

Masterarbeit



Ökobilanzierung von Altholzverwertungsalternativen

**Ökologischer Vergleich von stofflicher und
thermischer Verwertung mit Hausbrand und
Wiederverwendung**

Andreas HAIDER

Stud Kennz.: O66 427/ Matr. Nr.: 0440483

Institut für Abfallwirtschaft
Universität für Bodenkultur Wien

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinen Betreuern, Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Salhofer und Dipl.-Ing. Gudrun Obersteiner. Ohne ihre professionelle und kompetente Betreuung wäre die Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht möglich gewesen. Generell gilt mein Dank dem gesamten Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur. Erst durch die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes am Institut und die damit verbundene Möglichkeit der Benutzung einer professionellen Ökobilanzierungssoftware konnte die Arbeit in der vorliegenden Form entstehen. Selbstverständlich gilt mein Dank auch allen mir nahe stehenden Personen, die mir während der Zeit des Verfassens immer eine starke und verlässliche Stütze waren.

Andreas HAIDER Wien, März 2011

Abstract deutsch

Ziel der vorliegenden Arbeit war ein ökologischer Vergleich von vier Verwertungsalternativen für definierte Altholzsortimente (Gebrauchtholz aus der Sammlung in Altstoffsammelzentren). Als Methode kamen dafür Literaturlauswertung und Interviews zur Anwendung, für die Darstellung und Auswertung der Alternativen wurde mit der Software GaBi 4 eine Ökobilanz nach ISO 14040 erstellt. Die Verwertungsalternativen stoffliche und thermische Verwertung, welche dem Stand der Technik für diese Abfallfraktion entsprechen, wurden mit den Alternativen Hausbrand und Wiederverwendung (Re – Use) verglichen. Bilanziert wurde ein Möbelstück aus Holz ab der Sammlung in einem Abfallsammelzentrum bis zur endgültigen Verwertung bzw. Wiederverwendung. Ausgewertet wurden die Verwertungsalternativen hinsichtlich der Wirkungskategorien Treibhauspotential, Versauerungspotential, Eutrophierungspotential und Humantoxizität. In allen gewählten Wirkungskategorien war die Wiederverwendung des Möbelstücks die ökologisch beste Alternative. Die signifikantesten Unterschiede hinsichtlich der Auswirkungen gab es bei der Wirkungskategorie Humantoxizität. Hier war die Verbrennung im Hausbrand mit starken negativen Auswirkungen verbunden, was mit der Freisetzung der im Altholz enthaltenen Schadstoffe auf Grund der nicht vorhandenen Rauchgasreinigung erklärbar ist. Somit kann anhand der Ergebnisse der Ökobilanzierung die Empfehlung abgegeben werden, noch gebrauchstüchtige Möbel einer Wiederverwendung zuzuführen, da diese gegenüber der Verwertung nach dem Stand der Technik mit ökologischen Vorteilen verbunden ist. Die Verbrennung von Holzabfällen im Hausbrand sollte möglichst verhindert werden, um die Freisetzung von toxischen Schadstoffen zu vermeiden. Weiterer Forschungsbedarf besteht bezüglich einer denkbaren Schadstoffverfrachtung bei der stofflichen Verwertung, deren mögliche negativen Auswirkungen im Rahmen dieser Arbeit nicht dargestellt werden konnten.

Abstract englisch

Objective of the thesis was to compare four different ways of utilization of recovered waste wood (post consumer waste wood collected at recycling centers) from an environmental point of view. As methodology a literature review, interviews and accomplishing a life cycle assessment study (LCA – ISO 14040 standard) to model and analyze the four alternatives were applied. For this purpose LCA – software GaBi 4 was used. Material recycling and energy recovery in a power plant (both state of the art technologies for this waste stream) were compared to reuse and incineration of the waste wood in furnaces of private households. Scope of the LCA was to analyze the impacts of one piece of furniture (made of wood) within the study boundaries collection at the recycling center to the final steps of utilization or reuse. In the life cycle impact assessment the categories global warming potential, acidification potential, eutrophication potential and human toxicity potential were analyzed. In every impact category reuse was the least burdensome alternative. Concerning the negative impacts the most significant results were found in the category human toxicity potential. In this impact category the incineration of waste wood in households has adverse effects, which is due to nonexistent flue gas treatment in these furnaces. Thus hazardous substances can easily be released. Respecting the results of the LCA the option of reuse of furniture waste wood is recommended as it has minor ecological impacts compared to state of the art utilization technologies. The incineration of waste wood in households should be avoided strictly, showing severe negative impacts. A further research issue is the potential transfer of pollutants into recycled materials, this effect was analyzed thoroughly within this thesis.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	7
2.	Methode	8
3.	Rechtlicher Rahmen und Definitionen.....	11
4.	Zusammensetzung von Altholz	12
5.	Einteilung von Altholz	13
5.1	Einteilung nach Eigenschaft.....	13
5.2	Einteilung nach Herkunft	13
5.3	Einteilung nach Qualität	14
6.	Altholzaufkommen.....	16
7.	Vermeidung, Verwertung und Entsorgung von Altholz	18
8.	Aufbereitungsprozess und Verwertungsmöglichkeiten für Altholz.....	23
8.1	Technische Aufbereitung von Altholz als Vorbereitung für die stoffliche und thermische Verwertung	24
8.1.1	Eingangsbereich	24
8.1.2	Zwischenlager und Aufbereitungsfläche	24
8.1.3	Sortierung	24
8.1.4	Eigentliche Aufbereitung	25
8.2	Stoffliche Verwertung nach dem Stand der Technik	26
8.2.1	Problematische Aspekte der Altholzverwertung in der Spanplattenindustrie.....	26
8.2.2	Altholzeinsatz bei der Spanplattenherstellung	27
8.2.3	Zusammenfassende Betrachtung der stofflichen Verwertung.....	29
8.3	Thermische Verwertung nach dem Stand der Technik	29
8.3.1	Eigenschaften des Brennstoffs Holz.....	30
8.3.2	Verbrennungsvorgang	31
8.3.3	Verbrennungstechnik.....	32
8.3.4	Emissionen bei der Verbrennung von Holz.....	33
8.3.5	Asche aus der Altholzverbrennung	35
8.4	Re - Use / Wiederverwendung von Altholz.....	35
8.5	Verbrennung von Altholz im Hausbrand.....	36
9.	Eingrenzung der für den praktischen Teil der Arbeit relevanten Altholzsortimente.....	40
10.	Ökobilanz zum Vergleich unterschiedlicher Verwertungsalternativen.....	44
10.1	Zielsetzung der Studie.....	44
10.2	Modellierte Szenarien.....	44
10.2.1	Szenario Hausbrand	45
10.2.2	Szenario Thermische Verwertung KWK.....	45
10.2.3	Szenario Stoffliche Verwertung Spanplattenwerk.....	45
10.2.4	Szenario Re – Use.....	45
10.3	Zielgruppen	45

10.4	Funktionelle Einheit.....	46
10.5	Systemgrenzen	46
10.6	Systemerweiterung.....	47
10.7	Systemerweiterungsprozesse	48
10.7.1	Systemerweiterung „Thermische Energie aus Kohle“	49
10.7.2	Systemerweiterung „Thermische Energie aus Erdgas“; „Strom - Mix AT“	49
10.7.3	Systemerweiterung „Herstellung Spanplatte OHNE Altholzanteil“	49
10.7.4	Systemerweiterung „Produktion Möbelstück“	49
10.8	GaBi - Plan Hausbrand	50
10.9	GaBi - Plan Thermische Verwertung KWK	52
10.10	GaBi - Plan Stoffliche Verwertung Spanplattenwerk	54
10.11	GaBi Plan Re - Use	57
11.	Wirkungsabschätzung der untersuchten Alternativen.....	59
11.1	Wirkungskategorie Treibhauspotential (GWP 100 Jahre).....	60
11.2	Wirkungskategorie Versauerungspotential.....	64
11.3	Wirkungskategorie Eutrophierungspotential.....	67
11.4	Wirkungskategorie Humantoxizität.....	71
12.	Sensitivitätsanalyse	73
12.1	„Worst case Szenario“ für Schadstoffbelastung im Altholz	73
13.	Zusammenfassung und Diskussion	76
14.	Abbildungsverzeichnis	79
15.	Tabellenverzeichnis	80
16.	Literaturverzeichnis.....	81
17.	Anhang: Fragen für durchgeführte Interviews.....	85
17.1	Fragen für Experteninterview	85
17.2	Fragen für Interviews auf Mistplätzen	86

1. Einleitung

Inhalt der vorliegenden Masterarbeit ist das Thema Altholz. Um den Leser in die Thematik einzuführen, wird in einem Theorieteil Altholz genauer definiert, ein Überblick über Mengen an Altholz, die in Österreich anfallen gegeben und Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien für diese Abfallfraktion beschrieben.

In der Arbeit soll ein ökologischer Vergleich unterschiedlicher Verwertungsalternativen für Altholz vorgenommen werden. Dies wird im praktischen Teil der Arbeit mittels Erstellung einer Ökobilanz für vier Verwertungsszenarien durchgeführt. Dabei wird als funktionelle Einheit der ökologischen Bewertung ein Möbelstück aus Holz gewählt. Es wird neben den gängigen, dem Stand der Technik entsprechenden Verwertungsmöglichkeiten für Altholz (stoffliche und thermische Verwertung) auch Re – Use (Wiederverwendung) als Möglichkeit mit einbezogen. Diese Alternative ist aus zwei Gründen interessant und hoch aktuell:

1. Die Wiederverwendung von Möbeln ist ein Phänomen, welches im Projekt „Transwaste“ des ABF – BOKU beobachtet wurde (Abfallsammler aus Mittel- und Osteuropa sammeln noch brauchbare Gegenstände bei Mistplätzen in Österreich und führen diese einem zweiten Lebenszyklus in ihren Heimatländern zu). Es stellt sich die Frage, wie dieses Phänomen der informellen Abfallverbringung aus ökologischer Sicht zu bewerten ist und ob diese gängige Praxis den formellen Verwertungsmethoden vorzuziehen ist, oder aus ökologischer Sicht einen Nachteil darstellt.
2. Die neue Abfallrahmenrichtlinie, welche auch im Österreichischen Recht implementiert wurde, sieht „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ als zweite Hierarchiestufe nach Abfallvermeidung vor und gibt damit dem Thema Re – Use eine neue Dimension. Auch in Bezug auf die Umsetzung dieser Richtlinie ist ein ökologischer Vergleich, der die Wiederverwendung bewusst als Szenario mit einbezieht, von hoher Aktualität.

Neben stofflicher und thermischer Verwertung sowie Re – Use wurde als vierte Alternative noch die Verbrennung von Altholz im Hausbrand mit einbezogen. Diese Vorgehensweise wird in der Literatur zum Thema als sehr problematisch eingestuft, da Schadstoffe, mit denen Altholzsortimente belastete sein können, ungehindert in die Umwelt entweichen. Trotzdem scheint das Verbrennen von Altholz eine gängige Praxis darzustellen. Zusätzlich wird in Österreich gesammeltes Altholz von informellen Sammlern in ihren Heimatländern zur Wärmeenergieerzeugung in Einzelöfen verbrannt, wie sich bei Untersuchungen zum Projekt „Transwaste“ zeigte. Dadurch ist auch, ähnlich wie bei der Wiederverwendung, ein Bezug zu informeller Abfallverbringung hergestellt. Ziel der Arbeit ist, eine Aussage darüber treffen zu können, welche Alternative als ökologisch vorteilhaft und welche eventuell als problematisch zu beurteilen ist.

2. Methode

Als Methode für die Erstellung der Masterarbeit diente Literaturrecherche und ein qualitatives Experteninterview für den theoretischen Teil (Definitionen, Mengen, Verwertungstechnologien). Dadurch sollte ein Überblick über das Thema gewonnen werden. Weiters wurden in Zusammenarbeit mit dem ABF BOKU im Zuge des Projekts „Transwaste“ qualitative Interviews mit informellen Abfallsammlern, Mistplatzbetreibern sowie anderen involvierten Personen geführt (im weiteren Verlauf der Arbeit zitiert mit „N.N. M.M. 2009“, da die Antworten von verschiedenen, namentlich meist nicht bekannten Personen ausgewertet wurden), um die Sachlage bezüglich informeller Abfallverbringung und Re – Use Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Thema Altholz auszuloten. Durchgeführt wurden diese Interviews im Sommer 2009 auf verschiedenen Mistplätzen im Burgenland und in Niederösterreich.

Anhand der aus Literatur und Interviews gewonnenen Erkenntnisse wurde anschließend der Altholzbegriff für die eigentliche Fragestellung eingegrenzt und vier Szenarien bzw. Verwertungsalternativen definiert, die mit Hilfe der Ökobilanzierungssoftware GaBi 4 modelliert und anschließend hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen miteinander verglichen wurden. Für die Erstellung und Auswertung der Ökobilanz konnte der Autor die Professional Version der Software auf einem Arbeitsplatz am Institut für Abfallwirtschaft der BOKU benutzen.

Auf vertiefende Aspekte und Hintergründe von Bewertungsmethoden und Ökobilanzierung soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, der interessierte Leser sei hier auf umfangreiche, weiterführende Literatur (BAUMANN et al. 2004, FINNVEDEN et al. 2004, JÄGER et al. S.A.) verwiesen.

Der Aufbau einer Ökobilanz ist in Abb. 1 dargestellt.

Bewertung mittels Ökobilanz nach ISO 14040

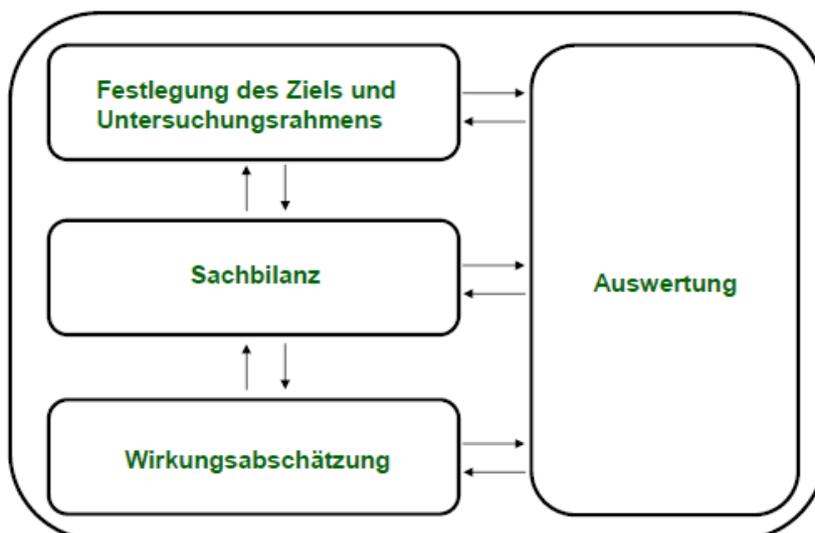


Abb. 1: Aufbau einer Ökobilanz (ISO 14040)

Prinzipiell gilt es, zuerst ein Ziel und einen Untersuchungsrahmen für die konkrete Fragestellung zu definieren, anschließend wird eine Sachbilanz mit allen relevanten physischen Inputs und Outputs der für die Szenarien wesentlichen Prozesse erstellt, welche anschließend anhand unterschiedlichen Wirkungskategorien hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Umwelt ausgewertet wird.

Analog zu dieser standardisierten Vorgehensweise wurde im praktischen Teil der vorliegenden Arbeit die Ökobilanzierung für den Vergleich der vier Szenarien durchgeführt.

Theoretischer Teil

3. Rechtlicher Rahmen und Definitionen

In Österreich gibt es keine gesetzliche Regelung, die sich ausschließlich mit Altholz beschäftigt. In Deutschland gibt es seit dem Jahr 2002 eine eigene Altholzverordnung (ALTHOLZVERORDNUNG DEUTSCHLAND). In dieser sind alle für diese Abfallkategorie wesentlichen Aspekte wie Kategorisierung, Sammlung, Verwertung etc. zusammenfassend erklärt. Für Österreich befindet sich eine eigene Altholzverordnung in Ausarbeitung (WINDSPERGER M.M. 2011), diese war aber zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit noch nicht verfügbar. Deshalb mussten viele für die Arbeit wichtige Aspekte aus verschiedenen Gesetzestexten (AWG 2002, ABFALLRAHMENRICHTLINIE 2008, ABFALLVERBRENNUNGSVERORDNUNG, ABFALLVERZEICHNIS) zusammengestellt werden. Die angekündigte Altholzverordnung stellt aus Sicht des Autors vermutlich gegenüber dem Status quo eine wesentliche Verbesserung dar, weil in dieser alle wichtigen rechtlichen Aspekte zum Thema Altholz zusammengefasst werden.

Altholz ist prinzipiell kein homogener Abfallstoff. Je nach Beschaffenheit kann man Kategorien unterscheiden, welche, abhängig von ihrer Qualität, auch die möglichen Verwertungsoptionen beeinflussen.

Eine allgemein gültige Definition von Altholz lautet:

„Altholz ist Holz, das nach einer Nutzungsphase anfällt und dessen sich der Besitzer entledigen will, entledigt hat oder dessen Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall im öffentlichen Interesse erforderlich ist“ (BAWP 2006).

In dieser Definition sind die zwei wesentlichen Aspekte der Abfalleigenschaft enthalten:

1. Subjektiver Abfallbegriff – Entledigungsabsicht

- Aufgabe der Gewahrsame an einer Sache, die nicht mehr bestimmungsgemäß verwendet wird oder verwendet werden kann.
- Für eine Sache ist kein Erlös mehr erzielbar; Abfall kann aber dennoch einen wirtschaftlichen Wert haben. Auf abfallrechtliche Entledigung lässt sich insbesondere schließen, wenn die Sache einer Beseitigung oder Verwertung zugeführt wird.

2. Objektiver Abfallbegriff – Öffentliches Interesse

- Bei der Beurteilung, ob Abfall im objektiven Sinn vorliegt, sind Gefahren für die Umwelt zu berücksichtigen, die von der Sache selbst ausgehen und die durch die Erfassung und Behandlung dieser Sache als Abfall hintan gehalten werden können. Entscheidend ist das tatsächliche Gefährdungspotential der betreffenden Materialien für die Umwelt unter Berücksichtigung der Beseitigungs- bzw. Verwertungswege (BAWP 2006).

Der Zeitpunkt, an dem Holz als Abfall wieder in den Stoffkreislauf zurückkommt, kann zwischen einigen Stunden (z.B. Industrierestholz) und mehreren Jahrzehnten (z.B. Gebäude) variieren (DARMANN 2004; NEURAUTER et al. 2002).

4. Zusammensetzung von Altholz

Altholz besteht einerseits aus den Bestandteilen der natürlichen Holzsubstanz, andererseits aus unterschiedlichen Stoffen und Materialien, die bei der Produktion oder während der Nutzungsphase von Holzprodukten zugeführt werden.

Reines Holz besteht zu einem Großteil aus Cellulose und Lignin. Weiters enthält Holz Harze, Wachse, Fette, Öle, Stärke, Zucker, verschiedene Mineral-, Gerb-, und Farbstoffe sowie Alkaloide (DARMANN 2004).

In Altholz finden sich neben den natürlichen Materialien der reinen Holzbestandteile noch weitere Stoffe:

Störstoffe:

- Eisen- oder Nichteisenmetalle wie Nägel, Bolzen, Möbelbeschläge
- Baumaterialien wie Putz, Mauerwerksreste, Dachpappe, Dämmmaterialien
- Folien, Kunststoffteile
- Steine, Erdreich
- Glas

Schadstoffe und holzfremde Stoffe mit Umweltrelevanz:

- Anorganische Holzschutzmittel: Sie sind meist auf Basis anorganischer Salze hergestellt, wasserlöslich und kommen hauptsächlich im Baubereich zum Einsatz und können oft schwermetallhaltige Verbindungen beinhalten (Chrom, Kupfer, Zink, Quecksilber)
- Organische Holzschutzmittel (Lösungsmittel, ölige Holzschutzmittel): Fungizide, Insektizide, PCBs, andere organische Verbindungen
- Teerölpräparate: Polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffe, phenolische Verbindungen. Diese werden im Außenbereich verwendet (z.B. Eisenbahnschwellen, Masten, Zäune) und sind krebserregend
- Lacke und Farben: Können Blei, Chrom und Cadmium enthalten
- Beschichtungsmaterialien: Problematisch ist vor allem PVC, dieses erzeugt bei der Verbrennung Salzsäuredämpfe (NEURAUTER et al. 2002).

Problematisch ist die Situation vor allem dann, wenn im Zuge der Bearbeitung des Altholzes Umwelt gefährdende Stoffe Luft, Boden oder Wasser kontaminieren

(Auswaschung durch Regen, Stoffe in Verbrennungsrückständen). Aus diesem Grund sollten behandelte Althölzer prinzipiell nur in dafür geeigneten Behandlungs- und Verwertungsanlagen entsorgt werden (NEURAUTER et al. 2002).

Generell lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass die Kontamination des Altholzes durch Schadstoffe, mit all den negativen Auswirkungen für etwaige Verwertungsprozesse, als **das große Problem** für diese Abfallfraktion anzusehen ist. Dieser Umstand wird in etlichen Literaturquellen (KURATA et al. 2005, KROOK et al. 2006, KROOK et al. 2007, TATANO et al. 2009) hervorgehoben.

5. Einteilung von Altholz

Bevor Holz als Abfall anfällt, kommt es als Werkstoff auf unterschiedliche Art bzw. in unterschiedlicher Form zum Einsatz. Zu Altholz (= Abfall) wird es dann, wenn die oben genannten Bedingungen der Abfalleigenschaft erfüllt sind. Für die Einteilung von Altholz gibt es unterschiedliche Ansätze.

5.1 Einteilung nach Eigenschaft

- Industrie(rest)holz: Restholz aus der Holzbe- und -verarbeitung, Holzwerkstoffreste aus Betrieben der Holzwerkstoffindustrie. Industrieholz kann sowohl behandelt als auch unbehandelt sein. Typische Industrieresthölzer sind Zuschnittreste, Schwarten, Spreißel, Sägemehl und Sägespäne. Für diese Fraktion ist auch der Begriff „**Pre – consumer Altholz**“ gebräuchlich. Unter diesen Begriff fallen alle Holzabfälle, die schon vor einer Gebrauchsphase als Abfälle anfallen (also z.B. auch Rinde etc.)
- Gebrauchtholz: Hölzer, Holzwerkstoffe oder Verbundstoffe, die schon in einem Endprodukt verarbeitet waren und am Ende ihrer Lebensdauer zur Wiederverwertung bzw. Entsorgung anstehen. Hier ist der Begriff „**Post – consumer Altholz**“ gebräuchlich (DARMANN 2004, NEURAUTER et al. 2002, WINDSPERGER 2010)

5.2 Einteilung nach Herkunft

- Bau- und Abbruchholz: Beim Abbruch eines Bauwerkes ist gemäß der Verordnung „Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien“ (BAWP 2006) Bau- und Abbruchholz ab einer Menge von fünf Tonnen getrennt zu erfassen und nach Möglichkeit einer Verwertung zuzuführen. 70% des Altholzes aus dem Baubereich fallen als „Bau- und Abbruchholz“ (Schlüsselnummer 17202) an, und zwar einerseits als im Bauwerk integrierter Bestandteil wie z.B. Dachstühle, Deckenträme, Böden, Fenster, etc. (anfallend beim Abbruch eines Gebäudes) oder aber als Bauhilfsmaterial, das nach der Fertigstellung eines Bauwerkes als Abfall vorliegt oder für ein neuerliches Bauvorhaben verwendet werden kann wie z.B. Schalungen, Gerüste, etc. (Neubau).

- Altholz in Baustellenabfällen: Der Holzanteil bei Baustellenabfällen beträgt ca. 10 - 12 %. Er fällt z.B. als Abfall bei Montagearbeiten von Holzbauteilen oder als nicht mehr zu gebrauchendes Bauhilfsmaterial an. Der Holzanteil bei Baustellenabfällen teilt sich ungefähr auf in 30% unbehandeltes Holz, 30% behandeltes Holz und 40% Holzwerkstoffe.
- Schwellen und Maste: Ölimprägnierte Schwellen und Maste fallen bei den Österreichischen Bundesbahnen, der Post und den Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen an. Die Verwertung ist auf Grund der hohen Schadstoffbelastung dieser Hölzer problematisch (NEURAUTER et al. 2002, DARMANN 2004).
- Altholz im Sperrmüll: Altholz ist auch im Sperrmüll enthalten, der von Haushalten abgegeben wird. Die Begründung dafür ist darin zu sehen, dass dieser zu einem nicht unwesentlichen Teil aus z.B. gebrauchten Möbeln besteht. Bei Sperrmüll handelt es sich generell um Abfälle, die auf Grund ihrer Größe oder Masse nicht über die ortsüblichen Restmüllsammelsysteme erfasst werden können. Die Zusammensetzung des Sperrmülls ist allerdings sehr inhomogen und wird beeinflusst durch die Art der Sammlung (Straßensammlung, Sammlung auf Abruf, Abfallsammelzentrum). Weiters übt die Behältergröße für die Restmüllsammlung einen Einfluss auf die Sperrmüllmenge und Zusammensetzung aus (BAWP 2006).
- Neben Sperrmüll wird von Haushalten auch die Fraktion „Sperriges Altholz“ (meist auf Mistplätzen) abgegeben (BAWP 2006).

5.3 Einteilung nach Qualität

Auf der Homepage eines Entsorgungsbetriebes findet sich folgende Einteilung der Altholzsortimente, die im Betrieb übernommen werden:

Klasse I: Unbehandeltes Altholz

Naturholz - Holz gilt als unbehandelt, wenn es maximal 10 Prozent Rohspanplatten bzw. melaminharzbeschichtete und furnierte Spanplatten beinhaltet.

Klasse II: Behandeltes Altholz

Oberflächenbehandelte Holzsortimente, wie Möbelteile aus Holz und Spanplatten, Rohspanplatten und beschichtete Spanplatten.

Hier werden nur zwei Kategorien (behandelt und unbehandelt) unterschieden, es werden aber auf der Homepage etliche Kategorien angeführt, welche gar nicht übernommen werden wie z.B. Holzfenster oder Eisenbahnschwellen (www.rieger-entsorgung.at).

Ähnlich dieser Aufteilung in behandeltes und unbehandeltes Holz ist folgende Einteilung:

- Unbehandeltes Altholz: Naturbelassenes Massivholz, das weder beschichtet, gestrichen, lackiert und / oder holzschutzbehandelt ist.
- Behandeltes Altholz: Holz, das beschichtet, gestrichen, lackiert und / oder holzschutzbehandelt ist.
- Holzwerkstoffe: Die natürliche Struktur des Holzes wird aufgelöst und mittels Zuschlagstoffen (z.B. Leimen) werden neue Werkstoffe wie Spanplatten, Hartfaserplatten, Sperrhölzer, Furnierplatten usw. hergestellt (NEURAUTER et al. 2002).

Bezüglich der Qualität von Altholz ist die Belastung mit Schad- und Störstoffen von Bedeutung. Für jede dieser unterschiedlichen Altholzfraktionen bzw. Altholzqualitäten gibt es eigene Schlüsselnummern. Der Leser sei hier auf Tab. 2 verwiesen, in der diese angeführt werden.

Im „Branchenkonzept Holz“ findet man eine Einteilung des Altholzes in sieben Qualitätsklassen:

Qualitätsklassen von Altholz nach „Branchenkonzept Holz“
Q1 Naturbelassene Rest- und Althölzer
Q2 Rinde
Q3 Bindemittelhaltige und halogenfrei beschichtete Rest und Althölzer (Span- und Faserplattenreste, etc.)
Q4 Oberflächenbehandelte Rest- und Althölzer
Q5 Teerölimprägnierte Rest- und Althölzer
Q6 Salzimprägnierte Rest- und Althölzer
Q7 Halogenhaltige Holz-Kunststoff-Verbunde

Tab. 1: Qualitätsklassen für Rest- und Althölzer ohne Subklassen (SCHEFFKNECHT 1999)

Auf das „Branchenkonzept Holz“ mit seinen sieben Qualitätsklassen wird in verschiedenen Publikationen hingewiesen. Wesentlich sind die verschiedenen Qualitätsklassen für die möglichen Verwertungsoptionen.

6. Altholzaufkommen

Da Holz in vielen Anwendungen in behandelter oder unbehandelter Weise Verwendung findet, ist auch der Verbleib von Holz im Abfall sehr unterschiedlich. Die nachfolgende Tabelle bietet einen Überblick über die in Österreich anfallenden Mengen von Holzabfällen und den dazu gehörigen Abfallschlüsselnummern. Erstellt wurde die Tabelle mit Daten aus der aktuellsten Version des Bundesabfallwirtschaftsplans (BMLFUW 2009).

Schlüsselnummern	Abfallbezeichnung gemäß ÖNORM S 2100 (2005)	Aufkommen in Tonnen
17101	Rinde	2.250.000
17102	Schwarten, Spreißel aus natur belassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz	630.000
17103	Sägemehl und Sägespäne aus natur belassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz	2.270.000
17104	Holzschleifstäube und –schlämme	120.000
17114	Staub und Schlamm aus der Spanplattenherstellung	125.000
17115	Spanplattenabfälle	13.000
17202	Bau- und Abbruchholz	277.000
17203	Holzwolle, nicht verunreinigt	4.000
17207	Eisenbahnschwellen (gefährlich)	19.000
17208/17209	Holz (z. B. Pfähle und Masten), salzprägniert, mit gefahrenrelevanten Eigenschaften und Pfähle und Masten, teerölimprägniert (gefährlich)	2.500
17211	Sägemehl und -späne, durch organische Chemikalien (z. B. ausgehärtete Lacke, organische Beschichtungen) verunreinigt, ohne gefahrenrelevante Eigenschaften	9.000
17212	Sägemehl und -späne, durch	60

	anorganische Chemikalien (z. B. Säuren, Laugen, Salze) verunreinigt, ohne gefahrenrelevante Eigenschaften	
17213	Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle, durch organische Chemikalien (z. B. Mineralöle, Lösemittel, nicht ausgehärtete Lacke) verunreinigt (gefährlich)	3.600
17214	Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle, durch anorganische Chemikalien (z. B. Säuren, Laugen, Salze) verunreinigt (gefährlich)	4
17215	Holz (z. B. Pfähle und Masten), salzprägniert, ohne gefahrenrelevante Eigenschaften	15.200*
17218	Holzabfälle, organisch behandelt (z. B. ausgehärtete Lacke, organische Beschichtungen)	11.800**
	Gesamt (Ohne Verpackungen)	rd. 5.735.000
17201	Holzballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt (= Holzverpackungen aus Industrie)	324.000
	Gesamt (mit Verpackungen aus Industrie)	6.059.000
	Holzabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen (Sperriges Altholz und Holzverpackungen)	160.700
	Gesamtaufkommen (Altholzsortimente, Verpackungen, kommunale Sammlung)	6.219.700

Tab. 2: Anfall von Holzabfällen in Österreich (BMLFUW 2009)

Die Schlüsselnummern ab 171 beschrieben dabei Holzabfälle aus der Be- und Verarbeitung (Pre – consumer Altholz), die Schlüsselnummern ab 172 beschrieben Holzabfälle aus der Anwendung (Post – consumer Altholz). Eine vollständige Aufzählung aller Schlüsselnummern für Holzabfälle ist im Österreichischen Abfallverzeichnis (ABFALLVERZEICHNIS) zu finden.

