

# Vermeidung von Baustellenabfällen in Wien

Erarbeitung von Vermeidungsstrategien für Baustellenabfälle basierend auf einer praktischen Durchführung der Probenahme, Nachsortierung und einer analytischen Untersuchung von Baustellenabfällen und einzelner Fraktionen in Wien

Endbericht – Teil 3/4:  
Ergebnisse

Mai 2004

ausgewählt im Rahmen der INITIATIVE „Abfallvermeidung in Wien“,

*Im Auftrag der*

UMWELT ♥ MUSTERSTADT  
**WIEN**

INITIATIVE  
„ABFALLVERMEIDUNG  
IN WIEN“

Stadt+**Wien**  
*Wien ist anders.*

Dieses Projekt wurde im Rahmen der INITIATIVE „Abfallvermeidung in Wien“ von der Stadt Wien finanziert/gefördert.

---

**Impressum:**

*Für den Inhalt verantwortlich: Österreichisches Ökologie-Institut für angewandte Umweltforschung, Seidengasse 13, 1070 Wien, 01/523 61 05-0, Fax: 01/523 58 43, eMail: [pladerer@ecology.at](mailto:pladerer@ecology.at), Web: [www.ecology.at](http://www.ecology.at)*

*Projektleitung:* Christian Pladerer

*Weitere Mitarbeiterinnen:*

- Dr. Erika Ganglberger, Österreichisches Ökologie-Institut, Wien
- Barbara Funder, Österreichisches Ökologie-Institut, Wien
- Gina Roiser-Bezan, Österreichisches Ökologie-Institut, Wien

*Qualitätssicherung:* Mag<sup>a</sup>. Susanne Geissler (Bereichsleitung Ressourcen)

## Inhaltsverzeichnis

7	Ergebnisse .....	89
7.1	Bauschutt .....	89
7.1.1	Herkunft und Zusammensetzung .....	89
7.1.2	Schadstoffe .....	90
7.1.3	Sortierung von Bauschutt .....	90
7.1.4	Aufbereitung von Bauschutt .....	91
7.1.5	Verwertung- und Entsorgungswege .....	93
7.1.6	Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten .....	97
7.1.7	Vermeidungsmaßnahmen .....	99
7.2	Bau- und Abbruchholz .....	100
7.2.1	Herkunft und Zusammensetzung .....	100
7.2.2	Schadstoffe .....	101
7.2.3	Sortierung von Altholz .....	103
7.2.4	Verwertung- und Entsorgungswege .....	105
7.2.5	Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten .....	106
7.2.6	Vermeidungsmaßnahmen .....	113
7.3	Kunststoffe .....	114
7.3.1	Herkunft und Zusammensetzung .....	114
7.3.2	Sortierung von Kunststoffen .....	115
7.3.3	Verwertung- und Entsorgungswege .....	116
7.3.4	Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten .....	122
7.3.5	Vermeidungsmaßnahmen Nicht-Verpackungen .....	123
7.3.6	Vermeidungsmaßnahmen Verpackungen .....	123
7.4	Papier und Pappe .....	123
7.4.1	Herkunft und Zusammensetzung .....	123
7.4.2	Sortierung von Pappe und Papier .....	124
7.4.3	Verwertung- und Entsorgungswege .....	124
7.4.4	Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten .....	124
7.4.5	Vermeidungsmaßnahmen .....	126
7.5	Restfraktion (Sortierrest) .....	126
7.5.1	Herkunft und Zusammensetzung .....	126
7.5.2	Verwertung- und Entsorgungswege .....	126
7.5.3	Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten .....	126
7.5.4	Vermeidungsmaßnahmen .....	127

8	Verzeichnisse .....	129
8.1	Tabellenverzeichnis .....	129

## 7 Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der analytischen Untersuchung von Baustellenabfällen Erfahrungs- und Literaturwerten gegenübergestellt.

### 7.1 Bauschutt

Die Abfallgruppe Bauschutt umfasst Abfälle, die bei der Lagerung, dem Transport, der Verarbeitung von mineralischen Baustoffen und Bauelementen sowie dem Gebäuderückbau (z.B. Abbruch, selektiver Rückbau) als Verschnitt, Bruch oder überschüssige, nicht mehr einsetzbare Rohmaterialien anfallen (sog. mineralische Baureststoffe) (WALKER, 2000).

Der überwiegende Anteil des Bauschuttes stammt aus dem Hochbau, da Bauwerke dieses Bereiches i.a. kürzeren Erneuerungszyklen unterliegen, als jene im Tiefbau (LECHNER und DREIER 1995).

#### 7.1.1 Herkunft und Zusammensetzung

Bauschutt stellt in der Regel ein heterogenes Materialgemisch aus vorwiegend mineralischen Bestandteilen wie Beton, Ziegeln, Klinkern, Kalksandsteinen, Natursteinen, Sand, Kies, Boden, Mörtel, Gips, Fliesen, Keramik, Stein- und Glaswolle sowie einem geringen Anteil an nicht mineralischen Stoffen wie Metallen, Holz, Kunststoffen, Pappe, Papier und Sonstigem dar.

Die Zusammensetzung von Bauschutt wird durch zahlreiche Faktoren wie die Art der Bau- oder Abbruchmaßnahmen (Neubau, Umbau, Renovierung, Sanierung, Rückbau, Abbruch), die Art (Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Sonderbauwerk), die Bauart und Bauweise, die Nutzung und das Alter des Bauwerks sowie durch den Standort beeinflusst und ist daher sehr starken Schwankungen unterworfen. Für die einzelnen Anteile der im Bauschutt enthaltenen Stoffgruppen können daher nur Schwankungsbereiche angegeben werden (WALKER, 2000).

Den mengenbezogenen größten Anteil bilden die mineralischen Bestandteile mit einer Masse von 60 – 80 %. Diese verteilt sich zu 30 – 70 % auf Beton, zu 25 – 50 % auf Sand und zu 3 – 30 % auf Mauerwerk. Mengenmäßig von geringer Bedeutung sind die bitumengebundenen Stoffe und die unter "Sonstige" zusammengefassten vorwiegend nicht mineralischen Bestandteile mit 1 – 10 % bzw. 3 – 10 % (AACHENER STIFTUNG, 1999).

Der mineralische Anteil der Baustellenabfälle liegt massebezogen zwischen 40 und 80 %, wobei die Feinfraktion (z.B. 0 – 8 mm) und die Grobfraktion jeweils rund 50 % ausmachen (ROSS & WALKER, 1995).

Als Anhaltswert für die objektbezogene Ermittlung von Bauschutt bei Abbruchmaßnahmen kann der umbaute Raum bzw. der Bruttowohnraum angesehen werden. RHEINLAND PFALZ (1988) gibt an, dass ca. 30 – 35 % des Bruttowohnraumes als Bauschutt anfallen. Dabei ist anzumerken, dass es sich bei diesen Angaben i.a. um Mengen an Muldeninhalten handelt, also einem Gemenge aus unterschiedlichsten Baurestmassen. Eine ähnliche Größenordnung gibt auch GRETZMACHER (1993) an, das Volumen des mineralischen Anteils der Baurestmassen, der Bauschutt, liegt demnach bei ca. 20 – 25 % des umbauten Raumes (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, 1995).

## 7.1.2 Schadstoffe

In Abhängigkeit der Verunreinigung erfolgt eine Untergliederung in unbelasteten, belasteten und schadstoffverunreinigten Bauschutt. Als unbelasteter Bauschutt wird das mineralische Material (z.B. Kalksandstein, Mörtel) bezeichnet, das bei Abbrucharbeiten (z.B. durch systematischen Rückbau) von nicht kontaminierten Bauwerken anfällt und nur einen geringen Anteil (< 5 Vol. %) an nichtmineralischen Bestandteilen enthält. Belasteter Bauschutt fällt beim herkömmlichen Abbruch nicht kontaminierter Gebäude ohne vorherige Rückbaumaßnahmen an und enthält größere Mengen an nicht mineralischen Bestandteilen (> 5 Vol.-%). Bei den Verunreinigungen handelt es sich um die ehemals festen Bestandteile des Gebäudes, die in einem funktionalen Zusammenhang mit diesem standen, wie z.B. Fußböden, Installationen, Wand- und Deckenverkleidungen. Schadstoffverunreinigter Bauschutt liegt vor, wenn die mineralischen Abbruchmassen wasser-, boden- oder gesundheitsgefährdende Stoffe enthalten, die aufgrund des Gehalts dieser Stoffe zu nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt führen können (BILIETEWski, HÄRDtLE & MAREK 2000).

Schadstoffe können einerseits anwendungsspezifischen oder nutzungsbedingten Ursprungs sein oder aber durch den Einsatz schadstoffhaltiger Baumaterialien (z.B. Asbest) in den Bauschutt gelangen. Bei einigen Produktionsbetrieben kann anhand der vorherigen Nutzung (z.B. Industriegebäude, Tankstellen, u.ä.) auf eine daraus resultierende Kontamination ganzer Gebäude oder einzelner Gebäudeteile geschlossen werden. Eine historische Erkundung kann deshalb schon im Vorfeld Aufschluss über eine mögliche Kontamination einer Produktionsstätte geben.

Im Hinblick auf die künftige Verwertbarkeit sind umweltgefährdende Baustoffe und Bauchemikalien von Interesse, die in Summe weniger als ein Masseprozent des Baustoffeinsatzes betragen. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die bei der Beton-, Mörtel- und Estrichherstellung verwendeten Zusatzmittel und -stoffe sowie die Produkte zum Kleben, Abdichten, Beschichten oder Anstreichen, welche Bestandteile eines Bauteils sind oder auf Bauteile aufgetragen werden und somit bis zum Abbruch des Bauwerks dort verbleiben. Da bei Abbruchtätigkeiten normalerweise nicht zwischen Bauteilen mit und ohne Zusatz von umweltgefährdenden Stoffen unterschieden werden kann, gelangen diese bei der Abfallaufbereitung in die mineralischen Recycling-Baustoffe und schränken gegebenenfalls deren Verwertbarkeit ein. Zum Beispiel kann seit der Herstellung von Transportbeton auf die Verwendung von Betonzusatzmitteln (Fließmittel, Erstarrungsverzögerer, u.ä.), die gewisse Betoneigenschaften durch chemische und/oder physikalische Wirkungen beeinflussen, nicht mehr verzichtet werden (ROSS & WALKER, 1995).

Baurestmassen sind aus Sicht der Abfallwirtschaft nicht nur mengenmäßig von Bedeutung, sondern stellen ein beträchtliches stoffliches Potenzial in Form von Recyclingbaustoffen dar, welches teilweise schon ausgeschöpft wird. Bei der Aufbereitung von Baurestmassen ist auf deren stoffliche Zusammensetzung zu achten, damit nur solche Materialien im Kreislauf geführt werden, bei denen es bei mehrmaliger Verwertung zu keiner Anreicherung von unerwünschten Schadstoffen in den Recyclingprodukten kommt (WALKER, 2000).

## 7.1.3 Sortierung von Bauschutt

Auf der Baustelle sollte grundsätzlich eine Trennung von „sauberem“ Bauschutt und anderen Abfällen wie Gipskartonplatten, Folienabfällen, Papierabfällen, etc., durchgeführt werden. Sortenrein getrennt gesammelter Bauschutt kann in der Regel direkt verwertet werden. Gemischt gesammelte Abfälle müssen vor einer Ablagerung auf einer Baurestmassendeponie durch eine Sortieranlage nachsortiert werden und können nur mit entsprechenden Mehrkosten einer Verwertung zugeführt werden.

Nach einer maschinellen Vorsortierung mittels Bagger für die Abtrennung von sperrigen bzw. voluminösen Fraktionen und Gegenständen werden per Hand und/oder Sieben, Windsichtern, Metallabscheidern, kleinere Fraktionen abgetrennt. Siehe dazu Kapitel 5 Sortierbetriebe ÖKOMacher, Muldenzentrale und Ottokar Klug. Die durch die Sortierung gewonnene mineralische Fraktion (vor allem Bauschutt) kann zu Recycling-Baustoffen unterschiedlicher Korngröße und Qualität aufbereitet werden oder aber auf einer Baurestmassendeponie entsorgt werden.

#### 7.1.4 Aufbereitung von Bauschutt

Die Aufbereitung von Bauschutt aus dem Abbruch von Gebäuden bereitet nach wie vor erhebliche Schwierigkeiten. Neben Störstoffen, wie beispielsweise Leichtstofffraktionen oder organische und quellende Bestandteile, behindern insbesondere die in Bauschutt enthaltenen Schadstoffe eine Aufbereitung zu qualitativ hochwertigen Sekundärbaustoffen.

Grundsätzlich stehen derzeit das trockene und das nasse Bauschuttaufbereitungsverfahren für eine Schadstofftrennung zur Verfügung.

Die **trockene Bauschuttaufbereitung** (JUNGMANN, 1997) hat sich in der Praxis aufgrund der einfacheren Technik in den letzten Jahren durchgesetzt, obwohl Produkte aus einer Nassaufbereitung erheblich hochwertiger sind. Erfahrungsmäßig kann man bei der Trockentrennung keine genaue Schadstoffseparierung erreichen. Als weitere Nachteile gelten höhere Kosten, höhere Staubentwicklung und das trockene Fertigmateriale. Die Verwendung des trocken aufbereiteten Fertigungsmaterials als Zuschlagstoff für die Betonerzeugung ist kaum möglich (DEISL, 1996).

Die **nasse Aufbereitung** über eine Setzmaschine oder einen Aufstromklassierer führt zu qualitativ hochwertigem Material, setzt jedoch ausreichende Wasservorkommen und eine Beseitigungsmöglichkeit für den Schlamm voraus. Diese Voraussetzungen sind bei bestehenden Sand- und Kieswaschanlagen erfüllt. Der besondere Vorteil dieses Anlagentypus ist die Möglichkeit, auch stark verunreinigtes, lehm- und schluffreiches Schottermaterial aufzubereiten.

Am Beispiel von drei Anlagen in Österreich (Firma Deisl, Hallein), den Niederlanden (Firma VAR/VP, Wilp) und USA (Firma SET Materials Inc., Florida) wurde von JUNGMANN 1997 dargestellt, dass das vermeintlich teurere Nassverfahren Produkte erzeugt, deren geforderte Qualitätsmerkmale allein durch Trockenaufbereitung nicht zu erreichen sind. Als Zumischprodukte werden Granulate, aber auch Bauschuttsande in der Betonfertigteile- bzw. Transportbetonindustrie verwendet. Die Betrachtungen werden dadurch abgerundet, dass zum Abschluss spezifische Investitionskosten und Energieverbräuche von Nassaufbereitungsanlagen genannt werden. Es besteht kein Zweifel, dass der aktuelle Stand der Technik bei der Bauschuttaufbereitung bestehend aus den Verfahrensschritten: Brechen - Sieben - Magnetscheidung sowie Windsichtung die zur Zeit billigste und unkomplizierteste Art der Aufbereitung von Hochbauschutt und Straßenaufbruchmaterial ist. Bei den Anlagen in Österreich, den Niederlanden und USA sind die Betreiber der Meinung, dass die Bauschuttprodukte hinsichtlich Homogenität, Kornzusammensetzung und Reinheit nur durch Nassaufbereitung in der geforderten Qualität herstellbar sind, jedoch eine Vermarktung noch nicht funktioniert. Die Anlageninvestition liegt bei etwa 3.500-4.000 €/t Durchsatz. Der Energieverbrauch der Nassaufbereitung mit *alljig-Setzmaschinen* einschließlich Wasserkreislauf und Fördertechnik liegt bei etwa 0,9 kWh/t. Bedenken werden immer wieder hinsichtlich der Kosten geäußert, die durch einen geschlossenen Wasserkreislauf entstehen. Insbesondere der Verbrauch an Flockungsmitteln und der Betrieb von Sedimentationsanlagen (Eindicker) werden immer wieder negativ dargestellt. Es entstehen bei dem Betrieb optimierter Anlagen Kosten für Flockungsmittel von < 0,05 €/t Durchsatz. Eindick- und Entwässerungsanlagen führen zu Investitionskosten von etwa 2.500-3.000 €/t Durchsatz bei spezifischen Energiekosten von rd. 0,4-0,6 kWh/t Durchsatz.

Demgegenüber liegen die Investitionskosten einer ausschließlich trocken arbeitenden Bauschuttzubereitung bei etwa 6.100 €/t Durchsatz. Eindeutig ist jedoch, dass man die Nasszubereitung von Bauschutt nicht von vornherein ablehnen sollte, selbst in den Fällen, in denen man nur Betonzuschlagsmaterial herstellen will. Der Energieverbrauch und auch die Investitionen von trocken arbeitenden Anlagen mit Windsichtung sind dabei nicht zu unterschätzen und bedürfen einer kritischen Betrachtung. Sicher ist aber auch, dass die Anlagentechnik bei der Nasszubereitung von Bauschutt aufwendiger und komplizierter ist, bezogen auf die Absatzmöglichkeiten der erzeugten Produkte jedoch wirtschaftlicher sein kann.

Die an zwei **Bauschuttzubereitungsanlagen** (SINDT et al., 1997) unterschiedlicher Konfiguration durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass zubereitungsseitig die Möglichkeit zur Aufkonzentrierung von Schadstoffen insbesondere durch die Absiebung der Feinfraktion (0 bis 4 bzw. 0 bis 8 mm), in der sich die Schadstoffe überwiegend anreichern, besteht. Doch weitere Untersuchungen zeigten, dass die Schadstoffverteilung ab einer gewissen Korngröße (hier 4 mm) nur noch geringfügig mit der Korngröße der Partikel korreliert, so dass die Schadstoffe nur bedingt durch Absiebung ausgeschleust werden können. Die Untersuchungsergebnisse über den Einfluss der Bauschuttzusammensetzung auf die Umweltverträglichkeit des Recyclingmaterials zeigten, dass die im Bauschutt vorhandenen Schadstoffe zu Umweltbeeinträchtigungen, die jedoch durch getrennte Demontage belasteter Bauteile deutlich verringert werden können, führen. Somit wurden durch die Entfernung von **Teerpappen** und vor allem von **Schornsteinen** die Gehalte an organischen Schadstoffen wie Kohlenwasserstoffe und PAK stark reduziert. Darüber hinaus brachte die Entfernung ausgewählter **gipshaltiger** Bauteile eine deutliche Senkung der Sulfatkonzentration im Eluat sowie der Leitfähigkeit. Was die Schwermetallgehalte im Feststoff anbelangt, zeigte sich jedoch, dass selbst eine strikte Trennung aller nichtmineralischen Bauteile nur einen geringen Einfluss auf den Gehalt an Schwermetallen hat, da über 90 % aller Schwermetalle im Gebäude auf die mineralischen Baustoffe bzw. Natursteine zurück zu führen sind.

