

Universität für Bodenkultur
Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt
Institut für Abfallwirtschaft



Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich

Masterarbeit
Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

eingereicht von
Michael Huber, Bakk. Techn.
Stud Kennz.: 427/ Matr. Nr.: 0440644

Wien, im Mai 2013

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Ao.Univ.-Prof. DI. Dr. Stefan Salhofer und Herrn DI Andreas Pertl für die Betreuung und die Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit. Andreas, ohne deinen Rat und deinen Einsatz wäre das Ergebnis so nicht möglich gewesen.

Ich möchte meiner Familie, und vor allem meinen Eltern, für ihre Unterstützung und ihre Geduld über die ganze Studienzeit hinweg danken. Danke, dass ihr nicht an mir gezweifelt habt. Auch ich bin froh, dass es nun geschafft ist.

Mein Dank gilt auch DI Martin Car vom Österreichischen Baustoffrecycling Verband für die Idee zu dieser Arbeit und die Unterstützung bei der Konzepterstellung und die Hilfe bei der Suche nach Interviewpartnern.

Weiters möchte ich meine Dankbarkeit gegenüber meinen Freunden ausdrücken, die mir während der monatelangen Arbeit hilfreich zur Seite standen:

- Vielen Dank Werner für deine grenzenlose Hilfsbereitschaft, deine persönliche Unterstützung und für das Teilen deines Fachwissens und deiner Unterlagen.
- Susi und Annemarie für die sympathische Begleitung und die zahlreichen Gespräche und Kaffeepausen auf diversen Universitätsbibliotheken Wiens.
- Christoph für deinen unermüdlichen Einsatz bei diversen Formatierungsproblemen.
- Annemarie, Ulrike, Matthias, Susi und Christoph fürs kritische Korrekturlesen und den hilfreichen Angaben.
- und all jenen, die mich auch in weniger erfreulichen Zeiten ermutigten weiterzumachen. Besonderer Dank gilt hier Bernhard, Bernhard und Werner für die zahlreichen abendlichen Motivationsveranstaltungen.

Abstract

This master thesis “Disposal of thermal insulation waste in Austria” deals with the amount and the handling of insulation material waste in Austria. In the course of this paper the basics of the application and disposal of insulation materials, regarding landfill, incineration and recycling are treated. The results are based on literature research, complemented with expert interviews. As in Austria, the quantity of insulation material waste is not recorded, the current amount of this waste stream was estimated on the basis of the amount per capita in Germany. The emergence of thermal insulation material waste is therefore about 21.500 tons per year. A scenario analysis shows a possible increase up to 550 % of the current amount by the year 2050. Due to the legal framework in Austria landfilling is only possible for mineral insulation material. Insulation materials, consisting of synthetic and renewable raw materials, have to be incinerated. By the reason of their high calorific value an application as refuse-derived fuel is possible. Detailed studies about the effects of flame retardants have not been examined yet. Recycling takes currently a minor role in Austria, because of two main problems. On the one hand insulation material waste provides high specific transport costs due to the low density. On the other hand mineral contamination leads to improper quality of waste materials for recycling. The focus of actual research is on solving these two main problems. Finally raw materials and energy consumption during the production of selected insulation materials were investigated. Calculations of the energy payback showed, that the total primary energy demand of insulation materials can be compensated within several months to a few years through avoided heating energy by the application of insulation materials.

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Aufkommen und dem Umgang mit Dämmstoffabfällen in Österreich. Im Zuge dieser Arbeit werden die Grundlagen der Anwendung und der Entsorgung von Dämmstoffen in Österreich behandelt, sowie die derzeitigen End-of-Life Szenarien Deponierung, thermische Verwertung und Recycling dargestellt. Die Ergebnisse beruhen dabei auf Literaturangaben, die mit Experteninterviews ergänzt wurden. Da in Österreich das Aufkommen von Dämmstoffabfällen nicht aufgezeichnet wird, wurde die derzeitige Abfallmenge anhand des Pro-Kopf Aufkommens in Deutschland abgeschätzt. Das Aufkommen in Österreich beträgt demnach etwa 21.500 Tonnen pro Jahr. Szenarienberechnungen ergeben, abhängig von der Sanierungsquote in Österreich, eine mögliche Zunahme um bis zu 550 % der geschätzten derzeitigen Dämmstoffabfallmenge bis zum Jahr 2050. Aufgrund der geltenden Bestimmungen der Deponieverordnung 2008 dürfen nur mineralische Dämmstoffabfälle deponiert werden. Dämmstoffe aus synthetischen und nachwachsenden Rohstoffen müssen einer thermischen Verwertung zugeführt werden, wobei aufgrund ihrer hohen Heizwerte eine Anwendung als Ersatzbrennstoff möglich ist. Genaue Untersuchungen zum Einfluss von Flammschutzmitteln fehlen jedoch. Stoffliches Recycling wird in Österreich derzeit kaum angewandt, dafür konnten zwei Hauptgründe identifiziert werden. Einerseits stellen hohe spezifische Transportkosten, die sich aufgrund der geringen Dichte von Dämmstoffabfällen ergeben, andererseits die Materialqualität, die von hoher mineralischer Verschmutzung aufgrund des schwierigen Rückbauverhaltens von Dämmstoffen gekennzeichnet ist, Hindernisse für ein stoffliches Recycling dar. Eine Lösung dieser zwei Hauptprobleme steht im Fokus der aktuellen Forschung. Abschließend wurden im Zuge dieser Arbeit der Rohstoff- und Energieeinsatz bei der Herstellung von ausgewählten Dämmstoffen untersucht. Berechnungen zur energetischen Amortisation ergaben, dass der Gesamtprimärenergiebedarf zur Herstellung von Dämmstoffen innerhalb einiger Monate bis hin zu wenigen Jahren durch die eingesparte Heizenergie ausgeglichen werden kann und ab diesem Zeitpunkt effektiv Energie gespart wird.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Forschungsfragen	1
1.3 Material & Methoden	1
2. Rechtliche Grundlagen	3
2.1 Europäische Bestimmungen	3
2.1.1 Bauproduktenverordnung	3
2.1.2 Abfallrahmenrichtlinie	4
2.2 Nationale Bestimmungen	5
2.2.1 OIB - Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz.....	5
2.2.2 Österreichisches Abfallwirtschaftsgesetz.....	5
2.2.3 Baurestmassentrennverordnung	6
3. Wärmedämmung bei Hochbauten	9
3.1 Wärmedämmstoffe im Überblick.....	9
3.1.1 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen.....	10
3.1.2 Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen	10
3.1.3 Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	11
3.1.4 Dämmstoffkennwerte.....	11
3.2 Dämmstoffmarkt.....	12
3.2.1 Europäischer Dämmstoffmarkt	12
3.2.2 Österreichischer Dämmstoffmarkt	13
3.3 Wärmedämmung in Niedrigenergie- und Passivhäusern.....	14
3.4 Thermische Sanierung	15
3.5 Wärmedämmung von Außenwänden.....	17
3.5.1 Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem	17
3.5.2 Zweischalige Außenwand mit Kerndämmung.....	19
3.5.3 Vorgehängte, hinterlüftete Fassade.....	20
4. Rückbau von Dämmstoffen	23
4.1 Selektiver Rückbau vs. Konventioneller Abbruch.....	23
4.2 Design for Deconstruction, Recycling, Disassembly.....	26
4.3 Rückbau von Wärmedämmstoffen.....	27

5. Abfallaufkommen	31
5.1 Abfälle aus dem Bauwesen.....	31
5.2 Baustellenabfälle.....	33
5.3 Dämmstoffabfälle	36
5.3.1 Abschätzung des derzeitigen Abfallaufkommen	37
5.3.2 Abschätzung des zukünftigen Abfallpotenzials an Dämmstoffen in Österreich.....	38
6. Deponieren von Dämmstoffen	41
6.1 Rechtliche Grundlagen (DVO, 2008).....	41
6.2 Deponieren von nicht sortenreinen Baurestmassen und Baustellenabfällen.....	42
6.3 Deponieren von Dämmstoffabfällen	43
7. Thermische Verwertung von Dämmstoffen	47
7.1 Thermische Verwertung in Österreich.....	47
7.2 Abfallverbrennungsverordnung	48
7.3 Ersatzbrennstoffe	49
7.3.1 Einsatzmöglichkeiten von Ersatzbrennstoffen	50
7.3.2 Herstellung von Ersatzbrennstoffen.....	50
7.3.3 Ersatzbrennstoffe aus Baumischabfällen	51
7.4 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen.....	52
7.4.1 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen aus mineralischen Rohstoffen.....	53
7.4.2 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen aus synthetischen Rohstoffen.....	53
7.4.3 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen	55
7.5 Verbrennungsverhalten von möglichen Verunreinigungen.....	57
8. Recycling von Dämmstoffen	59
8.1 Voraussetzungen und Einschränkungen für Recycling von Dämmstoffen..	59
8.2 Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen.....	60
8.2.1 Expandiertes Polystyrol (EPS), Extrudiertes Polystyrol (XPS).....	60
8.2.2 Polyurethan (PUR).....	63
8.2.3 Phenolharz (Resolhartschaum)	63
8.3 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen	64
8.3.1 Mineralschaum	64

8.3.2	Steinwolle	64
8.3.3	Glaswolle	65
8.4	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.....	66
8.4.1	Kork	66
8.4.2	Schafwolle	66
8.4.3	Hanf.....	66
8.4.4	Holzfasern	67
9.	Ökologische Betrachtung von Dämmstoffen	69
9.1	Primärenergiebedarf nach Ökobilanz gemäß ISO 14040	69
9.2	Rohstoffeinsatz und Primärenergiebedarf zur Herstellung von Dämmstoffen.....	70
9.2.1	Polystyrol, expandiert (EPS).....	70
9.2.2	Glaswolle	70
9.2.3	Flachs	71
9.3	Energetische Amortisation von Dämmstoffen	72
9.3.1	Berechnung Dämmstärken	72
9.3.2	Heizkostensparnis durch Dämmung.....	74
9.3.3	Ergebnisse der energetischen Amortisationsdauer	76
10.	Zusammenfassung	81
11.	Schlussfolgerungen	85
12.	Abbildungsverzeichnis	91
13.	Tabellenverzeichnis	91
14.	Literaturverzeichnis	93

Anhang	107
Anhang A: Dämmstoffbeschreibung	107
A 1: Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen	107
A 1.1: Mineralschaum	107
A 1.2: Glaswolle	108
A 1.3: Steinwolle	110
A 2 - Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen	112
A 2.1: Polystyrol, expandiert (EPS)	112
A 2.2: Polystyrol, extrudiert (XPS)	113
A 2.3: Polyurethan (PUR)	115
A 2.4: Phenolharz (auch Resolhartschaum)	117
A3 - Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	119
A 3.1: Kork	119
A 3.2: Holzfaser	120
A 3.3: Hanf	122
A 3.4: Schafwolle	123
Anhang B – Niederschrift Leitfadeninterviews	127
B 1: Interviews mit Dämmstoffproduzenten	127
B 1.1: Hr. JANDL, Fa. Austrotherm, Leiter Forschung & Entwicklung	127
B 1.2: Hr. HORWARTH M., Fa. Saint-Gobain Weber Terranova	128
B 1.3: Hr. Ing. LEHNER A., Fa. ISOLENA, Geschäftsführung und Produktionsleitung	128
B 1.4: Hr. ZLABINGER K., Fa. Saint-Gobain-ISOVER, Qualitätssicherung	129
B 1.5: Hr. HOFMANN D., Fa. Steinbacher, Produktmanager	129
B 1.6: Hr. STRECHER M., Fa. Rockwool, Gebietsleiter	130
B 1.7: Hr. ZOTT, Fa. RÖFIX, Leiter Forschung und Entwicklung	131
B 1.8: Hr. FEURER L., Fa. STO Austria, Technischer Innendienst	132
B 2: Telefonate mit Entsorgerfirmen	132
B 2.1: Fr. HEGGENBERGER M., Fa. AVE Österreich	132
B 2.2: Hr. LEDERSTEGER, Fa. Saubermacher, Stoffstrommanager	133
B 2.3: Hr. WIESER M., Fa. Ökotechna Entsorgungs- und Umwelttechnik, Bereichsleitung Deponie/Recycling Perchtoldsdorf	135

B 3: Telefonate mit Ersatzbrennstoffhersteller	135
B 3.1: Hr. FRIESSER M., Fa. ThermoTeam, Produktionsanlagenleiter	135
B 3.2: Fr. LUDWIG, Fa. Amand Umwelttechnik Lockwitz.....	136
B 4: Persönliche Leitfaden – Interviews	137
B 4.1: Hr. GLAVAS, Fa. Prajo-Böhm Recycling, Geschäftsführer.....	137
B 4.2: Hr. REISENBICHLER, Fa. Welser Baustoffrecycling, Fa. Felbermayr Bau, Leiter Bereich Abfallwirtschaft	143
B 4.3: Hr. RÖDHAMMER M., Fa. AMIP Engineering, Geschäftsführer.....	148
B 4.4: Hr. DI MÄURER, Fa. Fraunhofer Institut IVV	153

1. Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Dämmstoffe sind seit Jahrzehnten ein fester Bestandteil im Bauwesen. Durch ihre gute Dämmwirkung können erhebliche Mengen an Heizenergie, und damit auch Treibhausgasemissionen, eingespart werden. Dämmstoffe haben eine lange Nutzungsdauer, sodass sie im Regelfall erst Jahrzehnte nach ihrem Einbau als Abfall anfallen. Dämmstoffabfälle weisen derzeit ein geringes Aufkommen bei Abfällen aus dem Bauwesen auf, genaue Daten sind jedoch aufgrund fehlender Aufzeichnungen nicht verfügbar. Um für einen zu erwartenden Anstieg dieses Abfallstroms in der Zukunft vorbereitet zu sein, beschäftigt sich diese Arbeit mit den Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Dämmstoffabfällen in Österreich.

1.2 Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit ist es das derzeitige Aufkommen von Dämmstoffabfällen in Österreich abzuschätzen und die Entsorgungswege zu beschreiben. Des Weiteren soll eine Betrachtung der ökologischen Auswirkungen und Vorteile, die durch die Verwendung von Dämmstoffen entstehen, durchgeführt werden. Zu diesem Zweck werden folgende Fragestellungen behandelt:

- Wie hoch ist das derzeitige Aufkommen von Dämmstoffabfällen in Österreich und wie entwickelt sich dieses bis zum Jahr 2050?
- In welchen Abfallströmen fallen Dämmstoffabfälle an und wie werden sie entsorgt? Welche Vor- und Nachteile ergeben sich bei den einzelnen Entsorgungsmöglichkeiten?
- Können Dämmstoffabfälle stofflich recycelt werden und wird dies in Österreich durchgeführt?
- Welche ökologischen Vor- und Nachteile ergeben sich durch die Verwendung von Dämmstoffen im Bauwesen?

1.3 Material & Methoden

Diese Masterarbeit wurde auf Basis einer Literaturrecherche erstellt. Neben wissenschaftlichen Untersuchungen und Werken aus der Fachliteratur wurden auch Literaturquellen aus dem öffentlichen und privaten Bereich, unter anderem von Dämmstoffproduzenten, verwendet. Zur Ergänzung und zur Darstellung des derzeitigen Standes bei der Bewirtschaftung von Dämmstoffabfällen in Österreich

wurde eine Reihe von persönlichen und telefonischen Leitfadeninterviews durchgeführt. Die Interviews wurden mittels Diktiergerät aufgezeichnet und in der Folge niedergeschrieben, wobei auf wortwörtliche Niederschriften verzichtet wurde und der Inhalt im Vordergrund stand. Etwaige Dialektausdrücke und Füllwörter wurden ausgelassen oder „eingedeutscht“. Auf das Anführen von Pausen, nonverbalen Äußerungen wie Lachen, situationsspezifischen Geräuschen oder die Kennzeichnung von Passagen, die besonders betont wurden, wurde bei der Erstellung des Transkripts verzichtet. Die Niederschrift wurde im Anschluss von den Interviewpartnern überprüft und für eine Veröffentlichung in dieser Arbeit freigegeben. Diese befinden sich im Anhang B dieser Arbeit. Im Rahmen der Masterarbeit über die Entsorgung von Dämmstoffen wurden mit folgenden Personen Leitfadeninterviews durchgeführt:

- Hr. JANDL, Firma Austrotherm, telefonisch am 18.2.2013
- Hr. LEHNER, Firma Isolena, telefonisch am 19.12.2013
- Hr. ZLABINGER, Firma Saint-Gobain Isover, telefonisch am 19.12.2012
- Hr. STRECHER, Firma Rockwool, telefonisch am 8.1.2013
- Hr. HORWARTH, Firma Saint-Gobain Weber, telefonisch am 8.1.2013
- Hr. HOFMANN, Firma Steinbacher, telefonisch am 16.1.2013
- Hr. FEURER, Firma Sto, telefonisch am 21.1.2013
- Hr. ZOTT, Firma Röfix, telefonisch am 23.1.2013
- Fr. HEGGENBERGER, Firma AVE, telefonisch am 18.12.2012
- Hr. LEDERSTEGER, Firma Saubermacher, telefonisch am 19.12.2012
- Hr. WIESER, Firma Ökotechna, telefonisch am 21.1.2013
- Hr. FRIESSER, Firma ThermoTeam, telefonisch am 21.1.2013
- Fr. LUDWIG, Firma Amand Umwelttechnik, telefonisch am 18.2.2013
- Hr. GLAVAS, Firma Prajo-Böhm Recycling, persönlich am 6.12.2012
- Hr. REISENBICHLER, Welser Baustoff Recycling, persönlich am 3.12.2012
- Hr. RÖDHAMMER, Firma AMIP Engineering, persönlich am 10.1.2013
- Hr. MÄURER, Fraunhofer Institut IVV, telefonisch am 6.3.2013

2. Rechtliche Grundlagen

In diesem Kapitel werden Gesetze, Verordnungen und Richtlinien beschrieben, welche die Grundlagen für die Verwendung und die Entsorgung von Dämmstoffen bilden. Eine Unterscheidung erfolgt hierbei zwischen nationaler und europäischer Gesetzgebung. Relevante Gesetze und Richtlinien, die nicht in diesem Kapitel beschrieben werden, werden an den entsprechenden Stellen erläutert.

2.1 Europäische Bestimmungen

Die Grundlage für die Verwendung von Dämmstoffen im Bauwesen stellt die Bauproduktenverordnung (BauPVO, 2011) dar. Die Rahmenbedingungen der Entsorgung von Dämmstoffen oder Abfällen im Allgemeinen werden durch die Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL, 2008) festgelegt.

