; eventuelle Schäden)
- Schadstoffgehalt / Verunreinigungsgrad
- Davon abhängig Gefährdungs- und Emissionspotential während des Abbruches
- Möglichkeiten der Wiederverwendung- und Wiederverwertung
- Verbindungsart zu angrenzenden Bauteilen und zu verschiedenen Schichten

Abbildung 4: Erkundung Wandaufbau
[Quelle: RMA]



Abbildung 5: Erkundung Aufbau Decken
[Quelle: RMA]



Abbildung 6; Lokalisierung von Schadstoffherden: Kamin [Quelle: RMA]



Abbildung 7: Schadstofferkundung: Bitumenhaltige Dichtbahn unter Badfliesen
[Quelle: RMA]



4.1.1.2 Abbruchplanung

Die aus der Bestandsaufnahme gewonnenen gebäudespezifischen Informationen ermöglichen die Erstellung einer detaillierten Abbruchplanung. Ziel der Abbruchplanung ist die Festlegung der Vorgangsweise und des Umfangs der Rückbauarbeiten, die Baustellenkoordination sowie die Erstellung eines Entsorgungs- und Verwertungskonzeptes.

Rückbauplanung

Die Rückbauplanung legt unter Berücksichtigung der durch die Bestandsaufnahme gewonnenen Informationen zu Zustand und Zusammensetzung des Gebäudes die Verfahrensschritte für den Rückbau fest. Dabei können je nach gewünschtem Trenngrad der Bauteile und –Schichten verschiedene Rückbaustufen vorgesehen werden, die in einer bestimmten Reihenfolge ablaufen (siehe Kapitel 4.2.). Die Rückbauplanung legt die Verfahrensschritte fest, teilt ihnen die rückzubauenden Bauteile und Materialien zu, trifft die Auswahl der jeweils anzuwendenden Methoden und Geräten und legt die zu berücksichtigenden Schutzmaßnahmen und einen Zeitplan für die Arbeiten fest. Schließlich muss bestimmt werden, welche Materialfraktionen beim Rückbau anfallen bzw. getrennt werden.

Verwertungs- und Entsorgungskonzept

Abhängig von der Art und Beschaffenheit der Abfälle, der anfallenden Menge, der technischen Möglichkeiten und der Marktsituation müssen für die anfallenden Materialfraktionen ökonomisch sinnvolle und ökologisch verträgliche Verwertungs- und Entsorgungswege vorgesehen werden. Das Verwertungs- und Entsorgungskonzept legt Materialkategorien fest, erstellt die Massenabschätzung, regelt die Erstellung repräsentativer Mischproben und die Deklarationsanalytik (Biegansky 1997). Die bei dem Rückbau entstehenden Materialfraktionen müssen auf der Baustelle getrennt gelagert werden, damit die erreichten Reinheitsgrade beibehalten werden. Abhängig von den Platzverhältnissen und dem zeitlichen Ablauf der Arbeiten muss der Abbruchplan die Lagerung der verschiedenen Fraktionen auf der Baustelle berücksichtigen. Die Bereitstellung von genügend Mulden zum Zeitpunkt des Anfalls der Abfallfraktionen, deren Fassungsvermögen und Abtransport sind wichtige Komponenten des Entsorgungskonzeptes die einen reibungslosen Ablauf der Abbrucharbeiten gewährleisten sollen. Schließlich wird das Aufbereitungsverfahren der Bauabfälle bestimmt, wobei die Aufbereitung mobil auf der Baustelle oder stationär in einem zentralen Werk erfolgen kann. Die Verfahrensschritte der maschinellen Aufbereitung sind die Separierung, die Klassierung und die Zerkleinerung. Abhängig von der gewünschten Qualität des aufbereiteten Materials können diese Verfahrensschritte durch die Zusammenschaltung mehrerer Anlagen (Aufbereitungs-, Sieb- und Sortieranlagen) miteinander in verschiedenen Konfigurationen kombiniert und durch manuelle (Separations-) Verfahren ergänzt werden.

4.1.1.3 Arbeitssicherheit und Schutzmaßnahmen

Die BauV (1994) und das BauKG (1999) enthalten Vorgaben zur Arbeitssicherheit bei Abbrucharbeiten. Laut BauV hat vor dem Abbruch eine Untersuchung durch eine fachkundige Person zu erfolgen, die eine Abbrucharweisung zu erstellen hat mit Umfang, Abfolge und Art der Abbrucharbeiten, notwendigen Sicherheits- und Schutzmaßnahmen und möglichen Gefährdungen. Gesundheitsgefährdende, brand- oder explosionsgefährliche Stoffe müssen vor dem Abbruch entfernt werden (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 1994). Spezifische Anweisungen bei Vorkommen gefährlicher Stoffe enthalten die Grenzwerteverordnung (2006) (die z.B. die Asbestrichtlinie 2003/18/EG in Österreich umsetzt) oder die

ÖNORM M 9406 zum Umgang mit schwachgebundenen asbesthaltigen Produkten. In diesem Abschnitt wird diese Thematik nur kurz behandelt, ohne auf spezifische Regelungen und Vorgaben einzugehen.

Der Abbruch von Gebäuden gestaltet sich in Bezug auf die Arbeitssicherheit meist schwieriger als deren Neubau. Durch die meist unvollständige Datenlage über Zustand und Zusammensetzung des Gebäudes sind Gefahren und Risiken schwer abzuschätzen. Fehleinschätzungen der statischen Verhältnisse sowie der stofflichen Zusammensetzung der Materialien können zu Fehlentscheidungen im Abbruchvorgang führen. Deshalb bedarf der Abbruch besonderer Vorgaben zur Arbeitssicherheit. Benning (1997) unterscheidet folgende Faktoren, die zu unmittelbaren oder nach einer Latenzzeit auftretenden Schäden führen können:

- Mechanische Gefahren bei unterschiedlichen Betriebsarten
- Staub- und Aerosolbildung
- Lärmemissionen
- Vibrationen
- Kontaminationsbedingte Gefahren,

wobei auf letztere besonderes Augenmerk zu richten ist, da diese nicht nur die auf der Baustelle Beschäftigten gefährden sondern auch die in der Nachbarschaft lebenden Menschen. Insbesondere treten diese Belastungen bei der Aufbereitung der Bauabfälle auf. Die Sicherheitsplanung geht parallel mit der Abbruchplanung einher. Abhängig von den eingesetzten Verfahren und Methoden werden Arbeits- und Emissionsschutzmaßnahmen vorgesehen. Es sind dies technische Schutzmaßnahmen (Auswahl von emissionsarmen Arbeitsverfahren, Einhausung, Abschirmwände, Trennung und Entkopplung der Arbeitsplätze von Emissionsquellen, Wassereinsatz für Staubbiederschlagung, Lüftung oder Absaugung, Einsatz von Anlagen zur Atemluftversorgung, messtechnische Überwachung), organisatorische Schutzmaßnahmen (Veranlassung von Gefahrenstoffuntersuchungen, Einweisung und Ausbildung der Beschäftigten, Überwachung, Zoneneinteilung und Dekontaminationsmaßnahmen), Verhaltensregeln und Hygienemaßnahmen (falls erforderlich arbeitsmedizinische Untersuchungen), sowie die Bereitstellung persönlicher Schutzausrüstungen (Benning 1997).

4.1.2 Kenngrößen

Nach der Methodik der Stoffflussanalyse ist ein Prozess „definiert als die Umwandlung, der Transport oder die Lagerung von Materialien“ (Brunner und Rechberger 2004). Offensichtlich findet während der Abbruchplanung keines dieser Vorgänge an den betrachteten Materialien (Gebäude, Baumaterialien) statt, man kann lediglich von einem Informationsfluss sprechen. Es können jedoch Kennzahlen für die Abbruchplanung festgelegt werden. Es sind dies folgende:

- Trennschärfen bei der Erkundung von Bauwerken:
 - Für Wertstoffe
 - Für Schadstoffe

- Erfassung der Möglichkeiten und des Aufwandes der Trennung von Bauteilen und Baustoffen (nicht quantifiziert)
- Kosten der Abbruchplanung
- Einfluss der Abbruchplanung auf darauf folgende Prozesse in Bezug auf ihre Kenngrößen (nicht quantifiziert)

4.1.2.1 Trennschärfen bei der Erkundung von Bauwerken

Im Prozess „Abbruchplanung“ betrifft die Trennschärfe Erkennung, Lokalisierung und Quantifizierung unterschiedlicher Baustoffe im Gebäude. Die Baustoffe werden dabei einerseits in Bezug auf ihre ökologische und bautechnische Eigenschaften untersucht. Je genauer die Ergebnisse der Erkundung sind, desto besser können die Baustoffe durch den Rückbau getrennt werden. Die Trennschärfe bei der Erkundung ist vor allem vom betriebenen Aufwand abhängig. Durch die Beprobung von jedem Bauteil könnte man theoretisch alle Baumaterialien auf ihren Schadstoffgehalt hin untersuchen. Ebenso wäre es möglich durch Aufschlüsse die genaue Zusammensetzung aller Bauteile zu bestimmen. Da ein solches Vorgehen aber zu aufwendig und kostenintensiv wäre, beschränkt man sich in der Praxis auf eine weniger umfangreiche aber gezielte Erkundung. Eine akkurate Erkundungsplanung unter Einbeziehung der vorhandenen Unterlagen über das Gebäude (falls vorhanden) kann den Aufwand einer Erkundung deutlich verringern und deren Resultate verbessern. Die Kenntnis der – aus Plänen ersichtlichen – Konstruktionsweise ermöglicht eine Abschätzung über Verwertungs- und Entsorgungswege für die anfallenden Bauabfälle. Kennt man schon vor der Begehung die Lage potentieller Schadstoffträger (z.B. Schornsteine), kann bei der Erkundung gezielter vorgegangen werden.

(Steinberger und Pirker 2010) geben für die möglichen Werte für Trennschärfen bei der Erkundung bis zu 95 % an. Für eine 100 %ige Erfassung aller Wert- und Schadstoffen wäre ein Analyseaufwand notwendig, der sich nicht rechnen würde. Da für die meisten Erkundungen wenig Zeit zur Verfügung steht, erreicht man Trennschärfen von ca. 70 – 80 %. Tabelle 4-1 stellt Trennschärfen und Aufwand der Wert- und Schadstofferkundung im Vorfeld eines Gebäudeabbruches gegenüber.

Tabelle 4-1: mögliche Trennschärfen für die Erkundung von Wert- und Schadstoffen im Rahmen einer Gebäudebegehung (Steinberger und Pirker 2010).

Mögliche Trennschärfen bei der Erkundung von Wert- und Schadstoffen in Gebäuden	Zeitlicher Aufwand für die Erkundung
100 %	In der Praxis nicht möglich
95 %	Zweitägige Begehung / Gebäude
70 – 80 %	Ein- bis zweistündige Begehung / 1 Gebäude

4.1.2.2 Erfassung der Möglichkeiten und des Aufwandes der Trennung von Bauteilen und Baustoffen

Neben der Zusammensetzung des Gebäudes beeinflusst die Verbindungsart entscheidend die Möglichkeiten des Rückbaus. Sie bestimmt mit welchem Aufwand Bauteile und Bauschichten voneinander zu trennen sind und ob dies überhaupt möglich ist. (Graubner und Hüske 2003) unterscheiden vier verschiedene Verbindungstypen:

1. Lösbare Verbindung (ein Trennen ist zerstörungsfrei möglich)
2. Bedingt lösbare Verbindung (ein Trennen mit Teilzerstörung ist möglich)
3. Verunreinigt lösbare Verbindung (beim Trennen zweier Schichten bleiben Reste einer Schicht an der anderen hängen)
4. Unlösbare Verbindungen (ein Trennen während des Rückbaus ist nicht möglich)

Die Erkundung sollte die im Gebäude vorhandenen Verbindungsarten ermitteln. Davon abhängig kann bestimmt werden

- welche Bauteile zerstörungsfrei ausgebaut und einer Wiederverwendung zugeführt werden können,
- von welchen Bauteilen schadstoffhaltige Baustoffe entfernt werden sollen,
- die anfallenden Fraktionen und deren Sortenreinheit,
- Methoden und Geräte für den Rückbau,
- Aufbereitungsverfahren für die anfallenden Fraktionen,
- Aufwand und die Kosten des Rückbaues.

Da sich Verbindungen zwischen Bauteilen und –Schichten naturgemäß „innerhalb“ und zwischen Bauteilen befinden, ist es nicht immer möglich, sie vollständig vor dem Rückbau bzw. dem Abbruch zu identifizieren. Die Untersuchung von konstruktiven Plänen, die Kenntnis der typischen Bauweisen aus der Bauepoche des Bauwerkes sowie einzelne Aufschlüsse können bei der Bestimmung der Verbindungstypen behilflich sein. Je nach Komplexität des Bauwerkes werden diese aber für bestimmte Bauteile erst während dem Abbruch ermittelt werden können.

4.1.2.3 Kosten und Nutzen der Abbruchplanung

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Kenngrößen können Planungskosten relativ genau quantifiziert werden. Der Aufwand und die Kosten, die für die Abbruchplanung für einfache Wohngebäude anfallen sind in Tabelle 4-2 angeführt.

Tabelle 4-2: Aufwand und Kosten der Abbruchplanung bei einfachen Wohngebäuden (Steinberger und Pirker 2010);(Wirtschaftskammer Österreich 1948)

Zeitaufwand	Kosten
5 Bauleiterstunden	175 €

Die 5 Bauleiterstunden entsprechen einer erzielbaren Trennschärfe von ca. 70 – 80 % (Siehe Tabelle 4-1) und enthalten eine 1 – 2 stündige Begehung.

4.1.2.4 Einfluss der Abbruchplanung auf die darauf folgenden Prozesse in Bezug auf ihre Kenngrößen

Wie bereits erwähnt, wirkt sich die Abbruchplanung auf den gesamten Abbruchvorgang aus. Am stärksten beeinflusst die Planung den Rückbau des Gebäudes. Die in 4.1.4.1. ermittelten Trennschärfen können abhängig von den in 4.1.4.2 ermittelten Verbindungsarten im Prozess Rückbau übernommen werden. Im besten Fall gehen sie dort als mindestens mögliche Trennschärfen ein (falls die Verbindungsarten dies erlauben). Jedenfalls kann man sagen, dass die Abbruchplanung die Trennschärfen des Prozesses Rückbau in Hinsicht auf die Sortenreinheit und Schadstoffabscheidung verbessert. Davon hängt schließlich die Qualität der Recyclingprodukte ab.

Schwieriger ist die monetäre Darstellung der Nutzen, die die Abbruchplanung bringt. Diese erstrecken sich ebenfalls über den gesamten Abbruchvorgang und darüber hinaus auf die Qualität der Recyclingbaustoffe und Abfälle.

4.2 Der Gebäudeabbruch

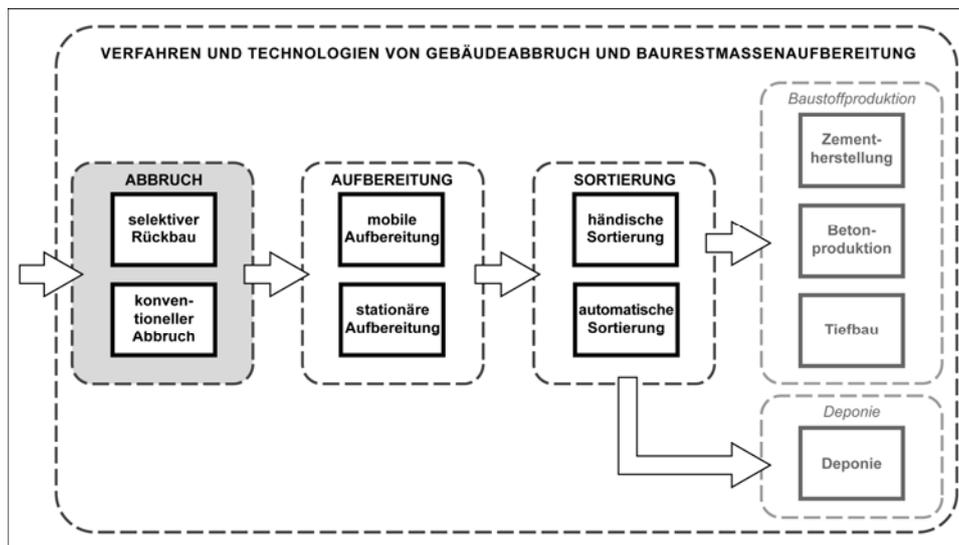


Abbildung 8: Schematische Darstellung des Gebäudeabbruchs – Prozess Abbruch

Die Phase des Gebäudeabbruches umfasst die Arbeitsschritte nach der Abbruchplanung bis vor der Aufbereitung und Entsorgung der Bauabfälle. Sie enthält eine Reihe von Verfahren und Arbeitsvorgängen, die komplementär, sequentiell oder alternativ eingesetzt werden. Es sind dies im Wesentlichen die Entrümpelung, die Entkernung, die Demontage, der selektive Rückbau, der kontrollierte Rückbau und die Demolierung. Die Auswahl der Abbruchverfahren bestimmt die Trennschärfe der Fraktionen der Bauabfälle vor ihrer Aufbereitung und somit ebenfalls ihre Endqualität. Den Vorteilen von Verfahren mit guter „Trennleistung“ stehen die meist damit verbundenen hohen Kosten des Abbruchs gegenüber, welche sich durch den hohen Personalaufwand ergeben. Auf der anderen Seite können durch die Separierung verschiedener Materialien vor oder während des Abbruchs anschließende Entsorgungs- und Aufbereitungskosten gesenkt werden. Die Bestimmung der einzusetzenden Verfahren und somit der Trennschärfen beim Gebäudeabbruch hängt in der Praxis hauptsächlich von folgenden Kriterien ab:

- Anforderungen an die Qualität der Recyclingprodukte und Bauabfälle,
- Annahmgebühren für die Entsorgung / Aufbereitung,
- Gesetzliche Rahmenbedingungen,
- Bauweise: eingesetzte Verbundtechniken,
- Stand der Technik der Aufbereitungsverfahren (Sortierleistungen und –Kosten),
- Kosten der Abbruchverfahren (Arbeits- und Maschinenkosten),
- Zeitplan und lokale Aspekte.

Zurzeit scheint laut mehreren Autoren der Gebäudeabbruch die größten Potentiale in Hinblick auf die Umweltqualität der Baurestmassen zu bergen. Deshalb werden in diesem Kapitel die verschiedenen Verfahren und Vorgehensweisen des Abbruchs beleuchtet und, sofern dies möglich ist, durch Kennzahlen belegt.

4.2.1 Begriffsdefinitionen und Aufbau

Die Begriffe für die Verfahren des Gebäudeabbruches sind nicht eindeutig definiert bzw. es bestehen Unterschiede in ihrer Anwendung. Im Folgenden werden die wichtigsten Begriffe beschrieben und für diese Arbeit definiert.

Abbruch:

Nach ÖNORM B 2251 impliziert der Begriff Abbruch die Schadstoff- Entfrachtung. In dieser Studie wird diese Definition nicht verwendet. Ein Abbruch ist „das vollständige oder teilweise Beseitigen von Bauwerken“ (Rentz, Seemann et al. 2003) „mit Zerstörung der Funktionalität“ (Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung 2008) und kann nach verschiedenen Methoden erfolgen.

4.2.1.1 Methoden des Abbruches

Rückbau:

Methode des Abbruchs durch funktionsbezogenes oder materialspezifisches Beseitigen von Bauwerksteilen oder Baustoffen, in umgekehrter Reihenfolge des Aufbaus. (Rentz, Seemann et al. 2003).

Selektiver Rückbau:

Der selektive Rückbau ist eine Abbruchmethode, die den Forderungen zum sortenspezifischen Erfassen und Entsorgen Rechnung trägt. Der selektive Rückbau umfasst „sowohl die mit einem hochwertigen Material- und Bauteilrecycling verbundene Demontage kompletter Bauteile, als auch die Beseitigung durch die Anwendung konventioneller Abbruchtechniken wie Abgreifen oder Eindrücken. (Rentz, Seemann et al. 2003)

Kontrollierter Rückbau:

Schadstoffentfrachtung, Demontage von wiederverwendbaren Bauteilen, getrennte Erfassung der Baumanaterialien in höchstmöglicher Reinheit. (Koch 1997) In der Literatur – und in dieser Studie - als Synonym für den selektiven Rückbau verwendet.

Demolierung:

„Methode des Abbruchs zumeist durch Zertrümmern ohne zwingende Anforderungen hinsichtlich Entrümpelung, Entkernung oder Entsorgung“ (Korth 1996). In dieser Studie synonym mit dem Begriff „konventioneller Abbruch“ verwendet.

Im Folgenden werden zwei der oben definierten Methoden des Gebäudeabbruches genauer behandelt, nämlich die Demolierung und der selektive Rückbau. Diese Methoden setzen sich aus den ebenfalls angeführten Arbeitsschritten zusammen. Die Kennzahlen werden für die Methoden, nicht für die Arbeitsschritte ermittelt.

4.2.2 Die Demolierung

Die Demolierung ist an sich die einfachste und kostengünstigste Variante des Abbruches. Das Gebäude wird ohne vorherige Entrümpelung oder Entkernung maschinell abgebrochen. Sinnbildlich lässt sich diese Methode als „Abbruch mit der Abrissbirne“ beschreiben (Koch 1997). Die Bauabfälle fallen in einer einzigen Fraktion unsortiert an und müssen entweder nach dem Abbruch auf der Baustelle manuell, mit Greifern bzw. in Aufbereitungsanlagen sortiert oder zu hohen Kosten entsorgt werden. Laut (Koch 1997) liegen die Vorteile der Demolierung im geringen Planungsaufwand und im geringer Zeitbedarf, was eine zeitliche Begrenzung der Emissionen bedeutet sowie in einer raschen Nachnutzung der frei werdenden Baufläche. Der geringe Bedarf an Arbeitskräften und die rasche Abwicklung des Abbruches ermöglichen die Eingrenzung der Kosten. Die Nachteile der Demolierung betreffen hauptsächlich die Qualität des Abbruchmaterials. Es fällt meistens grobstückig an und wird es nicht im Nachhinein auf der Baustelle zerkleinert, so gestaltet sich die Entsorgung problematisch. Dadurch dass das Material unsortiert anfällt, kann das Materialgemisch durch Schadstoffe verunreinigt sein, die sich durch eine nachträgliche Sortierung nicht entfernen lassen. Trotz dieser Nachteile und höherer Umweltbelastungen als andere Abbruchverfahren findet die Demolierung Anwendung in der Praxis. Es wird sich nie vollständig vermeiden lassen diese Methode anzuwenden, beispielsweise bei aus Sicherheitsgründen nicht begeharen Abbruchobjekten.

4.2.2.1 Verfahren und Technologien der Demolierung

Da in der vorliegenden Studie der Totalabbruch von Gebäuden betrachtet wird, werden im Folgenden hauptsächlich Verfahren für den Komplettabbruch thematisiert. Beim Teilabbruch werden eher zerstörungsärmere Verfahren des Auseinandernehmens eingesetzt; diese werden in dieser Studie der Methode des selektiven Rückbaus zugeschrieben. Die im Folgenden beschriebenen Verfahren sind geräte- und maschinenintensiv und dienen dem Totalabbruch und der Bauschuttbeseitigung.

Mechanische Abbruchverfahren

Mechanische Abbruchverfahren sind die für den Abbruch von Wohngebäuden am häufigsten eingesetzte Abbruchverfahren. Durch statische und dynamische Belastung der Bauteile werden Beigezug-, Zug- und Scherspannungen erzeugt, die die Bauteile zum Einsturz bringen oder zerstören (Lechner 2003). Durch den notwendigen hohen Kraftaufwand sind diese Verfahren maschinenintensiv.

Abtragen / Schrämen

Definition laut ÖN B 2251: „*Schichtweiser Abbruch*“

Beim Schrämen werden Bauteile mit Hilfe von Meißeln entweder manuell oder maschinell abgebrochen.

Eingesetzte Geräte (Lechner 2003):

- Hydraulikbagger mit Abbruchhammer
- Hydro-Seilbagger/Hydraulikbagger mit Greifer/Abbruchgreifer
- Handabbruch (Abbruchhammer, Spitzhacke und Schaufel)

Diese Methode erlaubt eine höhere Arbeitsgenauigkeit als andere maschinelle Verfahren. Einzelne Bauteile können durch Hämmern mehr oder weniger kontrolliert vom Gebäude abgetrennt und zerkleinert werden. Außerdem eignet sich das Schrämen für das Abtragen von massiven Stahlbetonbauteilen (Fundamente aus Beton- und Stahlbeton) (Osebold 1981). Die staub- und erschütterungsarme Arbeitsweise sowie die geringere Gefährdung anderer Bauwerke erlauben den Einsatz dieses Verfahrens in dicht besiedelten Gebieten oder in unmittelbarer Nachbarschaft von Verkehrsanlagen (Lechner 2003). Nachteilig wirkt sich die hohe Lärmemission aus. Zu beachten ist, dass die Trägergeräte einen standfesten Untergrund brauchen von dem auch die Reichweite der Ausleger abhängt. Das Verfahren wird sowohl zur Nachzerkleinerung des Bauschuttes auf der Baustelle als auch als vorbereitende Maßnahme für andere Abbruchmethoden eingesetzt.

Einschlagen mit Gewichten:

Definition laut ÖN B 2251: „Zerstören von Bauwerksteilen unter Zuhilfenahme von Schlaglasten“

Das Einschlagen nützt die kinetische Energie von Fallgewichten aus, um Bauwerksteile zu zertrümmern bzw. aus ihrem Verbund zu lösen. Die Schläge können dabei horizontal durch Pendelbewegungen oder vertikal durch das Fallenlassen des Gewichtes ausgeführt werden.