Als eigene Kategorie werden in der Tabelle Holzabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen angeführt. Nur diese mit **160 700 t** mengenmäßig nicht so große Kategorie ist für die Fragestellungen dieser Arbeit (neben Holzabfällen im Sperrmüll) von wesentlicher Bedeutung.

Bezüglich der für die vorliegende Arbeit sehr wichtigen Holzabfälle im Sperrmüll wurden in Kapitel 9 genauere Untersuchungen durchgeführt. Es sei hier schon

vorweg genommen, dass der Anteil von Altholz im Sperrmüll mit durchschnittlich 30% angenommen werden kann, daraus ergibt sich zusätzlich zu den separat gesammelten Altholzfraktionen noch **74 580 t** Holzabfälle im Sperrmüll. Errechnet wurde dieser Wert durch die angenommen 30% Holzanteil im Sperrmüll (PLADERER et al. 2002) und den aktuellsten Zahlen (248 600 t für ganz Österreich) zum Sperrmüllaufkommen (BMLFUW 2009).

Durch die Addition der Holzabfälle aus Haushalten und dem Holzanteil im Sperrmüll ergibt sich ein für die Arbeit relevantes Gesamtaufkommen von **235 280 t** an Holzabfällen.

Der massenmäßige Anteil von Holzabfällen im Restmüll wurde an dieser Stelle nicht mehr extra errechnet, da er sich nur um wenige Prozent handelt (BAWP 2006) und dieser Teil der Holzabfälle für die Fragestellung der Arbeit nicht relevant ist. Nähere Ausführungen zur Entsorgung von Holz im Restmüll finden sich in Kapitel 7 unter „Entsorgung bzw. Beseitigung“.

Generell ist ein Trend zu einer verstärkten Nutzung von Holzprodukten in unterschiedlichsten Einsatzbereichen zu verzeichnen. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Menge der Holzabfälle in den nächsten Jahren kontinuierlich steigen wird (WINDSPERGER 2010).

Die angeführten Zahlen aus den für den Stand 2009 aktualisierten Mengen des Bundesabfallwirtschaftsplans sind nicht als absolut aktuell und genau zu betrachten. Korrekte und aktuelle Werte für die Mengen der einzelnen Altholzfraktionen zu finden ist (abgesehen von der verwendeten Quelle) als relativ schwierig einzuschätzen. Im BMFLUW läuft derzeit allerdings eine Aktion zur Neuerfassung der Altholzströme, diese ist zum Zeitpunkt des Verfassens der Arbeit aber noch nicht abgeschlossen (WINDSPERGER M.M. 2011).

7. Vermeidung, Verwertung und Entsorgung von Altholz

Da Altholz unter den Abfallbegriff fällt, gelten die gesetzlichen Regelungen, die in diesem Kontext bestehen (allem voran das Österreichische Abfallwirtschaftsgesetz AWG 2002). In der im Jahr 2010 novellierten Fassung des Österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes gibt es eine klar geregelte Abfallhierarchie:

1. Abfallvermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. Sonstige Verwendung, z.B. energetische Verwertung
5. Beseitigung (AWG 2002)

Diese fünfstufige Abfallhierarchie wurde durch die Novelle 2010 eingeführt und ersetzt die alte Abfallhierarchie, welche zuvor gültig war und sich auf die drei Stufen Abfallvermeidung, Abfallverwertung und Abfallbeseitigung beschränkte. Die Erweiterung ergibt sich durch die Übernahme der Abfallhierarchie aus der Abfallrahmenrichtlinie 2008.

In der Abfallrahmenrichtlinie der EU (ABFALLRAHMENRICHTLINIE 2008) wird **Abfallvermeidung** als oberstes Prinzip angeführt, definiert wird hier folgendermaßen:

„Vermeidung“: Maßnahmen, die ergriffen werden, bevor ein Stoff, ein Material oder ein Erzeugnis zu Abfall geworden ist, und die Folgendes verringern:

- *die Abfallmenge, auch durch die Wiederverwendung von Erzeugnissen oder die Verlängerung ihrer Lebensdauer;*
- *die schädlichen Auswirkungen des erzeugten Abfalls auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit oder*
- *den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen (ABFALLRAHMENRICHTLINIE 2008)*

Relevant ist für diese Arbeit die mengenmäßige, also quantitative Vermeidung, da sich die Arbeit mit der Verwertung von heute existierenden Abfällen beschäftigt und nicht mit dem schadstoffarmen Design neuer Produkte, die erst in Zukunft als Abfall anfallen werden. Deshalb wird auf Aspekte der qualitativen Vermeidung (Verzicht auf schädliche Materialien etc.) im Folgenden nicht mehr näher eingegangen wird.

Vermeidung im Pre – consumer Bereich kann schon in der Industrie (sorgfältige Planung der Produktion, Vermeidung von Verschnitten) beginnen, am Ende der Nutzungsphase besteht die Möglichkeit noch funktionsfähige Produkte einem weiteren Lebenszyklus zuzuführen (NEURAUTER et al. 2002). Auf die Möglichkeit der Wiederverwendung bzw. Re - Use wird im Laufe der Arbeit noch genauer eingegangen.

Bei einer **Wiederverwendung** wird das Altholz ohne größere weitere Zwischen- bzw. Aufbereitungsschritte weitergenutzt.

Wiederverwendung ist wie folgt definiert:

„Wiederverwendung“ Jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren (ABFALLRAHMENRICHTLINIE 2008)

So kann man z.B. aus schon gebrauchten Hölzern auf Grund ihrer oft interessanten Färbung etc. durchaus noch Einrichtungsgegenstände herstellen, auch im Landschaftsbau gibt es Möglichkeiten, Altholz ohne vorherige Behandlung einzusetzen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Möbel aus der Altholz- und Sperrmüllsammlung an bedürftige Menschen abzugeben, sozioökonomische Betriebe bieten sich für Reparaturen oder Zerlegung von Möbeln an (NEURAUTER et al. 2002).

Bei einer **Verwertung** von Altholz wird der Rohstoff stofflich oder thermisch genutzt.

„Verwertung“ Jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmte Funktion verwendet worden wären, oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen“.

„Recycling“ Jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind“ (ABFALLRAHMENRICHTLINIE 2008).

Aus den Definitionen geht hervor, dass Verwertung sowohl stofflich als auch thermisch erfolgen kann, Recycling sich allerdings nur auf die stoffliche Nutzung des Abfalls beschränkt. Somit fällt die Möglichkeit der **thermischen / energetischen Verwertung**, welche eine gängige Verwertungsmethode für Altholz darstellt, unter die vierte Hierarchiestufe und ist dadurch gesetzlich gegenüber dem (stofflichen) Recycling schlechter gestellt.

Um eine Verwertung von Altholz möglich zu machen, ist auf eine getrennte Erfassung von behandeltem und nicht behandeltem Holz am jeweiligen Anfallsort zu achten (im Optimalfall nach der jeweiligen Schlüsselnummer inklusive einer allfälligen Spezifizierung). Nur wenn das Holz vor einem weiteren Behandlungsschritt (wie z.B. Zerkleinerung) getrennt erfasst und gesammelt wird und damit die Herkunft und die Art der Behandlung bekannt ist, ist eine sortenreine Erfassung möglich. Eine nachträgliche Aussortierung von unbehandeltem und behandeltem Holz bzw. von Holz mit unterschiedlicher Schadstoffbelastung ist nicht mehr zweifelsfrei möglich. Wird dieser Schritt nicht befolgt und soll das Holz einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, muss jede Charge einer analytischen Untersuchung zur Identifikation der Schadstofffreiheit unterzogen werden. Ohne eine solche Untersuchung müssen gemischte Holzabfälle der im Einzelfall vorliegenden am höchsten belasteten Stoffgruppe zugeordnet werden.

Gemäß der Abfallverzeichnisverordnung ist der Abfallerzeuger als erster Abfallbesitzer für die korrekte Zuordnung der Abfälle zu den jeweiligen Schlüsselnummern verantwortlich. Da diese erste Zuordnung die nachfolgenden Abfallbesitzer allerdings nicht von eben dieser Pflicht befreit, muss die Korrektheit laufend überprüft werden (Eingangskontrolle - zumindest in Form einer visuellen Kontrolle). Für Übergabe, Übernahme sowie (auch innerbetriebliche) Behandlung sind gemäß Abfallnachweisverordnung fortlaufende Aufzeichnungen zu führen, generell dürfen Altholzchargen gemäß §15 AWG nur zur Sammlung und Behandlung berechtigten Personen bzw. Unternehmen übergeben werden (BAWP 2006).

Als letzte Möglichkeit ist die **Entsorgung** bzw. **Beseitigung** zu betrachten. Nur stark belastetes, oder auf Grund seiner Qualität für sonstige Zwecke absolut nicht mehr geeignetes Holz sollte einer Entsorgung zugeführt werden (NEURAUTER et al. 2002). Als Beseitigung kommt für diese Sortimente Verbrennung in einer geeigneten Anlage in Frage, deren Rauchgasreinigung für hohe Schadstoffgehalte im Brennstoff

ausgelegt ist. Die früher gebräuchliche Hausmülldeponie scheidet als Entsorgungsweg aus, da auf ihr nur Abfälle mit $< 5\%$ TOC (Total Organic Carbon) abgelagert werden dürfen. Holz als organisches Material ist daher per se nicht zu deponieren (LECHNER et al. 2004). Geringe Mengen an Altholz, die über den Restmüll entsorgt werden, gelangen dadurch in die Entsorgungsschienen (MVA und MBA), die für Restmüll vorgesehen sind. Es handelt sich dabei allerdings um geringe Mengen, laut (BAWP 2006) liegen sie im unteren einstelligen Prozent - Bereich, die in den Anlagen zur Restmüllbehandlung ohne Probleme mitbehandelt werden können.

In Tab. 3 sind zusammenfassend verschiedene Altholzkategorien gemeinsam mit den für sie empfohlenen Verwertungsverfahren angeführt. Die Einteilung der Kategorien ist dabei ähnlich denen im „Branchenkonzept Holz“, besonders zu beachten sind die fett hervorgehobenen Kategorien, da sie die für diese Arbeit wesentlichen Sortimente darstellen.

Beschreibung der Qualität der Altholzfraktion	Vorkommen der jeweiligen Fraktion	Empfohlene Verwertung
Unbehandeltes Altholz	Einwegpaletten, Bretter, Schalbretter, Späne, Kisten	Stoffliche Verwertung, Energetische Verwertung (Hackschnitzelheizung) Biologische Verwertung (Kompostierung)
Oberflächen-behandeltes Holz	Lackierte, gestrichene Hölzer wie Fenster und Türen, Parkett Span- und Faserplatten	Stoffliche Verwertung in der Spanplattenindustrie gemäß den Annahmebedingungen des Werkes
Beschichtetes Holz und Holzwerkstoffe	Küchenmöbel, Regale, Verbundmaterialien	Energetische Verwertung in geeigneten Anlagen; stoffliche Verwertung ist nicht zu empfehlen
Nicht halogenbeschichtetes Holz (Melaminharz) Halogenbeschichtetes Holz (PVC)		Energetische Verwertung in geeigneten Anlagen, stoffliche Verwertung ist nicht zu empfehlen
Holz, das als nicht gefährlicher Abfall gilt (teerölimprägniert)	Bahnschwellen, Leitungsmasten, Pfähle, Zäune	Energetische Verwertung in geeigneten Anlagen, Beseitigung / Verwertung in Verbrennungsanlagen oder in Anlagen mit spezieller Genehmigung
Holz, das als gefährlicher Abfall gilt (salzimpregniert / kyanisiert)	Leitungsmasten, Zäune, Pergola, Lärm- und Sichtschutzwände	energetische Verwertung in geeigneten Anlagen, Beseitigung / Verwertung in Verbrennungsanlagen oder in Anlagen mit spezieller Genehmigung

Tab. 3: Verwertungskategorien für Altholz (NEURAUTER et al. 2002)

An dieser Stelle kann festgehalten werden, dass für die in der Arbeit näher untersuchten Altholzsortimente eine thermische Verwertung in geeigneten Anlagen empfohlen wird, eine stoffliche Verwertung ist nur bedingt zu empfehlen. Ob diese hier angeführte Empfehlung berechtigt ist, wird im praktischen Teil der Arbeit näher untersucht.

8. Aufbereitungsprozess und Verwertungsmöglichkeiten für Altholz

In den folgenden Kapiteln werden einerseits der Aufbereitungsprozess, andererseits mögliche Verwertungsmethoden für Altholz genauer beschrieben. Es wurde bei der Beschreibung der Verwertungsmethoden insofern eine Einschränkung vorgenommen, als dass auf die vier Alternativen eingegangen wird, in welchen die für die Fragestellung der Arbeit relevante Altholzfraktion verwertet werden (im weitesten Sinn „Post – consumer Altholz“ wie Möbel, Sperriges Altholz von Mistplätzen etc.) und die dadurch für die Fragestellung der Arbeit relevant sind. Es wird hier trotzdem versucht, die Beschreibung möglichst allgemein zu halten und dadurch dem Leser einen Überblick über die jeweiligen Verwertungsalternativen zu geben.

Für die finale Eingrenzung der für den praktischen Teil ausgewählten Altholzkategorie sei auf das Kapitel 9 verwiesen, für die Durchführung der Ökobilanzierung auf das Kapitel 10.

Es werden einerseits die üblichen, formellen Verwertungsmöglichkeiten erörtert, die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen. Dabei handelt es sich um:

- **Stoffliche Verwertung** in Österreich nach dem Stand der Technik
- **Thermische Verwertung** in Österreich nach dem Stand der Technik

Andererseits wird aber auch die nicht dem Stand der Technik entsprechende Möglichkeit der Verbrennung von Altholz im **Hausbrand** beschrieben, zusätzlich wird auf das Phänomen **Re – Use** im Zusammenhang mit Produkten aus Holz eingegangen.

Die Kategorien Hausbrand und Wiederverwendung / Reuse wurden gewählt, weil sich durch Befragungen von Mistplatzbetreibern und informellen Abfallsammlern im Zuge der Recherchen für das „Transwaste“ Projekt herausgestellt hat, dass es sich dabei um jene Alternativen handelt, in denen die untersuchten Abfallkategorien nach ihrer Verbringung ins Ausland landen (www.transwaste.eu, N.N. M.M. 2009). Eine allgemeine Darstellung dieser zwei Kategorien wird vorgenommen, um dem Leser das Hintergrundwissen zu liefern, die in der Ökobilanzierung vorgenommenen Annahmen besser zu verstehen.

Bevor auf die einzelnen Verwertungsmethoden genauer eingegangen wird, soll die für stoffliche und thermische Verwertung nötige Aufbereitung des Materials beschrieben werden.

8.1 Technische Aufbereitung von Altholz als Vorbereitung für die stoffliche und thermische Verwertung

Trotz der vorrangigen Bemühungen um Abfallvermeidung fällt Altholz am Ende seiner Lebensdauer zur Verwertung an. Um als Sekundärrohstoff für die stoffliche oder thermische Verwertung zur Verfügung zu stehen, muss Altholz aufbereitet werden. In diesem Kapitel sollen die dafür nötigen Schritte näher betrachtet werden.

Die Beschreibung der Aufbereitung wurde hauptsächlich aus zwei Publikationen (NEURAUTER et al. 2002, DARMANN 2004) übernommen und stellt für den interessierten Leser vertiefende Information zur Verfügung. Für die Erstellung der Ökobilanz wurden manche hier beschriebenen Schritte allerdings als vernachlässigbar betrachtet und deshalb nicht miteinbezogen.

Für die angeführten Schritte ist eine von einer hypothetischen Aufbereitungskette auszugehen, bei der gesammelter Holzabfall in einem Eingangsbereich angeliefert wird und am Ende der Aufbereitung als definierter Sekundärrohstoff zur Verfügung steht. Dies kann in eigenen Aufbereitungsbetrieben erfolgen, oder aber auch dort stattfinden, wo das Altholz letztendlich stofflich oder thermisch verwertet wird.

8.1.1 Eingangsbereich

Wie schon weiter oben erwähnt, sollte Altholz schon am Entstehungsort getrennt erfasst werden. Dies erleichtert die weitere Behandlung wesentlich. Bei Anlieferung erfolgt für gewöhnlich eine Registrierung der Menge, der Herkunft und der Art des Altholzes. Eine erste Sichtkontrolle erfolgt als erste Qualitätskontrolle, eventuelle Besonderheiten können schon vorab festgestellt werden. Dabei können, neben dem Aussehen auch der Geruch und eine Schnittkontrolle für den ersten Eindruck geeignet sein.

Gefährliche Abfälle dürfen nur von dazu behördlich befugten Abfallsammlern angenommen werden. Ein überhöhter Anteil an holzfremden Störstoffen kann ein Grund sein, dass ein Verwertungsbetrieb die Übernahme einer Altholzlieferung ablehnt (NEURAUTER et al. 2002, www.rieger-entsorgung.at).

8.1.2 Zwischenlager und Aufbereitungsfläche

Zwischenlagerflächen müssen befestigt und wasserundurchlässig sein. Die Niederschlagswässer sind auf Grund eventueller Schadstoffbelastung in die Kanalisation abzuführen oder in einem dichten Sammelbecken zu fassen. Prinzipiell ist der Grad der Vorsichtsmaßnahmen abhängig von der Art der Althölzer (NEURAUTER et al. 2002).

8.1.3 Sortierung

Um die verschiedenen Qualitäten der jeweils geeigneten Verwertung bzw. Entsorgung zuzuführen, müssen sie sortiert werden. Dabei orientiert man sich an den schon weiter oben vorgestellten Qualitätsgruppen. Für alle Gruppen gilt, dass das sortierte Altholz gesund sein muss, angefaulte, verkohlte oder verschimmelte Teile sind für eine (stoffliche) Verwertung ungeeignet. Je nach Sortiment können anschließend die Preise für das Hackgut ermittelt werden (NEURAUTER et al. 2002).

8.1.4 Eigentliche Aufbereitung

Nachdem das Holz, wie oben erwähnt, schon durch den Abfallverursacher oder eine erste manuelle bzw. mechanische Sortierung in die einzelnen Recyclinggruppen getrennt wurde, erfolgt die mechanische Aufbereitung.

Dabei können Vorbrecher, Vibrorinne, Magnetabscheider und zusätzlich eine Handsortierung zum Einsatz kommen. Die angeführte Aufbereitungstechnologie bezieht sich auf die Darstellung in der zitierten Quelle, die in der Praxis tatsächlich eingesetzten Verfahren variieren von Betrieb zu Betrieb.

Bei dem Vorbrecher handelt es sich meist um einen langsam laufenden Walzen oder Schneckenschraubenbrecher, der mit einem Krangreifer oder Bagger aus dem Lager der Vorsortierung beschickt wird. Durch die Vibrorinne wird das gebrochene Material auf ein Förderband verteilt, wo die freiliegenden Eisenteile mittels des Magnetabscheiders abgetrennt werden. Anschließend werden noch große Metallteile, Kunststoffe, Papier, Textilien, Dachpappe oder Bitumenreste von Hand aussortiert.

Im Anschluss daran wird das Altholz in einem Nachzerkleinerer neuerlich auf eine Größe von ca. zehn bis 60 Millimeter gehäckselst. Ein weiterer Magnetabscheider (als Überbandmagnet ausgeführt) sortiert neuerlich Eisenmetalle aus, zusätzlich passiert das Material einen NE - Metallabscheider (Induktionsstromabscheider für Nichteisenmetalle). Als letzter Schritt werden auf schweren Schwungsieben die mineralischen Bestandteile abgeschieden. Abschließend wird das verkaufsfertige Hackgut dem Produktlager zugeführt (NEURAUTER et al. 2002).

In Abb. 2 wird der beschriebene Aufbereitungsprozess von Altholz grafisch dargestellt.

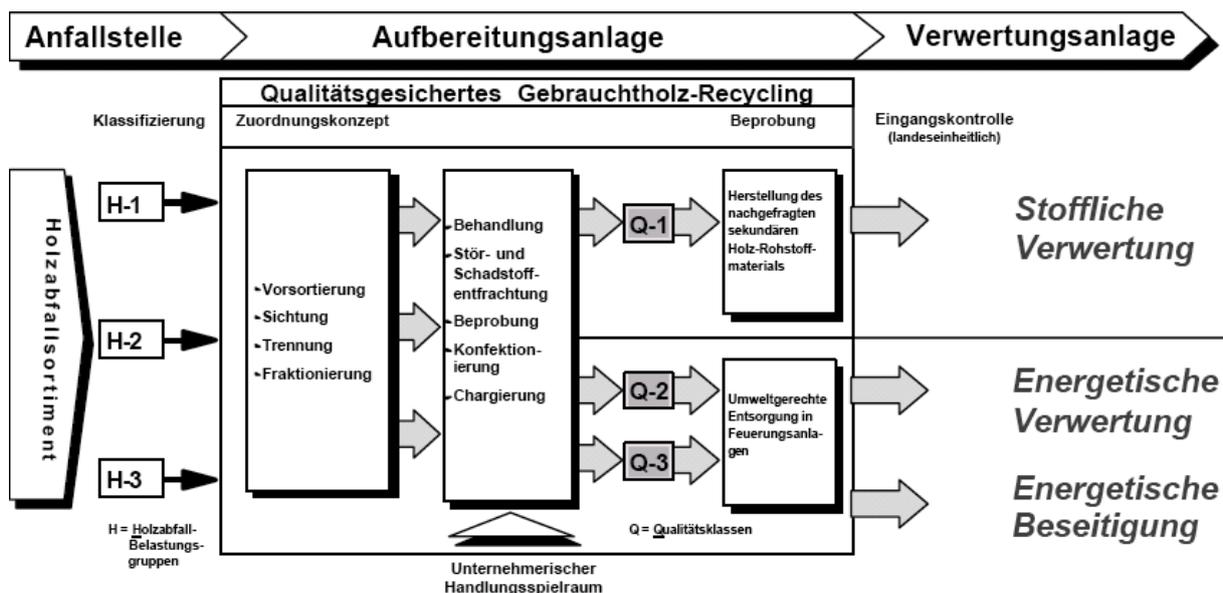


Abb. 2: Aufbereitungsprozess von Altholz (DARMANN 2004)

8.2 Stoffliche Verwertung nach dem Stand der Technik

Die stoffliche Verwertung von Altholz stellt eine Möglichkeit dar, den Rohstoff Holz einer Kreislaufführung zuzuführen. Dabei sind allerdings grundsätzliche Mindestanforderungen zu beachten:

- Durch den Einsatz von Altholz darf sich im Vergleich zum Einsatz von Primärrohstoffen oder Produkten aus Primärrohstoffen kein höheres Umweltrisiko ergeben, die Entsorgung eines aus Sekundärrohstoffen hergestellten Produktes darf nicht belastender sein als die direkte Entsorgung der belasteten Altholzfraktion
- Im Produktkreislauf darf keine Schadstoffanreicherung erfolgen, weiters darf das Wissen um eine eventuell vorhandene Schadstoffbelastung nicht verloren gehen, was dadurch erreicht werden kann, dass behandelte Althölzer (oder aus eben diesen hergestellte Produkte) im gleichen Einsatzbereich verbleiben oder nur dort zum Einsatz kommen, wo eine dem Gefährdungspotential entsprechende Entsorgung zwingend vorgesehen ist (BAWP 2006)

Gewisse Altholzfraktionen können einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, ohne vorher einem analytischen Nachweis ihrer Eignung unterzogen zu werden. Voraussetzung dafür ist der Beleg der getrennten Erfassung am Anfallsort (z.B. durch Aufzeichnung der Übernahme der konkreten Abfallart direkt vom Abfallerzeuger mit einer schriftlichen Bestätigung des Abfallerzeugers zur getrennten Erfassung am Anfallsort und dem Ausschluss nachfolgender Vermischungen). Ist dies nicht gegeben, muss jede Altholzcharge analytisch untersucht werden, ob sie die geforderten Grenzwerte für eine stoffliche Verwertung einhält (BAWP 2006).

Am häufigsten wird Altholz in Österreich in der Spanplattenindustrie stofflich verwertet. In einer Studie über die Optimierung der Ressourceneffizienz der Holznutzung in Österreich (WINDSPERGER 2010) wird nur diese Option der stofflichen Verwertung angeführt. Deshalb soll in der vorliegenden Arbeit nur auf diese Verwertungsalternative näher eingegangen werden. Als Inputmenge wird 275 000 t Altholz (ohne Sägenebenprodukte etc.) angegeben (WINDSPERGER 2010), was bezüglich der oben angeführten Mengen zum Holzabfallaufkommen als realistisch betrachtet werden kann.

8.2.1 Problematische Aspekte der Altholzverwertung in der Spanplattenindustrie

Bei der Herstellung von Spanplatten werden Holzspäne mit Hilfe von Leim und Bindemitteln unter hohem Druck und Wärmeeinwirkung verpresst. Prinzipiell kommt der Rohstoff dafür hauptsächlich aus Sägewerken (Resthölzer), aber es werden z.B. in Deutschland und Österreich 10 % (WINDSPERGER 2010), in manchen Ländern aber auch wesentlich höhere Mengen Sekundärspäne aus Altholz für die Herstellung von Spanplatten verwendet. Der wichtigste Punkt bei der stofflichen Verwertung von Altholz ist dessen Qualität. Da Störstoffe und Verunreinigungen nachträglich kaum noch entfernt werden können, ist (wie weiter oben ausführlich dargestellt) unbedingt auf eine sortenreine Trennung und sorgfältige Aufbereitung des Rohstoffs zu achten (NEURAUTER et al. 2002, DARMANN 2004, WINDSPERGER 2010).

Durch einen hohen Altholzeinsatz bei der Spanplattenherstellung kann es zu nicht unwesentlichen Belastungen mit Schadstoffen kommen, was vor allem beim Import von Spanplatten aus Ländern ein Problem darstellen kann, in denen nicht ausreichend auf die Qualität des eingesetzten Sekundärmaterials geachtet wird (SPECKELS 2001). Um dieses Problem bei der stofflichen Verwertung von Altholz in Österreich zu vermeiden, sollte in diesem Prozess ausschließlich unbehandeltes, natur belassenes Altholz eingesetzt werden. Daraus folgt, dass alle Sortimente, die mit Holzschutzmitteln oder Farben behandelt sind für diese Verwertungsoption prinzipiell nicht geeignet sind. (SPECKELS 2001). An dieser Stelle ergeben sich schon erste, problematische Erkenntnisse:

Bei den vom Autor durchgeführten Befragungen zur Trennung von Altholzsortimenten in Abfallsammelzentren (N.N. M.M. 2009) stellte sich heraus, dass nicht überall eine Trennung zwischen behandeltem und unbehandeltem Holz bei der Sammlung der Fraktion „Sperriges Altholz“ durchgeführt wurde. Trotzdem wurde als Verwertungsweg stoffliches Recycling für die gesammelten Holzabfälle angegeben. Dies steht allerdings im Widerspruch zur Empfehlung, ausschließlich natur belassenes Holz stofflich zu verwerten.

Weiters können Altholzsortimente oft stark verunreinigt sein, auch wenn dafür äußerlich keine Anzeichen erkennbar sind (ZÜRCHER 2007). Damit wird die stofflicher Verwertung selbst bei möglichst genauer Trennung in behandeltes und nicht behandeltes Altholz in Abfallsammelzentren in Frage gestellt, da hier nur nach visuellen Kriterien sortiert wird und eventuell vorhandene Belastungen des Materials allein dadurch nicht ausgeschlossen werden kann.

Wie aus einem Interview mit dem Leiter der Wiener Abfallbehandlungsanlage (LASSY M.M. 2011) hervorgeht, wird zumindest auf Wiener Mistplätzen genau darauf geachtet, dass die Trennung sortenrein vorgenommen wird. Genaue Dienstanweisungen sowie eindeutige Beschriftung von Behältern sollen dazu beitragen. Öl- und salzimprägnierte Pfosten und Latten (z.B. aus dem Gartenbereich) bzw. Bahnschwellen werden in Wien nicht über die Altholzschiene gesammelt, sondern gemeinsam mit dem Sperrmüll in den Wiener Abfallverbrennungsanlagen unter Nutzung ihres Energieinhaltes verbrannt (LASSY M.M. 2011), was auf Grund der dort vorhandenen Rauchgasreinigungstechnologie als ökologisch vertretbare Möglichkeit anzusehen ist.

8.2.2 Altholzeinsatz bei der Spanplattenherstellung

Trotz der angeführten Unsicherheiten wird Altholz wie oben erwähnt bei der Spanplattenherstellung in Österreich zu durchschnittlich 10 % verwendet. Deshalb sollen hier Erörterungen zum Verwertungsprozess sowie mögliche Probleme beim Einsatz von Altholz als Sekundärrohstoff angeführt werden.