2.1.1 Bauproduktenverordnung

Die „Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates“ – kurz Bauproduktenverordnung (BauPVO, 2011) – ist seit 24. April 2011 in Kraft und ab dem 1. Juli 2013 für alle Händler in Österreich verpflichtend. Diese Verordnung ersetzt die bis dorthin gültige Bauproduktenrichtlinie (BauPRL, 1989) und wurde im Vergleich zu dieser erweitert und präzisiert.

Als Bauprodukt nach BauPVO (2011) gilt dabei jedes Produkt oder jeder Bausatz, das oder der dauerhaft in Bauwerken oder Teilen davon eingebaut wird, und dessen Leistung sich auf die Leistung des Bauwerks im Hinblick auf eine der Grundanforderungen an Bauwerke auswirkt.

In der BauPVO (2011) werden in Anhang I sieben Grundanforderungen an Bauwerke formuliert:

- 1) Mechanische Festigkeit und Standsicherheit,
- 2) Brandschutz,
- 3) Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz,
- 4) Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Benutzung,
- 5) Schallschutz,
- 6) Energieeinsparung und Wärmeschutz,
- 7) Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Dämmstoffe sind also Baustoffe, die hauptsächlich wegen der Grundanforderung 6: „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ in Bauwerken eingebaut werden. Neu im Vergleich zur BauPRL (1989) ist die Grundanforderung 7: „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“. Diese besagt, dass ein Bauwerk so entworfen, errichtet und abgebrochen werden muss, dass natürliche Ressourcen nachhaltig genutzt werden, und nach dem Abbruch Baustoffe und Bauteile wiederverwendet oder recycelt werden müssen. Des Weiteren muss das Bauwerk dauerhaft sein und es müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden. Die CE-Kennzeichnung von Bauprodukten gemäß BauPVO (2011) zeigt an, dass ein Bauprodukt die Anforderungen gemäß BauPVO (2011) erfüllt.

2.1.2 Abfallrahmenrichtlinie

Die „Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates der Europäischen Union vom 19. November 2008 über Abfälle (2008/98/EG)“ bildet den rechtlichen Rahmen der Abfallgesetzgebung der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Die Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL, 2008) definiert eine fünfstellige Hierarchie, welche die Prioritäten beim Umgang mit Abfällen vorgibt und die wie folgt lautet:

- a) Vermeidung,
- b) Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- c) Recycling,
- d) sonstige Verwertung, z.B. Thermische Verwertung,
- e) Beseitigung.

Für einzelne Abfallströme ist es jedoch erlaubt von der Hierarchie abzuweichen, sofern dies aufgrund der Betrachtung der Umweltauswirkungen über den gesamten Produktlebensweg gerechtfertigt ist. Weitere zentrale Punkte der AbfRRL sind die erweiterte Herstellerverantwortung und verbindliche Recyclingquoten sowie Abfallvermeidungsprogramme für bestimmte Abfallströme. Bis Ende des Jahres 2013 muss jeder Mitgliedsstaat Abfallvermeidungsprogramme mit Abfallvermeidungsmaßnahmen und Vermeidungszielen erstellen. Die Herstellerverantwortung kann die Rücknahme von Erzeugnissen und Abfällen, sowie die anschließende Bewirtschaftung der Abfälle und die finanzielle Verantwortung für diese Tätigkeiten umfassen.

Im Rahmen dieser Arbeit sind vor allem die Bestimmungen für Abfälle aus dem Bauwesen relevant. Für die Wiederverwendung und das Recycling von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen müssen in den EU-Staaten bis zum Jahr 2020 Recyclingquoten von mindestens 70 Gew.-% erreicht werden (AbfRRL, 2008).

Im Jahr 2009 fielen in Österreich 6,9 Millionen Tonnen Abfall im Bauwesen an, wovon 5,5 Millionen Tonnen verwertet wurden. Dies entspricht einer Verwertungs-

quote von 79,7 Masse-% (BAWP, 2011). Das Abfallaufkommen aus dem Bauwesen wird im Zuge dieser Arbeit noch näher betrachtet.

2.2 Nationale Bestimmungen

Relevante Bestimmungen auf nationaler Ebene für die Anwendung und die Entsorgung von Dämmstoffen sind die OIB – Richtlinie 6 des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB), das Österreichische Abfallwirtschaftsgesetz und die Baurestmassentrennverordnung.

2.2.1 OIB - Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz

Die OIB – RL 6 über Energieeinsparung und Wärmeschutz beinhaltet Anforderungen an den Heizwärme- und Kühlbedarf, an die thermische Qualität der Gebäudehülle, an den Endenergiebedarf, an wärmeübertragende Bauteile und an Teile des energietechnischen Systems von konditionierten Gebäuden. In der Richtlinie werden verschiedene Gebäudekategorien definiert und Anforderungen an den Heizwärmebedarf von Neubauten und von thermisch sanierten Gebäuden festgelegt. Für wärmeübertragende Bauteile werden Grenzen für den Wärmedurchgangskoeffizienten, den U-Wert, angegeben. Die in Tabelle 1 angeführten U-Werte von Bauteilen dürfen sowohl bei Neubauten als auch bei Instandsetzungen der betreffenden Bauteile nicht überschritten werden und stellen somit die Mindestanforderungen für Bauteile dar. Außenwände von Gebäuden müssen in Österreich einen U-Wert $<0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen.

2.2.2 Österreichisches Abfallwirtschaftsgesetz

Das Österreichische Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) beinhaltet Ziele und Grundsätze der Österreichischen Abfallwirtschaft und stellt durch die Novelle zum AWG aus dem Jahr 2010 auch die Umsetzung der AbfRRL (2008) dar. In §16 Abs. 7 des AWG wird ein eigenes Verwertungsgebot für Abfälle formuliert, die im Zuge von Bautätigkeiten anfallen:

- Verwertbare Materialien sind einer Verwertung zuzuführen, sofern dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist und dies nicht mit unverhältnismäßigen Kosten verbunden ist.
- Nicht verwertbare Abfälle sind einer Abfallbehandlung zuzuführen.

Gemäß den Bestimmungen des AWG (2002) ist das Vermischen oder Vermengen von Abfall mit einem anderen Abfall oder anderen Stoffen verboten, sofern dadurch abfallrechtlich erforderliche Untersuchungen oder die Behandlung erschwert werden oder spezifische Grenzwerte beziehungsweise Anforderungen für Behandlungsanlagen nur durch den Mischvorgang erreicht werden können (AWG, 2002).

Bauteil	U-Wert, [W/m ² K]
WÄNDE gegen Außenluft	0,35
WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0,35
WÄNDE gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume) sowie gegen Garagen	0,60
WÄNDE erdberührt	0,40
WÄNDE (Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten	0,90
WÄNDE gegen andere Bauwerke an Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	0,50
WÄNDE (Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
DECKEN und DACHSCHRÄGEN jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0,20
DECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
DECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90
DECKEN über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks)	0,20
DECKEN gegen Garagen	0,30
BÖDEN erdberührt	0,40

Tab. 1: Allgemeine Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile, (OIB-RL 6, 2011)

2.2.3 Baurestmassentrennverordnung

Die „Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien BGBl. Nr. 259/1991“ ist seit 1. Jänner 1993 in Kraft. Sie regelt die Trennung wesentlicher Materialien, die im Zuge von Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallen. Die Trennung ist dabei nach verschiedenen Stoffgruppen vorgeschrieben und ab bestimmten Mengenschwellen verpflichtend. In Tabelle 2 werden die geltenden Mengenschwellen der Baurestmassentrennverordnung nach Stoffgruppen aufgelistet.

Die Trennung der Stoffgruppen hat entweder am Anfallort oder in Behandlungsanlagen zu erfolgen und muss eine Verwertung der einzelnen Stoffgruppen ermöglichen. Auf jeden Fall sind nicht gefährliche Abfälle von gefährlichen Abfällen zu trennen und zu lagern.

Stoffgruppe	Mengenschwelle, [Tonnen]
Bodenaushub	20
Betonabbruch	20
Asphaltaufbruch	5
Holzabfälle	5
Metallabfälle	2
Kunststoffabfälle	2
Baustellenabfälle	10
Mineralischer Bauschutt	40

Tab. 2: Mengenschwellen je Stoffgruppe gemäß Baurestmassentrennverordnung (1991)

3. Wärmedämmung bei Hochbauten

Wärmedämmung ist heutzutage aus dem Bauwesen nicht mehr wegzudenken. Ihre große Bedeutung begann Anfang der 1970er Jahre, als aufgrund der Energiekrise die Preise für Energie rapide in die Höhe stiegen und so verstärkt Bewusstsein für Energieeffizienz geschaffen wurde. Neben der ökonomischen Einsparung an Heizkosten kamen in den letzten Jahrzehnten auch ökologische Gründe für Energieeffizienz hinzu. Mit 14 % Anteil am gesamten Treibhausgasausstoß in Österreich ist der Sektor „Raumwärme und sonstiger Kleinverbrauch“ nach den Sektoren „Industrie“, „Verkehr“ und „Energieaufbringung“ an vierter Stelle der Treibhausgasemittenten. 2009 lagen die Emissionen aus dem Sektor Raumwärme mit 11,9 Mio. Tonnen CO₂ – Äquivalenten 0,6 Mio. Tonnen unter dem Ziel der Klimastrategie. Wärmedämmung im Bauwesen war neben dem Einsatz von effektiveren Heizsystemen und dem Wechsel zu kohlenstoffärmeren Brennstoffen eine treibende Kraft der Emissionsreduktion in diesem Sektor (ANDERL et al., 2011).

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Wärmedämmung bei Außenwandkonstruktionen im Hochbau dargestellt. Neben einer kurzen Beschreibung ausgewählter Dämmstoffgruppen werden einige Außenwandkonstruktionen sowie der europäische und österreichische Dämmmarkt hinsichtlich Umsatz und Aufteilung der Dämmstoffarten beschrieben.

3.1 Wärmedämmstoffe im Überblick

Als Wärmedämmstoff wird ein Baustoff bezeichnet, der aufgrund seiner Struktur viele luft- oder gasgefüllte Hohlräume aufweist und dadurch eine geringe Materialdichte hat. Diese ruhende Luft- oder Gasschicht besitzt im Vergleich zu dem anliegenden Festkörper, wie zum Beispiel einer Ziegelwand, eine niedrigere spezifische Wärmeleitfähigkeit λ . Der Dämmstoff ist ein schlechter Wärmeleiter und bewirkt dadurch die wärmedämmende Eigenschaft (NIEROBIS, 2003).

Aufgrund teils sehr unterschiedlicher Eigenschaften einzelner Dämmstoffe, welche nicht unmittelbar mit der Dämmwirkung verbunden sind, können diese nicht gleichermaßen für jede Einbausituation verwendet werden. So kann die Auswahl eines geeigneten Produkts abhängig von der erforderlichen Brandschutzklasse gemäß der EN 13501 – 1, der Druckbelastung oder der zu erwartenden Wasseraufnahme bestimmt sein (WILLEMS et al., 2010).

Wärmedämmstoffe müssen so wie andere Baustoffe bestimmte Produkthanforderungen erfüllen, um eingesetzt werden zu dürfen. Diese werden in

europaweit geltenden Produktnormen festgeschrieben. Wärmedämmstoffe können nach BUSCHMANN (2003) im Wesentlichen in drei Gruppen unterteilt werden:

- Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen
- Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen
- Dämmstoffe aus organischen/ nachwachsenden Rohstoffen

3.1.1 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

Diese Gruppe wird auch als Dämmstoffe aus anorganischen Rohstoffen bezeichnet. Als Rohstoffbasis dienen Silikate, Tone, Feldspate und andere Gesteine. Im Herstellungsprozess erfolgt meist nur eine physikalische Modifikation der Rohstoffbasis, welche zum Teil jedoch mit erheblichem Energieaufwand verbunden ist. Beispiele für Dämmstoffe aus dieser Gruppe sind Glaswolle, Schaumglas, Glasgranulat, Blähton, Steinwolle, Vermiculite, Perlite, Blähschiefer, Naturbims, Blähglas, Gipsschaum, Kalziumsilikat, Mineralschaum, Mineralwolle und weitere (BUSCHMANN, 2003). Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen sind aufgrund der Ausgangsstoffe sehr beständig gegen hohe Temperaturen und den Einfluss von Insekten und Nagetieren. Sie weisen ein gutes Brandverhalten auf. Ihre Dämmeigenschaften sind in aller Regel mit Ausnahme von Glas- und Steinwolle teils deutlich niedriger als bei anderen Dämmstoffarten. Aufgrund ihrer Eigenschaften werden sie häufig in Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) und zur Dämmung von Hohlräumen und Gefachen im Dachbereich eingesetzt. Dabei müssen sie vor Feuchtigkeit geschützt werden. WDVS werden im Kapitel 3.5.1 „Einschaliges Mauerwerk mit WDVS“ genauer beschrieben.

In dieser Arbeit werden die Dämmstoffe Mineralschaum, Glaswolle und Steinwolle betrachtet. Glas- und Steinwolle werden zumeist als Mineralwolle bezeichnet. Viele Literaturangaben und Untersuchungen, wie zum Beispiel jene von PFUNDSTEIN et al. (2008), WILLEMS et al. (2010), BBSR (2011), betrachten Mineralwollen als nur eine Dämmstoffart und unterscheiden kaum zwischen Glas- und Steinwolle. In dieser Arbeit wird versucht diese getrennt zu betrachten.

3.1.2 Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen

Rohstoffbasis für diese Gruppe von Dämmstoffen ist meist Rohöl. Bei den Herstellungsprozessen handelt es sich vorwiegend um organisch-chemische Synthesen, welche durch den Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen sowie durch hohen Energieaufwand und großem Gefahrenpotential gekennzeichnet sind (BUSCHMANN, 2010). Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen weisen durchwegs sehr gute Dämmeigenschaften auf und eignen sich aufgrund ihrer geschlossenen Zellstruktur gut für den Einsatz in feuchten Anwendungsgebieten wie der Perimeterdämmung und dem Einsatz auf Flachdächern und in WDVS. Ein Nachteil dieser Dämmstoffe ist jedoch, dass sie nur bis zu Temperaturen von etwa

90°C belastbar sind. Im Brandfall kommt es in der Regel zu starker Rauchbildung. In dieser Arbeit werden die Dämmstoffe expandiertes und extrudiertes Polystyrol (EPS und XPS), Polyurethan (PUR) und Phenolharz (auch Resolhartschaum genannt) genauer betrachtet.

3.1.3 Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Diese Gruppe besteht aus sehr unterschiedlichen Dämmstoffen, die als Faserstoffe wie Matten, Filze, Platten oder als Schnitzel, Späne oder Blähstoffe aus überwiegend pflanzlichen Ausgangsstoffen verwendet werden. Zu Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen werden Baumwolle, Flachs, Getreidegranulat, Hanf, Holzspäne, Holzfasern, Holzwolle, Kork, Schafwolle, Schilfrohr, Stroh, Zellulose und viele mehr gezählt. Im Zuge dieser Arbeit wird auch die Schafwolle als nachwachsender Rohstoff tierischer Herkunft dieser Gruppe zugefügt. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind hinsichtlich ihrer Dämmleistung durchaus mit jenen der beiden anderen Gruppen zu vergleichen, jedoch sind sie anfälliger für den Befall von Insekten und Fäulnis. Auch der Einfluss von Feuchtigkeit wirkt sich negativ auf das Langzeitverhalten aus und muss unterbunden werden (WILLEMS et al., 2010). Der Einsatz an Primärenergie ist im Zuge der Herstellung laut Buschmann (2003) meist gering bis mittel. In einigen Ökobilanzen wird jedoch der solare Energieanteil bei der Photosynthese bei einigen Dämmstoffen hinzugerechnet, sodass der Gesamtprimärenergieverbrauch sehr hoch ausfällt. Aufgrund der hohen Zahl an Dämmstoffen, die dieser Gruppe angehören, wird in der vorliegenden Arbeit nur auf die Produkte Kork, Holzfasern, Hanf und Schafwolle näher eingegangen.

3.1.4 Dämmstoffkennwerte

Tabelle 3 führt charakteristische Kenngrößen der ausgewählten Dämmstoffe auf, die als Grundlage für Berechnungen in dieser Arbeit dienen. Diese Angaben können je nach Produkt und Literaturangabe teils stark variieren, sodass in den meisten Fällen nur Bereiche angegeben werden können. Eine genauere Beschreibung der untersuchten Dämmstoffe findet sich im Anhang A dieser Arbeit.

	Wärmeleitfähigkeit λ [W/m ² *K]	Rohdichte [kg/m ³]	Baustoff- klasse EU	Maximale Anwendungs- temperatur [°C]	*Literaturquellen
Mineralschaum	0,045 – 0,090	90 – 390	A1, A2	1050	IBU (2011a)
Glaswolle	0,035 – 0,045	13 – 150	A1, A2	200 – 500	IBU (2011b)
Steinwolle	0,035 – 0,045	20 – 220	A1	100 – 800	IBU (2011c)
EPS	0,032 – 0,045	15 – 30	E	80 – 85	IBU (2009)
XPS	0,030 – 0,041	20 – 50	E	75 – 85	IBU (2010a)
PUR	0,024 – 0,040	30 – 250	B, C	120	IBU (2010b)
Phenolharz	0,022 – 0,040	20 – 160	C	150	Kingspan (2010)
Kork	0,040 – 0,060	65 – 220	D	120	Wecobis (2013)
Holzfaser	0,040 – 0,090	40 – 270	E	110	Danner (2010), IBU (2012)
Hanf	0,040 – 0,050	20 – 40	C – E	100	Danner (2010)
Schafwolle	0,035 – 0,045	15 – 100	E	100	Danner (2010)

Tab. 3: Charakteristische Kenngrößen ausgewählter Dämmstoffe (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008, *zusätzliche Literaturquellen)

3.2 Dämmstoffmarkt

Im Folgenden werden der europäische und der österreichische Dämmstoffmarkt näher behandelt. Diese Betrachtung ist wichtig, um das derzeitige und zukünftige Aufkommen von Dämmstoffabfällen und den Anteil mineralischer und synthetischer Dämmstoffe am Gesamtaufkommen abschätzen zu können.

3.2.1 Europäischer Dämmstoffmarkt

Im Jahr 2005 betrug das Marktvolumen des europäischen Dämmstoffmarktes 77 Mio. m³ pro Jahr mit prognostizierten leichten jährlichen Zuwächsen. Mit einem Anteil von 55 – 60 Vol.-% dominierten Dämmstoffe aus Mineralwolle, wobei etwa 2/3 Dämmstoffe aus Glaswolle und 1/3 Dämmstoffe aus Steinwolle einnahmen. Der Anteil von geschäumten organischen Dämmstoffen lag bei 27 – 40 Vol.-%, wobei hier die Angaben in der Literatur stärker schwanken als bei anderen Produktgruppen. EPS nimmt dabei einen Gesamtmarktanteil von bis zu 30 Vol.-%

ein (CARUS et al., 2008; DANNER, 2010; PAPADOPOULOS, 2005). Die restlichen in der Arbeit betrachteten Dämmstoffe besitzen zurzeit noch eine relativ geringe Marktbedeutung, doch vor allem bei Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zeigt der Trend klar nach oben (CARUS et al., 2008).