Eingesetzte Geräte (Lechner 2003):

- Hydro-Seilbagger oder Hydraulikbagger mit am Seil freischwinger Stahlmasse (Fallbirne)
- Hydraulikbagger mit Abbruchhammer
- Manueller Abbruch mit Vorschlaghammer

Dies ist die schnellste und kostengünstigste Abbruchmethode, in Österreich sowie in vielen Ländern Europas wird sie jedoch nicht mehr eingesetzt. Der hohe Platzbedarf, die dabei auftretenden Erschütterungen und Staubbelastungen sowie die Tatsache, dass sie nur begrenzt kontrollierbar ist machen sie für Gebäudeabbrüche wenig attraktiv. Hinzu kommt dass es diese Methode nicht erlaubt, Bauteile oder Baumaterialien getrennt abzutragen, was sich in Hinblick auf die Qualität der Baurestmassen negativ auswirkt.

Eindrücken

Definition laut ÖN B 2251: „zum-Einsturz-Bringen von Bauwerksteilen durch Aufbringen von Druckkräften“

Beim Eindrücken werden durch das Anbaugerät horizontale Kräfte auf Bauteile aufgebracht, die somit zum Umkippen oder zum Einsturz gebracht werden. Der Abbruch erfolgt von außen nach innen und von oben nach unten (Lechner 2003).

Eingesetzte Geräte (Lechner 2003):

- Planierraupen/Lader
- Hydraulikbagger mit Tieflöffel

Auch diese Methode ist nur begrenzt, jedoch besser als die des Einschlagens, kontrollierbar. Zu beachten ist dass bei diesem Verfahren das Abbruchgerät den höchsten Punkt des Gebäudes erreichen und der Stoßarm nicht mehr als 60 cm unterhalb der Wandkrone angesetzt werden soll, um zu vermeiden, dass Gebäudeteile nach außen fallen und das Gerät treffen (Lechner 2003). Das Eindringen kann von aussteifenden Wand- und Deckenteilen behindert werden; in dem Fall müssen solche Bauteile im Vornhinein entfernt werden. Diese Methode zeichnet sich durch einen raschen Arbeitsablauf und niedrige Kosten aus. Das Verfahren eignet sich für den Vollabbruch von Gebäuden. Nachteile des Verfahrens sind die hohen Umweltbelastungen wie Staub, Lärm (70 – 110 dB(A)) und Erschütterungen.

Einreißen

Definition laut ÖN B 2251: „*Zum-Einsturz-Bringen von Bauwerksteilen durch Aufbringen von Zugkräften*“

Beim Einreißen werden durch Stahlseile oder Abbruchstiel (an Bagger angebautes Reißwerkzeug) Zugkräfte auf das Gebäude aufgebracht. Somit können Bauteile oder das gesamte Bauwerk zum Einsturz durch Umkippen oder Knicken gebracht werden.

Eingesetzte Geräte:

- Planierraupen/Lader
- Hydraulikbagger mit Tieflöffel
- Seilzug und Abbruchstiel

Die Abbruchzeiten sowie die Kosten fallen für das Einreißen von Mauerwerksbauten niedrig aus. Dieses Verfahren kann mit erheblichen Gefahren verbunden sein, wie plötzliche Seilrisse oder die Notwendigkeit, das Objekt zum Anbringen der Zugseile zu betreten (Lechner 2003). Beim Einreißen mit Abbruchstiel muss das Trägergerät einen ausreichenden Sicherheitsabstand einhalten.



Abbildung 9: Einreißen bei Demolierung (Bild: RMA)

Abgreifen

Definition laut ÖN B 2251: „Mechanischer Abbruch mittels Greifern oder Zangen“

Bauwerksteile werden mechanisch von oben her aus dem Verbund gelöst und abgegriffen.

Eingesetzte Geräte (Lechner 2003):

- Hydro-Seilbagger oder Hydraulikbagger mit Zweischalengreifer
- Hydraulikbagger mit Abbruchgreifer
- Hydraulikbagger mit Betonbrecher/Betonpulverisierer

Diese Methode erlaubt die Trennung verschiedener Materialfraktionen und impliziert keine großen Gefahren. Dafür ist der Arbeitsablauf langsamer als das Eindrücken oder das Einreißen von Bauwerken.

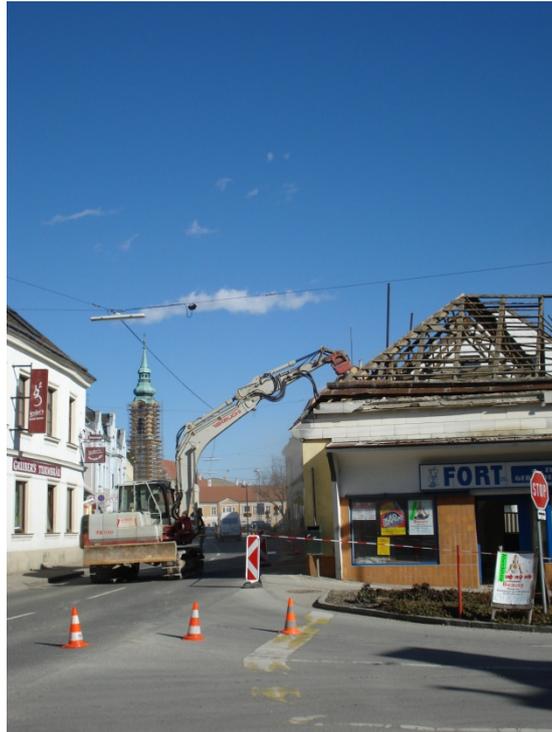


Abbildung 10: Abgreifen des Dachstuhles bei Demolierung (Bild: RMA)

Abbruch mit hydraulischen Scheren und Zangen

Mittels hydraulisch angetriebenen zangenförmigen Geräten werden Bauteile zerschnitten.

Eingesetzte Geräte(Lechner 2003):

- Hydraulikbagger mit Betonbrecher/Betonpulverisierer
- Hydraulikbagger mit Schrottschere

Bei dieser Methode wird zwischen Pressschneiden und Scherschneiden unterschieden. Pressschneiden wird bei Bauteilen aus Beton und Mauerwerk eingesetzt, Scherschneiden bei Stahlbauteilen. Die Methode zeichnet sich aus durch geringe Lärmerzeugung und Erschütterungsemissionen, Nachteil ist dass sie eher langsam ist.

Es gibt weitere Abbruchmethoden, auf die in diesem Kapitel nicht eingegangen wird, da sie einen geplanten Abbruch erlauben. Diese Methoden werden im Kapitel 4.2.6 vorgestellt.



Abbildung 11: Abgreifen mit hydraulischer Zange bei Demolierung (Bild: RMA)

4.2.2.2 Kenngrößen der Demolierung

Trennschärfe

Auch beim konventionellen Abbruch müssen Mindestanforderungen an Umwelt- und Sicherheitsvorschriften eingehalten werden, besonders was gefährliche Substanzen betrifft. So muss asbestbelastete Bausubstanz unter Einhaltung der geltenden Vorschriften vor dem Abbruch entfernt werden. Aus praktischen Gründen werden auch bei der rein maschinellen Demolierung ohne Entkernung gewisse Bauteile entfernt. So wird das Holz der Dachkonstruktion meist vor dem Abbruch der übrigen Bauteile entfernt und getrennt gelagert. Deckenbalken aus Holz oder Stahlträger können ebenfalls ohne großen Aufwand während des Abbruches getrennt erfasst werden. Vorteilhaft wirkt sich vor allem die getrennte Lagerung großer Holzbauteile und Stahlträger aus, da sie im Bauschutthaufen Sortierungs- oder Verladearbeiten behindern. Ein weiterer Grund für deren getrennte Erfassung ist dass sie sich bereits auf der Baustelle leicht verkaufen oder an Private vergeben lassen. Aus diesen Gründen ergibt sich beim konventionellen Abbruch ein gewisser Separationsgrad. *Tabelle 4-3* zeigt die Trennschärfen die bei der Demolierung für verschiedene Fraktion erreicht werden.

Tabelle 4-3: Trennschärfen der Demolierung (geschätzt)

<u>Fraktion</u>	<u>Trennschärfen (%)</u>
Mineralisch	
Beton	0
Ziegel	0
Naturstein	0
Keramik	0
Metalle	
Eisen	0 – 20
Aluminium	0
Kupfer	0
Zink	0
Blei	0
Holz	0 – 85
Kunststoffe	
PVC	0
andere	0
Dämmung	0
Bitumen	0
Glas	0

Anfallende Fraktionen / Produktqualität

Da beim konventionellen Abbruch von Gebäuden außer in einigen Fällen das Holz und ein geringer Teil des Eisens keine weiteren Fraktionen getrennt erfasst werden, weist der anfallende Bauschutt eine dementsprechend schlechte Qualität auf. Das Material eignet sich nicht für eine direkte Wiederverwertung und erfüllt in den meisten Fällen nicht die Eingangskriterien für die Baurestmassendeponie. Werden keine weiteren Schritte zur Aufbereitung und Sortierung unternommen, so kann es nur bei Entrichtung der entsprechenden Deponiegebühren in einer Massenabfalldéponie deponiert werden.



Abbildung 12: Bauschutt aus einer Demolierung (Bild: RMA)



Abbildung 13: Bauschutt aus einer Demolierung mit vorhergehender Entkernung (Bild: RMA)

Emissionen

Abhängig von der verwendeten Methode des Abbruches zeichnet sich die Demolierung durch relativ hohe Lärm- und Staubemissionen sowie Erschütterungen aus. Des Weiteren sind die durch die eingesetzten Maschinen entstehenden Emissionen zu berücksichtigen. Diese sind in *Tabelle 4-4* dargestellt

Tabelle 4-4: Bei der Demolierung entstehende Emissionen (Doka 2009)

Emissionen		
Feinstaub [mg/kg Bau- schutt]	Lärm	Erschütterungen
80	70-110 dB	ja

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch entsteht bei dieser Methode lediglich durch die das Abbruchgerät antreibenden Maschinen. Es sind dies Hydraulikbagger, Hydro-Seilbagger oder Planiertrauen.

Tabelle 4-5: Energieverbrauch der Demolierung (Doka 2009)

Abbruch mit Hydraulikbagger	Stahlbeton	Unbew. Beton	Mauerwerk
Zeitaufwand [h/m ³]	0,173	0,118	0,0707
Dieserverbrauch [MJ/m ³]	140,85	96,22	57,5
Materialdichte kg/m ³	2.300	2.200	1.600
Spez. Energieverbrauch [MJ/m ³]	0,0612	0,0437	0,0359

Wasserverbrauch

Um die Staubentwicklung während des Gebäudeabbruches zu unterbinden bzw. in Grenzen zu halten wird Wasser eingesetzt. Das Gebäude wird vor bzw. während des Abbruches mit Wasser besprüht. Der Wasserverbrauch wird in Akt. 8 quantifiziert.

Kosten/ Aufwand

Die Kosten für die Demolierung eines Gebäudes setzen sich aus den Maschinenkosten und den Personalkosten zusammen. *Tabelle 4-6* zeigt die Kosten für verschiedene eingesetzte Verfahren der Demolierung.

Tabelle 4-6: Leistungskennwerte und Kosten der Demolierung (Korth und Lippok 1987),
(Wilkomm 1990)

Technik	Baumaterialien / Gerät	Leistungskennwerte [m³/h]*	Kosten [€/m³]	*Anmerkung
Einschlagen	Mauerwerk	13 – 25	4,4 – 25,6	2 Arbeitskräfte
	Beton	10 – 20	8,9 – 56,3	
	Stahlbeton	5 – 8	12,8 – 102	
Einziehen	Seilwinde	2 – 4	-	pro Arbeitskraft
	Zugmaschinen	5 – 10	-	
Eindrücken	Mauerwerk	20 – 35	4,9 – 25,6	2 Arbeitskräfte
	Betonbauwerk	8 - 18	15,4 – 40,9	
	Stahlbeton	-	23,5 – 61,4	
Einreißen	Mauerwerk	20 – 35	4,3 – 25,6	2 Arbeitskräfte
	Beton	10 – 16	12,8 – 76,7	
Abgreifen mit Greifer	Mauerwerk	10 – 20	7,2 – 30,1	2 Arbeitskräfte
	Beton	9 – 15	7,2 – 30,7	
Abgreifen mit Betonzange	Mauerwerk	-	17,9	
	Beton	-	25,6 – 307	
	Stahlbeton	-	51 – 409	
Abtragen mit Werkzeugen an Trägergeräten über 5 t Eigengewicht	Mauerwerk	7,7 – 35,8	30,7 – 143	pro Arbeitskraft mit Gerät
	Beton	12,8 – 322	66,5 – 220	
	Stahlbeton	30,7 – 184	107,4 - 665	

4.2.3 Der selektive Rückbau

Hauptziel des selektiven Rückbaus ist es, den Gebäudeabbruch so zu gestalten dass möglichst viel oder ausgewählte Teile der Bausubstanz rezykliert werden kann. Dabei können ganze Bauteile für die anschließende Wiederverwendung oder Baustoffe für die stoffliche Verwertung gewonnen werden. Abhängig von der Verwertungsart gestalten sich die eingesetzten Rückbauverfahren. Ob die Bausubstanz hauptsächlich in ihren Bauteilen wiederverwendet oder stofflich verwertet wird hängt vom Absatzmarkt sowie den jeweiligen Rückbaukosten für die Sekundärprodukte ab. Schwierigkeiten bestehen in der Trennung von Werkstoffverbunden, da sich solche oft nur unter hohem Arbeitsaufwand oder gar nicht vollständig lösen lassen. Maschinelle Verfahren zur Auftrennung von Werkstoffverbunden werden derzeit entwickelt (Kryogentechniken, Schockwellenertrümmerung, Mikrowellen), befinden sich aber zumeist im experimentellen Stadium (Rentz, Seemann et al. 2003). Grundsätzlich zeichnet sich der selektive Rückbau durch eine Abtrennung schadstoffhaltiger Substanz vor dem Abbruch aus. Dem folgt die Entkernung, d.h. der Ausbau der gesamten nicht tragenden Bausubstanz so dass nur mehr die tragenden Bauteile übrig bleiben. Meist besteht das tragende Gerüst des Gebäudes nicht aus dem gleichen Material bzw. befindet sich im Verbund mit nicht leicht abtrennbaren Bauschichten (z.B. Verputz, Anstrich). Ob der Abbruch nun durch „konventionelle“ Verfahren erfolgt oder die tragenden Bauteile nach stofflichen Krite-

rien getrennt erfasst werden hängt von den Anforderungen an die Sortenreinheit der anfallenden Baurestmassen ab. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass einige Autoren den Begriff „kontrollierter Rückbau“ für die vollständig getrennte Erfassung der Baumaterialien verwenden und „selektiven Rückbau“ dann verwenden, wenn „Teile eines Gebäudes oder Materialgruppen für den kontrollierten Rückbau ausgewählt werden, während der restliche Teil konventionell abgebrochen wird“ (Koch 1997). In dieser Studie wird der Begriff „kontrollierter Rückbau“ nicht verwendet. Dafür werden für den selektiven Rückbau verschiedene „Rückbaustufen“ berücksichtigt. Die beim selektiven Abbruch anfallenden Materialien müssen nach ihrem Ausbau getrennt erfasst und auf der Baustelle in verschiedenen Fraktionen zwischengelagert, bzw. abtransportiert werden. Dafür müssen auf der Baustelle genügend Mulden zur Verfügung gestellt werden und bei schlechten Platzverhältnissen der Abtransport der Fraktionen den Ausbaustufen angepasst werden. Die Vorteile des selektiven Rückbaus liegen in erster Linie in der Sortenreinheit der anfallenden Fraktionen, und im damit verbundenen hohen Wiederverwendungs- und Wiederverwertungsgrad.

Nachteilig wirken sich der intensive Personaleinsatz, die hohen Anforderungen an die Arbeitssicherheit und die Dauer des Vorganges, die erheblich länger als die der Demolierung ist, aus. Der selektive Rückbau an sich ist somit teurer als die Demolierung. Der Gebäudeabbruch darf aber ökonomisch nicht allein stehend bewertet, sondern muss als Teilprozess des gesamten Abbruch- Sortierungs- und Aufbereitungsvorganges betrachtet werden. Durch die höhere Sortenreinheit der anfallenden Fraktionen können in diesen Vorgängen Arbeitsschritte eingespart und eine bessere Materialqualität erreicht werden. Deshalb kann der selektive Abbruch insgesamt kostensparende Wirkung haben. Dies hängt jedoch von den regionalen Verwertungs- und Entsorgungskosten ab (Pladerer 2004). Hohe Beseitigungsgebühren für nicht getrennte Baurestmassen und strenge Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Recycling-Baustoffen erhöhen die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus.

4.2.3.1 Verfahren und Technologien des selektiven Rückbaus

Die Verfahren des selektiven Rückbaus unterscheiden sich funktionell: Verfahren zur Dekontamination, Verfahren die der Entkernung dienen und Verfahren des weitgehend selektiven Abbruchs.

Manuelles Aufnehmen

Mittels Schaufel, Besen, Kehrblech werden Materialien ohne Anhaftung an die Bausubstanz aufgenommen.

Absaugen

Materialien ohne Anhaftung an die Bausubstanz werden mittels Unterdruck aufgenommen und in einem Gas- oder Flüssigkeitsmedium transportiert. Anschließend wird das aufgenommene Material vom Medium separiert. Dieses Verfahren eignet sich sehr gut für Asbestsanierungen (Schramm und Lieser 1997).

Abbürsten und Abwischen

Mittels manuell oder maschinell geführten Bürsten werden leicht anhaftende Materialien abgetragen und schließlich aufgenommen. Das Verfahren wird bei der Abtrennung von flächigen Anhaftungen eingesetzt (Schramm und Lieser 1997).

Auslaugen

In die Bausubstanz eingedrungene Materialien können mittels Lösungsmitteln herausgelöst werden. Das Lösungsmittel wird auf die kontaminierte Fläche aufgetragen und mittels Wasser samt Kontamination ausgeschwemmt. Das Verfahren kann bei geringen Eindringtiefen und entsprechender Porosität des Materials eingesetzt werden (Schramm und Lieser 1997).

Strahlen

Beim Strahlen werden feste und flüssige Strahlmittel eingesetzt. Feste Strahlmittel sind mit Druckluft beschleunigte kantige Materialien wie z.B. Quarzsand, die beim Auftreffen die zu entfernende Bausubstanz abtragen. Diese vermischen sich mit der abzutragenden Bausubstanz und lassen sich davon teilweise wieder trennen. Gut geeignet ist dieses Verfahren für Verbunde aus Materialien verschiedener Härten, die in dünnen Schichten aufgetragen sind. Zu beachten ist die starke Staubbildung, die einen entsprechenden Arbeits- und Immissionschutz erfordert (Schramm und Lieser 1997). Hydraulische Trenntechniken setzen flüssige Strahlmittel, z.B. Wasser, ein. Dieses Verfahren erreicht höhere Eindringtiefen als das Strahlen mit festem Strahlmittel. Ein Problem stellt die Behandlung des anfallenden Abwassers dar (Schramm und Lieser 1997). Dem flüssigen Strahlmittel können abrasive Stoffe (sandartig) beigemischt werden; somit werden alle im Baubereich eingesetzten mineralischen Materialien schneidbar (Rentz, Seemann et al. 2003). Alle Strahlverfahren zeichnen sich aus durch ihre vielseitige Anwendbarkeit, geringen Geräuschemissionen und Erschütterungen sowie durch einen geringen Energiebedarf (Rentz, Seemann et al. 2003).

Thermische Trennverfahren

Thermische Verfahren des Abbruches basieren auf dem Schmelzen der Bausubstanz oder auf durch Wärmeleitung und Strahlung verursachte Rissbildung. Dabei werden Autogenbrenner (bei Stahl), Plasmabrenner (bei hochlegierten Stählen und Nichteisenmetallen), Sauerstofflanzen und Pulverschneidbrenner (beide bei Gusseisen oder hochlegierten Stählen) eingesetzt. Weitere thermische Verfahren befinden sich im Entwicklungsstadium. Auf diese wird in diesem Bericht nicht näher eingegangen.

Abstemmen

Das Abstemmen erfolgt durch Meißelwerkzeuge, die maschinell oder manuell (Bohrhammer) betrieben werden. Dieses Verfahren ist bei Verbunden aus Bausubstanzen unterschiedlicher Härte geeignet, z.B. bei Putz oder Estrich auf Beton. Ob es manuell oder maschinell durchgeführt wird hängt von der Arbeitshöhe und der Materialbeschaffenheit ab (Albrecht 1981). Vorteile des manuellen Abstemmens sind vor allem der dadurch erreichbare hohe Selektionsgrad und die Nichtbeeinträchtigung der tragenden Bausubstanz. Nachteilig wirken sich die Erhöhung der Unfallgefahr, die hohen Kosten und der hohe Zeitaufwand aus (Rentz, Seemann et al. 2003).

Fräsen, Schälen

Durch schnell rotierende Abtragswerkzeuge werden schichtweise Teile der Bauwerkssubstanz abgeschält. Somit können kontaminierte Schichten schnell abgetragen werden. Dieses Verfahren zeichnet sich durch die geringe Freisetzung von Lärmemissionen und Erschütterungen aus. Bei bewehrtem Stahlbeton können Bewehrungen mit einem Durchmesser über 25 mm nicht bearbeitet werden (Lechner 2003).

Demontage

Definition Laut ÖN B 2251: „Auseinandernehmen von Konstruktionsteilen durch Lösen von Verbindungen oder Abtrennen von teilen“

In umgekehrter Reihenfolge des Aufbaus werden die nicht vor Ort gefertigten Bauteile auseinandergenommen und in ihre Einzelteile zerlegt.

Eingesetzte Werkzeuge:

- Manuell geführte Werkzeuge (in der Regel die bei der Montage eingesetzten Kleinwerkzeuge)
- Hebezeuge (Kran, Hydraulikbagger) zum Transport.

Ziel der Demontage ist es, die Bauteile möglichst in ihrer ursprünglichen Form aus dem Bauwerk auszubauen, um sie wiederverwerten oder –verwenden zu können. Das Verfahren eignet sich sehr gut für ein Zerstörungsfreies Entfernen kontaminierter Bauteile (Asbestement). Die Demontage ist eines der aufwendigsten Abbruchverfahren. Durch Vorarbeiten müssen je nach Demontagetauglichkeit der Konstruktion die Verbindungselemente der zu demontierenden Bauteile zugänglich gemacht werden (Lechner 2003). Beim Lösen der Bauteile ist besonders auf deren tragende Funktionen Bedacht zu nehmen. Sie müssen durch Hebezeuge gegen Herabfallen gesichert und zerstörungsfrei aus dem Gebäude entfernt werden. Die Kosten richten sich nach der Erreichbarkeit der Befestigungsmittel und dem Einsatz von Hebezeugen (Schramm und Lieser 1997). Die Demontage ermöglicht einen sehr hohen Selektionsgrad. Die geringe Umweltbeeinflussung und die hohe Arbeitssicherheit des Verfahrens machen es attraktiv; ob es im Einzelfall eingesetzt wird hängt aber primär von der Konstruktionsart des Gebäudes ab.

Sägen

Sägen, die zum Schneiden mineralischer und metallischer Materialien verwendet werden sind mit Diamantensegmenten bestückt. Es wird mit oder ohne Zugabe von Kühlmitteln gesägt.

Eingesetzte Sägentypen nach (Eibl und WALTHER 1996):

- Kreissägen: eignen sich für horizontale Flächen, sind sehr leistungsfähig, die Schnitttiefe ist bei 0,45 m begrenzt.
- Stichsägen: für horizontale und vertikale Schnitte, haben eine geringe Schneideleistung und eine Schnitttiefe von 0,65 m. Weisen eine geringere Geräuschentwicklung auf als Kreissägen.
- Seilsägen: eignen sich zum Trennen von Bauteilen mit seitlicher Begrenzung, großen Volumina und großen Schnitttiefen, haben einen hohen Kühlwasserbedarf und eine hohe Geräuschentwicklung.

Bohren

Bohrungen werden im Vorfeld anderer Abbruchtechniken durchgeführt, z.B. zur Durchführung eines Seils. Es wird zwischen Voll- und Kernbohren unterschieden, wobei die Kernbohrung sich für die Herstellung von Durchbrüchen mit hohen Passgenauigkeiten eignet (Lechner 2003). Geringe Geräuschemissionen und Staubbildung zeichnen die Kernbohrung aus. Vollbohren ist kostengünstiger und flexibler einsetzbar (z.B. in räumlich beengten Verhältnissen).

Spalten

Durch Einleitung von Druckkräften auf Keile werden Bauteile gespalten. Dieses Verfahren eignet sich für Mauerwerk und schwach bewehrten Beton wenn eine lärm- und erschütterungsarme Arbeitsweise erforderlich ist (Lechner 2003).

4.2.3.2 Arbeitsschritte des selektiven Rückbaus

Bei der Abbruchplanung für den selektiven Rückbau werden Demontagegruppen gebildet und die Reihenfolge für deren Ausbau festgelegt. Die Abbruchplanung sollte mit der Verwendungs- und Verwertungsplanung abgestimmt werden und Informationen über Verwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten der Bauabfälle mit einbeziehen (Rentz, Ruch et al. 1998). Auch sollte der Zeitaufwand je Demontagegruppe bestimmt und ein Arbeitsplan erstellt werden, der die erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen (insbesondere bei Kontaminationen) festlegt. Die Festlegung der Reihenfolge der Rückbaumaßnahmen richtet sich nach den Gefährdungs- und Entsorgungspotentialen der Bausubstanz.

Abfolge der Rückbaumaßnahmen

nach (Stubenrauch und Hempfling 1994), (Schramm und Lieser 1997), (Kohler 1997) und eigenen Beobachtungen)

1. Sichern baufälliger Gebäudesubstanz und Einrichtung der Baustelle

2. Entrümpelung
3. Entkernung:
 - a. Beseitigen von Kontaminationen (je nach Art der Kontamination kann dieser Schritt auch später sinnvoll sein)
 - b. Zerstörungsfreier Ausbau wiederverwendbarer Bauteile meist durch Demontage
 - c. Ausbau wiederverwertbarer nicht gebäudeverbundener und gebäudeverbundener Bauteile
 - d. Ausbau nicht wiederverwertbarer Bauteile
4. Demontage der Dachkonstruktion
5. Verbleibende Bausubstanz: selektiver Abbruch oder Demolierung

Entrümpelung

Die Entrümpelung ist die Entfernung von nicht befestigten Gegenständen wie Mobiliar, Küchengeräte, Teppiche usw. Die Entrümpelung geht der Entkernung voraus. Die beseitigten Gegenstände und Materialien können wiederverwendet werden oder werden als Sperrmüll entsorgt.