Im Normalfall wird Altholz von Recyclingbetrieben im Spanplattenwerk angeliefert. Dabei kann es vorgebrochen oder bereits zu Spänen aufbereitet vorliegen. Bei nur grob vorgebrochenem Material können eventuell vorhandene Verunreinigungen oder Fehlchargen noch visuell bestimmt werden und damit eventuell auch eine Annahme verweigert werden. Liegt das Material schon gehäckselt vor, können Verunreinigungen nur noch durch eine gezogene Probe festgestellt werden. Problematisch kann in diesem Zusammenhang sein, dass eventuell Testergebnisse

erst dann vorliegen, wenn das Altholz schon verarbeitet wurde und damit bei Beanstandungen fertige Platten gesperrt werden müssen. Ein gewisses Vertrauensverhältnis bezüglich der Qualität der Ware zwischen anlieferndem Recyclingbetrieben und Spanplattenwerk ist deshalb Voraussetzung für einen reibungslosen Ablauf.

Technisch gesehen ist der Altholzeinsatz beim eigentlichen Herstellungsprozess kein Problem. Nur vorgebrochenes Altholz wird zu Spänen zerkleinert und durchläuft gemeinsam mit eventuell schon als Hackgut vorliegendem Altholz einen Aufbereitungsprozess. Dabei kommen Metallabscheider zum Einsatz, weiters wird das Material in Wasch- oder Siebreinigungsanlagen gereinigt. Anschließend können die Altholzspäne in den normalen Produktionsverlauf integriert werden, wobei sie auf Grund ihrer etwas geringeren Qualität nicht in der Deckschicht sondern in der Mittelschicht der Spanplatte zum Einsatz kommen. Vorteilhaft ist der geringere Preis von Altholz verglichen mit den klassischen Rohstoffen, die bei der Spanplattenherstellung zu Einsatz kommen (zum Großteil Restholz aus der Sägeindustrie sowie Waldrestholz). Ein weiterer Vorteil ist der verringerte Energieaufwand bei der Trocknung der Späne, da Altholz für gewöhnlich trockener ist als herkömmliche Rohstoffe. Dadurch liegt der Stromverbrauch und der Wärmebedarf niedriger als bei der Verarbeitung von Frischholz (SPECKELS 2001).

Den Vorteilen stehen allerdings auch Nachteile gegenüber. Späne aus Altholz weisen veränderte chemisch – physikalische Eigenschaften (z.B. höhere Sprödigkeit aufgrund der niedrigeren Feuchte) gegenüber konventionellen Rohstoffen auf. Dadurch fallen bei der Zerspannung Späne mit ungünstigerer Form an, weiters ist mit höheren Staubanteilen zu rechnen. Dadurch muss ungefähr fünf Prozent mehr Rohstoff eingesetzt werden. Bedingt ist dieser Mehrverbrauch durch die notwendige Abscheidung von holzfremden Bestandteilen wie Sand und Metall. Ein weiterer Nachteil ist der erhöhte Leimanteil von ungefähr zehn Prozent (SPECKELS 2001).

Generell ist die Aufbereitung von Altholz aufwendiger als die Aufbereitung von Frischholz, da in allen Phasen holzfremde Bestandteile abgesondert werden müssen. Zu achten ist hier speziell auf den verbleibenden Feingutanteil in den Hackschnitzeln, da dieser sich negativ auf die Festigkeitswerte der Spanplatten auswirken kann. Dieses Problem kann allerdings durch einen erhöhten Leimeinsatz bei der Produktion ausgeglichen werden. Es kann also festgehalten werden, dass die Problematik generell nicht in der schlechteren Qualität der Altholzspäne liegt, sondern viel mehr im möglichen Schadstoffeintrag in das fertige Produkt Spanplatte. Untersuchungen an Spanplatten in Deutschland haben ergeben, dass zum Teil erhöhte Werte an Schwermetallen, im Speziellen Blei, vorliegen. Beim Gebrauch der Spanplatte stellt das vorhandene Blei keine Gefahr dar, da es in dieser gebunden ist und bei normalem Gebrauch nicht heraus diffundiert. Sehr wohl problematisch ist ein erhöhter Schwermetallgehalt, wenn die Spanplatte als unbelastet eingestuft wird und bei der weiteren Verarbeitung z.B. in Tischlereibetrieben Verschnitte und andere Reste in Verbrennungsanlagen ohne geeignete Filteranlagen verbrannt werden (SPECKELS 2001).

Auch steht die Anreicherung von Schwermetallen im krassen Gegensatz zum Schadstoffanreicherungsverbot durch Sekundärrohstoffe welches im BAWP als Bedingung für den Einsatz von Sekundärrohstoffen angeführt wird. Hoch problematisch ist die Anreicherung von Schadstoffen auch in Bezug auf mögliche

Verbrennung von Holzwerkstoffen im Hausbrand, welche eine gängige Praxis darstellt und mit erheblichen Emissionen durch ungefilterte Rauchgase einhergeht (ZÜRCHER 2007).

8.2.3 Zusammenfassende Betrachtung der stofflichen Verwertung

Wie in diesem Kapitel dargestellt, ist die stoffliche Verwertung von Altholz nicht unproblematisch. Der prinzipiell gewünschten Kreislaufführung von Rohstoffen steht die problematische Belastung mit Schadstoffen gegenüber. Um zu diesen Aspekten noch mehr Informationen zu gewinnen, wurden zwei Experteninterviews geführt (WINDSPERGER M.M. 2011, LASSY M.M. 2011) um noch offene Fragen zu klären. Demnach geht der Trend in der Österreichischen Spanplattenindustrie eindeutig in Richtung höherer Altholzeinsatz, 60% werden hier als obere Grenze angegeben. Prinzipiell sind nicht alle holzfremden Stoffe problematisch (Harze stören z.B. kaum, Metalle können einfach abgeschieden werden), Holzschutzmittel werden eher als Problem gesehen. Umgegangen wird mit der Problematik folgendermaßen:

- Kontaminierte Hölzer (teerölimprägniert, salzimprägniert etc., siehe „Branchenkonzept Holz“) werden prinzipiell nicht eingesetzt
- Belastete Hölzer werden eingesetzt, es wird aber davon ausgegangen, dass durch die insgesamt große Einsatzmenge von Frischholz bzw. der nicht zwingend gegebenen Belastung des gesamten eingesetzten Altholzes der Schadstoffeintrag im Produkt gering ist und damit kein Problem darstellt (WINDSPERGER M.M. 2011)

Eine weitere Möglichkeit in diesem Zusammenhang stellt das Abscheiden von Schadstoffen durch die Abtrennung von Feinteilen bzw. Staub dar. Studien haben ergeben, dass eventuell problematische Stoffe wie z.B. Schwermetalle beim Aufbereitungsprozess hauptsächlich in dieser Feinfraktion vorhanden sind und dadurch schon vor der eigentlichen Verwertung abgeschieden werden können (LASSY M.M. 2011).

In wie fern die Schadstoffverfrachtung tatsächlich ein Problem darstellt, kann an dieser Stelle nicht eindeutig geklärt werden, da Literaturangaben und Experteninterviews diesbezüglich zum Teil unterschiedliche Einschätzungen liefern. Zur Abklärung dieser Frage könnten weitere vertiefende Untersuchungen vorgenommen werden.

8.3 Thermische Verwertung nach dem Stand der Technik

Die energetische Verwertung von Altholz hat das Ziel, die im Rohstoff enthaltene Energie zu nützen. Zusätzlich wird das Reststoffvolumen erheblich reduziert und bei ordnungsgemäßer Verbrennung mit hohen Temperaturen werden organische Schadstoffe vollkommen zerstört (DARMANN 2004).

Zur thermischen Verwertung von Altholz stehen prinzipiell zwei Technologien zur Verfügung:

- Direkte Verbrennung verbunden mit Wärmenutzung oder Kraft - Wärme Kopplung zur kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie

- Vergasung und Pyrolyse zur Erzeugung von Holzgas und Holzkohle (SPECKELS 2001)

In dieser Arbeit wird im Weiteren nur noch genauer auf die Verbrennung von Altholz eingegangen, da die Vergasung und Pyrolyse in Österreich laut der ausgewerteten Literatur keine Rolle spielt und damit für die Fragestellung der Arbeit vernachlässigbar ist.

8.3.1 Eigenschaften des Brennstoffs Holz

Holz ist ein im Gegensatz zu fossilen Energieträgern ein inhomogener Brennstoff. Die Parameter Zusammensetzung, Feuchte, Stückigkeit und Porosität sind sehr variabel. Weiters läuft der Verbrennungsvorgang in mehreren Stufen ab, all diesen Bedingungen muss durch eine entsprechende Feuerungstechnik entsprochen werden, um eine schadstoffarme Verbrennung zu gewährleisten.

Wie schon weiter oben erwähnt, besteht Holz aus unterschiedlichen Bestandteilen, diese sollen hier noch einmal genauer betrachtet werden. Chemisch betrachtet besteht Holz zu

- 50 % aus Cellulose
- 25 – 30 % aus Lignin
- 20 – 25 % aus Hemizellulose

Diese Zusammensetzung führt zu folgenden Bestandteilen an chemischen Elementen: Kohlenstoff (C) ca. 50 Massen %, Wasserstoff (H) ca. 6 Massen %, Sauerstoff (O) ca. 44 Massen %.

Hinzu kommen speziell in Altholzsortimenten verschiedene Elemente wie Blei (Pb), Chlor (Cl), Stickstoff (N), Schwefel (S) und Zinn (Zn) vor, welche durch die Behandlung des Holzes bedingt sind (SPECKELS 2001).

Ausgehend von der elementaren Zusammensetzung ergibt sich für lufttrockenes Holz ein Heizwert (H_u) im Bereich von 15 – 19 MJ/kg. Dabei ist bei Altholz von einem Wassergehalt (u) von ungefähr 20 - 30% auszugehen, was es für die direkte Verbrennung besser geeignet macht, als z.B. Industrierestholz ($u > 30\%$) oder waldfrisches Holz ($u > 80\%$). Der Wassergehalt ist für die Verbrennung ausschlaggebend, da er Einfluss auf die Differenz zwischen Heizwert (H_u) und Brennwert (H_o) eines Brennstoffes hat, dessen Differenz die Verdampfungsenthalpie des Wasserdampfes beträgt. Diese setzt sich zusammen aus der Oxidation des Wasserstoffs und der Verdampfung des im Brennstoff erhaltenen Wassers. Somit gilt, je trockener das Holz, desto höher sein Heizwert. In Tab. 4 werden die Heizwerte verschiedener Brennstoffe gegenübergestellt und ein Verhältniswert im Vergleich zu Holz angeführt. Daraus wird ersichtlich, dass Holz im Vergleich zu gängigen fossilen Brennstoffen einen geringeren Heizwert aufweist (SPECKELS 2001).

Brennstoff	Heizwert (MJ / kg)	Energiedichte im Vergleich zu Holz
Öl (el)	42 – 43	2,6
Erdgas	39 - 46	2,7
Steinkohle	25 - 29	1,7
Braunkohle	18 - 20	1,2
Holz (lutro = ca. 20 % Feuchte)	15 - 19	1

Tab. 4: Heizwerte verschiedener Brennstoffe im Vergleich (SPECKELS 2001)

Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass Holz (20 % Feuchtigkeit) zwar nicht an hochwertige fossile Energieträger wie Erdöl oder Erdgas herankommt, aber doch nur knapp unter z.B. Braunkohle liegt. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer Heizanlage sind der Annahmepreis für das gehäckselte Altholz sowie die Nutzung der anfallenden Wärme. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass bestehende Emissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen eingehalten werden. Dies stellt in industriellen Anlagen nach dem Stand der Technik meist kein Problem dar (NEURAUTER et al. 2002).

8.3.2 Verbrennungsvorgang

Der eigentliche Verbrennungsvorgang läuft in drei Teilprozessen ab, man spricht daher von einer Stufenverbrennung.

- **Trocknung:** Im Temperaturbereich bis 150°C entweicht das im Holz gebundene Wasser, gleichzeitig emittieren flüchtige Holzinhaltstoffe. Zuerst entweicht das freie, anschließend das in den Zellwänden gebundene Wasser. Für die Trocknung wird Energie aus exothermen Zersetzungsvorgängen bzw. aus der Oxidation benötigt.
- **Pyrolyse / Vergasung:** Im Temperaturbereich zwischen 150°C und 600°C findet eine thermische Zersetzung der makromolekularen Holzbestandteile statt (Anwesenheit von Oxidationsmittel: Vergasung; Abwesenheit von Oxidationsmittel: Pyrolyse). Es handelt sich um einen exothermen Prozess. Während dieses Vorganges werden ca. 70% des Heizwertes freigesetzt und ca. 80% der Trockenmasse umgesetzt. Als Rückstand verbleibt Kohle.
- **Oxidation:** Im Temperaturbereich von 400° C bis 1300°C reagieren die entstanden brennbaren Gase heftig und unter Flamm bildung. In diesem Prozess wird viel Sauerstoff benötigt, der über die Sekundärluft zugeführt wird. Auch der in der Holzkohle enthaltene Kohlenstoff reagiert mit Sauerstoff zuerst zu CO und dann weiter zu CO₂ (SPECKELS 2001).

Die Übergänge zwischen den einzelnen Phasen können fließend sein, wesentlich ist auch der Grad der Aufbereitung des Brennstoffes. Bei der Verbrennung von größeren Holzstücken kann der innere Bereich noch völlig unverändert und noch nicht einmal getrocknet vorliegen, während im äußeren Bereich schon eine Holzkohleschicht vorliegt. Vorteilhafter ist der Verbrennungsvorgang bei kleineren Stücken (Staub, Späne), hier verlaufen die Phasen rascher und gleichmäßiger.

Um eine optimale Verbrennung zu gewährleisten ist auf folgende Parameter zu achten:

- Ein auf den Brennstoff (Form, Feuchte) abgestimmtes Feuerungssystem
- Ausreichende Luftzufuhr
- Gute Durchmischung der Brenngase mit der zugeführten Luft
- Genügend hohe Temperatur in der Oxidationszone
- Ausreichend lange Verweilzeit des Brennstoffes im Feuerraum
- Möglichst gleichmäßiger Betrieb (Wärmespeicher der Anlage)

8.3.3 Verbrennungstechnik

Holz kann prinzipiell in

- Kleinanlagen (<15 kW thermische Leistung)
- Kleinanlagen (15 kW – 1 MW thermische Leistung) und
- Großanlagen (1 – 50 MW thermische Leistung)

verfeuert werden. In diesem Kapitel werden die Kleinanlagen ausgeblendet, da sie für die untersuchten Altholzsortimente nicht dem Stand der Technik entsprechen. Größere Anlagen zur Altholzverwertung finden sich im industriellen Bereich oder in Form von Heizwerken.

- Als technische Lösungen stehen folgende Verbrennungstechnologien zur Verfügung:
- Unterschubfeuerung (20 kW – 2,5 MW), Hackschnitzel
- Rostfeuerung (150 kW – 100 MW), alle Holzbrennstoffe
- Stationäre Wirbelschicht (5 MW – 15 MW), Holzbrennstoffe mit Durchmesser <10 mm
- Zirkulierende Wirbelschicht (15 MW – 100 MW), Holzbrennstoffe mit Durchmesser <10 mm
- Staubeinblasfeuerung (5 MW – 10 MW), Holzbrennstoffe mit Durchmesser <1 mm (SPECKELS 2001)

Für mittlere und größere Anlagen ist die Rostfeuerung die am häufigsten eingesetzte Variante, sie kann in unterschiedlichen Ausführungen (Treppen-, Wander-, Vorschub- und Drehrost) vorliegen. Generell gilt es, die für den jeweilig vorliegenden Brennstoff günstigste Feuerungsart zu wählen.

Geregelt ist die Verbrennung von (Holz-) Abfällen in der Österreichischen Abfallverbrennungsverordnung. Die in ihr vorgeschriebenen Regelungen und Grenzwerte gelten für die Verbrennung von Holzabfällen, sofern halogenorganische Verbindungen (z.B. aus PVC – Beschichtungen) oder Schwermetalle im Brennstoff (Altholz) enthalten sein können. Damit gelten die Regelungen und Grenzwerte der Abfallverbrennungsverordnung für die in dieser Arbeit untersuchten Altholzsortimente. Nicht im Geltungsbereich dieser Verordnung sind Feuerungen, die unbehandeltes Holz als Brennstoff einsetzen, welche aber für die vorliegende Arbeit nicht näher von Bedeutung sind (ABFALLVERBRENNUNGSVERORDNUNG).

8.3.4 Emissionen bei der Verbrennung von Holz

Wird Holz bzw. Altholz in einer Feuerungsanlage verbrannt, so entstehen zwangsläufig Emissionen die durch den Verbrennungsvorgang bedingt sind. Zu unterscheiden sind hier unvermeidbare Emissionen, die bei einem vollständigen Ausbrand des Brennstoffes durch dessen chemische Zusammensetzung bedingt sind und vermeidbare Emissionen, die durch nicht optimale Verbrennungsbedingungen entstehen. Tab. 5 bietet einen Überblick über unvermeidbare Emissionen aus dem Verbrennungsvorgang.

Emittierter Stoff	Entstehung
Kohlendioxid (CO ₂)	Oxidation des im Holz enthaltenen Kohlenstoffs
Wasser (H ₂ O)	Oxidation des im Holz enthaltenen Wasserstoffs, Trocknung
Schwefeloxid (SO _x)	Oxidation des im Holz enthaltenen Schwefels
Stickstoffoxide (NO _x)	Oxidation des im Holz enthaltenen Stickstoffs
Halogenwasserstoffe (z.B. HCl, HF)	Bildung durch Umsetzung der im Holz enthaltenen Halogene wie Chlor, Fluor usw.
Schwermetalle	Umwandlungsprodukte der vorhandenen Schwermetalle
Asche	Nicht brennbare oder flüchtige anorganische Bestandteile des Holzes

Tab. 5: Unvermeidbare Emissionen bei der Verbrennung von Holz (SPECKELS 2001)

In Tab. 6 werden vermeidbare Emissionen angeführt, die durch einen optimalen Verbrennungsvorgang verhindert werden können.

Emittierter Stoff	Entstehung	Vermeidung
Kohlenmonoxid (CO)	Unvollständige Oxidation des Kohlenstoffs	Ausreichend Luft, gute Durchmischung
Kohlenwasserstoffe (HC, darunter PAKs)	Unvollständige Oxidation des Kohlenstoffs	Ausreichend Luft, gute Durchmischung, T>800°C
Dioxine und Furane (PCDD, PCDF)	Unvollständige Oxidation der Chloraromaten bzw. Dioxine; De - novo Synthese	Dauerhaft T>800°C, gute Verbrennungsführung
Ruß, Teer	Zu geringe Verbrennungstemperaturen	Gute Verbrennungsführung, ausreichende Wärmedämmung
Unverbrannte Partikel	Unvollständige Oxidation der Holzbestandteile	Optimale Verbrennungsführung (Abgasrückführung)
Stickoxide (NO _x)	Reaktion von N und O aus Luft	T < 1200°C

Tab. 6 Vermeidbare Emissionen aus der Verbrennung von Holz (SPECKELS 2001)

Für Verbrennungsanlagen, die dem Stand der Technik entsprechen gibt es geeignete Technologien der Abgasreinigung um die angeführten Emissionen zu mindern und dadurch vorgeschriebene Grenzwerte für die Anlagen einzuhalten. Dazu zählen

- Trockenabscheidung
 - Zyklon: Vorentstaubung; Entstaubung einfacher Anlagen
 - Gewebe- / Keramikfilter: Hochwertige Entstaubung; Abgasreinigung mit Additivzugabe
 - Elektrofilter: Hochwertige Entstaubung; Abgasreinigung mit Additivzugabe
- Nassabscheidung (Gaswäsche)
 - Venturiwäscher, Sprühwäscher, Wirbelwäscher: Entstaubung und Abgasreinigung

Als Additive zur Schadstoffminimierung kommen Kalkhydrat, Aktivkohle, Ammoniak und Harnstoff zum Einsatz.

8.3.5 Asche aus der Altholzverbrennung

Die mineralischen Bestandteile des Brennstoffes bleiben am Ende der Verbrennung als Asche zurück. Enthalten sind in ihr sowohl die mineralischen Bestandteile des Holzes selbst als auch holzfremde Bestandteile, die durch Verunreinigungen des Brennstoffes Altholz bedingt sind. Dabei wird nach Partikelgröße der Asche folgende Einteilung vorgenommen:

- **Grob- oder Rostasche** (60 - 90 Gew. %): Fällt im Verbrennungsteil der Anlage an und besteht überwiegend aus dem mineralischen Rückstand der Biomasse, weiters können Verunreinigungen wie Sand, Erde und Steine vorhanden sein
- **Zyklonflugasche** (10 - 35 Gew. %): Als feine Partikel in den Rauchgasen mitgeführte Partikel (überwiegend anorganische Brennstoffteile), die im Wendekammer- und Wärmetauscherbereich der Anlage sowie in eventuell vorhandenen Zyklonabscheidern anfallen
- **Feinstflugasche** (2 - 10 Gew. %): In Elektro- oder Gewebefiltern bzw. als Kondensatschlamm anfallende Flugaschenfraktion; Bei Holzverbrennungsanlagen ohne entsprechende Filter verbleibt sie als Reststaub im Rauchgas (SPECKELS 2001, DARMANN 2004)

Der Ascheanfall bei Altholz kann bis zu zwölf Prozent betragen und ist damit als relativ hoch einzustufen ist. Problematischer als der quantitative Ascheanfall ist bei der Verbrennung von Altholz allerdings die Qualität der Rückstände, im Besonderen der Schwermetallgehalt (DARMANN 2004). Auch wenn eine Ascheausbringung in Land und Forstwirtschaft aus Gründen eines geschlossenen Nährstoffkreislaufes prinzipiell angedacht werden kann, ist diese Option aus Sicht des Autors für Altholzaschen keine Option, da immer mit erhöhten Schadstoffgehalten auf Grund von Schadstoffen im Brennmaterial ausgegangen werden muss. Deswegen ist die Asche ordnungsgemäß zu entsorgen (z.B. auf einer Reststoffdeponie).

8.4 Re - Use / Wiederverwendung von Altholz

Re – Use bzw. Wiederverwendung von noch brauchbaren Produkten bekommt durch die Europäischen Abfallrahmenrichtlinie (ABFALLRAHMENRICHTLINIE 2008), welche von den Mitgliedsstaaten in nationales Recht umgesetzt werden muss, eine neue, größere Bedeutung. Erste Aspekte dazu wurden schon im Kapitel Wiederverwendung von Altholz ausgeführt. Für die Wiederverwendung eignen sich neben den in dieser Arbeit untersuchten Möbeln auch z.B. Elektrogeräte, Textilien und dergleichen mehr.

Durch die in der Richtlinie neue Abfallhierarchiestufe „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ ergeben sich für die Wiederverwendung von noch gebrauchsfähigen Produkten im Abfall neue Möglichkeiten. Folgende Definition findet sich in der Abfallrichtlinie:

„Vorbereitung zur Wiederverwendung“: Jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können (ABFALLRAHMENRICHTLINIE 2008)

In Artikel 11 werden die Mitgliedsstaaten aufgefordert, Maßnahmen zu ergreifen, die zur Förderung der Wiederverwendung von Produkten und der Vorbereitung zur Wiederverwendung führen. Dazu zählt z.B. die Förderung und Unterstützung von Wiederverwendungs- und Reparaturnetzwerken. Theoretisch entziehen grenzüberschreitende Sammelaktivitäten, wie sie im Projekt „Transwaste“ beobachtet wurden, dem Österreichischen Markt Re – Use fähige Waren (MEISSNER et al. S.A.).

Diese Feststellung ist insofern interessant, als dass in der zitierten Quelle eine Art „Konkurrenz“ um die Wiederverwendung von noch brauchbaren Produkten angedeutet wird, die sich durch die neue gesetzliche Situation durch die Umsetzung der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie ergibt. Ob diese Konkurrenz tatsächlich herrscht, ist an dieser Stelle schwer abzuschätzen, es könnte aber hier in der Zukunft eventuell zu Zielkonflikten kommen.

In Österreich werden Re – Use – Aktivitäten in organisierter Form oft von Sozialen Integrationsunternehmen (gemeinnützige GmbH oder Vereine) durchgeführt. In diesen finden Personen, die am Arbeitsmarkt Probleme haben, die Möglichkeit, einer geregelten Beschäftigung nachzugehen, weiters profitieren einkommensschwache Bevölkerungsgruppen vom Kauf gebrauchter Produkte. So ergeben sich neben den positiven ökologischen Aspekten auch soziale Vorteile aus Re – Use – Aktivitäten (MEISSNER et al. S.A.).

Die Alternative Re-Use, also Wiederverwendung von Holzprodukten, in diesem speziellen Fall Möbel, wurde für diese Arbeit neben den oben angeführten Aspekten bezüglich der neuen gesetzlichen Lagen auch deshalb gewählt, weil sich bei Befragungen von Mistplatzbetreibern und informellen Abfallsammlern im Sommer 2009 herausgestellt hat, dass die Weiterverwendung von noch gebrauchstauglichen Altmöbeln sowohl in Österreich als auch in den Herkunftsländern der informellen Sammler eine gängige Option darstellt. Dabei werden Möbel, allerdings auch andere, hauptsächlich der Sperrmüllfraktion zuzuordnende Gegenstände, die noch brauchbar sind, entweder direkt oder nach kleineren Reparaturarbeiten einem weiteren Lebenszyklus zugeführt (N.N. M.M. 2009).

8.5 Verbrennung von Altholz im Hausbrand

Rechtlich gesehen ist die Verbrennung von Abfällen im Haushalt verboten, weil diese nur in Anlagen verbrannt werden dürfen, die den Regelungen der Abfallverbrennungsverordnung entsprechen.

Die Alternative „Hausbrand“ wurde in der vorliegenden Arbeit deshalb gewählt, weil die Verbrennung von Altholz im Hausbrand anhand der Ergebnisse ausgewerteter Literatur (ZÜRCHER 2007) scheinbar trotz des gesetzlichen Verbots eine gängige Praxis darstellt. Die Studie wurde für die Schweiz erstellt, es ist davon auszugehen,

dass die Verbrennung von Altholz auch in Österreich praktiziert wird, dies dürfte auch für andere Länder gelten, in denen mit Festbrennstoffen befeuerte Heizungen in Betrieb sind. Problematisch ist eben diese nicht sachgemäße Bestückung der Anlagen mit Abfällen, prinzipiell ist der Einsatz von natur belassenem Holz (in verschiedener Form) als Brennmaterial zu begrüßen (www.biomasseverband.at).

Holz gilt als Brennstoff für Kleinf Feuerungsanlagen als CO₂ - neutraler und nachwachsender Rohstoff. In Österreich gibt es eine Vielzahl von Kleinf Feuerungsanlagen, die mit Holz betrieben werden. Darunter fallen:

- Pelletskessel
- Hackgutfeuerungen
- Stückholzkessel
- Kachelöfen, Offener Kamin

Pelletskessel sind für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit nicht relevant, da diese in der Regel mit normierten und qualitätsgeprüften Brennstoffen betrieben werden (ÖNORM M 7135), die ohne chemische Zusätze und nur mit natürlichen Stoffen als Bindemittel unter Druck geformt werden. Zum Einsatz kommt trockenes, natur belassenes Restholz (Säge- und Hobelspäne) aus der Holz verarbeitenden Industrie (www.biomasseverband.at).

In Hackgutkesseln wird zerkleinertes Holz verfeuert, welches in der Regel direkt durch forstwirtschaftliche Maßnahmen gewonnen wird (z.B. Durchforstungsholz) oder als Sägenebenprodukt in der Holz verarbeitenden Industrie anfällt (www.biomasseverband.at). Da es sich bei Hackgut im Gegensatz zu Pellets nicht um einen normierten Brennstoff handelt und die Bezugsquellen des Materials wesentlich differenzierter sind, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Hackgut, welches bei der Altholzaufarbeitung anfällt, in privaten Hackgutheizungen verfeuert wird. Als problematisch kann in diesem Fall das Emissionsverhalten eingeschätzt werden, vor allem dann, wenn es sich um belastete Altholzsortimente handelt.

Die für die Fragestellung wesentlichsten Kleinf Feuerungstechnologien stellen Stückholzkessel, Kachelöfen, offene Kamine und ähnliche mit Festbrennstoffen betriebenen Kleinf Feuerungen dar. Moderne Anlagen weisen in Bezug auf ihre Emissionswerte hohe Standards auf, da die eingesetzte Technologie in den letzten Jahren ständig weiterentwickelt wurde. Voraussetzung dafür sind regelmäßige Wartung und Brennstoffe von hoher Qualität. So wird empfohlen (www.biomasseverband.at), in derartigen Heizungssystemen nur mindestens zwei Jahre gelagertes, unbehandeltes Holz mit einem Feuchtegehalt von höchstens 20% zu verbrennen, welches als ein Meter langes Scheitholz oder „ofenfertiges Stückholz“ angeboten und zugestellt wird.

Die erste Problematik stellen in diesem Zusammenhang ältere Holzheizungen dar, die im Gegensatz zu modernen Anlagen ungünstige Emissionswerte aufweisen, vor allem, wenn sie nicht sachgemäß bedient werden. So können derartige Anlagen bei unvollständiger Verbrennung (zu starke Drosselung der Luftzufuhr, Wärmeentzug infolge Verbrennung von nassem Holz) erhebliche Mengen von gesundheitlich

bedenklichem Ruß und teerartige Verbindungen sowie Feinstaub emittieren (ZÜRCHER 2007).

Die zweite, für die Fragestellung wesentliche Problematik ist die Verfeuerung von nicht sachgemäßen Brennstoffen in neuen und alten Heizungsanlagen. Wie oben erwähnt, sollten nur ausreichend trockene Brennstoffe verwendet werden, weiters sollte der Brennstoff frei von Verunreinigungen und Fremdstoffen sein. Altholzsortimente sind oft stark verunreinigt, auch wenn dafür äußerlich keine Anzeichen erkennbar sind. Zu diesem Ergebnis kam eine Schweizer Studie, die bewusst Altholzproben untersuchte, die keine visuelle Abweichung zu natur belassenem Holz aufwies. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tab. 7 dargestellt.