Dämmstoffe aus Mineralwolle sind vor allem in Frankreich (73,6 Vol.-% Marktanteil), Deutschland (55,6 % Marktanteil) und Großbritannien (42,5 Vol.-% Marktanteil) weitverbreitet. In den südlichen Staaten haben sich jedoch Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen, vor allem EPS und XPS, zu geringen Teilen auch PUR, durchgesetzt. In Spanien nehmen diese einen Marktanteil von 57,5 Vol.-%, in Italien sogar von 69,2 Vol.-% ein (CARUS et al., 2008).

3.2.2 Österreichischer Dämmstoffmarkt

In einer Studie von *Kreutzer, Fischer & Partner* konnte für das Jahr 2011 ein Marktvolumen an Dämmstoffen von 6,1 Mio. m³ für Österreich festgestellt werden. Dies bedeutete einen Rückgang von 1,2 % im Vergleich zum Vorjahr. Für den Rückgang verantwortlich waren die anhaltend schwache Konjunktur bei Neubauvorhaben im Nicht-Wohnbau sowie der sich langsamer als erwartet entwickelnde Sanierungsmarkt. Dass die meisten Dämmstoffhersteller dennoch ein Umsatzplus vermelden können, liegt nur an den steigenden Preisen für Dämmprodukte. Der Durchschnittspreis dieser Warengruppe erhöhte sich in dem betrachteten Berichtsjahr 2011 um +6,9 % gegenüber dem Jahr 2010 (BRANCHENRADAR, 2012). Tabelle 4 enthält eine Gliederung des Dämmstoffmarktes in Österreich sowohl nach Umsatz als auch nach Absatzmenge. Interessant hinsichtlich der Marktentwicklung sind auch die Erkenntnisse von CARUS et al. (2008), wonach in Deutschland bereits seit 2003 der Absatz von Dämmstoffen am Sanierungs-/Renovierungsmarkt jenen am Markt für Neubauten leicht übertrifft. Genauere Daten konnten dazu jedoch nicht gefunden werden.

Bei der näheren Betrachtung von Tabelle 4 lässt sich erkennen, dass der Umsatz am österreichischen Dämmstoffmarkt von Schaumstoffprodukten dominiert wird. Bei den Absatzzahlen halten sich Dämmstoffe aus Mineralwolle und jene aus Schaumstoffen jedoch die Waage und nehmen zusammen einen Anteil über 90 % der abgesetzten Menge ein.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Umsatz – Anteile in %						
Mineralwolle	29,5	29,1	29,8	28,0	26,6	25,5
Schaumstoffe	58,7	59,3	59,2	61,1	63	64,3
Sonstige Dämmstoffe	11,8	11,6	11,0	10,9	10,4	10,2
Umsatz gesamt in Mio. €	304,4	298,3	298,4	315,2	-	-
Absatz – Anteile in %						
Mineralwolle	46,3	45,6	46,6	46,3	45,7	45,3
Schaumstoffe	44,4	45,5	44,7	44,9	45,7	46,1
Sonstige Dämmstoffe	9,3	8,9	8,7	8,8	8,7	8,6
Absatz gesamt in Mio. m³	-	-	-	6,1	-	-

Tab. 4: Umsatz und Absatz der Dämmstoffe in Österreich (BRANCHENRADAR, 2012)

3.3 Wärmedämmung in Niedrigenergie- und Passivhäusern

Gemäß ÖNORM B 8110-6 „Wärmeschutz im Hochbau“ darf in Österreich ein Gebäude als Niedrigenergiehaus bezeichnet werden, wenn der Heizwärmebedarf unter $50 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ liegt. Für Niedrigenergiehäuser gibt es keine detaillierten Vorgaben bezüglich U-Werte für Bauteile.

„Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität erforderlich ist, gewährleistet werden kann, ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.“ Diese Definition laut IBO (2009) aus dem Passivhaus-Bauteilkatalog enthält keinerlei Zahlenwerte und ist rein funktional. Sie beschreibt das grundsätzliche Konzept eines Passivhauses, indem versucht wird die thermische Behaglichkeit so weit wie möglich mittels passiver Maßnahmen wie Wärmedämmung, Wärmerückgewinnung und passiv genutzter Sonnenenergie zu erhalten. Gemäß OIB-RL 6 darf ein Passivhaus einen Heizwärmebedarf von $10 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ nicht überschreiten. Die wichtigsten Grundsätze sind dabei die thermische Optimierung von Gebäudebestandteilen und eine automatische Wohnraumbelüftung. Für DOPPELBAUER und MAHDAVI (2010) sind neben der automatischen Wohnraumbelüftung vor allem die verwendeten Stärken der Dämmmaterialien die wesentlichsten Unterschiede zwischen Niedrigenergie- und

Passivhäusern. Die Anforderungen des Energieausweises für Gebäude gemäß der OIB – RL 6: „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ an den jährlichen Heizwärmebedarf zur Erfüllung einzelner Gebäudestandards sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Eine Mindestanforderung für den U-Wert einer Passivhaus-Außenwand ist in der Richtlinie nicht enthalten. Für die Erreichung des Passivhaus-Standards wird ein U-Wert von Außenwänden zwischen $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, abhängig von der Gebäudegröße, empfohlen (FEIST, 2001). Laut Beschluss der Europäischen Kommission müssen ab 2020 alle neu gebauten Gebäude sogenannte „nearly to zero energy buildings“ sein, die dem Passivhausstandard entsprechen (IG PASSIVHAUS, 2013).

Klasse	HWB _{BGF Ref} [kWh/m ² a]	Gebäudestandard
Klasse A++	< 10	Passivhaus
Klasse A+	< 15	Niedrigstenergiehaus
Klasse A	< 25	Niedrigenergiehaus
Klasse B	< 50	
Klasse C	< 100	Mindestanforderung an Neubau
Klasse D – F	< 250	Alte und unsanierte Gebäude
Klasse G	> 250	

Tab. 5:Stufen der Effizienzskala für jährlichen Heizwärmebedarf, (OIB-RL 6, 2007)

3.4 Thermische Sanierung

Die thermische Sanierung von Gebäuden ist ein wichtiger Schritt, um die Energieeffizienz von älteren Gebäuden im Bestand zu erhöhen. Laut MESSARI-BECKER (2008) werden 90 % der in privaten Haushalten anfallenden CO₂ – Emissionen im Altbau verursacht. Durch die thermische Sanierung von Altgebäuden konnte der Energieverbrauch um bis zu 80 % reduziert werden. Die Möglichkeiten einer thermischen Sanierung sind jedoch nicht beim gesamten Gebäudebestand in Österreich gleich. Entscheidend ist aus welcher Bauperiode das Gebäude stammt. Bei älteren Gebäuden aus dem 19. Jahrhundert oder der Bauperiode vor dem 2. Weltkrieg sind umfassende Dämmmaßnahmen aufgrund der Beschaffenheit der Fassade oder aus Denkmalschutzgründen oft nicht möglich (MORGENBESSER, 2010). Der Gebäudebestand in Österreich aus dem Jahr 2001 ist in Tabelle 6, aufgeteilt nach Bauperioden, aufgelistet. Vor allem bei Gebäuden, die vor 1970 errichtet wurden, können mittels thermischer Sanierung erhebliche Energieeinsparungen erreicht werden.

Gesamt	vor 1919	1919-1944	1945-1960	1961-1980	1981-1990	Nach 1990
2.046.712	353.379	175.946	252.984	619.134	296.528	348.741
100%	17,3 %	8,6%	12,4%	30,3%	14,4%	17,0%

Tab. 6: Gebäude im Bestand nach Bauperioden in Österreich (STATISTIK AUSTRIA, 2004)

Auch die Bausubstanz, welche zwischen 1970 und 1990 gebaut wurde, ist verstärkt Ziel thermischer Sanierungen, um damals verbaute gesundheitsschädliche Stoffe wie Asbest zu entfernen und die vorhandene Wärmedämmung auszubauen (MORGENBESSER, 2010). Nach AMANN (2008) sind 67 % aller Wohneinheiten in Österreich, die vor 1991 gebaut wurden, unzureichend gedämmt und müssten einer thermischen Sanierung unterzogen werden.

Bei Gebäuden wird in der Regel eine Nutzungsdauer der wichtigsten Bauteile von 50 Jahren angenommen, bevor eine Sanierung notwendig ist. Um den Gebäudebestand in Österreich nachhaltig zu erhalten, müsste demnach die Sanierungsrate bei 2 % jährlich liegen. Derzeit beträgt sie jedoch unter 1 % pro Jahr. Der Sanierungsrückstand in Österreich vergrößert sich demnach jährlich (RÖDHAMMER, 2012). Nach KORJENIC et al. (2009) kann eine niedrige Sanierungsquote in einer der folgenden Problemstellungen begründet liegen:

- Die Sanierungsmaßnahme kommt hauptsächlich den Vermietern zugute, während der Kostenträger, der Eigentümer, nur die Wertsteigerung als Nutzen hat;
- Mangelnde Bereitschaft der Bewohner zur Sanierung;
- Erhebliche Mehrkosten für Passivhaustechnik;
- Zu geringe höchstzulässige Gesamtsanierungskosten.

MAYDL et al. (2007) stellen in ihrer Arbeit Berechnungen zur optimalen Dämmstoffdicke und zur erlangten CO₂-Einsparung durch verminderten Heizenergiebedarf durch eine thermische Sanierung an. Ab gewissen Dämmstoffstärken kann durch eine zusätzliche Dämmung nur mehr eine geringe weitere Abnahme des Heizwärmebedarfes erreicht werden. Ziel eines Sanierungsvorhabens sollte es aus wirtschaftlicher Sicht sein, jene Dämmstoffdicken mit dem optimalen Preis-Leistungs-Verhältnis zu verwenden. Des Weiteren berechneten sie die wirtschaftliche Amortisation ausgewählter Sanierungsprojekte, wobei sich die meisten Vorhaben nach einer Zeitspanne von 8 bis 25 Jahren amortisiert hatten. Es gab jedoch auch Ausnahmen, bei denen die Amortisationszeit bei 40 Jahren lag.

3.5 Wärmedämmung von Außenwänden

Moderne Außenwandkonstruktionen können auf verschiedene Art und Weise gegen einen Wärmeverlust nach außen geschützt werden. Es gibt dabei folgende Möglichkeiten:

- *Einschaliges Mauerwerk mit WDVS*: Dämmstoffplatten werden mittels Klebespachtel oder Dübel auf dem mineralischen Wandbildner befestigt (NEROTH, 2011).
- *Zweischalige Außenwand mit Kerndämmung*: diese Konstruktion besteht aus zwei Wänden, wobei die innere die Last trägt und die äußere den Wetterschutz bildet. Der Dämmstoff wird in den Hohlraum dazwischen eingblasen oder in Form von Stopfwole oder Platten eingebracht (PETER, 2005).
- *Vorgehängte, hinterlüftete Fassade*: auf der Wand wird eine Unterkonstruktion befestigt, in der der Dämmstoff befestigt wird. Den Abschluss bildet eine wetterfeste Bekleidung (REYER et al., 2005).
- *Wärmedämm-Putzsysteme*: Der Wärmeschutz wird nicht durch einen Dämmstoff an sich erreicht, sondern durch den Unterputz. Dieser wird aus mineralischen Bindemitteln wie Kalk oder Zement und Leichtzuschlägen hergestellt. Dabei kann es sich um EPS-Kügelchen oder mineralische Dämmstoffe wie Blähton oder Vermiculite handeln (REYER et al., 2005).
- *Leichtbeton- und Leichtziegelsteine*: Zur Erhöhung der Wärmedämmfähigkeit wird der Rohmasse Sägemehl oder auch EPS beigemischt, das beim Brennvorgang verbrennt und Poren hinterlässt. Solche Steine eignen sich vor allem für Mauerwerke mit niedrigen Anforderungen hinsichtlich Wärmeschutz (DIERKS et al., 2002).
- *Mauerwerk aus Ziegelsteinen mit integriertem Dämmmaterial*: dabei handelt es sich um eine Kombination aus Ziegel und Dämmmaterial, welches sich dabei in den Hohlräumen des Ziegelsteins befindet und diese komplett ausfüllt. Je nach Stärke des Ziegels und des verwendeten Dämmmaterials können U-Werte bis $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht werden (WIENERBERGER, 2011).

Im Folgenden werden nun die für diese Arbeit relevanten Konstruktionen näher beschrieben.

3.5.1 Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem

Ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) ist ein Dämmsystem, welches für die Dämmung von einschaligen Außenwänden verwendet wird. Dabei werden üblicherweise Dämmstoffe mittels Klebespachtel oder Dübel auf mineralischen Wandbildnern oder auf Holzrahmenkonstruktionen befestigt und verputzt (ZWIENER

und MÖTZL, 2006). WDVS sind aus spezifischen Komponenten aufgebaut, die gemeinsam als System auf ihre Eignung geprüft und als vollständiger Bausatz von einem Hersteller geliefert werden. Sie bestehen im Allgemeinen aus folgenden Komponenten (NEROTH, 2011):

- Klebmasse oder Klebemörtel: zum Befestigen des Dämmstoffes am Untergrund
- Mechanisches Befestigungsmittel wie Schienen oder Dübel
- Wärmedämmstoff: im Allgemeinen Platten aus Mineralwolle oder Extrudiertem Polystyrol
- Unterputz: Schicht die direkt auf Dämmstoff aufgetragen wird und die meisten mechanischen Eigenschaften des Wärmedämmstoffes bestimmt
- Armierung: wird in den Unterputz eingebettet werden, um dessen mechanische Festigkeit zu verbessern
- Oberputz/Schlussbeschichtung: bildet äußerste Schicht des WDVS und bewirkt den Schutz gegen äußere Einflüsse des Wetters und verleiht dem System die gewünschte Struktur und Farbe

Je nach der gewählten Art der Verankerung an der tragenden Konstruktion, dem gewählten Wärmedämmstoff und der Art der Beschichtung, werden verschiedene WDVS – Varianten voneinander unterschieden (VOGDT, 2010). Eine Befestigung nur mittels Kleben ist für Platten bis zu einem System-Gewicht von 10 kg/m^2 möglich. Der Auftrag des Klebemörtels wird dabei in aller Regel nach der sogenannten Randwulst-Punkt-Methode durchgeführt. Dabei wird am Rand der Platte umlaufend ein ca. 5 cm breiter Streifen des Klebemörtels angebracht. Zusätzlich werden in der Mitte der Platte drei ca. 15 cm große Patzen platziert. Die Menge des Klebemörtels ist so zu wählen, dass die Schichtdicke des Mörtels 5 – 20 mm nicht unterschreitet und eine Kontaktfläche zwischen Wandmaterial und Dämmplatte von mindestens 40 % erreicht wird. Bei schweren Dämmplatten wie Mineralschaum ist eine Kontaktfläche von mindestens 70 % oder eine vollflächige Verklebung vorgeschrieben. Ab einem System-Gewicht von über 10 kg/m^2 müssen die Dämmplatten zusätzlich mit Dübel an der Außenwand befestigt werden. Bei der Verwendung von Steinwolle-Platten ist die zusätzliche Verdübelung immer vorgeschrieben (RÖFIX, 2007).

Abbildung 1 zeigt den typischen Aufbau eines WDVS. Neben der Wirkung von WDVS zur Senkung des Heizwärmebedarfes in kalten Monaten gibt es auch in den Sommermonaten positive Eigenschaften der Konstruktion. In einem Forschungsprojekt der TU Wien wurde das Potential von WDVS zur Einschränkung der sommerlichen Überwärmung von Gebäuden untersucht. Dabei zeigte sich, dass durch die Herstellung eines WDVS die Temperaturen in einem Gebäude mit WDVS durchschnittlich höher waren, jedoch die Temperaturspitzen an Tagen mit hohen

Außentemperaturen niedriger als bei Gebäuden ohne WDVS (HANDLER et al., 2011).

Viele der derzeit im Gebäudebestand eingesetzten WDVS sind noch voll funktionsfähig, entsprechen jedoch nicht mehr heutigen Dämmstandards. Ein Rückbau oder ein Austausch ist meist sowohl ökologisch als auch ökonomisch nicht sinnvoll. Aus diesem Grund wird bei Gebäuden, die thermisch saniert werden und die vorhandenen WDVS noch funktionstüchtig sind, eine Aufdoppelung durch zusätzliche Dämmstoffe bevorzugt (KRUS und RÖSLER, 2011).

Obwohl WDVS erst seit über 40 Jahren verwendet werden und somit noch relativ neu im Bauwesen sind, sind gravierende oder symptomatische Schadensbilder, die einen Austausch des Dämmstoffes nach sich ziehen würden, nicht sehr häufig anzutreffen. CZIESIELSKI und VOGDT (2000) untersuchten häufige Schäden an WDVS. Die festgestellten Ursachen lagen kaum an den verwendeten Dämmstoffen. Dämmschichten bei WDVS oder anderen Dämmkonstruktionen werden meist in Folge anderer Baumängel beschädigt, die einen Feuchtigkeitseintritt zur Folge haben.