Tabelle 7-1: Gehalte ausgewählter Schadstoffe im Feststoff und Zuordnungswerte (ZO) der LAGA in mg/kg

Parameter	Mobile Anlage			Stationäre Anlage				ZO LAGA
	Fraktionen in mm							
	0-8	8-100	0-100	0-4	4-25	0-45	45-x	
Pb	96,5	9,2	31,9	35	21,5	16	16	100
Zn	390	48,9	137,6	133	65	84	26	120
KW	138	63,9	83,2	432	222	153	28	100
PAK	6,58	3,05	3,97	2,53	0,49	0,40	0,013	1

Der **Vergleich** zwischen trockenen und nassen Bauschuttbehandlungsverfahren (SCHACHERMAYER et al., 1998) zeigte, dass die stoffliche Qualität des Inputs die stoffliche Qualität der Produkte determiniert. Bei zwei trocken gefahrenen Anlagen (BASORAG 1991, SORTAG 1993; in SCHACHERMAYER et al., 1998) in denen Muldengut zubereitet wurde, entstanden hauptsächlich Fraktionen, die auf Grund ihrer Schadstoffbelastung für eine Wiederverwertung ungeeignet waren.

Eine andere Untersuchung (SINDT et al., 1997) über die trockene Zubereitung von Bauschutt, welcher ausschließlich aus dem Hochbau stammte, zeigte, dass die mineralischen Produkte abgesehen von der Korngruppe 0/4mm eine sehr geringe Belastung mit Spurenelementen aufweisen. Ebenso produziert die in dieser Arbeit untersuchte nasse Anlage, in welcher ausschließlich nach der Trennverordnung separierter Bauschutt und Betonabbruch zubereitet wird, mineralische Fraktionen, welche sich zur Wiederverwertung eignen. Für ein erfolgreiches Recycling von Baurestmassen ist die bestmögliche Trennung beim Abbruch auf der Baustelle notwendig.

Es zeigte sich weiters, dass die Spurenelementgehalte der mineralischen Fraktionen bei trockenen Verfahren Korngrößenabhängig sind und je kleiner die Korngröße, desto höher die Konzentration. Durch Entfernen der belasteten Fraktionen lässt sich der Gesamtschadstoffgehalt reduzieren. Beim nassen Verfahren werden die Spurenelemente im Abwassersediment angereichert. Beide Verfahren erzeugen aus gemischten Baurestmassen eine Leichtfraktion, die thermisch zu verwerten ist.

### 7.1.5 Verwertung- und Entsorgungswege

Bauschutt, der auf den Baustellen getrennt erfasst wird und in der Regel keine Verunreinigungen aufweist, kann direkt auf einer Baurestmassendeponie abgelagert oder einer Recyclinganlage zugeführt werden. Die aus der Sortierung gewonnenen mineralischen Bestandteile können bei entsprechender Qualität und Reinheit in einer Bauschuttzubereitungsanlage weiter behandelt werden.

Die Aufbereitung der mineralischen Fraktionen erfolgt mit einer inzwischen sehr hochentwickelten Brechertechnik, die den Stoffen entsprechend differenziert werden kann, z.B. für das Brechen von Mauerwerksschutt oder von Stahlbeton mit Separierung der Bewehrung durch einen Überbandmagneten. Es gibt Anlagen, die mit mehreren verschiedenen Brecherstufen arbeiten. Nach dem Brechen erfolgt die Klassierung des Materials in verschiedene Korngrößen durch Siebanlagen. Sollte nach dem Brechvorgang noch eine Reinigung von nichtmineralischen oder leichten Bestandteilen erforderlich sein, können diese im Nassverfahren als Waschvorgang (Aquamatoren) oder im Trockenverfahren durch Ausblasen der Leichtfraktionen in einem sogenannten Windsichter abgeschieden werden. So können sehr reine mineralische Zuschläge hergestellt werden. Diese sind frei von kleinen Holz- und Kunststoffpartikeln, aber auch von Gips-, Porenbeton- und Lehmbestandteilen. Letztere stellen wegen ihrer fehlenden Wasser-, Frost- und Raumbeständigkeit Störstoffe für hochwertige Zuschläge dar und werden möglichst schon bei der Materialannahme separiert, vorausgesetzt, sie sind in erkennbaren Mengen im Bauschutt vorhanden (TRÄNKER, 1990).

Die Aufbereitungsverfahren erfordern einen umso höheren Aufwand, je geringer der Grad der Vorsortierung oder Stoffseparierung bei der Annahme und je höher die gewünschte Qualität des Endproduktes ist. So spiegeln die Annahmepreise bereits an vielen Stellen diesen Aufwand wider und zeigen, dass es sich lohnt, schon auf der Baustelle Reststoffe zu separieren (WALKER, 2000).

Für den Einsatz in Form hochwertiger Recyclingstoffe müssen diese wasser- und frostbeständig sein und dürfen keine oder nur geringe Beimengen von Gips- oder Porenbetonresten enthalten. Größere Anteile dieser Stoffe erzeugen geringwertige Recycling-Baustoffe. Auch im Hochbau ist die Herstellung von Stahlbeton für tragende Wände mit Recyclingzuschlägen möglich. Grundsätzlich bestehen nach der Sammlung die beiden alternativen Möglichkeiten der Deponierung oder des Recyclings. Im Sinne der Abfallvermeidung ist selbstverständlich bei Vorhandensein der technischen Möglichkeiten immer das Recycling zu bevorzugen, und hierfür ist die getrennte, sortenreine Sammlung eine wichtige Voraussetzung (WALKER, 2000).

Bei Bauschutt kann zwischen der Verwertung als Baustoff und als Rohstoff unterschieden werden. Die Verwertung als Baustoff für untergeordnete Bauzwecke (Dammschüttung im Verkehrswegebau und im Hochwasserschutz, Herstellung von Lärm- und Sichtschutzwällen, Filter- und Drainageschichten sowie Baustraßen, Hinterfüllung und Überschüttung von Bauwerken, usw.) kann, sofern der Bauschutt aufgrund seiner stofflichen Zusammensetzung und der Materialeigenschaften dazu geeignet ist, ohne Aufbereitung erfolgen. Nach entsprechender Aufbereitung können diese nach dem Nachweis der technischen Eignung sowie ggf. der Umweltverträglichkeit als hochwertige Baustoffe im Bauwesen Verwendung finden. Weiterhin kann aufbereiteter Bauschutt als Rohstoff zur Baustoff- und Bauproduktherstellung bzw. für sonstige industrielle Zwecke eingesetzt werden (WALKER, 2000).

Für den Einsatz am Bau ist es erforderlich, dass Baumaterialien bestimmte bautechnische Eigenschaften aufweisen. Ein Ziel der Aufbereitung von Baurestmassen ist, den bei entstehenden Recyclingbaustoffen gleichen Qualitätsstandard zu erreichen wie von Primärbaustoffen. Zu diesem Zweck wurden vom Österreichischen Güteschutzverband Recycling-Baustoffe und dem Österreichischen Baustoff-Recycling Verband (ÖBRV) Richtlinien für Recycling-Baustoffe definiert, welche die Art und den Umfang von Prüfungen an wiedergewonnenen Baustoffen regeln, mit dem Ziel, die Eigenschaften von recyceltem Material und dessen Einsatzmöglichkeiten definieren zu können. Folgende Tabelle zeigt die Verwertungsmöglichkeiten von Hochbaurestmassen.

Tabelle 7-2: Verwertung von Hochbaurestmassen (ÖSTER. BRV, 2003)

<b>Ziegelbruch</b>	<b>RZ</b>	<b>Qualitätsbaustoff für</b>
Herkunft: Ziegelproduktion, Abbruch	Recyclierter Ziegelsand, Recyclierter Ziegelsplitt, (vorwiegend Ziegel)	Zuschlagstoff für die Produktion von Mauerwerk- Steinen, Beton und Leichtbeton, Stabilisierungen, Drainage- schichten, Füllungen, Schüttungen
<b>Hochbau-/Ziegelbruch</b>	<b>RHZ</b>	<b>Qualitätsbaustoff für</b>
Herkunft: Wohnbau und Hochbauabbruch	Recyclierter Hochbauziegelsand Recyclierter Hochbauziegelsplitt (Ziegel über 33%, mit z.B. Betonanteil)	Zuschlagstoff für die Produktion von Mauerwerk- Steinen, Beton und Leichtbeton; Stabilisierungen, Füllungen Schüttungen, Estriche
<b>Hochbauabbruch</b>	<b>RH</b>	<b>Qualitätsbaustoff für</b>
Herkunft: Industriebauabbruch und allg. Hochbauabbruch	Recyclierter Hochbausand und – splitt, (Ziegel unter 33% mit z.B. Betonanteil)	stabilisierte Schüttungen und Künettenverfüllungen, Bauwerkshinterfüllungen, Sportplatzbau
<b>Mineralische Hochbaurestmassen</b>	<b>RMH</b>	<b>Qualitätsbaustoff für</b>
Herkunft: Industriebauabbruch und allg. Hochbauabbruch	Mineralische Hochbaurestmassen (Beton, Ziegel, natürliches Gestein)	Künettenverfüllungen, Hinterfüllungen Schüttungen, Sportplatzbau-Drainage
<b>Recycling-Sand</b>	<b>RS</b>	<b>Qualitätsbaustoff für</b>
Herkunft: Industriebau- und allg. Hochbauabbruch	Recycling-Sand	die Bettung von Energie- und Fernmeldekabeln (Kabelsand) von Leitungsrohren, z.B. von Kanal-, Gas-, Wasserleitungsrohren, sowie für weitere Infrastrukt- einrichtungen

Nach den folgenden **Richtlinien** vom Österreichischen Baustoff-Recycling Verband erfolgt die Auszeichnung gütegeschützter Recycling-Baustoffe.

- **Neuaufgabe: Richtlinie für Recycling-Baustoffe, 5. Auflage, Juli 2003.**  
Die Neuregelung der Umweltverträglichkeit von Recycling-Baustoffen in Form von Qualitätsklassen erfolgte in der nun 5. Auflage auf Basis des zwischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) und der Recyclingwirtschaft akkordierten Studie des Umweltbundesamtes „Recycling-Baustoffe; Regelung der Umweltverträglichkeit“, Dezember 2002.
- **Richtlinie für Recycling-Sand aus mineralischen Baurestmassen, Oktober 1998**  
Diese Richtlinie regelt die Anforderungen und Eigenschaften für einen aus Baurestmassen gewonnenen Recycling-Baustoff (RS), der für folgende Bereiche verwendet werden kann:  
-Kabelsand für die Bettung von Energie- und Fernmeldekabeln  
-Sand für die Bettung von Leitungsrohren, insbesondere Kanalrohre, Gasrohre, Wasserleitungsrohre  
-Weitere Infrastruktureinrichtungen
- **Richtlinie für Recycling-Baustoffe aus Hochbau-Restmassen, Anwendungsbereich: Ungebundene Massen, Juli 1996**  
Recycling-Baustoffe gemäß dieser Richtlinie (RMH-Material) sind aus mineralischen Hochbaurestmassen durch Rückbau von entsprechenden Bauten und Bauteilen und eine entsprechende Aufbereitung entstandener Korngemische und Korngruppen mit definierten Eigenschaften und Prüfbestimmungen.  
Mögliche Anwendungsbereiche: Verdichtete (z.B. Lärmschutzwälle) und unverdichtete (z.B. Hinterfüllungen) Schüttungen, hydraulisch gebundene Anwendungen, ...
- **Richtlinie für Recycling-Baustoffe aus Hochbau-Restmassen, Anwendungsbereich: Zementgebundene Massen, Mai 1995**  
Recyclingbaustoffe gemäß dieser Richtlinie werden ebenfalls durch Aufbereitung von Hochbaurestmassen erzeugt. Die dadurch gewonnenen Sande bzw. Splitte werden je nach Ziegelanteil als RZ-, RHZ- oder RH-Material eingestuft. Die Eigenschaften sind im Hinblick auf eine Verwendung bei der Herstellung von zementgebundenen Baustoffen und Bauteilen (Beton, Hohlblocksteine, Estriche,...) festgelegt.  
Zusätzlich wurden vom Österreichischen Baustoff-Recycling Verband Merkblätter zu folgenden Themen herausgeben (ÖSTERREICHISCHER BAUSTOFF-RECYCLING VERBAND, 2003):
- **NEU: Merkblatt "RFM - fließfähiges selbstverdichtendes Künettenfüllmaterial mit recyceltem, gebrochenem Material", August 2003**  
Die neue Methode zur Verfüllung von Leitungsgräben mittels RFM (fließfähiges, selbstverdichtendes Künettenfüllmaterial mit recyceltem, gebrochenem Material) sieht im Falle des Austausches des Aushubmaterials den Einsatz von qualitätsgesichertem Recyclingmaterial vor. Dieses Merkblatt soll den technisch richtigen Einsatz dieses Materials unterstützen und helfen, Fahrbahnsetzungen und deren Folgewirkungen zu vermeiden sowie schädliche Umweltauswirkungen (z.B. Staub, Lärm, Erschütterungen) zu minimieren.
  - **Merkblatt "Recycling-Baustoffe für Leitungsgräben", November 2001**  
Dieses Merkblatt soll den technisch richtigen Einsatz dieses Materials unterstützen und helfen, Fahrbahnsetzungen und deren Folgewirkungen zu vermeiden sowie schädliche Umweltauswirkungen zu minimieren.

Sehr gut geeignet für den Einbau in der Wiederverfüllungszone sind

- RB 0/32 recyciertes, gebrochenes Betongranulat, Güteklassen I, II a und II b
  - RM 0/32 recyciertes, gebrochenes Mischgranulat aus Beton, Asphalt und natürlichem Gestein, Güteklassen I, II a und II b
  - RAB 0/32 recyciertes gebrochenes Asphalt-/Betonmischgranulat, Güteklassen I, II a und II b (Asphaltanteil < 50% analog RVS 3.63)
  - RMH 0/32 recycierte mineralische Hochbaurestmassen bei begrenztem Ziegelanteil.
- Merkblatt "Mobile Aufbereitung von Baurestmassen", Juni 1999

Das gegenständliche Papier soll Unternehmen, Bauherrn und Behörden als einheitliche Grundlage zur mobilen Aufbereitung von mineralischen, ungefährlichen Baurestmassen dienen. Es werden grundsätzliche Anforderungen und Vorgangsweisen festgelegt, die von den zuständigen Behörden anerkannt werden und je nach den Gegebenheiten individueller Standorte gegebenenfalls stärker berücksichtigt werden müssen. Grundsätzlich ist im Hinblick auf den reibungslosen Betrieb eines Recycling-Standortes zur mobilen Aufbereitung von Baurestmassen größtmögliche Rücksicht auf Anrainer und auf die Schonung der Umwelt zu nehmen.

- Merkblatt "Umgang mit kontaminierten Böden und kontaminierten mineralischen Baurestmassen", März 1999

Aufgrund der neuen gesetzlichen Vorschriften wurde mit diesem Merkblatt ein Leitfaden für die, den gesetzlichen Regelungen entsprechenden Maßnahmen bei der

- ökologisch sinnvollen Verwertung oder
- Deponierung oder
- sonstigen Behandlung

von kontaminierten Böden und Baurestmassen erstellt. Damit soll einerseits den nicht einschlägig ausgebildeten Betroffenen eine Vorgehensweise vorgegeben und andererseits für die Behörde eine Vereinheitlichung der Beurteilung ermöglicht werden.

Der Österreichische Baustoff-Recycling Verband bietet Beratungstätigkeiten in Sachen Ausschreibung und Verwendung von Recycling-Baustoffen an. Des Weiteren führt der Österreichische Baustoff-Recycling Verband Listen mit Baustoff-Recycling Annahme- und Abgabepreisen unterteilt nach Bundesländern und aktuelle Firmen- und Anlageverzeichnisse von Baustoff-Recycling Betrieben.

Das Gütesiegel für Recycling-Baustoffe können Mitglieder des Österreichischen Baustoff-Recycling Verband für bestimmte Qualitätsprodukte erwerben. Eine regelmäßige Produktionsüberwachung durch akkreditierte Laboratorien garantiert das hohe Niveau und den gleichbleibenden Standard dieser Qualitätsbaustoffe (ÖSTERREICHISCHER BAUSTOFF-RECYCLING VERBAND, 2003).

Unter der Voraussetzung, dass die mineralische Fraktion der Korngrößen 0 – 8 mm (Vorabsiebung) und 0 – 45 mm sowie die Metalle stofflich verwertet werden können, ergibt sich für Bauschutt ein theoretisches Verwertungspotenzial von etwa 90 Massen-%. Realistisch ist aufgrund der Tatsache, dass die Feinfraktion i.d.R. stark verunreinigt ist und daher nur beschränkt verwertbar ist, eher ein Potenzial von ca. 70 Massen-% (WALKER & REGENER 1995).

Bei einer Betrachtung der gesamten Produktpalette, gewonnen aus den mineralischen Komponenten der Bauabfälle, fällt auf, dass die bisher durchgeführten Verwertungen in der Regel in einer Bauklasse unterhalb der Herkunftsstufe wiederzufinden sind. Trotz großer Bemühungen, das Material auch im Hochbau einzusetzen, werden aufbereitete mineralische Reststoffe bisher hauptsächlich im Erd- und Straßenbau eingesetzt, womit in den meisten Fällen ein „Downcycling“ verbunden ist. Ziel sollte ein „echtes Recycling“ sein. D.h. dass die mineralischen Komponenten exakt wieder in die Baustoffe und Bauwerke eingebaut werden, aus denen sie ursprünglich hergekommen sind (HEIMSOTH 1995).

## 7.1.6 Vergleich der Analyseergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten

Das im Zuge des Projektes entnommene Probenmaterial für chemische Analysen stammt aus einem Sortierbetrieb. Dabei handelt es sich um jene Bauschutfraktion, die nach einer Sortierung von gemischten Baustellenabfällen überbleibt und im Regelfall auf einer Baurestmassendeponie entsorgt wird.

Es erfolgte eine Absiebung und Unterteilung des Probenmaterials in eine Feinfraktion kleiner 45 mm und Grobfraktion 45 bis 70 mm.

Die Auswahl der chemischen Parameter erfolgte in Anlehnung der Deponieverordnung für den Deponietyp „Baurestmassendeponie“.

Tabelle 7-3: Analysenwerte für Bauschutt nach DeponieVO im Feststoff

Parameter	1. Serie [mg/kg TS]* Fraktion <40mm	2. Serie [mg/kg TS]* Fraktion <40mm	1. Serie [mg/kg TS]* Fraktion 40–70mm	2. Serie [mg/kg TS]* Fraktion 40–70mm	Grenzwert laut DepVO – Baurestmassen
Arsen	2,6	4	2	4	200
Blei	200	40	27	24	500
Cadmium	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	10
Chrom	68	80	73	82	500
Kobalt	6,5	9	<0,625	7,2	100
Kohlenstoff, ges. organisch gebundener	5,49	5,08	5,27	4,71	30.000
Kupfer	18	16	21	90	500
Nickel	15	30	17,3	24	500
Quecksilber	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	3
Störstoffe [%]	0,15	0,06	0,27	0,42	
Trockenrückstand [%]	94,05	94,66	95,71	95,60	
Wassergehalt [%]	5,95	5,34	4,29	4,40	
Zink	180	300	170	101	1.500
PAK, Summe der 15 PAKs nach EPA	16,82	30,0	17,70	10,28	2
KW, Summe	491	931	955	937	100

\* Werte in mg/kg Trockensubstanz, störfstoffkorrigiert angegeben, wo angegeben in % bzw. kJ/kg.