Entkernung

Definition Laut ÖN B 2251: „*Teilweises oder gänzlich Entfernen von tragenden oder nicht tragenden Bauteilen innerhalb der verbleibenden tragenden Umfassungsbauteile.*“ Bei der Entkernung werden im Gebäude eingebaute und befestigte Anlagen und Gegenstände ausgebaut. Bei der Entkernung werden die auszubauende Bauteile in „Demontagegruppen“ eingeteilt (siehe *Tabelle 4-8*). Je nach geforderter Arbeitstiefe können auch nur gewisse Demontagegruppen vor dem Abbruch ausgebaut werden. Die vollständige Entkernung sieht den Ausbau der gesamten Bauteile bis auf die tragende mineralische Bausubstanz bzw. Stahl- oder Holzkonstruktion vor. Die Entkernung wird noch vorwiegend manuell realisiert; durch die Entwicklung kleiner Abbruchmaschinen und –geräte ist die maschinelle Entkernung zunehmend möglich (Lippok und Korth 2007). Ein Hindernis für die maschinelle Entkernung ist die für Kleinbagger oft zu geringe Tragfähigkeit der Decken und enge Platzverhältnisse (Raumhöhe, Raumbreite). *Tabelle 4-7* zeigt Vor- und Nachteile der maschinellen und manuellen Entkernung nach (Lippok und Korth 2007).

Tabelle 4-7: Vor- und Nachteile der manuellen und maschinellen Entkernung

Vorteile	Nachteile
manuelle Entkernung	
• Geringe Beeinträchtigungen benachbarter Bauwerke	• Körperliche Beanspruchung und Belastung durch Staub, Lärm und Vibration
• Sofortige Verfügbarkeit	• Unmittelbarer Kontakt mit kontaminierten Materialien
• Günstig bei Maßnahmen von geringem Leistungsumfang	• Hoher manueller Transportaufwand
• Geringe Investitionskosten	• Geringe Produktivität – hoher Zeitaufwand.
maschinelle Entkernung	
• Hohe Arbeitssicherheit durch Fernsteuerung	• Einschränkungen durch Belastbarkeit der Decken und der Raumhöhen.
• Kein direkter Kontakt zu kontaminierten Materialien	• Belastungen der Beschäftigten bei Einsatz von Maschinen ohne Arbeitskabinen
• Hohe Produktivität	• Hohe Investitionskosten

Selektiver Abbruch

Alternativ zur Demolierung wird beim selektiven Abbruch das entkernte Gebäude unter Berücksichtigung der sortenspezifischen Erfassung der tragenden Bauteile beseitigt. Es werden tragende Stahl- und Holzbauteile sowie die mineralische Fraktion (Naturstein, Ziegel, Beton) getrennt abgebaut und erfasst. Der selektive Abbruch ist zeitaufwendiger als die Demolierung, der Vorteil liegt jedoch in den sortenrein anfallenden mineralischen Fraktionen. So kann z.B. die Ziegel- und die Betonfraktion eines Gebäudes getrennt erfasst und einer gezielten Verwertung zugeführt werden.

4.2.3.3 Demontagegruppen

Demontagegruppen werden für verschiedene Bestandteile eines Gebäudes aufgrund ihrer Eigenschaften, Funktion oder der erforderlichen Demontagetechniken erstellt (Rentz, Ruch et al. 1998). Tabelle 4-8 zeigt bei der Entkernung und Abbruch eines Gebäudes (nach (Schultmann, Rentz et al. 1997), (Rentz, Ruch et al. 1998) und eigenen Beobachtungen.

Tabelle 4-8: Demontagegruppen

Demontagegruppen	Arbeitsschritt
Türen	Entkernung
Fenster	
Läden	
Türrahmen und Fensterrahmen	
Elektrische Installationen	
Sanitäre Installationen	
Innenverkleidungen (Holz) und sonstige Schreinerarbeiten	
Verkleidungen unter Decken	
Fußleisten	
Tapeten	
Boden und Treppenbeläge	
Zwischenwände Leichtbauweise (Putze – meistens zu aufwendig)	
Spenglerarbeiten (Dachrinnen)	
Dachabdeckung	
Dachstuhl	
Zwischenwände massiv	Abbruch
Kamine	
Wände	
Decken	



Abbildung 14: Entkernung – Ausbau Türen
(Bild: RMA)



Abbildung 15: Entkernung – Ausbau Decken
(Bild: TU Wien)



Abbildung 17: Entkernung – Ausbau Bodenbeläge (Bild: RMA)



Abbildung 16: Entkernung – Ausbau Fensterrahmen händisch (Bild: TU Wien)

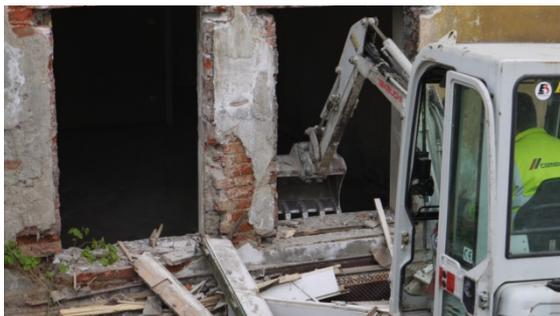


Abbildung 18: Entkernung – Ausbau Fensterrahmen mit Kleinbagger (Bild: TU Wien)



Abbildung 19: Entkernung – Ausbau Heraklitplatten (Bild: TU Wien)

4.2.3.4 Schadstoffe

Auf Schadstoffe wird im Rahmen von Aktion 4 detaillierter eingegangen. An dieser Stelle sollen die im Wohnbau häufig vorkommenden Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen genannt werden. Es sind dies:

- Asbest und Mineralfaserstoffe
- Schwermetalle
- Halogenfreie Kohlenwasserstoffe (Mineralöl und PAKs)
- Halogenkohlenwasserstoffe (PCB, PCP, CKWs)

Die Dekontamination, d.h. die Befreiung der Bausubstanz von Schadstoffen muss zeitlich im Rückbauvorgang so abgestimmt werden, dass dabei keine Kontamination weiterer Bauteile

erfolgt. Insbesondere sind die Dekontaminationsarbeiten so durchzuführen, dass Arbeits- und Emissionsschutz gewährleistet sind.

4.2.3.5 Kenngrößen des selektiven Rückbaus

Für die Ermittlung der Kenngrößen wird der selektive Rückbau in zwei Prozesse gegliedert: die Entkernung und der selektive Abbruch. Die Entrümpelung wird in dieser Studie nicht erfasst, da sie nicht Gegenstand der Abbruchdokumentation war (alle Gebäude wurden im bereits entrümpelten Zustand übernommen).

Trennschärfe

Entkernung

Der Prozess Entkernung umfasst die Entkernungsarbeiten an sich (siehe 4.2.3.1 und 4.2.3.2) sowie den (manuellen) Abbau der Dachabdeckung. Die durch die Entkernung erreichbare Trennschärfe ist nicht eindeutig zu ermitteln, da sie von der Gebäude- und den Verbindungsarten der Bauteile/Bauschichten abhängt. Jedoch können für verschiedene Demontagegruppen Trennschärfen angenähert werden. Die in den *Tabelle 4-9* und *Tabelle 4-10* dargestellten Daten wurden vorerst basierend auf den beobachteten Gebäudeabbrüche geschätzt und können deshalb nicht allgemein für beliebige Gebäude übernommen werden. Nach Abschluss von Aktion 2 werden die Trennschärfen nochmals überprüft und berechnet. Die Entkernung kann nicht als einheitlicher Prozess definiert werden, denn unabhängig von den theoretisch erreichbaren Trennschärfen werden aus Zeit- und Kostengründen bei der Entkernung nicht immer alle Demontagegruppen aus dem Gebäude entfernt. Wie vollständig die Entkernung durchgeführt wird hängt im Einzelfall von Faktoren ab wie der Bauweise des Gebäudes, den Qualitätsanforderungen an das Abbruchmaterial, der Verwertbarkeit der anfallenden Fraktionen, der Trennbarkeit der auszubauenden Bauteile sowie den Zeitaufwand und den Kosten. Deshalb werden für die Trennschärfen Bereiche angegeben, die in der Praxis erreicht werden (*Tabelle 4-10*). Für die Szenarioanalyse in Aktion 8 können für die Modellierung Werte aus diesen Bereichen übernommen werden.

Tabelle 4-9: mögliche Trennschärfen der Entkernung für Demontagegruppen (Schätzung, nach Beobachtungen)

Demontagegruppen	Trennschärfen für Demontagegruppe (%)
Türen	100
Fenster	100
Läden	100
Türrahmen und Fensterrahmen	95
Elektrische Installationen	70 – 95
Sanitäre Installationen	70 – 95
Haustechnik	70 – 95
Innenverkleidungen (Holz) und sonstige Schreinerarbeiten	70 – 90
Verkleidungen unter Decken	70 – 90
Fußleisten	80
Tapeten	0
Boden und Treppenbeläge	95
Zwischenwände Leichtbauweise	80
Putze	0
Spenglerarbeiten (Dachrinnen)	80
Dachabdeckung	90

Tabelle 4-10: Trennschärfen der Entkernung bezogen auf Baumaterialien (Schätzung, nach Beobachtungen)

Fraktion	Trennschärfe (%)
Mineralisch	
Beton	0
Ziegel (Zwischenwände)	50-80
Naturstein	0
Keramik	30-95
Metalle	0-70
Eisen	60-70
Aluminium	30-60
Kupfer	0
Zink	0-70
Blei	
Holz	50-95
Kunststoffe	
PVC	30-60
andere	30-60
Dämmung	60-95
Bitumen	60-95
Glas	80-95

Selektiver Abbruch

Nach der Entkernung folgt der Abbruch des Gebäudes. Entweder geschieht dies durch Demolierung (siehe Kapitel 4.2) oder durch den selektiven Abbruch. Beim selektiven Abbruch wird die nach der Entkernung noch bestehende Gebäudesubstanz maschinell selektiv abgetragen. Ist die Entkernung vollständig durchgeführt worden, so bleiben nur mehr die tragenden (Umfassungs-) Bauteile übrig. Anderenfalls enthält das Gebäude „Störfractionen“, die jedoch durch den selektiven Abbruch nicht entfernt werden können. Im Falle der vollständigen Entkernung werden tragende Stahl- und Holzbauteile sowie die mineralische Fraktion getrennt abgebaut. Die dabei erreichbaren Trennschärfen sind in Tabelle 4-11: dargestellt.



Abbildung 20: Selektiver Abbruch: Abgreifen des Dachstuhls (Bild: RMA)

Tabelle 4-11: Trennschärfen für den selektiven Abbruch (geschätzt, nach Beobachtungen)

Fraktion	Trennschärfen (%)
Mineralisch	
Beton	50-80
Ziegel (Zwischenwände)	50-80
Naturstein	20-50
Metalle	0-20
Holz (tragend)	60
Kunststoffe	0
Dämmung	0

Anfallene Fraktionen

Entkernung

Die Anzahl der anfallenden Fraktionen hängt von der Arbeitstiefe der Entkernung ab. Theoretisch können die in Tabelle 4-8 angeführten Demontagegruppen getrennt erfasst werden. Zerstörungsfrei ausgebaute Teile (Fenster, Türen, Teile der Installationen, Holzbalken usw.) können einer direkten Wiederverwendung zugeführt werden. Andere Baustoffe werden stofflich verwertet (Gebäudetechnik, Metalle), energetisch verwertet (Kunststoffe, behandeltes Holz) oder entsorgt (Dämmwolle, Gipskarton, gefährliche Abfälle).

Die bei den begleiteten Gebäudeabbrüchen durch die Entkernung angefallenen Fraktionen sind in Tabelle 4-12 aufgelistet.

Tabelle 4-12: Bei der Entkernung angefallene Fraktionen

Fraktion	Bauteile		Zahl begleiteter Abbrüche
Wiederverwendung	Türen, Fenster	Wiederverwendung	1
Wiederverwendung	Holz unbehandelt: Holzträger	Wiederverwendung	3
Altmetall- Recycling	Wasserleitungsrohre, Stahlträger Decken, C-Profile Ständerwände	Wiederverwertung	1
Sperrmüll	Bodenbeläge, Hartfaserplatten	Verbrennung	2
Baurestmassen	Heraklit, Dämmwolle, Gipskartonplatten	Baurestmassendeponie	2
Gefährliche Abfälle	Eternitplatten	Deponierung	3
Holz behandelt	Blindböden, Ständerwende, Unterkonstruktion Dachbodenausbau, Fensterstöcke, Türstöcke	Verbrennung	2

Selektiver Abbruch

Beim selektiven Abbruch können die tragenden Holz- und Stahlelemente sortenrein erfasst werden. Die mineralische Fraktion kann jedoch nicht mit 100 %iger Reinheit erfasst werden. Bei der Entkernung nicht erfasste Bauteile oder –Schichten wie Verputz, Estrich, Teile der Gebäudetechnik usw. fallen in dieser Fraktion an. Durch die Größe der eingesetzten Geräte (Abbruchgreifer, Betonscheren) ist die Arbeitsgenauigkeit eingeschränkt und die Bauteile können deshalb nicht mit 100 % iger Genauigkeit voneinander getrennt werden (z.B. Ziegel in der Betonfraktion oder umgekehrt). Im Rahmen der betrachteten Abbrüche wurde der selektive Abbruch nicht durchgeführt; die Gebäude wurden lediglich nach der Entkernung demoliert. Allgemeine quantitative Aussagen über den Zusammenhang zwischen Entkernungstiefe und Qualität des Bauschuttes lassen sich aufgrund der allgemeinen Heterogenität der

Gebäude schwer treffen. Ebenso ist es schwierig, die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens festzustellen. Laut (Rentz, Seemann et al. 2003) ist in den meisten Fällen eine nachfolgende Sortierung und stationäre Aufbereitung kostengünstiger als eine tiefgehende Demontage. Dadurch können aber nicht hohe Materialqualitäten erreicht werden. Deshalb hängt die Entkernungstiefe von der erforderlichen Materialqualität und den erreichbaren Trennleistungen in den darauf folgenden Prozessen ab.

Emissionen

Die bei der Entkernung entstehenden Emissionen beschränken sich bei manueller Arbeit auf Lärm- und Staubemissionen. Im Fall der maschinellen Entkernung kommen die Emissionen der eingesetzten Maschinen dazu. Beim selektiven Abbruch rechnet man aufgrund der schonenderen Arbeitsweise mit weniger Lärm- und Staubemissionen als bei der Demolierung, der Maschineneinsatz dauert jedoch länger.

Kosten und Aufwand

Ob ein Bauteil im Rahmen der Entkernung ausgebaut oder im Gebäude verbleibt hängt primär von den Kosten des Ausbaus ab. Da in der Praxis die meisten Entkernungsarbeiten manuell erfolgen, sind die Kosten für die Entkernung eher hoch. *Tabelle 4-13* zeigt den Zeitaufwand für verschiedene Entkernungsarbeiten. Als Quelle dienen (Rentz, Ruch et al. 1994), (Rentz, Ruch et al. 1998) und eigene Beobachtungen; *Tabelle 4-14* zeigt Leistungskennwerte und Kosten des manuellen Abtragens.

Tabelle 4-13: Aufwand für Entkernungsarbeiten und selektiven Abbruch (Rentz, Ruch et al. 1994), (Rentz, Ruch et al. 1998)

Demontagegruppen	Zeitaufwand für Entkernungsarbeiten [h]	Einheit
Türen	0,15	Stück
Fenster	0,2	Stück
Läden	0,15	Stück
Türrahmen	0,15	Stück
Fensterrahmen	0,1	Stück
Elektrische Installationen	0,006	m ³ BRI
Sanitäre Installationen	0,002	m ³ BRI
Innenverkleidungen (Holz)	0,1	Stück
Verkleidungen unter Decken	0,03	m ²
Fußleisten	0,03	m (Länge)
Tapeten	0,01	m ²
Boden und Treppenbeläge	0,055	m ²
Zwischenwände Leichtbauweise	1	Stück
Putze (Versuche mit Hochdruckwasserstrahlverf.)	zw. 0,17 und 0,48	m ²
Spenglerarbeiten (Dachrinnen)	0,02	m (Länge)
Dachabdeckung (Dachziegel)	0,09	m ² Dachfl.
Dachstuhl	0,27	m ² Dachfl.
Decke	0,5	m ²
Treppe (Holz)	4	Stockwerk
Mauerwerk	0,35	m ²
	2,4	m ³
Kellerwände	0,14	m ²

Tabelle 4-14: Leistungskennwerte und Kosten des manuellen Abtragens

Technik	Baumaterialien / Gerät	Leistungskennwerte [m ³ /h]	Kosten [€/m ³]	Anmerkung
Abtragen (manuell)	Mauerwerk	0,2 – 0,6	30,7 – 143	pro Arbeitskraft mit Gerät
	Beton	0,2 – 0,45	66,5 – 220	
	Stahlbeton	0,06 – 0,25	107,4 - 665	
Demontage	Fertigteile	Abhängig von der Konstruktionsweise des Bauwerkes		

4.3 Manuelle Sortierung auf der Baustelle

Die manuelle Sortierung auf der Baustelle erfolgt im Anschluss an den Abbruch. Dabei werden aus dem Bauschutthaufen händisch oder mittels Bagger oder Sortiergreifer Störstoffe aussortiert. Die Trennleistung dieser Methode ist nicht sehr hoch, denn eine Vermischung der Fraktionen beim Abbruch führt zwangsläufig zu Verunreinigungen derselben, die durch eine nachträgliche manuelle Sortierung nicht zu beseitigen sind. Nichtsdestotrotz wird diese Methode häufig angewendet, vor allem bei Abbrüchen die nicht oder nur zum Teil selektiv erfolgen.

Voraussetzung für die Durchführbarkeit der manuellen Sortierung ist, dass auf der Baustelle genügend Platz vorhanden ist. Dazu müssen die entsprechenden Mulden zur Verfügung gestellt und deren rechtzeitiger Abtransport koordiniert werden. (Poon und Yu 2001) zeigen dass der zur Verfügung stehende Platz der entscheidende Faktor für die Sortierung auf der Baustelle ist. Allerdings weist zeigen dass die nachträgliche Sortierung des Bauschutts im Vergleich zur Trennung während des selektiven Rückbaus die niedrigste Effizienz auf (Poon und Yu 2001). Alternativ zur Sortierung auf der Baustelle kann bei stationären Anlagen am Leseband händisch sortiert werden. Um die Arbeiter zu entlasten werden in diesem Bereich automatisierte Verfahren entwickelt, die sich jedoch in der Praxis nicht durchsetzen konnten.

4.3.1 Verfahren der manuellen Sortierung

4.3.1.1 Händische Sortierung

Die händische Sortierung kann direkt nach dem Abbruch erfolgen. Da in diesem Fall die Zugänglichkeit des Bauschutts eingeschränkt ist, kann auch während dem Abbruch sortiert werden. In diesem Fall stehen die Abbruchgeräte alle 5 – 15 Minuten still und die Arbeiter sortieren die Fremdstoffe aus dem angefallenen Bauschutt (Rentz, Seemann et al. 2003). Diese werden entweder händisch weggetragen oder auf die Baggerschaufel bzw. Sortiergreifer gelegt und in die entsprechenden Mulden entsorgt. Händisch können Stückgrößen von bis zu 10 kg sortiert werden (Rentz, Seemann et al. 2003).

4.3.1.2 Maschinelle Sortierung auf der Baustelle

Für die Sortierung auf der Baustelle werden auch Bagger oder Sortiergreifer eingesetzt. Diese eignen sich vor allem für die Entfernung größerer oder schwerer Bauteile aus dem Bauschutt, wie z.B. Holzbalken, Stahlträger, Heizkörper, Rohrleitungen, Betonteile usw.

4.3.1.3 Händische Sortierung am Leseband

Stationäre Aufbereitungsanlagen verfügen über Lesebänder, an denen die Arbeiter direkt Störstoffe ausklauben. Es werden eher kleinere Partikel abgetrennt, vor allem Holz und Kunststoff. Wie bei der händischen Sortierung auf der Baustelle, eignet sich dieses Verfah-

ren nicht für mineralische Bestandteile, wie z.B. Gipsplatten. Die Arbeiter müssen entsprechende Schutzkleidung tragen. Um sie zu entlasten, werden automatisierte Sortierverfahren entwickelt, bei denen die Funktion der Arbeiter am Leseband immer mehr der Qualitätskontrolle dient. (Nicolai 1993)

4.3.2 Kennzahlen der Sortierung

Die Festlegung der Kennzahlen für den Prozess „Sortierung auf der Baustelle“ ist schwieriger als bei anderen Prozessen, da Trennschärfen und Aufwand vor allem von der Zusammensetzung und Art der Bauteile des Gebäudes sowie vom Separierungsgrad beim Abbruch abhängen. Da im Rahmen der betrachteten Abbrüche lediglich auf einer Baustelle der Bau-schutt nachträglich manuell sortiert wurde, stammen die folgenden Ergebnisse vorwiegend aus der Literatur. Die Kennzahlen sind Mittelwerte von durchgeführten Untersuchungen. Laut (Rentz, Seemann et al. 2003) schwanken die Einzelwerte der Untersuchungen vor allem aufgrund von zwei Tatsachen: Einerseits sind Störstoffe oft von mineralischem Material verdeckt und können somit nicht erkannt werden, andererseits werden mit fortschreitender Sortierdauer immer weniger Fremdstoffe gefunden, die Sortiergeschwindigkeit nimmt somit ab.

4.3.2.1 Trennschärfe

Tabelle 4-15 zeigt mögliche Trennschärfen der manuellen Sortierung auf der Baustelle für verschiedene Bauteile. Die Werte wurden von (Rentz, Seemann et al. 2003) im Rahmen von begleiteten Gebäudeabbrüchen an vier Standorten ermittelt.

Tabelle 4-15: Trennschärfen für die Sortierung auf der Baustelle nach (Rentz, Seemann et al. 2003)

Bauteil	Trennschärfe (%)	Ressource
Türen	50 – 60	Händisch / Bagger
Fenster		
Fensterbank Holz	75	Händisch / Bagger
Türrahmen	75	Händisch / Bagger
Fensterrahmen	50 / 75	Händisch / Bagger
Elektrische Installationen:		
Kabel	50	Händisch / Bagger
Verteilerkasten	25	Händisch / Bagger
Sanitäre Installationen:		
Rohrleitungen	10	Händisch / Bagger
Heizanlagen/Heizkörper	10	Händisch / Bagger
WC Sitz / Keramik	35	Händisch / Bagger
Verkleidungen unter Decken (Stroh, Gips, Polystyrol)	0	Nicht möglich
Dämmwolle (Glasfaser, Holzwolle Leicht- bauplatten)	0	Nicht möglich
Fußleisten	40 – 50	Händisch / Bagger
Tapeten	0	Nicht möglich
Boden (Holz)	75	Händisch / Bagger
Estrich	0	Nicht möglich
PVC und Teppichboden	60	Händisch / Bagger
Zwischenwände Leichtbauweise (Holz)	90	Händisch / Bagger
Putze	0	Nicht möglich
Dachbeläge (Dachpappe)	0	Schadstoffhältig
Treppen	80	Händisch / Bagger
Decke (Holzbalkendecke)	95/75	Händisch / Bagger
Treppe (Holz)	80	Händisch / Bagger

4.3.2.2 Kosten/ Aufwand

In *Tabelle 4-16* wird der zeitliche Aufwand für die Sortierung von Fremdstoffen bezogen auf Bauteile dargestellt. *Tabelle 4-16* hingegen zeigt Aufwand und Kosten für die Sortierung bezogen auf Baumaterialien.

Tabelle 4-16: Sortierdauer für das Trennen von Stör- und Fremdstoffen aus dem Abbruchmaterial auf der Baustelle (Rentz, Seemann et al. 2003)

Bauteil	Sortierdauer [kg/min.]	
Türen	5	Händisch / Bagger
Fenster		
Fensterbank Holz	5	Händisch / Bagger
Türrahmen	5	Händisch / Bagger
Fensterrahmen	5	Händisch / Bagger
Elektrische Installationen:		
Kabel	0,5	Händisch / Bagger
Verteilerkasten	0,5	Händisch / Bagger
Sanitäre Installationen:		
Rohrleitungen	1,2 (Stk)	Händisch / Bagger
Heizanlagen/Heizkörper	0,25 (Stk)	Händisch / Bagger
WC Sitz / Keramik	2,2	Händisch / Bagger
Verkleidungen unter Decken (Stroh, Gips, Polystyrol)	0	Nicht möglich
Fußleisten	0,43-1,2	Händisch / Bagger
Tapeten	0	Nicht möglich
Boden (Holz)	5	Händisch / Bagger
Estrich	0	Nicht möglich
PVC und Teppichboden	1	Händisch / Bagger
Zwischenwände Leichtbauweise (Holz)	5	Händisch / Bagger
Putze	0	Nicht möglich
Dachbeläge (Dachpappe)	0	Schadstoffhältig
Treppen	150	Händisch / Bagger
Decke (Holzbalkendecke)	105	Händisch / Bagger

Tabelle 4-17: Sortierdauer für Stör- und Fremdstoffe baumaterialbezogen (Rentz, Seemann et al. 2003)

Baumaterial	Sortierdauer [kg/min.] (Mittelwert)
Händisches Sortieren	
Holz [kg/min]	
Kleinteile	2,02
Kleine Bretter (bis 0,9 x 0,1m)	4,7
Große Bretter (ab 0,9 x 0,1m)	10,32
Kleine Balken (bis 0,9x0,1x0,1m)	29,21
Große Balken (ab 0,9x0,1x0,1m)	40
Heraklit	8,16
Sortieren mit Sortiergreifer	
Holz [kg/min]	
Große Bretter (ab 0,9 x 0,1m)	24,59
Kleine Balken (bis 0,9x0,1x0,1m)	29,41
Große Balken (ab 0,9x0,1x0,1m)	113,75
Rohrleitung (Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft) 2,5m [Stk/min]	3,77
	2,38
Kabel [Stk/min]	
Mineralisches Material [kg/min]	371,72
Gesteinsbrocken Beton (0,064 m³)	212,02
Mauerwerk (0,032 m³)	

4.3.2.3 Produkte / anfallende Fraktionen

Wie man an den Trennschärfen in *Tabelle 4-15* erkennt, können durch manuelle Nachsortierung auf der Baustelle alleine keine sortenreinen mineralischen Fraktionen hergestellt werden. Die Qualität der mineralischen Fraktion hängt vielmehr von der Art des Rückbaus ab, wo die anderen Fraktionen gezielter und besser erfasst werden können. Laut (Poon und Yu 2001) können bei der Separation direkt nach dem Ausbau der Bauteile rund 70 % der abzutrennenden Abfälle erfasst werden, während bei einer Nachsortierung lediglich 50 % erfasst werden können. Es empfiehlt sich deshalb eine sinnvolle Kombination beider Verfahren anzuwenden, wobei zu beachten ist, dass mit sinkendem Fremdstoffanteil im Bauschutt die manuelle Sortierleistung abnimmt. Wie *Tabelle 4-17* zeigt, hängt die Sortierleistung stark von

der Größe der auszusortierenden Bauteile ab. Die höchste Leistung zeigt sich bei der Sortierung mit Sortiergreifer für große Holzbalken und Gesteinsbrocken. Große Balken und anderes sperriges Material sollten, falls sie nicht beim Rückbau getrennt erfasst wurden, auf der Baustelle nachsortiert werden, denn sie erschweren das Verladen, den Abtransport und die weitere Aufbereitung der Baurestmassen. Vor allem beim Abbruchholz empfiehlt sich eine Sortierung an der Baustelle, denn nur an der Quelle kann ihre Herkunft und damit ihre potentielle Schadstoffbelastung bestimmt werden (Pladerer 2004).