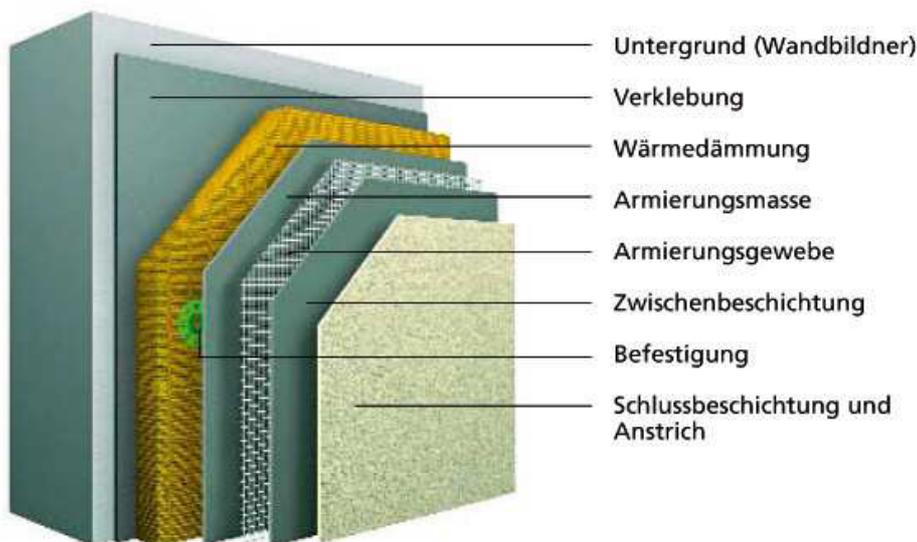


Abb. 1: Aufbau eines WDVS (ENBAUSA, n.a)

3.5.2 Zweischalige Außenwand mit Kerndämmung

Bei einer zweischaligen Außenwand handelt es sich um ein Mauerwerk, dessen äußere Schale meist 11,5 cm dick ist und den Wetterschutz bildet. Eine zweite, innere Schale trägt die Last. Innen- und Außenschale werden über Anker miteinander verbunden, die Wärmedämmung wird zwischen den beiden Schalen eingeblasen oder mittels Stopfwole oder Dämmplatten eingebracht und nicht mittels Klebemörtel oder Dübel befestigt (PETER, 2005). Der Hohlraum wird dabei vollständig und ohne Luftschicht ausgefüllt. Das Dämmmaterial darf keinen

Nährboden für tierische und pflanzliche Schädlinge darstellen und muss permanent wasserabstoßend und wasserdampfundurchlässig sein (DIERKS et al., 2002).

3.5.3 Vorgehängte, hinterlüftete Fassade

Bei diesem Außenwandsystem wird auf dem Außenverputz des Wandbildners eine Unterkonstruktion angebracht. Diese besteht zumeist aus Aluminium, in einigen Fällen auch aus Holz. Die Unterkonstruktion ermöglicht es auch kleine Unebenheiten auszugleichen. Vorteile dabei sind, dass die Unterkonstruktion dabei in nahezu jedem Untergrund befestigt werden kann und etwaige Bewegungen des Baukörpers ohne die Entstehung von Rissen in der Wetterschutzschicht ausgleichen kann. Der Dämmstoff wird in weiterer Folge in die Unterkonstruktion eingeschoben und mittels Dämmstoffhalter an der Konstruktion befestigt. Bei dieser Außenwandkonstruktion wird der Dämmstoff also nicht mittels Klebspachtel und Dübel befestigt. Zumeist werden bei hinterlüfteten Fassaden mineralische Dämmstoffe wie Glas- oder Steinwolle, aber auch Mineralschaumplatten, eingesetzt. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Hinterströmung der Dämmung durch Außenluft ausgeschlossen wird. Anders als bei WDVS sind die Wärmedämmung und die anschließend anzubringende Wetterschutzschicht durch eine mindestens 20 mm breite Hinterlüftung getrennt. Durch diese Schicht kann auftretende Feuchtigkeit, die in Folge von Witterungsereignissen oder durch das Bauwerk selbst entsteht, abgeführt werden. Für die Wetterschutzschicht können verschiedene Materialien wie Aluminiumpaneele, Schiefertafeln, Holzschindeln, Glas- oder Keramikplatten verwendet werden (REYER et al., 2005). Die zu erwartende Lebensdauer wird dabei wie bei WDVS mit 30 Jahren und mehr angegeben. Die tatsächliche Lebensdauer dürfte im Vergleich zum WDVS jedoch höher anzusetzen sein (RÖDHAMMER, 2012). Die Investitionskosten liegen in der Regel höher als bei anderen gedämmten Außenwandkonstruktionen, jedoch relativieren sich diese auf lange Sicht durch niedrige Instandhaltungs- und Reparaturkosten. Weitere Vorteile dieser Außenwandkonstruktion liegen in den guten Rückbaueigenschaften der einzelnen Komponenten, da diese ohne Klebschicht verbaut und somit einfach getrennt zu erfassen und einem Entsorgungs- oder Recyclingprozess zugeführt werden können (REYER et al., 2005). Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade.

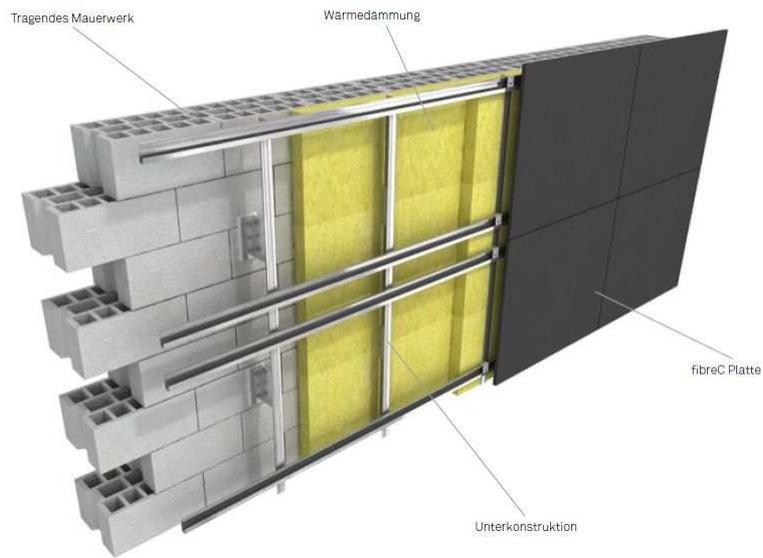


Abb. 2: Aufbau einer hinterlüfteten, vorgehängten Fassade (MKM, 2012)

4. Rückbau von Dämmstoffen

Im Folgenden wird die Rückbaufähigkeit von Dämmstoffen untersucht. Die Ergebnisse der Literaturrecherche wurden durch zwei Interviews ergänzt (GLAVAS, 2012; RÖDHAMMER, 2012). Zu Beginn des Kapitels werden die Abbruchmethoden „Selektiver Rückbau“ und „Konventioneller Abbruch“ einem Vergleich unterzogen. Im Anschluss folgt eine Erläuterung verschiedener Konzepte, die bereits in der Planungsphase versuchen, den Rückbau einzubeziehen. Zum Abschluss des Kapitels wird auf die Möglichkeiten und Schwierigkeiten beim Rückbau von Wärmedämmstoffen eingegangen.

4.1 Selektiver Rückbau vs. Konventioneller Abbruch

Gemäß ÖNORM B 2251 „Abbrucharbeiten, Werkvertragsnorm“ wird Abbruch im Allgemeinen als „Zerlegung von Bauteilen mit vorheriger Schadstoff-Entfrachtung dieser Bauteile“ definiert. Die für diese Arbeit relevanten Begriffe der Norm werden im Folgenden kurz definiert:

- Demolierung: Abbruch ohne besondere Berücksichtigung der Trennung nach Stoffen
- Demontage: Auseinandernehmen von Konstruktionsteilen durch Lösen von Verbindungen oder Abtrennen von Teilen
- Entkernen: teilweises oder gänzlich Entfernen von tragenden oder nicht tragenden Bauteilen innerhalb der verbleibenden tragenden Umfassungsbauteile
- Rückbau: Abbruch mit besonderer Berücksichtigung der Trennung von Materialien

Beim konventionellen Abbruch, auch als Abriss bezeichnet, wird die Bausubstanz ohne zwingende Anforderungen hinsichtlich Entkernung oder Trennung von Materialien zerstört (LECHNER, 2003). Gängige Abbruchmethoden sind dabei Stemmen, Abgreifen, Einschlagen, Eindrücken, Einreißen, Einziehen, Sprengen und weitere (TOPPEL, 2003).

Die hierbei anfallenden Abbruchabfälle stellen ein heterogenes Gemisch der im Bauwerk verwendeten Materialien dar. Durch die Vermischung und Grobstückigkeit des anfallenden Materials fallen in der Regel höhere Kosten für die Entsorgung an, da diese nachträglich in einer Sortieranlage zerkleinert und getrennt werden müssen. Vorteile des konventionellen Abbruchs sind ein geringerer Planungs- und Zeitaufwand sowie die schnellere Nachnutzungsmöglichkeit der betroffenen Fläche. Nachteile sind die erforderliche Nachsortierung und Trennung der Abfälle sowie eine

erhöhte Mischfraktion, welche zu hohen Kosten entsorgt werden muss (LECHNER, 2003). Gemäß ÖNORM B 2251 ist diese Form des Abbruches, also die Demolierung, nur unter Einhaltung der in der Baurestmassentrennverordnung festgeschriebenen Mengenschwellen zulässig.

Der Begriff des „Selektiven Rückbaus“ (Selektiver Abbruch, Kontrollierter Rückbau, Verwertungsorientierter Rückbau, Recyclingorientierter Rückbau...) wird dadurch definiert, dass alle Bau- und Ausrüstungsteile nach ihrer Funktion oder ihrer Materialzusammensetzung getrennt demontiert und bereits an der Baustelle sortenrein gesammelt werden. Die ÖNORM B 2251 sieht dazu vor, dass die Demontage der Bauteile im Allgemeinen in umgekehrter Reihenfolge der Errichtung des Bauwerkes durchgeführt wird. Dabei soll die Vermischung, Verunreinigung oder Beschädigung des zu trennenden Materials vermieden werden.

Selektiver Rückbau ist somit die Grundvoraussetzung, um möglichst sortenreine Stofffraktionen für Aufbereitungsanlagen liefern und in der Folge hochwertige Recyclingstoffe gewinnen zu können. Zusätzlich können unbeschädigte Bauteile wiederverwendet, und Stör- und Fremdstoffe aus den jeweiligen Abfallfraktionen geschleust werden. Um diese Schritte durchführen zu können, wird vor Beginn des Abbruchs ein Rückbaukonzept erstellt, in dem die wichtigsten Rückbauphasen, auch als Demontagestufen bezeichnet, festgelegt werden. Eine allgemeine Einteilung könnte basierend auf SCHEIBENGRAF und REISINGER (2005) und BRUCK et al. (2002) wie folgt lauten:

- **Demontagestufe 1:** Schonender Ausbau von Bauteilen, die wiederverwendet werden können, zum Beispiel Geräte der technischen Gebäudeausrüstung, Heizkörper, Schaltschränke, Sanitärarmaturen und ähnliches.
- **Demontagestufe 2:** Demontieren von wiederverwendbaren Bauteilen, die einer Aufbereitung durch Reinigung oder Reparatur bedürfen, zum Beispiel Türen, Fenster, Oberlichter, Rollläden, Decken- und Wandverkleidungen, Holztreppe, etc. Dabei sind gut lösbare Verbindungselemente wie Schraub-, Steck- und Klemmverbindungen sowohl aus zeitlichen wie auch aus Gründen des zerstörungsfreien Rückbaus von Vorteil.
- **Demontagestufe 3:** In dieser Rückbauphase werden Baustoffe demontiert, die einem stofflichen Recyclingprozess zugeführt werden können. Dabei handelt es sich um Dachstühle, Eisenmetalle aus Stahlkonstruktionen, diverse Metalle aus Dach- und Fassadenkonstruktionen.
- **Demontagestufe 4:** Abbau aller noch verbleibenden Bauteile des Innenausbauens oder der Gebäudetechnik, sodass die verbleibenden mineralischen Baumaterialien von allen anderen Bauteilen, Stoffen und Verunreinigungen weitest möglich befreit sind. Die zu entfernenden Stoffe umfassen dabei meist Dämmstoffe, Füllschäume und Zwischenwände.

- **Demontagestufe 5:** Die letzte Phase umfasst den Abbruch des verbleibenden Rohbaus mittels konventioneller Methoden. Dabei wird gleichzeitig eine Sortierung des Abbruchmaterials etwa nach Beton und Ziegelbruch durchgeführt.

Nachteile des selektiven Rückbaus sind neben dem erhöhten Zeitaufwand auch die erhöhten Demontagekosten, die sich aufgrund der benötigten Arbeitszeiten und geringerer Arbeitsproduktivität der Arbeiter und der eingesetzten Maschinen, im Vergleich zum konventionellen Abbruch, ergeben. Als weitere Nachteile werden die erhöhte Unfallgefahr und die physische Belastung des eingesetzten Personals gesehen (TOPPEL, 2003). Dem gegenüber stehen die niedrigeren Entsorgungskosten durch verminderten Anfall an Mischfraktionen, und die Möglichkeiten der Rückführung verschiedener Stofffraktionen auf hohem Niveau. Gemäß der Richtlinie für Recyclingbaustoffe des Baustoff Recycling Verbandes Österreich dürfen aufbereitete mineralische Baustoffe je nach Verwendungszweck Verunreinigungen von maximal 1 Masse-% oder weniger aufweisen. Bei Verunreinigungen durch Dämmstoffabfälle steht aufgrund ihrer geringen spezifischen Dichten nicht die Bemessung ihres Massenanteils im Mittelpunkt, sondern ihr Volumenanteil. So können bereits geringe Verunreinigungen durch Polystyrol Einfluss auf die Akzeptanz des Recyclingmaterials beim Endnutzer haben und zur Ablehnung des Recyclingstoffes führen (REISENBICHLER, 2012).

Heute wird in der Praxis der teilselektive Abbruch oder Rückbau als üblich angesehen. Bei diesem Abbruchvorgang werden nur vorher definierte Teile oder Materialgruppen für den selektiven Rückbau ausgewählt, während die verbleibende Baumasse nach konventionellen Methoden abgebrochen wird. Der Umfang der Demontearbeiten und Demontagestufen ist dabei vom Auftragnehmer oder Auftraggeber abhängig. Ziel ist es dabei, die Vermischung der anfallenden Abfallfraktionen zu reduzieren und Schad- und Störstoffe weitgehend auszusortieren, damit die restlichen Abbruchabfälle einer direkten Verwertung zugeführt werden können (LECHNER, 2003). Diese Kombination aus konventionellem und selektivem Abbruch stellt in den meisten Fällen die wirtschaftlich optimale Lösung dar (TOPPEL, 2003).

CLEMENT et al. (2011a) stellten fest, dass die Schadstoffgehalte von Recyclingbaustoffen aus aufbereitetem Bauschutt entscheidend von der Wahl der Abbruchmethode beeinflusst werden. Der selektive Rückbau ist dabei die beste Möglichkeit, um die Schadstoffkonzentrationen im Recyclingprodukt zu verringern. Die erreichten Schadstoffgehalte beim teilselektiven Abbruch wiesen geringfügig niedrigere Abscheidungsquoten auf. Bei Abbruchmaterial aus konventionellen Abbrüchen konnte selbst durch eine aufwendige maschinelle Aufbereitung keine erhebliche Senkung der Schad- und Störstoffgehalte im Recyclingprodukt erreicht werden.

4.2 Design for Deconstruction, Recycling, Disassembly...

Eine Möglichkeit sortenreine Rückbauprozesse zeitsparender und kosteneffektiver gestalten zu können, liegt darin bereits in der Planungs- und Bauphase eines Gebäudes darauf Rücksicht zu nehmen. „Design for Recycling“, „Design for Deconstruction“, „Design for Disassembly“ sind nur einige Methoden, die im Grunde ähnliche Leitideen verkörpern. Der Ursprung liegt dabei im Eco-Design-Gedanken, einem Produktdesign-Ansatz, der die möglichen Umweltauswirkungen eines Produktes über seinen ganzen Lebenszyklus, also bis einschließlich der Nachnutzungs- und Entsorgungsphase berücksichtigt. Bei „Design for Disassembly“ liegt der Fokus auf der Trennbarkeit von Bauwerksmaterialien, bei „Design for Recycling“ auf den verwendeten Materialien selbst und ihre Rückführung in Stoffkreisläufe.

Die Grundideen des „Design for Deconstruction“ Ansatzes im Bauwesen sollen sicherstellen, dass Bauteile und Baukonstruktionen mit möglichst geringem Aufwand sortenrein rückgebaut werden können. Zu diesem Zweck muss bereits bei der Planung eines Gebäudes möglichst auf Konstruktionen und Baustoffe verzichtet werden, die für diesen Ansatz nicht zielführend sind. Ist eine Wiederverwendung von Bauteilen nicht möglich, soll ein stoffliches Recycling sichergestellt werden. Grundvoraussetzung für das Erreichen dieser Ziele ist ein zerstörungs- und verschmutzungsfreier Rückbau von Materialien und Bauteilen. Bezogen auf Wärmedämmstoffe sind also Verbundkonstruktionen mit unlösbaren Verbindungen wie vollflächiger Verklebung zu vermeiden und durch leicht lösbare zu ersetzen. Nach Möglichkeit sollte auch nur eine Dämmstoffart Verwendung finden, damit eine Nachnutzung oder adäquate Entsorgung leichter sichergestellt und eine Vermischung oder Verschmutzung anderer Stoffströme verhindert werden kann (MARKOVA und RECHBERGER, 2011; MORGAN und STEVENSON, 2005). Diese Grundidee ist jedoch schwierig umzusetzen. Dämmstoffe weisen aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften auch unterschiedliche Anwendungsgebiete auf. So kann ein Dämmstoff kaum für jegliche Dämmanwendungen in einem Gebäude verwendet werden. Nach RÖDHAMMER (2012) kommen meist mindestens vier verschiedene Dämmstoffe in einem Gebäude zur Anwendung.

Zur Sicherstellung einer schnellen und sicheren Schadstoffentfrachtung sollten diverse Gebäude- und Ausführungspläne sowie das Führen und Aufbewahren von Material- und Verbauungslisten aus der Konstruktionsphase als Grundlage für eine effiziente Rückbauplanung und –durchführung dienen (PISTI, 2011).

4.3 Rückbau von Wärmedämmstoffen

Bei den Ausführungen zum Rückbau von Dämmstoffen wird zwischen Dämmstoffplatten, -matten bzw. -vliesen und Schüttungen unterschieden. Die Betrachtung der Dämmstoffplatten erfolgt dabei nach der Art ihrer Befestigung. Im Rahmen der Literaturrecherche konnten nur wenige Arbeiten gefunden werden, die den Rückbauaufwand von Gebäudedämmstoffen untersuchten und bewerteten. Der Rückbauaufwand wird oftmals pauschal als sehr hoch bis niedrig bezeichnet. Genauere Daten zum Rückbauaufwand von Dämmstoffen, etwa in Stunden pro m², konnten leider nicht gefunden werden. Aufgrund der wenigen vorhandenen Daten wurden im Zuge der Erstellung dieser Arbeit auch zwei Experteninterviews geführt.

Lose verlegte Dämmstoffe wie Dämmmatten, -filze und -wollen sowie eingblasene oder geschüttete Dämmstoffe können, sofern sie nicht durchfeuchtet oder verschmutzt sind, relativ problemlos entfernt werden. Theoretisch können so 100 % des verbauten Dämmmaterials sortenrein rückgebaut oder abgesaugt werden, in der Praxis sind 95 – 98 % wahrscheinlich (JORDE und GUPFINGER, 1997).