Anmk. Gegenüber dem Prüfbericht wurden einzelne Messwerte auf die Bestimmungsgrenze angehoben und mit dem „<“-Zeichen versehen.

Tabelle 7-4: Analysenwerte für Bauschutt nach DeponieVO im Eluat

Parameter	1. Serie [mg/kg TS]* Fraktion <40mm	2. Serie [mg/kg TS]* Fraktion <40mm	1. Serie [mg/kg TS]* Fraktion 40–70mm	2. Serie [mg/kg TS]* Fraktion 40–70mm	Grenzwert laut DepVO – Baurestmassen
Abdampfrückstand	26.250	25.900	18.750	18.050	25.000
Aluminium	3,8	3,5	0,7	0,8	20
Ammonium (photometrisch)	7,19	7,16	6,10	8,12	40
Arsen	<0,08	0,2	<0,08	<0,08	0,75
Barium	16,1	13,3	17	11,5	20
Blei	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2
Bor	0,6	0,7	1,0	0,8	30
Cadmium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
Chlorid	180	286	127	130	5.000
Chrom ges.	0,76	<0,08	0,69	0,56	2
Chrom VI	0,67	<0,5	<0,5	<0,5	0,5
Kobalt	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	2
Cyanid, leicht freisetzbar	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1
EOX	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	3
Fluorid	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	50
KW, Summe	1,19	<1	<1	<1	50
Kupfer	0,1	0,1	0,1	0,2	10
Leitfähigkeit, elektr. [mS/m]	2,9	2,6	2,0	2,3	300
Nickel	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	2
Nitrat	466	341	465	354	500
Nitrit	5,24	6,62	8,47	5,73	10
pH-Wert	11,45	11,32	11,77	12,04	6 bis 13
Phosphat	11,8	6,33	11,8	24,1	50
Quecksilber	<0,01	<0,01	<0,01	<0,5	0,05
Silber	<0,0125	<0,0125	<0,0125	<0,0125	1
Störstoffe [%]	0,15	0,06	0,27	0,42	
Sulfat	6.754	8.964	6.736	6.217	5.000
Tenside, anionisch aktive	4,7	4,0	3,8	2,4	5
TOC	253	231	459	258	500
Zink	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	20
Zinn	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	10

\* Werte in mg/kg Trockensubstanz, störstoffkorrigiert angegeben, wo angegeben in % bzw. in mS/m.

Für die chemischen Analysen wurden Elemente ausgewählt, deren Konzentrationen in unterschiedlichen Verordnungen wie z.B. Grenzwerte für Baurestmassen in der Deponieverordnung angegeben werden.

Die Einhaltung der Grenzwerte stellt für die untersuchten Materialien, mit Ausnahme des Parameters polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, kein Problem dar. Bei den untersuchten Bauschuttproben ist zu vermuten, dass die hohen PAK-Gehalte z.B. durch mineralisches Material aus Kaminabbrüchen, Kunststoffe, holzschutzmittelbehandeltes Holz und sonstige Bauchemikalien hervorgerufen werden (WALKER & REGENER 1995).

### 7.1.7 Vermeidungsmaßnahmen

Bauschutt ist ein Produkt, welches im Zuge von Bautätigkeiten anfällt. Eine gänzliche Vermeidung bzw. totale Substitution der mineralischen Baustoffe wäre nur durch nicht vorhandene Bautätigkeiten möglich. Eine Vermeidung aus quantitativer Sicht kann nur durch eine Mengenreduzierung des anfallenden Bauschuttes zum Tragen kommen. Zu einer qualitativen Verbesserung des Bauschuttes kommt es durch einen getrennten Ausbau und anschließend separaten Erfassung von kontaminierten Bauteilen bzw. Bauwerken. Eine sortenreine getrennte Erfassung von Bauschutt am Entstehungsort verhindert eine Verunreinigung mit anderen Fraktionen (Verbesserung der Qualität von Recycling-Baustoffen).

Durch die **Verlängerung der Nutzungsdauer** neu erstellter oder bereits gebauter Bauwerke und -teile kann der Anfall von Bauschutt „verzögert“ werden. Etwas vereinfacht lässt sich sagen: Doppelte Lebensdauer bedeutet halbe Abfallmenge (LANDESINSTITUT FÜR BAUWESEN DES LANDES NRW 2002). Voraussetzung ist eine möglichst hohe Variabilität oder Anpassung an die Bedürfnisse des Nutzers. Neben der Konstruktion müsste in gleichem Sinne die Destruktion (**recyclinggerechtes Konstruieren**) geplant werden. Wichtig wäre eine **leichte Trennung** von verbundenen Bauteilen (erreichbare Schrauben statt Einmal-Verbundlösungen) um z.B. „wertvolle Bauteile“ zu gewinnen und durch einen neuerlichen Einbau ihre Nutzungsdauer zu verlängern. Die zerstörungsfrei ausgebauten Bauteile können im Bedarfsfall aufgearbeitet bzw. instandgesetzt werden und dann wieder ihrem ursprünglichen Verwendungszweck, im gleichen oder einem neuen Gebäude zugeführt werden. Das Bauteil ist als ein gebrauchtes aber nicht verbrauchtes Produkt anzusehen. Recyclingbauteile können auf Bauteilbörsen gehandelt werden. Als herausragende Beispiele sind in diesem Zusammenhang der Verein BauteilNetz Schweiz mit seinen angegliederten Bauteilläden und das BauElementeLager Berlin zu nennen (AACHENER STIFTUNG, 1999).

Von großer Bedeutung für die Bauschuttentsorgung ist die angewendete Abbruchtechnik. Eine Trennung von Stör- und Ballaststoffen am Entstehungsort des Bauschuttes ist einfacher als eine nachträgliche Separierung und Sichtung auf einer Aufbereitungsanlage (TRÄNKER, 1990). Ein kontrollierter Rückbau bzw. eine Demontage sichern die **höchste Qualität**.

Mineralische Bauabfälle können nach entsprechender Aufbereitung als **Sekundär-Rohstoff** zur Substitution mineralischer Primärstoffe (Sande, Kiese und Natursteine) verwendet werden. Das Haupteinsatzgebiet mineralischer Baustoffe aus Baustellenabfällen ist derzeit der Erd- und Straßenbau. Zur Vermittlung von Angebot und Nachfrage von Bodenaushub, Bauschutt, gibt es Boden- und Bauschuttbörsen (Recycling-Börse Bau). Bauschutt lässt sich durch technische Verfahren so aufbereiten, dass ein hoher Anteil verwertet werden kann und nur mehr ein sehr geringer Teil abzulagern ist.

## 7.2 Bau- und Abbruchholz

### 7.2.1 Herkunft und Zusammensetzung

Bau- und Abbruchholz ist das bei Baumaßnahmen und Abbrucharbeiten anfallende Holz. Tabelle 7-5 gibt einen Überblick über das bei Baumaßnahmen und Abbrucharbeiten zu erwartende Sortiment an Hölzern. Bei den Holzabfällen aus dem Baubereich ist beispielsweise in Hamburg (UMWELTBEBÖRDE HAMBURG, 2000) von einer Größenordnung von 60.000 t/a auszugehen. Hiervon stammen ca. 2/3 aus der Sortierung von Baustellenabfällen und 1/3 aus der sortenreinen Erfassung als Monocharge auf der Baustelle. Die Holzabfälle werden in Hamburg überwiegend energetisch verwertet. Zusätzlich wurden 9.000 t Holzabfälle (1999) mit schädlichen Verunreinigungen thermisch entsorgt.

Tabelle 7-5: Altholz aus dem Baubereich (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2002) – geändert.

<b>Altholz aus dem Abbruch und Rückbau</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dielen, Böden, Bretterschalungen aus dem Innenausbau</li> <li>• Türblätter und Zargen von Innentüren</li> <li>• Profilblätter für die Raumausstattung, Deckenpaneele, Zierbalken usw.</li> <li>• Dämm- und Schallschutzplatten</li> <li>• Bauspanplatten</li> <li>• Konstruktionshölzer für tragende Teile</li> <li>• Holzfachwerk und Dachsparren</li> <li>• Fenster, Fensterstöcke, Außentüren</li> <li>• Imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich</li> <li>• Bau- und Abbruchholz mit schädlichen Verunreinigungen</li> </ul>
<b>Verpackungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paletten (aus Vollholz und Holzwerkstoffen)</li> <li>• Transportkisten, Verschläge</li> <li>• Kabeltrommeln</li> </ul>
<b>Baustellensortimente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• naturbelassenes Vollholz (Rohholz)</li> <li>• Holzwerkstoffe</li> <li>• Schalhölzer</li> <li>• behandeltes Vollholz</li> <li>• Verschnitte</li> </ul>
<b>Altholz aus dem Außenbereich</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahnschwellen</li> <li>• Leitungsmasten</li> </ul>
<b>Möbel</b> (naturbelassen oder mit Beschichtung)

Im Bauwesen ist das höchste Aufkommen von Holzabfällen aus der Anwendung zu verzeichnen. Das im Bauwesen anfallende Holz ist äußerst heterogen. Es kann unbelastet oder mit Holzschutzmitteln bzw. Lacken und Lasuren behandelt bzw. mit anderen Verunreinigungen belastet sein. Innerhalb der mengenmäßig relevanten Holzarten von Gebäudeabbrüchen wird unterschieden in (LECHNER & DREIER, 1995):

- *Balkenholz*: stammt aus Dachstühlen, Decken, Fachwerken. Dieses Holz ist teilweise mit Holzzusatzmitteln (Imprägnierungen, Brandschutzmitteln) behandelt und enthält fallweise Binde- und Klebemittel.
- *Holz des Ausbaues*: Verschalungen, Fenster, Türen, Treppen, Fußböden und Sockelleisten. Dieses Holz besitzt teilweise auch einen Anteil an Nicht-Holzbestandteilen wie z.B. Glas, Metall, Lacke und ist teilweise mit Holzschutzmitteln, Brandschutzmitteln, Anstrichen und Lacken behandelt.
- *Holzeinbauten*: Pressspanplatten, Hartfaserplatten mit und ohne Beschichtung.

In einem erheblichen Ausmaß fallen auf Baustellen auch Holzpaletten an.

Nach der Verordnung über die Trennung von Bauabfällen BGBl. Nr. 259/1991 (Baurestmassentrennungsverordnung) sind Holzabfälle getrennt zu erfassen, wenn deren Anteil 5 Tonnen überschreitet.

Das auf Baustellen anfallende Altholz wird teilweise direkt vor Ort in eigenen Behältern (Mulden oder Container) gesammelt. In der Regel steht auf den Baustellen aber nur ein Behälter für die Holzfraktion bereit, sodass behandeltes und unbehandeltes Material gemischt eingebracht wird. Stehen auf der Baustelle keine Behälter für die getrennte Erfassung von Altholz bereit, wird das Material in die Behälter für Sperrmüll oder gemischte Baustellenabfälle eingebracht. Um eine Fraktion von unbehandelten Hölzern zu erhalten, ist eine nachträgliche Sortierung in einem Sortierwerk erforderlich.

In BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE, 1996a wird der Holzanteil in gemischten Baustellenabfällen aufgrund von Erhebungen bei Baustellenabfallsortierbetrieben mit 10 % angenommen.

## 7.2.2 Schadstoffe

Holzschutzmittel werden eingesetzt, um den Abbauprozess der verschiedenen Holzsubstanzen zu verzögern. Durch den Einsatz dieser Chemikalien wird aber auch die Verwertung und Entsorgung der Holzmaterialien nach der Nutzung beeinflusst.

Die Mehrzahl der heute zur Verwertung und Entsorgung anstehenden Hölzer wurde in lange zurückliegenden Jahren mit Schutzmitteln behandelt. In diesen Althölzern kann daher eine Reihe von Schutzmitteln vorliegen, die heute nicht mehr angewendet werden (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE, 1996b).

Auch unbehandeltes Holz enthält Schwermetalle, die über die Luft bzw. über den Boden und das Grundwasser aufgenommen werden. Die Schwermetallgehalte von unbehandeltem Holz liegen in der Regel aber in einem Bereich, der eine ordnungsgemäße Kompostierung zulässt und stellen keine Umweltgefährdung dar (LECHNER & DREIER, 1995).

Um die Lebensdauer von Holzbauwerken zu verlängern sowie Holzkonstruktionen gegen Schädlingsbefall (Insekten, Pilze), Fäulnis, Witterungseinflüsse und Feuer zu schützen, werden Holzzusatzmittel wie Holz- und Brandschutzmittel, Klebemittel, Versiegelungen und Anstriche eingesetzt. Während chemische Holzschutzmittel zum Schutz vor biologischen Schädlingen tief ins Holz eindringen, werden Oberflächenholzschutzmittel (z.B. Beschichtungen, Beizen, Lacke) nur auf die Holzoberfläche aufgebracht.

Bis vor etwa 15 bis 20 Jahren waren noch zahlreiche Stoffe in Holzschutzmitteln vorhanden, die später auf Grund ihrer Bedenklichkeit verboten oder durch Selbstbeschränkung eines Teiles der Industrie kaum mehr verwendet wurden. Auch wenn ein Großteil der Schadstoffe (PCP, Lindan, etc.) heute nicht mehr zum Einsatz kommt, werden diese Schadstoffe noch in den nächsten Jahrzehnten in Abbruchhölzern vorzufinden sein. Im Vergleich zur Einsatzmenge der Holzschutzmittel bei der Anwendung, sind im Altholz allerdings nur mehr geringere Mengen dieser Mittel zu erwarten. Abhängig vom Einsatzort ist durch Verdunstung und Auswaschung bei organischen Holzschutzmitteln teilweise mit über 90 % Verlusten der umweltrelevanten Wirkstoffe zu rechnen (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2002).

**Pentachlorphenol (PCP)** gehört zu der Gruppe der Chlorierten Kohlenwasserstoffe. PCP ist ein lösemittelhaltiges Ölpräparat mit Bioziden und wurde als Schutzmittel im Außenbereich angewendet. In Wohnräumen ist die Anwendung von pentachlorphenolhaltigen Mitteln hingegen verboten. In den ersten Monaten nach dem Anstrich verdampfen etwa 50 % des PCP und verteilen sich über den ganzen Wohnbereich (UMWELTBERATUNG BAYERN, 2001).

Die Migration von PCP führt zur Anreicherung in der Raumluft, im Hausstaub, in Tapeten, Putz, Möbeln, Textilien, Büchern, etc., bis hin zu Lebensmitteln.

Die Halbwertszeit der Verweildauer in Holz liegt bei 6 Jahren. In Österreich wurde die Herstellung, das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Pentachlorphenol auf Basis des Chemikaliengesetzes inzwischen vollständig verboten (Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von Pentachlorphenol (PCP); BGBl. Nr. 58/1991). Pentachlorphenol ist gemäß der GrenzwerteVO 2003 (BGBl II Nr. 253/2001 i.d.F. BGBl. II Nr. 184/2003) als ein Arbeitsstoff, der eindeutig krebserzeugend ist, ausgewiesen und demnach in der Liste krebserzeugender Arbeitsstoffe (Anlage III) angeführt.

**Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)** sind Wirkstoffe in Holzschutzmittel auf Steinkohlenteerölbasis (UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND, 1999). Teeröle wirken gegen Fäulnispilze und Insekten und wurden großtechnisch für Schwellen und Maste eingesetzt. Der Gehalt des krebserregenden PAKs Benzo(a)pyren kann als Leitparameter für eine Verunreinigung des sortierten Altholzes mit teerölimprägnierten Hölzern herangezogen werden (SCHEFFKNECHT, 1999).

**Lindan** (Hexachlorcyclohexan) und andere HCH-Isomere sind synthetische Insektizide und Fungizide (Biozide) in Holzschutzmitteln auf öliger Basis (UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND, 1999). Die gesundheitlichen Wirkungen von Lindan sind Nervenschäden, allgemeine Mattigkeit, Schwindelgefühl, Bauch- und Kopfschmerzen, Wirkung auf das zentrale Nervensystem, Muskelschwäche, Schlafstörungen, reduzierte Merkfähigkeit. Lindan hat aber derzeit kein kanzerogenes Potenzial ausgewiesen (ENIUS AG, 2003). Lindan und PCB wurden üblicherweise in Kombination verwendet. Lindan wurde EU-weit mit der Kommissions-Entscheidung 2000/801/EG als Pflanzenschutzmittelwirkstoff verboten. Für den Einsatz von Lindan als Biozidprodukt (u.a. Holzschutzmittel) gab es bislang keine Einschränkung. Allerdings darf Lindan in Kürze auch als Wirkstoff in Biozidprodukten EU-weit mit der angekündigten zweiten Review-Verordnung zur Biozid-Produkte-Richtlinie (98/8/EG) nicht mehr enthalten sein (ausgenommen in Produkten für die Hygiene im Veterinärbereich).

**Polychloriertes Biphenyl (PCB)** ist ein organisches Holzschutzmittel (Gruppe der Chlorierten Kohlenwasserstoffe), das früher als Fungizid eingesetzt wurde. Bei PCB besteht der begründete Verdacht auf ein krebserzeugendes Potenzial. Mit der Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphthalinen und Diphenylmethanen (BGBl 210/1993) wurde die Herstellung, das Inverkehrsetzen und die Verwendung von polychlorierten Biphenylen (PCB) verboten. PCB und Lindan wurden üblicherweise in Kombination verwendet.

Holzschutzmittel auf wässriger Basis enthalten anorganische Holzschutzsalze auf Basis von Chrom-, Arsen-, Kupfer-, Bor- und Fluorverbindungen (UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND, 1999). UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND, 1999 kommt zum Schluss, dass die Elemente Arsen, Bor, Cadmium, Chrom, Fluor, Kupfer, Quecksilber, Zinn und Zink die wichtigsten Bestandteile der **anorganischen Holzschutzmittel** darstellen.

### 7.2.3 Sortierung von Altholz

Gängige Praxis im Bauwesen ist, sämtliche Altholzabfälle vermisch in einem Behältnis für Altholz, Sperrmüll oder Baustellenabfälle zu sammeln. Es entstehen „Chaoshaufen“ von Altholz, bei denen Art, Beschaffenheit und Zusammensetzung einzelner Holzsortimente nicht mehr bestimmbar sind. Problematisch ist der Umstand, dass mit Holzschutzmittel behandelte Hölzer ohne chemisch-analytische Verfahren nicht eindeutig von unbehandelten Hölzern zu unterscheiden sind. Aus dem Verwendungszweck und dem Alter eines Bauteils aus Holz lassen sich zwar gute Rückschlüsse auf die Holzschutzmittel-Belastung ziehen, dieses Wissen kann aber in der Regel nur bei einer Trennung direkt bei der Anfallstelle genutzt werden. Sortierwerke, die gemischte Altholzfraktionen geliefert bekommen, verfügen nicht über dieses Wissen. Die Getrennthaltung von Altbauholz am Anfallort ist daher die einzige Möglichkeit, Verunreinigungen in der unbehandelten Holzfraktion so weit wie möglich zu minimieren. Es ist aber davon auszugehen, dass auch bei einer Getrennthaltung von Altbauholz am Anfallort keine reine, unbehandelte Altholzfraktion erzielt werden kann. Unerwünschte Beimengungen von verunreinigten und schadstoffhaltigen Holzabfällen sind kaum zu vermeiden.