4.4 Bauschutttaufbereitung

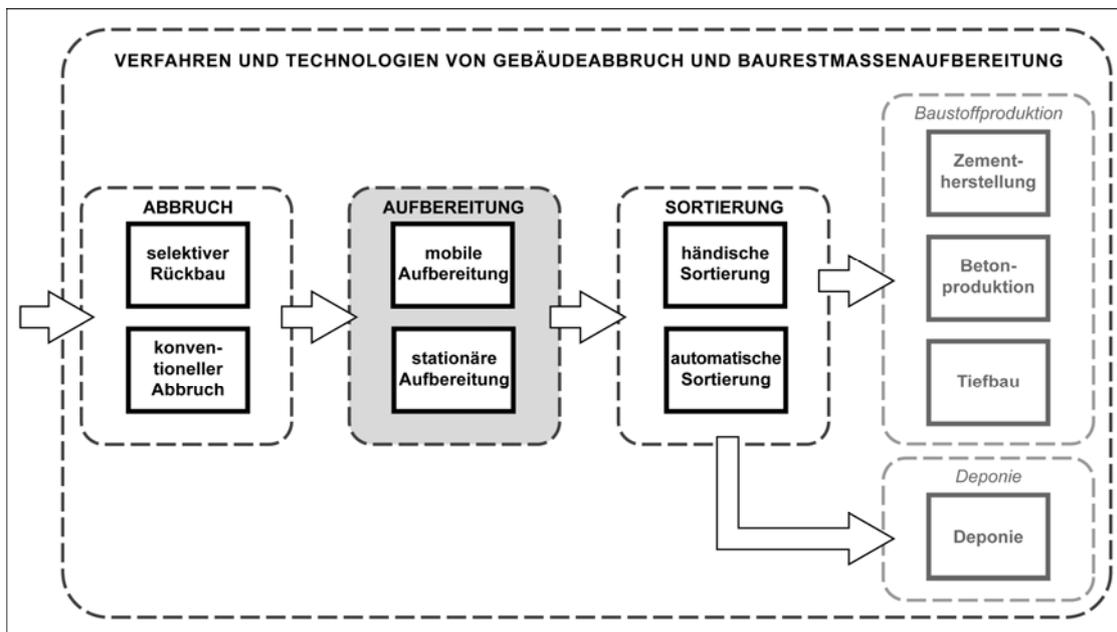


Abbildung 21: Schematische Darstellung des Gebäudeabbruchs – Prozess Aufbereitung

Neben dem Gebäudeabbruch ist die Bauschutttaufbereitung der zentrale Prozess der Baurestmassenwirtschaft. Grundsätzlich erfüllt die Aufbereitung drei Funktionen:

1. Die Zerkleinerung des mineralischen Materials, die vor allem die technischen Eigenschaften der Recyclingbaustoffe beeinflusst,
2. Die Abtrennung von Fremd- und Stör- und Wertstofffraktionen, die die Sortenreinheit und somit die Umweltqualität der Recyclingbaustoffe beeinflusst und
3. Die Klassierung der mineralischen Fraktionen an sich durch Siebung, zur Trennung von Fraktionen oder zur Herstellung von technisch geeigneten Sieblinien; zusätzlich kann durch Siebung auch die Sortenreinheit gewisser Fraktionen in Bezug auf Fremdstoffe beeinflusst werden.

Der Grad der Aufbereitung und die dafür eingesetzten Technologien hängen primär von den Anforderungen an die Produkte ab, die wiederum von den gesetzlichen Regelungen und ihrem Marktwert abhängen. Zweitens werden sie von der Menge, Art und Beschaffenheit der Aufgabegüter im Einzugsgebiet der Anlage bestimmt und des weiteren von den örtlichen Gegebenheiten wie zur Verfügung stehender Platz, Verkehrsanbindung, Umwelt- und Anliegerbelange (Nickel 1996).

Die eingesetzten Technologien der Aufbereitung von Baurestmassen sind hauptsächlich adaptierte Verfahren aus anderen Sektoren der Bau- und Abfallwirtschaft. Die Zerkleinerungs- und Siebtechnik kommt aus der Aufbereitung mineralischer Primärrohstoffe, während vor allem maschinelle Sortiertechnologien für die Separation anderer Abfallströme entwickelt wurden. Der Stand der Technik der Aufbereitungstechnologien gilt zwar als ausgereift und

erprobt (Engelbrecht und Windner 2009), (Rentz, Seemann et al. 2003), jedoch stoßen viele dieser Verfahren an die Grenzen der ökonomischen Machbarkeit, da die Materialien für die sie entwickelt wurden (mineralisches Primärmaterial, verschiedene Altstoffe wie Glas oder Papier) derzeit einen höheren Marktwert haben als Recyclingbaustoffe. Das technologische Potential der theoretisch zur Verfügung stehenden Verfahren wird deshalb nur zum Teil ausgeschöpft. Für die Bauschutttaufbereitung kommen in Österreich in den meisten Fällen lediglich die Zerkleinerung, die Siebung und als Sortierverfahren die Magnetabscheidung zum Einsatz. Dadurch ist die Abtrennung vieler Störfractionen, Wert- und Schadstoffen nicht möglich, was sich negativ auf die erzielbare Materialqualität auswirkt. In einigen Einzelfällen werden jedoch leistungsfähigere Sortierverfahren eingesetzt (Windsichtung, sensorgestützte Verfahren).

Im Folgenden werden zunächst die verschiedenen Anlagentypen beschrieben und deren Vorzüge und Nachteile angeführt. Des Weiteren wird auf die Komponenten, aus denen diese Anlagen bestehen, detailliert eingegangen. In Aktion 8 werden für die Darstellung verschiedener Szenarien der Baurestmassenwirtschaft diese Komponenten unterschiedlich miteinander kombiniert, um verschiedene Anlagentypen und –kombinationen darzustellen.

Kennzahlen der einzelnen Aggregate

Da die Funktionen der einzelnen Aggregate unterschiedlich sind, werden in den folgenden Abschnitten nicht für alle Komponenten dieselben Kennzahlen angeführt. Vielmehr werden am Ende von Kapitel 4.4 Kennzahlen für gesamte Anlagen oder Anlagenkonfigurationen festgelegt.

4.4.1 Anlagentypen

Die Unterscheidung zwischen verschiedenen Anlagentypen erfolgt nach ihrer Mobilität. Die übliche Einteilung sieht drei Anlagentypen vor: mobile, semimobile und stationäre Anlagen. Mobile Anlagen sind auf Raupen oder Räder montiert und können ohne weiteres bewegt werden. Semimobile Anlagen sind auf Kufen errichtet und können über kurze Entfernungen gezogen werden (Wörner 1989). Sie bestehen üblicherweise aus mehr Komponenten als die mobilen Anlagen. Stationäre Anlagen sind standortgebunden und können deshalb komplexer ausgebaut werden als die anderen Anlagentypen. Sie können aus einer oder mehreren Brechstufen, mehreren Siebstufen sowie Verfahren zur Sortierung (Windsichtung, Nassaufbereitung, sensorgestützte Verfahren, Sortierband) bestehen. Diese Einteilung der Aufbereitungsanlagen betrachtet ihre Bauweise. Für die Praxis ausschlaggebend ist aber vielmehr ihre genehmigungsrechtliche Einteilung. Demnach gilt in Österreich eine Anlage als mobil, wenn sie nicht mehr als 100 Stunden in einer Baustelle eingesetzt wird, ansonsten gilt sie als stationär. In den folgenden Abschnitten werden folgende Anlagentypen untersucht:

1. Mobile Anlagen
2. Stationär betriebene mobile Anlage
3. Stationäre Anlage

4.4.1.1 Mobile Aufbereitungsanlagen

Mobile Aufbereitungsanlagen sind einfacher gestaltet als stationäre. Sie bestehen aus einer Aufgabereinheit, einer Brechstufe, einer Magnetabscheidung und einer Nachsiegung. Zudem kann auch eine Vorsiebung eingebaut sein, und in manchen Fällen führt ein Förderband den Siebüberlauf der Nachsiegung zurück in die Aufgabereinheit. An diesem Band können Störstoffe manuell aussortiert werden (Feichtinger 2009). Möglich ist auch die Integration einer Windsichtung in die mobile Aufbereitungsanlage (Hanisch 1998), was aber in der Praxis kaum vorkommt. Zerkleinerungsaggregat ist bei den mobilen Anlagen meist der Prallbrecher. Mobile Aufbereitungsanlagen werden in zwei (Gewichts-)Klassen eingeteilt: einerseits die kleineren Kompaktanlagen, die bis zu 25 bzw. 30 t wiegen und einen Durchsatz von bis zu 200 t/h haben, andererseits größere Kompaktanlagen die bis zu 90 bzw. 100 t wiegen und Durchsätze von bis zu 500 bzw. 700 t/h schaffen. Die Anlagengröße wird je nach Baustelle und aufzubereitende Materialmenge bestimmt. Vorteil der Kompaktanlagen bis zu 25 t ist, dass sie mit einem Tieflader ohne Sondergenehmigung und Begleitfahrzeug transportiert werden können und dass die Inbetriebnahme auf der Baustelle sehr rasch erfolgt (ab 15 Minuten) (Engelbrecht und Windner 2009), was sich für den Kunden kosten- und zeitsparend auswirkt. Wie schon der Name besagt, halten sich die Maße der Kompaktanlagen in Grenzen, was einen Einsatz bei eingeschränkten Platzverhältnissen ermöglicht. Die Wirtschaftlichkeit von Kompaktanlagen nimmt wegen dem eingeschränkten Materialdurchsatz mit zunehmender aufzubereitender Materialmenge ab. Ab einer gewissen Materialmenge werden größere mobile Anlagen eingesetzt. Diese werden für den Transport auf einen oder mehrere getrennte Sattelaufleger montiert, manche können im Betrieb durch integrierte Stützen standsicher aufgestellt werden.



Abbildung 22: mobile Aufbereitungsanlage in Betrieb (Bild: TU Wien)

4.4.1.2 Stationär betriebene mobile Aufbereitungsanlagen

Baustoffrecycling- Unternehmen setzen oft mobile Anlagen an ihren Standorten ein. Diese werden faktisch als stationäre Anlagen betrieben und eingestuft. Es sind meistens mobile Anlagen der höheren Gewichtsklassen mit Materialdurchsätzen zwischen 200 und 700 t/h. Der Vorteil mobiler Anlagen gegenüber den unbeweglichen stationären Anlagen ist, dass diese im Betriebsgelände beliebig versetzt und ausgerichtet werden können. Vom technologischen Standpunkt her sind diese Anlagen nicht als stationär anzusehen, da die Abscheideleistungen die einer mobilen Anlage bleiben. Lediglich durch den Zubau weiterer Aggregate (Sortierband, Nass- oder Trockenaufbereitung) kann ihre Leistung in Hinblick auf die Materialqualität erhöht werden.

4.4.1.3 Stationäre Aufbereitungsanlagen

Stationäre Anlagen stehen auf festen Fundamenten und sind meistens überdacht, in manchen Fällen eingehaust. Sie haben höhere Kapazitäten als mobile Anlagen, durch die Kombination mehrerer Aggregate können höhere Materialqualitäten erzielt werden. Die Aufgabeneinheiten für stationäre Anlagen können in Bunkerform ausgeführt werden und in diesem Fall direkt per Aufgabe mit LKW beschickt werden (Kohler 1997). Um höhere Anlagenleistungen bezüglich Qualität und Quantität der Produkte zu erreichen, kann die Brechstufe doppelt ausgeführt werden. Vor allem bei größeren Betonteilen wird das Material mit einem Backenbrecher vorgebrochen und in einem Prallbrecher nachgebrochen. Da die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitungsanlagen sehr stark von der Abnutzung der Brecheinheiten abhängt, empfiehlt es sich, eine Siebstufe sowie einen Überbandmagneten zwischen den Brechern zu schalten (Kohler 1997). Großformatige Störstoffe werden in einer Handlesestation entfernt. Diese kann vor oder nach der ersten Brechstufe angebracht werden. Die Sortierung der restlichen Störstoffe erfolgt mittels Nass- oder Trockenverfahren (Windsichtung), wobei sich in der Praxis die trockene Aufbereitung durchgesetzt hat. Durch den Einbau mehrerer Siebstufen kann das Material in eine beliebige Anzahl von Fraktionen klassiert werden. Das Überkorn wird zum Brecher zurückgeführt und die restlichen Fraktionen zu einem verdichtungsfähigen Material vermengt. Die Wirtschaftlichkeit stationärer Recyclinganlagen hängt stark vom Aufkommen an Baurestmassen im Einzugsgebiet der Anlage. Laut (Hanisch 1998) ist dies der Fall ab 50.000 t/a (Krischke 2010).

4.4.1.4 Vor- und Nachteile der Anlagentypen

Die Auswahl der geeigneten Aufbereitungsanlage hängt von verschiedenen Kriterien ab, die je nach Standort sehr unterschiedlich ausfallen können. Das prognostizierte Mengenaufkommen, die Art der Eingangsmaterialien, die Größe des Einzugsgebietes, die mögliche Aufstellungsfläche sowie die geforderte Qualität der Produkte bestimmen Typ und Zusammensetzung der Anlage, wobei eine Tendenz besteht in Richtung raupenmobile Anlagen, die sich autark auf der Baustelle bewegen können (Zibulski 2004). In *Tabelle 4-18* werden Vor- und Nachteile mobiler und stationärer Recyclinganlagen angeführt.

Tabelle 4-18: Vor- und Nachteile mobiler und stationärer Bauschuttrecyclinganlagen (Bucher 2004), (Bilitewski, Gewiese et al. 1995), (Dress 1989), (Rentz, Seemann et al. 2003).

Mobile Aufbereitungsanlagen	
Vorteile	Nachteile
Flexibilität und Mobilität des Einsatzes	Meistens nur ein – zwei Produkte möglich
Geringe Transportkosten für Bauschutt bei Wiederverwertung vor Ort	Geringere Produktqualität
Wirtschaftlich bei kleinen Materialmengen	Umweltbelastung durch Lärm und Staub
Geringere Investitionskosten, kein Grundstückserwerb nötig	Hohe Betriebskosten für An- und Abtransport, Auf- und Abbau der Anlage
Stationäre Aufbereitungsanlagen	
Individuelle Anpassung des Anlagenkonzeptes	Transporte für Anlieferung
Bessere Produktqualität möglich	Wirtschaftlichkeit abhängig von der Versorgung mit Abbruchmaterial
Größere Zwischenlagerflächen möglich	Genehmigungsrechtlich aufwendig
Zwischenlagerung bei Absatzstockungen	Hohe Investitionen, Grundstück notwendig
Keine Umsetzkosten	Hoher Platzbedarf für die Lagerung der Endprodukte
Verminderte Umweltbelästigung möglich	

4.4.2 Anlagenkomponenten

Wie bereits angesprochen bestehen Bauschuttrecyclinganlagen aus verschiedenen Komponenten, die die am Anfang von Kapitel 4.4 angeführten Funktionen, nämlich Zerkleinerung, Sortierung und Klassierung, erfüllen. *Tabelle 4-19* zeigt einen Überblick über die wichtigsten Anlagekomponenten und ihre Funktionen.

Tabelle 4-19: Anlagenkomponenten

Anlagenkomponenten
Zerkleinerung: Brecher
Sortierung: Überbandmagnet Handlesestationen Trockenverfahren Nassverfahren (Weitere Technologien - sensorge- stützte)
Klassierung Vorabsiebung Produktsiebung

4.4.2.1 Zerkleinerung

Für die Zerkleinerung werden verschiedene Brechertypen eingesetzt. Anforderungen bestehen hinsichtlich der technischen Materialeigenschaften (Kornform, Feinkornanteil) des Durchsatzes und des Verschleißes, da der Brecher die Komponente ist, bei der die Verschleißkosten am höchsten sind. Problematisch bei der Zerkleinerung sind die Heterogenität des Eingangsmaterials und die darin enthaltenen Störfractionen. Der Verschleiß bei Recyclinganlagen ist viel höher als bei der Primärrohstoffaufbereitung, weshalb diese stabiler gebaut werden müssen (Plomberger und Schmitt 2009).

Der Backenbrecher

Backenbrecher beanspruchen das Material sowohl durch Druck als auch durch Scherung. Der Zerkleinerungsfaktor ist eher niedrig (max. 7), somit ist auch der Feinkornanteil gering und reicht für ein verdichtungsfähiges Material kaum aus (Kohler 1997). Die Kornform ist länglich „fischig“ und die Durchsatzleistung im Vergleich zum Prallbrecher gering (Feichtinger 2009). Vorteilhaft auf die Betriebskosten wirkt sich der geringe Verschleiß aus; die Brecherbacken werden ca. einmal jährlich bzw. alle 200.000 t gewechselt (Hechinger 2010). Der Backenbrecher eignet sich deshalb für harte Materialien, große Aufgabestückgrößen (bewehrter Beton) oder zur Vorzerkleinerung bei zweistufigen Anlagen zur Entlastung des zweiten Brechers.

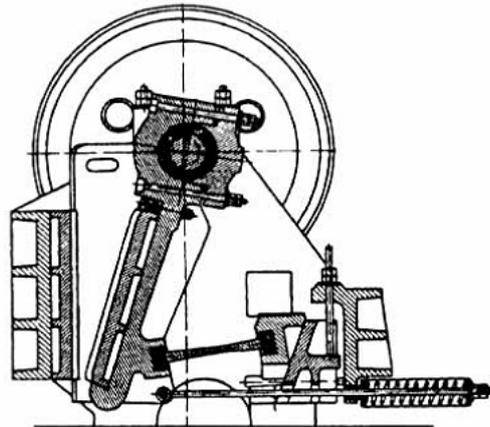


Abbildung 23: Backenbrecher (Zibulski)

Der Prallbrecher

Prallbrecher sind die im Bauschuttrecycling am häufigsten eingesetzten Zerkleinerungsaggregate (Zibulski 2004), (Feichtinger 2009). Das Material wird durch Prall gegen die Pralleisten zerkleinert. Abhängig von der Drehzahl, Anzahl und Einstellung der Schlagleisten, Prallschwingen und Aufgabegut, kann der Zerkleinerungsfaktor Werte zwischen 20 und 50 erreichen (Rentz, Seemann et al. 2003), (Kohler 1997). Dementsprechend ist auch der Feinkornanteil hoch. Durch unterschiedliche Einstellung der Schlagleisten und Prallschwingen können Materialien unterschiedlicher Qualität hergestellt werden. Generell haben die Produkte eine kubische Kornform und der Durchsatz eines Prallbrechers ist um 50 bis 60 % höher als der eines Backenbrechers der gleichen Größe (Feichtinger 2009). Der Verschleiß ist jedoch hoch; somit ergeben sich höhere Betriebskosten, vor allem beim Brechen von harten Materialien. Eingesetzt wird der Prallbrecher vor allem bei einstufigen Anlagen und als zweite Brecheinheit bei zweistufigen Anlagen.

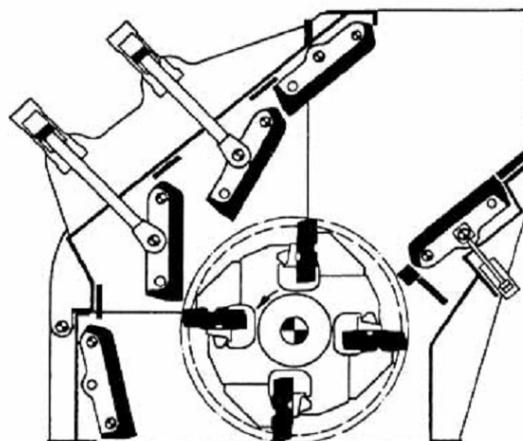


Abbildung 24: Prallbrecher (Zibulski)

Kegelbrecher

Kegelbrecher zerkleinern im Einlauf drückend und am Auslauf schlagend. Der maximal erreichbare Zerkleinerungsfaktor liegt bei 25, der Feinkornanteil bei ca. 30 – 40 %. Da Kegelbrecher sehr sensibel auf Störstoffe reagieren, werden sie im Bauschuttrecycling kaum eingesetzt (Feichtinger 2009).

Schlagwalzenbrecher

Ein Kratzkettenförderer führt das Material dem horizontal arbeitenden Schlagwalzenbrecher zu und dient als Widerlager für den Brechvorgang. Da das Material durch den Brecher in gleichbleibender Richtung gefördert wird, ist der Schlagwalzenbrecher besonders für das Vorbrechen großer Stahlbetonteile geeignet (Rentz, Seemann et al. 2003). Die Fördergeschwindigkeit und die Höhe der Schlagwalze können je nach Belastung der Schlagwalze gesteuert werden, (Bilitewski, Gewiese et al. 1995), wodurch der Brechvorgang optimiert werden kann.



Abbildung 25: Schlagwalzenbrecher (Zibulski)

Vergleich verschiedener Brechertypen

Die entscheidenden Kriterien für die Auswahl des Brechers sind der Durchsatz, der Verschleiß und die Störanfälligkeit sowie die Kornform und Sieblinie des Produktes. In der Praxis des Bauschuttrecyclings haben sich vor allem der Prall- und der Backenbrecher durchgesetzt, wobei der Prallbrecher dominant ist. Bei zweistufigen Anlagen wird meist einem Prallbrecher ein Backenbrecher vorgeschaltet, was die Vorteile beider Brechertypen vereint und den Verschleiß des Prallbrechers reduziert. Tabelle 4-20 zeigt Vor- und Nachteile verschiedener Brechertypen.

Tabelle 4-20: Vergleich verschiedener Brechertypen (Kohler 1997), (Rentz, Seemann et al. 2003).

Parameter	Backenbrecher	Prallbrecher	Kegelbrecher	Schlagwalzenbrecher
Beanspruchung	Druck	Prall	Druck u. Schlag	Druck und Prall
Zerkleinerungsverhältnis	1 : 7	1 : 20 – 50	1 : 15 - 25	1 : 7
Festigkeit der Aufgabematerialien	500 MPa	300 MPa	500 MPa	200 MPa
Feuchtigkeit	≤ 5	≤ 8	≤ 5	≤ 15

Vorteile	-Robuste Konstruktion, wenig störanfällig -verschleißarm -geeignet für hartes Gestein -geringe Staubentwicklung -geringer Schallpegel -geringer Energiebedarf	-Günstiges Zerkleinerungsverhältnis -gute Kornform der Endprodukte -hoher Durchsatz -für alle Bauschuttarten einsetzbar	-kubische Kornform erzielbar -geringe Staubentwicklung -geringer Energiebedarf	-ebenerdige Beschickung -leichte Umsetzbarkeit -geringe Bauhöhe -geringer Energiebedarf
Nachteile	-ungünstiges Zerkleinerungsverhältnis -ungünstig, plättige Form des Aufgabegutes	-hoher Verschleiß -u.U. zuviel Kleinkorn -empfindlich gegen Störstoffen	-empfindlich gegen Verunreinigungen -eingeschränkte Aufgabestückgröße	-Verschleißkosten höher als Backenbrecher, niedriger als Prallbrecher -keine verkaufsfähigen Endprodukte

4.4.2.2 Klassierung

Bei der Klassierung werden das Eingangsmaterial oder die Produkte durch Siebe in Kornklassen geteilt.

Vorabsiebung

Die Vorabsiebung der Feinfraktion des Eingangsmaterials entlastet einerseits bedeutend die Zerkleinerungsaggregate, andererseits kann damit der Durchsatz erhöht werden, da ein Teil des Materials nicht durch den Brecher geleitet wird. Es werden Roste, Schwing- oder Vibrationssiebe eingesetzt. Für die Abtrennung von bindigen Materialien können Fingersiebe eingesetzt werden, die platzsparend sind aber längliche Störstoffe durchlassen (Plomberger und Schmitt 2009). Die Siebe müssen widerstandsfähig sein, da oft große Materialbrocken vom Radlader direkt aufgegeben werden. Die Vorabsiebung wird standardmäßig bei allen stationären und größeren mobilen Anlagen eingebaut, bei Kompaktanlagen fehlen sie oft aus Platzgründen.