Schwermetallbelastung von Holzsortimenten (mg/kg) im Glührückstand	Waldholz	Holzabschnitte aus Schreinerei	Waldholz mit wenig Abbruchholz	Abbruchholz: z.B. Dielen
Blei	10	1100	690	4900
Zink	330	700	3500	6900
Cadmium	0,4	3,5	6	7

Tab. 7: Schwermetallbelastung verschiedener Holzproben (n ~ 10) bezogen auf Glührückstand (ZÜRCHER 2007)

Obwohl es bei den Proben bezüglich der Schadstoffgehalte große Streuungen gab, ist ein eindeutiger Trend zu erhöhten Schadstoffgehalten festzustellen. So ist z.B. der hohe Bleiwert der Schreinereiabfälle auf die Beimischung von Spanplattenabfällen zurückzuführen. Neben der Untersuchung von Holzsortimenten wurden auch die Ascherückstände von 100 kleinen Holzfeuerungen untersucht. Die Beprobung erfolgte unangemeldet in mehreren Gemeinden. Nur 35% der Aschen waren unbelastet, rund zwei Drittel wiesen Fremdkörper und / oder erhöhte Schadstoffgehalte auf (siehe Abb. 3). Dies kann als Hinweis auf problematische Brennstoffe wie Altholz, aber auch Verpackungsmaterial und Siedlungsabfälle gewertet werden. Verschärft wird das Problem noch dadurch, dass die Schadstoffe nicht nur in der Asche verbleiben, sondern auch mit dem Feinstaub über den Kamin in die Umgebung ausgestoßen werden.

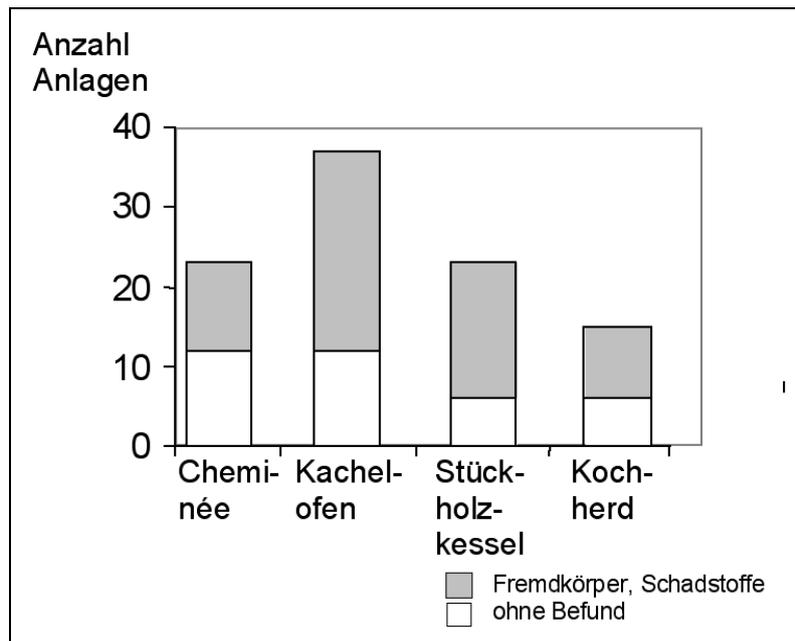


Abb. 3: Häufigkeit der Beanstandungen bei unterschiedlichen Anlagekategorien (ZÜRCHER 2007)

Die Studienautoren kommen zu dem Schluss, dass ein Großteil der kritischen Luftschadstoffemissionen, die durch Haushalte verursacht werden, durch unsachgemäße Verbrennung von Abfällen in Holzheizungen verursacht werden. Diese könnten deutlich gesenkt werden, würden nur noch regelkonforme Brennstoffe eingesetzt (ZÜRCHER 2007). Neben Schwermetallen sind auch chlororganische Verbindungen problematisch, beide treten in Zusammenhang mit lungengängigem Feinstaub auf, was das Gesundheitsrisiko noch erhöht. Zusätzlich emittieren Kleinanlagen in denen Abfälle verbrannt werden um bis zu 1000 mal mehr Dioxine als moderne Müllverbrennungsanlagen, da sie im Gegensatz zu diesen nicht mit modernen Filteranlagen ausgerüstet sind.

9. Eingrenzung der für den praktischen Teil der Arbeit relevanten Altholzsortimente

Wie sich durch die von Autor und Kollegen des ABF BOKU durchgeführten Befragungen auf verschiedenen Mistplätzen herausgestellt hat, ist Holz (neben Metallen, Elektrogeräten etc.) eine der Fraktionen, die von informellen Abfallsammlern in ihre Heimatstaaten mitgenommen wird. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um zwei Abfallarten:

- **Möbel aus Holz**, die in den **Altstoffsammelzentren** von der Bevölkerung abgegeben werden und entweder als **Altholz** (je nach Ausstattung des Mistplatzes mit Altholzcontainern) oder als Teil des **Sperrmülls** gesammelt werden (für die Arbeit wesentlich, da hier eine Re – Use Option besteht)
 - Laut „Anmerkungen“ des Abfallverzeichnisses der **Schlüsselnummer 17218** „Holzabfälle, organisch behandelt (z.B. ausgehärtete Lacke, organische Beschichtungen)“ zuzuordnen (ABFALLVERZEICHNIS)
- **Größere Holzabfälle** (Bretter, Latten etc.), bei denen es sich **nicht** um **wieder verwendbare Produkte** handelt (weiter oben unter dem Begriff „Sperriges Altholz“ angeführt), die in den **Altstoffsammelzentren** von der Bevölkerung **abgegeben** werden (für die Arbeit weniger relevant, da keine Re – Use Option besteht) (M.M. 2009)
 - Zuzuordnen der **Schlüsselnummer 17201** „Holzemballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt“ (je nach Beschichtung noch drei Unterkategorien) (ABFALLVERZEICHNIS)

Da sich aus Literaturquellen und Interviews auf Mistplätzen ergab, dass die für die Fragestellung der Arbeit relevante Fraktion nicht nur über die Altholzschiene erfasst wird, sondern zu einem nicht unwesentlichen Teil über den Sperrmüll gesammelt wird, soll diese Fraktion im Bezug auf Altholz noch näher betrachtet werden.

Um einen Überblick über die für die Fragestellung relevanten Abfälle im Bezug auf Sperrmüll zu bekommen, wurde eine Studie des Österreichischen Ökologieinstituts (PLADERER et al. 2002) zum Sperrmüllaufkommen der Stadt Wien herangezogen, für deren Erstellung auch Untersuchungen aus anderen Österreichischen Bundesländern sowie Untersuchungen aus Deutschland (Sortieranalysen) herangezogen wurden und die damit einen guten Überblick zum Thema bietet. Dabei konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Die größte Stoffgruppe im Sperrmüll stellen Einrichtungsgegenstände (Möbel) dar (ca. 50 – 65 Masse - %). Etwa die Hälfte der Einrichtungsgegenstände kann der Altholzfraktion (unbehandelt und behandelt) zugeordnet werden. Die sonstigen Einrichtungsgegenstände stellen insbesondere Matratzen, Polstermöbel und verschiedenste Verbundmaterialien dar. Bei einer konkreten Sortieranalyse der

Ökologieinstituts im Jahr 2001 wurden im Wiener Sperrmüll 35% Holz und Holzwerkstoffe ermittelt, zum gleichen Ergebnis kam eine Sortieranalyse der MA 48 im Jahr 1999 (PLADERER et al. 2002). Diese Zahl deckt sich auch (als Mittelwert) mit anderen Untersuchungen zu diesem Thema.

Ein für den Holzanteil im Sperrmüll wesentlicher Faktor ist das Vorhandensein einer eigenen Sammelstelle für Altholz beim Altstoffsammelzentrum. So wurde bei einer Sortieranalyse des Sperrmülls bei drei Wiener Mistplätzen folgende Materialzusammensetzung festgestellt:

Sortiergruppe (Massen %)	Mistplatz 1 (KEIN eigener Altholzcontainer)	Mistplatz 2 (Eigener Altholzcontainer)	Mistplatz 3 (Eigener Altholzcontainer)	Gesamt (Mittelwert)
Holz und Holzwerkstoffe	67,62%	12,88%	15,36%	32,37%

Tab. 8: Altholzanteil im Sperrmüll auf verschiedenen Mistplätzen (Zusammenhang mit Altholzcontainer) (PLADERER et al. 2002)

Das Ergebnis der Tabelle ist folgendermaßen zu interpretieren: Der hohe Anteil der Sortiergruppe „Holz und Holzwerkstoffe“ bei Mistplatz 1 ist dadurch zu erklären, dass bei diesem Mistplatz während des Untersuchungszeitraumes kein eigener Container für die separate Sammlung von Altholz aufgestellt war und dadurch der prozentuelle Anteil von Holz im Sperrmüll außergewöhnlich hoch ist (PLADERER et al. 2002). Als Gesamtwert schient abermals etwas mehr als 30 Massen% Holz auf, was sich mit dem Mittel der anderen Analysen deckt.

Es sei hier auch angemerkt, dass es bei Abfallsammelzentren in Österreich sowohl getrennte als auch nicht getrennte Sammlung von Altholz gibt. Dieser Umstand konnte einerseits bei den 2009 durchgeführten Besuchen auf Abfallsammelzentren festgestellt werden (N.N. M.M. 2009), andererseits ist eine Mitteilung auf der Homepage der Stadt Feldkirch in diesem Zusammenhang interessant, in der darüber informiert wird, dass ab Jänner 2011 Altholz (in diesem Fall behandelte und unbehandelte Hölzer, alte Möbel, Spanplatten) separat gesammelt werden und nicht mehr, wie bisher üblich gemeinsam mit dem Sperrmüll abzugeben sind (www.feldkirch.at).

Deshalb wird der durchschnittliche Wert von ca. 30 % Altholz im Sperrmüll auch für das gesamte Land herangezogen. Neben der Menge ist auch die Qualität des Altholzes im Sperrmüll interessant.

Unterteilung der Altholzfraktionen im Sperrmüll	Sortieranalyse in Kilogramm (kg)	Anteil in %
Behandeltes Holz (von Einrichtungsgegenständen)	3431 kg	93 %
Unbehandeltes Holz	134 kg	3 %
Fenster	112 kg	4 %
Summe	3677 kg	100 %

Tab. 9: Qualität des Altholzes im Sperrmüll (PLADERER et al. 2002)

Aus Tab. 9 wird ersichtlich, dass es sich bei dem Holzanteil im Sperrmüll fast ausschließlich um behandeltes Holz handelt. Zurückzuführen ist dieses Ergebnis auf den hohen Möbelanteil. Das fast ausschließliche Vorhandensein von behandeltem Altholz ist für die Verwertungsoptionen von größter Bedeutung.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen werden für die Erstellung der Ökobilanz im praktischen Teil Verwertungsoptionen für das Sortiment **Möbel aus Holz** untersucht. Es lassen sich für dieses Sortiment vier Verwertungsszenarien modellieren, deren ökologischer Vergleich von großem Interesse ist. Somit kann diese Abfallfraktion als eigentlicher Gegenstand der Untersuchung festgelegt werden.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass abgesehen von der Re – Use Option, die gewählten Verwertungsalternativen (stoffliche und thermische Verwertung, Hausbrand) auch für das Sortiment „Sperriges Altholz“ herangezogen werden könnten, dieses Sortiment aber nicht mehr näher betrachtet werden soll.

Praktischer Teil

10. Ökobilanz zum Vergleich unterschiedlicher Verwertungsalternativen

Um die verschiedenen Verwertungsalternativen für Altholz anhand der gewählten Abfallfraktion zu untersuchen, wurde eine Ökobilanz nach ISO 14040 erstellt. Verwendet wurde dafür die Ökobilanzierungssoftware GaBi 4.

10.1 Zielsetzung der Studie

Ziel der Ökobilanzierung war, die ökologischen Auswirkungen der untersuchten Alternativen anhand ausgewählter Wirkungskategorien darzustellen und dadurch die Frage zu beantworten, wie Wiederverwendung und Hausbrand gegenüber den konventionellen, etablierten Verwertungsalternativen stoffliche und thermische Verwertung hinsichtlich dieser Auswirkungen abschneiden.

Im Zuge der Bilanzierung wurden bewusst auch nicht gesetzeskonforme Verwertungswege für das angenommene Möbelstück untersucht. Darunter fällt die Verbrennung im Hausbrand, die prinzipiell verboten und aufgrund der Schadstoffemissionen als bedenklich einzustufen ist. Die stoffliche Verwertung im Spanplattenwerk fällt in eine gewisse Grauzone, da eigentlich belastete Althölzer nicht stofflich verwertet werden sollten. Ähnliches gilt für die informelle Verbringung nach Ungarn, welche rein rechtlich gesehen auch als nicht legal einzustufen ist bzw. sich ebenfalls in einer rechtlichen Grauzone bewegt (die Möbel müssten als „Produkt“ abgegeben oder verschenkt werden um ohne Probleme ins Ausland verbracht zu werden (N.N. M.M. 2009). Als einzig gesetzeskonforme Verwertungsoption ist die thermische Verwertung in einer geeigneten Feuerungsanlage zu werten, die mit adäquater Rauchgasreinigungstechnologisch ausgestattet ist.

In Bezug auf die Untersuchung der nicht gesetzeskonformen, sehr wohl aber praktizierten Verwertungsschienen stellt diese Arbeit jedenfalls eine Besonderheit dar, da in den meisten ähnlichen Studien prinzipiell von einer Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen ausgegangen wird.

10.2 Modellierete Szenarien

Zielsetzung der durchgeführten Ökobilanzierung ist ein Vergleich der ökologischen Auswirkungen von vier ausgewählten Verwertungsverfahren für Altholz. Dafür wurden anhand der aus Literatur und Interviews gewonnenen Erkenntnisse vier Szenarien modelliert. Die Szenarien werden im Folgenden kurz beschrieben, die näher ausgeführten Hintergründe dazu finden sich jeweils im Theorieteil, die in der praktischen Arbeit mit GaBi 4 vorgenommenen Schritte werden in den jeweiligen Kapiteln zu den GaBi – Plänen der einzelnen Szenarien beschrieben. Die

Auswirkungen der Szenarien werden abschließend im Kapitel über die Wirkungsabschätzungen erörtert.

10.2.1 Szenario Hausbrand

Bei der Modellierung der Verwertungsalternative Hausbrand wurde davon ausgegangen, dass das Möbelstück zur Wärmeerzeugung im Hausbrand in Ungarn genutzt wird. Prinzipiell kann aber auch von einer nicht ordnungsgemäßen Verbrennung in Österreich ausgegangen werden. Es wurden zwar die im GaBi - Plan gewählten Parameter (Transport, Strom – Mix für Kreissäge) auf ungarische Verhältnisse ausgelegt, die Größenordnungen können aber auch in Österreich als ähnlich angenommen werden, da die angenommene Transportdistanz von Neusiedl am See nach Győr auch innerhalb von Österreich zurückgelegt werden könnte und der Stromverbrauch der Kreissäge keinen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat.

10.2.2 Szenario Thermische Verwertung KWK

Bei dieser Verwertungsalternative wurde davon ausgegangen, dass das Möbelstück in einer Kraft – Wärme – Kopplungsanlage für die Nutzung seines Energieinhalts verbrannt wird. Dabei wird eine Anlage angenommen, die bezüglich Feuerung und Rauchgasreinigung dem Stand der Technik entspricht.

10.2.3 Szenario Stoffliche Verwertung Spanplattenwerk

Bei dieser Alternative wurde eine stoffliche Verwertung des Möbelstückes näher betrachtet. Diese Option ist aus den schon genau beschriebenen Gründen (Schadstoffeintrag ins neue Produkt) problematisch. Trotzdem scheint es dem Autor durchaus realistisch, dass immer wieder Sortimente, die der angenommenen funktionellen Einheit ähnlich sind, in die stoffliche Verwertungsschiene gehen, da einerseits die Sammlung in den Abfallsammelzentren oft nicht ideal betrieben wird, andererseits ein gewisser Grad an Belastung von der Spanplattenindustrie als tolerierbar angesehen wird (WINDSPERGER M.M. 2011).

10.2.4 Szenario Re – Use

In diesem Szenario wurde davon ausgegangen, dass das Möbelstück von informellen Sammlern nach Ungarn verbracht wird und dort einen zweiten Lebenszyklus in seiner ursprünglichen Funktion durchläuft. Auf die Nutzungsdauer im zweiten Lebenszyklus wurde dabei nicht näher eingegangen, da die Option der Wiederverwendung in der Ökobilanz durch die Produktion eines neuen Möbelstücks dargestellt wurde (siehe dazu Kapitel 10.7 Systemerweiterungsprozesse). Es kann aber geschätzt werden, dass bei gutem Zustand des Möbelstücks eine Nutzung von zehn bis zwanzig Jahren und mehr realistisch ist.

10.3 Zielgruppen

Als Zielgruppen für die Ergebnisse der Studie können einerseits eine interessierte Öffentlichkeit, andererseits auch Experten für abfallwirtschaftliche sowie ressourcenpolitische Fragen gesehen werden. Als spezielle Zielgruppe seien hier Entscheidungsträger genannt, die mit Fragestellungen im Zusammenhang mit dem

Projekt „Transwaste“ konfrontiert sind. Für diese soll die durchgeführte Ökobilanz Anhaltspunkte bieten, um das Phänomen der informellen Abfallverbringung (in diesem Fall von Holzprodukten) aus ökologischer Sicht bewerten zu können.

10.4 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wurde **ein Möbelstück** aus Holz gewählt. Angenommen wurde dafür ein Gewicht von **20 kg**, ob es sich bei dem Möbelstück um einen Kasten, einen Tisch oder ähnliches handelt, ist für die Fragestellung nicht weiter relevant, wichtig ist lediglich seine Definition als tendenziell stärker belastetes Altholz (laut „Anmerkungen“ im Österreichischen Abfallverzeichnis der Abfallschlüsselnummer 17218 „Holzabfälle, organisch behandelt (z.B. ausgehärtete Lacke, organische Beschichtungen) zuzuordnen) sowie seine Eigenschaft als Gebrauchsgegenstand, welche die Option der Wiederverwendung explizit zulässt.

Für das Möbelstück wird eine nicht näher definierte Behandlung mit Beschichtungen und Holzschutzmitteln angenommen, die sich in den unterschiedlichen Alternativen durch Schadstoffverfrachtung bzw. Schadstofffreisetzung manifestiert. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

1 kg (Masse) = 0,005 m³ (Volumen) = 15 MJ (Energie regenerativ, unterer Heizwert)

Die Quellen für die Einheiten stammen für den Heizwert aus (SPECKELS 2001), welcher dort mit Holz (lutro) 15 – 17 MJ angegeben wurde, der Wert für die Umrechnung von Masse in Volumen bewegt sich in der Literatur zwischen 200 und 300 kg / m³ trockene Hackschnitzel (www.public.solarfocus.at; www.hdg-bavaria.de), hier wurde bewusst ein sehr niedriger Wert von 200 kg gewählt, da davon ausgegangen wird, dass das Altholz sehr trocken ist.

10.5 Systemgrenzen

Bei der Erstellung der Ökobilanz wurde festgelegt, alle relevanten Prozesse ab der Sammlung des Möbelstückes (der funktionellen Einheit) in einem Abfallsammelzentrum zu berücksichtigen.

Das Abfallsammelzentrum wurde dabei in die Bilanzierung nicht mit einbezogen, da von einem sehr geringen Beitrag zum Ergebnis ausgegangen wurde, was mit der lange Nutzungsdauer und dem hohen Durchsatz an unterschiedlichen Abfällen begründet werden kann. Es war daher nicht zweckmäßig, Baumaterialien oder Betriebsstoffe des Abfallsammelzentrums genau der (relativ kleinen) funktionellen Einheit zuzuordnen. Berücksichtigt wurden Transportprozesse (entweder innerhalb von Österreich oder nach Ungarn) sowie (sofern vorhanden) Aufbereitungsprozesse des Materials vor einer Verwertung (Häckseln, Zersägen).

Die eigentlichen Verwertungsschritte wurden unter Verwendung von GaBi 4 Datensätzen und ergänzenden Literaturquellen möglichst umfassend modelliert.

10.6 Systemerweiterung

Um die sehr unterschiedlichen Verwertungsoptionen für die gewählte funktionelle Einheit miteinander vergleichbar zu machen, mussten Systemerweiterungsprozesse vorgenommen werden, die zusammengefasst in Tab. 10 dargestellt ist. Diese Vorgehensweise ist deshalb nötig, weil die Outputs der einzelnen modellierten Szenarien nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Dabei wurde für jeden Output eines Prozesses, in dem das untersuchte Möbelstück verwertet wurde der wahrscheinlichste Prozess als Substitut für den Output herangezogen, der zu erwarten wäre, würde nicht das untersuchte Möbelstück dafür verwendet (als z.B. Wärmeerzeugung in Ungarn im Hausbrand durch die Verbrennung von Kohle mit dem selben Energie - Output, der bei der Verbrennung des Möbelstücks generiert worden wäre). Dabei wurde penibel darauf geachtet, dass immer jeweils die richtigen Mengenverhältnisse zwischen eingesetztem Altholz und diversen Substituten eingehalten werden.

Bei der gewählten Vorgehensweise handelt es sich um die so genannte „**Nutzenkorbmethode**“, bei der alle für das jeweilige Szenario wesentlichen Prozesse **inklusive** aller Systemerweiterungsprozesse gemeinsam modelliert und ausgewertet werden (siehe dazu BAUMANN et al. 2004). Das heißt alle nicht möglichen, bzw. durch die jeweilige Alternative „entgangenen“ Verwertungsoptionen werden durch die jeweiligen Systemerweiterungsprozesse in **ein und dem selben Plan** dargestellt (siehe dazu für ein besseres Verständnis die Abbildungen mit den GaBi – Plänen).

Dadurch sind auch die nicht realisierten Optionen auf dem Plan und damit letztendlich auch in der Wirkungsabschätzung enthalten und somit eine umfassende Vergleichbarkeit der einzelnen Szenarien gewährleistet.

Prozess / Plan	Output	Substitut	Output	+ jeweilige Systemerweiterung
Hausbrand	Wärme aus Altholz	Wärme aus Kohle	Wärme aus Altholz	+ Wärme aus Erdgas +Strom – Mix AT + Spanplatte 100% Frischholz + Herstellung neues Möbelstück
Thermische Verwertung KWK	Wärme aus Altholz; Strom aus Altholz	Wärme aus Erdgas; Strom – Mix AT	Wärme aus Altholz; Strom aus Altholz	+ Wärme aus Kohle + Spanplatte 100% Frischholz + Herstellung neues Möbelstück
Stoffliche Verwertung	Spanplatte 10% Altholzanteil	Spanplatte 100% Frischholz	Spanplatte 10% Altholzanteil	+ Wärme aus Kohle + Wärme aus Erdgas +Strom – Mix AT + Herstellung neues Möbelstück
Reuse	Zweiter Lebenszyklus Möbelstück	Herstellung neues Möbelstück	Zweiter Lebenszyklus Möbelstück	+ Wärme aus Kohle + Wärme aus Erdgas +Strom – Mix AT + Spanplatte 100% Frischholz

Tab. 10: Untersuchte Prozesse mit Outputs und jeweiligen Systemerweiterungen

10.7 Systemerweiterungsprozesse

In diesem Unterkapitel werden jene GaBi - Prozesse beschrieben, die für die Darstellung der oben angeführten Substitute bei den GaBi – Plänen als Systemerweiterung eingebaut wurden.

10.7.1 Systemerweiterung „Thermische Energie aus Kohle“

Als Systemerweiterungsprozess für den Hausbrand in Ungarn wurde angenommen, dass anstelle von Altholz Kohle als Brennstoff eingesetzt wird. Dies ist zwar eine willkürliche Auswahl, kann aber doch als wahrscheinlich angenommen werden, wenn das Altholz in einem einfachen, auf unterschiedliche Festbrennstoffe ausgelegten Ofen verbrannt wird.

10.7.2 Systemerweiterung „Thermische Energie aus Erdgas“; „Strom - Mix AT“

Als Systemerweiterungsprozess für die Altholz KWK wird angenommen, dass die gleiche Energiemenge, die den Prozess als Output verlässt, auf andere Weise hergestellt werden muss.

Dafür wurde für die thermische Energie der Brennstoff Erdgas gewählt, der in Österreich in hohem Maß zur Bereitstellung von Raumwärme aber auch Prozesswärme (als welche der Wärmeoutput der KWK auch dienen kann) Verwendung findet. Für die nicht erzeugte Strommenge wurde die Produktion der gleichen Menge Strom (Strom – Mix AT) angenommen.

10.7.3 Systemerweiterung „Herstellung Spanplatte OHNE Altholzanteil“

Um in den Prozessen, bei denen das Altholz anders verwertet wird und deswegen nicht in der Spanplattenproduktion eingesetzt werden kann, diese entgangene Option darzustellen, wurde der Prozess „Herstellung Spanplatte OHNE Altholzanteil“ modelliert. Dabei wurde der oben ausgeführte Prozess in so fern variiert, als dass sich als Inputmaterial 0,04 m³ Nadelholz und 0,01 m³ Laubholz wiederfinden (was analog zu den Werten für die nicht verwendeten 0,05 m³ Altholz ist). Gesteigert werden dadurch (wenn auch in nur sehr geringem Ausmaß) die Vorketten, die bei der jetzt vermehrt nötigen Frischholzproduktion auftreten. Der Plan mit all seinen Verknüpfungen entspricht dem für „Herstellung Spanplatte MIT Altholzanteil“ wie er in Abb. 6 dargestellt ist.

10.7.4 Systemerweiterung „Produktion Möbelstück“

Um in den anderen Plänen die Option der Wiederverwendung als Systemerweiterung darzustellen, wurde davon ausgegangen, dass, sofern das Möbelstück nicht wiederverwendet, sondern auf eine andere Art und Weise verwertet (und damit zerstört) wird, ein äquivalentes Möbelstück neu produziert werden muss, um den selben Nutzen zu erhalten.

Dabei wurde anfangs der Ansatz verfolgt durch Literaturrecherche Daten zu Material- und Energieverbrauch in der Möbelproduktion zu finden. Dieser Ansatz wurde allerdings schnell verworfen, da die Ergebnisse der Recherche nicht befriedigend waren. Stattdessen wurde ein in der GaBi - Datenbank vorhandener Prozess für die Herstellung einer Holztür (Innenanwendung) ausgewählt, um die Herstellung eines neuen Möbelstückes darzustellen.

Die In- und Outputs beziehen sich bei diesem Prozess auf die Herstellung von 1 m² Tür, für die in der Dokumentation ein Gewicht von ca. 27 kg angegeben werden, was in ungefähr unserem Möbelstück entspricht (theoretisch könnte man auch argumentieren, dass das neu produzierte Möbelstück eventuell aufwändiger in der

Herstellung sein könnte, was das etwas höhere Gewicht in dem Erweiterungsprozess rechtfertigt).

In den folgenden Kapiteln werden nun die einzelnen Alternativen näher beschrieben. Dabei wird die ihnen zugrunde liegende Sachbilanz erörtert.

10.8 GaBi - Plan Hausbrand

Das Möbelstück wird vom Abfallsammelzentrum abgeholt und mit einem Klein – LKW (80er Jahre, keine EURO – Normen zur Begrenzung von Schadstoffen wie z.B. CO, NO_x, Staub) nach Ungarn verbracht, für die Transportdistanz wurde 75 km angenommen, was der Entfernung Neusiedl am See (Burgenland, Österreich) und Győr (Ungarn) entspricht. Dies ist in so fern realistisch, da es im Burgenland sehr viel Sammelaktivitäten von informellen Abfallsammlern gibt und diese oft aus der Gegend um Győr stammen. Für den Transport wird ein LKW aus den 80er Jahren (Gewicht 7,5 t, 3,3 t Nutzlast) eingesetzt, der noch nicht die EURO – Normen für Abgaswerte einhält.

In Ungarn wird es mit einer Kreissäge (Energieverbrauch: Annahme 14,4 MJ für 20 kg) auf ofengerechte Stücke zersägt, als Strom – Input wurde der in GaBi 4 vorhandene Strom – Mix für Ungarn angenommen. Anschließend wird es in einem Einzelofen zur Wärmeengewinnung verbrannt, wobei davon ausgegangen wird, dass 75 % des Energieinhaltes als Nutzwärme zur Verfügung stehen und 25 % als Abwärme verloren gehen. Bei der Modellierung des Verbrennungsprozesses wurden Schwermetall- und andere Schadstoffemissionen in die Luft sowie in den Agrarboden mit Hilfe von Transferkoeffizienten nach (EMPA S.A.) berechnet.

Schadstoff	Gehalt mg/kg im Brennstoff	Transferkoeffizient Rostasche	Transferkoeffizient in Rauchgas
Arsen (As)	4	0,61	0,39
Blei (Pb)	762	0,27	0,73
Cadmium (Cd)	4,1	0,39	0,61
Chrom (Cr)	48	0,81	0,19
Kupfer (Cu)	1388	0,82	0,18
Nickel (Ni)	15,8	0,77	0,23
Quecksilber (Hg)	1,5	0,09	0,91
Zink Zn)	1217	0,33	0,67
Chlor (Cl)	1184	0,38	0,62

Tab. 11: Gehalte von Schadstoffen in Altholz (SPECKELS 2001); Transferkoeffizienten für Schadstoffe bei Verbrennung (EMPA S.A.)

Schadstoff	Gehalt in Rostasche mg/kg	Gehalt in Rauchgas (ohne Filter) mg/kg
Arsen (As)	2,44	1,56
Blei (Pb)	205,74	556,26
Cadmium (Cd)	1,599	2,501
Chrom (Cr)	38,88	9,12
Kupfer (Cu)	1138,16	249,84
Nickel (Ni)	12,166	3,634
Quecksilber (Hg)	0,135	1,365
Zink Zn)	401,61	815,39
Chlor (Cl)	449,92	734,08

Tab. 12: Gehalte von Schadstoffen in Rostasche und Rauchgas (eigene Berechnung nach SPECKELS 2001, EMPA S.A.)

In den beiden Tabellen sind einerseits die Transferkoeffizienten angeführt, andererseits die Schadstoffgehalte in Rostasche sowie Rauchgas. In der angeführten Quelle (EMPA, S.A.) wurden der Verbleib von Schadstoffen in Holzfeuerungen untersucht, wobei die Transferkoeffizienten für Rostasche, Zyklonasche und Abgas (= Flugasche) errechnet wurden. Für die Modellierung der Schadstoffemissionen in Luft und Boden des Verbrennungsprozesses wurde angenommen, dass die Werte für Zyklonasche den Werten im Rauchgas zugerechnet werden könne, da in der Einzelofenfeuerung keine Rauchgasreinigungstechnologie zur Anwendung kommt. Somit ergibt sich der Wert für die Schadstoffe im Abgas als Ergänzung der Werte für die Rostasche auf 100%. Ziel dieser Vorgehensweise war, die schon weiter oben beschriebenen Schadstoffbelastungen von Boden und Luft bezogen auf die Masse der gewählten funktionellen Einheit quantitativ darzustellen.