Laut BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN, 1999 kann gemischt angeliefertes Altholz in Sortierwerken mit vertretbarem Zeit- und Analysenaufwand sinnvoll nur in drei Gruppen (BI - BIII) unterteilt werden. Dabei ist das Erkennen und die Aussortierung von holzschutzmittelbehandelten Hölzern aus Mischsortimenten unterschiedlicher Herkunft und unbekannter Zusammensetzung mit hinreichender Sicherheit und unter praktikablem Aufwand nicht vollständig möglich. Anhaltspunkte für die richtige Zuordnung sind Aussehen und Geruch der Hölzer, sowie deren Herkunft und Sortimentszugehörigkeit. So weist eine grünliche, rote, orange oder dunkelbraune Färbung auf eine Holzschutzmittelbehandlung hin. Teerölimprägnierte Hölzer besitzen einen typischen "teerigen" Geruch. Die sorgfältige Sortierung führt zu folgenden Gruppen:

- *Gruppe BI: unbehandeltes Altholz*; d.h. naturbelassenes Altholz, das ausschließlich mechanischer Bearbeitung ausgesetzt war und bei seiner Verwendung nicht mehr als nur unerheblich mit Schadstoffen kontaminiert wurde. Also kein(e): gestrichenes, lackiertes, beschichtetes Altholz, Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten oder sonst verleimtes Holz (Holzwerkstoffreste), sonstige Fremdstoffe z.B. Papier, Kunststoffe, etc.
- *Gruppe BII: behandeltes Altholz*; d.h. gestrichene, lackierte, beschichtete und/oder verleimte Holzabfälle, Holzabfälle mit halogenorganischen Beschichtungen. Also keine: bekanntlich oder offensichtlich mit Holzschutzmitteln behandelte Althölzer, wie Bahnschwellen, Zäune, Hopfenstangen, Rebpfähle, druckimprägniertes Altholz, etc. (Es werden jedoch auch in geringen Mengen Althölzer vorhanden sein, die mit Holzschutzmitteln behandelt sind, da sie beim Sortieren nicht als solche erkannt wurden).
- *Gruppe BIII: erheblich belastetes Altholz*; d.h. Altholz, das nicht der Gruppe BI oder BII zugeordnet werden kann, also z.B. bekanntlich oder offensichtlich mit Holzschutzmitteln behandelte Althölzer, wie Bahnschwellen, Zäune, Hopfenstangen, Rebpfähle, druckimprägniertes Altholz, etc.

In der deutschen AltholzVO (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2002) werden häufig vorkommende Abfallsortimente (= Holzabfälle gleicher Art und Herkunft) aus dem Bauwesen vier Altholzkategorien (A I bis A IV) zugeordnet. Die Zuordnung zu der jeweiligen Kategorie erfolgt herkunftsbezogen unter Beachtung strenger Getrennthaltungsgebote und Vermischungsverbote und nicht mittels aufwändiger Probenahme- und Analysenvorschriften. Für jede Altholzkategorie sind ein oder mehrere Verwertungsverfahren zulässig. Als Altholzkategorien werden definiert:

- Altholzkategorie A I: naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde. Aufbereitung zu Holzhackschnitzel und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen zulässig, sofern Grenzwerte eingehalten werden.
- Altholzkategorie A II: verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel. Aufbereitung zu Holzhackschnitzel und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen zulässig, sofern Grenzwerte eingehalten werden.
- Altholzkategorie A III: Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel. Die Aufbereitung von Altholz dieser Kategorie zu Holzhackschnitzel und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen ist nur zulässig, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden.
- Altholzkategorie A IV: mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz. Eine Aufbereitung von Altholz dieser Kategorie zu Holzhackschnitzel und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen ist nicht zulässig.
- Sonderkategorie PCB-Altholz: Altholz, das mit PCB belastet und nach den Vorschriften der deutschen PCB/PCT-AbfallVO zu beseitigen ist. Betrifft insbesondere PCB-hältige Dämm- und Schallschutzplatten.

Die Verordnung sieht keine generelle Getrennthaltungspflicht an der Anfallstelle vor. Chaoshaufen (d.h. gemischtes Altholz unterschiedlicher Kategorien) können aber ohne Vorsortierung nur mehr einer kostenintensiven energetischen Verwertung zugeführt werden. Soll das gesamte oder ein Teil des auf der Baustelle anfallenden Altholzes stofflich verwertet werden, ist eine Getrennthaltung an der Anfallstelle oder eine nachträgliche Sortierung vorgeschrieben. Da lediglich für unbehandelte Altholzfraktionen (Altholz, das für eine stoffliche Verwertung zulässig ist) in der Regel Erlöse zu erzielen sind, werden Baustellenbetreiber bemüht sein, eine Getrennthaltung an der Anfallstelle zu organisieren (mündl. Mitteilung GEGUSCH, H. vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin). Die Zuordnung gängiger Altholzsortimente zu den Altholzklassen wird im Anhang III der deutschen AltholzVO geregelt (siehe Tabelle 7-6). Es handelt sich hierbei lediglich um Empfehlungen des Gesetzgebers. Bei Gemischen unterschiedlicher Altholzkategorien ist das Gemisch der Kategorie zuzuordnen, für die die strengeren Vorschriften gelten.

Tabelle 7-6: Zuordnung gängiger Altholzsortimente zu den Altholzklassen gemäß der deutschen AltholzVO (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2002).

<b>Altholz aus dem Abbruch und Rückbau</b>	<b>Altholz-kategorie</b>
Dielen, Böden, Bretterschalungen aus dem Innenausbau (ohne schädliche Verunreinigungen)	A II
Türblätter und Zargen von Innentüren (o. schädli. Verunr.)	A II
Profilblätter für die Raumausstattung, Deckenpaneele, Zierbalken usw. (o. schädli. Verunr.)	A II
Dämm- und Schallschutzplatten (PCB-hältig)	Beseitigung
Bauspanplatten	A II
Konstruktionshölzer für tragende Teile	A IV
Holzfachwerk und Dachsparren	A IV
Fenster, Fensterstöcke, Außentüren	A IV
Imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich	A IV
Bau- und Abbruchholz mit schädlichen Verunreinigungen	A IV
<b>Verpackungen</b>	
Paletten aus Vollholz	A I
Paletten aus Holzwerkstoffen	A II
Transportkisten, Verschlüge aus Vollholz	A I
Transportkisten, Verschlüge aus Holzwerkstoffen	A II
Kabeltrommeln aus Vollholz	A I <sup>1)</sup>
<b>Baustellensortimente</b>	
naturbelassenes Vollholz (Rohholz)	A I
Holzwerkstoffe, Schalhälzer, behandeltes Vollholz (o. Verunr.)	A II
<b>Altholz aus dem Außenbereich</b>	
Bahnschwellen	A IV
Leitungsmasten	A IV
<b>Möbel</b> (naturbelassen oder mit Beschichtung)	
naturbelassenes Vollholz	A I
ohne halogenorg. Verbindungen in der Beschichtung	A II
mit halogenorg. Verbindungen in der Beschichtung	A III

<sup>1)</sup>... Herstellung vor 1989 zu Kategorie A IV

Für Aufbereitungsbetriebe und Altholzverwerter ist es grundsätzlich von Vorteil, eindeutige Zuordnungskriterien zu haben (z.B. Tabellen mit Grenz- und Schwellenwerten für die Schadstofffrachten). Zu bedenken ist aber, dass chemische Analysen des Altholzes nur in bestimmten Einzelfällen sinnvoll sind, da einerseits eine repräsentative Probennahme sehr schwierig ist, andererseits die Untersuchungskosten sehr hoch sind. Weiters sind die Analyseergebnisse mit großen Unsicherheiten behaftet (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2002). In AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2002 kommt man zum Schluss, dass die Einteilung in Altholzkatgorien, die für ein Recycling geeignet sind, nach der Herkunft des Altholzes und durch eine Qualitätskontrolle mit Hilfe der Feststellung des Geruches und des Aussehens (eventuell Schnittkontrolle) erfolgen sollte.

## 7.2.4 Verwertung- und Entsorgungswege

Naturholz kann nach heutigem Stand der Technik in großen Mengen unproblematisch in der Holzplattenindustrie zur Faserplatten- bzw. Spanplattenherstellung verwendet werden. Dabei wird das Holz zerkleinert, aufbereitet und zu Holzplatten verpresst. Die Holzplattenindustrie verwendet Abbruchholz jedoch nur ungern, weil eine mögliche Schadstoffbelastung des Endproduktes nicht ausgeschlossen werden kann (LECHNER & DREIER, 1995).

Vor einer Verwertung des Altholzes in der Spanplattenindustrie sollten lackierte und beschichtete Holzteile entfernt werden.

Auch wenn Beschichtungen und Lacke in geringen Mengen den Produktionsprozess nicht stören, werden diese Holzteile von den Spanplattenherstellern vor allem wegen einer möglicherweise darunter befindlichen Imprägnierung nicht verwendet (Kontamination des neuen Produktes).

Die Papier- und Zellstoffindustrie stellt an die Holzrohstoffe wesentlich höhere Anforderungen als die Holzwerkstoffindustrie. So ist es für das Erreichen einer guten Faserqualität erforderlich, dass frisches, feuchtes Holz verwendet wird. Die Verwertung unbehandelter Holzabfälle aus der Anwendung in der Papierindustrie wird auch mittelfristig keine Bedeutung haben (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE, 1996b).

Unbehandelte Hölzer bekannter und gesicherter Herkunft sind gemäß KompostVO (BGBl. II 2001/292) ein zulässiges Ausgangsmaterial zur Herstellung von Kompost und Qualitätskompost. Analytische Untersuchungen der Ausgangsmaterialien sind in der Regel nicht erforderlich. Hölzer aus dem Bauwesen, die aufgrund ihrer Herkunft gesichert als unbehandelt klassifiziert werden können, sind als Zuschlagstoffe zur Kompostherstellung geeignet. Aus Mischholzabfällen aussortierte „unbehandelte“ Altholzfraktionen sind hingegen für eine Kompostierung und landwirtschaftliche Verwertung der erzeugten Komposte nicht geeignet.

Entsprechend den erforderlichen Anforderungen an die Anlagentechnik und Rauchgasreinigung kommen zahlreiche industrielle Feuerungsanlagen (holzverarbeitende Industrie, Papier- und Zellstoffindustrie, Zementindustrie) für die Verbrennung von Bau- und Abbruchholz in Frage. Die Verbrennung von Holzabfällen mit (potenziell) hohen und schwankenden Schadstoffanteilen wird in Müllverbrennungsanlagen bzw. in Anlagen mit einem vergleichbaren Ausrüstungsstand erfolgen müssen (MAYERHOFER & LAHNER, 2000).

Gemäß den Bestimmungen der Deponieverordnung (BGBl. 164/1196) darf ab 2004 (in Ausnahmefällen ab 2009) kein Altholz mehr deponiert werden. Eine Ablagerung von Altholz auf einer Bodenaushub- oder Baurestmassendeponie ist generell nicht erlaubt. Altholz, das als gefährlicher Abfall gilt, ist mittels Begleitschein über behördlich genehmigte Abfallsammler und -behandler zu entsorgen.

### 7.2.5 Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten

Im Zuge des gegenständlichen Projektes wurden bei einem Sortierwerk Altholzproben der Fraktionen „unbehandelt“ und „behandelt“ gezogen und deren Schadstoffgehalte analysiert. Die Gehalte an anorganischen und organischen Schadstoffen sind in Tabelle 7-7 und Tabelle 7-8 dargestellt. Um Aussagen betreffend der Höhe der Schadstoffgehalte als auch der Sortiereffizienz zu treffen, werden die Messergebnisse mit Literaturwerten verglichen. Für Altholz sind in der Literatur sowohl Richt- und gesetzliche Grenzwerte als auch vergleichbare Analysenergebnisse zu finden. Die Literaturwerte werden für einen Vergleich mit den Projektergebnissen zu drei Kategorien zusammengefasst:

- Richt- und Grenzwerte
- Naturbelassenes Holz
- Altholz

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2002 (deutsche AltholzVO) bestimmt, dass für die Verwertung von Altholz zum Zwecke der Holzwerkstoffherstellung nur besonders schadstofffreies oder -armes Altholz in Frage kommt. Die Einhaltung dieser Anforderung wird durch verbindliche Schadstoffgrenzwerte (siehe Tabelle 7-7 und Tabelle 7-8) für die als Rohmaterialien zur Herstellung von Holzwerkstoffen erzeugten Holzhackschnitzel und -späne, einschließlich der zugehörigen Probenahme- und Analyseverfahren, garantiert.

Die Grenzwerte der deutsche AltholzVO werden von MARUTZKY, 2003 als angemessen und praxisgerecht beurteilt. Die zu analysierenden Elemente und Verbindungen decken den Bereich der relevanten und unerwünschten Verunreinigungen bei der stofflichen Verwertung ab. MARUTZKY, 2003 geht davon aus, dass die Unternehmen die meisten Grenzwerte einhalten können, wenn das Altholz sorgfältig aufbereitet wird. Die Werte für die besonders kritischen Bestandteile wie Arsen, Cadmium, Quecksilber, PCP und PCB liegen auf einem niedrigen Niveau, sodass aus Sicht der Toxikologen bei Einhaltung der Grenzwerte keine signifikanten Probleme zu erwarten sind.

Die Grenzwerte der deutschen AltholzVO decken sich weitgehend mit dem Grenzwerten des RAL-Gütezeichens für Recyclingholz zur stofflichen und energetischen Verwertung (LEITHNER & MARUTZKY, 1998, MARUTZKY, 2003). Das RAL-Gütezeichen definiert auch einen Grenzwert für Teeröle (Benzo-(a)-pyren) (0,5 mg/kg TS), dafür keinen für Polychlorierte Biphenyle. Der Grenzwert für PCP ist mit 5 mg/kg TS höher angesetzt als jener in der AltholzVO (3 mg/kg TS).

In LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 1996 wird eine Grenzwerttabelle für Schadstoffgehalte von Altholz für die Spanplattenproduktion der Firma Glunz (Spanplattenhersteller) angeführt (siehe Tabelle 7-7 und Tabelle 7-8). Die Grenzwerte wurden zu einem Zeitpunkt festgesetzt, als es in der BRD noch keine vergleichbaren gesetzlichen Regelungen gab. Die Grenzwerte liegen deutlich über den Werten für naturbelassenes Holz. Dies spiegelt den Umstand wieder, dass „unbehandeltes Holz“ aus der Anwendung aus verschiedenen Gründen geringfügig verunreinigt ist bzw. der Eintrag von Verunreinigungen im Verlauf der Altholzsortierung und -aufbereitung nicht ausgeschlossen werden kann.

Die in einer Literaturrecherche gesichteten Richtwerte und Richtwertvorschläge diverser Autoren für Altholz zur stofflichen Verwertung (zusammenfassende tabellarische Darstellung in UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND, 1999) weisen eine breite Streuung auf, sodass für Ergebnisvergleiche in erster Linie die Grenzwerte der deutschen AltholzVO herangezogen werden.

Tabelle 7-7: Gehalte an anorganischen Stoffen in den Altholzproben im Vergleich zu Richt-, Grenz- und Literaturwerten [mg/kg TS].

	Analysergebnisse			Grenz- und Richtwerte				Unbehandeltes Holz			Behandeltes Holz		
	Bau- und Abbruchholz unbehandelt (Okt)	Bau- und Abbruchholz behandelt (Charge 1)	Bau- und Abbruchholz behandelt (Charge 2)	Grenzwerte Deutsche AltholzV 1)	qualitätsgesicherte Holzbrennstoffe - unbeh. Altholz 2)	qualitätsgesicherte Holzbrennstoffe - behandeltes Altholz 3)	Spanplattenindustrie (Glunz-Liste) 4)	Rinde und unbehandeltes Holz 5)	Naturbelassene Sägeresthölzer 6)	Holz (Fichte) 7)	Gebrauchtholz 8)	Altholz 9)	behandeltes Altholz (gestrichen, lackiert, beschichtet) 10)
Aluminium	807	500	1.268	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Antimon	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsen	< 2	< 2	< 2	2,0	0,8	2,0	25,0	< 0,2	0,5	0,1	3,2	0,6-1,0	0,5
Beryllium	< 2,5	< 2,5	< 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blei	11	6,9	218	30,0	10,0	-	90,0	1,9	8,0	0,4	133,0	290,0	4,0
Cadmium	0,2	< 0,25	0,9	2,0	0,5	-	7,0	0,0	0,1	0,1	0,8	0,7	0,3
Chrom	25	12	36	30,0	8,0	-	60,0	-	0,7	2,6	22,5	-	1,3
Kobalt	1	0,7	2,2	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-
Kupfer	6	4	8,7	20,0	5,0	20,0	-	4,6	2,0	1,7	55,0	11,2	4,0
Mangan	111	130	101	-	-	-	-	-	-	216,0	-	-	-
Nickel	6,2	22	2,3	-	-	-	-	-	-	2,5	2,9	-	-
Quecksilber	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,4	0,0	0,4	60,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,3	0,1
Thallium	< 2	< 2	< 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vanadium	< 5	< 5	< 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zink	103	42	790	-	100,0	-	-	-	42,0	20,7	1.077,0	-	25,0
Zinn	< 5	< 5	< 5	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	2,0
Schwefel	287	590	850	-	-	-	-	-	-	159,0	-	-	-
Chlor	350	710	2.250	600,0	300,0	800,0	500,0	33,0	230,0	49,0	-	473,0	500,0
Fluor	38	26	25	100,0	10,0	50,0	50,0	8,5	< 5,0	-	-	39,0	7,0

1) Grenzwerte der deutschen AltholzVO (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 2002)

2) Schwellenwerte für qualitätsgesicherten Holzbrennstoff aus unbehandeltem Altholz (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1999)

3) Schwellenwerte für qualitätsgesicherten Holzbrennstoff aus behandeltem Altholz (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1999)

4) Maximale Schadstoffgehalte der Firma Glunz – Spanplattenhersteller (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 1996)

5) SCHEFFKNECHT 1999

6) BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2001

7) BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 2000

8) FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 2002

9) SCHEFFKNECHT 1999

10) BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2001

Tabelle 7-8: Gehalte an organischen Stoffen in den Altholzproben im Vergleich zu Richt-, Grenz- und Literaturwerten [mg/kg TS].