Der Rückbau von WDVS und anderer Außenwandkonstruktionen, bei denen Dämmstoffe auf mineralischen Baustoffen verklebt oder mechanisch befestigt wurden, dürfte sich jedoch erheblich schwieriger gestalten. Die Literaturrecherche zu dieser Fragestellung brachte nur wenige Ergebnisse, da diese Konstruktionen bei derzeitigen Abbruchprojekten kaum vorkommen und auch kaum hinsichtlich ihrer Rückbaufähigkeit untersucht wurden. BUSCHMANN (2003) untersuchte in seiner Arbeit unter anderem auch den Aufwand für den sortenreinen Rückbau, um Dämmstoffe wiederverwenden oder -verwerten zu können. BUSCHMANN (2003) kam zu dem Schluss, dass bei flächiger Befestigung für keinen untersuchten Dämmstoff ein Rückbau unter zumutbarem Aufwand möglich ist, um eine Wiederverwendung oder stoffliche Verwertung bewerkstelligen zu können. Dies könnte nur handwerklich mittels Abkratzen, Abschlagen oder Abreißen mit maschineller Unterstützung durchgeführt werden, was jedoch aus heutiger Sicht wirtschaftlich nicht rentabel ist. Zusätzlich würden zu dem erhöhten Zeit-, und dadurch erhöhten Kostenaufwand, die Kosten einer dafür notwendigen Einrüstung des Abbruchobjekts kommen.

MORGENBESSER (2003) zeigt in seiner Arbeit jedoch eine Technologie auf, die in Zukunft eine wirtschaftliche Entfernung von verklebten Wärmedämmstoffen an Außenfassaden ermöglichen könnte. Die Firma Austrotherm setzte im Zuge eines Versuchs zum Rückbau von verklebten WDVS ein System mit der Bezeichnung „Biber“ ein, dessen eigentliche Aufgabe es war, mineralischen Putz von der Fassade zu entfernen (DIE PUTZFRÄSE GMBH, n.a.). Dieses System konnte erfolgreich Dämmstoffstärken von etwa 5 cm von einer Außenwandkonstruktion abtrennen und beinahe vollständig von der mineralischen Bausubstanz entfernen. Für eine

Anwendung an modernen Wandkonstruktionen, bei denen Dämmstärken von mehr als 20 cm Standard sind, müssten einige Modifizierungen durchgeführt werden. Laut Aussagen der Firma Austrotherm kann dieses System in Zukunft bei entsprechender Nachfrage durchaus wirtschaftlich rentabel eingesetzt werden. GLAVAS (2012) sieht jedoch große Bedenken hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit dieser Technologie. Werden der Dämmstoff und der mineralische Putz in einem Fräsvorgang entfernt, muss in weiterer Folge diese Mischfraktion entweder entsorgt oder aufwendig getrennt werden. Eine getrennte Entfernung der Putz- und der Dämmschicht würde die Kosten vermutlich verdoppelt, da ein zusätzlicher Arbeitsschritt nötig wäre.

Bei punktuell befestigten Dämmstoffen, also mittels Dübel oder punktueller Verklebung, gibt es unterschiedliche Schlussfolgerungen zur Rückbaufähigkeit. Nach BUSCHMANN (2003) ist der Rückbauaufwand für eine Weiterverwendung oder stoffliche Verwertungsmöglichkeit aus wirtschaftlicher Sicht nur für wenige Dämmstoffe tragbar. Dies trifft auf die Dämmmaterialien Kokos, Kork, Schafwolle, PUR und Zelluloseflocken zu. Der Rückbauaufwand für weitere Dämmstoffe wie Holzfaserplatten, Holz-, Glas- und Steinwollplatten, Mineralschaum-, EPS- und XPS-Platten wurde als zu hoch angegeben. Zeit- oder Kostenangaben zur Bemessung des allgemeinen Rückbauaufwands wurden in dieser Arbeit nicht angeführt. Den Ergebnissen von BUSCHMANN (2003) widersprechen jedoch jene aus der Arbeit von MORGENBESSER (2010). Er kommt zu dem Schluss, dass punktuell verklebte WDVS keine Schwierigkeiten beim Rückbau verursachen würden. Die Dämmplatten ließen sich durch mechanische Einwirkung von der Befestigung lösen und der mineralische Kleber verbliebe am mineralischen Untergrund. Dieser könnte problemlos von diesem abgeschlagen oder abgekratzt werden. Dieses Ergebnis bezieht sich auf ein im Zuge der Arbeit geführtes Interview mit einem Abbruchunternehmer. Offen bleibt die Frage, ob die Dämmplatten durch die mechanischen Einwirkungen zerstört werden, und wie hoch der Verschmutzungsgrad der mineralischen Baumassen durch verbleibende geklebte Dämmstoffmaterialien ist.

Offene Fragestellungen, die im Zuge der Arbeiten von MORGENBESSER (2010) und BUSCHMANN (2003) nicht behandelt wurden, sind der Rückbauaufwand von WDVS mit Schienenbefestigung, wie sie zum Beispiel in hinterlüfteten Fassaden Anwendung finden. Auch der Rückbau von zweischaligen Außenfassaden wurde nicht untersucht. Es konnten im Zuge dieser Arbeit keine Untersuchungen zum Rückbauaufwand solcher Konstruktionen gefunden werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass dieser deutlich geringer als bei WDVS mit großflächiger Verklebung einzuschätzen sind. Ein sortenreiner Rückbau, bei dem die Dämmplatten unzerstört rückgewonnen werden können, ist aufgrund nicht vorhandener Klebeschichten und nicht vorhandener Dübelung wahrscheinlich.

GLAVAS (2012) beschreibt im Interview, dass derzeit der Rückbau von Dämmstoffen so weit wie möglich mit dem Einsatz von Maschinen durchgeführt wird. Zu Beginn der Abbruchs werden etwaig vorhandene Abdeckungen von hinterlüfteten Fassaden entfernt. Im Anschluss wird mit einer Baggerschaufel versucht, die Dämmplatten so gut als möglich mechanisch zu entfernen. Dies stellt derzeit die schnellste und kostengünstigste Methode dar, um den Dämmstoff zu entfernen und getrennt zu erfassen. Bei dieser Methode werden die Platten in aller Regel zerstört und die maximal zu erreichende Höhe ist durch die Reichweite des Baggers begrenzt. Probleme sieht GLAVAS (2012) beim Rückbau von hohen Gebäuden. Ab einer gewissen Höhe wäre dieser nur mit einer Einrüstung des Objekts oder einem Kran möglich. Aus derzeitiger Sicht kommt so ein Vorgehen jedoch nur in Frage, wenn dies aufgrund einer geltenden Norm verpflichtend wäre oder der Bauherr dies explizit verlangt. Wirtschaftlich ist dies seiner Meinung nach nicht. Bei einem WDVS mittels Verklebung sieht er keine Möglichkeit eines zerstörungsfreien Rückbaus.

Neben technischen und mechanischen Voraussetzungen ist auch auf die gesundheitlichen Aspekte des Rückbaus von Dämmstoffen zu achten. Mineralwolle-Dämmstoffe, die vor 1995 produziert wurden, werden allgemein als „alte“ Mineralwollen bezeichnet. Freigesetzte Faserstäube aus solchen Produkten werden als krebserregend bewertet. Im heutigen Baualltag wird davon ausgegangen, dass Mineralwollen, die im Zuge von Umbau- und Sanierungstätigkeiten anfallen, großteils „alte“ Mineralwollen sind. Die Freisetzung von Faserstäuben aus solchen Produkten muss deshalb möglichst unterlassen und betreffende Arbeitskräfte durch geeignete Arbeitsschutzmaßnahmen geschützt werden. Es wird empfohlen, ausgebaute Mineralwolle sofort in reißfeste und staubdichte Säcke oder Container zu verpacken und diese zu kennzeichnen (BBSR, 2011).

5. Abfallaufkommen

Zu Beginn dieses Kapitels soll ein Überblick über die verschiedenen Arten von Abfällen aus Bau- und Abbruchtätigkeiten gegeben werden. In weiterer Folge werden jene Abfallströme näher behandelt, in denen Dämmstoffabfälle vorkommen. Das derzeitige Abfallaufkommen in Österreich wird anhand des Pro-Kopf-Aufkommens in Deutschland abgeschätzt. Für die zukünftige Entwicklung dieses Abfallstromes werden anhand unterschiedlicher Sanierungsquoten drei Szenarien für das Jahr 2050 berechnet.

5.1 Abfälle aus dem Bauwesen

Gemäß den Daten des Österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplans 2011 (BAWP, 2011) betrug das Aufkommen an Abfällen in Österreich im Jahr 2009 53,5 Mio. Tonnen. Abfälle aus dem Bauwesen nahmen dabei einen Anteil von 12,7 Masse-% ein, Bodenaushub einen Anteil von 43,4 Masse-%.

Abfälle aus dem Bauwesen sind nach der Definition im BAWP (2011) Materialien, die bei Bau-, Umbau- und Abbruchtätigkeiten anfallen. Abfälle von Neubautätigkeiten stellen dabei mit 10 % der Gesamtmenge nur einen kleinen Anteil dieses Abfallstroms dar. Abfälle aus dem Bauwesen, auch Baurestmassen genannt, setzen sich aus den Abfallfraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch, Betonabbruch, Gleisschotter, Bitumen/Asphalt und Baustellenabfällen zusammen. Das Aufkommen von Abfällen aus diesem Bereich ist direkt abhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung des Tief- und Hochbaus in Österreich und ist somit variabel. Tabelle 7 führt typische Materialien für die einzelnen Abfallarten der Baurestmassen und die dazugehörigen Schlüsselnummern laut ÖNORM S 2100 an. Tabelle 8 enthält das Aufkommen von Baurestmassen in Österreich.

Sofern Dämmstoffabfälle im Zuge von Bau- oder Abbruchtätigkeiten nicht getrennt erfasst werden, treten diese hauptsächlich im Abfallstrom „Baustellenabfälle“ auf. Weitere verbreitete Bezeichnungen für Baustellenabfälle sind auch „gemischter Baustellenabfall“, „gemischte Bau- und Abbruchabfälle“ oder „Baumischabfall“, in der englisch-sprachigen Literatur wird der Begriff „mixed construction & demolition waste“ verwendet.

Im Jahr 2009 wurden von den angefallenen 6,87 Mio. Tonnen Abfällen aus dem Bauwesen laut BAWP (2011) 80 Masse-% einer Verwertung zugeführt, das entspricht 5,5 Mio. Tonnen. Laut AbfRRL (2008/98/EG) müssen die Mitgliedsstaaten der EU bis 2020 bei nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen eine Verwertungsquote von mindestens 70 Masse-% erreichen.

Schlüsselnummer	Bezeichnung	Zusammensetzung
31 409	Bauschutt (ohne Baumix)	Ziegel, Beton, Keramik, Steine, Mörtel, Verputz
31 410 / 54 912	Straßenaufbruch / Bitumen und Asphalt	Asphaltaufbruch, Beton, Tragschichtmaterialien
31 427	Betonabbruch	Teile aus Beton, Estrich, Betonfahrbahnen
31 467	Gleisschotter	Gestein von Gleisanlagen
91 206	Baustellenabfälle (ohne Bauschutt)	Dämmstoffe, Steine, Kunststoffrohre, Steine, Verschnitte diverser Baumaterialien, Verpackungsfolien, etc.

Tab. 7: Abfallarten im Bauwesen und ihre Bezeichnung gemäß ÖNORM S 2100

Schlüsselnummer	Bezeichnung	1992	1995	1998	2001	2006	2011
31 409	Bauschutt (keine Baustellenabfälle)	2,5	2,65	3,6	3,3	2,5	3,2
31 410	Straßenaufbruch	2,25	1,8	1,7	1,5	1,2	1,3
31411	Bodenaushub	15	15,4	20	20	22	23,5
31 427	Betonabbruch	0,7	(1)	(2)	0,2	1,4	1,7
91 206	Baustellenabfälle (kein Bauschutt)	1,5	2	1,1	1,1	1,1	0,3
Rest	Asbestzement, Bitumen, Gleisschotter...	0,05	0,15	-	1,4	0,4	0,3
Summe		22	22	26,4	27,5	28,6	30,3

Tab. 8: Aufkommen von Baurestmassen in Österreich in [Mio. Tonnen], (BAWP 1992 – 2011)

(1) in SN 31 409 enthalten (2) in SN 31 410 enthalten

Tabelle 9 gibt die Verwertungsquoten der einzelnen Baurestmassenfraktionen für das Jahr 2009 in Österreich und deren vorrangige Verwertungswege an. Dabei wird deutlich, dass Österreich die geforderte Verwertungsquote bei Baurestmassen nur aufgrund hoher Recyclingquoten in den Bereichen Gleisschotter und Betonabbruch erreicht. Die Verwertungsquote bei Betonabbrüchen liegt sogar über dem jährlichen

Aufkommen. Dies lässt auf die Verwendung von Lagerbeständen oder die Verarbeitung von Material aus dem Ausland schließen. Eine Erklärung findet sich im BAWP (2011) nicht. Bei der mengenmäßig bedeutendsten Abfallart Bauschutt konnte die Recyclingquote allerdings nicht erfüllt werden.

SN	Bezeichnung	Verwertungswege	Aufkommen	Verwertet	Quote
31 409	Bauschutt	Zuschlagstoffe für die Produktion von Mauerwerksteinen, Beton und Leichtbeton, Verfüllungen, Schüttungen, Zementproduktion, Substrate	3.200.000	2.100.000	65 %
31 410+ 54912	Straßenaufbruch Bitumen/Asphalt	Zuschlagstoffe für Asphaltproduktion, Straßen- und Parkplatzbau, landwirtschaftlicher Wegebau	1.300.000	780.000	60 %
31 427	Betonabbruch	Zuschlagstoffe für Betonherstellung, Straßen- und Wegebau, Leitungsbau, Künettenverfüllung	1.700.000	2.200.000	129 %
31 467	Gleisschotter	Wiedereinbau nach Reinigung	370.000	340.000	92 %
91 206	Baustellenabfälle	Sortierung und anschließend stoffliche bzw. thermische Verwertung	300.000	96.000	32 %
Gesamt			6.870.000	5.516.000	80 %

Tab. 9: Verwertungsquoten von Baurestmassen in [Mio. Tonnen], (BAWP, 2011)

5.2 Baustellenabfälle

Der Begriff „Baustellenabfälle“ wird im österreichischen Abfallrecht nur in der Baurestmassentrennverordnung (1991) und in der Deponieverordnung (DVO, 2008) verwendet. In der Baurestmassentrennverordnung werden Baustellenabfälle nur als Stoffgruppe genannt und nicht näher definiert. In der DVO finden Baustellenabfälle insofern Erwähnung, als dass Baurestmassen, die auf Baurestmassen- und Massenabfalldeponien abgelagert werden, keine Baustellenabfälle enthalten dürfen (HENGSTBERGER, 2010; DVO, 2008).

Die Bundesinnung BAU (2002) definiert Baustellenabfälle als ein „Gemisch aus Abfällen wie Holz, Metalle, Kunststoff, Pappe, organische Reste, Sperrmüll und geringem Anteil an Bauschutt“. Im praktischen Baubetrieb handelt es sich dabei um ein Abfallgemisch aus Baustoffresten, Bauhilfsstoffen, Bauchemikalien und

Bauzubehör, das meist mit Verpackungsabfällen, Bauschutt und sonstigen Bestandteilen vermengt ist. Baustellenabfälle ohne Bauschutt werden gemäß ÖNORM S 2100 unter der SN 91206 erfasst, siehe Tabelle 7. Im European Waste Catalogue (EWC) sind Baustellenabfälle in mehrere Unterklassen der Abfallkategorie „1709 Sonstige Bau- und Abbruchabfälle“ gegliedert (EWC, 2002). Diese Einteilung ist in Tabelle 10 ersichtlich.

Abfallcode	Bezeichnung, Beschreibung
17 09	Sonstige Bau- und Abbruchabfälle
17 09 01*	Bau- und Abbruchabfälle, die Quecksilber enthalten
17 09 02*	Bau- und Abbruchabfälle, die PCB enthalten (z.B. PCBhaltige Dichtungsmassen, PCB-haltige Bodenbeläge auf Harzbasis, PCB-haltige Isolierverglasungen, PCB-haltige Kondensatoren)
17 09 03*	sonstige Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich gemischte Abfälle), die gefährliche Stoffe enthalten
17 09 04	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen

Tab. 10: Abfallcodes für Baustellenabfälle gemäß EWC (2002)

Baustellenabfälle werden in der Regel aus jenem Grund nicht getrennt nach Stoffgruppen erfasst, weil die anfallende Menge dafür als zu gering erachtet wird oder dies gemäß der in der Baurestmassentrennverordnung enthaltenen Mengenschwelle von 10 Tonnen nicht zwingend ist (siehe Tabelle 2). Wie in Tabelle 8 ersichtlich fielen im Jahr 2009 in Österreich etwa 300.000 Tonnen an Baustellenabfällen an. Dies entspricht 4,4 Masse-% am Gesamtaufkommen der Abfälle aus dem Bauwesen (ausgenommen Aushubmaterialien). Im Vergleich zu Angaben in älteren BAWPs ist eine deutliche Reduzierung dieser Abfallfraktion eingetreten. Gründe für diesen Rückgang liegen laut REISENBICHLER (2012) und GLAVAS (2012) in der besseren Trennung von Baurestmassen bei heutigen Abbruchprojekten. Hier ist eine deutliche Verbesserung gegenüber letzten Betrachtungszeiträumen erkennbar.

Die Zusammensetzung und die Menge von Baustellenabfällen ist zeitlich und örtlich sehr variabel und nach SCHEIBENGRAF und REISINGER (2005) sowie HOBBS und HURLEY (2001) abhängig von:

- der Art der Baumaßnahme: Neubau, Umbau, thermische Sanierung, Abbruch, Wohnbau, Straßenbau, Schienenbau etc.
- der Bauphase: jeder Bauphase können charakteristische Berufsgruppen, wie zum Beispiel Maurer, Tischler, Installateure, Tapezierer etc., zugeordnet

werden, die maßgeblichen Einfluss auf die Zusammensetzung des gemischten Baustellenabfalls haben.

- der Bauweise: Ziegel, Beton, Holz, Fertigteilbau.
- der Nutzung des Bauwerkes: Bürogebäude, Wohnhaus, Fabrik, Lagerhalle.
- der Abfalllogistik auf der Baustelle: Auswahl der getrennt gesammelten Abfallfraktionen.