Nachsiebung

Im Anschluss an den Brechvorgang wird das Material in die gewünschten marktfähigen Kornklassen aufgetrennt, während das Überkorn zum Zerkleinerungsaggregat zurückgeführt wird. Bei der Nachsiebung treten geringere Belastungen für die Siebe auf; es werden deshalb meist leistungsfähige Schwingsiebe eingesetzt (Rentz, Seemann et al. 2003). Zum Teil werden Kunststoffsiebe eingesetzt, die zusätzlich zur Schwingbewegung durch lineare Bewegung „gefaltet und gestreckt werden“ (Anibas, Helfried et al. 2010). Diese zeichnen sich aus durch geringe Abnutzung, eine bessere Durchmischung des Siebgutes und einen höheren Materialdurchsatz von bis zu einigen 100 t/h aus. Die Lebensdauer der Kunststoffmatten kann zwischen 2.000 und 3.000 Stunden betragen.

Kennzahlen

Trennschärfe

Allgemeine Trennschärfen können für Siebanlagen nicht festgelegt werden, da die Trenngrade mit den stofflichen Eigenschaften des Materials, dem Siebtyp, den Betriebsparametern und den Umweltbedingungen (z.B. Luftfeuchtigkeit) stark schwanken (Rentz, Seemann et al. 2003). (Nicolai 1993) ermittelt dennoch Trennungen von Bauschutt mit weniger als 15 % Unterkorn- und weniger als 10 % Überkornanteil bei Anpassung der Siebeläge. Zusätzlich zur Klassierung hat die Siebung Effekte auf Sortierung, Stör- und Schadstoffabscheidung. Einerseits gelangt ein hoher Anteil der Leichtfraktion, der im Zerkleinerungsaggregat nicht gebrochen wird, in die Überkornfraktion und kann somit leichter manuell aussortiert werden. Trennschärfen für diesen Effekt sind jedoch auch schwierig zu ermitteln, da sie von der Korngrößenverteilung dieser Störfractionen abhängen, die stark schwanken können. Andererseits ermitteln (Schachermayer, Lahner et al. 1997) dass sich Schadstoffe vor allem in der Feinfraktion (0/4 mm bzw. 0/8 mm) des Bauschutts anreichert. Durch Absiebung und Abtrennung der Feinfraktion kann deshalb ein erheblicher Teil der Schadstoffe aus dem Recyclingmaterial entfernt werden.

Anfallende Fraktionen / Produkte

Bei der Vorabsiebung wird meistens die Fraktion 0/32 mm abgetrennt. Eine Sandabsiebung von kann von dieser die Fraktion 0/5 mm abtrennen, was die beiden Produkte vermarktungsfähiger als die Fraktion 0/32 macht (Kohler 1997). Die gängigen Kornklassen, die bei der Nach- oder Produktsiebung hergestellt werden sind die Fraktionen 0/32 mm, 0/63 mm und 32/63 mm (Hechinger 2010). Das Übekorn wird entweder zum Brecher zurückgeführt oder je nach Qualität und Störstoffanteil deponiert. Wie bereits beschrieben, können die Feinfraktionen (0/8 mm) höhere Schadstoffkonzentrationen enthalten. Es kann deshalb zweckmäßig sein, diese vom Recyclingmaterial abzutrennen.

Emissionen

Wie bei den anderen Anlagenkomponenten entstehen bei der Siebung Lärm- und Staubemissionen. Zusätzlich sind die Emissionen, die durch den Antrieb der Siebaggregate entstehen zu berücksichtigen.

Energieverbrauch

Die Antriebsleistung der Siebanlagen hängt von deren Größe ab. Die meisten im Bauschuttrecycling eingesetzten Siebanlagen haben eine installierte Leistung von 11, 15 oder 18,5 kW, wovon bei einem Durchsatz von 100 - 150 t/h ca. 60 % als Dauerleistung angenommen werden kann (Anibas, Helfried et al. 2010). Große Siebanlagen werden von Dieselaggregaten mit Leistungen zwischen 50 und 60 kW angetrieben und arbeiten mit einer Dauerleistung von ca. 25 kW (Engelbrecht und Windner 2009). Aus diesen Zahlen ergibt sich ein Energieverbrauch pro Tonne von rund 0,07 kWh/t.

4.4.2.3 Sortierung

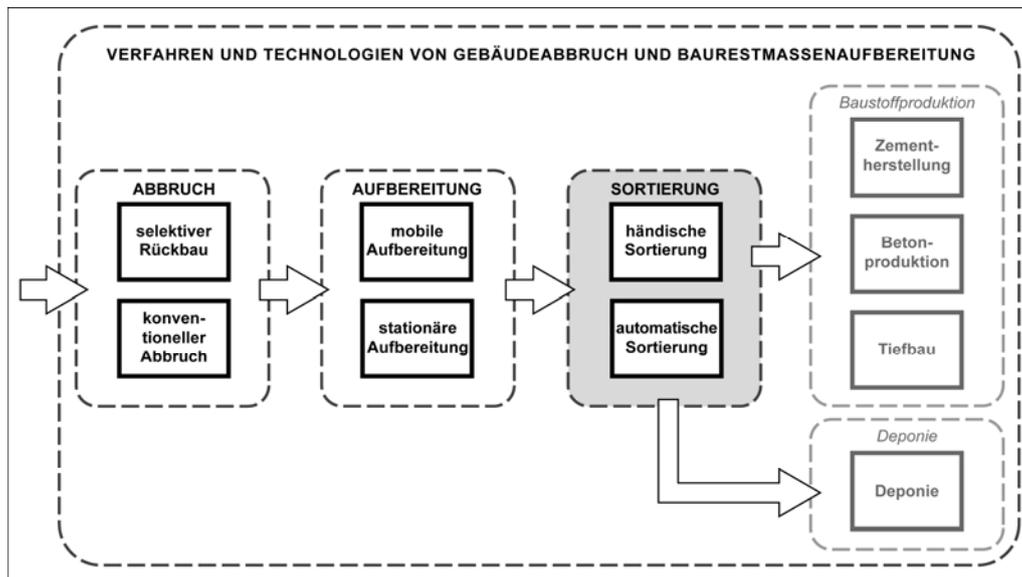


Abbildung 26: Schematische Darstellung des Gebäudeabbruch - Prozess Sortierung

Die bisher beschriebenen Anlagenkomponenten sind nicht in der Lage, sortenreine Produkte herzustellen. Die anfallenden Fraktionen aus den Brech- und Siebstufen enthalten noch wesentliche Verunreinigungen. Vor allem die Leichtfraktion (Holz, Kunststoffe) kann verstärkt vorkommen und die verschiedenen mineralischen Anteile (Ziegel, Naturstein, Beton u.a.) sind miteinander vermischt. Die Sortenreinheit der Materialien hängt im Wesentlichen davon ab, in wie weit das Gebäude vor dem Abbruch entkernt wurde und ob selektiv abgebrochen wurde. Da der Grad, zu des selektiven Rückbaus wird für eine einwandfreie Materialqualität meistens nicht ausreicht, müssen Wert- und Störstoffe durch Sortierverfahren entfernt werden. Vor allem bei der Herstellung von hochwertigen Recyclingprodukten wie z.B. Betonzuschlag müssen bei nicht sortenrein anfallenden Baurestmassen Sortierverfahren wie die Windsichtung oder die Nassaufbereitung oder die sensorgestützte Sortierung eingesetzt werden. Mobile Anlagen verfügen zur maschinellen Sortierung nur über einen Magnetabscheider. Vereinzelt kann eine Windsichtung integriert werden (Hanisch 1998), was aber in der Regel nicht geschieht. Deshalb wird am Rückführband für die Überkornfraktion händisch sortiert oder im Nachhinein aus dem Materialhaufen. Stationäre Aufbereitungsanlagen verfügen über einen oder mehrere Magnetabscheider, die an die dafür geeigneten Stellen angebracht werden können. Bei zweistufigen Anlagen wird ein Magnetabscheider zwischen den ersten und den zweiten Brecher angebracht, um den zweiten Brecher – meist ein Prallbrecher – zu entlasten. Meist werden vor oder nach dem Zerkleinern größere Störstoffe in einer Handlesestation entfernt. Die maschinelle Sortierung basiert auf der Abtrennung von Fraktionen aufgrund von Dichteunterschieden. Es werden Trocken- und Nassverfahren eingesetzt, wobei Nassverfahren bessere Trennschärfen aufweisen als Trockenverfahren (Rentz, Seemann et al. 2003). Generell hat sich gezeigt, dass in der österreichischen Baurestmassenwirtschaft maschinelle Sortierverfahren selten eingesetzt werden (Feichtinger 2009) und das falls sortiert wird, dies eher händisch gemacht wird (Plomberger und Schmitt 2009). Die

Nassaufbereitung konnte sich im Baustoffrecycling nicht durchsetzen. Problematisch hierbei ist vor allem die erforderliche Abwasserreinigung. Als Trockenverfahren im Bauschuttrecycling hat sich eher die Windsichtung durchgesetzt. Sie wird in Österreich jedoch bei weitem nicht flächendeckend eingesetzt.

4.4.2.3.1 Magnetabscheider

Der Magnetabscheider nützt die Eigenschaften der ferromagnetischen Metalle aus um sie aus dem Bauschutt zu entfernen. Es werden Eisen und Eisenlegierungen (jedoch nicht alle: nichtrostende Stähle z.B. sind z.T. nur sehr schwach magnetisch) aus dem Materialstrom abgeschieden. Bei der Dimensionierung eines Magnetabscheiders sind die Stärke des Magnetfeldes und die Anbringungshöhe über dem Materialstrom zu berücksichtigen. Die Anbringungshöhe muss es erlauben, die Metallteile vollständig aus dem Materialstrom zu heben, damit sie ihn widerstandslos verlassen können. Mit ansteigender Höhe muss auch die Stärke des zu generierenden Magnetfeldes zunehmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die abzuscheidenden Metalle nicht nur gehoben werden müssen, sondern aufgrund ihrer Vermischung mit nichtmagnetischem Material aus diesem herausgerissen werden müssen, bzw. Material, das darüber liegt abgeworfen werden muss (Stessel 1996). Eingesetzt werden quer (bei mobilen Anlagen) oder gleichlaufende Überbandmagneten. Bei größeren Materialströmen (> 100 t/h) werden Magneten in Vorkopfanordnung eingesetzt, da aus dem frei fallenden aufgelockerten Materialstrom Eisen leichter entfernt werden kann (Rentz, Seemann et al. 2003). Die Magnetabscheidung wird standardmäßig bei allen Anlagen eingesetzt, im mobilen sowie im stationären Bereich. Neben der Erreichung einer besseren Qualität des mineralischen Materials und der Abtrennung der vermarktbaren Wertstofffraktion Eisen, gewährleistet die Magnetabscheidung den Schutz der darauffolgenden Anlagenkomponenten durch die Entfernung von Bewehrungseisen. Somit können Verschleißkosten vor allem für Zerkleinerungsaggregate, Fördergurte und Siebeläge deutlich gesenkt werden.

Kennzahlen

Trennschärfe

Die Trennschärfe für die Magnetabscheidung liegt bei 95% (Engelbrecht und Windner 2009), (Feichtinger 2009),(Nicolai 1993). (Schachermayer, Lahner et al. 1997) geben für die Anreicherung von Eisen in der Metallfraktion Werte an, die zwischen 20 % und 90 % liegen. Auf diese Diskrepanz zwischen verschiedenen Autoren noch eingegangen werden, nachdem die Analyseergebnisse aus Aktion 2 vorliegen werden.

4.4.2.3.2 Trockene Sortierverfahren: Windsichter

Trockene Sortierverfahren nutzen Dichteunterschiede von Materialien aus um sie voneinander zu trennen. Durch einen starken Luftstrom wird die Leichtfraktion vom restlichen Materialstrom abgetrennt. Neben dem spezifischen Gewicht hat auch die geometrische Form des Materials Einfluss auf die Sortierung. Um eine gute Auftrennung der Fraktionen zu gewährleisten sollte das Material nicht feucht in diese Sortierstufe geführt werden. Die bestimmen-

den Parameter der Windsichtung sind Teilchendichte, -größe und -form, Zähigkeit und Dichte des Fluids, Strömungsgeschwindigkeit, räumliche Teilchenkonzentration und die Geometrie des Sichters (Nicolai 1993). Da die Trennleistung der Windsichtung sowohl von der Dichte als auch von der Korngröße und -form abhängt, empfiehlt es sich vor der Sichtung den Bauschutt zu klassieren. Dadurch kann verhindert werden dass zusammen mit größeren Störstoffen der Leichtfraktion auch kleine mineralische Körner abgetrennt werden (Rentz, Seemann et al. 2003). Je besser der Bauschutt in Kornklassen aufgeteilt ist, umso bessere ist die Trennleistung der Windsichtung. Vor allem empfiehlt sich eine Abtrennung der Feinstfraktion vor der Sichtung (0/8 mm) (Rentz, Seemann et al. 2003). Nach (Bilitewski, Gewiese et al. 1995) bewährt sich in der Praxis die getrennte Sichtung der Fraktionen 8/16 mm, 16/24 mm, 24/32 mm. Durch Windsichtung kann die Leichtfraktion abgetrennt werden (z.B. Holz, Kunststoffe, Porenbeton), jedoch nicht Leichtmetalle (Rentz, Seemann et al. 2003). Je nach Bauweise sowie Strömungsrichtung der Luft im Verhältnis zum Materialstrom wird zwischen Gegenstrom-, Querstromwindsichter, Zig- Zag- Sichter und Absaugetechniken unterschieden (Stessel 1996), (Rentz, Seemann et al. 2003). Im Folgenden wird kurz auf die verschiedenen Windsichtertypen eingegangen.

Gegenstromwindsichter

Gegenstromwindsichter werden vertikal betrieben. Der der Luftstrom fließt in entgegengesetzter Richtung zum Materialstrom. Die Leichtfraktion wird vom aufsteigenden Luftstrom nach oben mitgerissen und in einen Sammelbehälter abgeleitet. Die Schwerfraktion fällt nach unten in einen Behälter oder auf ein Förderband.

Querstromwindsichter

Der Luftstrom erfasst den Materialstrom im 90° Winkel vom Luftstrom und befördert die Leichtfraktion in eine eigene Kammer. Die Schwerfraktion fällt senkrecht nach unten in eine eigene Kammer. Bei dieser Art von Sichter ist die Kontaktzeit zwischen Material- und Luftstrom kürzer als beim Gegenstromverfahren, weshalb die Geometrie des Materials einen größeren Einfluss auf das Trennverhalten hat. Um höhere Trennleistungen zu erzielen werden deshalb technische Hilfsmittel wie Trommeln, Schleuderbänder oder Siebanlagen (Gi-pair- Windsichter) eingesetzt (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 1996), (Rentz, Seemann et al. 2003).

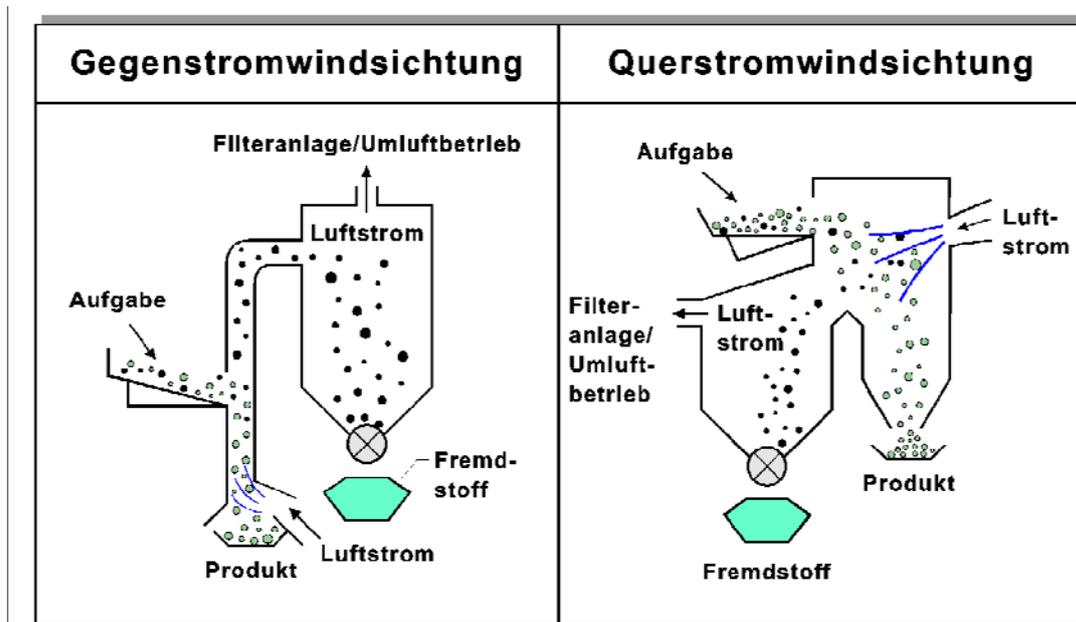


Abbildung 27: Verfahrensschema Gegenstromwindsichtung und Querstromwindsichtung (www.b-i-m-.de)

Zig – Zag – Sichter

Beim Zig – Zag – Windsichter unterstützt vor allem die Form des Sichters die bessere Sortierung von Leicht- und Schwerfraktion. Der Luftstrom wird im Gegenstrom zum Materialstrom geblasen. Der Hauptluftstrom bewegt sich kurvenförmig durch den Sichter. Teile, die somit aus dem Hauptstrom ausgestoßen werden, werden in Wirbelwalzen, die sich in den äußeren Ecken des Zig – Zag – Sichters bilden, umgeleitet, um in den Hauptstrom mit veränderter Geschwindigkeit wieder einzutreten. Dieser Effekt wirkt sich als eine Art Pulsierung der Teilchen die in den Hauptstrom ein- und austreten (Stessel 1996). Laut (Tomas 1999) findet in jeder Stufe des Zig – Zag – Sichters eine neue Auftrennung des Materialstroms durch Querstromsichtung statt. Durch die Aufeinanderfolge verschiedener Sortierstufen ergibt sich die gute Trennleistung dieses Sichertyps.

Absaugetechniken

Zunächst wird der Materialstrom mittels Vibrationsrinnen aufgelockert, um ein Aufschwimmen der leichteren Fraktion zu bewirken. Am Ende der Vibrationsrinne erfolgt die Absaugung

der Fremdstoffe, die durch eine Querströmung auf das Materialbett unterstützt werden kann (Bilitewski, Gewiese et al. 1995).

Abluftreinigung

Luftunterstützte Separationsverfahren benötigen eine Abluftreinigung, um Staub und leichte Partikel aus dem Luftstrom abzutrennen. Die einfachsten eingesetzten Verfahren zur Abluftreinigung sind Setzkammern, wo der Luftstrom an Geschwindigkeit verliert und die Teilchen absetzen. Da Setzkammern viel Platz in Anspruch nehmen werden Zyklonen eingesetzt, die effektiver leichte Partikel aus der Luft abtrennen können (Stessel 1996).

Kennzahlen

Trennschärfe

Die Trennleistung von Windsichtanlagen hängt stark von der Beschaffenheit des Aufgabematerials sowie von der Art des Verfahrens ab. Bei einer günstigen Klassierung und Beschaffenheit des Aufgabegutes kann für die Leichtfraktion eine Trennschärfe von 95 % angenommen werden (Nicolai 1993).

4.4.2.3.3 Weitere trockene Verfahren

Elastizitätssortierung

Die Elastizitätssortierung nutzt die verschiedenen elastischen bzw. plastischen Eigenschaften von Materialien aus um sie voneinander zu trennen. Nach dem Fall auf eine Prallplatte unterscheidet sich das Verhalten Teilchen verschiedener Elastizität. Beim elastischen Stoß bleibt die kinetische Energie eines Teilchen zum Großteil erhalten, das Teilchen wird lediglich umgelenkt. Beim unelastischen Stoß plastischer Materialien wird die kinetische Energie in andere Energieformen umgewandelt und das Teilchen kommt zum Stillstand. Nach dem Aufprall auf die Prallplatte werden also elastische Materialien weiter weg geworfen, während plastische unmittelbar neben der Platte abfallen. Laut (Dallmann und Uhlig 1999) ist die Trennschärfe dieses Verfahrens eher niedrig und reicht nicht aus, um höhere Erlöse an den Produkten zu erzielen. Die Ursache dafür ist die hohe Streuung der Sprungweiten für eine bestimmte Materialkomponente. Die Sprungweite hängt nämlich nicht nur vom Elastizitätsverhalten ab sondern auch von den geometrischen Eigenschaften des Materials. Eine leistungsfähigere Variante der Elastizitätssortierung sind die Prallsichter. Das Material wird durch eine Prallplatte auf eine rotierende Trommel gelenkt, wobei schwere Stoffe auf ihrer Flugbahn gegen die Drehrichtung fallen, während Leichtstoffe in Drehrichtung der Trommel umgelenkt werden. Eine Weichstoff – Sperrklappe mit darunterliegender Luftdüse verhindert das Austragen des Leichtgutes in die Schwerfraktion. Durch die variable Einstellung der Luftdüse kann die Anlage für verschieden Stoffe eingesetzt werden. Es werden Durchsätze von bis zu 60 m³/h erreicht (Rentz, Seemann et al. 2003)

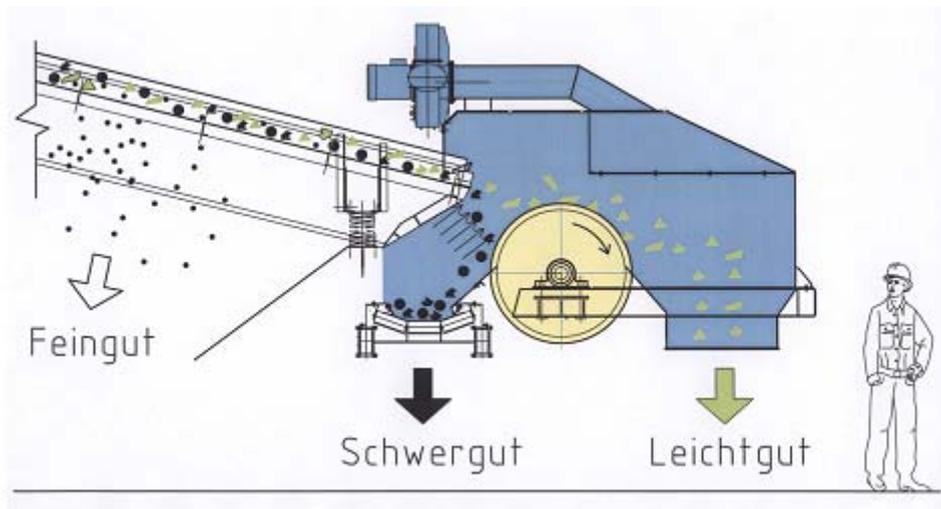


Abbildung 28: Prallsichter (Zibulski)

Kornformsortierung

Bei der Kornformsortierung werden die unterschiedlichen Kornformen von Materialien ausgenutzt, um sie voneinander zu trennen. Runde und teilweise Kubische Körner rollen beim Überschreiten der kritischen Neigung von Oberflächen ab, während Körner mit größeren Abweichungen haften bleiben. Eingesetzte Verfahren sind der Schrägbandabscheider, der Walzenscheider, der Scheibenscheider und der Schwingsortierer (Rentz, Seemann et al. 2003). Durch Kornformsortierer können vor allem Leichtstoffe und das Feinkorn abgetrennt werden; eine Trennung der mineralischen Materialfraktionen ist jedoch nur begrenzt möglich (Dallmann und Uhlig 1999).

4.4.2.3.4 Nasse Aufbereitungsverfahren

Nasse Aufbereitungsverfahren setzen Flüssigkeiten ein, um Materialien voneinander zu trennen. Die entscheidenden Parameter für die Trennung sind die Dichte der Teilchen sowie die davon und vom Oberflächen / Volumenverhältnis abhängige Sedimentationsgeschwindigkeit. Als Flüssigkeit wird in der Bauschutttaufbereitung Wasser eingesetzt. Wasser als Trennmedium eignet sich vor allem zur Abtrennung organischer Substanzen, da die meisten auf Wasser aufschwimmen oder durch eine geringe Aufströmung zum Aufschwimmen gebracht werden können (Stessel 1996). Die aufschwimmende Leichtfraktion wird mit dem Wasserstrom ausgetragen, während die mineralische Fraktion absinkt und über einen Förderer oder eine Schnecke ausgetragen wird. Die Schwerfraktion wird mit einem Sieb entwässert; dem anfallenden Wasser müssen in der Prozesswasseraufbereitung Feinanteile entzogen werden, falls es in die Kanalisation eingeleitet wird muss es gereinigt werden (Rentz, Seemann et al. 2003). Gemeinsam mit der erforderlichen Trocknung des Ausgangsmaterials ist dies der Grund, warum die Nassverfahren meistens unattraktiv sind. Trocknung und Abwasserreinigung erhöhen erheblich die Aufbereitungskosten des Materials; deshalb werden Nassverfahren in Österreich fast ausschließlich in der Aufbereitung von Primärmaterial eingesetzt (Feichtinger 2009).

Es gibt verschiedene Verfahren zur Nassaufbereitung: die Setzsartierung, die Aufstromsartierung, Filmschichtsortierung und die Schwimm – Sink – Sortierung. Die dafür eingesetzten Maschinen sind Waschtrommeln, Nasssetzmaschinen, Aquamatoren und Schnecken – Aufstrom – Sortierer.

Setzsartierung

Neben der Abtrennung der Leichtfraktion dient die Setzsartierung auch der Auftrennung des mineralischen Bauschutts in verschiedene Fraktionen. Pulsierendes Wasser bringt die einzelnen Körner in Schwebelage; je nach Dichte erfolgt eine Materialschichtung. Die schweren Körner sinken in den unteren Bereich des Materialbettes ab, während die leichteren die obere Schicht ausbilden. Die aufschwimmende Leichtfraktion wird von der Wasseroberfläche abgezogen, die nicht schwimmenden Schichten durch (zwei) untereinanderliegende Ausläufe nach leichten und schweren Fraktionen getrennt erfasst (Mesters und Kurkowski 1997). Um die Fraktionen richtig abzutrennen werden Schwimmer eingesetzt, die die Trennschichten abtasten und das Verhalten der zu trennenden Schwerfraktion simulieren und somit die verzögerungsfreie Austragsregelung sicher stellen (Bilitewski, Gewiese et al. 1995). Der spezifische Durchsatz von Setzsartierern beträgt laut Herstellern 24 – 38 t/m².h und der Wasserbedarf 1,5 – 2,5 m³/t (Hanisch 1998). Dabei erreichen Membran - Schwingsetzmaschinen Durchsätze von bis zu 120 t/h, Kompensator –und Luftgepulste Schwingsetzmaschine Durchsätze von bis zu 250 – 270 t/h.