	Analysergebnisse			Grenz- und Richtwerte				Unbehandeltes Holz			Behandeltes Holz			
	Bau- und Abbruchholz unbehandelt	Bau- und Abbruchholz behandelt (Charge 1)	Bau- und Abbruchholz behandelt (Charge 2)	Grenzwerte Deutsche AltholzV 1)	qualitätsgesicherte Holzbrennstoffe - unbeh. Altholz 2)	qualitätsgesicherte Holzbrennstoffe - behandeltes Altholz 3)	Spanplattenindustrie (Glunz-Liste) 4)	Rinde und unbehandeltes Holz 5)	Naturbelassene Sägeresthölzer 6)	Naturholz 7)	Spanplatten 8)	Gebrauchtholz 9)	Altholz 10)	behandeltes Altholz (gestrichen, lackiert, beschichtet) 11)
Pentachlorphenol	1,20	< 0,01	1,08	3	1	5	5	< 0,3	4,5	0,01	5,8	18,7	0,56-0,7	4
Polychlorierte Biphenyle	0,01 *)	< 0,01	0,046	5	-	-	-	-	-	< N.G.	< N.G.- 0,013	0,36	-	-
Lindan (γ-HCH)	0,01 *)	< 0,01	0,015	-	0,3	-	2	< 0,03	1,4	0,009	0,012	0,16	0,17- 0,21	0,5
Teeröle (Benzo-(a)-pyren)	-	-	-	-	0,1	0,5	-	< 0,01	0,03	-	-	-	< 0,01	0,2
PAK nach EPA	27,8	25,1	21,5	-	-	-	-	-	-	0,05	4,7	75,7	-	-

< N.G. unterhalb der Nachweisgrenze

\*) Analysergebnisse liegen teilweise unter der Bestimmungsgrenze. Für die Berechnung des Mittelwertes wurde bei diesen Werten mit der Bestimmungsgrenze gerechnet

1) Grenzwerte der deutschen AltholzVO (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 2002)

2) Schwellenwerte für qualitätsgesicherten Holzbrennstoff aus unbehandeltem Altholz (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1999)

3) Schwellenwerte für qualitätsgesicherten Holzbrennstoff aus behandeltem Altholz (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1999)

4) Maximale Schadstoffgehalte der Firma Glunz – Spanplattenhersteller (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 1996)

5) SCHEFFKNECHT 1999

6) BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2001

7) FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 2002

8) FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 2002

9) FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 2002

10) SCHEFFKNECHT 1999

11) BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2001

### 7.2.5.1 Anorganische Stoffe

Sämtliche Gehalte an anorganischen Stoffen der analysierten Fraktion „unbehandeltes Holz“ liegen unter den Grenzwerten der deutschen AltholzVO (siehe Tabelle 7-7). Ein Vergleich der analysierten Fraktionen „unbehandeltes“ und „behandeltes“ Altholz zeigt, dass die Gehalte an Aluminium, Blei, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Zink, und Fluor der Fraktion „unbehandeltes Altholz“ nicht immer niedriger sind als in den beiden Chargen von „behandeltem Altholz“. Lediglich bei Schwefel und Chlor weist das unbehandelte Holz niedrigere Gehalte als die beiden behandelten Holzchargen auf. Die Werte der restlichen analysierten Stoffe (Antimon, Arsen, Beryllium, Quecksilber, Thallium, Vanadium und Zinn) liegen unter den jeweiligen Bestimmungsgrenzen und können daher nicht verglichen werden.

Beide beprobten Chargen „behandeltes Altholz“ überschreiten den Grenzwert für Chlor, bei einer Charge liegen auch die Gehalte für Blei und Chrom über den Grenzwerten der deutschen AltholzVO (siehe Tabelle 7-7).

Chlorbelastungen von Altholz können durch PVC-Anteile in Farben und Beschichtungen verursacht werden, aber auch durch chlorhaltige Holzschutzmittel (z.B. PCP) oder Zusätze wie Weichmacher und Flammschutzmittel (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, 2002). Liegt der Chlorwert über dem von der deutschen AltholzVO vorgegebenem Grenzwert von 600 mg/kg TS, ist dies nach MARUTZKY, 2003 in der Regel nicht auf erhöhte Belastungen mit chlororganischen Holzschutzmitteln, sondern auf Bestandteile wie – toxikologisch nicht relevante – anorganische Chloride oder halogenorganische Kunststoffe (PVC) zurückzuführen.

Bleiverbindungen wie Bleiweiß, Chromgelb und Chromorange wurden als Farbpigmente genutzt und können auf diesem Wege noch heute in Altholzchargen vorkommen (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, 2002). Die mittleren Bleigehalte von naturbelassenem Holz liegen im Bereich der Nachweisgrenze bis knapp über 10 mg/kg TS. In Gebrauchtholz sind unterschiedliche Bleibelastungen nachzuweisen, die von wenigen Milligramm bis zu 300 mg/kg TS betragen können.

Die Unterschiede der Chromgehalte von unbehandeltem und behandeltem Holz sind im Vergleich zu Blei wesentlich geringer. Für unbehandeltes und naturbelassenes Holz liegen die gemessenen bzw. in der Literatur gefundenen Werte zwischen 0,7 bis 25 mg/kg TS. Jene von behandeltem Altholz zwischen 1,3 und 36 mg/kg TS. Zum Vergleich, der Grenzwert der deutschen AltholzVO für Chrom beträgt 30 mg/kg TS.

### 7.2.5.2 Organische Stoffe

Die Gehalte der organischen Stoffe Pentachlorphenol und Polychlorierte Biphenyle liegen bei allen analysierten Altholzfraktionen („unbehandelt“ und „behandelt“) unter den Grenzwerten der deutschen AltholzVO (siehe Tabelle 7-8). Für die Parameter Lindan und PAK (nach EPA) schreibt die deutsche AltholzVO keine Grenzwerte vor. Betreffend PAK wird vom deutschen Gesetzgeber davon ausgegangen, dass stark belastetes Holz aufgrund seiner Herkunft, Färbung und Geruch erkannt und von einer stofflichen Verwertung ausgeschlossen wird.

Über die Belastung von Altholz mit **PCB** liegen laut MARUTZKY, 2003 und FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, 2002 erst wenige Erfahrungen vor. In der Praxis ist PCB im Altholz nur selten in relevanten Konzentrationen zu finden (COSSON et. al., 2003). Der in der deutschen AltholzVO festgelegte Wert von 5 mg/kg TS liegt jedenfalls auf einem niedrigen Niveau, sodass aus Sicht der Toxikologen bei Einhaltung des Grenzwertes für PCB keine signifikanten Probleme zu erwarten sind (MARUTZKY, 2003).

Die PCB-Gehalte der im Zuge des gegenständlichen Projektes analysierten Altholzfraktionen liegen alle weit unter dem Grenzwert von 5 mg/kg TS (siehe Tabelle 7-8).

Die UMWELTBERATUNG BAYERN, 1997 führt für unbehandelte Hölzer einen maximalen **Lindan**-Wert von bis 2 mg/kg an. Mit Lindan belastete Hölzer weisen hingegen Werte von ca. 100 bis einige 1.000 mg/kg auf. STAPPEL, 2003 gibt an, dass für Lindan im Holz < 30 mg/kg anzustreben sind.

Die INGENIEURGEMEINSCHAFT FÜR UMWELTTECHNOLOGIEN GMBH, 2001 verweist auf das deutsche Bundesgesundheitsamt (wurde 1994 aufgelöst), das als Schwellenwert für Lindan im Holz 2 mg/kg angibt.

Die SCHADSTOFFBERATUNG TÜBINGEN, 2001a definiert:

- *Hintergrundbelastung*: Mit diesen Werten ist durchschnittlich in einem unbelasteten Umfeld zu rechnen. Diese kommen durch die allgemein in der Umwelt vorhandenen Belastungen zustande. Der Orientierungswert von Lindan im Holz als Hintergrundbelastung wird mit < 0,1 mg/kg angegeben.
- *Geringe Belastung*: Bis zu diesen Werten besteht nach derzeitigem Kenntnisstand kein Handlungsbedarf. Solche Werte können noch durch die allgemeine Umweltbelastung erreicht werden. Diese Konzentrationen führen i.a. noch nicht zu Beschwerden. Der Orientierungswert von Lindan im Holz mit geringer Belastung wird mit < 5 mg/kg angegeben.
- *Deutliche Belastung*: Sollten diese Werte erreicht oder überschritten werden, besteht unmittelbarer Handlungsbedarf. Hier ist auf Dauer mit gesundheitlichen Schwierigkeiten zu rechnen. Der Orientierungswert von Lindan im Holz mit deutlicher Belastung wird mit > 20 mg/kg angegeben.

Die Lindangehalte der im Zuge des gegenständlichen Projektes analysierten Altholzfraktionen liegen demnach alle im Bereich von unbehandeltem Holz (siehe Tabelle 7-8).

Der in der deutschen AltholzVO festgelegte Wert für **Pentachlorphenol** (PCP) von 3 mg/kg TS liegt laut MARUTZKY, 2003 auf einem niedrigen Niveau, sodass aus Sicht der Toxikologen bei Einhaltung des Grenzwertes für PCP keine signifikanten Probleme zu erwarten sind.

Gemäß der UMWELTBERATUNG BAYERN, 2001 kann bei unbehandeltem Holz von einer Konzentration unterhalb 5 mg/kg PCP ausgegangen werden. Werte über 50 mg/kg deuten hingegen auf eine frühere Behandlung hin. In der oberen 2 mm Holzschicht (die Eindringtiefe nimmt stark ab bis 1 cm) werden häufig Gehalte von 100 mg/kg PCP bis zu mehreren 1.000 mg/kg PCP in Extremfällen gemessen. Nichtsdestoweniger kann auch eine Belastung mit bis zu 30 mg/kg bei nicht mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz auftreten, da bei Schnittholz und bei Holztransporten PCP zur Verhinderung von Bläuebildung eingesetzt wurde oder sich das Holz in (Wohn)räumen in der Nähe zu mit Pentachlorphenol behandeltem Holz befand (UMWELTBERATUNG BAYERN, 2001).

Die INGENIEURGEMEINSCHAFT FÜR UMWELTTECHNOLOGIEN GMBH, 2001 verweist auf das deutsche Bundesgesundheitsamt (wurde 1994 aufgelöst), das als Schwellenwert für PCP im Holz 5 mg/kg angibt.

Die SCHADSTOFFBERATUNG TÜBINGEN, 2001b gibt für unbehandeltes Holz einen PCP-Gehalt bis 1 mg/kg an. Behandeltes Holz weist PCP-Gehalte ab 10 mg/kg auf. Weiters führt SCHADSTOFFBERATUNG TÜBINGEN 2001b Orientierungswerte für eine Hintergrundbelastung, geringe und deutliche Belastung von Holz an:

- *Hintergrundbelastung*: Mit diesen Werten ist durchschnittlich in einem unbelasteten Umfeld zu rechnen. Diese kommen durch die allgemein in der Umwelt vorhandenen Belastungen zustande. Der Orientierungswert von PCP im Holz als Hintergrundbelastung wird mit < 0,1 – 1 mg/kg angegeben.

- *Geringe Belastung:* Bis zu diesen Werten besteht nach derzeitigem Kenntnisstand kein Handlungsbedarf. Das Erreichen oder die Überschreitung dieser Werte deutet auf eine zusätzliche Belastung z. B. durch Holzschutzmittelanwendung hin. Bei Überschreitung dieser Werte können schon Beschwerden auftreten. Der Orientierungswert von PCP im Holz mit geringer Belastung wird mit  $< 5$  mg/kg angegeben.
- *Deutliche Belastung:* Sollten diese Werte erreicht oder überschritten werden, besteht Handlungsbedarf. Hier ist bei längerer Einwirkzeit mit gesundheitlichen Schwierigkeiten zu rechnen. Der Orientierungswert von PCP im Holz mit deutlicher Belastung wird mit  $> 5$  mg/kg angegeben.

Die PCP-Gehalte der im Zuge des gegenständlichen Projektes analysierten Altholzfraktionen liegen demnach alle im Bereich von unbehandelten Hölzern (siehe Tabelle 7-8).

Die Belastung von **PAK** in Gebrauchthölzern weist eine breite Spanne von der Nachweisgrenze bis zu mehreren tausend mg/kg PAK auf (SCHADSTOFFBERATUNG TÜBINGEN, 2001c, FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, 2002). Laut FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, 2002 liegen PAK-Gehalte von naturbelassenen Hölzern maximal im Bereich der Nachweisgrenzen von 0,01 – 0,1 mg/kg TS. Eine chemische Bestimmung der PAK-Gehalte in Althölzern ist laut SCHEFFKNECHT, 1999 nur bei Geruch nach Teeröl notwendig. Eine chemische Untersuchung von Althölzern auf PAK-Gehalte, die keinen Teerölgeruch aufwiesen, ergab Werte, die unter der analytischen Nachweisgrenze lagen. SCHEFFKNECHT, 1999 kam zum Schluss, dass zur Beurteilung der Qualität der Sortierung von Altholz die routinemäßige Analyse der PAK nicht zielführend ist. Es reicht aus, diese Analyse nur bei auffälligem Geruch nach Teeröl durchzuführen. Dass aber selbst belastete Hölzer sensorisch nicht immer erkennbar sind, legt FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, 2002 dar. Neben der Färbung und dem Geruch ist zur Abschätzung der PAK-Belastung auch das Wissen über die Herkunft von großer Bedeutung.

Die PAK-Gehalte der im Zuge des gegenständlichen Projektes analysierten Altholzfraktionen liegen im Bereich von 21,5 bis 27,8 mg/kg TS und damit deutlich über jenen Werten, die in der Literatur für naturbelassene Hölzer gefunden wurden (siehe Tabelle 7-8). Auffallend ist, dass den höchsten PAK-Gehalt die beprobte Fraktion „unbehandeltes Altholz“ aufweist.

### 7.2.5.3 Schlussfolgerung des Vergleichs der Analysenergebnisse

Zieht man als Richtwert zur Beurteilung der Altholzqualität die deutsche AltholzVO heran, kann zusammenfassend festgestellt werden, dass sämtliche Schadstoffgehalte der aus Baustellenabfällen aussortierten Fraktion „unbehandeltes Altholz“ unter den Grenzwerten liegen. Die beiden beprobten Chargen „behandeltes Altholz“ hingegen, weisen jeweils zumindest eine Grenzwertüberschreitung auf. Demnach kann der Schluss gezogen werden, dass eine Sortierung an der Anfallstelle (= Baustelle) zum Erlangen einer qualitativ hochwertigen Altholzfraktion zwar anzustreben ist, allerdings auch im Zuge einer Nachsortierung eine für die stoffliche Verwertung geeignete Altholzfraktion gewonnen werden kann.

Die PAK-Belastung der aus Baustellenabfällen aussortierten Bau- und Abbruchhölzer zeigt allerdings sehr deutlich, dass einer Altholzsortierung direkt an der Anfallstelle der Vorzug zu geben ist, da nur an der Quelle die Herkunft der Hölzer – und damit deren potenzielle Schadstoffbelastung – nachvollziehbar ist.

## 7.2.6 Vermeidungsmaßnahmen

Vermeiden heißt Abfälle nicht entstehen zu lassen, Güter, die später zu Abfall werden, gar nicht zu erzeugen oder zumindest deren Nutzungsdauer zu erhöhen. Im Falle von Neuerrichtungen (Neubau, Sanierung) gilt es, den Anfall von Verschnittholz weitgehend zu minimieren, sowie die Nutzungsdauer von Bauwerken und deren Bestandteile aus Holz zu erhöhen. Durch eine möglichst genaue Planung beim Einkauf und beim Zuschneiden kann der Anfall von Verschnittholz reduziert werden. Abbruchholz ist nicht mehr zu vermeiden – die Gesamtabfallmenge eines Bauwerkes bleibt immer gleich. Eine Vermeidung im weiteren Sinne wäre, das Altholz wieder zu verwenden bzw. umweltverträglichen Verwertungsformen zuzuführen und damit gleichzeitig die Menge, die nur mehr beseitigt werden kann, zu minimieren. Für eine rohstoffliche Verwertung ist aus dem angefallenen Altholz eine weitgehend unbehandelte Fraktion zu gewinnen.

Gemäß den Bestimmungen der Deponieverordnung (BGBl 164/1196) darf ab 2004 (in Ausnahmefällen ab 2009) kein Altholz mehr deponiert werden. Diese Maßnahme alleine führt zu einem Vermeidungseffekt, da in Baustellenabfällen eingebrachtes Altholz entweder aus der Mischfraktion aussortiert oder mit der Mischfraktion einer thermischen Verwertung zugeführt werden muss.

Bei der Auswahl von Holzschutzmitteln ist darauf zu achten, dass diese eine hohe Umweltverträglichkeit bei gleichzeitig hoher spezifischer Wirksamkeit gegenüber den zu erwartenden Schädlingen aufweisen (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE, 1996b). Bei Neubauten sollte daher die Anwendungsmenge von Holzschutzmitteln auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt werden. In Innenräumen ist der Einsatz von Holzschutzmitteln in den meisten Fällen nicht notwendig und auch aus bauökologischer Sicht abzulehnen, da bereits die üblichen raumklimatischen Bedingungen einem Befall vorbeugen. Eine nicht nur aus Gründen der Baubiologie anzustrebende Schadstoffentfrachtung neuer Bauteile erleichtert eine Wiederverwendung oder -verwertung nach Ende der Nutzungsdauer von Bauwerken. Erfolgreiche Maßnahmen können sich aber erst in einigen Jahrzehnten – wenn die rezenten Neubauten abgerissen werden – auswirken.

Generell gilt, dass eine frühzeitige Sortierung und Getrennthaltung von Althölzern am Bau hilfreich im Hinblick auf eine sinnvolle stoffliche Verwertung ist. Idealerweise müssten behandelte und unbehandelte Hölzer bereits auf der Bau- oder Abbruchstelle getrennt erfasst und gesammelt werden. Bei Neubaumaßnahmen liegen zumeist Kenntnisse über die Schutzmittelbehandlung von Bauteilen vor. Eine Getrennthaltung nach Schadstoffen oder Altholzsortimenten ist daher theoretisch leicht möglich. Bei größeren Rückbaumaßnahmen könnte in Form von stichprobenartigen Analysen vor Beginn der Baumaßnahme bereits Klarheit darüber erzielt werden, ob und wenn ja, mit welchen Holzschutzmitteln bestimmte Bereiche (z.B. Dachstuhl) behandelt wurden. Durch frühzeitige Sortierung und Getrennthaltung von Althölzern besteht die Möglichkeit, weitgehend unbehandelte und schadstofffreie Fraktionen zu erhalten.

Weiters hilft die Getrennthaltung Kosten zu reduzieren, da gemischte Altholzabfälle in der Regel Entsorgungskosten verursachen, sortenreine Fraktionen hingegen Erlöse bringen oder zumindest unentgeltlich abgegeben werden können.

Vor einer Zerkleinerung von vermischtem Altholz ist eine Sortierung unbedingt erforderlich.