PLADERER et al. (2004) werteten in ihrer Studie mehrere Literaturquellen aus, die sich auf die Zusammensetzung von Baustellenabfällen bezogen. Die Angaben der mehr als 15 verschiedenen Literaturquellen sind teils sehr unterschiedlich. Tabelle 11 fasst die Schwankungsbereiche der Ergebnisse von PLADERER et al. (2004) zusammen. Ein Grund für die großen Schwankungsbereiche bei der Zusammensetzung von Baustellenabfällen ist die Tatsache, dass sich das Bauwesen über die Jahrzehnte hinweg weiterentwickelt und die eingesetzten Materialien verändert haben (HUANG et al., 2002; CLEMENT et al., 2011b). Die Zusammensetzung der anfallenden Baustellenabfälle eines Abbruchprojektes ist also davon abhängig in welcher Bauperiode das Gebäude errichtet wurde.

ABFALLFRAKTION	MASSENPORZENT
Mineralische Stoffe	37 – 91 %
Holz	1 – 38 %
Metalle	1 – 10 %
Papier und Pappe	1 – 6 %
Restmüll	2 – 38 %
Andere Fraktionen	1 – 64 %

Tab. 11: Zusammensetzung von Baustellenabfällen (PLADERER et al., 2004)

Baustellenabfälle müssen gemäß Baurestmassentrennverordnung erst ab einer Menge von 10 t getrennt erfasst werden. Aufgrund zu geringer Stellflächen für eine getrennte Erfassung oder zu geringer Mengen werden Baustellenabfälle in der Regel gemischt in Sammelbehältern, meist Mulden oder Containern, gesammelt. Nur bei ausreichender Menge und vorhandenen Stellplätzen werden die verschiedenen Abfallfraktionen direkt vor Ort auf der Baustelle in mehreren Containern getrennt erfasst. PLADERER et al. (2004) nennt als Hauptgründe für eine fehlende getrennte Sammlung von Abfallfraktionen auf der Baustelle:

- Platzmangel,
- Verständigungsschwierigkeiten zwischen den am Bau tätigen Arbeitern,
- Ablagerungen neben den Mulden, da diese aufgrund von voluminösen Abfällen zu schnell gefüllt werden,
- fehlende Zuständigkeiten,
- zu hohe Kosten,
- Ablehnung von betreuten Sammelinseln auf der Baustelle.

Die gängige Praxis für Baustellenabfälle beschreibt REISENBICHLER (2012) im Interview so, dass der Abfallstrom bereits am Abbruchort in eine brennbare und eine deponiefähige Fraktion getrennt wird und diese Abfallmengen ohne weitere Sortierung der Baurestmassendeponie und einer thermischen Verwertung übergeben werden. Genauere Untersuchungen fehlen jedoch hierzu. Nach PLADERER et al. (2004) werden Baustellenabfälle, die von Entsorgungsfirmen übernommen werden, einer Sortierung unterzogen. Nach dem Abtrennen von Wertstoffen wie Holz, Metall und teilweise auch Plastik, werden mineralische Verunreinigungen deponiert und der Sortierrest mit der mineralischen Verunreinigung, sofern diese nicht abtrennbar ist, thermisch behandelt.

5.3 Dämmstoffabfälle

Liegen Dämmstoffabfälle sortenrein und nicht im Baustellenabfallgemisch vor, werden sie gemäß EWC einer eigenen Abfallkategorie zugeordnet. Tabelle 12 führt die verschiedenen Abfallkategorien für Dämmstoffe mit ihrem Abfallcode gemäß EWC an. Die ÖNORM S 2100 enthält keine eigene Schlüsselnummer für getrennt erfasste Dämmstoffe. Für sortenreine unverschmutzte Dämmstoffe, wie sie als Baustellenverschnitte oder Produktionsabfälle anfallen, gelten die Schlüsselnummern der jeweiligen Stoffgruppen, wie z.B. die SN 57108 für Abfälle aus Polystyrol oder Polystyrolschaum.

Abfallcode	Bezeichnung, Beschreibung
17 06	Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe
17 06 01*	Dämmmaterial, das Asbest enthält
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält
17 06 04	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 06 01 und 17 06 03 fällt

Tab. 12: Abfallkategorien für Dämmstoffe nach EWC (2002)

Auf Anfrage wurde sowohl vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (SCHOLZ, 2012), als auch vom Umweltbundesamt

(KARIGL, 2012) festgehalten, dass derzeit keine Aufzeichnungen über das Aufkommen von Dämmstoffabfällen in Österreich vorgenommen werden. Dies ist dadurch zu erklären, dass Aufzeichnungen zum Abfallaufkommen gemäß der noch gültigen ÖNORM S 2100 stattfinden und Dämmstoffe in dieser Norm nicht als eigene Abfallkategorie definiert sind. In Österreich werden lediglich Aufzeichnungen zu Mineralfasern durchgeführt. Neben der Verwendung als Dämmstoff kommen Mineralfasern auch bei Spezialanwendungen im Hochofenbereich, als Lichtleiter oder in textilen Fasern vor (AXMANN et al., 2008). Bei der Aufzeichnung erfolgt jedoch keine Unterscheidung nach dem Entstehungsort, weshalb auch bei dieser Kategorie keine eindeutige Aussage über das Aufkommen mineralischer Dämmstoffe getätigt werden kann. Auch in den Interviews mit GLAVAS (2012) und REISENBICHLER (2012) wurde festgehalten, dass in ihren Unternehmen keine Statistiken darüber geführt werden, wie hoch der jährliche Anfall an Dämmstoffen ist.

5.3.1 Abschätzung des derzeitigen Abfallaufkommen

Im Gegensatz zu Österreich wird das Abfallaufkommen in Deutschland bereits nach dem Abfallcode des Europäischen Abfallkatalogs erhoben. Vorläufige Ergebnisse zum Abfallaufkommen aus dem Jahr 2011 ergaben für die betreffenden Abfallkategorien für Dämmmaterialien eine Gesamtmenge von 208.300 Tonnen (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013). Tabelle 13 enthält eine entsprechende Aufschlüsselung. Bei geschätzten 81,8 Mio. Einwohnern (Stand 2011) ergibt dies ein durchschnittliches Aufkommen von 2,54 kg Dämmstoffabfällen pro Einwohner und Jahr in Deutschland (DESTATIS, 2013).

Abfallcode nach EWC	Abfallmenge in Tonnen
17 06 01*	23.300
17 06 03*	129.700
17 06 04	55.300
Gesamt	208.300

Tab. 13: Dämmstoffabfälle in Deutschland (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013)

Nimmt man für Österreich selbiges Aufkommen pro Einwohner an Dämmstoffabfällen an, ergibt dies bei einer Bevölkerung von 8,4 Mio. Einwohnern (Stand 2013) eine jährliche Abfallmenge an Dämmstoffen von rund **21.500 Tonnen** (STATISTIK AUSTRIA, 2013). Dieser Abfallstrom entspricht in der Größenordnung etwa einem Drittel des jährlichen Aufkommens an Elektro- und Elektronikaltgeräten oder etwa 1,5 % des jährlichen Aufkommens an Restmüll aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen in Österreich (BAWP, 2011). Wie in Kapitel 6 erläutert, ist die derzeit gängige Entsorgungspraxis für mineralische Dämmstoffe die Ablagerung

auf Baurestmassendeponien. Im Jahr 2008 wurden in Österreich insgesamt 510.000 Tonnen Abfälle aus dem Bauwesen deponiert (BAWP, 2011), Dämmstoffe würden also etwa 4 % der deponierten Baurestmassen einnehmen. Ein erheblicher Anteil nicht mineralischer Dämmstoffe wie EPS wird jedoch nicht deponiert und als Inhalt der Abfallfraktion Baustellenabfälle einer thermischen Verwertung zugeführt. Wie hoch jedoch der Anteil nicht deponierter Dämmstoffe in Österreich derzeit ist, kann nur vermutet werden.

5.3.2 Abschätzung des zukünftigen Abfallpotenzials an Dämmstoffen in Österreich

Im Folgenden soll eine Abschätzung des potenziellen Abfallaufkommens an Dämmstoffen für das Jahr 2050 durchgeführt werden. Grundlagen dieser Schätzung sind der Österreichische Gebäudebestand, die Sanierungsquote und der durchschnittliche Dämmstoffanfall eines Einfamilienhauses. 2001 wurde in Österreich ein Gebäudebestand von 2.046.712 Gebäuden gezählt, davon sind 1.557.420 Ein- und Zweifamilienhäuser (STATISTIK AUSTRIA, 2004). Dies entspricht einem Anteil von 76,1 %. Für die Berechnung des Abfallpotentials wird in weiterer Folge nur der Bestand an Ein- und Zweifamilienhäuser einbezogen.

MORGENBESSER (2010) berechnet für das Jahr 2051, einen möglichen Gebäudebestand an Ein- und Zweifamilienhäusern in Österreich von 2.180.388 Gebäuden. Ausgangspunkt seiner Berechnungen ist dabei die derzeitige prozentuale Zuwachsrate des Österreichischen Gebäudebestandes. Die durchschnittliche Fassadenfläche eines Gebäudes wird mit 200 m^2 angenommen, die verbauten Dämmstärken mit 30 cm für die opake Außenwand. „Opak“ bezeichnet die Lichtundurchlässigkeit eines Stoffes (WORMUTH und SCHNEIDER, 2009). In diesem Fall wird darunter der fensterlose Fassadenanteil einer Außenwand verstanden. Das Abfallaufkommen an Dämmstoffen wird dabei mit 50 % mineralischer Dämmstoffe und 50 % geschäumter Dämmstoffe mit einer durchschnittlichen Rohdichte von 30 kg/m^3 angenommen. Mittels der Sanierungsquote, welche in den drei Szenarien variiert, wird nun ein Abfallpotential für Dämmstoffabfälle abgeschätzt. Das spezifische Abfallaufkommen in kg/Einwohner*Jahr wird dabei für eine geschätzte Bevölkerung im Jahr 2050 von 9,33 Millionen Einwohnern berechnet (HANIKA et al, 2012). Nach RÖDHAMMER (2012) liegt in Österreich die Sanierungsquote von Gebäuden derzeit bei unter 1 %.

Im Szenario A wird das Abfallpotenzial an Dämmstoffen für eine Sanierungsquote von 1 % berechnet, was rund 21.800 thermisch zu sanierenden Gebäuden pro Jahr entspricht. Bei Gebäuden wird derzeit von einer vollfunktionsfähigen Lebensdauer von 50 Jahren ausgegangen. Um den Österreichischen Gebäudebestand langfristig im Wert zu erhalten, müssten jährlich 2 % der Gebäude einer Sanierung unterzogen werden. Im Szenario B wird deshalb die Sanierungsquote auf 2 % erhöht, somit

werden pro Jahr 43.600 Gebäude saniert. Nach RÖDHAMMER (2012) liegt das Sanierungsintervall bei Fassaden jedoch meist zwischen 30 und 40 Jahren. Aus diesem Grund wird im Szenario C von einer Sanierungsquote von 3,33 % ausgegangen, das einem Sanierungsintervall des Gebäudebestandes von 30 Jahren entspricht. Jährlich werden demnach 72.607 Sanierungsprojekte durchgeführt werden. Nicht beachtet werden in den Berechnungen zum Abfallpotenzial der restliche Gebäudebestand (z.B. Hochhäuser, Industriegebäude...), der Anfall von Dämmstoffabfällen bei Abbruchprojekten und Dämmstoffabfälle, die im Zuge von Neubau-Vorhaben als Baustellenverschnitte anfallen.

Im Szenario A beträgt das jährliche Abfallpotenzial an Dämmstoffabfällen bei den angeführten Annahmen 1.308.000 m³ pro Jahr. Die Gesamtabfallmenge bei einer durchschnittlichen Rohdichte von 30 kg/m³ ergibt etwa 39.240 Tonnen. Dies entspricht einem spezifischen Abfallaufkommen von 4,21 kg/EW*Jahr. Im Szenario B liegt das jährliche Abfallaufkommen an Dämmstoffen bei 2.616.000 m³. Die Gesamtabfallmenge an Dämmstoffen beträgt 78.480 Tonnen. Dies entspricht einem spezifischen Abfallaufkommen von 8,41 kg/EW*Jahr. Das Abfallaufkommen im Szenario C beträgt 4.356.420 m³ pro Jahr. Dies ergibt eine Masse von 130.692 Tonnen pro Jahr. Dies entspricht einem spezifischen Abfallaufkommen von 14,01 kg/EW*Jahr. Tabelle 14 enthält zusammenfassend die zugrunde liegenden Annahmen der Berechnungen und die Ergebnisse der Szenarien A – C zum Abfallpotenzial an Dämmstoffabfällen für das Jahr 2050.

	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Gebäudebestand	2.180.388	2.180.388	2.180.388
Fassadenfläche/Gebäude	200 m ²	200 m ²	200 m ²
Dämmstoffdicke	30 cm	30 cm	30 cm
Sanierungsquote	1 %	2 %	3,33 %
Abfallvolumen	1.308.000 m ³	2.616.000 m ³	4.356.420 m ³
Gesamtabfallmenge	39.240 Tonnen	78.480 Tonnen	130.692 Tonnen
Spezifisches Abfallaufkommen	4,21 kg/EW*a	8,41 kg/EW*a	14,01 kg/EW*a

Tab. 14: Szenarien A – C, Abfallaufkommen Dämmstoffe (eigene Berechnungen)

6. Deponieren von Dämmstoffen

In diesem Kapitel werden Dämmstoffe daraufhin untersucht, ob sie in Österreich deponiert werden dürfen. Zu Beginn des Kapitels werden die für diese Betrachtung wichtigen Auszüge aus der Deponieverordnung (DVO, 2008) angeführt und in weiterer Folge die Deponiefähigkeit von Dämmstoffen bewertet. Im Anschluss wird erläutert, ob das Deponieren von Baustellenabfällen, verschmutztem Bauschutt und asbesthaltigen Dämmstoffen zulässig ist.

6.1 Rechtliche Grundlagen (DVO, 2008)

Das Ziel dieser Verordnung ist es, negative Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen auf die Umwelt, insbesondere die Verschmutzung von Oberflächenwasser, Grundwasser, Boden, Luft und alle damit verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit weitest möglich zu vermeiden oder zu vermindern (§1DVO, 2008).

In Österreich gibt es **vier Deponieklassen**, wobei es bei Deponien für nicht gefährliche Abfälle drei Deponie-Unterklassen gibt. Tabelle 15 enthält eine Aufgliederung der Deponien in Österreich nach Deponieklassen und –unterklassen sowie das freie genehmigte Deponievolumen (§4). Die Ablagerung von mineralischen Baurestmassen ist auf Inertabfall- und auf Baurestmassendeponien vorgesehen. In diesen beiden Deponieklassen sind demnach auch potenziell Dämmstoffabfälle zu finden, die in Form von Verunreinigungen des Bauschutts mit abgelagert wurden.

Im Jahr 2008 wurden in Österreich rund 10,7 Millionen Tonnen deponiert, wovon über 7,7 Millionen Tonnen Bodenaushub und 450.000 Tonnen mineralischer Bauschutt waren (BAWP, 2011). Abfälle dürfen gemäß DVO (2008) nur unter gewissen Voraussetzungen ohne Behandlung abgelagert werden. Dies ist nur möglich, wenn es sich um Inertabfälle oder andere Abfälle handelt, bei denen eine Abfallbehandlung nicht zu einer Verringerung der Abfallmenge oder der davon ausgehenden Gefährdung für Mensch und Umwelt beiträgt (§6). Dies trifft vor allem auf mineralische Baurestmassen zu. Alle anderen Abfälle müssen vor einer Ablagerung thermisch oder mechanisch-biologisch behandelt werden.

Wichtig im Bezug auf Baurestmassen ist auch das Vermischungsverbot. Abfälle dürfen nicht mit anderen Abfällen oder Stoffen vermengt werden, wenn dadurch eine erforderliche Behandlung oder Untersuchung erschwert oder geltende Abfallannahmekriterien nur durch den Mischvorgang erfüllt werden können (§6).

Das Verbot der Deponierung für bestimmte Abfälle ist in §7 geregelt. Demnach dürfen keine Abfälle abgelagert werden, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) im Feststoff mehr als fünf Masse-% beträgt. Ausgenommen von dieser Regelung sind Rückstände aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, z.B. aus Sortierprozessen. Bei diesen Abfallarten dürfen jedoch keine leicht abbaubaren organischen Anteile mit behandelt werden. Der Brennwert der Rückstände muss **unter 6600 kJ/kg Trockenmasse**, der **TOC-Gehalt unter acht Masse-%** liegen. Diese beiden Grundvoraussetzungen werden in weiterer Folge nun als Ausgangspunkt verwendet, um die Deponiefähigkeit von Dämmstoffabfällen zu untersuchen.

Deponietyp	Anzahl der 2008 meldenden Deponien	Freies Deponievolumen 2008, [Mio. m ³]
1. Bodenaushubdeponie	462	39,5
2. Inertabfalldeponie*	13	1,8
3. Deponie für nicht gefährliche Abfälle		
a) Baurestmassendeponie*	90	8,5
b) Reststoffdeponie	40	12,5
c) Massenabfalldeponie	46	13,0
4. Deponie für gefährliche Abfälle	-	-
Zuordnung noch offen	15	2,0
GESAMT	666	77,3

Tab. 15: Deponieklassen in Österreich und freies Deponievolumen, (BAWP, 2011)

*Ablagerung von mineralischen Dämmstoffen

6.2 Deponieren von nicht sortenreinen Baurestmassen und Baustellenabfällen

Das Ablagern von Baustellenabfällen ist sowohl auf Inertabfall-, als auch auf Baurestmassendeponien, verboten. Eine genaue Definition dieser Abfallfraktion fehlt jedoch.

Baurestmassen, die auf Inertabfalldeponien abgelagert werden, dürfen nur geringe Anteile anderer üblicher Bestandteile von Baurestmassen wie Holz, Metalle, nicht-mineralische Dämmstoffe und andere Kunststoffe enthalten. Abfälle, die diese Anforderungen nicht erfüllen, müssen einer analytischen Untersuchung für die

grundlegende Charakterisierung unterzogen werden, die in § 12-14 beschrieben wird. Anhand der Ergebnisse werden sie einer anderen Deponieklasse zugeordnet oder müssen einer Abfallbehandlung unterzogen werden.

In Baurestmassen- und Massenabfalldeponien dürfen die abzulagernden Abfallfraktionen höchstens im Ausmaß von 10 Vol.-% durch andere Bauwerksmaterialien verschmutzt sein. Baustellenabfälle dürfen nicht enthalten sein. Tabelle 16 enthält ausgewählte Abfallfraktionen von Baurestmassen der Listen I und II aus dem Anhang 2 der DVO (2008), die ohne Behandlung auf Inert- und Baurestmassendeponien abgelagert werden dürfen. Liegt die Verschmutzung betreffender Abfallfraktionen mit Bauwerksmaterialien, die nicht in Liste I oder Liste II enthalten sind, über 10 Vol.-%, müssen sie einer Behandlung unterzogen werden. Meist handelt es sich dabei um einen Sortierprozess, wie er im Zuge eines Baustoffrecyclingprozesses durchgeführt wird.