Anfallende Fraktionen und Produkte

Die Setzsartierung zeichnet sich vor allem durch die Möglichkeit der Auftrennung des mineralischen Materials aus. (Mesters und Kurkowski 1997) zeigen, dass stofflich heterogener Bauschutt durch Setzsartierung in deutlich homogenere Fraktionen separiert werden kann, die im Recycling höherwertig eingesetzt werden. Z.B. konnten (Mesters und Kurkowski 1997) ausgehend von einem Bauschutt mit 68 % Betonanteil in Versuchen diesen auf rund 90 % in der Schwerfraktion erhöhen. Schwieriger ist es, Ziegel und Klinker in einer Fraktion aufzukonzentrieren. (Mesters und Kurkowski 1997) erreichen für ein Ausgangsmaterial mit ca. 15 % Ziegelanteil Maximalwerte von ca. 32 % in der mineralischen Leichtfraktion. Setzmaschinen erreichen auch eine sehr gute Abtrennung der Leichtfraktion, wobei die Endprodukte weniger als 0,01 % Gewichtsanteile organisches Material enthalten. Feinanteile können auf 0,6 % reduziert werden (Hanisch 1998).

Die Filmschichtsortierung

Diese Art der Sortierung nützt dieselben Effekte wie der Sedimentationsvorgang in Flüssen. Zwischen Teilchen unterschiedlicher Dichte und einer Festkörperfläche ergeben sich verschiedene Reibungskräfte, die der Schleppkraft der Flüssigkeit entgegenwirken (Rentz, Seemann et al. 2003). Somit werden Teilchen je nach Dichte, Kornform und Oberflächenbeschaffenheit sowie Strömungsgeschwindigkeit und –profil entweder mit Wasserstrom mitbefördert oder an einem entgegengesetzt laufenden Förderband oder Siebtrommel als Schwerfraktion ausgetragen. Zur Unterstützung der Abtrennung der Leichtfraktion werden frei regulierbare Brauserohre mit Flach- und Runddüsen eingesetzt (z.B. Aquamator vgl. Abbildung 29: Verfahrensschema eines Aquamators(BIM)). Als Filmschichtsortiermaschinen sind der Hydrobandabscheider (Aquamator), die Waschtrommel und der Hydrodisc- Scheider zu

nennen. Waschtrommeln erreichen Durchsätze von bis zu 150 t/h und haben einen Wasserbedarf von ca. 80 – 90 m³/h (Höfl 1993).

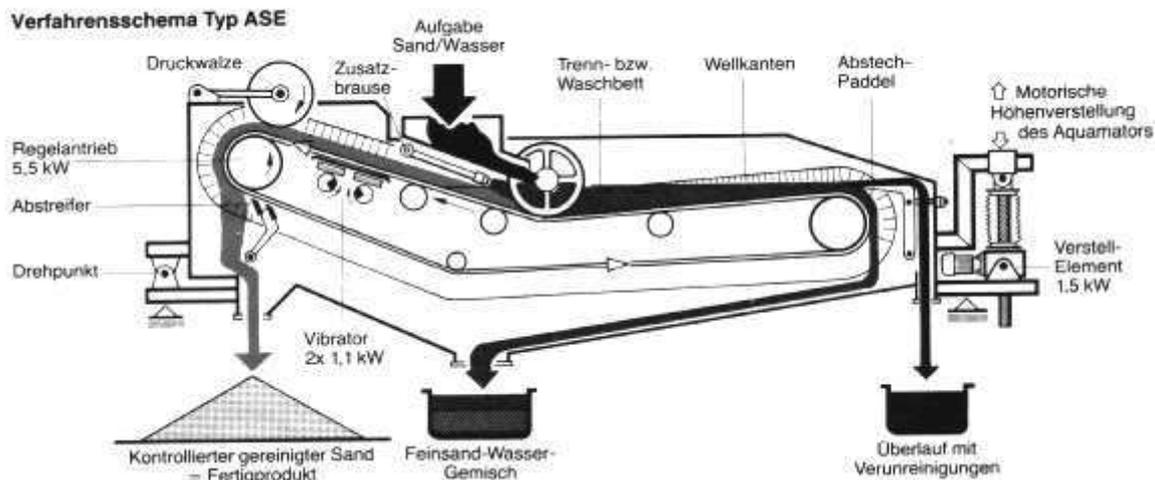


Abbildung 29: Verfahrensschema eines Aquamators(BIM) (www.b-i-m.de)

Anfallende Fraktionen und Produkte

Bei der Filmschichtsortierung können gute Ergebnisse in Bezug auf die Reduktion des Feinkornanteils sowie auf die Leichtstoffabscheidung erreicht werden (z.B. <0,1 Gew.% durch Hydrodiscabscheider) (Hanisch 1998).

Aufstromsortierung

Bei der Aufstromsortierung werden Pumpen eingesetzt, um einen aufsteigenden Wasserstrom zu generieren. Die Partikel werden nach ihrer Endfallgeschwindigkeit in dem aufsteigenden Flüssigkeitsstrom getrennt (Buntenbach und Petite 1997). Hierbei sind die entscheidenden Parameter Korngröße und Dichte der Partikel. Um gute Trennleistungen zu erreichen ist wie bei der Windsichtung eine Vorklassierung des Materials in verschiedene Kornklassen notwendig; die Kornklassen können jedoch breiter als bei der Windsichtung. Die bei der Aufstromsortierung am häufigsten eingesetzte Maschine ist der Schnecken – Aufstrom – Sortierer. Das von der Schneckenwelle erfasste Material wird durch diese gleichzeitig deagglomeriert und nach oben befördert. Leichtstoffe werden im Aufgabebereich durch von unten strömendes Prozesswasser an die Oberfläche geschwemmt und von hier abgezogen. Das gereinigte mineralische Material wird durch die Schnecke ausgetragen und anschließend getrocknet.

Schwimm – Sink – Scheidung

Die Schwimm – Sink – Scheidung trennt Partikel nach ihrer Dichte, wobei die Trenndichte die des flüssigen Mediums ist. Die Trenndichte wird je nach aufzubereitendem Material festgelegt. Bei der Bauschutttaufbereitung soll sie ca. 1,4 g/cm³ betragen; Trennmedium ist eine wässrige Schwerstoffsuspension, die sich durch die aufgeschwemmten Feinstpartikeln des Bauschutts entwickelt (Buntenbach und Petite 1997). Technologien dieses Sortierverfahrens

für Bauschutt sind der Schrägabscheider und der Beyer – Leichtstoffabscheider. Beim Schrägabscheider wird die Sortierung durch ein langsam drehendes Schöpfrad mit radialen Lochblechen unterstützt, die das Schweregut zu Austragschurren fördern. Der Beyer–Leichtstoffabscheider ist eine semimobile Anlage, der Trennprozess findet in einem einfachen Trog statt (Rentz, Seemann et al. 2003).

4.4.2.3.5 Vergleich zwischen Trocken – und Nassaufbereitung

Im Allgemeinen hat sich gezeigt dass die Nassaufbereitung von Baurestmassen in Hinsicht auf die Produktqualität höhere Leistungen erzielen kann als die Trockenaufbereitung. Trotzdem haben sich in der Praxis Trockenverfahren durchgesetzt. Primärer Grund dafür sind die Kosten, die durch die Aufbereitung des Kreislaufwassers bzw. die Abwasserreinigung bei den Nassverfahren anfallen. Tabelle 4-21 vergleicht Vor- und Nachteile beider Verfahren.

Tabelle 4-21: Vor- und Nachteile der Trocken und Nassverfahren für die Aufbereitung von Baurestmassen (Rentz, Seemann et al. 2003)

Trockensortierung		Nasssortierung	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Witterungsabhängigkeit - Nichtanfallen von Schlämmen - Keine Wasserreinigung bzw. –aufbereitung notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - Korngrößenabhängigkeit - Trennleistung abhängig von der Qualität des Materials - Zur Verwendung im Straßenbau muss das Produkt angefeuchtet werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Mineralische Fraktion ist zu 99 % frei von Leichtstoffen - Hochwertiges Recycling möglich - Optimaler Wassergehalt (9–10%) im mineralischen Material - Technologie weniger korngrößenabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> - Kostenverursachender Wasserverbrauch - Kosten durch die entsorgung des Schlammes aus - Kreislaufwasseraufbereitung - Extreme Schaumbildung-Verstopfung der Düsen - Anfälligkeit der Feststoffpumpen - Witterungsunabhängigkeit

4.4.2.4 Innovative Verfahren zur Aufbereitung von Baurestmassen

Neben den derzeit eingesetzten Verfahren der Baurestmassenaufbereitung gibt es ein hohes technologisches Potential an Technologien aus anderen Industrie- und Abfallwirtschaftszweigen, die meistens aus Kostengründen für Bauschutt nicht eingesetzt werden. Im Folgenden werden zwei solcher Verfahren dargestellt.

4.4.2.4.1 Sortierroboter

Sortierroboter übernehmen die manuelle Arbeit an der händischen Sortieranlage. Dabei werden die Arbeitsplätze der Mitarbeiter von der belastenden Umgebung am Sortierband an einen Bildschirm verlagert. Ziele des Sortierroboters sind einerseits die „Humanisierung der Arbeitsplätze“ andererseits die Steigerung der Sortierleistung und –tiefe.

Gesteuert werden Sortierroboter über einen Touch-Screen. Eine Kamera überträgt eine Bildinformation des Laufbandes auf den Bildschirm, wo der Bediener die auszusortierenden Stoffe markiert. Zwei sich gegenseitig unterstützende Sortiergreifer können wahlweise für links- oder rechtsseitigen Abwurf benützt werden, womit man zwei unterschiedliche Fraktionen abtrennen kann. Dabei wird aber die Sortiertrate gesenkt (Kohler 1997). Laut Anlagenherstellern ist diese Technologie derzeit in Entwicklung – vor allem müssen ihre Kosten gesenkt werden. Im Bauschuttrecycling in Österreich besteht zur Zeit keine Nachfrage nach solchen Technologien (Altenburger 2009).

4.4.2.4.2 Sensorgestützte Verfahren

Automatische sensorgestützte Verfahren wurden für die Aufbereitung von Baurestmassen bereits erfolgreich getestet. In der Praxis haben sie sich jedoch vor allem aus den folgenden zwei Gründen nicht durchgesetzt: Zum Einen sind die Kosten für diese Technologien noch zu hoch, zum anderen ist der für die Baurestmassenaufbereitung geringe Durchsatz ein Problem.

Sortierung mittels Farberkennung

Dieses System verwendet eine Kamera, die je nach Farbe, Helligkeit oder Form Materialien auf dem Förderband lokalisiert. Mittels Druckluftimpulsen werden diese aus dem Bauschutt abgetrennt. Es können Materialdurchsätze von bis zu 40 t/h aufbereitet werden. Versuche zeigen dass die Trennschärfen für die Holzfraktion zwischen 83 und 92 % liegen (Mulder, de Jong et al. 2007). Erfolgreich wurden auch Versuche für die Abtrennung von Gips durchgeführt. (Müller 2009) zeigt dass hierbei viel bessere Werte erzielt werden als bei der Setsortierung. Die Abscheidegrade hängen aber vom Gipsgehalt im Aufgabematerial ab. Dieses Verfahren ist jedoch nicht fehlerfrei. Es wurde ermittelt, dass ein Teil der mineralischen Fraktion mit der Leichtfraktion aussortiert wird. Laut (Mulder, de Jong et al. 2007) können bis zu 3% der mineralischen Fraktion mit ausgeschleußt werden. Dies ist wahrscheinlich auf Verunreinigungen des Materials zurückzuführen, das somit farblich nicht eindeutig bestimmbar ist. Im Rahmen der Gespräche mit Anlagenbetreibern konnte eine stationäre Anlage ausfindig gemacht werden, die diese Technologie zur Sortierung von Baurestmassen einsetzt. Laut dem Betreiber funktioniert die Sortierung mittels Farberkennung sehr gut und wird derzeit hauptsächlich für ein Produkt eingesetzt: Ziegelsplitt als Substrat für Dachbegrünungen. Das Aufgabematerial ist Ziegelschutt, bevorzugt aus alten Gebäuden mit hohem Ziegelanteil. Der Ziegelschutt muss vor der sensorgestützten Sortierung durch die Windsichtung vorsortiert werden. Die Anlage kann für verschiedenen Materialien eingestellt werden; teilweise wird damit auch einfaches Schüttmaterial gereinigt (Krischke 2010).

Anfallende Fraktionen / Produkte

Laut (Krischke 2010) erreichen die erzeugten Produkte bei entsprechender Vorsortierung im Windsichter eine Sortenreinheit von 97 %.

Sortierung durch Röntgenstrahlerkennung

Diese Methode benützt einen energiearmen Röntgenstrahl um verschiedene Materialien zu erkennen. Es können die organische Fraktion, Metalle und unter Einsatz entsprechender Software auch spezielle Komponenten wie Gips oder asbesthaltige Störstoffe ausgeschleust werden. Experimentell bewährt hat sich die Methode vor allem bei der Sortierung von Holz und von Metallen, auch wenn sie in geringen Mengen vorkommen. Die Ausschleusung der Störstoffe erfolgt wie bei der Sortierung mittels Farberkennung mit Druckluftimpulsen. Bei einem Versuch zur Holzurückgewinnung aus Bauschutt konnte für die Holzfraktion eine Trennschärfe von 90,6 % ermittelt. Die mineralische Fraktion wurde zu ca. 1 % in die Holzfraktion sortiert.

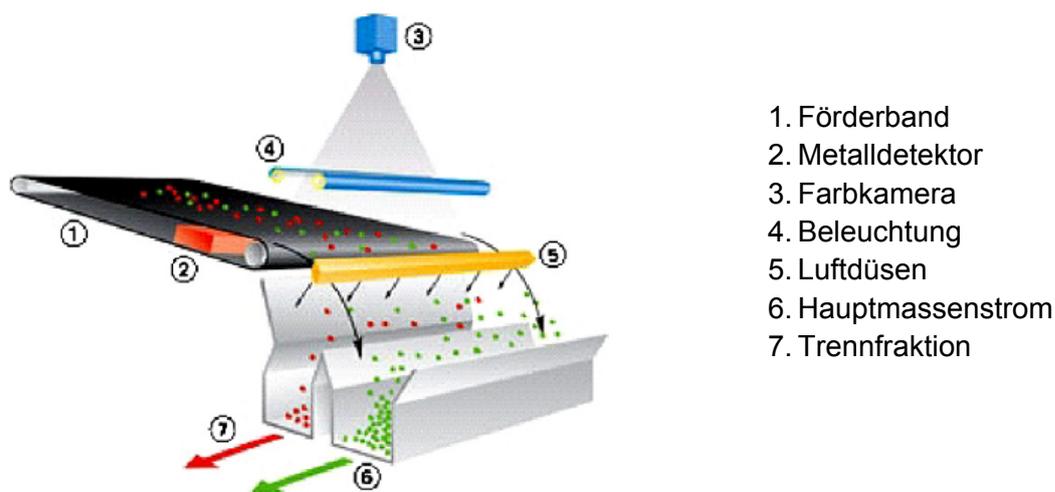


Abbildung 30: Verfahrensschema der sensorgestützten Sortierung

Wirbelstromabscheider

Eine Technologie mit Zukunftspotential für Baurestmassen ist die Wirbelstromabscheidung, die zur Abtrennung von Nichteisenmetallen eingesetzt dient (Krischke 2010). Geschichtlich gesehen wurde die Wirbelstromabscheidung primär in der Wertstoffrückgewinnung und Recyclingindustrie entwickelt (Stessel 1996). Durch starke magnetische Felder werden Wirbelströme in nicht magnetische Metalle generiert, die durch ein Förderband herangeführt werden. Diese Wirbelströme bauen ihrerseits magnetische Felder auf, die den bestehenden entgegengesetzt sind. Die NE-Metalteile werden somit aus dem Förderband geworfen (Stessel 1996).

Wirbelstromabscheidung wird hauptsächlich in folgenden Gebieten eingesetzt (Pretz):

- Holzaufbereitung
- DSD Sortierung (Aluminiumverpackungen)
- Glasaufbereitung (Flaschenkapseln)
- Schrottaufbereitung
- MV - Schlackenaufbereitung

- Hausmüllaufbereitung
- Recycling sonstiger metallhaltiger Reststoffe

Laut (Pretz) schafft die Wirbelstromabscheidung Abscheidegrade von bis zu 85 %. Wichtig ist es, dass die Eisenmetalle vor der Wirbelstromabscheidung durch Magnetabscheidung entfernt werden, denn sonst bleiben diese im Abscheider und verhindern den Materialfluss (Stessel 1996).

Die wirtschaftlichen Nutzen der Wirbelstromabscheidung ergeben sich in der Wiederverwertungsmöglichkeit der gewonnenen NE – Metall – Fraktion sowie in der besseren Qualität der mineralischen Fraktion. Aufgrund der geringen NE - Gehalte im Bauschutt ist es deshalb fraglich ob die Wirbelstromabscheidung für Baurestmassen wirtschaftlich eingesetzt werden kann.

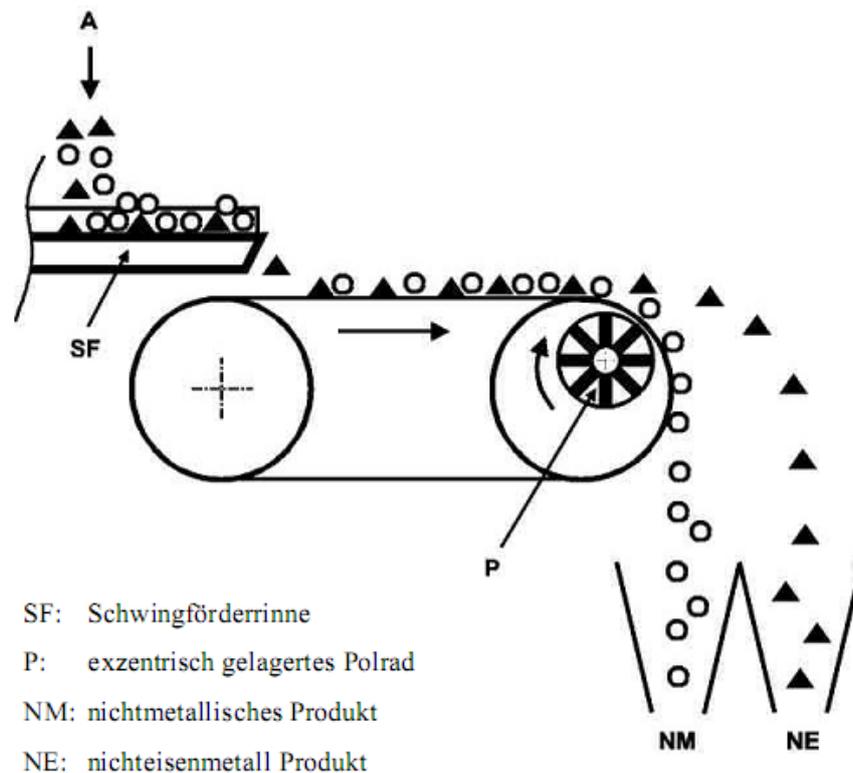


Abbildung 31: Aufbau und Funktionsweise eines Wirbelstromabscheider mit exzentrisch gelagertem Polrad (Pretz)

5 Schlussfolgerungen

Die Evaluierung der Technologien und Verfahren für die Bewirtschaftung der Baurestmassen zeigt, dass das technologische Potential für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Baurestmassen vorhanden ist.

Eine Vielzahl an manuellen und maschinellen Verfahren steht beispielsweise für den selektiven Rückbau zur Verfügung. Damit kann die Trennung verschiedener Fraktionen mit hoher Genauigkeit bereits am stehenden Gebäude erfolgen. Dies verhindert die Vermischung der Fraktionen während des Abbruchs, den Eintrag und die Dispersion von Schadstoffen in den zu rezyklierenden Fraktionen und ermöglicht die Rückgewinnung von Wertstoffen aus dem Gebäudebestand.

Bei der maschinellen Aufbereitung der Baurestmassen bieten sich ebenfalls mehrere technische Möglichkeiten an, die im Hinblick auf die ökologische Qualität der Recycling-Baustoffe gute Leistungen erzielen. Die Windsichtung schafft die Abtrennung des Großteils (95 %) der Leichtfraktion aus dem mineralischen Materialstrom und reduziert somit dessen organischen Kohlenstoffgehalt. Die Nassaufbereitung weist bezüglich der Leichtfraktion eine höhere Trennschärfe auf. Zusätzlich wird bei diesem Verfahren die meist stärker schadstoffbelastete Feinstfraktion ausgewaschen. Einige Nassverfahren sind ferner in der Lage, bis zu einem gewissen Grad die leichten (Ziegelsplitt) und schweren (Beton, Naturstein) Bestandteile der mineralischen Fraktion zu trennen. Jedoch können damit keine sortenreinen Fraktionen gewonnen werden. Verfahren, die auch die genaue Separierung der mineralischen Baustoffe im Bauschutt ermöglichen, sind beispielsweise die sensorgestützten Verfahren. Da der Sortiermechanismus nicht dichtebasiert ist, können damit Fraktionen gleicher Dichte oder mit geringen Dichteunterschieden voneinander abgetrennt werden, beispielsweise verschiedene mineralische Bestandteile des Bauschuttes.

Die zentrale Frage für die Anwendung dieser Verfahren in der Praxis ist jedoch eine wirtschaftliche. Da in Österreich mineralische Recycling-Baustoffe in Konkurrenz zu relativ günstigen Primärrohstoffen stehen, erweist sich die Anwendung von Abbruch- und Aufbereitungsverfahren mit sehr guten Trennleistungen oft als zu teuer. Es werden deshalb beispielsweise die Windsichtung selten und die Nassaufbereitung nur vereinzelt eingesetzt. Gleich verhält es sich mit der kostenaufwendigen Methoden der sensorgestützten Sortierung, welche nur in einem Betrieb standardmäßig für die Aufbereitung von Bauschutt eingesetzt wird.

Die Tatsache, dass solche Verfahren, wenn auch nur vereinzelt, eingesetzt werden zeigt jedoch, dass sie auch ökonomisch sinnvoll betrieben werden können. Von Seiten der Technik steht somit der Produktion von sortenreinen Recyclingprodukten nichts entgegen.

Zu klären ist die Frage, ob es durch Abbruch- und Aufbereitungsverfahren auch möglich ist, diffus verteilte Schadstoffe aus dem Baurestmassenstrom zu entfernen. Mineralischer Bauschutt kann beispielsweise mehr oder weniger mit Schwermetallen belastet sein. (Brunner

und Stämpfli 1993) zeigen, dass die Feinfraktion damit am stärksten belastet ist. In diesem Fall ist es durch die Abtrennung der Feinfraktion möglich, die Umweltqualität der restlichen Fraktionen zu verbessern. Die Technologien der Bauschuttzubereitung erlauben es jedoch nicht, die Schwermetallkonzentration in der Feinfraktion selbst zu senken. Dieselbe Frage gilt für verschiedene Schadstoffe, z.B. PAKs, PCBs usw. Diese können durch die bestehenden Verfahren nur abgetrennt werden, wenn die damit belastete Fraktion aus dem Bauschuttstrom entfernt wird. Dieser Frage wird in den Aktionen 7 und 8 nachgegangen.

6 Literatur

- Albrecht, R. (1981). Moderner Abbruch. Berlin/Wiesbaden, Bauverlag.
- Altenburger, G. (2009). Gespräch 10.11.2009. Liezen, MFL.
- Anibas, F., G. Helfried, et al. (2010). Gespräch 01.03.2010. Gleisdorf, Binder & Co.
- Benning, C. (1997). Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik im Rahmen von Rückbauprojekten. Flächenrecycling durch kontrollierten Rückbau. E. Koch und U. Schneider. Berlin, Springer Verlag.
- Biegansky, F. (1997). Planung von Rückbauprojekten: Grundlagenmittlung/Bestandsaufnahme, Variantenprüfung, Entwurfsplanung. Flächenrecycling durch kontrollierten Rückbau. E. Koch und U. Schneider. Berlin, Springer Verlag.
- Bilitewski, B., A. Gewiese, et al. (1995). Vermeidung und Verwertung von Reststoffen in der Bauwirtschaft Berlin.
- BIM. Retrieved 05.05., 2010, from www.b-i-m.de.
- Brunner, P. H. und H. Rechberger (2004). Practical Handbook of Material Flow Analysis. Boca Raton, Lewis Publishers.
- Brunner, P. H. und D. M. Stämpfli (1993). "Material Balance of a Construction Waste Sorting Plant." Waste Management & Research(11): 27-48.
- Bucher, P. (2004). Verwertung von Baurestmassen unter wirtschaftlichen und technischen Aspekten. Innsbruck.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (1994). Verordnung über Vorschriften zum Schutz des Lebens, der Gesundheit und der Sittlichkeit der Arbeitnehmer bei Ausführung von Bauarbeiten (Bauarbeiterschutzverordnung). BGBI. 1994/340. Wien.
- Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, U. u. W. (2006). Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. U. u. W. Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft.
- Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (2008) "Arbeitshilfe zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sowie zum Einsatz von Recycling- Baustoffen auf Liegenschaften des Bundes."
- Buntenbach, S. und E. Petite (1997). "Nassmechanische Aufbereitung von Bauschutt." Aufbereitungs-Technik **38**(3): 8.
- Dallmann, W. und G. Uhlig (1999). "Aufbereitung von Bauabfällen. Alternative Möglichkeiten." Baustoff Recycling und Deponietechnik **5**(99): 5.
- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (1996). Umweltgerechter Rückbau und Wiederverwertung mineralischer Baustoffe. Berlin, Beuth Verlag. **462**.
- Doka, G. (2009). Life Cycle Inventoris of Waste Treatment Services. Ecoinvent Report. Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories. **13**.
- Dress, G. (1989). Recycling von Baustoffen im Hochbau. Wiesbaden, Bauverlag.
- Eibl, J. und H.-J. WALTHER (1996). Umweltgerechter Rückbau. Umweltgerechter Rückbau und Wiederverwertung mineralischer Baustoffe. B. Verlag. Berlin, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: 83.
- Engelbrecht, G. und H. Windner (2009). Gespräch 20.10.2009. Linz, Rubble Master.
- Feichtinger, N. (2009). Gespräch 20.10.2009. Ennsberg, Kormann Rockster.
- Graubner, C.-A. und K. Hüske (2003). Nachhaltigkeit im Bauwesen. Berlin, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.
- Hanisch, J. (1998). "Aktueller Stand der Bauabfallsortierung." Aufbereitungs-Technik **39**(10): 7.
- Hansen, T. C. (1992). Recycled aggregates and recycled aggregate concrete. Recycling of demolished concrete and masonry. T. C. Hansen. London: -.