Bei Abbruch- und Sanierungsmaßnahmen ist ein gezielter Rückbau hilfreich, um einerseits eine Vermischung von Hölzern mit unterschiedlichen Schadstoffen zu vermeiden, andererseits Bauteile aus Altholz wieder verwenden zu können. Durch einen schonenden Rückbau kann Altholz möglichst funktionsfähig ausgebaut und sortiert für die Wiederverwendung herangezogen werden (z.B. Fenster, Möbel, Parkettböden, tragende Konstruktionen). Auch eine Weitergabe an Bedürftige zur Wiederverwendung und Weiterverwendung ist möglich.

Aus Baumaßnahmen angefallene Bauteile und Möbel können teilweise demontiert werden. Die demontierten Bestandteile werden einzeln und sortenrein einer weiteren Verwertung zugeführt. So kann z.B. ein Bett in die Bestandteile Textilien, Metalle und Holz zerlegt werden – für einzelne Fraktionen bestehen eigene Verwertungsmöglichkeiten. Mit den Demontage- und Reinigungsarbeiten könnten – wie z.B. in Tirol – sozialökonomische Vereine beauftragt werden.

Ein Vorschlag zum Vorrang der stofflichen oder der energetischen Verwertung wird nicht getroffen, da es bei Holz als nachwachsender Rohstoff hierfür keine eindeutigen Vor- oder Nachteile für diese oder jene Verwertungsart gibt. Zu dieser Entscheidung kam man auch im Zuge der Arbeiten zur deutschen AltholzVO. Die Verordnung überlässt dem Abfallbesitzer die Wahl zwischen der stofflichen oder energetischen Verwertung.

## 7.3 Kunststoffe

### 7.3.1 Herkunft und Zusammensetzung

Bei Kunststoffen aus Bauabfällen handelt es sich um eine Vielzahl an Produkten, die sowohl beim Bau als auch beim Abbruch von Gebäuden anfallen.

Kunststoffabfälle, die auf Baustellen anfallen, können in Abhängigkeit ihres Einsatzbereiches den **Nichtverpackungs-Kunststoffen** oder **Verpackungskunststoffen** zugeordnet werden. Verpackungen aus dem Baubereich können in Transport- und Verkaufsverpackungen eingeteilt werden. Unter Nichtverpackungen werden alle Kunststoffwaren verstanden, die keine Verpackungen sind.

Tabelle 7-9: Kunststoffabfälle aus dem Baubereich

Kunststoffe Nichtverpackungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohre (Abwasserrohre und -leitungen aus PVC, HDPE)</li> <li>• Bodenbeläge (meist PVC)</li> <li>• Dachbahnen (PVC)</li> <li>• Altfenster (PVC)</li> <li>• Elektrokabel (PVC)</li> <li>• Schäume (Polyurethan)</li> <li>• Baufolien (Abdeckfolien aus PE)</li> <li>• Dämmmaterialien (Polystyrol)</li> <li>• Styropor</li> </ul>
Kunststoffe Verpackungen
<p><i>Hohlkörper:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kanister</li> <li>• Fässer</li> <li>• Flaschen</li> <li>• Kartuschen</li> <li>• Tuben</li> <li>• Styropor-Verpackungen</li> </ul> <p><i>Folien:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palettenabdeckhauben</li> <li>• Wickelfolien</li> </ul> <p><i>Umreifungsbänder:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kunststoffumreifungsbänder</li> </ul>

Laut HUTTERER, 1998 gibt es für den Kunststoffanteil in Baustellenabfällen kaum Angaben. Die Auswertung der Daten in FRUTH & KRANERT (1997) und BLUME & SIMM (1994) ergibt ein geschätztes Intervall von 3–7 %. Über den mittleren Verunreinigungsgrad von 12 % errechnet sich die „saubere“ Kunststoffabfallmenge im Baustellenabfall mit 11.000 – 60.000 t/a in Österreich. Nachstehende Tabelle zeigt die resultierende Verteilung von Verpackungsabfällen und Nicht-Verpackungsabfällen, welche im Jahr 1995 in Baustellenabfällen anfielen.

Tabelle 7-10: Letztverbraucher-Kunststoffabfallmengen im Baustellenabfall für die Bereiche Verpackungen und Nicht-Verpackungen (HUTTERER, 1998)

Kunststoffabfälle in	[t/a], ohne Verunreinigungen, 1995		
	Verpackungen	Nicht-Verpackungen	Gesamt
Baustellenabfälle	8.300	49.800	58.100

Der Kunststoffverpackungsanteil im Baustellenabfall wird nach BIDLINGMAIER & KRANERT 1997 mit 1,6 % angenommen. Von der resultierenden Gesamtmenge von ca. 11.000 Tonnen werden noch geschätzte 500 t abgezogen, die zur stofflichen Verwertung gelangen.

Für eine entsprechende Behandlung (v.a. stoffliche Verwertung) ist die Kenntnis des Verunreinigungsgrades der Abfälle besonders wichtig. Laut HUTTERER, 1998 wurden in der Vergangenheit bei abfallseitigen Erhebungen von Kunststoffabfallmengen anhaftende Verunreinigungen und Feuchtigkeit praktisch nie berücksichtigt. Dementsprechend sind kaum Analysen oder Literaturangaben zum Verunreinigungsgrad vorhanden. Für die Verunreinigungsgrade von Verpackungen und Nicht-Verpackungen wurden in den verschiedenen Abfallfraktionen Schätzwerte verwendet, die in ihrem Verhältnis zueinander plausibel scheinen.

Tabelle 7-11: Schätzwerte für den mittleren Verunreinigungsgrad von Kunststoffabfällen in den verschiedenen Abfallfraktionen (HUTTERER, 1998)

Kunststoffabfälle im/in	Verunreinigungsanteil		
	Verpackungen	Nicht-Verpackungen	Gesamt
Gefährlicher Abfall	20%	10%	18%
Systemmüll	30%	10%	23%
Sperrmüll	10%	5%	5%
<b>Baustellenabfall</b>	<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>
Sonstigen Gewerbemüll	15%	5%	12%
Krankenhausabfall	20%	10%	15%
KfZ-Wracks	0%	2%	2%
Getrennt gesammeltem El.schrott	0%	2%	2%
ARGEV-Sammlung	10%	10%	10%
and. getr. Sammlung	5%	5%	5%

### 7.3.2 Sortierung von Kunststoffen

Seit 1993 gilt in Österreich die „Verordnung über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien“, wodurch für Auftraggeber von Bautätigkeiten die Verpflichtung entsteht, die anfallenden Abfälle in bestimmte Stoffgruppen zu trennen, sofern bestimmte Mengenschwellen überschritten werden. Für Kunststoffabfälle beträgt diese Mengenschwelle zwei Tonnen. Die Abfälle müssen entweder am Anfallsort oder in geeigneten Sortieranlagen getrennt werden, so dass eine Verwertung möglich ist. Können die Abfälle keiner Verwertung zugeführt werden, oder ist die Verwertung mit unverhältnismäßigen Kosten verbunden, so können die Abfälle nach entsprechender Behandlung deponiert werden (HUTTERER et. al., 2000). Für Verpackungskunststoffe gelten weiters die Bestimmungen der Verpackungsverordnung.

### 7.3.3 Verwertung- und Entsorgungswege

Kunststoffabfälle sind in der Regel relativ leicht, beanspruchen aber viel Platz (Volumen) und verursachen daher hohe Transportkosten. Darüber hinaus sind die Deponierungskosten für Baustellenabfälle, gemischt mit Verpackungsabfällen, deutlich höher. Abgesehen von den höheren Entsorgungskosten, gehen wichtige Sekundärrohstoffe im Zuge einer Deponierung verloren. Wichtige Voraussetzung für eine stoffliche Verwertung von auf Baustellen anfallenden Kunststoffen ist deren sortenreine Erfassung oder die gemischte Erfassung mit anschließender Sortierung. Bei einer anschließenden Sortierung ist aufgrund einer gemeinsamen Sammlung mit anderen Fraktionen am Anfallsort mit einem höheren Verschmutzungsgrad zu rechnen.

#### 7.3.3.1 Nicht-Verpackungen

Nicht verschmutzte Kunststoffe können bei getrennter Sammlung, sofern es sich um thermoplastische Kunststoffe handelt, wie z.B. PVC, PP, PE, einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Ein Verwertungshindernis stellt die gemischte Sammlung unterschiedlicher Kunststoffarten dar.

Es sollte daher mit dem beauftragten Entsorgungsunternehmen geklärt werden, welche Kunststoffe auf der Baustelle getrennt gesammelt werden sollten, um diese Abfälle ohne eine weitere Sortierung einer Verwertung durch den Entsorger zuführen zu können (DIE GEWERBEABFALLBERATUNG DES KREISES LIPPE 2003).

Systeme für die sortenreine Sammlung und anschließende stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen aus dem Baubereich gibt es derzeit für Rohre, Bodenbeläge, Dachbahnen und Fensterprofile. Außerdem werden nach Angaben österreichischer Verwerter noch geringe Mengen an Baufolien und Isoliermaterialien verwertet (HUTTERER et al., 2000).

Tabelle 7-12: Übersicht über den Ist-Zustand der stofflichen Verwertung von Kunststoff-Nichtverpackungsabfällen aus dem Baubereich im Zeitraum 1995 bis 1998 (HUTTERER et al., 2000).

Produkt	Menge in t/a	Kunststoffsorten
Rohre	400	PE,PVC, PP
Bodenbeläge	100	PVC
Baufolien	100	PE
Isoliermaterialien	50	
Dachbahnen	50	PVC
Altfenster	einige t	PVC

Derzeit werden aus dem Baubereich insgesamt rund 700 t/a stofflich verwertet (Rohre, Bodenbeläge, Baufolien, Dachbahnen und Isoliermaterial). Das gesamte Verwertungspotenzial wird im Baubereich auf runde 7.900 t/a geschätzt. Dieser Menge liegt in den Produktgruppen Bodenbeläge, Rohre, Profile und Isoliermaterialien eine maximale Erfassungsquote von 50 % der anfallenden Abfälle zugrunde. Bei Baufolien und Dachbahnen, für die keine Daten zur gesamten Abfallmenge vorlagen, wurde angenommen, dass sich die derzeit verwerteten Mengen höchstens verdoppeln lassen (HUTTERER et al., 2000).

## Kunststofffenster

Die bestehenden Sammel- und Verwertungsaktivitäten für den Bereich der Kunststofffenster beschränkt sich derzeit fast ausschließlich auf Produktionsabfälle (zählen nicht zu den Baustellenabfällen) mit jährlichen Mengen von rund 400 t. Dies wird damit begründet, dass wegen der langen Lebensdauer der Kunststofffenster derzeit praktisch noch keine nennenswerten Mengen an Altfenstern auf Baustellen anfallen. In den nächsten Jahren ist sicherlich mit einer Steigerung der anfallenden Mengen zu rechnen (HUTTERER et al., 2000). Aufgrund der recht ähnlichen Rezeptur des in Kunststoff-Fenstern und -Türen verwendeten PVCs bietet die Verwendung alter Fenster für die Herstellung von neuen PVC Fenster- und Türprofilen eine ressourcenschonende Alternative zur ausschließlichen Verwendung von neuem PVC.

Das Recycling der in Österreich als Abfall anfallenden PVC-Fenster übernimmt der Österreichische Arbeitskreis Kunststoff Fenster. Nach der Abtrennung des Glasanteils, der Gummidichtungen, der Beschläge und der Stahlverstärkungen werden die Profile gereinigt, zerschnitten und nach Rezeptur, Farbe und Reinheit sortiert. Nach der Vermahlung im Shredder kann das Recyclat zu neuen Profilen verarbeitet werden. Aus optischen Gründen werden die Recyclingprodukte entweder an nicht sichtbaren Stellen eingesetzt, oder ein Kern aus Recyclat wird mit einer dünnen Schicht Neumaterial ummantelt. Nebenprofile können somit bis zu 100 % Recyclat enthalten. Hauptprofile können einen Recyclatanteil von 25 bis 75 % aufweisen (HUTTERER et al., 2000).

Auf der Basis einer Produktökobilanz für Fenster (RUDOLPHI in JANCKE, 2003) mit verschiedenen Rahmenmaterialien (Holz, PVC, Aluminium und Holz-Aluminium) wurden im Rahmen einer Forschungsarbeit die verschiedenen möglichen Einflüsse aus der Planung, Herstellung und Nutzung analysiert, die sich auf die Langlebigkeit, auf die Reparaturfreundlichkeit und auf die Instandhaltung eines Fensters positiv oder negativ auswirken können. Die Liste dieser Einflüsse umfasste dabei Aspekte wie wichtige Merkmale der Verarbeitungsqualität, der Sorgfalt und Gütesicherung beim Einbau, der Oberflächenbeschichtung, des Witterungsschutzes, der mechanischen Abnutzung, der Reparaturfähigkeit und vieles andere mehr. Diese Einflüsse wurden anschließend in unterschiedlichen Szenarien auf das eingebaute Fenster angesetzt und auf der Grundlage von praktischen Beobachtungen und Schadensanalysen bewertet. Die Auswertung der Untersuchung bezog sich hauptsächlich auf die zu erwartende Nutzungsdauer der Fenster.

Die in der Ökobilanz ermittelten Umweltauswirkungen wurden anschließend hochgerechnet auf die angenommene Nutzungsdauer des Gebäudes - einen Zeitraum von 80 Jahren. Je nach den angenommenen Randbedingungen mussten die einzelnen Fenster mehr oder weniger häufig ausgewechselt, instandgesetzt oder gewartet werden. Das deutliche Ergebnis war, dass die Umweltauswirkungen von Einflüssen der Konstruktion, der Herstellungsgüte, der Bauplanung und der Einbauqualität die der analysierten Fensterproduktion weit übersteigen können. Betroffen sind damit alle beobachteten Umweltauswirkungen sowohl im Energiebedarf, bei den Emissionen in die Luft und ins Wasser und bei dem Abfallaufkommen. Dabei sind die Abfallmengen bereits sehr stark von der Wahl des Fenstermaterials abhängig.

Ein mittleres PVC Fenster (Vergleichsgröße 1,5 x 1,0 m; ein Flügel; Vergleich ohne Verglasung und Beschläge) produziert während der Herstellung ca. 2,2 kg feste organische und mineralische Abfälle (unter der Annahme der Rückführung der Verschnittreste an den Profilversteller). Ein Aluminiumfenster erzeugt bei der Herstellung bereits ca. 37 kg hauptsächlich feste Rückstände. Ein Holzfenster dagegen führt zu ca. 1 kg entsprechender Abfälle (unter der Annahme einer meist üblichen thermischen Verwertung der Holzverschnittreste). Begleitend mit den auftretenden Produktionsabfällen müssen auch hier die mehr oder weniger häufig anfallenden Altfenster beseitigt werden.

Dabei kann die sortenreine Demontage erheblich begünstigt werden, wenn die Bauwerksfugen nicht mehr (ökologisch in jeder Hinsicht unbefriedigend) verschäumt sondern fest mit Dämmstricken verstopft werden, und wenn sich die moderne Trockenverglasung mit EPDM- oder SBR-Profilen weiter durchsetzen kann. Die Verwertung der Fenster bereitet bei Aluminium- und Holzmaterialien keine Probleme mehr. Aluminium wird aufgrund seines hohen Rohstoffwertes zu über 85 % der Produktion von Sekundärmaterial zugeführt. Holz kann aufgrund der modernen verbrennungsfreundlichen Anstrichsysteme thermisch verwertet werden. Verschiedene Anstrichsysteme sind bereits kompostierfähig. Als nachwachsender Rohstoff ist ein Recycling wirtschaftlich nicht sinnvoll. PVC-Profile stellen dagegen ein Problem dar, da auch hier die Reinigung und/oder Rückführung zu einer Verwertungsanlage vom Handwerksbetrieb oder vom Bauherrn bezahlt werden muss. Hier steht nach wie vor die Forderung im Raum, dass diese Kosten auf den Neupreis der Fenster über eine Abgabe umgelegt werden müssen.

### Elektroinstallationen

Anlässlich der im Auftrag des Landes Berlin (RUDOLPHI in JANCKE, 2003) geführten Auseinandersetzung mit der Frage, ob der Austausch von PVC-Mantelleitungen in der Elektroversorgung durch halogenfreie Materialien möglich und sinnvoll ist, ergab eine Analyse verschiedener Wohnungsneubau- und Sanierungsprojekte, dass die eingesetzte Materialmenge bei gleicher Versorgungsleistung um bis zu 200 % schwankt. Ursache für diesen besonders schwer durchschaubaren Umstand sind - materialunabhängig - die unterschiedlich intelligenten Netz- und Verlegeplanungen in den einzelnen Projekten. Die großen Schwankungen konnten nur dadurch ermittelt werden, dass die tatsächlich verarbeiteten Materialmengen anhand der Ausführungs- und Abrechnungsunterlagen exakt ausgezählt wurden. Wie bei anderen Fachplanungen z.B. für die Sanitär- oder Klimatechnik ist im Bauprozess in Deutschland eine kritische Prüfung der Planung selbst an keiner Stelle vorgesehen, solange die Planungen den DIN - oder VDE Bestimmungen entsprechen. Vergleiche werden lediglich bei der Ausschreibung möglich - allerdings nur auf der Basis einer identischen Planungsgrundlage. Die ökologische Bedeutung ergibt sich daraus, dass mit der Materialmenge natürlich auch die sachbilanztechnisch erfassbaren Umweltauswirkungen im Verlauf der Materialproduktion schwanken.

Aus ökologischer Sicht kommt bei Elektroinstallationen erschwerend hinzu, dass die überwiegenden Energieverluste als Leitungsverluste auftreten, also als Funktion der verlegten Leitungslänge. Die in der folgenden Tabelle gezeigten erforderlichen Materialmengen für eine Elektroausstattung beziehen sich auf Wohnungsneubauvorhaben (Gebäude I - III) und auf einen Berliner Altbau (Gebäude '86). In den Neubauvorhaben war die Ausstattung der Wohnungen vollkommen identisch. Die Bedeutung dieser Untersuchungsergebnisse ist eindeutig eine ökonomische, da jeder verlegte Meter Kabel bezahlt werden muss und da jeder Meter Leitungslänge mit Energieverlusten verbunden ist. Sie ist aber auch eine ökologische, da die überzähligen Materialmengen produziert werden mussten.

Tabelle 7-13: Vergleich der Zählungsergebnisse

	Gebäude I	Gebäude II	Gebäude III	Gebäude '86
Elektro	0,35 kg/m <sup>2</sup>	1,09 kg/m <sup>2</sup>	0,63 kg/m <sup>2</sup>	0,55 kg/m <sup>2</sup>
Boden	3,76 kg/m <sup>2</sup>	0,52 kg/m <sup>2</sup>	0,07 kg/m <sup>2</sup>	2,05 kg/m <sup>2</sup>
Rohr		0,10 kg/m <sup>2</sup>	0,04 kg/m <sup>2</sup>	0,20 kg/m <sup>2</sup>
Sanitär				0,29 kg/m <sup>2</sup>

Die Einsatzmenge an PVC-Material im Elektrobereich ist offensichtlich sehr stark von den Planungsvoraussetzungen abhängig. Die Untersuchung zeigt, dass Planungsvorgaben wie Unterputz- oder Kanalverlegung, zentrale Steigleitungen, Position der Wohnungszähler, usw. über mehr als 60 % des Materialeinsatzes entscheiden.