6.3 Deponieren von Dämmstoffabfällen

Sowohl Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen als auch jene aus nachwachsenden Rohstoffen weisen einen Brennwert auf, der über dem zulässigen Grenzwert von höchstens 6600 kJ/kg Trockenmasse liegt. Der Heizwert der ausgewählten Dämmstoffe und ihre Deponiefähigkeit sind in Tabelle 17 aufgeführt. Diese Dämmstoffabfälle dürfen also nicht ohne vorherige Behandlung abgelagert werden und müssen, sofern sie nicht stofflich verwertet werden können, einer energetischen Verwertung oder thermischen Abfallbehandlung zugeführt werden. Für eine Ablagerung geeignet sind Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen. Das Deponieren von Stein- und Glaswolle ist im Anhang 2 Absatz 2 der DVO (2008) geregelt. Abfälle aus Mineralfasern, die unter die SN 31416 der ÖN S 2100 fallen, dürfen auf Baurestmassendeponien und Massenabfalldeponien abgelagert werden, sofern ihr Verschmutzungsgrad durch andere Bauwerksmaterialien unter 10 Vol.-% beträgt. Bei Mineralwolle, deren Herstellungsdatum vor 1995 liegt, handelt es sich in der Regel um „alte“ Mineralwolle, die aufgrund der Fasergröße und der Verweilzeit in der menschlichen Lunge als krebserregend eingestuft ist (BBSR, 2011). „Alte“ Mineralwolle wird unter der SN 31416 (gefährlich kontaminiert) nach ÖN S 2100 eingeordnet und gilt als gefährlicher Abfall. Bei der Ablagerung alter Mineralwolle ist darauf zu achten, dass keine Fasern freigesetzt werden. Zu diesem Zweck müssen sie in Kunststoffsäcken verpackt oder mit Bindemittel gebunden werden und dürfen nur in eigens baulich getrennten Kompartimenten einer Deponie abgelagert werden. Die entsprechenden Deponiebereiche müssen täglich und vor jeder Verdichtung mit geeignetem Material abgedeckt werden. Abfälle aus Mineralschaumplatten werden den Schlüsselnummern von Betonabbruch oder Bauschutt zugeordnet und können auf Inertabfall- oder Baurestmassendeponien deponiert werden (IBU, 2011a).

Liste I – Ablagerung auf Inertabfall- und Reststoffdeponie		
ÖNORM S 2100	Bezeichnung	Hinweise zur Ablagerung
31409	Bauschutt (ohne Baustellenabfälle)	Nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen: Beton, Ziegel, Fliesen, Natursteine, Kies, Sand,
31427	Betonabbruch	Nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen
SN nach EWC	170101; 170102; 170103; 170107;	Beton; Ziegel; Fliesen und Keramik; Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik;
Liste II – Ablagerung auf Baurestmassen- und Massenabfalldeponien		
ÖNORM S 2100	Bezeichnung	Hinweise zur Ablagerung
31409	Bauschutt (keine Baustellenabfälle)	Nur Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen, Natursteine, Kies, Sand, Mörtel und Verputze, Faserzement, magnesit- und zementgebundene Holzwolledämmplatten und zementgebundener Holzspanbeton
31416	Mineralfasern	Mineralwolle (Glas- und Steinwolle)
31438	Gips	auch Mauersteine auf Gipsbasis, Mörtel und Verputze, Stuckaturmaterial, Gipskartonplatten
54912	Bitumen und Asphalt	Auch Dachpappe auf Bitumenbasis
SN nach EWC	170101; 170102; 170103; 170107; 170302; 170604 ; 170802; 170904 ;	Beton; Ziegel, Bitumengemische; Dämmmaterial (Mineralwolle); Baustoffe auf Gipsbasis; gemischte Bau- und Abbruchabfälle sowie Mörtel und Verputze, magnesit- und zementgebundene Holzwolledämmplatten);

Tab. 16: Auswahl deponierbarer Baurestmassen gemäß Listen I + II (DVO, 2002)

DÄMMSTOFF	HEIZWERT [MJ/kg TM]	DEPONIEFÄHIGKEIT
Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen		
EPS	39,9	--
XPS	47	--
PUR	25	--
Phenolharzschaum	Ca. 30	--
Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen		
Kork	16,7	--
Hanf	12,3 16,9 (inkl. Polyester-Stützfasern)	--
Holzfasern	18	--
Schafwolle	20,43	--
Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen		
Glaswolle	Nicht brennbar	Baurestmassen-, Massenabfalldeponie
Steinwolle	Nicht brennbar	Baurestmassen-, Massenabfalldeponie
Mineralschaum	Nicht brennbar	Inertabfall-, Baurestmassen-, Massenabfalldeponie

Tab. 17: Deponiefähigkeit und Heizwert* ausgewählter Dämmstoffe, (*BUSCHMANN, 2003; PICKERING, 2005)

7. Thermische Verwertung von Dämmstoffen

Können Dämmstoffabfälle, die in Baustellenabfällen enthalten sind oder sortenrein vorliegen, nicht deponiert oder stofflich genutzt werden, müssen sie einer thermischen Verwertung zugeführt werden. In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten der thermischen Verwertung von Dämmstoffabfällen und etwaige Auswirkungen untersucht. Des Weiteren wird die Rolle von mineralischen Verunreinigungen, wie Klebemörtel und Verputz, miteinbezogen. Zusätzlich wird die Rolle von Dämmstoffabfällen bei der Ersatzbrennstoffherstellung in Österreich erläutert. Zu Beginn des Kapitels wird eine Einführung über den Stand der Abfallverbrennung in Österreich gegeben.

7.1 Thermische Verwertung in Österreich

Ziel der thermischen Behandlung von Abfällen in Österreich ist

- die Reduktion des Gefährdungspotentials von Abfällen durch die Zerstörung ihrer organischen Anteile und durch die Konzentrierung der anorganischen Anteile unter nachfolgender Konditionierung (Immobilisierung) der Reststoffe;
- die Reduktion der Masse und des Volumens der zu deponierenden Abfälle;
- Hygienisierung der Abfälle und die
- Energiegewinnung.

Der BAWP (2011) teilt Anlagen zur thermischen Verwertung in Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle und in thermische Behandlungsanlagen ein. In Österreich gibt es 10 Anlagen zur Verbrennung von Siedlungsabfällen, von denen sieben mittels Rostfeuerung und drei mittels Wirbelschichtfeuerung betrieben werden. In den Anlagen mit Rostfeuerung wird hauptsächlich unbehandelter Restmüll bzw. Sperrmüll eingesetzt, in den drei Anlagen mit Wirbelschichtfeuerung Klärschlamm und heizwertreiche Fraktionen aus anderen Behandlungsanlagen, z.B. MBA. Die Jahreskapazität der Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle beträgt rund 2,3 Mio. Tonnen.

Neben den klassischen Müllverbrennungsanlagen gibt es in Österreich 49 thermische Behandlungsanlagen (ohne Anlagen zur Verbrennung von Siedlungsabfällen), die in den Geltungsbereich der EU-Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EG fallen. Dabei handelt es sich um Anlagen zur Mitverbrennung. Dies sind Betriebe aus der Zementindustrie, Energiewirtschaft, Zellstoff- und Papierindustrie, Span- und Faserplattenindustrie, die neben herkömmlichen Brennstoffen wie Erdöl, Erdgas und Kohle anteilig auch aufbereitete Abfälle mitverbrennen. Hauptsächlich

eingesetzte Abfallfraktionen bei der Mitverbrennung sind nach BÖHMER et al. (2007):

- Heizwertreiche Fraktion aus der mechanischen und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung,
- Reststoffe aus der Holzbearbeitung und –verarbeitung sowie Altholz,
- Klärschlämme und sonstige Schlämme,
- Reststoffe aus der Papier- und Zellstoffindustrie,
- Kunststoffe und Verpackungsabfälle,
- Shredderrückstände,
- Gefährliche Abfälle und Altöle.

Die rechtliche Grundlage der thermischen Abfallbehandlung in Österreich stellt die Abfallverbrennungsverordnung (AVV) dar.

7.2 Abfallverbrennungsverordnung

Die Abfallverbrennungsverordnung (AVV, 2002) regelt die Verbrennung von gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen in Österreich und ist die Umsetzung der Richtlinie 2000/76/EG des europäischen Parlaments und des Rates über die Verbrennung von Abfällen in Österreichisches Recht.

Eine **Verbrennungsanlage** ist gemäß AVV jede technische Anlage, die zur thermischen Behandlung von Abfällen mit oder ohne Nutzung der entstehenden Verbrennungswärme eingesetzt wird und nicht als Mitverbrennungsanlage gilt. Dies schließt die Verbrennung durch Oxidation von Abfällen und andere thermische Behandlungsverfahren wie Pyrolyse, Vergasung und Plasmaverfahren ein, soweit die bei der Behandlung entstehenden Stoffe anschließend verbrannt werden (§3).

Eine **Mitverbrennungsanlage** ist gemäß AVV jede technische Anlage, deren Hauptzweck in der Energieerzeugung oder der Produktion stofflicher Erzeugnisse besteht und in der Abfall als Regel- oder Zusatzbrennstoff verwendet wird oder im Hinblick auf die Beseitigung thermisch behandelt wird (§3). Bei Mitverbrennungsanlagen wird zwischen Anlagen zur Zementerzeugung, Feuerungsanlagen und sonstigen Mitverbrennungsanlagen unterschieden.

Wichtige Inhalte der AVV (2002) sind unter anderem die in § 7 festgeschriebenen Betriebsbedingungen und Verweildauern für die bei der Verbrennung entstehenden Gase, als auch die in § 8 und den Anlagen 1 und 2 festgelegten Emissionsgrenzwerte für Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen.

7.3 Ersatzbrennstoffe

In diesem Kapitel wird die Herstellung von Ersatzbrennstoffen, deren Anwendung sowie die Eignung von Dämmstoffen als Inputmaterial bei der Herstellung untersucht. Des Weiteren wird die Entstehung möglicher Luftschadstoffe aufgrund der Inhaltsstoffe von Dämmmaterialien betrachtet.

Ersatzbrennstoffe (EBS) sind gemäß AVV definiert als Abfälle, die zur Gänze oder in einem relevanten Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung eingesetzt werden und die definierten Grenzwerte für Schadstoffe erfüllen. Ein relevantes Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung liegt vor, wenn eine selbstgängige Verbrennung ohne Zusatzfeuerung möglich ist. Ersatzbrennstoffprodukte unterscheiden sich von EBS durch das Ende der Abfalleigenschaft. Ausgenommen sind dabei gefährliche Abfälle und Abfälle aus dem medizinischen Bereich, für die kein Abfallende beantragt werden kann.

Der Einsatz von heizwertreichen Abfällen in der Ersatzbrennstoffherstellung stellt eine Verwertungsmöglichkeit dar und ermöglicht die Einsparung von Primärbrennstoffen wie Kohle, Öl oder Gas in brennstoffintensiven Prozessen oder in Kraftwerksanlagen (BECKMANN et al., 2002). Die Nutzung energiereicher Abfälle und Ersatzbrennstoffe aus Abfällen bedeutet für Industrieunternehmer und Kraftwerksbetreiber eine größere Unabhängigkeit von steigenden Energiekosten (FLAMME, 2006).

Ersatzbrennstoffe können nach FLAMME (2006) generell von heizwertreichen Fraktionen aus Abfallbehandlungsanlagen unterschieden werden:

- Bei einem Ersatzbrennstoff handelt es sich um einen endkonfektionierten Brennstoff aus bestimmten Abfällen, die nach weitgehender Aufbereitung zur Mitverbrennung in Zementanlagen, Kraftwerks- und sonstigen Anlagen zur Mitverbrennung mit einer bestimmten Qualität verfeuert werden. Ersatzbrennstoffe unterliegen bei der Herstellung und bei der Anwendung bestimmten Anforderungen hinsichtlich Störstoffgehalt sowie an die chemische und physikalische Beschaffenheit.
- Bei der heizwertreichen Fraktion handelt es sich um abgetrennte Anteile oder Fraktionen aus Abfällen, die aufgrund ihrer Zusammensetzung und Eigenschaften deutlich höhere Heizwerte aufweisen als das ursprüngliche Abfallgemisch. In der Regel wird die heizwertreiche Fraktion weniger aufwendig aufbereitet als ein Ersatzbrennstoff.

7.3.1 Einsatzmöglichkeiten von Ersatzbrennstoffen

Die Verwertungswege von EBS können grundsätzlich in drei Kategorien eingeteilt werden: industrielle Mitverbrennung, EBS-Monoverbrennung und konventionelle Abfallverbrennung.

- Voraussetzungen für den Einsatz von EBS in Anlagen zur Mitverbrennung sind die behördliche Genehmigung und die erforderlichen Einrichtungen zur Rauchgasreinigung. Anlagen zur Mitverbrennung müssen bestimmte Grenzwerte gemäß AVV einhalten, die sich von jenen für Abfallverbrennungsanlagen unterscheiden. Im Zuge dieser Arbeit wird verstärkt die Anwendung von EBS in Anlagen zur Mitverbrennung betrachtet (THOMÈ-KOZMIENSKY und THIEL, 2008).
- Die EBS-Monoverbrennung ist in Österreich derzeit kein Thema. In Deutschland werden EBS z.B. in eigens für diesen Zweck umgerüsteten EBS-Kraftwerken verbrannt. Im Prinzip handelt es sich dabei um Abfallverbrennungsanlagen, die jedoch für höhere Heizwerte ausgelegt wurden, als bei Abfallverbrennungsanlagen üblich ist. Derzeit liegen die Heizwerte bei EBS-Kraftwerken bei 8 bis 20 MJ/kg, im Mittel zwischen 12 und 14 MJ/kg Brennstoff. Abfallverbrennungsanlagen weisen im Mittel Heizwerte zwischen 8 und 10 MJ/kg auf (SEEGER, 2007; THOMÈ-KOZMIENSKY und THIEL, 2008).
- Bei der konventionellen Abfallverbrennung werden zum Teil EBS aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungen eingesetzt. Diese werden im Abfallbunker dem Restmüll beigemischt und sorgen so für eine Erhöhung des Gesamtheizwertes (THOMÈ-KOZMIENSKY und THIEL, 2008).

EBS müssen dabei je nach Einsatzort bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllen. Auf diese wird im Zuge der Herstellung geachtet.

7.3.2 Herstellung von Ersatzbrennstoffen

EBS werden meist aus der heizwertreichen Fraktion der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen hergestellt. Dabei steht die Verbesserung folgender brennstofftechnischer Eigenschaften im Vergleich zum Ausgangsmaterial im Vordergrund (GEHRMANN et al., 2012):

- Erhöhung des Heizwertes,
- Vergrößerung der Homogenität,
- Verringerung der Brennstofffeuchte,
- Verringerung des Aschegehaltes und des Anteils an Störstoffen,
- Verringerung der Schadstoffe,
- Verbesserung der Lagerfähigkeit,

- Verbesserung des Zünd-, Reaktions- und Ascheverhalten,
- Verkleinerung der Partikelgrößenverteilung.

Gemäß ÖNORM EN 15359 – „Feste Sekundärbrennstoffe- Spezifikationen und Klassen“ werden EBS anhand der drei Parameter Heizwert, Chlor- und Quecksilbergehalt in verschiedene Klassen eingeteilt. Neben diesen Parametern zur Klassifizierung von Sekundärbrennstoffen enthält die ÖNORM EN 15359 eine Liste an verbindlich und freiwillig zu beschreibenden Brennstoffeigenschaften, die wiederum ausschlaggebend für die Einsatzgebiete der EBS sind. EBS können jedoch auch aus Baustellenabfällen, siehe Kapitel 5.2, hergestellt werden.

7.3.3 Ersatzbrennstoffe aus Baumischabfällen

Die Firma Amand Umwelttechnik Lockwitz GmbH & Co. KG stellt seit 2005 Ersatzbrennstoffe aus Baumischabfällen her. Diese werden in Anlagen zur Mitverbrennung, hauptsächlich in der Zementindustrie und in Kohlekraftwerken, eingesetzt. 2010 wurden rund 75.000 Tonnen EBS in der Anlage hergestellt (LUDWIG, 2011). Das Inputmaterial besteht dabei zu 40 – 50 % aus Baumischabfällen, zu 40 – 50 % aus Sortierresten anderer Abfallbehandlungsanlagen und zu geringen Anteilen aus haushaltsähnlichen Gewerbeabfällen (LUDWIG, 2013). Die Aufbereitung erfolgt dabei in drei Schritten:

- Voraufbereitung
- Aufbereitung
- Konditionierung

Die **Voraufbereitung** beginnt mit einer visuellen Annahmekontrolle. Dabei werden offensichtliche Falschanlieferungen und sichtbare Gefahrenstoffe erkannt und ausgesondert. Bei der nachfolgenden Vorsortierung werden mittels Bagger eine erste Schadstoffentfrachtung und eine Homogenisierung durchgeführt. Vor allem PVC – hältige Stoffe müssen als Hauptchloreintragsquelle entfernt werden. Des Weiteren werden große Störstoffe wie Stahlträger oder ähnliches entfernt. Danach erfolgt die Zerkleinerung des Materials auf Korngrößen <350 mm.

Nach der Vorzerkleinerung beginnt die **Aufbereitung** mittels Trommelsieb, wonach drei Stoffströme – Grobkorn (>110 mm), Mittelkorn (40 – 110 mm) und Feinkorn (<40 mm) vorliegen. Jede dieser drei Kornklassen wird separat weiter aufbereitet und am Schluss teilweise wieder miteinander vermischt. Das Grobkorn durchläuft zu Beginn eine Handsortierung, gefolgt von einem Magnetabscheider und einer ballistische Trennvorrichtung, in der das Material nach Prall- und Wurfeigenschaften getrennt wird und eine erste leichte Brennstofffraktion entsteht. Mittels Nahinfrarotdetektoren (NIR) werden anschließend chlorfreie und papierhaltige Stoffe aussortiert und bilden die zweite Brennstofffraktion. Im Mittelkorn wird nach einem Magnetabscheider mittels NIR gezielt chlorhaltiges PVC ausgeschieden und das Material anschließend mittels Fallstromwindsichter in eine leichte und eine schwere Fraktion getrennt. Das

Feinkorn wird ebenfalls zu Beginn über einen Magnetabscheider geführt. Diesem folgt eine Siebklassierung in zwei Klassen, wobei das Unterkorn je nach Beschaffenheit als Verfüllmaterial im Bergversatz oder als Brennstoffzumischung verwendet wird. Das Überkorn wird einer Windsichtung unterzogen, wobei das leichte Material die vierte Brennstofffraktion darstellt. Beide Schwerfraktionen aus den Windsichtern und das nicht erkannte Material aus dem NIR-Verfahren werden abschließend per Sink-Schwimm-Trennung separiert. Hier entsteht die fünfte Brennstoffklasse.