Für Schadstoffe, bei denen nicht mit Transferkoeffizienten gearbeitet werden konnte, wurden Literaturquellen (TATANO et al., 2009; KLIPPEL et al. S.A.) für die Ermittlung der Schadstoffwerte im Rauchgas herangezogen. Um diese Werte, die meist in mg / m^3 Abgas angegeben waren, auf ein kg Altholz (und in weiterer Folge auf das 20 kg Möbelstück) umzurechnen, wurde angenommen, dass bei der Verbrennung eines kg trockenen Holzes $9,6 \text{ Nm}^3$ Rauchgas entstehen. Der Ascheanfall bei der Verbrennung von Altholz wurde mit 7 Massen% des eingesetzten Brennmaterials (JUNGBLUTH et al. 2002) angenommen.

Durch die Kombination von Transferkoeffizienten und Literaturangaben konnte ein guter Überblick über alle wesentlichen Schadstoffemissionen erhalten werden. Lediglich die CO_2 – Emissionen, die beim direkten Verbrennungsprozess des Holzes anfallen, wurden nicht berücksichtigt, da sie auf Grund ihrer biogenen Natur nicht weiter umweltrelevant erschienen.

Als Wirkungsgrad für die Verbrennung wurde 75% angenommen. Dadurch stehen 75% der im Brennstoff gespeicherten Energie als Nutzwärme zur Verfügung, 25% gehen als Abwärme ungenutzt verloren. Bei diesem Wert handelt es sich um eine Annahme, die darauf beruht, dass moderne Stückholzkessel Wirkungsgrade von bis zu 90% erreichen (www.biomaseverband.at), bei älteren Anlagen der Wirkungsgrad

aber nicht so hoch liegt. 75% dürften in diesem Zusammenhang als realistisch betrachtet werden, obwohl sicher auch alte Heizungssysteme in Betrieb sind, die mit noch wesentlich schlechterem Wirkungsgrad arbeiten.

Der Schadstoffeintrag in den Agrarboden wird unter der Annahme erklärt, dass die anfallende Asche nach der Verbrennung im Einzelofen ohne weitere Vorbehandlung in der Umgebung verstreut wird (angenommen wird hier eine ländliche Umgebung mit Wiesen und Feldern im Umkreis des Hauses). Wesentlich ist in diesem Zusammenhang der durch das Altholz bedingte Schadstoffeintrag in die Ökosphäre, der Nährstoffinput durch die Asche wird allerdings vernachlässigt.

Bei der Betrachtung der Abbildungen zu den jeweiligen GaBi – Plänen sei darauf hingewiesen, dass im oberen Bereich die eigentliche Verwertungsoption dargestellt ist, im unteren Bereich die für das jeweilige Szenario vorgenommenen Systemerweiterungsprozesse.

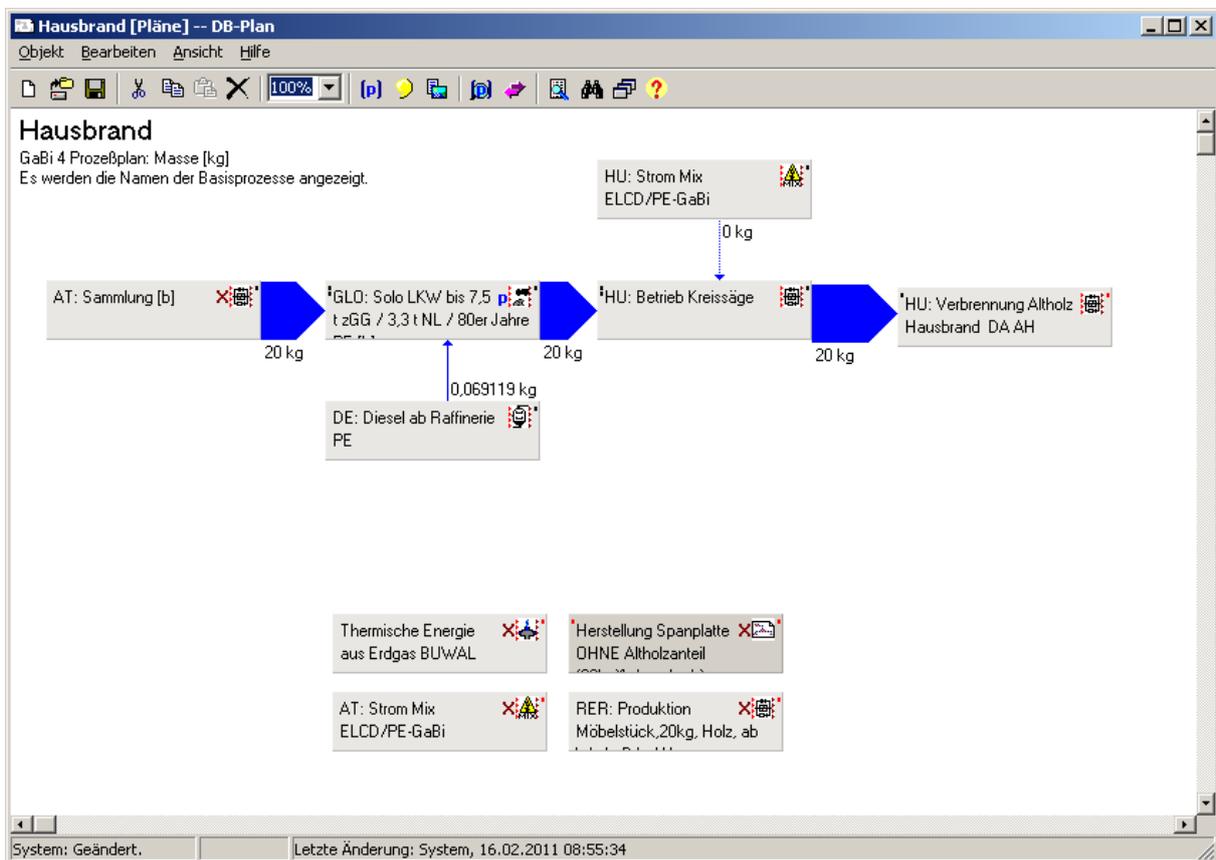


Abb. 4: GaBi - Plan „Alternative Hausbrand“

10.9 GaBi - Plan Thermische Verwertung KWK

Das Möbelstück wird im Abfallsammelzentrum gesammelt und anschließend mit einem LKW zur Verbrennungsanlage gebracht. Der eingesetzte LKW (Gewicht 20 – 26 t, 17,3 t Nutzlast) entspricht der Abgasnorm EURO 4. Als Entfernung wurde von 350 km ausgegangen, unter der Annahme, dass sich die Verbrennungsanlage eher

im mittleren (Oberösterreich) oder westlichen Teil (Vorarlberg) Österreichs befindet. Die Kilometeranzahl stellt dabei einen geschätzten Mittelwert dar. Dort wird es mit einem stationären Häcksler zu Hackgut verarbeitet. Der Betrieb des Häckslers wurde in Anlehnung an einen GaBi 4 Datensatz modelliert, wobei ein vorhandener Prozess adaptiert wurde. Als Betriebsmittel benötigt der Häcksler einerseits Strom (Strom – Mix AT), andererseits Schmiermittel.

Als Wertstoff - Output entstehen im Zuge der Verbrennung Strom und Wärme. Um die Werte für die emittierten Schadstoffe zu ermitteln wurde nicht, wie beim Hausbrand, mit Transferkoeffizienten gearbeitet, sondern Literaturquellen für Abgasmessungen (BUWAL S.A.) und gesetzliche Grenzwerte (ABFALLVERBRENNUNGSVERORDNUNG), deren Einhaltung vorausgesetzt wird und die damit die maximal möglichen Emissionen darstellen, herangezogen. Schadstoffemissionen in den Boden wurden mit Null angenommen, da von einer ordnungsgemäßen Entsorgung der belasteten Asche auf einer Reststoffdeponie ausgegangen wird. Somit sind nur luftseitige Emissionen relevant, die allerdings im Vergleich zum Hausbrand wesentlich geringer ausfallen, da die Anlage dem Stand der Technik entspricht und gesetzliche Grenzwerte eingehalten werden.

Als Gesamtanlagenwirkungsgrad wird 85 % angenommen, wobei davon ausgegangen wird, dass 70 % der eingesetzten Energie als Nutzwärme abgegeben werden, 15 % als elektrische Energie und 15 % als Abwärme verloren gehen. Dieser Wirkungsgrad ist relativ hoch angesetzt, bei modernen Anlagen aber durchaus Stand der Technik.

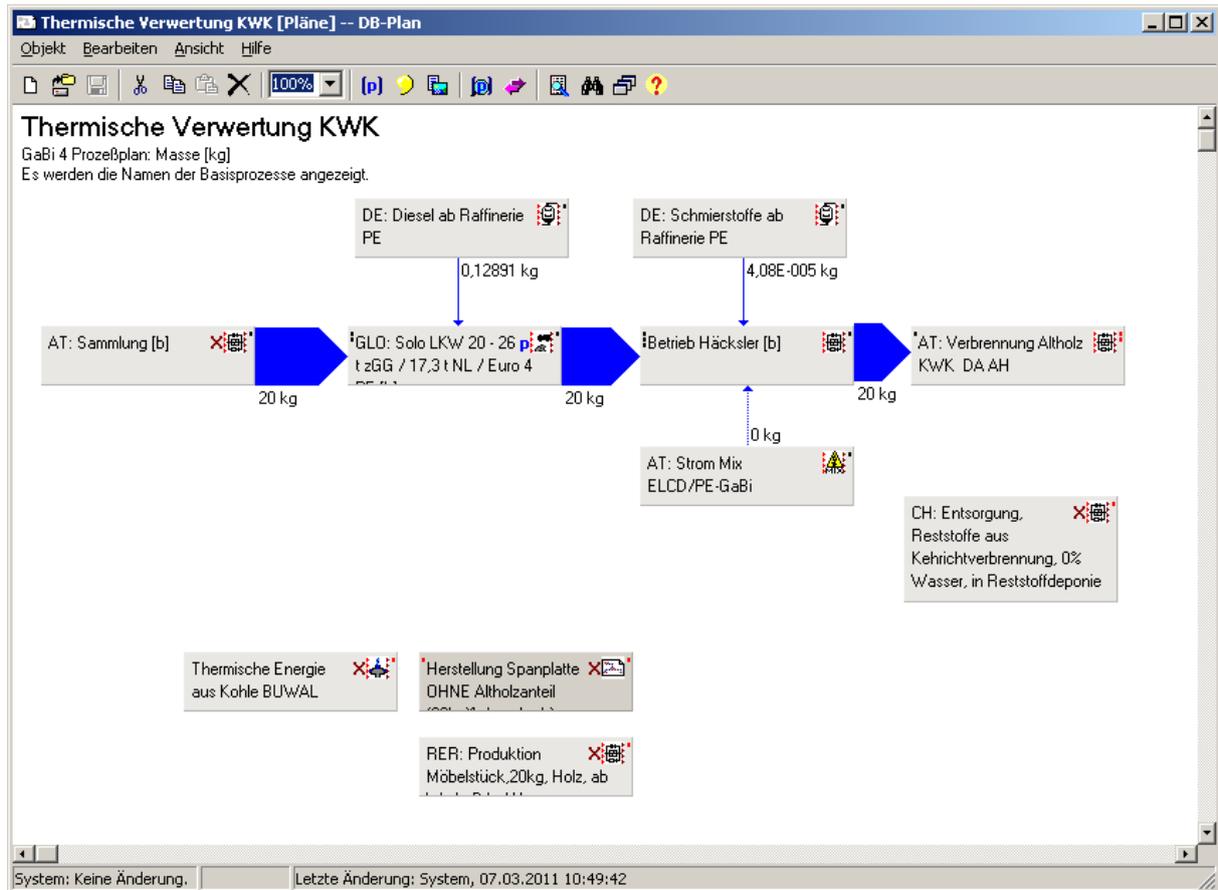


Abb. 5: GaBi – Plan „Alternative Thermische Verwertung KWK“

10.10 GaBi - Plan Stoffliche Verwertung Spanplattenwerk

Das Möbelstück wird im Abfallsammelzentrum gesammelt und analog zur Variante „Thermische Verwertung KWK“ mit einem LKW (wie bei „Thermische Verwertung KWK“ 17,3 t Nutzlast, EURO 4) zur Verwertungsanlage gebracht. Hier wurde, analog zur Alternative „Thermische Verwertung KWK“ auch von 350 km Transportdistanz ausgegangen, was wiederum einen geschätzten Mittelwert darstellt (große Spanplattenwerke befinden sich z.B. in Unterradelberg (Niederösterreich) oder in Wörgl und St. Johann (beide Tirol). Dort wird es mit dem Häcksler unter Verbrauch von Strom und Schmiermitteln zu Hackschnitzeln verarbeitet.

Die daraus entstehenden 20 kg Altholzschnitzeln finden anschließend bei der Herstellung einer Spanplatte als Sekundärrohstoff Verwendung, wobei angenommen wird, dass 10 % Altholz gemeinsam mit 90 % Frischholz zur Herstellung der Spanplatte eingesetzt wird, was der in Österreich üblichen Menge entspricht (in anderen Ländern ist dieser Wert oft wesentlich höher). Technologisch wären hier Werte bis 66 % Altholz realisierbar (WINDSPERGER 2010).

Um einen Basisprozess für die Herstellung der Spanplatte mit Altholzanteil zu modellieren, wurden schrittweise Berechnungen durchgeführt, an deren Ende ein Prozess stand, der 1 kg Altholzinput aufweist, was (unter der Annahme, dass 1 m³

Spanplatte 500 kg wiegt) einem Altholzinput von 0,005 m³ entspricht. Dieser wird gemeinsam mit 0,035 m³ Nadelholz und 0,01 m³ Laubholz zu 0,05 m³ Spanplatte verarbeitet. Diese Aufteilung entspricht einem Verhältnis von

- 70 % Nadelholz
- 20 % Laubholz
- 10 % Altholz

Dieses Verhältnis entspricht einerseits ungefähr dem Verhältnis zwischen Nadel und Laubholz im GaBi - Datensatz, deckt sich aber auch mit Werten, die für die Zusammensetzung von Spanplatten angegeben werden (www.nachhaltigesbauen.de).

Dabei wurden die wesentlichen Inputs und Outputs eines in der GaBi Datenbank vorhandenen Spanplattenprozesses übernommen und das Verhältnis Altholz zu Frischholz auf 1:9 gesetzt. Mit Hilfe dieses Verhältnisses konnten die Mengen für die unterschiedlichen Inputs für verschiedene Altholz mengen errechnet werden, bis schließlich alle Input – Werte, die beim Einsatz von 1 kg Altholz auftreten feststanden. Weiters wurden anhand dieses Prozesses die Mengen der Zusatzstoffe (Ammoniak, Paraffin, Harnstoff – Formaldehydharz) relativ zur eingesetzten Altholzinput - bzw. Spanplattenoutput – Menge errechnet und im GaBi – Plan mit den dazugehörigen Input – Prozessen verknüpft (siehe Tab. 13).

Input	Einheit	0,1 m3 Altholz	1 m3 Altholz (Faktor 10)	1 kg Altholz (Faktor 0,005)	Einheit
Belastetes Altholz (Möbel) [Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen]	Volumen	0,1	1	0,005	m3
CH: Behandlung, Abwasser Spanplattenproduktion, in Abwasserreinigung, (Volumen	0,036	0,36	0,0018	m3
RER: Ammoniak, flüssig, ab Regionallager [Anorganika]	Masse	0,64	6,4	0,032	kg
RER: Chlorwasserstoff, 30% in H2O, ab Werk [Anorganika]	Masse	1,36	13,6	0,068	kg
RER: Harnstoff-Formaldehydharz, ab Werk [Herstellung]	Masse	51	510	2,55	kg
RER: Industrierestholz, Mix, Laubholz, u=40%, ab Werk [Gewinnung]	Volumen	0,2	2	0,01	m3
RER: Industrierestholz, Mix, Nadelholz, u=40%, ab Werk [Gewinnung]	Volumen	0,7	7	0,035	m3
RER: Paraffin, ab Werk [Organisch]	Masse	11	110	0,55	kg
Thermische Energie (MJ) [Thermische Energie]	Energie (ur	1300	13000	65	MJ
Elektrische Energie	Energie (ur	375	3750	18,75	MJ
Wasser [Wasser]	Masse	304	3040	15,2	kg
Output Spanplatte (1 m3=500 kg)	Volumen	1	10	0,05	m3

Tab. 13: Flüsse für Spanplattenherstellung

Der Vorteil an dieser Vorgehensweise besteht darin, dass dieser Basisprozess anschließend im Plan für die stoffliche Verwertung als Sub – Plan eingefügt werden konnte, und anschließend mit dem 20 kg Massenstrom aus der Altholzaufbereitung verknüpft wurde.

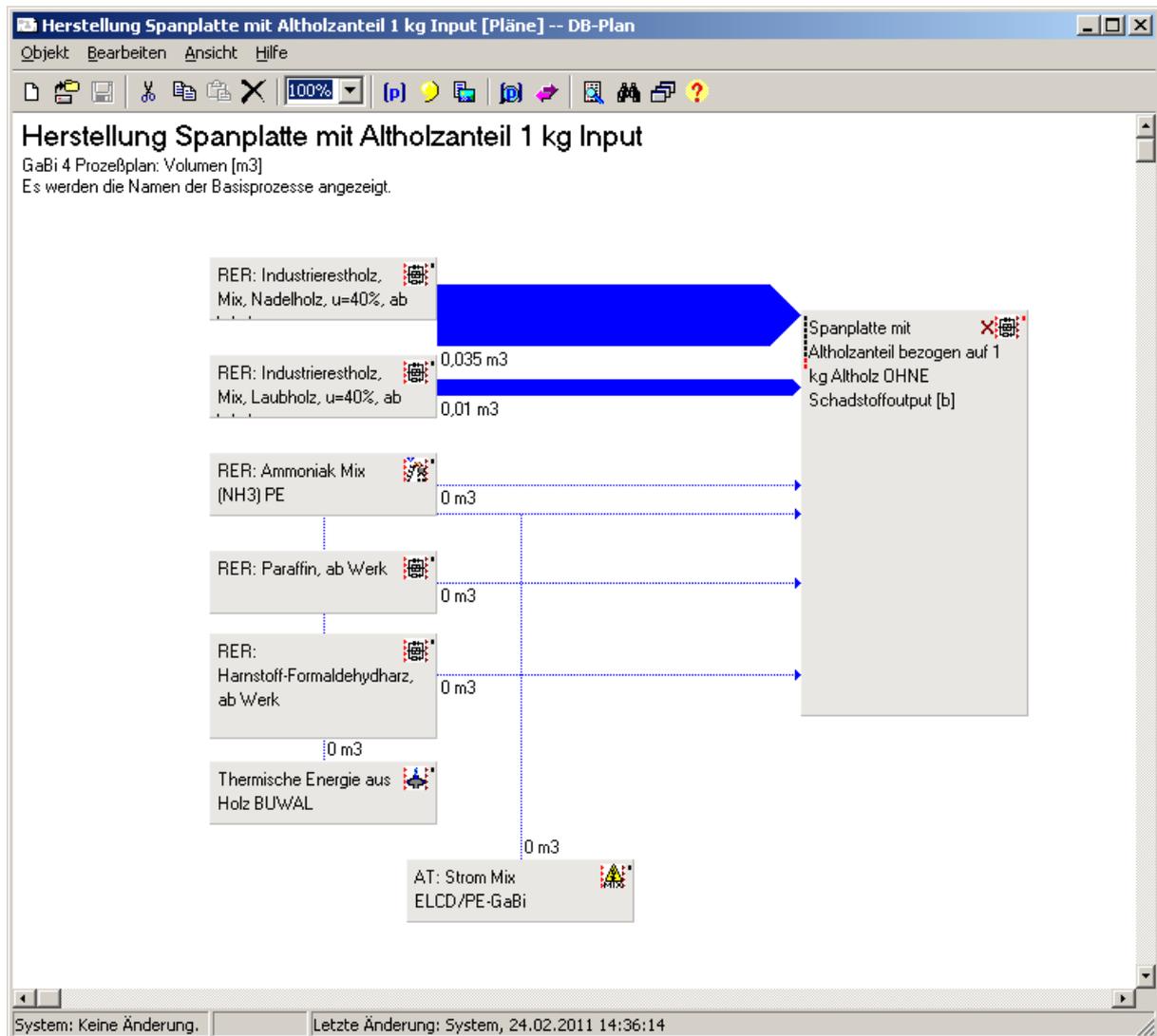


Abb. 6: GaBi – Plan „Herstellung Spanplatte mit Altholzanteil“

Nicht näher berücksichtigt wurde für die Erstellung des Planes die Schadstoffanreicherung im neuen Produkt. Dies war anfangs angedacht, wurde aber dann verworfen, weil bei einer ordnungsgemäßen Nutzung der Spanplatte durch die Schadstoffe keine Gefährdung zu erwarten ist und diese deshalb auch nicht als Emissionsfluss in die Umwelt dargestellt werden kann. Problematisch wäre z.B. der Fall, dass die neue Spanplatte am Ende ihrer Nutzungsdauer in einer nicht dafür ausgelegten Anlage verbrannt wird, diese Option liegt allerdings außerhalb der gewählten Systemgrenzen für die Bilanzierung und wurde deshalb nicht modelliert.

Es sei hier angemerkt, dass durch die Erweiterung der Systemgrenzen bzw. durch andere, noch zu erarbeitende Methoden, der Versuch unternommen werden könnte, die Schadstoffanreicherung mit Hilfe der GaBi – Software zu modellieren und auszuwerten. Hier besteht jedenfalls Potential für weitere wissenschaftliche Untersuchungen.

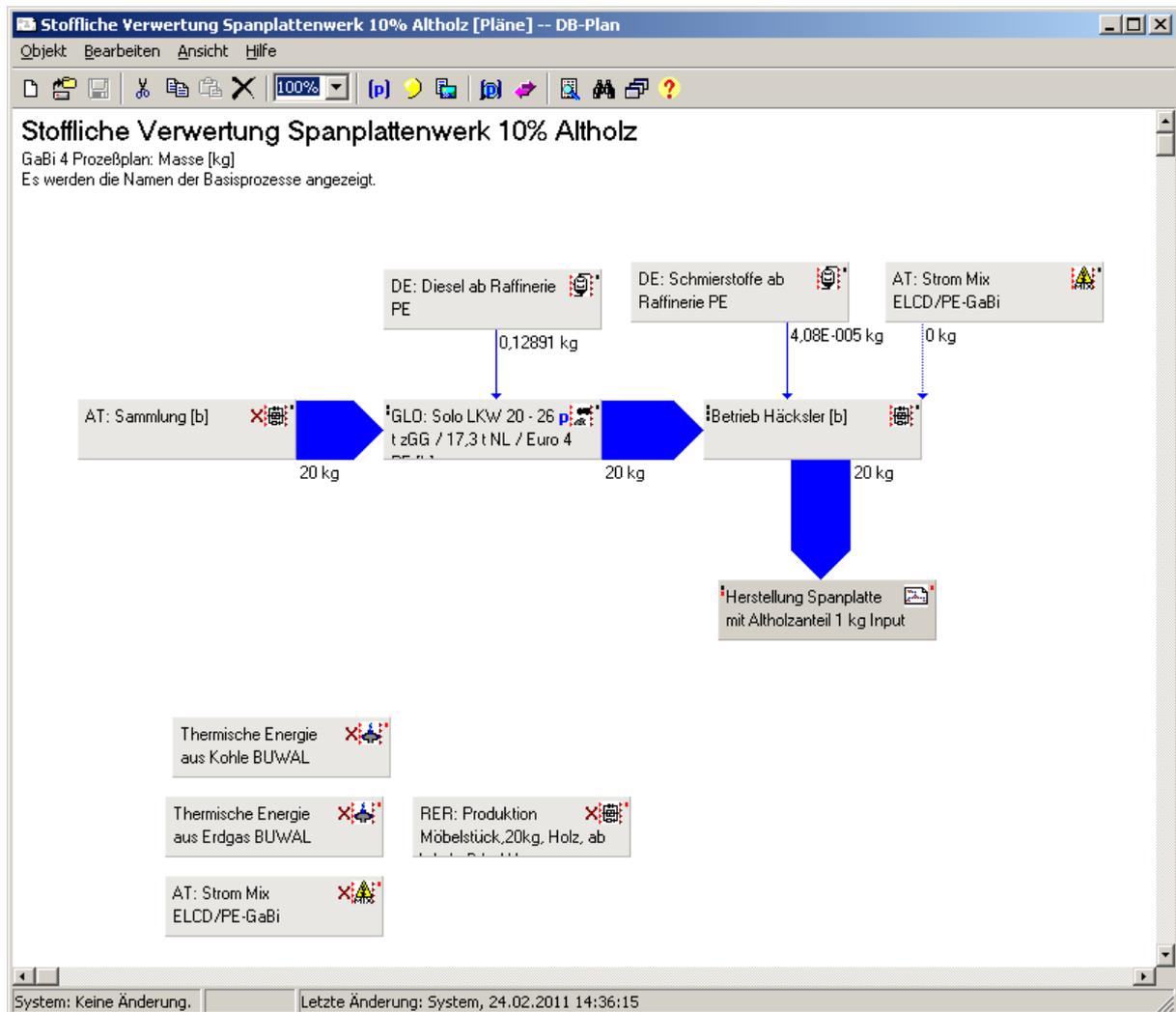


Abb. 7: GaBi – Plan „Alternative Stoffliche Verwertung Spanplattenwerk“

10.11 GaBi Plan Re - Use

Das Möbelstück wird in einem Abfallsammelzentrum gesammelt und anschließend mit einem LKW (80er Jahre, keine EURO – Normen zur Begrenzung von Schadstoffen wie z.B. CO, NO_x, Staub) nach Ungarn transportiert, angenommen wurde abermals, wie weiter oben bei der Alternative „Hausbrand“ eine Transportdistanz von 75 km. Dort wird es entweder vom Sammler selbst wiederverwendet oder auf einem Flohmarkt verkauft und von dem Käufer genutzt. Für diese zwei Optionen wurde kein Unterschied angenommen, da es sich lediglich um relativ kurze Transportprozesse handelt, die aber nicht weiter ins Gewicht fallen sollten, da der Haupttransport von Österreich nach Ungarn schon im Plan berücksichtigt ist.

Es wurde davon ausgegangen, dass das Möbelstück vor seiner Wiederverwendung nicht weiter repariert oder bearbeitet werden muss. Diese Reparaturen wären im Fall der Fälle auch schwer in der Sachbilanz auszudrücken und vermutlich von ihrem

quantitativen Ausmaß her eher gering. Außerdem kann man die Annahme treffen, dass nicht mehr brauch- bzw. verkaufbare Möbel eher im Hausbrand entsorgt werden, eine Option, die an einer anderen Stelle eingehend untersucht wurde.

Die Schadstoffbelastung im Holz spielt bei dieser Alternative keine Rolle, da Schadstoffe während der Nutzung des Holzproduktes gebunden sind und keine negative Beeinträchtigung zu erwarten ist. Natürlich werden die Schadstoffe dann ein Problem, wenn auch der zweite Lebenszyklus durchlaufen ist und eine eventuelle Entsorgung für das Möbelstück aktuell wird. Damit ist allerdings zeitlich zu weit in der Zukunft zu rechnen (man kann als zweiten Lebenszyklus 10 bis >50 Jahre annehmen), außerdem kann heute nicht abgeschätzt werden, welche Technologien bzw. Verwertungsmöglichkeiten zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehen werden.