Die aus den Zählungen ermittelten Mengen wurden auf den erzielten m<sup>2</sup> Nutzfläche umgerechnet und zum Vergleich den erforderlichen PVC-Mengen für Bodenbeläge, Rohre und Sanitärbauteile am gleichen Gebäude gegenübergestellt. Für ein Kilogramm des Mantelmaterials sind ca. 65 MJ Herstellungsenergie erforderlich. Die Prozesse erzeugen ca. 200 g organische und mineralische Abfälle zur Entsorgung. Die für die Leitungsherstellung erforderliche Menge an Kupfer schwankt mit der Leitungskapazität und wurde in der zitierten Studie nicht mit berechnet. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass sich mit der Herstellung von 1 kg Kupferdraht neben ca. 390 kg Abraum und ca. 100 kg Gips weitere 3 kg sonstige organische und mineralische feste Abfälle verbinden. Aus einem kg Kupfer lassen sich etwa 22 m Leitungen NYM 3x1,5 oder etwa 12 m NYM 3x2,5 herstellen. Die untersuchten und ausgezählten Wohnungsbauprojekte umfassten zwischen 7.000 und 10.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche.

Die Qualität der Planung kann also schnell über große Mengen nicht notwendiger zu entsorgender oder deponierender Abfälle entscheiden. An diesen Beispielen wird deutlich, dass die Forderung nach einer Abfallvermeidung im Bauwesen sämtliche Planungs- und Ausführungsschritte bei der Herstellung eines Bauwerkes betrifft. Neben der Präferenz industriell niedrig bearbeiteter Materialien spielt dabei die Forderung nach materialsparenden, gütegesicherten und langlebigen Konstruktionen eine zentrale Rolle. Hierbei wird deutlich, dass die ursächlich ökologischen Ansprüche und die ökonomischen Belange bei der Erstellung eines Gebäudes eine klare Einheit bilden! Das häufig geäußerte Vorurteil, ökologische Anforderungen würden zu einer Verteuerung der Baumaßnahmen führen, erweist sich als falsch. Es wird auch deutlich, dass es kein isoliertes Ziel der Abfallvermeidung in der Bauwirtschaft geben kann. Vielmehr bildet die Abfallvermeidung neben anderen ökologischen Zielen wie der Reduzierung wichtiger Umweltbelastungen in Form des Treibhauspotenzials (global warming), der Versauerung (acidification) oder der Ozonschädigung (ozone depletion) eines von vielen positiven Ergebnissen einer ökologisch und ökonomisch optimierten Bauweise. Zusammenfassend können für die Prozesse der Planung und Ausführung eines Bauwerkes wesentliche Optimierungskriterien genannt werden.

### **Kunststoffrohre**

Beim Verlegen von Kunststoffrohren fällt Verschnitt dezentral an vielen Orten der Baustelle an. Zudem bestehen Rohre meist aus verschiedenen Kunststoffsorten und sind mehr oder weniger stark verschmutzt. Um sie einer Verwertung zuzuführen, bedarf es eines eigenen Systems zur getrennten Sammlung und Sortierung.

Das Sammel- und Verwertungssystem für Kunststoffrohre in Österreich, das bereits seit dem Jahr 1991 besteht, sammelt derzeit ungefähr 40 bis 50 % der Verschnittabfälle. An Österreichweit über 130 Sammelstellen können Kunststoffrohre abgegeben werden. Diese werden dann sortiert und einer materialspezifischen stofflichen Verwertung zugeführt. Das Recyclat wird zum überwiegenden Teil wieder von österreichischen Kunststoffverarbeitern eingesetzt, ein Teil davon für die Herstellung von Kunststoffrohren. Die gesammelte Menge besteht zum Großteil aus Verschnitt, der bei der Verlegung anfällt. Wegen der hohen Einsatzdauer von Kunststoffrohren von einigen Jahrzehnten, gelangen heute erst geringe Mengen an Altmaterial in den Abfall. Die Mengen werden in den nächsten Jahren kontinuierlich zunehmen (HUTTERER et. al., 2000).

### **Bodenbeläge**

Realistische Zusatzpotenziale für die getrennte Sammlung und einer anschließenden stofflichen Verwertung dürften vor allem im Bereich der Bodenbeläge zu finden sein. Von der in den Abfall gelangenden Menge kann vor allem der Anteil, der im Zuge von Renovierungstätigkeiten anfällt, mit verhältnismäßig geringem Aufwand getrennt gesammelt werden.

Die Errichtung eines Sammelsystems für Bodenbeläge über ganz Österreich würde rund 500 t Sammelware jährlich bringen, die kurzfristig verfügbar wäre. Allerdings muss beachtet werden, dass der Trend in Richtung Holzböden geht.

Bodenbeläge aus Kunststoff werden zum Großteil von Handwerksbetrieben, die Renovierungen durchführen, gesammelt. Es hat sich gezeigt, dass das Sammelmateriale aus Renovierungen zum Teil stark verschmutzt ist. Anhaftungen von Klebstoffen, Farben, etc., machen aufwendige Wasch- und Reinigungsverfahren erforderlich. Für Deutschland wird die Rücklaufquote auf derzeit rund 5 % geschätzt. Zu Beginn der Verwertung werden Fehlwürfe aussortiert, dann wird die Sammelware in einer Hammermühle zu 3 cm-Chips vermahlen. Estrich, Glasgewebe, Kleberreste und Verunreinigungen werden mittels Sieben und Windsichter abgeschieden. Die Chips werden auf -40 °C tiefgekühlt und zu Pulver vermahlen. Das entstandene Pulver kann bis zu einem maximalen Anteil von 75 % neuen kalandrierten Bodenbelägen beigemischt werden, wobei die Rezeptur beibehalten wird. So ersetzt der enthaltene Füllstoff den Füllstoff und das PVC den Kunststoff. Das Recyclat kann auch zu Kunststoffrohren und -profilen verarbeitet werden (HUTTERER et. al., 2000).

Ökobilanzen (RUDOLPHI in JANCKE, 2003) aus den letzten Jahren haben ergeben, dass bei der Herstellung und Verlegung von homogenen **Bodenbelägen** aus PVC in mittlerer Qualität (2,0 mm; 3.800 g) pro m<sup>2</sup> etwa 400 g unterschiedliche chemische und mineralische feste Abfälle entstehen, dazu kommen 6.200 g Emissionen in die Luft und 187 MJ erforderliche Gesamt-Herstellungsenergie. Die Verlegung selbst produziert im Durchschnitt 5–10 % Materialverschnitt, der jedoch bei größeren Baustellen zur Wiedereingliederung in den Produktionsprozess zum Belagshersteller zurückgeführt werden kann. Dem untersuchten Belag werden durchschnittlich 20-25 Jahre Nutzung zugeschrieben. Somit fallen alle 20 Jahre die oben genannten Abfälle für eine Neuproduktion an. Hat der Architekt oder Nutzer nun versäumt, z.B. in öffentlichen Bereichen für sogenannte „Sauberaufzonen“ an den Zugängen zu sorgen, reduziert sich die Nutzungsdauer schnell auf 10 Jahre. Damit verdoppeln sich nicht nur die Produktionsabfälle, sondern natürlich auch die zu entsorgende Menge der Altbeläge. Die PVC-Industrie hat für diese Altbeläge eine Recyclingtechnik erarbeitet. Das Problem ist jedoch, dass die Sammlung und der Rücktransport vom Betrieb bzw. vom Auftraggeber zu bezahlen sind. Zusätzlich haften den Altbelägen die alten Klebstoffe und Spachtelmassen an, sie sind mit Schichten von Reinigungsemulsionen und Wachsen behaftet und müssen aufwendig gereinigt werden. In der Regel landen die meist kleineren Abrissmengen daher auf der Deponie oder in der Verbrennung, wobei je nach Belagsmaterial entsprechende Mengen an Salzabfällen anfallen. Nicht nur die Planung produziert hier Abfälle, auch die Ausführung trägt dazu bei. 80 % der bei Belagsarbeiten beobachteten Ausführungsmängel treten durch eine vorzeitige Verlegung auf zu feuchten Untergründen auf. Der Ausführende hat (meist aus Zeitmangel) nicht auf das ausreichende Abtrocknen der Untergründe warten können. Häufig sind die langen Abtrocknungszeiten im Bauzeitenplan überhaupt nicht vorgesehen. Stärkere Blasenbildungen sind bei Kunststoffbelägen nicht reparabel. Daher werden jährlich zahlreiche Beläge direkt nach der Verlegung wieder herausgerissen und erneuert. Die beschriebenen Probleme lassen sich natürlich mit unterschiedlichen Daten auf Linoleum- oder Polyolefinbeläge übertragen.

### **Dachbahnen**

PVC-Altdachmaterial kann aufbereitet und in der Dachbahnproduktion wieder eingesetzt werden. Führende europäische Dachbahnenhersteller haben sich in der Arbeitsgemeinschaft für PVC-Dachbahnenrecycling (AfDR) zusammengeschlossen und ein gemeinsames Konzept zur Verwertung von Altdachbahnen entwickelt, dieses wird seit Mitte 1994 praktiziert. Getrennt gesammelte Dachbahnen aus PVC werden derzeit zur Verwertung nach Deutschland gebracht. Nach einem Reinigungsschritt werden die Dachbahnenabfälle gemeinsam mit Verschnittmengen bei niedrigen Temperaturen zu Pulver vermahlen. Das gewonnene Recyclat wird anschließend wieder in der PVC Dachbahnproduktion eingesetzt und kann bis zu 10 % der benötigten PVC Neuware ersetzen (HUTTERER et al., 2000).

### **Styropor**

Baustellenabfälle aus Styropor (insbesondere aus der Verarbeitung von Dämmstoffen) können am Anfallort (=Baustelle) getrennt gesammelt werden oder im Zuge einer Nachsortierung (nur unverschmutztes Material) getrennt erfasst werden.

Nur bei einer getrennten Sammlung von Styroporabfällen ist eine uneingeschränkte stoffliche Verwertung dieser Abfälle möglich, da eine gemeinsame Sammlung mit anderen Abfällen in der Regel zu Verschmutzungen des Materials führt und eine Verwertung einschränkt. Darüber hinaus wird durch die Entsorgung von Styroporabfällen über einen Mischabfallcontainer unter Umständen ein erhebliches Volumen dieses Behälters in Anspruch genommen.

### 7.3.3.2 Verpackungen

Verpackungsabfälle (UMWELTBEBÖRDE HAMBURG, 2000), die bei Bauarbeiten anfallen, werden bspw. in Hamburg in der Regel zusammen mit Baustellenabfällen (Gesamtmenge 1999 rd. 400.000 t) über Sortieranlagen entsorgt. Bei den Baustellenabfällen macht der Anteil der Verpackungsabfälle schätzungsweise weniger als 5 % aus, d.h. dass rd. 20.000 t/a Verpackungsabfälle auf diesem Weg in Hamburg entsorgt werden. Verpackungsabfälle werden mit allen nicht-mineralischen Fraktionen entsorgt, überwiegend mit der Holzfraktion. Angesichts der Zusammensetzung und der Verwertungsquote von Baustellenabfällen wird davon ausgegangen, dass über 90 % der Verpackungsabfälle, die mit Baustellenabfällen entsorgt werden, verwertet werden. Auf Grund der guten Entsorgungslogistik für Baustellenabfälle werden Rücknahmeangebote für Verpackungen in Hamburg nur in geringem Umfang genutzt, wenn Verpackungsabfälle auf den Baustellen getrennt erfasst werden. Für 1998 wird eine unbedeutende Menge von getrennt erfassten und verwerteten Verpackungsabfällen von weniger als 2.000 t abgeschätzt. Insgesamt ist davon auszugehen, dass rd. 20.000 t/a Verpackungsabfälle aus der Bauwirtschaft in Hamburg anfallen, die bis auf geringe Anteile bauseits verschmutzter Verpackungsabfälle verwertet werden. Es ist von einer Verwertungsquote von über 90 % auszugehen.

Für Verpackungsreste aus Kunststoffen existieren verschiedene Sammel- und Rücknahmesysteme. So wurde nach Inkrafttreten der Verpackungsverordnung (nähere Beschreibung siehe Einleitung) ein bundesweites Sammelsystem mit regionalen und lokalen Entsorgungspartnern für die Sammlung und das Recycling von Verpackungen, auch Bauproduktverpackungen eingerichtet.

Der Großteil dieser getrennt gesammelten und verwerteten Kunststoffverpackungen läuft über das ARA-System bzw. dessen Branchenrecycling-Gesellschaft ARGEV. Die ARGEV ist für die getrennte Sammlung und Sortierung der ARA-lizenzierten Kunststoffverpackungen zuständig. Neben dem ARA-System sind noch weitere Sammel- und Verwertungssysteme aktiv:

- Bonus Holsystem für Verpackungen GmbH. & Co KG
- GUT - Dr. Klaus Galle Umwelttechnik
- E.V.A. Erfassen und Verwerten von Altstoffen GesmbH

Diese Rücknahmesysteme können unter gewissen Voraussetzungen kostenlos von dem jeweiligen verarbeitenden Betrieb genutzt werden und führen bei einer getrennten Sammlung der Verpackungsabfälle neben der Vermeidung von Abfällen zu einer erheblichen **Einsparung** im Bereich der **Entsorgungskosten**. Eine stoffliche Verwertung von Verpackungsabfällen setzt jedoch eine getrennte, sortenreine Sammlung und einen geringen Verunreinigungsgrad (Verpackungen ohne Inhalt - restentleerte Verpackungen) der Verpackungen voraus.

Des Weiteren können Inverkehrbringer von Kunststoffverpackungen diese Verpackungen auch selbst zurücknehmen und einer Verwertung zuführen, anstatt an einem Sammel- und Verwertungssystem teilzunehmen, sogenannte Selbsterfüller.

In der Regel ist eine stoffliche Verwertung von sauberen Verpackungsabfällen möglich. Eine Deponierung oder thermische Beseitigung von Verpackungsabfällen ist nur dann erforderlich, wenn die Verpackungsabfälle aufgrund ihres Verschmutzungsgrades keiner stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden können.

### 7.3.4 Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten

Im Zuge des gegenständlichen Projektes wurden bei einem Sortierwerk Proben von Kunststofffolien gezogen, aufbereitet und deren Schadstoffgehalte analysiert. Die Gehalte an Schwermetallen und organischen Schadstoffen sind in folgender Tabelle dargestellt. Die Probennahme der ersten Serie fand im Mai 2003 statt und jene der zweiten im Oktober 2003. Die Analysen entstammen Sammelproben aus je einem Container (ca. 0,8 t) pro Serie, nach Zerkleinerung.

Tabelle 7-14: Vergleich von Grenzwerten, Richtwerten, chemischen Analysen von Verpackungsfolien

Gesamtgehalte								
Parameter	Einheit	1. Serie	2. Serie	Kunststoffverpackungen 1)	Verpackungen aus Kunststoff 2)	Kunststoffe (Verpackungen) 3)	Kunststoffverpackungen inkl. Folien 4)	Sonst. Kunststoff Folien 5)
<i>Schwermetalle</i>								
Al	[mg/kg TS]	840	2.400			6.170	5.130	
Sb	[mg/kg TS]	<2,5	<2,5		11,22	4		
As	[mg/kg TS]	<2	2		2,53	4	7,0	
Be	[mg/kg TS]	<2,5	<2,5		0,54	2		
Pb	[mg/kg TS]	10	90	150	7,98	100	129	219
Cd	[mg/kg TS]	<0,5	<0,5	1,75	0,46	2	3,1	1,3
Cr	[mg/kg TS]	2,4	12	90,8	7,49	12	89	
Co	[mg/kg TS]	<0,625	1		2,92	2		
Cu	[mg/kg TS]	5	14,5	30	79,80	43	90	
Mn	[mg/kg TS]	15	68		12,37	38	111	
Ni	[mg/kg TS]	9	6		12,44	6,5	20,1	
Hg	[mg/kg TS]	<0,25	<0,25		0,16	0,2	0,083	0,16
Tl	[mg/kg TS]	<2	<2		1,01	2		
V	[mg/kg TS]	<5	<5		1,86	2		
Zn	[mg/kg TS]	335	1.600			140	948	730
Sn	[mg/kg TS]	2,5	0,2		8,56	7,1	17,7	
Brennwert	[kJ/kg TS]	41.800	41.400					
Heizwert	[kJ/kg TS]	38.500	31.400		29.510	17.640		27.200
Wasserge.	%	14,94	16,50		2,58	9,5		
TOC	%	90,65	91,15					
Glühverlust	%	97,42	93,28					
Cl	[mg/kg TS]	2.600	1.960		0,26 %	1.900/ 0,19 %	2.830	0,6 %
F	[mg/kg TS]	190	39		510	70		
S	[mg/kg TS]	240	750		0,13 %	1.000 / 10 %	1.080	

1) aus BILITEWSKI, HÄRDITLÉ & MAREK (2000): Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre. Springer Verlag.  
 2) aus Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. 2003. Die Schwermetallgehalte in mg/kg Feuchtsubstanz wurden in mg/kg Trockensubstanz umgerechnet.  
 3) aus Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen. Forschung im Verbund. Schriftenreihe Band 73. 2001.  
 4) aus Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. 2001.  
 5) aus Müll und Abfall 9.03. Abfallanalysen-Anwendung, Probleme und neue Wege für die Praxis. 2003

Ein Vergleich der Analysenwerte mit jenen der Literatur zeigt für keinen der Parameter ungewöhnliche Abweichungen.

### 7.3.5 Vermeidungsmaßnahmen Nicht-Verpackungen

Im Bereich der Bauwirtschaft werden Kunststoffe in Form von Rohrmaterial, Formteilen, Verkleidungen, usw., eingesetzt. Eine Vermeidung von Kunststoffabfällen ist durch eine **genaue Planung** des Materialbedarfs bei Leerrohren, Rohrleitungen, Formteilen und anderen Bauteilen aus Kunststoff möglich. In einigen Fällen können Baumaterialien aus Kunststoff durch alternative Baumaterialien **ersetzt** werden, die später eine problemlose Verwertung oder Beseitigung ermöglichen (z.B. Rohrleitungen aus Steinzeug, Lüftungskanäle aus Metall, Verkleidungen aus Holz, usw.)

### 7.3.6 Vermeidungsmaßnahmen Verpackungen

- Vorrangiges Ziel jeglicher Bemühungen zur Reduzierung von Verpackungsabfällen sollte der Einsatz von Mehrwegverpackungen wie z.B. Silos, Mehrwegbehälter, Mehrwegpaletten, u.s.w., sein. Durch die Verwendung von **Mehrwegverpackungen** im Bereich von Transport- und Verkaufsverpackungen können beachtliche Mengen von Kunststoffverpackungen eingespart werden.
- Wenn die Möglichkeit besteht, sollte auf den Einsatz von Verpackungen **verzichtet** werden (z.B. Materialanlieferungen ohne Folienverpackung, Transport von Großlieferungen ohne zusätzliche Transportverpackungen).