- Hechinger, G. (2010). Gespräch. Himberg.
- Höfl, K. (1993). "Waschen und Sortieren beim Bauschuttrecycling durch Waschtrommeln mit Hydroabscheidung." Aufbereitungs-Technik **34**(1).
- Koch, E. (1997). Einführung. Flächenrecycling durch kontrollierten Rückbau. E. Koch und U. Schneider. Berlin Heidelberg, Springer Verlag.
- Kohler, G. (1997). Recyclingpraxis Baustoffe. Köln, TÜV Rheinland GmbH.
- Korth, D. (1996). ""Abbruch" oder "Rückbau"?" Baustoff Recycling **5**(96).
- Korth, D. und J. Lippok (1987). Abbrucharbeiten: Vorbereitung und Durchführung. Berlin, VEB Verlag für Bauwesen.
- Krischke, K. (2010). Gespräch, 05.05.2010, Hasenöhl GmbH.
- Lechner, S. (2003). Wirtschaftlichkeit von Abbruchmethoden - Quantifizierung von Leistungen und Kosten. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft. Wien, TU Wien.
- Lippok, J. und D. Korth (2007). Abbrucharbeiten. Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung. Köln, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. Kg.
- Mesters, K. und H. Kurkowski (1997). "Dichtesortierung von Recycling-Baustoffen mit Hilfe der Setzmaschinenteknik." Aufbereitungs-Technik **38**(10).
- Mulder, E., T. P. R. de Jong, et al. (2007). "Closed Cycle Construction: An integrated process for the separation and reuse of C&D waste." Waste Management(27): 1408-1415.
- Müller, A. (2009). Baustoffkreisläufe in Deutschland - ein Blick auf die gegenwärtige Praxis. Nachhaltige Nutzung von Baurestmassen, Vienna.
- Nickel, W. (1996). Recycling - Handbuch. Düsseldorf, VDI Verlag GmbH.
- Nicolai, M. (1993). Zur Konfiguration von Verfahrenstechnischen Anlagen für das wirtschaftliche Recycling von Bauschutt. Karlsruhe, Universität Karlsruhe.
- Osebold, R. (1981). Abbruch von Massivbauwerken. Köln-Braunsfeld, Universität Essen GHS.
- Pladerer, C. (2004). Vermeidung von Baustellenabfällen in Wien. U. Österreichisches Ökologie-Institut für angewandte. Wien.
- Plomberger, R. und G. Schmitt (2009). Gespräch, 10.11.2009. Laakirchen, SBM.
- Poon, C. S. und A. T. W. Yu (2001). "On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong." Resources, Conservation and Recycling(32): 157-172.
- Pretz, T. "NE-Scheider oder Wirbelstormscheider."
- Rentz, O., M. Ruch, et al. (1994). Selektiver Rückbau und Recycling von Gebäuden, dargestellt am Beispiel des Hotel Post in Dobel. Landsberg, Ecomed Verlag.
- Rentz, O., M. Ruch, et al. (1998). Selektiver Gebäuderückbau und konventioneller Abbruch. Landsberg, Ecomed Verlagsgesellschaft Ag & Co Kg.
- Rentz, O., A. Seemann, et al. (2003). Entwicklung optimierter Rückbau- und Recyclingverfahren durch Kopplung von Gebäudedemontage und Bauschuttaufbereitung. Karlsruhe, Universität Karlsruhe (TH).
- Schachermayer, E., T. Lahner, et al. (1997). Stoffflussanalyse und Vergleich zweier Aufbereitungstechniken für Baurestmassen. W. Technische Universität. Wien.
- Schramm, H. und U. Lieser (1997). Beschreibung der typischen Rückbauverfahren: Demontage, Dekontamination, Abbruch. Flächenrecycling durch kontrollierten Rückbau. E. Koch und U. Schneider. Berlin Heidelberg, Springer Verlag.
- Schultmann, F. und O. Rentz (2001). "Environment-oriented project scheduling for the dismantling of buildings." OR Spektrum **23**: 51-78.
- Schultmann, F., O. Rentz, et al. (1997). EDV-gestützte Planung des selektiven Gebäuderückbaus. Flächenrecycling durch kontrollierten Rückbau. E. Koch und U. Schneider. Berlin Heidelberg.
- Steinberger, G. und C. Pirker (2010). Gespräch, 17.02.2010. Wien, Alpine.
- Stessel, R. I. (1996). Recycling and Resource Recovery Engineering. Berlin, Springer Verlag.

- Stubenrauch, S. und R. Hempfling (1994). Sanierungsaudit und Sanierungsmanagement. Schadstoffe in Gebäuden. R. Hempfling und S. Stubenrauch. Taunusstein.
- Tomas, J. (1999). "Aufschließen und Abtrennen von Wertstoffen aus Bauschutt, Teil 2: Sortierung aufgeschlossener und teilgeschlossener Bruchstücke." Entsorgungspraxis **12**: 4.
- Wilkomm, W. (1990). Abbruch und Recycling. Köln.
- Wirtschaftskammer Österreich (1948). Kollektivvertrag für Angestellte der Baugewerbe und der Bauindustrie. Wien.
- Wörner, T. (1989). Anlagentechnik. Baustoff-Recycling 1990. E. U. Hiersche. Iffezheim/Baden-Baden: 92-
www.b-i-m.de. Retrieved 05.05., 2010, from www.b-i-m.de.
- Zibulski, D. H. (2004). Anlagentechnik zur Aufbereitung von Baureststoffen. Fachtagung "Baumaschinentechnik", Magdeburg, VDMA Fachverband Bau- und Baustoffmaschinen.

7 Anhang

Protokolle der geführten Gespräche

1. Günther Altenburger (MFL)
2. Ing. Franz Anibas, Bereichsleiter, Dr. Helfried J. Gschaider, DI Alfred Kalcher (Binder & CO)
3. Gerald Engelbrecht, Harald Windner (Rubble Master)
4. DI Norbert Feichtinger (Kormann Rockster)
5. Gerhard Hechinger (Prajo Recycling)
6. Ing. Karl Krischke (Hasenöhr)
7. Ing. Robert Plomberger (SBM)
8. Schweighofer Klaus (Cemex)
9. Steinberger Gernot, DI Christian Pirker (Alpine)

1. Gesprächsprotokoll

MFL, Günther Altenburger (Spartenleitung Aufbereitungstechnik)

Ort: Werkstrasse 5, 8940 Liezen.

Beginn: 15:15 **Ende:** 16:50

Anwesend:

Altenburger Günther
Mag. Kerstin Hammer, TU Wien
DI David Clement, TU Wien

Tagesordnung:

MFL ist aufgeteilt zwei Abteilungen: Gießerei und Maschinenbau. MFL arbeitet zusammen mit Binder u. Co. AG: Umwelt und Siebtechnik. Sie produzieren alle Brechertypen, die weiterverkauft werden.

Verkauf von Recyclinganlagen nach Deutschland, in Beneluxstaaten, nach Italien und Frankreich (hier müssen eigene sicherheitstechnische Normen eingehalten werden). Pro Jahr werden ca. 50-80 mobile Anlagen EU-weit verkauft.

Internationales zum Baurestmassenrecycling

Im Gegensatz zu Österreich, wird in Frankreich bei einem Gebäudeabbruch anders vorgegangen: zunächst wird ohne selektivem Abbau oder Entkernung abgebrochen, dann werden die Baurestmassen zu einer zentralen Anlage gebracht, die diese aufbereitet. Es wird meistens in Auslesestationen händisch sortiert.

Veolia ist eines der wichtigsten Unternehmen im Bauschuttrecyclingsektor.

Forschung

MFL plant ein Forschungsprojekt zusammen mit Veolia und Profaktor (Seibersdorf, im Bereich Robotertechnik spezialisiert) über die Entwicklung günstiger Sortierungstechniken - günstig in Frankreich, da die Sicherheitsauflagen für den Einsatz an Personal so hoch sind; es wird versucht, den Menschen aus dem Prozess rauszuhalten und durch Kamera und Roboter zu ersetzen.

In Österreich besteht momentan kein Kundeninteresse für solche Technologien.

Durch die schlechte Qualität des abgebrochenen Materials würde man in Frankreich mit mobilen Anlagen es nicht schaffen, die Baurestmassen adäquat aufzubereiten.

Hr. Altenburger ist für eine gesetzliche Senkung der Emissionsgrenzwerte (MOT (AWG) 2010 Antrieb Stufe 3)

Anlagentechnik

Ökologisches Verbesserungspotential besteht derzeit bei den Aggregaten für die Energiebereitstellung: Durch Vorschriften verbrennen sie derzeit auf niedrigen Temperaturen, (weniger Emissionen), sie verbrauchen aber mehr Treibstoff.

Die Anlagen von MFL für Bauschuttrecycling sind mobile Anlagen, reichen von 30 bis 92 Tonnen. Die großen Anlagen schaffen zwischen 500-700t/h. Sie verbrauchen 20-25l Diesel/h und erreichen 108dB. Dadurch, dass alle Teile elektronisch gesteuert werden (über das Dieselaggregat), können ca. 20% Treibstoff eingespart werden. Diese Technik kommt nur bei MFL und SBM zum Einsatz. Bei anderen Unternehmen werden die Teile hydraulisch gesteuert.

Verschleiß betrifft hauptsächlich den Fördergurt (2-3Jahre) und die Pralleisten. Da Eisenteile Förderbänder stark schädigen, verwendet MFL Föderrinnen, die wesentlich stabiler sind. Lebensdauer: ca. 10.000 Betriebsstunden. (1.600 h/a) ~ 5-8 Jahre

2. Gesprächsprotokoll

Binder & Co
am 1.03.2010

Ort: Gleisdorf, Grazer Strasse

Beginn: 10:00 **Ende:** 13:00

Anwesend:

Herr Ing. Franz Anibas, Bereichsleiter Konstruktion- Sieb- und Trocknungstechnik
Herr DI Dr. Helfried J. Gschaider, Verfahrenstechnik, Aufbereitungstechnik
Herr DI Alfred Kalcher, Bereichsleiter Vertrieb - Aufbereitungstechnik

Mag. Kerstin Hammer, TU Wien
DI David Clement, TU Wien

Tagesordnung:

1. Siebtechniken

- Der Markt von Binder und CO erstreckt sich über W- und O- Europa, Afrika, Australien und Amerika
- Führend im Bereich Siebtechnik und Sortierung
- Zur Aufbereitung von Primärrohstoffen wird keine Nassaufbereitung verwendet, da es nicht ökonomisch ist
- Holz wird meist manuell aussortiert, kleine Holzsplitter können bei Windsichtung sortiert werden
- Siebanlagen haben Größe von 1m² bis 36m² und Motorenleistung von 5,5kW bis 37kW
- Gesiebt wird durch Kunststoffmatten, die eine Lebensdauer von 2000-3000 h haben
- Spezialverfahren bei Binder: Kombination aus linearer und kreisförmiger Bewegung der Siebe mit einer Schwingbewegung (Bivitec System). Dadurch erhöht sich die Geschwindigkeit des zu sortierenden Materials und dadurch kann auch feuchtes Material besser gesiebt werden. Die Lineare Bewegung „faltet und streckt“ (übertrieben dargestellt) die Kunststoffsiebelemente. Dadurch springen sie auf dem Sieb -> bessere Durchmischung - > raschere Sie-

bung. (in der klassischen Siebung wird nur die Rundschwingung eingesetzt).
Für Fraktionen < 50 mm.

- Durchsatz: bis einige 100 t/h
- Siebanlagen: installierte Leistung: 11-15-18,5 kW. Davon Dauerleistung: ca. 60 %
- Die Anlagen werden für jeden Kunden individuell zusammen gestellt. 3 „Vorzeiganlagen“ sind in Betrieb. Dabei wird Sieben, händische Sortierung, Brechen in unterschiedliche Größen und Windsichtung kombiniert. Sieben ist bis zu 0,2mm möglich. Praxis: 2-4 mm Feinfraktion.
- Anlage Hasenöhrl: 100-150 t/h; aufbereitete Fraktion: 0/800 mm. Kosten: ca. 3.000.000 €
- Für die Zukunft wäre ein Ersetzen der manuellen Sortierung durch optische Sortierung denkbar, allerdings ohne zu wissen ob es dann auch wirtschaftlich ist.
- „Clarity“ kann nach Farben sortieren. Wird v.a. für Glassortierung eingesetzt kann aber auch für andere Mineralien verwendet werden. Unterscheidung durch eine Maschine in 3 Farben möglich. 5-10 mm Mindestkorngröße. Sortierleistung bei Glas: 99,5 %

2. Allgemein

- Grösstes Hinderniss in der Baurestmassenaufbereitung: schwankendes Aufgabegut.

Weitere Kontakte:

Dr. Böhm, Lehrstuhl für Aufbereitung, Montanuniversität Leoben

Hasenöhrl, WBR – stationäre Aufbereitung

3. Gesprächsprotokoll

Rubble Master, Herr Gerhard Engelbrecht
am 20.10.09

Ort: Südpark 169, Pichling, Linz

Beginn: 13:30 **Ende:** 16:30

Anwesend:

Herr Gerhard Engelbrecht, technischer Direktor
Herr Harald Windner, Area Sales Manager

Mag. Kerstin Hammer, TU Wien
DI David Clement, TU Wien

Tagesordnung:

1. Anlagentechnik - Brecher

- Rubble Master hat als erster vor 20 Jahren sog. Kompaktanlagen entwickelt. Dieses Konzept bedeutet dass die mobilen Aufbereitungsanlagen nicht mehr als 25-30 t wiegen; somit können sie ohne Sondergenehmigungen mit Tieflader transportiert werden, was für den Kunden eine Kosten- und Zeitersparnis bedeutet. Außerdem können die Anlagen rascher in Betrieb genommen werden (ab 15 min.). Diese Anlagen sind, wie der Name sagt, „kompakt“ gebaut, d.h. die Maße halten sich in Grenzen, was den Einsatz bei eingeschränkten Platzverhältnissen erleichtert. Durch die Verlegung des Dieselmotors direkt unter die Aufgabeeinheit wird Platz gespart und gewährleistet dass die gesamte Wartung vom Boden aus durchgeführt werden kann.
- Die exportiert europaweit, nach S- und Mittelamerika, Asien, Kanada und USA. Die Exportquote liegt bei 85%
- Die Anlagen von Rubble Master verfügen alle über ein feed-control-system, d.h. eine vibrierende Aufgabeeinheit, die die Fütterung des Brechers kontrolliert und optimiert, wodurch der Verschleiß der Maschine reduziert werden kann. Die optimale Aufgabemenge ist die, bei der das Material im Brecher im höchst möglichen Maße beim Zurückschlagen von den Schwingleisten wieder auf das Material selbst trifft; somit „braucht“ es nicht wieder auf die

Schlagleisten oder den Rotor zu treffen. Bei zu hohen oder zu niedrigen Aufgabemengen reduziert sich dieser „Benefit“.

– Rubble Master setzt für die Anlagen nur Prallbrecher ein, da so ein besseres (kubisches) Korn erzielt wird.

– Die Anlagentypen:

RM 60 – schafft bis zu 80 t/h; Kosten: ca. 120.000 €; wird wirtschaftlich ab ca. 5.000 t/a

RM 70 go

RM 100 schafft bis zu 200 t/h; Kosten: ca. 350.000 €; wird wirtschaftlich ab 15.000 - 20.000 t/a

Alle 500 Stunden: Service. Lebensdauer vor Generalüberholung: 10.000 h

Die Vermietung der Anlage kostet beim RM 100 170 €/h. Dem Endkunden wird auf die Tonne abgerechnet.

– Die Magnetabscheider von Rubble Master sind 800 mm breit, was einen hohen Erfassungsgrad (95%) der Eisenmetalle gewährleistet.

– Die Betriebskosten der Anlagen betragen 60-90 cent/t. Es wird versucht, durch Design und Materialauswahl die Verschleißkosten gering zu halten. Prallplatten werden dazu aus verschiedenen besonders harten Werkstoffen (z.B. Keramikschlagleisten) hergestellt und gezahnte Brechstangen werden eingesetzt (nur bei RM).

– Ein Potential für weitere Entwicklungen in der Zukunft liegt im Absenken der Verschleißkosten. Es könnte z.B. sein, dass durch Verbesserung der eingesetzten Materialien in den nächsten 10 Jahren ein Einsparungspotential von bis zu 10% der Verschleißkosten erreicht werden kann.

– Ein großes Potential liegt im Prozessengineering. Anstatt z.B. bei einem Brechvorgang wo kleine Korngrößen gewünscht sind, den Brecher gleich auf diese Korngröße zu stellen, kann der Brecher gröber eingestellt und das Überkorn rückgeführt werden. Somit ist der Verschleiß geringer. Diese Technik ist bei Rubble Master Standard.

– Der Verschleiß steigt mit dem Anteil an Feinmaterial vor und nach dem Brechen, d.h. auch je feiner ich brechen will, umso mehr Verschleiß habe ich.

- Wichtig ist auch die Baustellenlogistik. Rubble Master arbeitet gemeinsam mit dem Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz an einem Projekt zu diesem Thema.
- Verbrauch der Aufbereitungsanlagen: max. 22l/h (RM 100) 8 l/h (RM 60)
- Rubble Master baut auch Siebaufsätze. Maschen – Siebe sind für die Sortierung nicht notwendig, da Prallbrecher kubische Kornformen erzeugen, die durch ein Finger – Sieb (patentiert von RM) sortiert werden. Der Vorteil eines Fingersiebs liegt in der Einfachheit und dem geringeren Platzbedarf. RM produziert auch separate Siebanlagen mit 3 Siebstufen. Große Maschinen werden entweder mit einem Dieselaggregat (55-65 kW) oder direkt mit Strom angetrieben; kleine müssen an einen Brecher angeschlossen werden. Wenn die Anlage steht und nur siebt hat sie eine Leistung von ca. 25 kW.
- Übliche hergestellte Fraktionen: 0/5 bis 0/20mm. 20/45mm. Alles was größer als 45mm ist, kann direkt nach dem Brecher abgetrennt werden.
- Die Kunden von Rubble Master werden auf die Geräte eingeschult und haben über ein Forum die Möglichkeit, Verbesserungsvorschläge zu machen, die beim RM 70go soweit als möglich umgesetzt wurden.

2. Sortierung

- Bei über 95% der Abbrüche erfolgt lt. Hr. Windner eine Entkernung.
- Es ist nicht zu erwarten, dass in den nächsten Jahren großflächig für Baurestmassen Windsichtanlagen oder sonstige Sortieranlagen eingesetzt werden.
- Zurzeit gibt es kein Problem, für aufbereitetes Material Abnehmer zu finden, solange es sich um reines Material handelt. Gemischter Bauschutt wird eher für niedere Zwecke eingesetzt: Güterwegebau, Nebenstraßen, ...
- Es muss aber nicht alles gleichwertig recycelt werden. Z.B., wenn ich einen Sand für den Leitungsbau brauche, kann ich ruhig vermischten Bauschutt verwenden, ohne ein gleichwertiges Recycling aller enthaltenen Komponenten anzustreben. Downcycling macht auch einen Sinn, denn viele Anwendungen brauchen kein hochwertiges Material.
- Rubble Master bietet seinen Kunden Aufklärung über die möglichen Einsatzbereiche des recyklierten Materials.

3. Anlagenmarkt

-Rubble Master kontrolliert 90% des österreichischen Marktes (lt. „Gewinn) was die Kompaktklasse der Aufbereitungsanlagen betrifft (bis 25 t), das ist eine Stückzahl von ca. 130-140 Maschinen.

-Weltweit hat Rubble Master ca. 1.000 Anlagen in Betrieb.

-Weitere Anlagenbauer:

 Kompaktklasse: Kormann Rockster

 Klasse ab 30 t – mobile Anlagen: Hartl, MFL

 Klasse ab 30 t – stationäre Anlagen: SBM

-Weltweite Unternehmen:

 Sandvik – Gruppe und Nordberg – Metso: allgem. Maschinenbauer.

 Terex (Power Screen und Becks): Siebanlagen, Brecher, usw.

 Kleemann – Wirtgen

 Keestrack

3. Sekundärrohstoffmarkt

-Die Märkte sind nach Regionen sehr unterschiedlich: z.B. ist in Österreich wenig Sand vorhanden aber viel Schotter; in Polen oder in anderen Oststaaten ist Sand vorhanden und wenig Schotter.

-Verschiedene Produkte werden gebrochen: Richtung Alpen wird mehr Naturstein recycelt.

-In Wien gibt es mehr zu brechen wegen der höheren Bautätigkeit im Vgl. zu anderen österreichischen Städten – z.B. Innsbruck.

4. Gesprächsprotokoll

Kormann Rockster, Dipl. Ing. Norbert Feichtinger
am 20.10.09

Ort: Wirtschaftszeile 2, Ennsberg.

Beginn: 9:20 **Ende:** 12:30

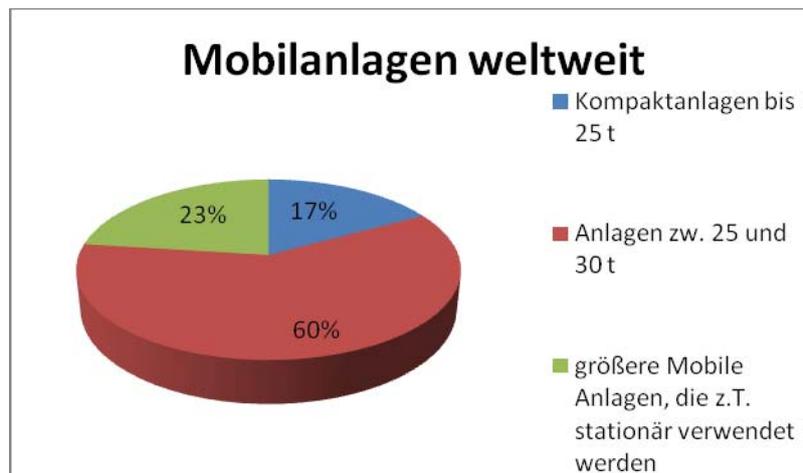
Anwesend:

Herr Dipl. Ing. Norbert Feichtinger, Prokurist, Verkauf
Mag. Kerstin Hammer, TU Wien
DI David Clement, TU Wien

Tagesordnung:

1. Anlagentechnik – Brecher

- Kormann Rockster stellt Anlagen der Kategorie „Kompaktklasse“ her, Gewicht bis zu 25 t Eigengewicht. Dies ermöglicht den Transport ohne Sondergenehmigung und Begleitfahrzeug und reduziert somit die Kosten und den Zeitaufwand. Für den Kunden ist es kostengünstiger mehrere kleine Anlagen zu betreiben als eine Große.
Neben den mobilen Aufbereitungsanlagen produziert Rockster Siebanlagen.
Kormann Rockster hat im Jahr 2004 eröffnet und verkauft ca. 100 Brecher/Jahr weltweit, davon etwa 5/Jahr in Österreich.
- Verwendung finden diese Anlagen im Recycling von Asphalt, Beton und Baurestmassen sowie von Naturstein. Geeignet sind diese Anlagen für Baustellen mit geringen Materialmengen.
- Für Recycling wird mit dem Vorteil geringerer Kosten für den Kunden geworben, die sich aus Transport, Entsorgung und Material ergeben.
- Kompaktanlagen machen 15 - 17% des weltweiten Bestandes aus. Der Recyclingmarkt insgesamt wächst.



- Die Brechleistung beträgt bei diesen Anlagen bis zu 200 t/h, im Durchschnitt 150 t/h. Rockster baut auch an einer 32t- Anlage, die durchschnittlich 250 t/h schafft.
- Wichtig ist, dass das Endprodukt stimmt: Sieblinie. Ziel ist ein kubisches Korn.
- Es gibt verschiedene Technologien beim Brechen: Rockster verwendet grundsätzlich zwei Brechersysteme: Prallbrecher und Backenbrecher.
- Backenbrecher: Druckzerkleinerung; diese verursacht einen geringeren Verschleiß und weniger Feinanteile. Geeignet für große harte Materialien, Nachteile: langsamer, geringere Durchsatzleistungen, „fischige“ Kornform. Aus Verschleißgründen wird dieser Brecher trotzdem eingesetzt. Vor allem als Primärbrecher bei zweistufigen Verfahren (auf 150-200 mm) mit Naturstein oder auf Großbaustellen im Einsatz. In der Praxis werden beim Recycling zu 90% Prallbrecher eingesetzt, da die Qualität des Endprodukts besser ist und es somit leichter absetzbar ist. Noch vor 10 Jahren wurden fast nur Backenbrecher angewendet.
- Bei großen Anlagen, um das Material vorher nicht zu sehr aufbereiten zu müssen wird der Backenbrecher wieder attraktiv. Jedoch: je größer der Backenbrecher, desto geringer ist die Produktqualität.
- Kegelbrecher: wird nicht im Recycling verwendet, fast nur für Naturstein; verträgt keine Störstoffe
- Prallbrecher: ermöglicht eine gute Trennung des Betons vom Eisen (was beim Backenbrecher nicht so gut möglich ist). Ein Prallbrecher der Größenordnung eines Backenbrechers schafft 50-60% mehr Durchsatz.

Es können 1-3 Prallschwingen eingebaut werden. Rockster baut 2 ein. Meist 4 Schlagleisten.