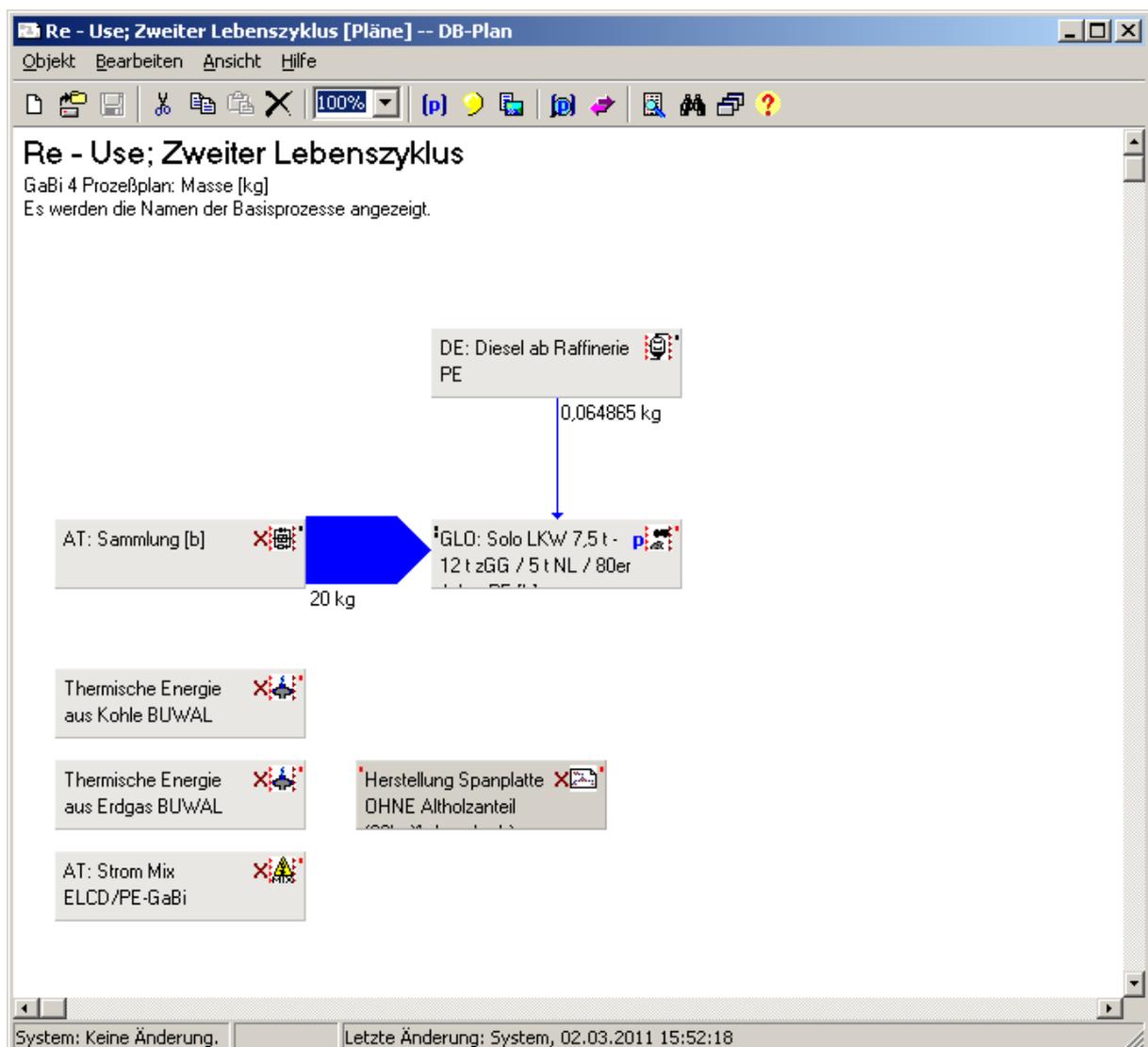


Abb. 8: GaBi – Plan „Alternative Re - Use; Zweiter Lebenszyklus“

11. Wirkungsabschätzung der untersuchten Alternativen

Im folgenden Kapitel werden die in der Sachbilanz modellierten Alternativen hinsichtlich ihrer Wirkungskategorien untersucht. Die Wirkungsabschätzung dient dazu, die potenziellen Umweltwirkungen der untersuchten Alternativen hinsichtlich ihrer Größe und Bedeutung zu bewerten. Innerhalb der einzelnen Wirkungskategorien werden die Umweltauswirkungen durch die GaBi - Software zu einer Leitsubstanz bzw. einem Leitindikator aggregiert (z.B. CO₂ – Äquivalent für Beitrag zum Treibhauseffekt) um die einzelnen Wirkungen zusammenzufassen und dadurch die unterschiedlichen Alternativen vergleichbar zu machen (SPECKELS 2001). Näher betrachtet werden in dieser Arbeit:

- Treibhauspotential (GWP 100 Jahre) [kg CO₂ – Äquivalent]
- Versauerungspotential (AP) [kg SO₂ – Äquivalent]
- Eutrophierungspotential (EP) [kg Phosphat – Äquivalent]
- Humantoxizitätspotential (HTP) [kg DCB – Äquivalent]

Treibhauspotential, Versauerungspotential und Eutrophierungspotential wurden analog zu einer Studie (SPECKELS 2001) als gängige Wirkungskategorien in Ökobilanzierungen gewählt, die schon erwähnten Probleme beim Hausbrand von Altholz lassen eine besondere Relevanz der Wirkungskategorie Humantoxizitätspotential erwarten.

Es werden bei der Auswertung jeweils zuerst die absoluten Ergebnisse der vier untersuchten Alternativen in einem Diagramm gegenübergestellt und dadurch die Auswirkungen in den gewählten Wirkungskategorien anschaulich dargestellt. An diesem Punkt kann schon die Feststellung getroffen werden, welche der Alternativen in der jeweiligen Wirkungskategorie am Besten und am Schlechtesten abschneidet.

Im Anschluss daran werden anhand der Auswertung, die mit der GaBi Software durchgeführt wird die wesentlichen Faktoren bzw. Flüsse / Prozesse ausfindig gemacht, welche das Ergebnis für die jeweilige Kategorie besonders stark beeinflussen. Die Ergebnisse werden in Microsoft Excel bearbeitet und grafisch anschaulich in Balkenform dargestellt, um einen Überblick über die einzelnen Einflussfaktoren zu bekommen und dadurch zu verstehen, wie das Ergebnis für die jeweilige Gesamtkategorie zustande gekommen ist.

Anhand dieser Erkenntnisse werden anschließend die Ergebnisse erklärt und diskutiert. Für Kategorien, die für die Fragestellung der Arbeit von besonderer Bedeutung sind, werden zusätzliche verschiedene Parameter variiert, um näher zu beleuchten, wie sehr sie Einfluss auf das Ergebnis nehmen (Sensitivitätsanalyse). Gewählt wurde für die Auswertung immer die CML 2001 Methode.

11.1 Wirkungskategorie Treibhauspotential (GWP 100 Jahre)

Das Treibhauspotential beschreibt die Auswirkungen, welche die unterschiedlichen Alternativen bezüglich des anthropogenen Treibhauseffekts¹ haben. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **Global Warming Potential**, welches auf unterschiedliche Zeiträume errechnet werden kann (20, 50 oder 100 Jahre) (SPECKELS 2001).

Im Fall dieser Arbeit wird das GWP für einen Zeitraum von 100 Jahren errechnet, das heißt die Auswirkungen der relevanten Spurengase auf den Treibhauseffekt innerhalb der angenommenen Verweildauer von 100 Jahren in der Atmosphäre wird als Auswirkung dargestellt. Als Parameter, durch den die Wirkung der verschiedenen Treibhausgase angegeben wird, fungiert **kg CO₂ – Äquivalent**. In Abb. 9 ist das GWP der untersuchten Alternativen dargestellt.

Bezüglich der Berechnung des GWP in dieser Studie sei noch angemerkt, dass

- Der Ausstoß von CO₂ bei Verbrennungsprozessen von Holz als biogen angenommen wird und deshalb nicht weiter Berücksichtigung findet
- Mögliche CO₂ - Speicherungs- bzw. CO₂ - Senkeneffekte, wie sie im Zusammenhang mit Holzprodukten oft diskutiert und in Ökobilanzen berücksichtigt werden in der vorliegenden Studie außen vor gelassen werden

Somit sind für das Ausmaß des GWP hauptsächlich die angenommenen Systemerweiterungsprozesse relevant.

¹ Die Hintergründe und Wirkungsweisen des anthropogenen Treibhauseffekts werden an dieser Stelle als bekannt vorausgesetzt. Sollte der interessierte Leser in diesem Gebiet nicht ausreichend informiert sein, sei er auf die umfangreiche Literatur zu diesem Thema verwiesen (z.B. umfassende und aktuelle Informationen und Reports auf der Homepage des Intergovernmental Panel on Climate Change: www.ipcc.ch).

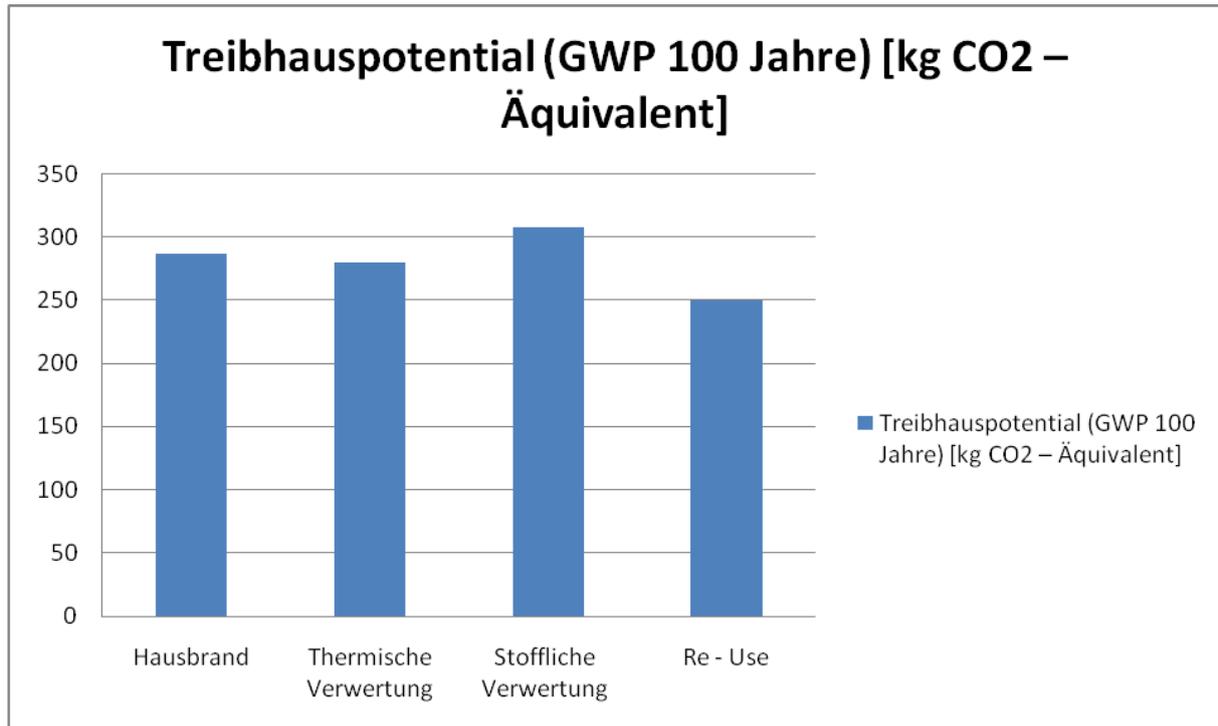


Abb. 9: Treibhauspotential total (GWP 100 Jahre) [kg CO₂ – Äquivalent] der untersuchten Alternativen

Wie aus Abb. 9 ersichtlich wird, weist die Alternative „Stoffliche Verwertung“ bezüglich des GWP die höchsten Werte auf, die alternative Re – Use schneidet am Besten ab. Generell ist aber festzustellen, dass die vier Alternativen bezüglich ihres Beitrags zu Treibhauseffekt nicht sehr stark divergieren. Auf Grund dieser Tatsache wurde innerhalb der GaBi Bilanz – Auswertung versucht, den Anteil der Sachbilanz ausfindig zu machen, der am Meisten zur Wirkungskategorie Treibhauspotential beiträgt. Das Ergebnis ist in Abb. 10 dargestellt.

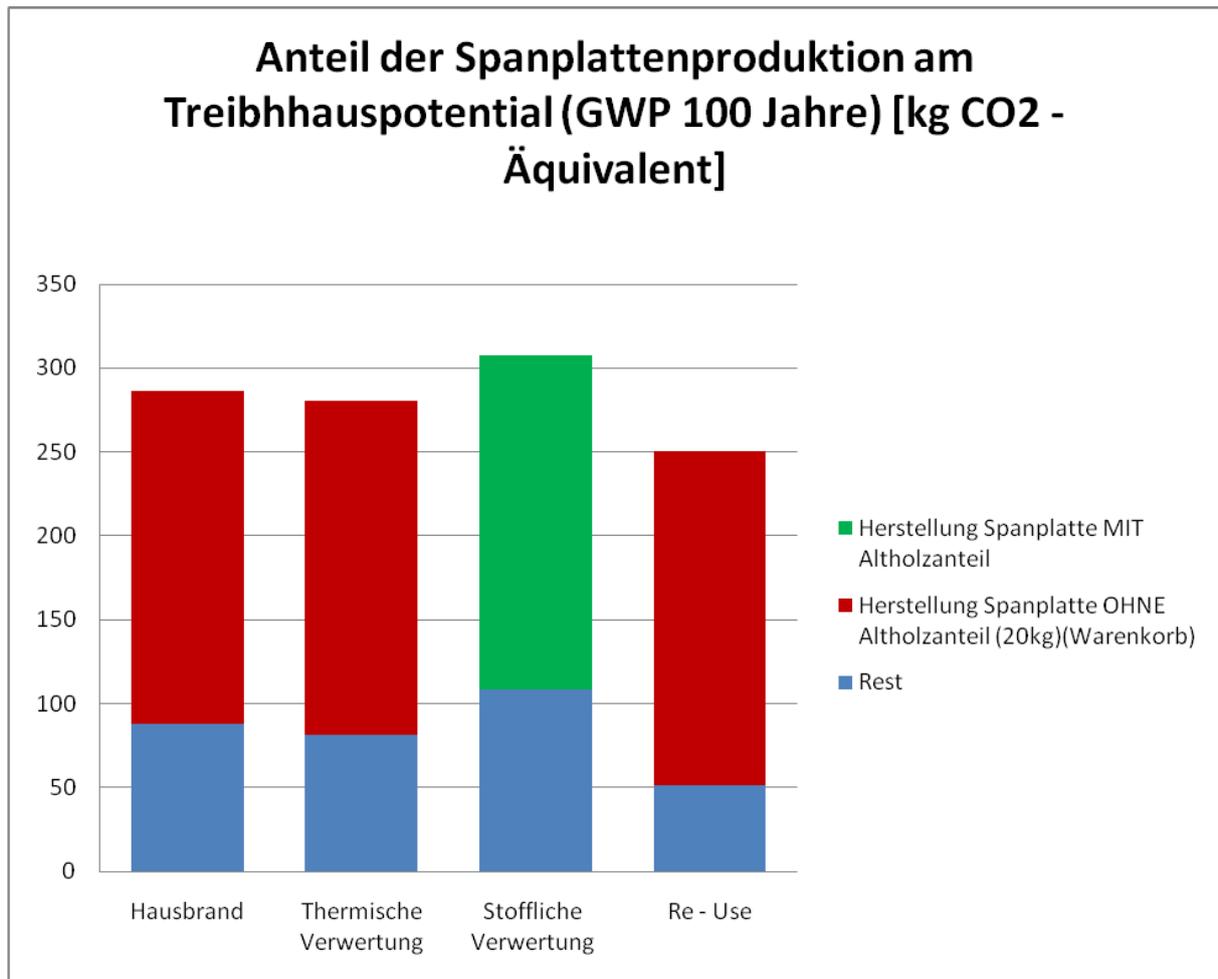


Abb. 10: Darstellung des Anteils der Spanplattenproduktion am GWP

Der mit Abstand größte Verursacher von treibhausrelevanten Emissionen ist bei jeder der vier Alternativen der Herstellungsprozess einer Spanplatte. Dies gilt sowohl für den eigentlichen Herstellungsprozess **MIT** Altholzanteil in der Alternative Stoffliche Verwertung als auch für den Systemerweiterungsprozess Herstellung Spanplatte **OHNE** Altholzanteil welcher als Prozess für den Warenkorb unter der Annahme modelliert wurde, dass die 20 kg nicht eingesetztes Altholz (funktionelle Einheit) durch eine äquivalente Menge Frischholz ersetzt wird. Der Unterschied zwischen diesen beiden Herstellungsprozessen ist allerdings bezogen auf das GWP vernachlässigbar klein, was vermutlich daran liegt, dass sich vor allem der Verbrauch von Energie und Zusatzstoffen beim Spanplattenherstellungsprozess auf den Ausstoß von treibhauswirksamen Gasen auswirkt und dieser für beide Prozesse als gleich groß angenommen wird (was durch die relativ geringen Menge von 10 % Altholz zu begründen ist).

Betrachtet man die restlichen treibhausrelevanten Emissionen (summiert unter „Rest“), so zeigt sich deutlich, dass hier das Reuse Szenario am besten abschneidet, was vor allem daran liegt, dass der Prozess der Herstellung eines neuen Möbelstückes bezüglich Treibhausemissionen auch relativ stark zu Buche schlägt. Dieser Umstand wird in Abb. 11 dargestellt.

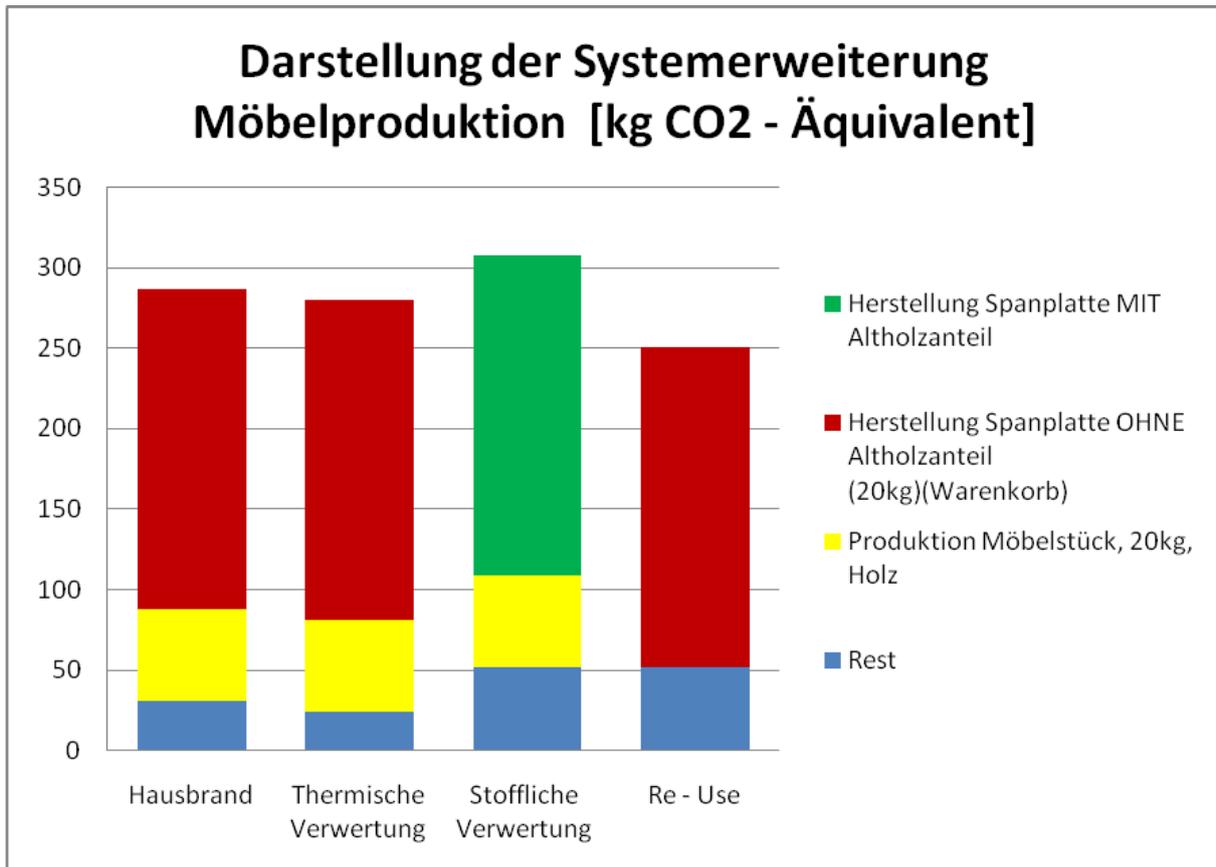


Abb. 11: Darstellung des Anteils der Systemerweiterung Möbelproduktion am GWP

Der gelb eingefärbte Teil des Balkens repräsentiert den Anteil des Systemerweiterungsprozesses in dem die Neuproduktion eines Möbelstückes angenommen wird, da dieses bei seiner thermischen (Hausbrand oder KWK) bzw. stofflichen Nutzung nicht mehr zum Gebrauch zur Verfügung steht.

Wäre diese Systemerweiterung nicht in der Bilanz berücksichtigt, würde die Alternative „Hausbrand“ bezüglich des GWP am besten abschneiden, da es sich hierbei bezüglich ihrer Rahmenbedingungen um eine sehr „einfache“ Verwertungsoption handelt, die, abgesehen von der eigentlichen Verbrennung, die als CO₂ - neutral gewertet wird, mit sehr wenig zusätzlichen Prozessen verbunden ist.

Da man die nötige Herstellung eines neuen Möbelstückes bei allen Alternativen außer der Reuse Option aber keinesfalls außer Acht lassen darf, da diese genau den Nutzen, der sich durch einen zweiten Lebenszyklus ergibt, abbildet, schneidet diese Verwertungsalternative bezüglich des GWP eindeutig am Besten ab.

Es wurde anschließend noch versucht, den Posten, der in der Grafik als „Rest“ definiert ist hinsichtlich der Prozesse, aus welchen er sich zusammensetzt, weiter aufzuschlüsseln. Dabei wurde ersichtlich, dass hinsichtlich des GWP die nächst größeren Kategorien ebenfalls Systemerweiterungsprozesse darstellen (also z.B. die

Erzeugung von thermischer Energie aus Erdgas, thermischer Energie aus Kohle oder die Erzeugung von elektrischem Strom (Strom – Mix AT). Die eigentlichen Verwertungsprozesse (also z.B. der Transport, der Betrieb der Kreissäge etc.) sind hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen so gering, dass eine grafische Darstellung hier keinen Sinn macht.

Es kann also an dieser Stelle festgehalten werden, dass die eigentlichen Verwertungsprozesse bezüglich ihrer Umweltauswirkungen im Vergleich zu den jeweiligen Systemerweiterungsprozessen extrem geringe Umweltauswirkungen haben. Dies gilt nicht nur für das GWP sondern auch für die anderen drei untersuchten Wirkungskategorien Versauerungspotential, Eutrophierungspotential und (bedingt) Humantoxizität.

Eine Erklärung dafür ist z.B. die mit 75 km bis 350 km relativ geringe Transportdistanz, vor allem auch weil das Transportgewicht der funktionellen Einheit nur 20 kg beträgt. Eine weitere Erklärung ist die angenommene CO₂ - Neutralität der Verbrennungsprozesse. Dadurch schneiden alle Verbrennungsprozesse des Holzes automatisch besser ab, als Verbrennungsprozesse mit fossilen Brennstoffen (Erdgas, Kohle).

Eine Ausnahme stellt in diesem Zusammenhang die Herstellung der Spanplatte MIT Altholzanteil dar, welche bezüglich ihrer Umweltauswirkungen in der Größenordnung des Systemerweiterungsprozesses „Herstellung Spanplatte OHNE Altholzanteil“ liegt (siehe Abb. 10). Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass auch für die Herstellung der Spanplatte MIT Altholzanteil die gleichen umweltrelevanten Prozesse nötig sind, wie für die Herstellung der Spanplatte OHNE Altholzanteil. Dies liegt auch, wie schon weiter oben erwähnt, an der hier sehr geringen Annahme von 10 % Altholzinput.

11.2 Wirkungskategorie Versauerungspotential

Das Versauerungspotential gibt den Betrag der untersuchten Alternativen zur Versauerung an. Verursacht wird die Versauerung hauptsächlich durch SO₂ - und NO_x - Emissionen, die als Saure Niederschläge niedergehen und den pH – Wert des Bodens oder von Gewässern verringern. Schäden an Gebäuden oder Waldbeständen (Waldsterben) sind die Folge. Summiert werden die einzelnen Versauerungs - relevanten Emissionen unter dem Faktor **kg SO₂ – Äquivalent**. In Abb. 12 ist das gesamte Versauerungspotential der untersuchten Alternativen dargestellt.

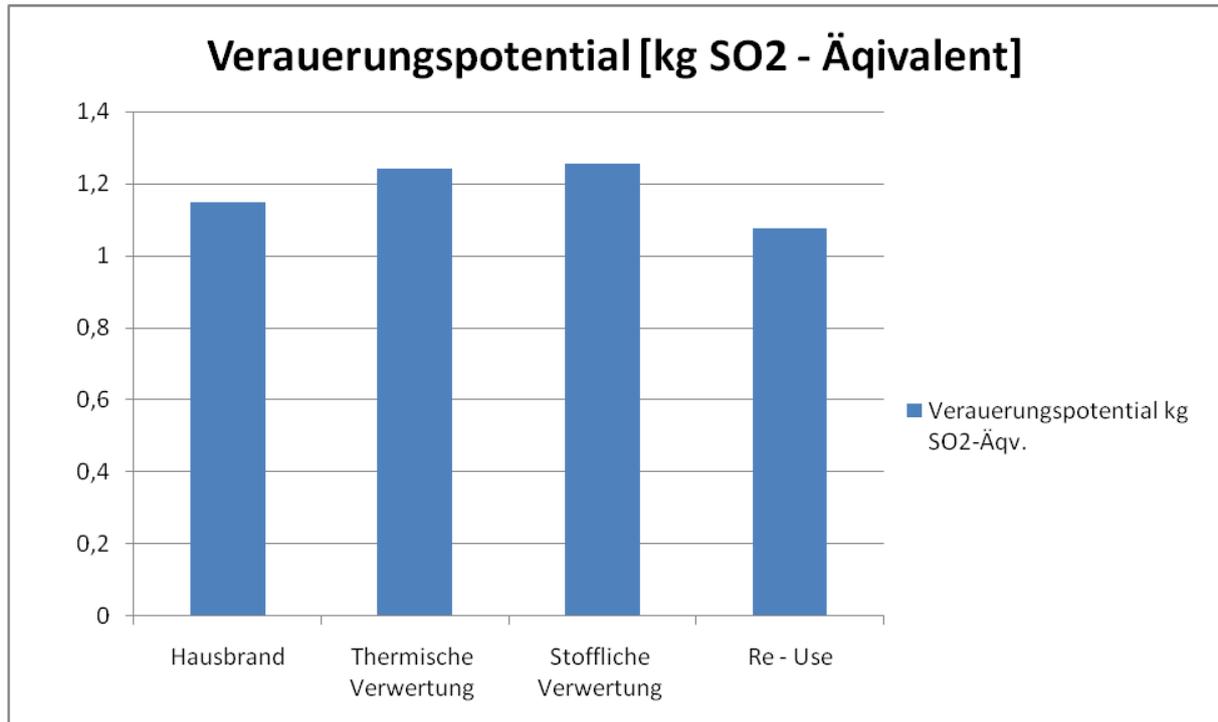


Abb. 12: Versauerungspotential total [kg SO₂ – Äquivalent] der untersuchten Alternativen

Am schlechtesten schneidet in dieser Wirkungskategorie die Alternative Stoffliche Verwertung ab, am besten abermals die Alternative Wiederverwendung / Reuse.

In Abb. 13 ist analog zum GWP wieder der größte durch GaBi ausgewiesene Posten zur Wirkungskategorie Versauerungspotential dargestellt.

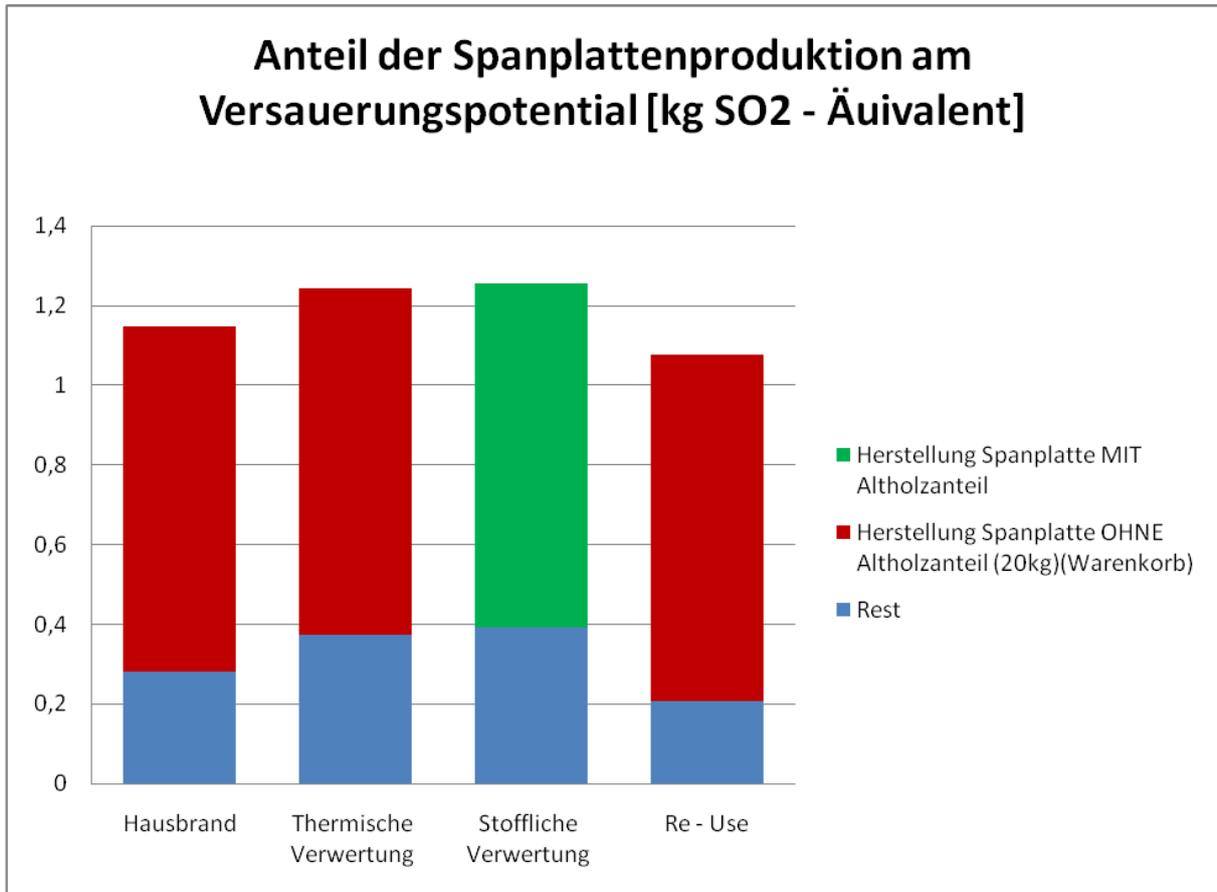


Abb. 13: Anteil der Spanplattenproduktion am Versauerungspotential

Es lässt sich auch für diese Alternative feststellen, dass der größte Posten am Versauerungspotential abermals die Herstellung der Spanplatten (mit und ohne Altholzanteil) ist. Auch in diesem Fall ist, (analog zum GWP) so gut wie kein Unterschied zwischen der Spanplatte mit und der Spanplatte ohne Altholzeinsatz festzustellen, was auch hier an den nicht variierten Energie- und Hilfsstoffmengen liegen dürfte.

In Abb. 14 werden wieder die jeweils nächst - größeren Posten analysiert, die laut GaBi - Auswertung zur Wirkungskategorie Versauerung beitragen. Dies ist einerseits, wie beim GWP, die Produktion des Möbelstücks, andererseits in dieser Wirkungskategorie die Systemerweiterung „Erzeugung thermischer Energie aus Kohle“.