Im Kapitel Schlussfolgerungen werden Vermeidungspotenziale von Verpackungen ausführlicher beschrieben.

## 7.4 Papier und Pappe

Altpapier werden Papiere und Pappen genannt, die entweder nach Gebrauch oder als bei der Produktion oder Verarbeitung anfallende Reststoffe erfasst und wiederverwertet werden. Es unterliegt dem Abfallbegriff und ist ein Altstoff, der einer zulässigen Verwendung oder Verwertung zugeführt werden muss.

### 7.4.1 Herkunft und Zusammensetzung

Papier und Pappe bestehen zu 60 bis 95 % aus mechanisch oder chemisch aufgeschlossenen Fasern meist pflanzlicher Herkunft, die in wässriger Suspension miteinander verbunden sind und unter Zusatz von Hilfsstoffen durch Entwässerung auf einem Sieb zur Blattform verfestigt werden. Bei Anwesenheit von Wasser verliert Papier oder Pappe seine Festigkeit, sodass es sich unter geringen mechanischen Kräften wieder zerfasern lässt. Dieser Effekt wird bei der Verarbeitung von Altpapier zu neuem Papier genutzt (UMWELTBUNDESAMT, 2000).

Der Anteil von Papier und Pappe in Baustellenabfällen wird zwischen 1 Gew.-% und 3 Gew.-% geschätzt (AACHENER STIFTUNG, 1999).

Auf Baustellen fallen Papier- und Kartonabfälle vor allem in Form von Verpackungen an. Zum Beispiel Kraftpapiersäcke für Baustoffe (Zement, Estrich, Gips, u.ä.) oder Kartonagen für Sanitäreinrichtungen (Fliesen, Armaturen, u.ä.) und sonstigen Bauteilen. In selteneren Fällen wird Papier für Abdeckzwecke (Baupappe) verwendet.

## 7.4.2 Sortierung von Pappe und Papier

Die auf Baustellen anfallenden Papier- und Pappeabfälle sind meist Transport- und/oder Verkaufsverpackungen. Saubere oder nur geringfügig verunreinigte Verpackungen sollten direkt auf der Baustelle getrennt in eigens dafür vorgesehene Sammelbehälter erfasst werden. Dadurch werden Verunreinigungen mit anderen Fraktionen vermieden und ermöglichen bzw. erleichtern dadurch eine stoffliche Verwertung. Einige Sammler und Behandler stellen kostenlos Sammelbehälter für Papier- und Kartonverpackungen auf größeren Baustellen zur Verfügung. Die Abholung und die Verwertung der Verpackungsabfälle ist kostenlos, vorausgesetzt, die Verpackungen wurden bei einem anerkannten Sammel- und Verwertungssystem lizenziert. Bei der Einbringung von Kraftpapiersäcken, besonders für Zement und Gips, ist darauf zu achten, dass die Verpackungen restentleert sind und keine Produktreste anhaften. Papier- und Pappeabfälle, welche gemeinsam mit anderen auf der Baustelle anfallenden Abfällen in einer Mulde gesammelt werden, werden in einem Sortierwerk getrennt. Meist sind diese Abfälle schon stark verunreinigt und können nicht mehr recycelt werden.

## 7.4.3 Verwertungs- und Entsorgungswege

Im Sinne der Abfallwirtschaft ist Altpapier ein Altstoff, somit ein Abfall, der einer zulässigen Verwendung oder Verwertung zuzuführen ist oder aufgrund einer gesetzlichen Verpflichtung (Verpackungsverordnung) entsprechend zu behandeln ist. Dabei wird „Verwerten“ als das Behandeln von Abfällen mit dem vorrangigen Ziel, Sekundärrohstoffe oder Energie aus diesen Abfällen zu gewinnen, definiert (UMWELTBUNDESAMT, 2000).

Die Sammlung von Papierverpackungen wird in Österreich durch die Verpackungsverordnung (siehe Einleitung) geregelt. Die Verpackungsverordnung verpflichtet Hersteller, Importeure, Abpacker und Vertreiber von Transport- oder Verkaufsverpackungen, diese nach Gebrauch unentgeltlich zurückzunehmen. Um diesen Stoffstrom zu gewährleisten und zu erleichtern, wurden Sammel- und Verwertungssysteme eingerichtet. Das gesammelte Altpapier wird in Österreich einer stofflichen Verwertung zugeführt. Für die Papier- und Pappeindustrie ist Altpapier mengenmäßig bereits seit einigen Jahren der wichtigste Grundstoff. Gemischte und unsortierte Altpapiersorten sind nach ihrer Auflösung grau gefärbte Faserstoffe, und eignen sich vor allem zur Herstellung von Wellpappe-Rohpapieren sowie von Grau- und Faltschachtelkartons. Altpapier kann aber auch Ausgangsmaterial für neue Produkte sein. Dämmstoffe aus Zellulose werden aus Altpapier in Form von Tageszeitungspapier oder sortenreinen Druckereiabfällen gewonnen. Zum Schutz gegen Brand und Ungeziefer erfolgt eine Behandlung mit Borsalzen. Die Zellulose wird entweder zu feinen Flocken als Einblasmaterial verarbeitet oder zu Platten gepresst. Zellulose besitzt gute Dämmeigenschaften und ist feuchteregulierend. Sie verliert mit steigender Materialfeuchte erst relativ spät die Dämmwirkung, ist aber wegen des hohen Boratgehaltes vor Durchnässung zu schützen. Im Anwendungsbereich sind keine umwelt- und gesundheitsrelevanten Auswirkungen bekannt. Zellulose-Dämmstoffe sind für alle Trockenbaukonstruktionen geeignet, wobei der Einbau als Flocke nur durch geschulte Fachbetriebe erfolgen sollte. Zellulose-Dämmstoffe basieren auf nachwachsenden Rohstoffen. Zellulose kann bei sauberem Ausbau wiederverwendet, doch aufgrund der Borsalzzusätze nicht kompostiert werden (SENATSV ERWALTUNG STADTENTWICKLUNG 2000).

## 7.4.4 Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten

Im Zuge des gegenständlichen Projektes wurden bei einem Sortierwerk Papier- und Kartonabfälle gezogen, aufbereitet und deren Schadstoffgehalte analysiert. Die Gehalte an Schwermetallen und organischen Schadstoffen sind in folgender Tabelle dargestellt. Die Probennahme der ersten Serie fand im Mai statt und jene der zweiten im Oktober 2003. Die Analysen entstammen Sammelproben aus je einem Container (ca. 0,8 t) pro Serie, nach Zerkleinerung.

Tabelle 7-15: Gegenüberstellung von Grenzwerten, Richtwerten, chemischen Analysen von Papier, Pappe, Karton

Gesamtgehalte							
Parameter	Einheit	1. Serie	2. Serie	Papier, Pappe, Karton 1)	Papier, Pappe nach Sortierung 2)	Verpackungen aus Papier / Pappe 3)	Papier, Pappe, Karton 4)
<i>Schwermetalle</i>							
Al	[mg/kg TS]	7.900	9.200				12.570
Sb	[mg/kg TS]	<2,5	<2,5		1,09	4,07	
As	[mg/kg TS]	2	3,6		0,61	2,82	8,6
Be	[mg/kg TS]	<2,5	<2,5		0,04		
Pb	[mg/kg TS]	24	12	13,6	2,36	3,46	14
Cd	[mg/kg TS]	<0,5	<0,5	0,13	0,11	0,33	2,3
Cr	[mg/kg TS]	7	8,8	28	4,13	5,79	30
Co	[mg/kg TS]	0,7	0,9		0,66	2,50	54
Cu	[mg/kg TS]	280	42,4	60	10,17	10,81	
Mn	[mg/kg TS]	45	70		6,17	10,77	52
Ni	[mg/kg TS]	8	8		2,54	3,96	9,7
Hg	[mg/kg TS]	<0,25	<0,25	0,56	0,04	0,17	0,057
Tl	[mg/kg TS]	<2	<2		0,10	0,82	
V	[mg/kg TS]	<5	<5		0,80	1,74	
Zn	[mg/kg TS]	62	83				139
Sn	[mg/kg TS]	<5	<5		0,84	4,84	8,9
Brennwert	[kJ/kg TS]	16.300	16.500				
Heizwert	[kJ/kg TS]	15.000	11.300		16.811	18.260	
Wasserge.	%	23,72	21,78		6,69	3,86	
Glühverlust	%	82,98	86,94				
Cl	[mg/kg TS]	1.300	2.000		1,19 %	0,71 %	1.550
F	[mg/kg TS]	81	200		26,25	36,67	
S	[mg/kg TS]	1.000	1.660		0,07 %	0,17 %	970
TOC	%	49,06	46,36				
1) aus BILITEWSKI, HÄRDLE & MAREK (2000): Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre. Springer Verlag. 2) Abfälle aus dem Sortieren von Papier und Pappe für das Recycling, Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in NRW, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW 2003. Schwermetallgehalte in mg/kg Feuchtsubstanz wurden in mg/kg Trockensubstanz umgerechnet. 3) Verpackungen aus Papier und Pappe aus Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. 2003. Die Schwermetallgehalte in mg/kg Feuchtsubstanz wurden in mg/kg Trockensubstanz umgerechnet. 4) Aus Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.2001.							

Um Aussagen betreffend der Höhe der Schadstoffgehalte als auch der Sortiereffizienz zu treffen, werden die Messergebnisse mit Literaturwerten verglichen.

In der ersten Analysenserie sind die Werte für Blei und Kupfer und in der zweiten Analysenserie für Mangan und Fluor deutlich höher als jene Werte in der Literatur. Da im Zuge der Probenahme eine genaue Zuordnung der Anfallbaustelle des jeweiligen Probenmaterials nicht möglich war, sind auch keine eindeutigen Aussagen bezüglich der Schadstoffquellen möglich.

### 7.4.5 Vermeidungsmaßnahmen

Die Sammlung von Altpapier stellt zum einen der Papier und Pappe erzeugenden Industrie einen wichtigen Rohstoff zur Verfügung und entlastet zum anderen die Abfallwirtschaft bei der Entsorgung relevanter Müllmengen. In der Folge werden Emissionen treibhauswirksamer Gase, die durch Papierablagerung auf Deponien entstehen würden, vermieden. Damit wird dem Grundsatz der Kreislaufwirtschaft durch die Verwertung von Altstoffen nahezu vollständig entsprochen (UMWELTBUNDESAMT, 2000).

Vorrangiges Ziel jeglicher Bemühungen zur Reduzierung von Verpackungsabfällen sollte der Einsatz von Mehrwegverpackungen sein. Alle Verpackungen sollten darüber hinaus, soweit sie nicht vermeidbar sind, einer stofflichen Verwertung zugeführt werden.

## 7.5 Restfraktion (Sortierrest)

### 7.5.1 Herkunft und Zusammensetzung

Zum Sortierwerk angelieferte Baustellenabfälle werden am Gelände sortiert. Im Zuge der Sortierung werden die Fraktionen unbehandeltes Holz, behandeltes Holz, Verpackungskartonagen, Verpackungsfolien aus Kunststoff, Kabeln, Schrott, Blech und mineralischer Bauschutt gewonnen.

Der verbleibende **Sortierrest** wird in einen Container verbracht und besteht vorwiegend aus

- Verpackungsmaterial aus Kunststoff (Folien, Säcke, Eimer, Kanister, PET-Flaschen, Umreifungsbänder, Kartuschen),
- Nicht-Verpackungskunststoffen (Matten, Rohre, Abdeckplanen, Kabelrohre, Schienen, Fensterprofile),
- Verpackungsmaterial aus Papier bzw. Kartonage (Schachteln, Kraftpapiersäcke, Zigarettenschachteln),
- Dämmmaterial,
- Textilien,
- kleineren Holzstücken,
- mineralischer Klein- und Feinfraktion.

### 7.5.2 Verwertung- und Entsorgungswege

Bis zum In-Kraft-Treten des Verbots der Deponierung heizwertreicher Abfälle mit 1.1.2004 (in Ausnahmefällen 1.1.2009) wurde der Sortierrest in der Regel auf einer Massenabfalldeponie abgelagert. Mit Beginn des Jahres 2004 ist diese Entsorgungsmöglichkeit grundsätzlich nicht mehr zulässig (vgl. Ausnahmebestimmungen in der Deponieverordnung). Als Entsorgungsalternativen bieten sich die thermische Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage sowie die Gewinnung einer heizwertreichen Fraktion mittels Splitting an.

### 7.5.3 Vergleich der Analysenergebnisse mit Literaturwerten sowie Grenzwerten

Im Zuge des gegenständlichen Projektes wurden bei einem Sortierwerk Proben des Sortierrestes gezogen und dessen Schadstoffgehalte analysiert (siehe Kapitel Methode).

Um Aussagen betreffend der Höhe der Schadstoffgehalte als auch der Sortiereffizienz zu treffen, werden die Messergebnisse mit Literatur- und Grenzwerten verglichen. In Tabelle 23 sind die Gesamtgehalte an anorganischen Stoffen, der Heizwert und der Glühverlust dargestellt.

Tabelle 7-16: Analysenergebnisse des Sortierrestes im Vergleich zu Restmüll und Grenzwerten der Deponieverordnung

Parameter	Messwerte		Grenzwerte			
	Sortierrest	Restmüll <sup>3)</sup>	Bodenaushubdeponie	Baurestmassendeponie	Reststoffdeponie	Massenabfalldeponie
Cadmium mg/kg TS	2	10	2	10	5.000	30
Chrom mg/kg TS	43	336	300	500		5.000
Kupfer mg/kg TS	45	353	100	500		5.000
Chlor mg/kg TS	10.937	6.238				
Heizwert kJ/kg TS	17.219	13.333				
Heizwert kJ/kg OS	14.719	8.400				
Glühverlust M-%	46	71	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>	<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>... bei einem Glühverlust von nicht größer als 5 Masseprozent gilt der TOC-Grenzwert als eingehalten

<sup>2)</sup>... bei einem Glühverlust von nicht größer als 8 Masseprozent gilt der TOC-Grenzwert als eingehalten

<sup>3)</sup>... BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003

Die in voriger Tabelle dargestellten Grenzwerte der Deponieverordnung beziehen sich auf die durchschnittlichen Gehalte einer angelieferten Charge. Ein Grenzwert für einen Abfallparameter gilt dann als eingehalten, wenn der arithmetische Mittelwert aller aus einer Sammelprobe erhaltenen Einzelmesswerte den Grenzwert nicht überschreitet. Betreffend der Parameter Chrom und Kupfer liegen die Messwerte der Sortierrestproben unterhalb der Grenzwerte für Bodenaushubdeponien. Der Messwert für Cadmium entspricht mit 2 mg/kg TS exakt dem Grenzwert für Bodenaushubdeponien. Der gemessene Heizwert von 17.219 kJ/kg TS liegt deutlich über dem Grenzwert von 6.000 kJ/kg TS (Anmerkung: wird mit der nächsten Novellierung der Deponieverordnung auf 6.600 kJ/kg TS angehoben) für Abfälle aus einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung (vgl. § 5 Z 7 lit f Deponieverordnung). Dieser Umstand und ein Glühverlust von 46 Masse-% sind Indizien, dass der Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) den Grenzwert von 5 Masse-% für die zulässige Ablagerung von Abfällen überschreitet.

### 7.5.4 Vermeidungsmaßnahmen

Der Sortierrest kann durch zweierlei Maßnahmen minimiert werden:

- getrennte Erfassung von sortenreinen Fraktionen direkt an der Anfallstelle oder
- durch eine nahezu lückenlose Nachsortierung der gemischten Baustellenabfälle.

Eine getrennte Erfassung direkt an der Anfallstelle kann z.B. durch Sortierinseln realisiert werden. Pilotprojekte haben gezeigt, dass in Folge einer getrennten Erfassung das Aufkommen von gemischten Abfällen drastisch reduziert werden kann (RUMBA, 2003).

Der im Zuge einer Nachsortierung von Baustellenabfällen verbleibende Sortierrest könnte theoretisch weit unter 10 % gedrückt werden, da ein Großteil der Materialien aus leicht aussortierbaren Kunststoffen besteht. Wirtschaftliche Überlegungen – z.B. begrenzte Anzahl an Sortierpersonal, Anzahl an Anlieferungen pro Zeiteinheit sowie die geringe Masse von Kunststoffabfällen – setzen der Sortiereffizienz allerdings Grenzen.



## 8 Verzeichnisse

### 8.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1: Gehalte ausgewählter Schadstoffe im Feststoff und Zuordnungswerte (ZO) der LAGA in mg/kg .....	92
Tabelle 7-2: Verwertung von Hochbaurestmassen (ÖSTER. BRV, 2003) .....	94
Tabelle 7-3: Analysenwerte für Bauschutt nach DeponieVO im Feststoff .....	97
Tabelle 7-4: Analysenwerte für Bauschutt nach DeponieVO im Eluat .....	98
Tabelle 7-5: Altholz aus dem Baubereich (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2002) – geändert .....	100
Tabelle 7-6: Zuordnung gängiger Altholzsortimente zu den Altholzklassen gemäß der deutschen AltholzVO (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2002) .....	105
Tabelle 7-7: Gehalte an anorganischen Stoffen in den Altholzproben im Vergleich zu Richt-, Grenz- und Literaturwerten [mg/kg TS]. .....	108
Tabelle 7-8: Gehalte an organischen Stoffen in den Altholzproben im Vergleich zu Richt-, Grenz- und Literaturwerten [mg/kg TS]. .....	109
Tabelle 7-9: Kunststoffabfälle aus dem Baubereich .....	114
Tabelle 7-10: Letztverbraucher-Kunststoffabfallmengen im Baustellenabfall für die Bereiche Verpackungen und Nicht-Verpackungen (HUTTERER, 1998).....	115
Tabelle 7-11: Schätzwerte für den mittleren Verunreinigungsgrad von Kunststoffabfällen in den verschiedenen Abfallfraktionen (HUTTERER, 1998).....	115
Tabelle 7-12: Übersicht über den Ist-Zustand der stofflichen Verwertung von Kunststoff-Nichtverpackungsabfällen aus dem Baubereich im Zeitraum 1995 bis 1998 (HUTTERER et al., 2000).....	116
Tabelle 7-13: Vergleich der Zählungsergebnisse .....	118
Tabelle 7-14: Vergleich von Grenzwerten, Richtwerten, chemischen Analysen von Verpackungsfolien.....	122
Tabelle 7-15: Gegenüberstellung von Grenzwerten, Richtwerten, chemischen Analysen von Papier, Pappe, Karton .....	125
Tabelle 7-16: Analysenergebnisse des Sortierrestes im Vergleich zu Restmüll und Grenzwerten der Deponieverordnung.....	127