Funktionsweise: durch Einstellung der Schlagleisten, Rotationsgeschwindigkeit und der Prallschwingen können unterschiedliche Korngrößen erzielt werden. Feines Material wird bei schneller Rotorgeschwindigkeit, offener Schwinge 1 und eng geschlossener Schwingen 2 (Schwingen 1 ist die obere, Schwingen 2 die untere) erreicht. Um viel Durchsatz zu haben, jedoch geringere Qualität: Schlagleisten lang-kurz-lang-kurz. Dadurch erreicht man eine höhere Eindringtiefe des Materials. Für eine hochqualitative Körnung: volle Schlagleisten.

- Rockster hat eine Anlage entwickelt, bei der innerhalb von 6 h der Brecher gewechselt werden kann – Anlage mit Prall- oder Backenbrecher.
- Magnetabscheider: mindestens 95% des Eisens muss rausgeholt werden.
- Meistens sind die Anlagen überdimensioniert.
- Betriebskosten: 50 cent/t: Verschleiß, Wartung, Diesel. (Davon Verschleiß: 15 cent); Energieverbrauch der Anlagen: 17-18 cent an Diesel/t
Die Kostenkalkulation ist schwierig, da sich der Verschleiß und Verbrauch mit den Einstellungen an der Maschine und dem Material stark ändert.
- Große Fortschritte hat es bei den eingesetzten Materialien gegeben (z.B. Keramikwerkstoffe,...)
- Der Verschleiß macht bei stationären Anlagen mehr aus als bei mobilen.
- Die Vorabsiebung ist vor allem bei Großanlagen Standard. Nicht bei allen Kleinanlagen. Es genügt auch ein Finger-Sieb (Rost) mit Stabweite 35 mm. Maschen-Siebe würde eine Vibration erfordern, die viel mehr Platz einnimmt als ein Rost.
- ein Problem sieht Hr. Feichtinger in den gesetzlichen Vorlagen. z.B. Muss ein Abstand von 1,2km zum nächsten Wohnhaus eingehalten werden (in Praxis unmöglich) und es sind mobile Brecher auf 100 Arbeitsstunden pro Baustelle limitiert.
Außerdem sollte der Einsatz von Recycling-Material gesetzlich verpflichtend in Ausschreibungen enthalten sein (Bsp. Spanien - ~25%). In Österreich ist in öffentlichen Ausschreibungen Recyclingmaterial mit Primärmaterial gleichgestellt und man kann frei wählen. Private müssen sich Recyclingmaterial nicht anbieten lassen!

2. Sortierung - Waschprozesse

- Waschprozesse werden nur im Steinbruch bei stationären Anlagen eingesetzt, um Verunreinigungen des Materials zu entfernen. (mittels Vibrationssiebe – für grobe Materialien; Waschtrommel,...)
- Vorabsiebung ist bei Großanlagen Standard, bei Kompaktanlagen nicht immer. Sie dient der Materialreinigung, dem Verschleißschutz und der Leistungssteigerung
- Im Recycling wird die Windsichtung angewendet (wenn überhaupt).
- In Österreich wird wenn dann eher händisch sortiert – und das vor allem im stationären Bereich. Teilweise wird beim Rückführband der mobilen Anlage händisch sortiert.
- Es gibt wenig Hersteller für Windsichter. (SBM) Im mobilen Bereich wird Windsichtung nicht eingesetzt.
- Siebe für Asphaltaufbereitung: 0/16, 0/22, 0/32; für Straßenbau .0/63mm.

5. Gesprächsprotokoll

Prajo Recycling am 23.03.2010

Ort: Himberg, Industriestraße

Beginn: 08:30 **Ende:** 11:15

Anwesend:

Herr Gerhard Hechinger

Dr. Gerhard Schnöller, TU Wien
DI David Clement, TU Wien

1. Anlagen

Beton:

Am Standort in Himberg betreibt Prajo eine stationäre und zwei mobile Anlagen, wobei die mobilen Backenbrecher sind, die hauptsächlich für Betonabbruch eingesetzt wird. Prallbrecher würde einen zu hohen Verschleiß haben – man müsste die Schwingleisten mehr als dreimal pro Jahr wechseln (hoher Bewehrungseisenanteil), damit werden die Betriebskosten zu hoch. Beim Backenbrecher geschieht das - einmal im Jahr?

Vorteil eines Prallbrechers wären die Kornform und die Sieblinie. Beim Backenbrecher ist der Feinanteil zu niedrig oder knapp zu erreichen. Die Sieblinie fängt flach an und steigt dann erst später stark an. Auch die Kornform ist nicht so gut, jedoch insgesamt ist ein Backenbrecher wirtschaftlicher.

Die Brecher haben eine Vorabsiebung und ein nachgeschaltetes Sieb, das folgende Fraktionen erzeugt: 0/32; 32/63 und >63; zeitweise (am Nachmittag) wird die Fraktion 0/32 nicht abgesiebt sondern eine Fraktion 0/63 hergestellt. Qualitätsprobleme hat man immer mit der Feinfraktion (z.B. Südbahnhof: PAKs). Auch die Fraktion 32/63 wird nicht als Betonzuschlag verwendet: zu viele Fremdanteile: eher Schüttungen. Fraktion 0/32 als Straßenunterbau.

Der Backenbrecher (im Einsatz) schafft im Schnitt 200 t/h. Voriges Jahr (2009) wurden insgesamt 170.000 t mit den zwei Brechern gebrochen.

Kosten:

Das Brechen (und Aufschütten) kostet 2,50 €; der reelle Preis ist 2,75 €. Verkauft wird das Material um 4,50 €; bei großen Baustellen drückt der Bauherr den Preis.

Bauschutt - Ziegel:

Der Bauschutt (auf der anderen Seite der Halde angeliefert) wird stufenförmig mit 2 Bagger abgetragen und vorgesiebt (firmeneigene Fertigung eines Siebes, das genau die Ziegel durchlässt) in 3 Fraktionen: Vorabsiebung 0/10, Ziegel und gröbere Fraktion.

Die Ziegel - Bauschutt (mit Anhaftungen, die nicht abgesiebt werden können, da sie feucht sind) werden in einen überdachten Bereich transportiert, wo das Material trocknen kann. Danach wird es noch einmal gesiebt (0/10 kommt weg), gebrochen (Prallmühle), eine Fraktion (8/20 oder auch 8/40) durch die Waschanlage geschickt, manuell sortiert (8 Leute). Die Kosten für die Sortierung alleine in verschiedenen Stufen betragen 12,8 €/t; die gesamte Aufbereitung 15-17 €/t.

Der Ziegelsplitt enthält je nach Aufgabematerial 7-30 % Beton.

Die Waschanlage entfernt die Leichtfraktion (Kunststoff, Holz) wird mit einem 20 kW- Motor betrieben (eine alte russische Maschine mit „Kratzband“ „wie ein Miststreuer“, die nicht mehr benützt wird, musste mit einem 40 kW- Motor betrieben werden). Die Investitionskosten der Waschanlage sind 12.000 € (selbst gebaut).

Kosten: Durch die Waschanlage entstehen Einsparungen von 1,5 €/t Material (da das Material nun auch (an die Zementindustrie) verkauft werden kann und nicht deponiert werden muss. Lafarge zahlt 2,5 €/t. Davon macht der Transport 2 € aus, das Material wird um 0,50 €/t verkauft.

Der qualitativ hochwertige Ziegelsand wird um 21-22 €/t verkauft. (Qualität hängt sehr stark vom Eingangsmaterial ab).

Aus der Anlage kommen pro Woche 3.500 t Material (Ziegelsplitt, -sand usw.), 8t Sortierabfälle (Kunststoff, etc.), 9t Holz, 10 -12 t Metalle.

Allgemein

Die Qualität der Recyclingprodukte hängen sehr stark vom Abbruchmaterial ab: wie wird der Abbruch durchgeführt; PORR macht das anscheinend gut; (zieht die MAPAG bei Voruntersuchungen heran.). Voruntersuchungen müssten unbedingt gemacht werden. Problem: z.B. Asbest im Eternit; bei kleinen- privaten Baustellen kommt das Material verseucht daher. Große Firmen selbst bauen es meistens aus.

Probleme:

Absatzmarkt durch Ausschreibungen, die ausschließlich Primärrohstoffe wollen. Der Gesetzgeber müsste eingreifen.

z.B. Stadt Wien hat im vorigen Jahr in Ausschreibungen 25.000 t Recyclingrohstoffe inkludiert. Heuer nicht mehr da die Lage mit dem ALSAG – Beitrag unsicher ist. Rechtsunsicherheit.

Warten auf die Abfalleneverordnung.

Zementindustrie: hat langfristige Verträge für die Abnahme von Primärmaterial, würde teilweise lieber Sekundärmaterial einsetzen (da z.B. näher).

Früher war Primärmaterial mehr wert. Heute muss es teilweise billig verkauft werden, denn Kiesgrubenbetreiber müssen große Mengen schnell loswerden: um Maschinen abzuzahlen usw. deswegen ist das Primärmaterial teilweise zu billig.

BRV müsste sich stärker für eine Lösung einsetzen.

6. Gesprächsprotokoll
Ing. Karl Krischke, Betriebsleiter
Hasenöhrl GmbH
am 05.05.2010

Ort: St. Pantaleon, Wagram 1

Beginn: 09:30 **Ende:** 12:30

Anwesend:

Mag. Kerstin Hammer, TU Wien
DI Stefan Neumayer, RMA
Ing. Karl Krischke, Hasenöhrl

Allgemein:

- Nasse Verfahren: Die Behandlung des anfallender Schlamms macht die Verfahren zu teuer; rechnet sich nicht; waschen von BRM nicht notwendig; für eluieren Zeit zu kurz und auch nicht notwendig
- Abscheidung von Leichtstoffen bei trockenen Verfahren: durch Windsichtung; dafür ist aber eine vorgeschaltete Klassierung notwendig, um den Luftstrom entsprechend abstimmen zu können, da sonst auch größere mineralische Teile mit den Leichtstoffen ausgetragen werden; Staub wird bei trockenen Verfahren bei der Windsichtung mit der Leichtfraktion ausgetragen
- Im ersten Schritt werden Körner > 85cm manuell aussortiert
- Stationäre Anlagen ggü. mobilen rentabel ab 40-50.000 t/a; liefern reinere Produkte mit besserer Qualität → verkaufbar
- mobile Anlagen:
 - o Nachteile: Platz für Betrieb (Abstände) und Qualitätssicherung (Zwischenlagerung der Chargen während der Analytik; 2 Wochen) in der Regel im städtischen Bereich nicht gegeben (Mindestabstand 250m); Antransport und Betrieb erst ab 2.000t rentabel → solange Abtransporte des Materials notwendig ist zahlt es sich nicht aus; sinnvoll bei Großbaustellen (Südbahnhof) oder im Straßenbau (Autobahn)
 - o Vorteil: Einsparung bei Transport und Genehmigungsverfahren
 - o Da man ca. 2 Wochen auf Analyseergebnisse warten muss, ist ein sofortiger Einbau vor Ort eigentlich nicht möglich (!Leoben)
- sensorgestützte Sortierung: funktioniert mit der vorhandenen Erfahrung sehr gut; rentabel dzt. für ein Produkt: Ziegelsplitt als Substrat für die Dachbegrünung -> bevorzugter Input: alte Gebäude mit hohem Normalformat-Ziegelanteil; Durchsatz für die

Vereinzelung von vorsortierten Teilströmen (nach Windsichtung!!) ausreichend; sehr flexibel; kann auf alle Materialien eingestellt werden;

wird auch für die Produktion von Schüttmaterial verwendet, das als Mischgranulat im Straßen- und Landschaftsbau verwendet wird

eine 97%ige Reinheit kann erzeugt werden

Erkennung von 2000 Teilchen/sec

- Das Material kommt aus eigenen Abbrüchen, Containerbereitstellung und aus Zulieferung
- Problem Holz: behandeltes Holz darf in Ö nicht verbrannt werden (spezielle Einstufung der Verbrennungsanlage notwendig) und wird deshalb nach Deutschland geliefert → Abnahme um 20-30€/t
- Einzugsbereich: Großraum Linz (bei Bauschutt)
- Selektiver Rückbau: auch bei einer aufwendigen (stationären) Anlage ist die Qualität des Inputs entscheidend für die Produktion eines qualitativ hochwertigen Produktes → selektiver Rückbau ist ein MUSS; Grad der Verunreinigung kann aber auf die Anlage abgestimmt werden z.B. wird Klebeparkett in der Windsichtung problemlos abgeschieden; Probleme machen verklebte Materialien wie Styropor od. Abdichtungen aus Teerpappe; Ytong, GK-Platten od. Gipsdielen zerbröseln und sind praktisch nicht abtrennbar, vermindern aber die Qualität des Produktes
- Pro Tonne Bauschutt müssen ca. 10% deponiert werden
- Problem Verbundstoffe: Verbundstoffe an sich stellen beim Rückbau kein Problem dar, da sie abgeschält werden können. Allerdings ist die Entsorgung im Anschluss ein Problem – können nur verbrannt und dann deponiert werden.
- „Erziehung“ der Lieferanten = Zwang zu Rückbau über den Preis: Bauschutt mit 10% Verunreinigungen günstig (18,70€), mehr als 10% Verunreinigungen wesentlich (!! teurer (-30% ca. 99€, bis 80% ca. 180€); Dokumentation der Qualität mit Foto (vorallem bei >10% zur Verhinderung von Streitigkeiten)
- Beton- und Asphaltabbruch problemlos absetzbar; sind gleichwertig/besser als Naturmaterial; alle anderen Fraktionen in unseren Breiten schwer absetzbar; in Gegenden mit weniger natürlichen Schottervorkommen (z.B. Tirol) Verwendung von Rec.Material besser → Naturmaterialien sind zu billig
- Material wird alle 5 Tage von unabhängigem Labor beprobt; Sieblinie macht Hasenöhl selbst
- Hasenöhl betreibt eine Bodenaushubdeponie und eine BRM Deponie
- Fa. Hasenöhl arbeitet mit Stammpersonal und während der warmen Monate mit Leiharbeiten. Im Winter erfolgt Gerätewartung. Wenig Leerzeiten, ca. 1 Monat.

Anlagedaten:

- 3 mobile Anlagen und 1 stationäre Anlage
- Durchsatz von 150 – 160.000 t/a (verkaufbarer Output)
- 250.000 t/a wären möglich
- 20.000l Diesel/Monat zur Anlagenbetrieubung

- Anschaffungskosten: rund 7 Mio € (Anlage, Bodenvorbereitung...); Amortisationszeit rund 20 Jahre
- Kosten: 6-7€/t; Analytik 1€/t
- Betriebskosten feste Anlage sind etwa doppelt so hoch wie bei einer mobilen Anlage
- Neue mögliche Technologie: Wirbelstromabscheider

Probleme:

- Rechtssicherheit: durch Novellen von Deponieverordnung, AWG, ... waren zus. Investitionen in der bestehenden Anlage notwendig; oder die Absetzbarkeit der Produkte veränderte sich
- Hohe Kosten (3000€) zur Charakterisierung von Deponiematerial durch Bestimmungen über Abfallannahme der neuen DVO (z.B. Gesamtbeurteilung) über Zwang in Richtung Verwertung, Rückbau, bessere Trennung aus → Vorteil für Aufbereitung, aber für Private sind diese Kosten oft höher als die Deponiekosten und diese „entsorgen“ dann im Wald
- Großer Vorteil wäre eine AbfallendeVO
- Vereinfachung der einzelnen Verwaltungsschritte
- Markt muss geschaffen werden: Material für Straßenbau ist kein Problem, aber Bau-schutt ist „Ladenhüter“
- Ausschreibungen: keine Kontrollen ob Sekundärmaterial in der Ausschreibung verlangt wird (müsste es) und ob es tatsächlich eingesetzt wird
- Verwertung hat Vorrang und spart Deponievolumen (Ziele AWG!!); das schlägt sich aber bei den Behörden (Genehmigungen) und bei den Rahmenbedingungen für die anderen Gesetze nicht nieder
- In Deutschland ist eine Zustandsermittlung/-beschreibung vor dem Abbruch verpflichtend; eine ähnliche Meldepflicht VOR dem Abbruch wäre für die Kontrolle durch die Behörden hilfreich

7. Gesprächsprotokoll

SBM, Ing. Robert Plomberger (Leiter Konstruktion)
am 10.11.09

Ort: Arbeiterheimstrasse, 46, 4663-Laakirchen.

Beginn: 9:00 **Ende:** 11:00

Anwesend:

Ing. Robert Plomberger, (Leiter Konstruktion)
Gerald Schmitt (Project Manager/Sales Manager)

Mag. Kerstin Hammer, TU Wien
DI David Clement, TU Wien

Tagesordnung:

SBM hat die Bauschutt- Aufbereitungsanlage hergestellt, die am Wiener Südbahnhof eingesetzt werden soll. Die Anlage wird innerhalb von 3 Jahren 3.000.000 m³ Bauschutt aufbereiten mit einer Kapazität von 250 t/h.

SBM baut Prallbrecher selbst, Backen- und Kegelbrecher werden zugekauft. Ihr Markt umfasst Europa (v.a. Holland, Deutschland) aber auch den Osten und den Nahen Osten. Die Firma erarbeitet im Moment keine neuen Verfahren, sondern versucht eine Optimierung der aktuellen Technik in Hinblick auf die Reduktion der Betriebs- und Verschleißkosten zu erzielen.

Sortierung

100%iges Trennen funktioniert nicht. Normalerweise wird vor der Anlage händisch sortiert. Windsichtung oder eine Nassaufbereitung werden im Recycling nicht eingesetzt, wohl aber in der Aufbereitung von Primärrohstoffen.

Wichtig für den Brechvorgang ist das Abtrennen von bindigem Material (Ton, Lehm) vor dem Brecher. Dazu werden Fingersiebe eingesetzt.

Aufbereitungsverfahren

SBM baut große mobile Anlagen, die mit einem Prallbrecher arbeiten (speziell bei SBM, andere Unternehmen kombinieren 2 Brecher). Als Besonderheit hat SBM bei der 2. Schwinge eine Feder eingebaut, die bei falschem Material zurückweicht und so ein Brechen der Schwingen verhindert.

Der Trend geht in Richtung Vereinfachung der Verfahren. Bei stationären Anlagen zahlt sich der Transport nicht aus. Daher werden stationäre im Recyclingbereich eher nicht eingesetzt. SBM baut je nach Bedarf unterschiedlich stabile Aufbereitungsanlagen. Recyclinganlagen sind um etwa 20% teurer, da sie stabiler gebaut werden müssen, als Anlagen, die in Kiesgruben zum Einsatz kommen, da mit einem höheren Verschleiß zu rechnen ist. Außerdem muss beim Recycling ein Magnetabscheider eingebaut werden, der die Kosten erhöht.

Qualitätsanforderungen für Produkte müssen beim Brechen festgelegt werden. Je nach Form und Material der Schlagleisten ändert sich die Qualität. Im stationären Bereich ist es auch möglich den Brecher zu steuern.

Der Verschleiß ist ein wichtiger Faktor für Anlagen. Es wird mit stabilen Materialien, wie Har-dox und Gußlegierungen in den Schlagleisten gearbeitet. Lebensdauer: 15.000 – 16.000 h

Allgemein

Bauschutttaufbereitung zahlt sich v.a. dort aus, wo wenig natürliche Rohstoffe vorhanden sind.

Bebauungsdichte von Siedlungen.

Der Recyclingsektor spürt die Wirtschaftskrise sehr stark (Primärrohstoffe sind billig geworden)

8. Gesprächsprotokoll

Schweighofer Klaus, Baustellenleiter Fa. Cemex
am 10.11.09

Ort: Leoben, Märzstrasse

Beginn: 10:00 **Ende:** 11:00

Anwesend:

Schweighofer Klaus

DI David Clement, TU Wien

F.: Was passiert mit den verschiedenen getrennten Fraktionen?

A.: Die in Container 1 enthaltenen Materialien kommen unbehandelt auf die firmeneigene Bauschuttdeponie (in Bruck an der Mur). Der Rest- und Sperrmüll (Container 2) wird durch die firmeneigene Aufbereitungsanlage geshreddert, sortiert und z.T. gepresst (im Fall von Plastik) und verkauft. Die Sortierung erfolgt mittels Magnetabscheider, händisch, durch Siebe und durch Windsichtung. Holz wird normalerweise einer Kompostierung zugeführt, in diesem Fall aber bleibt es vorerst an der Baustelle und wird dann von der Firma Stettin verwertet. Die Metallfraktion –Eisen, Blech, Aluminium- kommt direkt zum Schrotthändler. Der Rest –Bauschutt- wird auf 75mm gebrochen und vor Ort eingebaut. Während des Brechens erfolgt die Probenahme.

F.: Wie erfolgt die Sortierung der Restfraktionen aus dem Bauschutthaufen und was wird sortiert?

A.: Vom Bauschutthaufen werden vor allem Metalle – Kupferdrähte aussortiert. Die Sortierung erfolgt in drei Schritten: zunächst am Bauschutthaufen selbst, dann vor dem Brecher und schließlich durch ein Magnetband am Brecher.

F.: Zu welchem Prozentteil kann man nach Ihrer Erfahrung die im Bauschutthaufen nach dem Abbruch sich befindende Metallfraktion aus dem Bauschutthaufen trennen?

A.: ca. 70 %

F.: Wie lange brauchen Sie normalerweise für eine Entkernung?

A.: ca. eine Woche

F.: Sind Bauweise und Baumaterialien in diesem Haus ähnlich denen anderer Hausabbrüche?

A.: 90% der Häuser die wir abreißen sind ähnlich diesem Haus aufgebaut.

F.: Was kann in etwa ein solcher Hausabbruch kosten?

A.: Sicherlich mehr als 100.000€.

Für genauere Kostenfragen Herrn Wagner (Disponent) kontaktieren

9. Gesprächsprotokoll
Gernot Steinberger, Group Manager
DI Christian Pircher, Bauleiter
Environmental Engineering Group
Demolition- and Special Projects; Alpine

am 17.02.2010

Ort: Oberlaaerstraße 276

Beginn: 10:00 **Ende:** 11:00

Anwesend:

Steinberger Gernot, ALPINE
DI Christian Pircher, ALPINE
Mag. Kerstin Hammer, TU Wien
Mag. Heinz Buschmann, RMA
DI David Clement, TU Wien

1. Allgemein

-Im Tiefbau ist Recycling (der anfallenden Materialien) mittlerweile Standard
-Es kann aber nicht viel Recyclingmaterial eingesetzt werden, da die Ausschreibungen dies oft ausdrücklich untersagen

2. Abbruch

a. Angebot

-Die Ausschreibung enthält meistens keine rückbauspezifischen Informationen, sie enthält nur die Information, dass eine Entkernung stattfinden soll. Die Abbruchfirma hat eine Stunde Zeit um sich das Gebäude anzusehen, bevor sie das Angebot legt. Hätte man mehr Zeit für die Erkundung, würden Angebote oft billiger ausfallen, da das Abschätzen des tatsächlichen Bestandes verbessert werden würde.

-In einem Fall hatte ein Techniker zwei Tage Zeit für eine Erkundung – um in einem 25.000m² - Gebäude die Stromleitungen zu finden. Ergebnis: er fand 20-30 km Kabel mehr als gedacht.

-In der Praxis findet man bei der Erkundung (einstündig, wie in der Regel) 70-80% der Wert- und Schadstoffe (Eternit, Abest, Bitumen, teerhaltige Materialien). Interessante Sachen findet man immer in abgehängten Decken.

- Hätte man 1-2 Tage Zeit, würde man 90 % oder mehr finden.

-100 % ige Erfassung der Baumaterialien ist unmöglich, geht nur wenn ich alles chemisch analysiere.

b. Trennschärfen bei Abbruch und Recycling

Metalle: Stahl 95-(98% bei schnell verwertbaren Stoffen wie Heizkörper, Kupfer, Eisen)

Wenn ich Leitungen ausstemme: 98 %

Holz: 5 % bleibt übrig im Bauschutt. Das meiste unbehandelte Holz geht direkt an Abnehmer.

c. Kosten:

Entkernung: 25 € / m² ± 40 % ohne besondere Materialien wie: Schlacke, Asbest.

Kosten beinhalten auch das Entfernen von Fliesen und vom Verputz.

Kosten für den Abbruch (inklusive Entkernung, Entsorgung): 15 €/ m³ umbauter Raum

d. Rückbau

-Fenster werden manchmal in Einzelteile zerlegt -> Wertstoffe

-Bitumenbahnen: es wäre interessant bestimmen zu können, ob sie verwertbar sind oder nicht (Schadstoffgehalt)

-ALPINE hat wenig eigenes Personal, das aber sehr gut geschult ist (Polierer und Unterpolierer) und sehr qualifiziert. Pro Stockwerk leitet jeder Polier ein Team an Leiharbeitern .

e. allgemein

-Durchschnittlich gefahrene km bei der zentralen Aufbereitung: zwischen 10 und 20. Im ländlichen Raum erhöht sich diese Zahl (dafür kann ich mich schneller bewegen)

-Zur Zeit wird eher selektiv rückgebaut (österreichweit schätzungsweise 80 %) – ALPINE: 98 %. Ob es sinnvoller wäre, nach dem Abbruch maschinell zu trennen, ist eine ständige Diskussion innerhalb der Firma. Objektbezogen kann es besser sein, nach dem Abbruch zu trennen, der Großteil der Gebäude wird jedoch selektiv Rückgebaut. (bei kleinen Abbrüchen (Einfamilienhäuser, Garagen... wird eher nicht rückgebaut)

-die Aufteilung zwischen mobiler und stationärer Aufbereitung: 50-50 % bezogen auf die Menge des Materials. Größere Abbrüche werden eher mobil, kleinere eher stationär aufbereitet. Abhängig auch vom Abstand zum bewohnten Gebiet (Stadt – Land.)

-die Fa. Alpine Bau bricht ihr Material bei der Fa. Ökotechna in Perchtoldsdorf oder bei der Fa. Saubermacher in Stockerau. Dort befindet sich eine gemeinsame Niederlassung von Ökotechna und Saubermacher, die Ökomacher.

-die Fa. Alpine Bau erwartet sich von uns die Vorlage des Berichts, Daten aus chemischen Analysen, Handbuch zu Schadstoffen in Bauteilen