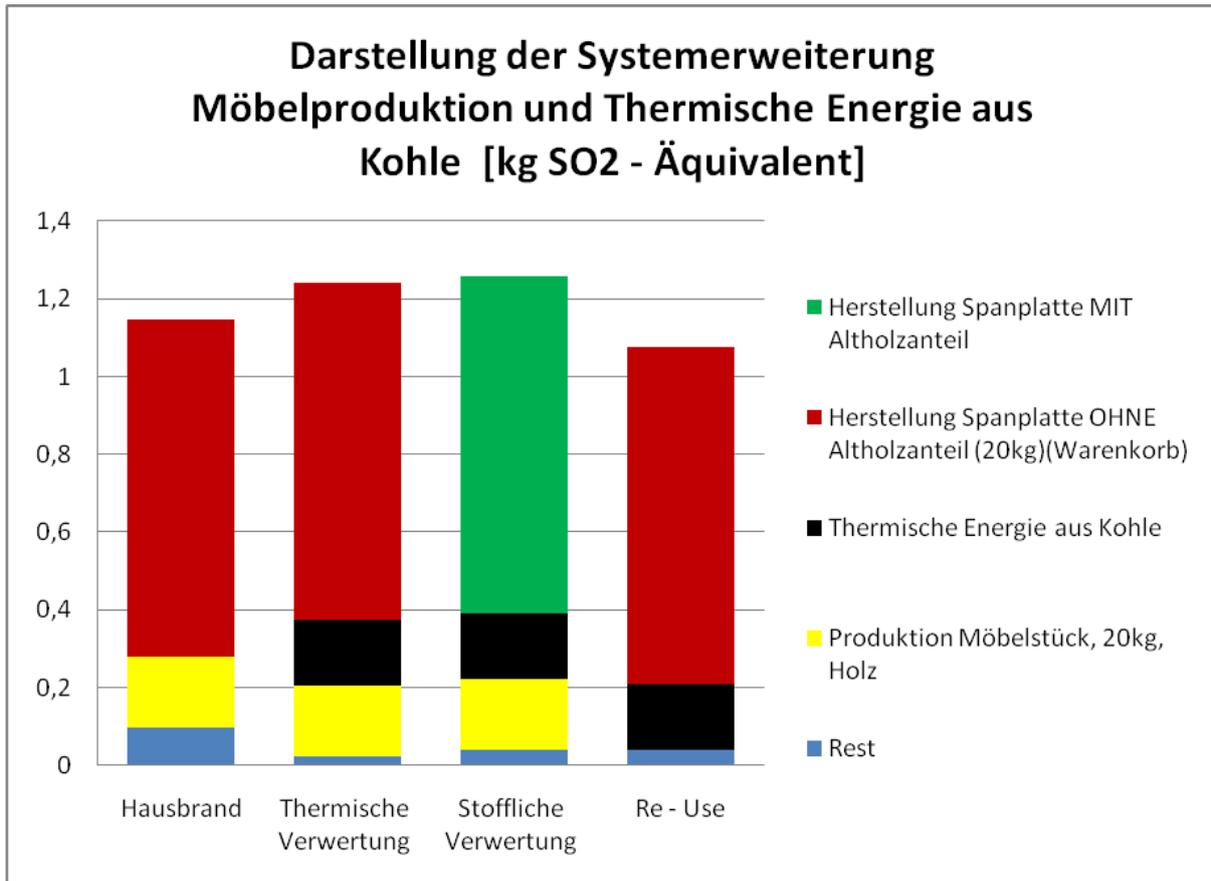


Abb. 14: Darstellung der Systemerweiterung Möbelproduktion und Thermische Energie aus Kohle

Analysiert man das Diagramm dann zeigt sich, dass die Alternative Re - Use wieder dadurch gut abschneidet, dass kein neues Möbelstück produziert werden muss. Das gute Ergebnis wird aber dadurch geschmälert, dass Kohle in den Alternativen als Systemerweiterung zur Energieproduktion eingesetzt wird, in denen keine Heizenergie durch Verbrennung des Möbelstücks im Hausbrand gewonnen wird. Man könnte in Anbetracht dessen zu der Vermutung gelangen, dass bei Verwendung eines schwefelarmen Brennstoffes die Auswirkungen der Alternative Re - Use (bzw. der thermischen und stofflichen Verwertung) bezüglich Versauerung in einen niedrigeren Bereich reduziert werden könnten.

11.3 Wirkungskategorie Eutrophierungspotential

Die Wirkungskategorie Eutrophierung untersucht den Nährstoffeintrag in Gewässer, der durch die unterschiedlichen Alternativen verursacht wird. Verursacht wird die Eutrophierung vor allem durch Phosphor- und Stickstoffverbindungen, die zu einer Steigerung der Biomasseproduktion (Algen, andere Pflanzen) in Gewässern führt, welche durch ihre nach dem Absterben einsetzende Zersetzung den Sauerstoffgehalt im Wasser reduzieren, was für aquatische Organismen zur Gefahr werden kann. Als Summenparameter für die bezüglich der Eutrophierung wirksamen Stoffe dient **kg Phosphat – Äquivalent** (SPECKELS 2001). Es sei hier noch angemerkt, dass Stoffe, die sich im Eutrophierungspotential niederschlagen, nicht

direkt in ein Gewässer eingebracht werden müssen, sondern auch über den Boden mittel- bis langfristig in dieses befördert werden könne, wo sie dann ihrer Wirkung entfalten.

In Abb. 15 ist der Beitrag der untersuchten Alternativen zum Eutrophierungspotential dargestellt.

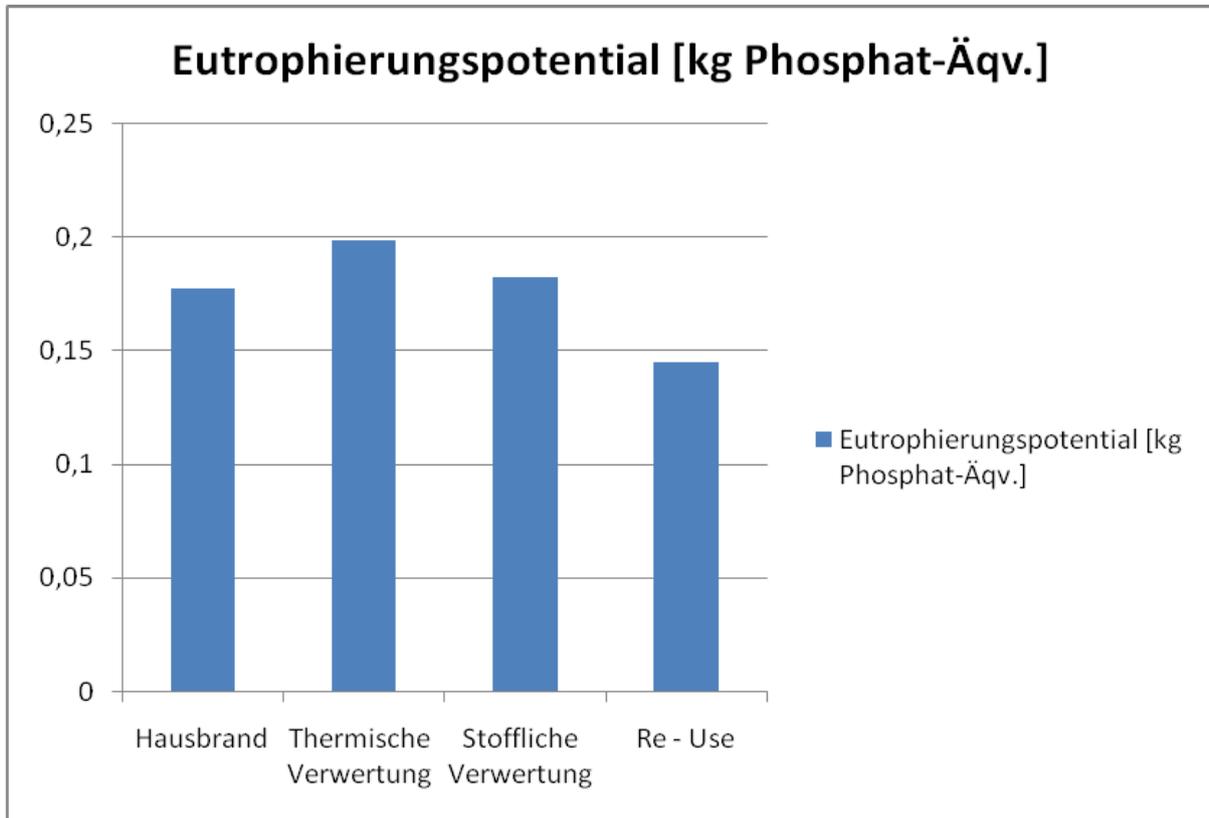


Abb. 15: Eutrophierungspotential total [kg Phosphat – Äquivalent] der untersuchten Alternativen

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass bezüglich des Eutrophierungspotentials die Alternative Thermische Verwertung in einer KWK – Anlage am Schlechtesten abschneidet und die Alternative Reuse auch in dieser Wirkungskategorie das beste Ergebnis liefert. Um dieses Ergebnis genauer zu untersuchen wurden wieder die jeweils größten Posten für das Eutrophierungspotential in der GaBi – Auswertung ausfindig gemacht und in Abb. 16 dargestellt.

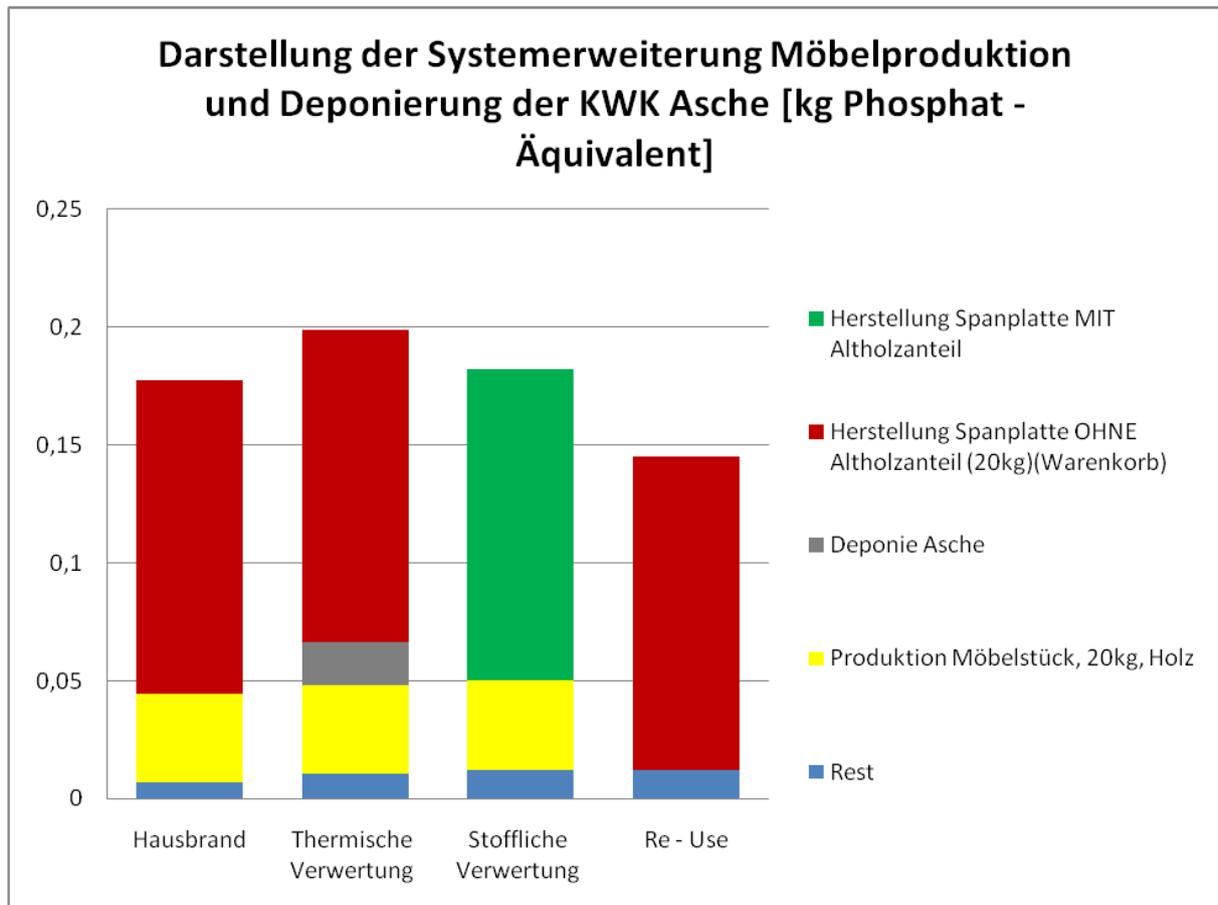


Abb. 16: Darstellung der Systemerweiterung Möbelproduktion und Deponierung der KWK Asche sowie Spanplattenproduktion [kg Phosphat - Äquivalent]

Bei der Aufschlüsselung der Alternativen wurde analog zu GWP und Versauerungspotential vorgegangen, der Zwischenschritt der separaten Darstellung des Anteils der Spanplattenproduktion allerdings übersprungen und gleich die jeweils nächst größten Quellen für Eutrophierung mit einbezogen. Diese sind abermals die Spanplattenproduktion, die Systemerweiterung Möbelproduktion (was wieder das gute Abschneiden der Alternative Reuse erklärt) und in diesem Fall die Deponierung der Aschen aus der KWK Anlage, was hier zum schlechten Abschneiden der Alternative Thermische Verwertung führt. Dieses Ergebnis ist allerdings leicht irreführend: Während für die KWK Anlage eine Reststoffdeponie für die Entsorgung der anfallenden Verbrennungsaschen in der GaBi - Sachbilanz modelliert wurde, wurde auf den Nährstoffeintrag der Alternative Hausbrand in Form von Asche nicht näher eingegangen (hier wurden nur die Schadstoffe in der Asche genauer untersucht, Stoffe wie Phosphat aber nicht mit einbezogen, was daran lag, dass in der GaBi – Software keine geeigneten Flüsse zur Verfügung standen, um diese Auswirkung adäquat zu modellieren). Es muss aber prinzipiell davon ausgegangen werden, dass der Nährstoffeintrag bei einer nicht ordnungsgemäßen Entsorgung wesentlich höher sein muss, als bei einer Deponierung, da bei einer Deponierung das anfallende Sickerwasser bezüglich der Nährstoffbelastung gesetzliche Grenzwerte einhalten muss.

Da in der Sachbilanz bei GaBi der Nährstoffeintrag durch die Hausbrandasche nicht berücksichtigt wurde, wird an dieser Stelle folgendermaßen vorgegangen, um diesen für das Ergebnis sehr wichtigen Umstand darzustellen: Das Eutrophierungspotential der Reststoffdeponie wird in der Excel – Auswertung mit vier multipliziert und der Wert anschließend dem Hausbrand zugerechnet. Der Leser sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich dabei um eine Annahme handelt. Der Faktor vier wurde als Mittelwert der vorstellbaren Erhöhung des Eutrophierungspotentials durch die Hausbrandasche gewählt, aus Sicht des Autors könnte es sich dabei allerdings immer noch um eine niedrige Schätzung handeln, wenn man z.B. davon ausgeht, dass die Verbrennungasche aus dem Einzelofen ohne weitere Vorbehandlung auf den Boden aufgebracht wird, während sie in der Deponie ordnungsgemäß endgelagert ist. Durch die Vermutung, dass der Wert für den Nährstoffeintrag auch wesentlich höher sein könnte, scheint die hier gewählte Vorgehensweise einer groben Schätzung als vertretbar. Angemerkt sei auch noch, dass auch unter der Annahme eines nur doppelt so hohen Nährstoffeintrags durch die Hausbrandasche (Faktor 2) die Alternative Hausbrand bezüglich des Eutrophierungspotentials schon am Schlechtesten abschneiden würde. In Abb. 17 ist das Ergebnis der angeführten Vorgehensweise dargestellt.

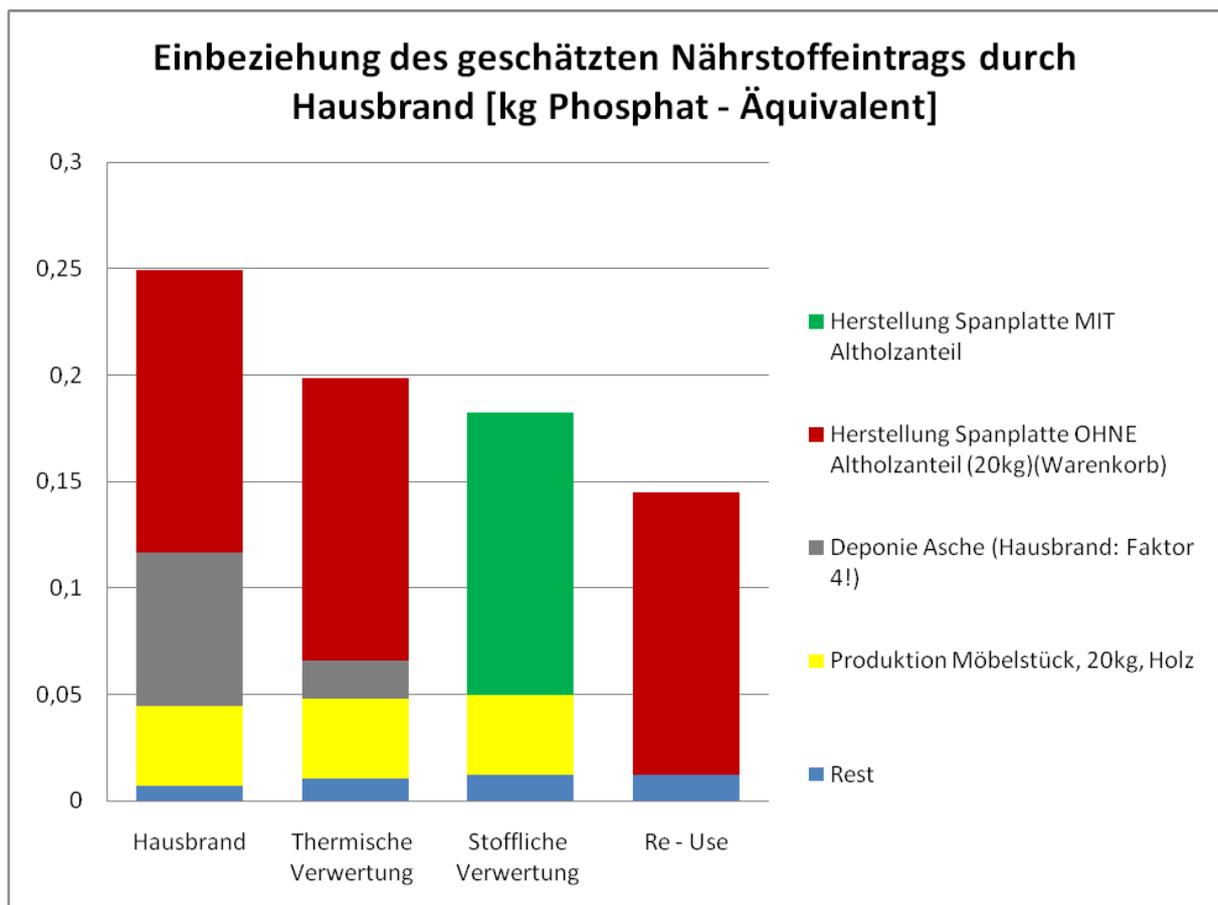


Abb. 17: Einbeziehung des geschätzten Nährstoffeintrags durch den Hausbrand auf das Eutrophierungspotential

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass, unter der durchaus realistischen Annahme eines vierfach höheren Nährstoffeintrags bei der Alternative Hausbrand, das

Ergebnis eindeutig für diese Alternative am Schlechtesten zu bewerten ist. Wesentlich schlechter wäre das Ergebnis logischer Weise unter der Annahme eines noch höheren Nährstoffeintrags bei unsachgemäßer Entsorgung der Verbrennungasche.

11.4 Wirkungskategorie Humantoxizität

Die Wirkungskategorie Humantoxizität beschreibt die Auswirkungen der Alternativen auf die menschliche Gesundheit auf Grund ihrer für den Menschen giftigen Emissionen. Als Parameter für das Humantoxizitätspotential dient der Summenparameter **kg DCB – Äquivalent**. Dafür werden die angenommenen Auswirkungen der verschiedenen toxischen Substanzen (deren Wirkung zum Teil sehr unterschiedlich sein kann) in die Wirkung von 1 kg Dichlorbenzol umgerechnet um einen vergleichbaren Wert für unterschiedlichen Alternativen zu erhalten (SPECKELS 2001). In Abb. 18 ist die gesamte Humantoxizität der vier Alternativen abgebildet.

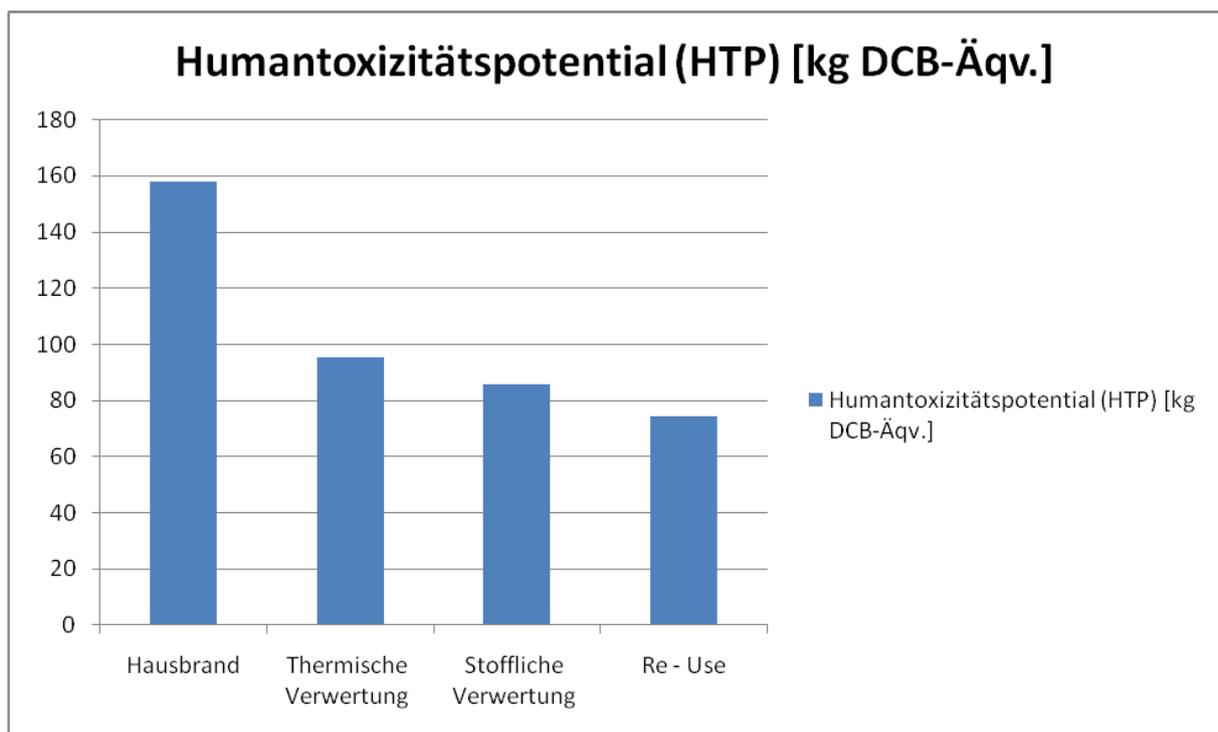


Abb. 18: Humantoxizität total [kg DCB – Äquivalent] der untersuchten Alternativen

In Abb. 18 zeigt sich, dass in der Wirkungskategorie Humantoxizität die Alternative Hausbrand am schlechtesten abschneidet. Der Grund dafür ist eindeutig: Nur bei der Alternative Hausbrand gelangen die im Altholz angenommenen Schadstoffe (z.B. Schwermetalle) ungehindert in die Umwelt. Dies geschieht im Zuge des Verbrennungsprozesses und erfolgt einerseits durch toxische Emissionen in die Luft über die Rauchgase, welche keiner Rauchgasreinigung unterzogen werden, andererseits über unsachgemäße Ausbringung der Asche in den Boden. Bei der Thermischen Verwertung werden die Schadstoffe durch Filtertechnologie wirksam zurückgehalten, bei der Alternative Reuse bleiben sie im Möbelstück gebunden.

Einen Spezialfall stellt hier die Alternative stoffliche Verwertung dar. Unter den hier vorliegenden Annahmen schneidet die stoffliche Verwertung sehr gut ab, da die Schadstoffe in der neu produzierten Spanplatte gebunden sind und dadurch keine größere Gefahr darstellen. Eine Aufkonzentration von Schadstoffen in Produkten aus Sekundärrohstoffen sollte aber dringend vermieden werden und gesetzlich nicht erlaubt (BAWP 2006).

Um gegenüber dem absoluten Toxizitätspotential genauere Informationen zu erhalten, wurden die Quellen analog zu den anderen Wirkungskategorien für die toxischen Schadstoffe genauer aufgeschlüsselt, das Ergebnis ist in Abb. 19 dargestellt.

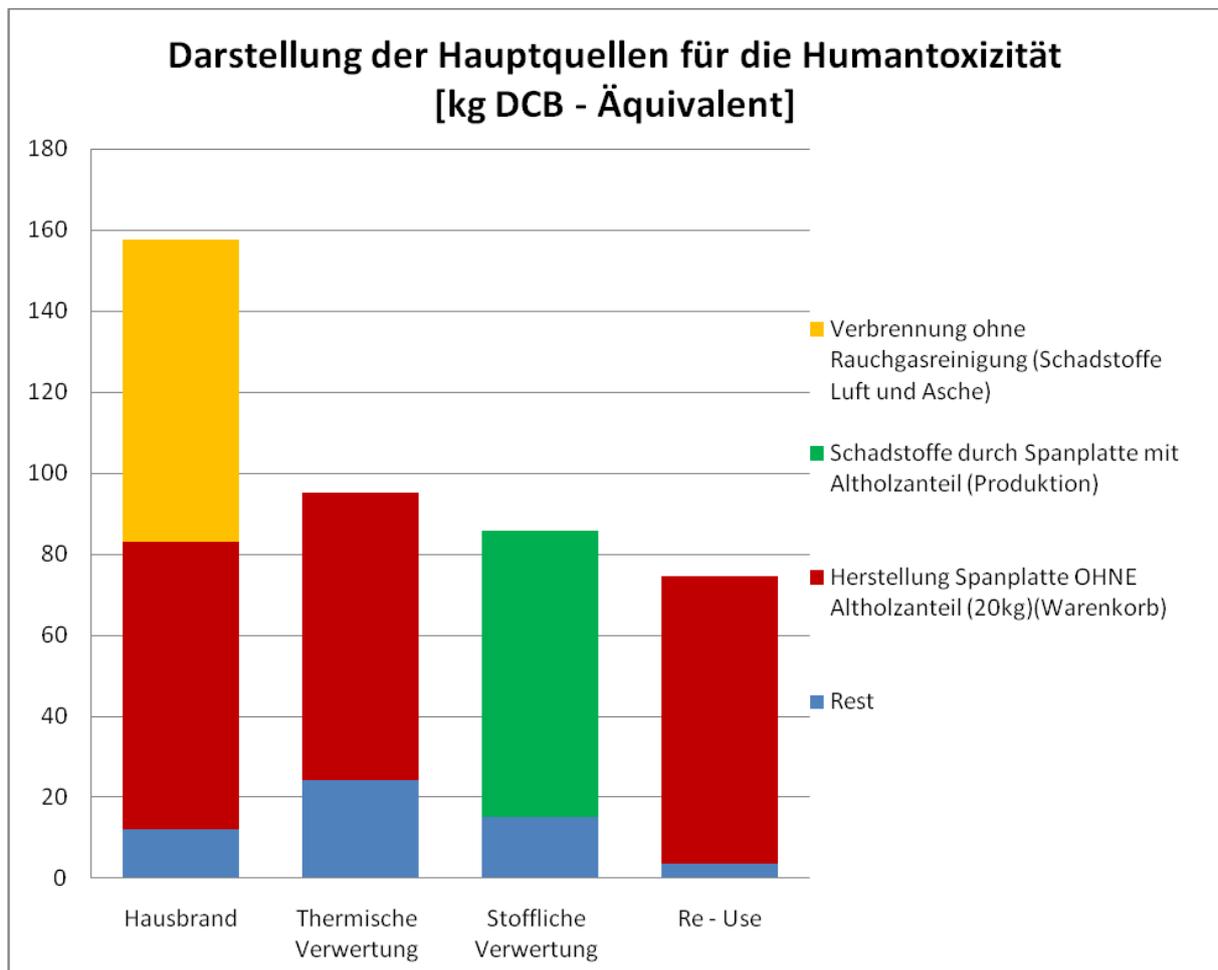


Abb. 19: Hauptquellen für die Wirkungskategorie Humantoxizität

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass ein nicht unwesentlicher Anteil der Schadstoffemissionen wieder bei allen Kategorien auf die Spanplattenproduktion zurück zu führen ist, sowohl in der Alternative Stoffliche Verwertung (hier als „Produktion“ näher definiert), als auch in den jeweiligen Systemerweiterungsprozessen.

Wie schon oben erwähnt, ist die in der Realität vorliegende Problematik der Schadstoffanreicherung in der Spanplatte mit Altholzanteil in der vorliegenden

Auswertung der Ökobilanz nicht ersichtlich. Dies stellt einen eindeutigen Schwachpunkt bezüglich der Aussagekraft der Ergebnisse dar, weil aus der Literatur hervorgeht, dass genau diese Problematik im Zusammenhang mit Altholzrecycling von großer Bedeutung ist.

Zusammenfassend lässt sich für die Wirkungskategorie Humantoxizität feststellen, dass die toxischen Schadstoffe dann ein Problem werden, sobald sie ungehindert in die Umwelt entweichen können, wie dies bei der Verbrennung im Hausbrand der Fall ist. Werden sie, wie in der Alternative Thermische Verwertung, wirksam zurückgehalten oder bleiben sie, wie bei der Alternative Reuse (und bedingt auch in der neu produzierten Spanplatte) im Produkt gebunden, stellen sie kaum eine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar.

12. Sensitivitätsanalyse

Bei der Erstellung einer Sensitivitätsanalyse werden einige Parameter der Sachbilanz variiert, um ihren Einfluss auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung zu überprüfen.

Im Fall dieser Arbeit wurde ein „Worst case Szenario“ für die Schadstoffbelastung im Altholz simuliert.

12.1 „Worst case Szenario“ für Schadstoffbelastung im Altholz

Um die Annahme einer extrem hohen Schadstoffbelastung darzustellen, wurden in den Prozessen, in denen für den Schadstoffgehalt zuvor die Mittelwerte aus (SPECKELS 2001) herangezogen wurden, jetzt die absolut höchsten Werte innerhalb der Spannweite der Messungen herangezogen. Diese absolut höchsten Werte stammen aus verschiedenen Messungen, es ist also nicht unbedingt zu erwarten, dass in der Realität tatsächlich ein spezielles Möbelstück (oder sonstiges Altholzsortiment) eine derartig hohe Schadstoffbelastung aufweist. Trotzdem können die Gehalte an Schadstoffen in manchen Proben extrem hoch sein, deswegen soll hier der Fall einer extrem hohen Belastung simuliert werden.

Die Prozesse wurden dann, unter Annahme der extremen Schadstoffbelastung, analog zur bisher gewählten Vorgehensweise, in die jeweiligen GaBi – Pläne eingebaut.

Die Annahmen für das „Worst case Szenario“ sind in Tab. 14 und Tab. 15 dargestellt.

Schadstoff	Gehalt mg/kg im Brennstoff	Transferkoeffizient Rostasche	Transferkoeffizient in Rauchgas
Arsen (As)	23,5	0,61	0,39
Blei (Pb)	1776	0,27	0,73
Cadmium (Cd)	23,5	0,39	0,61
Chrom (Cr)	175	0,81	0,19
Kupfer (Cu)	6388	0,82	0,18
Nickel (Ni)	50	0,77	0,23
Quecksilber (Hg)	5,9	0,09	0,91
Zink Zn)	3144	0,33	0,67
Chlor (Cl)	3005	0,38	0,62

Tab. 14: Gehalte von Schadstoffen in Altholz (SPECKELS 2001) „Worst case – Szenario“;
Transferkoeffizienten für Schadstoffe bei Verbrennung (EMPA s.a.)

Schadstoff	Gehalt in Rostasche mg/kg	Gehalt in Rauchgas (ohne Filter) mg/kg
Arsen (As)	14,335	9,165
Blei (Pb)	479,52	1296,48
Cadmium (Cd)	9,165	14,335
Chrom (Cr)	141,75	33,25
Kupfer (Cu)	5238,16	1149,84
Nickel (Ni)	38,5	11,5
Quecksilber (Hg)	0,531	5,369
Zink Zn)	1037,52	2106,48
Chlor (Cl)	1141,9	1863,1

Tab. 15: Gehalte von Schadstoffen in Rostasche und Rauchgas (eigene Berechnung nach SPECKELS 2001, EMPA S.A.) „Worst case Szenario“

Die durch die Transferkoeffizienten errechneten Werte wurden als Output für die Verbrennung im Hausbrand angenommen, die anderen Schadstoffe (z.B. CO, NO_x) wurden nicht variiert.

Untersucht wurde das „Worst case Szenario“ in der Wirkungskategorie Humantoxizität, da nur in dieser Kategorie signifikante Änderungen (Steigerungen) der negativen Auswirkungen zu erwarten waren. Das Ergebnis ist in Abb. 20 dargestellt.

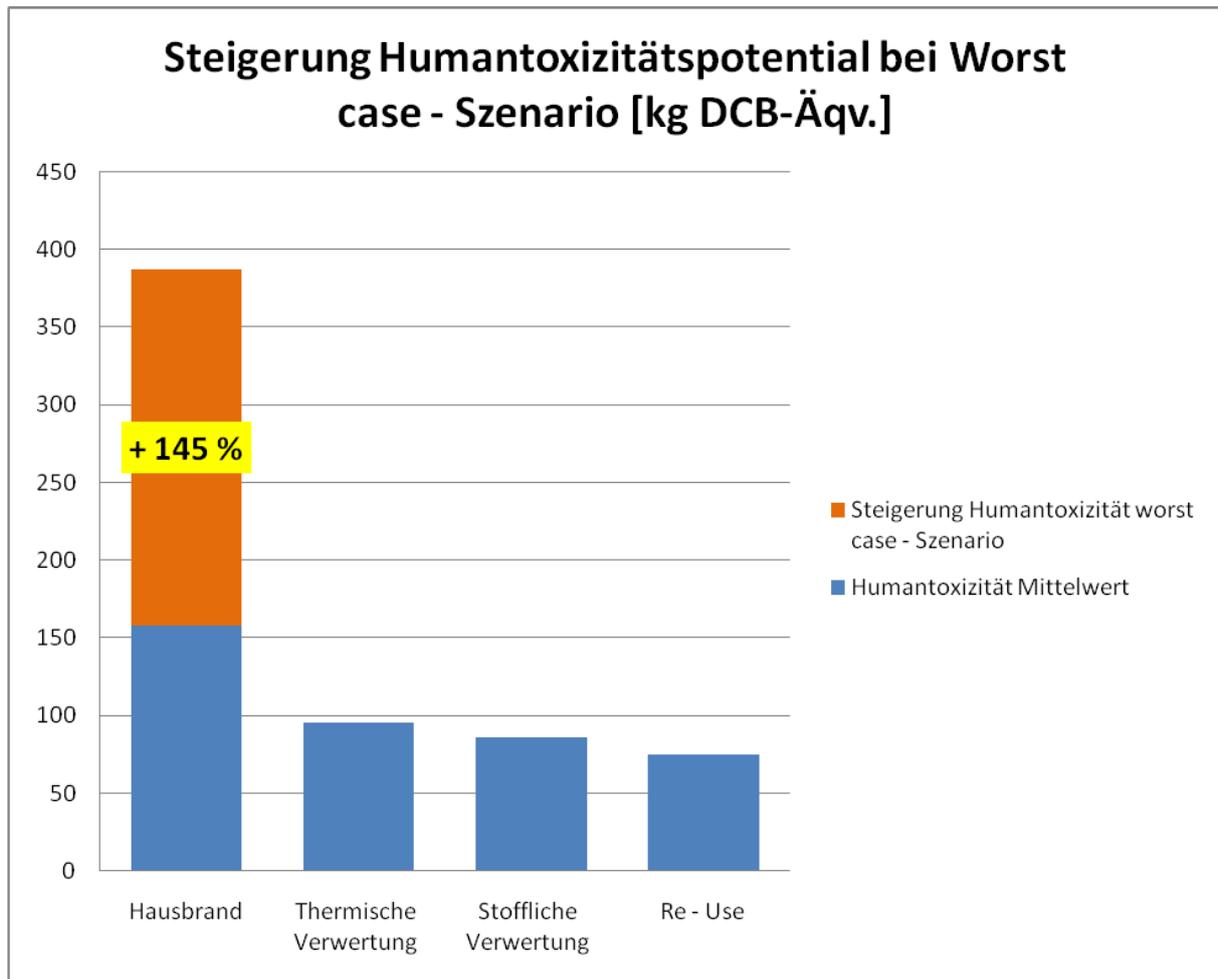


Abb. 20: Steigerung des Humantoxizitätspotentials beim „Worst case Szenario“

Es zeigt sich ganz deutlich ein starker Anstieg der Humantoxizität bei der Alternative Hausbrand. Wie stark der Anstieg gegenüber den zuvor angenommenen Mittelwerten ist, wird durch den orange gefärbten Teil des Balkens ersichtlich, die Steigerung beläuft sich auf + 145 %.

Es zeigt sich hier wieder deutlich, dass die Schadstoffe nur bei dem Szenario eine Gefahr darstellen, bei dem sie am Ende der Nutzungsdauer freigesetzt werden (in diesem Fall wieder bei der Alternative Hausbrand). Dies deckt sich auch mit den Aussagen in der Literatur, dass die im Holz gebundenen Schadstoffe im Normalfall bei einer sachgemäßen Nutzung der Holzprodukte keine Gefahr darstellen. Die geringsten Auswirkungen hat abermals die Alternative Re - Use (Schadstoffe sind bzw. bleiben gebunden).

Das gute Abschneiden der Alternative Stoffliche Verwertung ist ähnlich der Humantoxizitätsauswertung bei den Mittelwerten kritisch zu sehen, da auch beim „Worst case Szenario“ die Schadstoffe in der neuen Spanplatte gebunden sind, dies aber aus den oben genannten Gründen problematisch ist.

Sehr gut schneidet auch die Alternative Thermische Verwertung ab, hier ist das gute Abschneiden dadurch zu erklären, dass thermische Verwertungsanlagen nach dem Stand der Technik strenge Emissionsgrenzwerte einhalten müssen und die im Holz gebundenen Schadstoffe in der Rost- bzw. Bettasche sowie (vor allem) in der Zyklonasche und gegebenenfalls im Elektrofilterstaub enthalten sind (abhängig von der eingesetzten Rauchgasreinigungstechnologie). Diese Rückstände werden dann in der Regel ordnungsgemäß entsorgt.

13. Zusammenfassung und Diskussion

Durch die Auswertung der Sachbilanzdaten in den verschiedenen, für diese Arbeit relevanten Wirkungskategorien können drei Hauptaussagen getroffen werden:

1. Die Alternative **Re - Use** ist in **allen** untersuchten Wirkungskategorien die **ökologisch beste Variante**
2. Die Wirkungskategorien **Treibhauspotential**, **Versauerung** und **Eutrophierung** zeigen **keine großen Unterschiede** zwischen den Alternativen
3. Die Wirkungskategorie **Humantoxizität** zeigt die **signifikantesten Unterschiede** zwischen den Alternativen, wodurch auch in der Ökobilanz klar dargestellt werden konnte, dass die **Belastung mit Schadstoffen** (wie schon im Theorieteil erörtert) das **größte ökologische Problem** im Zusammenhang mit Altholz darstellt

Bezüglich der Fragestellung der Arbeit, wie die Verbrennung von Altholz im Hausbrand einerseits und die Option der Wiederverwendung andererseits gegenüber den dem Stand der Technik entsprechenden Verwertungsmethoden stoffliche und thermische Verwertung zu beurteilen sind, können aus den angeführten Ergebnissen der Ökobilanzierung eindeutige Antworten abgeleitet werden.

Ganz klar ist eine Verbrennung von Altholz im Hausbrand abzulehnen. Die schon im Theorieteil angedeutete Problematik der schädlichen Emissionen bei einer unsachgemäßen Verbrennung ohne Rauchgasreinigung lässt sich bei der Auswertung der Ökobilanz in der Wirkungskategorie Humantoxizität eindeutig nachweisen. Auch wenn das Szenario Hausbrand in den anderen Wirkungskategorien von der Größenordnung her ähnliche Ergebnisse aufweist wie die anderen Alternativen, so ist doch das gravierend schlechtere Abschneiden des Szenarios im Bereich Humantoxizität aus Sicht des Autors als Begründung geeignet, diese Alternative eindeutig als die schlechteste aller untersuchten Varianten zu benennen.

Für Entscheidungsträger bzw. in der Praxis tätige Personen lässt sich daraus die Empfehlung ableiten, die (gängige Praxis) des Verbrennens von Altholz im Hausbrand möglichst zu unterbinden, um die schädlichen Auswirkungen, die sich daraus ergeben, zu minimieren. Bezüglich der im Projekt „Transwaste“ beobachteten Sammeltätigkeit von Holzabfällen zu Heizzwecken kann die Feststellung getroffen

werden, dass diese ebenfalls als problematisch einzustufen ist. Um sicher zu gehen, dass toxische Emissionen durch eine derartige Verfeuerung auszuschließen sind, sollte auf eine Abgabe von Sortimenten, die eindeutig für Heizzwecke gesammelt werden generell verzichtet werden, es sei denn, es handelt sich eindeutig um vollkommen natur belassene Hölzer, für die jedwede Behandlung mit Holzschutzmitteln, Farben etc. ausgeschlossen werden kann.

Die Alternative Re – Use bzw. Wiederverwendung schneidet in allen untersuchten Wirkungskategorien am besten ab. Daraus lassen sich in Bezug auf Möbel aus Holz folgende Feststellungen ableiten:

- Die durch die Umsetzung der neuen Abfallhierarchie geschaffene Stufe „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ und damit einhergehend die Förderung von Re – Use – Aktivitäten (z.B. Förderung von Reparaturnetzwerken oder anderen in diesem Bereich arbeitenden sozioökonomischen Betrieben) ist aus ökologischer Sicht für den Bereich Holzmöbel positiv zu bewerten
- Die bei den Mistplatzbesuchen beobachtete Sammeltätigkeit von Möbeln aus Holz zum Zweck der Wiederverwendung durch informelle Abfallsammler ist aus ökologischer Sicht gegenüber den gängigen Verwertungsmethoden in Österreich zu bevorzugen

Es kann also geschlussfolgert werden, dass die durch die neue Gesetzeslage zu erwartende Steigerung der Re – Use Aktivitäten mit positiven Effekten auf die Umwelt einhergehen wird und die Umsetzung der neuen, fünfstufigen Abfallhierarchie in diesem Fall eine Verbesserung gegenüber der zuvor geltenden, dreistufigen Abfallhierarchie darstellt.

Bezüglich der Sammeltätigkeit von informellen Abfallsammlern kann die Empfehlung abgegeben werden, noch gebrauchstüchtige Möbel, die mit großer Wahrscheinlichkeit wiederverwendet (und nicht verbrannt) werden, an informelle Sammler abzugeben, da diese Option aus ökologischer Sicht gegenüber einer Verwertung nach dem Stand der Technik besser einzustufen ist.

Im Bezug auf die Wiederverwendung sei an dieser Stelle noch auf die positiven wirtschaftlichen und sozialen Aspekte (Arbeitsplätze durch Reparatur, Generierung von Einkommen durch Weiterverkauf, Ersparnis durch den Kauf von gebrauchten Produkten etc.) hingewiesen, der in dieser Arbeit nicht näher untersucht wurde.

Bezüglich der den Stand der Technik entsprechenden Verwertungsalternativen lässt sich keine eindeutige Aussage treffen. Sowohl stoffliche als auch thermische Verwertung schneiden in der Ökobilanz ähnlich gut ab, mit leichten Nachteilen für die stoffliche Verwertung, die durch die aufwendigeren Prozesse der Spanplattenherstellung bedingt sind. Es kann also festgestellt werden, dass beide Möglichkeiten der Altholzverwertung als gut geeignet betrachtet werden können.

Nicht restlos geklärt wurde durch das hier erstellte Modell die Problematik der Schadstoffanreicherung im neuen Produkt Spanplatte. Hier besteht aus Sicht des Autors weiterer Forschungsbedarf, vor allem auf Grund des größer werdenden Altholzeinsatzes in der Österreichischen Plattenindustrie (WINDSPERGER M.M. 2011). Um den dadurch möglichen größeren Schadstoffeintrag eventuell

auftretenden positiven Effekten, wie z.B. Energieeinsparungen, gegenüber zu stellen, wäre die Erstellung einer eigenen Ökobilanz ein probates Instrument.

14. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aufbau einer Ökobilanz (ISO 14040)	8
Abb. 2: Aufbereitungsprozess von Altholz (DARMANN 2004).....	25
Abb. 3: Häufigkeit der Beanstandungen bei unterschiedlichen Anlagekategorien (ZÜRCHER 2007)	39
Abb. 4: GaBi - Plan „Alternative Hausbrand“	52
Abb. 5: GaBi – Plan „Alternative Thermische Verwertung KWK“	54
Abb. 6: GaBi – Plan „Herstellung Spanplatte mit Altholzanteil“	56
Abb. 7: GaBi – Plan „Alternative Stoffliche Verwertung Spanplattenwerk“	57
Abb. 8: GaBi – Plan „Alternative Re - Use; Zweiter Lebenszyklus“	58
Abb. 9: Treibhauspotential total (GWP 100 Jahre) [kg CO ₂ – Äquivalent] der untersuchten Alternativen.....	61
Abb. 10: Darstellung des Anteils der Spanplattenproduktion am GWP.....	62
Abb. 11: Darstellung des Anteils der Systemerweiterung Möbelproduktion am GWP	63
Abb. 12: Versauerungspotential total [kg SO ₂ – Äquivalent] der untersuchten Alternativen	65
Abb. 13: Anteil der Spanplattenproduktion am Versauerungspotential	66
Abb. 14: Darstellung der Systemerweiterung Möbelproduktion und Thermische Energie aus Kohle	67
Abb. 15: Eutrophierungspotential total [kg Phosphat – Äquivalent] der untersuchten Alternativen	68
Abb. 16: Darstellung der Systemerweiterung Möbelproduktion und Deponierung der KWK Asche sowie Spanplattenproduktion [kg Phosphat - Äquivalent]	69
Abb. 17: Einbeziehung des geschätzten Nährstoffeintrags durch den Hausbrand auf das Eutrophierungspotential.....	70
Abb. 18: Humantoxizität total [kg DCB – Äquivalent] der untersuchten Alternativen...	71
Abb. 19: Hauptquellen für die Wirkungskategorie Humantoxizität.....	72
Abb. 20: Steigerung des Humantoxizitätspotentials beim „Worst case Szenario“	75

15. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Qualitätsklassen für Rest- und Althölzer ohne Subklassen (SCHEFFKNECHT 1999)	15
Tab. 2: Anfall von Holzabfällen in Österreich (BMLFUW 2009)	17
Tab. 3: Verwertungskategorien für Altholz (NEURAUTER et al. 2002)	22
Tab. 4: Heizwerte verschiedener Brennstoffe im Vergleich (SPECKELS 2001).....	31
Tab. 5: Unvermeidbare Emissionen bei der Verbrennung von Holz (SPECKELS 2001)	33
Tab. 6 Vermeidbare Emissionen aus der Verbrennung von Holz (SPECKELS 2001)	34
Tab. 7: Schwermetallbelastung verschiedener Holzproben (n ~ 10) bezogen auf Glührückstand (ZÜRCHER 2007)	38
Tab. 8: Altholzanteil im Sperrmüll auf verschiedenen Mistplätzen (Zusammenhang mit Altholzcontainer) (PLADERER et al. 2002)	41
Tab. 9: Qualität des Altholzes im Sperrmüll (PLADERER et al. 2002).....	42
Tab. 10: Untersuchte Prozesse mit Outputs und jeweiligen Systemerweiterungen ..	48
Tab. 11: Gehalte von Schadstoffen in Altholz (SPECKELS 2001); Transferkoeffizienten für Schadstoffe bei Verbrennung (EMPA S.A.).....	50
Tab. 12: Gehalte von Schadstoffen in Rostasche und Rauchgas (eigene Berechnung nach SPECKELS 2001, EMPA S.A.)	51
Tab. 13: Flüsse für Spanplattenherstellung.....	55
Tab. 14: Gehalte von Schadstoffen in Altholz (SPECKELS 2001) „Worst case – Szenario“; Transferkoeffizienten für Schadstoffe bei Verbrennung (EMPA s.a.)	74
Tab. 15: Gehalte von Schadstoffen in Rostasche und Rauchgas (eigene Berechnung nach SPECKELS 2001, EMPA S.A.) „Worst case Szenario“	74

16. Literaturverzeichnis

- BAUMANN H., TILLMANN A-M.: The Hitch Hiker`s Guide to Lca: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Applications. Professional Pub Serv, 2004 ISBN 91-44-02364-2
- BAWP Bundesabfallwirtschaftsplan. Nachhaltig für Natur und Mensch. Bundesministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VI / 3, Stubenbastei 5, 1010 Wien
- BMLFUW Bundesministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich, Statusbericht 2009. Erstellt von Umweltbundesamt GmbH, Abteilung Abfallwirtschaft, 9020 Klagenfurt 2009
- EMPA Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Luftfremdstoffe / Umwelttechnik: Emissionen und Stoffflüsse von (Rest-) Holzfeuerungen. Messverfahren, Auswertung und Resultate. Bericht Nr. 800,002/1 S.A.
- DARMANN M.: Altholzsituation in der Steiermark. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D Abfall und Stoffflusswirtschaft, Graz 2004
- FINNVEDEN G., MOBERG A.: Environmental systems analysis tools – an overview. Center for environmental Strategies Research. Stokholm, Sweden 2004
- JÄGER T., KARGER C.: Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung. Eine Synopse. Programmgruppe Mensch, Umwelt Technik. Forschungszentrum Jülich (in der Helmholtz – Gesellschaft) S.A.
- JUNGBLUTH N., FRISCHKNECHT R., FAIST M.: Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. ESU-services, ökologiebezogene Unternehmens- und Politikberatung, CH-8610 Uster 2002
- KLIPPEL N, NUSSBAUMER T.: Fenstaubbildung in Holzfeuerungen und Gesundheitsrelevanz im Vergleich zu Dieselmotoren. Präsentation zum Thema, S.A.
- KROOK J., MARTENSSON A., EKLUND M.: Sources of heavy metal contamination in Swedish wood waste used for combustion. Department of Mechanical Engineering, Linköping University, Sweden 2005
- KROOK, J., MARTENSSON A., EKLUND M., LIBISELLER C.: Swedish recovered wood waste: Linking regulation and contamination. Environmental Technology and Management, Department of Mechanical Engineering, Linköping University, Sweden 2007
- LECHNER P. (Hrsg.), BEIGL P., BINNER E., HUBER-HUMER M., MOSTBAUER P , SALHOFER S., SMIDT. E, WASSERMANN G: Kommunale Abfallentsorgung. Facultas Verlag, Wien Auflage 2004

- MEISSNER M., PLADERER C.: Re – Use in Österreich, Wiederverwendung als Beitrag zur Abfallvermeidung. Europäische Woche zur Abfallvermeidung, Österreichisches Ökologieinstitut, Wien S.A.
- NEURAUTER R., MÖLLGG M., SCHUBERT E.: Technische Regeln zur Altholzbehandlung. Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, Referat Abfallwirtschaft, Innsbruck 2002
- KURATA Y., WATANABE Y., ONO Y., KAWAMURA K.: Concentrations of organic wood preservatives in wood chips produced from wood wastes. Center for Environmental Science in Saitama, Japan 2005
- PLADERER C., KLOUD V., GUPFINGER H., RAPPL B., ROISER – BEZAN G.: Erhebung und Darstellung des Sperrmüllaufkommens in Wien. Sortier- und Inputanalyse 2001. Grundlagen für die Entwicklung von Maßnahmen zur Abfallvermeidung und für eine nachhaltige Sperrmüllsammlung. Österreichisches Ökologieinstitut (im Auftrag der MA 48) Wien, 2002
- SPECKELS L.: Ökologischer Vergleich verschiedener Verwertungs- und Entsorgungswege für Altholz. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Hamburg 2001
- SCHEFFKNECHT, C: Umweltanalytik. Chemische analytische Untersuchungen von Altholz. Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Bregenz 1999
- TATANO F., BARBADORO L., GIOVANNA M., et al.: Furniture wood wastes: Experimental property characterisation and burning tests. Waste Management 29, 2656 – 2665, 2009
- WINDPERGER A.: Optimierung der Ressourceneffizienz der Holznutzung. Modellierung der Holzverarbeitungsprozesse zur Darstellung der Auswirkungen von Entwicklungen auf die Leistungscharakteristik. Berichtete aus Energie- und Umweltforschung, BMVIT, Wien, 2010
- ZÜRCHER F.: Beitrag der Abfallmitverbrennung in Haus- und Kleinf Feuerungsanlagen zur Luftbelastung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 2007

Gesetzestexte:

AWG 2002: Gesamte Rechtsvorschrift für Abfallwirtschaftsgesetz 2002, Fassung vom 27.02.2011

ABFALLVERBRENNUNGSVRORDNUNG: Gesamte Rechtsvorschrift für Abfallverbrennungsverordnung, Fassung vom 06.12.2010

ABFALLRAHMENRICHTLINE 2008: Richtlinie 2008/98/EG der europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien

ABFALLVERZEICHNIS: Abfallverzeichnis entsprechend der Abfallverzeichnisverordnung in der Fassung der Verordnung BGBl. II Nr. 498/2008

ALTHOLZVERORDNUNG DEUTSCHLAND: Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV); 15.08.2002, zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 9. November 2010 geändert

Internetquellen:

www.biomasseverband.at

<http://www.biomasseverband.at/index.php?id=293> (abgerufen am 13.12.2010)

www.feldkirch.at

<http://www.feldkirch.at/stadt/archiv/dezember-2010-1/altholzsammlung-wird-ab-1.-jaenner-2011-neu-organisiert> (abgerufen am 27.2.2011)

www.nachhaltigesbauen.de

<http://www.nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Spanplatten> (abgerufen am 25.1.2011)

www.hdg-bavaria.de

<http://www.hdg-bavaria.de/?n=9-45> (abgerufen am 21.1.2011)

www.public.solarfocus.at

http://public.solarfocus.at/web/SolarFocus_Technische_Daten_Hackgut.pdf
(abgerufen am 15.1.2011)

www.transwaste.eu (abgerufen am 28.11.2010)

www.rieger-entsorgung.at

<http://www.rieger-entsorgung.at/cms/rieger/index.php?idcatside=26> (abgerufen am 26. 2. 2011)

Links:

Umfassende Informationen zu Treibhauseffekt

Intergovernmental Panel on Climate Change: www.ipcc.ch

17. Anhang: Fragen für durchgeführte Interviews

An dieser Stelle werden die Bögen der für die Erstellung der Arbeit durchgeführten Interviews angeführt.

Die Experteninterviews wurden geführt mit Dr. Andreas Windsperger (Institut für industrielle Ökologie) und Ing. Andreas Lassy (Leiter der Abfallbehandlungsanlage der MA 48).

Zusätzlich wurden auf Mistplätzen informelle Abfallsammler, Mistplatzbetreiber, Arbeiter auf den Mistplätzen sowie andere involvierte Personen befragt.

17.1 Fragen für Experteninterview

Fragen Diplomarbeit Altholz HAIDER

Ich habe mich in meiner Diplomarbeit mit der Verwertung von Altholz beschäftigt, im praktischen Teil der Arbeit habe ich mit der Software GaBi 4 eine Ökobilanz erstellt und folgende Verwertungsalternativen untersucht:

- Stoffliche Verwertung Spanplattenwerk (10% Altholzeinsatz)
- Thermische Verwertung KWK – Anlage
- Hausbrand in Ungarn
- Reuse (Wiederverwendung) in Ungarn

Die zwei Alternativen in Ungarn kommen dadurch zustande, dass die Arbeit im Zusammenhang mit dem „Transwaste“- Projekt des Instituts für Abfallwirtschaft der BOKU Wien erstellt wurde, welches sich mit informeller Abfallverbringung nach Mittel- und Osteuropa beschäftigt.

Meine funktionelle Einheit war ein Möbelstück aus Holz (Annahme 20 kg, mit Holzschutzmitteln behandelt).

Die Systemgrenzen wurden so festgelegt, dass ab der Sammlung am Mistplatz bis zum Ende des Lebenszyklus bzw. dem Beginn des neuen Lebenszyklus bei der Reuse Option bilanziert wurde.

Hier einige kurze Fragen, die noch offen sind:

1. Ich habe versucht, verlässliche, aktuelle Zahlen zum Altholzaufkommen in Österreich zu finden, habe aber außer dem Bundesabfallwirtschaftsplan nicht wirklich verlässliche und vor allem aktuelle Quellen gefunden, die Situation scheint mir etwas unübersichtlich. Wissen sie, wo man verlässliche Zahlen (vor allem zu post – consumer / Gebrauchtholz) findet?

2. Ein Szenario meiner Bilanzierung ist die stoffliche Verwertung des Möbelstücks. Diese dürfte eigentlich nicht stattfinden, da durch sie eine Schadstoffanreicherung im neuen Produkt (Spanplatte) entsteht. Dies ist bedingt durch die zum Teil nicht sortenreine Trennung der Altholzfraktionen vor ihrer Verwertung, deswegen unterstelle ich in meiner Arbeit, dass dies in der Realität passieren kann, zumindest sofern es über die Altholzschiene und nicht im Sperrmüll entsorgt wird.

Teilen sie diese Ansicht? Schätzen sie diesen Umstand als problematisch ein, oder glauben sie, dass die Schadstoffanreicherung in der stofflichen Verwertung in Österreich kein Problem darstellt? Wissen sie, wie genau eventuell belastete Altholzchargen vor ihrer stofflichen Verwertung auf Schadstoffgehalte untersucht werden (ich stelle mir den Aufwand dafür sehr groß vor)?

3. In der Studie „Optimierung der Ressourceneffizienz der Holznutzung“ wird in einem Szenario vorgeschlagen, den Altholzanteil in der Spanplattenproduktion von 10% auf 66% zu erhöhen. Ist dieser Vorschlag angesichts der Schadstoffproblematik nicht problematisch? Wie kann garantiert werden, dass tatsächlich nur unbelastetes Altholz verwendet wird?
4. In Deutschland gibt es eine eigene Verordnung (Altholzverordnung), welche die rechtlichen Aspekte in diesem Zusammenhang regelt. Halten sie die gesetzlichen Regelungen in Österreich für ausreichend, oder wäre eine Altholzverordnung nach deutschen Vorbild sinnvoll?

17.2 Fragen für Interviews auf Mistplätzen

Mistplatzbetreiber:

1. Welche Mengen von Altholz fallen ungefähr an?
2. Wird nach Beschaffenheit getrennt (unbehandeltes, behandeltes Holz, Sperrmüll)?
3. Welche Wege nimmt das Holz? Wie wird es wiederverwertet?
4. Gibt es informelle Abgabe von Holz „unter der Hand“ an informelle Abfallsammler (sowohl aus Österreich als auch aus den Nachbarländern)?

Abfallsammler:

1. Nehmen sie Altholz mit? Hat es einen Wert für sie?
2. Welche Arten? Eher Möbel (Sperrmüll) zum Weiterverwenden / Reparieren oder eher Holz z.B. zum Heizen?
3. Wie wird das Holz zuhause verwendet / verwertet?