Bei der **Konditionierung** werden hochkalorische Fraktionen auf Korngrößen <60 mm zerkleinert, nochmals über einen Metallabscheider gefahren und im Anschluss pelletiert. Bei der Schwimmfraction aus der Sink-Schwimm-Trennung genügen meist eine Metallabscheidung und ein Zerkleinerungsprozess, um die gewünschten Materialeigenschaften zu erreichen (LUDWIG, 2011).

Nach LUDWIG (2013) liegt der Anteil von Dämmstoffen am Inputmaterial bei etwa 5 Masse-%, wobei dies je nach Abfallcharge zwischen 0 – 30 Masse-% liegen kann. Dämmstoffe werden in aller Regel nicht aussortiert, selbst Mineralwolle verbleibt im Ausgangsmaterial. Zusätzlich gibt es die Möglichkeiten, Dämmstoffe separat zum Inputmaterial beizumischen, wodurch der Heizwert erhöht werden kann. Dies wird derzeit jedoch aufgrund fehlender Mengen kaum praktiziert, was auch durch FRIESSER (2013) bestätigt wurde. Vor allem Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen wie EPS und PUR stellen aufgrund ihres hohen Heizwertes ein gutes Inputmaterial dar, welches zurzeit nur in Baustellenabfällen vorkommt. Höhere Beimischungsmengen zur Steuerung des Heizwertes sind grundsätzlich möglich, jedoch müssten dazu erst Untersuchungen zu deren Auswirkungen auf das Brandverhalten und etwaige Schadstofffreisetzungen getätigt werden. Nach LUDWIG (2013) verursachen Dämmstoffe grundsätzlich keine Probleme bei der Aufbereitung und bei der Produktqualität in Bezug auf den Schwermetallgehalt. Mögliche Probleme können jedoch durch PU-Schaum und Anhaftungen von Klebemörtel und Verputz an Dämmstoffen aufgrund des erhöhten Chlorgehalts verursacht werden. Des Weiteren muss aufgrund alter mineralischer Dämmwollen, die als krebserregend eingestuft wurden, bei der Handsortierung ein verstärktes Augenmerk auf den Arbeiterschutz gelegt werden.

7.4 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen

In diesem Abschnitt werden mögliche Emissionen von Luftschadstoffen untersucht, die bei der Verbrennung von Dämmstoffen in Abfallbehandlungsanlagen und Anlagen zur Mitverbrennung entstehen können. Ausgehend von bekannten Inhaltsstoffen von Dämmstoffprodukten wird eine Abschätzung des möglichen Gefahrenpotenzials der Verbrennung von Dämmstoffen durchgeführt. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf Luftschadstoffen, für die gemäß AVV (2002)

Grenzwerte definiert sind. Dämmstoffabfälle werden in der Regel nicht sortenrein der thermischen Verwertung zugeführt, sondern finden sich in heizwertreichen Sortierfraktionen von Baurestmassen und in aufbereiteten Baustellenabfällen wieder. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz bei der Herstellung von Ersatzbrennstoffen. Genaue Untersuchungen zum Verhalten von Dämmstoffen in der Abfallverbrennung konnten bei der für diese Arbeit durchgeführten Literaturrecherche nicht gefunden werden.

7.4.1 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen aus mineralischen Rohstoffen

Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen können nicht thermisch verwertet werden. Sie gelangen jedoch als Bestandteil von Baustellenabfällen und Sortierfraktionen in den Verbrennungsprozess. Dämmstoffe wie Glas- und Steinwolle können darüber hinaus durch Zusatzstoffe einen organischen Anteil von bis zu 9 Masse-% aufweisen. In Folge des Verbrennungsvorganges kann es durch Faserflug zu Filterschlüssen und damit verbunden zu Folgeproblemen in der Rauchgasreinigung kommen. Organische Emissionen sind von der Art der Zusatzstoffe abhängig (MÖTZL, 2009). Mineralische Bestandteile der Dämmstoffe finden sich in der Folge in der Schlacke wieder. Aussagen über das Verbrennungsverhalten von Mineralschaum und die Auswirkungen von Verbrennungsrückständen mineralischer Dämmstoffe in der Schlacke können aufgrund fehlender Untersuchungen und Literaturangaben nicht getätigt werden.

7.4.2 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen aus synthetischen Rohstoffen

Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen besitzen einen hohen bis sehr hohen Heizwert und eignen sich dadurch gut als Inputmaterial für die Herstellung von EBS. In Tabelle 31 sind die Heizwerte verschiedener Dämmstoffe dargestellt. Dämmmaterialien wie EPS, XPS, PUR und Resolhartschaum stellen energiereiche Rohstoffe oder Ersatzbrennstoffe für Anlagen zur Mitverbrennung und Abfallverbrennungsanlagen dar. Voraussetzungen dafür sind niedrige Schwermetall- und Chlorgehalte, die bei einigen Anwendungsmöglichkeiten zu Problemen führen können (MÖTZL, 2009).

7.4.2.1 Polystyrol, expandiert (EPS)

Expandiertes Polystyrol verfügt über einen ausgesprochen hohen Heizwert von etwa 39,9 MJ/kg Trockenmasse (TM) (BUSCHMANN, 2003). EPS besteht aus bis zu 94 Masse-% Polystyrol (C_8H_8), aus 4-7 Masse-% Pentan (C_5H_{12}), etwa 1 Masse-% Hexabromcyclodecan (HBCD) ($C_{18}H_{18}Br_6$) und gegebenenfalls geringen Mengen von Paraffinen (C_xH_x) und Metallsalzen (WILLEMS et al., 2010). Expandiertes Polystyrol besteht also zum überwiegenden Teil aus Kohlenstoff und Wasserstoff, welches bei günstigen Verbrennungsverhältnissen vollständig zu CO_2 und H_2O umgewandelt werden kann. Die Bildung von CO und anderen organischen

Kohlenstoffverbindungen kann durch konstruktive, beziehungsweise feuerungstechnische Maßnahmen, weitgehend verhindert und eine möglichst vollständige Verbrennung erreicht werden (STOIBER et al., 2007). In der Folge der Verbrennung von HBCD kann es jedoch zur Bildung von geringen Mengen an bromierten Furanen und Dioxinen sowie Bromwasserstoff kommen (MÖTZL, 2009). Bei Temperaturen von 300-800°C kommt es im Rauchgas zur Bildung von Vorläufersubstanzen wie polychlorierten Benzolen oder Phenolen. Dioxine und Furane entstehen in der Folge bei der Abkühlung der Rauchgase im Temperaturbereich von 200-500°C, sofern ausreichende Verweilzeiten sowie Chlor und Luft vorhanden sind (STOIBER et al., 2007). Weiters kann es auch zur Bildung verschiedener Bromphenole kommen, die wiederum als Vorläufer für die Entstehung von Dioxinen wirken können (DESMET et al., 2005). Bromide können so wie andere Halogene, etwa Chloride oder Fluoride, für negative Auswirkungen wie Hochtemperatur-Korrosion verantwortlich sein (WECOBIS, 2013). Der Einfluss von Metallsalzen konnte aufgrund fehlender Angaben über Art und Menge des Einsatzes nicht untersucht werden. Abfälle aus Polystyrol und Polystyrolschäumen sind für die Mitverbrennung bei der Zementherstellung geeignet und stehen auf der „Positivliste für die Verbrennung von Abfällen in Anlagen zur Zementherstellung“. Diese Liste ist eine freiwillige Verpflichtung aller Zementhersteller in Österreich, nur schadstoffarme Abfälle definierter Qualitäten in ihren Mitverbrennungsanlagen einzusetzen (POSITIVLISTE, 2001).

7.4.2.2 *Polystyrol, extrudiert (XPS)*

XPS weist im Vergleich zu EPS einen noch höheren Heizwert von 47 MJ/kg TM auf. Da die Inhaltsstoffe von XPS jenen von EPS grundsätzlich sehr ähnlich sind und sich nur durch die Massenverteilung und Additive unterscheidet, wird für XPS ein ähnliches Verbrennungsverhalten wie für EPS angenommen. Nach WECOBIS (2013) kann es jedoch bei alten FCKW-geschäumten XPS-Produkten bei der Aufbereitung zur Verbrennung zur Freisetzung des Treibmittels kommen. In der Verbrennung selbst stellen FCKW-haltige Abfälle kein Problem dar. In heutigen Anlagen werden Zerstörungsgrade von >99,9 % erreicht. Die bei der thermischen Zerstörung von FCKW zu beobachtenden erhöhten Werte von Fluorwasserstoff und Chlorwasserstoff können von aktuellen Rauchgasreinigungsanlagen mittels Trockensorption, Turbosorption, Sprühabsorber, Rauchgaswäscher oder AktivkohlfILTER auf Werte unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte reduziert werden (MARK et al., 2011; STOIBER et al., 2007).

7.4.2.3 *Polyurethan (PUR)*

PUR besteht aus 55-65 Masse-% Polyisocyanate, 20-30 Masse-% Polyole, 4-5 Masse-% Treibmittel wie Pentan, CO₂ oder in vereinzelt Ländern noch FCKW. Als Flammenschutzmittel werden bromierte, chlorierte Verbindungen oder Phosphorsäureester eingesetzt. Je nach Anwendung können auch zahlreiche

Additive wie tertiäre Amine, Organo-Zinn-Verbindungen, Tenside oder Pigmente enthalten sein. Der Heizwert von Polyurethan liegt bei etwa 25 MJ/kg TM (BUSCHMANN, 2003). PUR weist aufgrund des verwendeten Polyisocyanats einen hohen Stickstoffanteil auf, wodurch es bei der Verbrennung zur Bildung von Stickstoffoxiden kommt, welche im Zuge der Entstickung bei der Rauchgasreinigung entfernt werden können (STOIBER et al., 2007). Bei ungünstigen Verbrennungsverhältnissen kann es zur Bildung von Blausäure oder teilweise auch zur Rückbildung von Isocyanaten kommen (MÖTZL, 2009). Chlorhaltige Flammschutzmittel, oder allgemein chlorhaltige Substanzen in Brennstoffen, unterstützen Hochtemperatur-Korrosionen und führen zu erhöhten Abnutzungen bei Anlagenteilen der Abgasreinigung und bei Wärmetauschern. Neben Chlor sind jedoch auch Schwermetalle wie Blei, Zink, Kupfer, Natrium, Kalium, Calcium und nicht zuletzt auch Wechselwirkungen mit Schwefelverbindungen stofflich ursächlich für korrosive Prozesse (SPIEGEL et al., 2007). Schwermetalle mit Ausnahme von Quecksilber finden sich praktisch ausschließlich in Form von Staubpartikeln im Rauchgas und können mittels Staubabscheidung aus diesen abgetrennt werden. Nach LUDWIG (2013) können zumindest alte Dämmprodukte aus PUR über derart erhöhte Chlorgehalte aufweisen, dass es zu Problemen bei der EBS-Herstellung kommen kann. Besondere Aufmerksamkeit muss bei der Entsorgung von kaschierten PUR-Dämmplatten gelegt werden. Kaschierungen aus Aluminium können als Bestandteil der Verbrennungsschlacke problematisch wirken (MÖTZL, 2009). Trotz der oben genannten Nachteile befinden sich Polyurethan und Polyurethanschäume ebenfalls auf der Positivliste für die Verbrennung von Abfällen in Anlagen der Zementherstellung (POSITIVLISTE, 2001).

7.4.2.4 Phenolharz (Resolhartschaum)

Zum Verbrennungsverhalten von Phenolharz liegen keine gesicherten Ergebnisse vor, für den Heizwert konnten keine Angaben gefunden werden. Dämmstoffe aus Phenolharz bestehen zu über 90 Masse-% aus Resolschaum und bis zu 5 Masse-% Flammschutzmittel wie Bor- oder Phosphorsäure. Die restlichen Anteile variieren je nach Kaschierung (WILLEMS et al., 2010). Phenol besteht aus den chemischen Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff und stellt daher bei günstigen Verbrennungsbedingungen vermutlich kein Problem dar, das Gleiche gilt für das bereits bei anderen Dämmstoffen erwähnte Treibmittel Pentan. Der Einfluss von bor- oder phosphorhaltigen Flammschutzmitteln wurde bereits bei Polystyrol und Polyurethan erläutert.

7.4.3 Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Die meisten Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind auf Basis von Zellulose- oder Lignozellulose aufgebaut und verhalten sich demnach

unproblematisch. Das Beimischen von Flammschutzmitteln oder Stützfasern wie Polyester kann jedoch zur Beimengung von Schwermetallen oder Stickstoff führen, wodurch sich das Verbrennungsverhalten verschlechtern kann. Bei einigen Produkten werden auch zusätzlich Biozide beigemischt, um die Dämmprodukte vor Insektenfraß zu schützen (MÖTZL, 2009). Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen weisen etwas niedrigere Heizwerte als Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen aus, jedoch noch deutlich höhere als jene von üblichen Restmüllfraktionen.

7.4.3.1 *Kork*

Korkplatten, bei deren Herstellung auf zusätzliche Stoffe verzichtet wird, weisen ein ähnliches Verbrennungsverhalten auf wie unbehandeltes Holz. Bei Bitumen-imprägnierten Korkplatten kann es zur Bildung von polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffverbindungen (PAK) kommen (MÖTZL, 2009). Durch konstruktive und feuerungstechnische Maßnahmen als auch durch die Betriebsweise können diese Verbindungen reduziert werden. Der Heizwert von Kork beträgt etwa 16,7 MJ/kg TM (BUSCHMANN, 2003).

7.4.3.2 *Holzfasern*

Holzfasernplatten, die im Nassverfahren hergestellt wurden, bestehen bis auf geringe Zusätze von Aluminiumsulfat ausschließlich aus Holzfasern. Das Verbrennungsverhalten ist also grundsätzlich mit jenem von unbehandeltem Holz zu vergleichen. Durch Aluminiumsulfat $Al_2(SO_4)_3$ kommt es zum Schwefeleintrag, der wiederum im Zuge der Rauchgasreinigung entfernt werden muss. Aluminium kann als Bestandteil der Verbrennungsschlacke problematisch wirken (MÖTZL, 2009; STOIBER et al., 2007). Holzfasernplatten, die im Trockenverfahren erzeugt wurden, enthalten Bindemittel und phosphor- oder borhaltige Flammschutzmittel. Als Bindemittel werden meist Kunststofffasern oder Kleber aus Polyurethanen oder Isocyanaten, kurz PMDI-Kleber genannt, verwendet. Der Heizwert von Holzfasernplatten wird in der Literatur unabhängig vom Herstellungsverfahren mit 18 MJ/kg TM angegeben (BUSCHMANN, 2003).

7.4.3.3 *Hanf*

Bei einigen Produkten werden neben Hanffasern auch bis zu 15 Masse-% Stützfasern aus Polyester oder Polyethen eingesetzt. Als Flammschutzmittel wird in aller Regel Natriumkarbonat oder Ammoniumphosphat verwendet. Hanffasern bestehen hauptsächlich aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff und weisen gute Verbrennungseigenschaften auf. Geringe Anteile an Natrium, Stickstoff, Chlor und Schwefel sind verbrennungstechnisch nicht problematisch (MÖTZL, 2009). Der Heizwert von Hanfdämmstoffen beträgt mit Stützfasern 16,9 MJ/kg TM, ohne Stützfasern 12,3 MJ/kg TM (BUSCHMANN, 2003).

7.4.3.4 Schafwolle

Dämmprodukte aus Schafwolle enthalten nur geringe Zusätze aus Natriumsalzen, Harnstoffderivaten oder Borsalz, die die Wolle vor Mottenbefall schützen soll. Der Anteil der Zusätze beträgt dabei <1 Masse-%. Schafwolle besteht aus 50 % Kohlenstoff, 22 - 25 % Sauerstoff, 16 - 17 % Stickstoff, 7 % Wasserstoff und 3-4 % Schwefel. Sie besitzen also einen relativ hohen Stickstoff- und Schwefelgehalt. Erhöhte NO_x oder Schwefelemissionen stellen in Abfallbehandlungsanlagen keine Probleme dar. Oftmals wird bei der unvollständigen Verbrennung von Schafwolle von der Entstehung von Blausäure ausgegangen, dies ist jedoch bei der Verbrennung in heutigen Abfallverbrennungsanlagen keine Problem (MÖTZL, 2009). Schafwolle besitzt einen hohen Heizwert von 20,43 MJ/kg (BUSCHMANN, 2003).

7.5 Verbrennungsverhalten von möglichen Verunreinigungen

Als wesentliche Verunreinigungen von Dämmstoffen, die bei einer thermischen Verwertung oder beim Einsatz als Ersatzbrennstoff zu Problemen führen können werden im Zuge dieser Arbeit Bitumenanstriche und Klebemörtel, beziehungsweise mineralischer Verputz näher betrachtet. Diese Verunreinigungen können im Regelfall auch im Zuge eines Rückbaus mit wirtschaftlich vertretbarem Einsatz nicht vom Dämmstoff getrennt werden und bleiben an diesem haften.

Nach LUDWIG (2013) stellen mineralische Anhaftungen grundsätzlich bei der Herstellung von EBS aus Baumischabfällen kein Problem dar, da die verwendeten Aufbereitungsanlagen dafür ausgelegt sind, mineralische Verunreinigungen zu entfernen. Diese können nach der Zerkleinerung relativ problemlos abgesiebt werden. Stark verschmutzte Abfallfraktionen wirken sich jedoch negativ auf die Durchsatzleistung der Aufbereitungsanlage aus. Mörtel und Verputze enthalten in der Regel Zement, Kalk, Gesteinsmehle, Luftporenbildner und verschiedene Bindemittel. Aufgrund der zahlreichen unterschiedlichen Produkte ist eine genaue Untersuchung des allgemeinen Verbrennungsverhaltens nicht möglich. Zement enthält hauptsächlich Calciumcarbonat und Tonminerale wie Aluminiumsilikat, Magnesium- oder Eisencarbonat (WECOBIS, 2013).

Bitumenhaltige Bindemittel können nur gemeinsam mit dem Dämmstoff entfernt werden, an dem sie haften. Bitumen weisen aufgrund ihres hohen Kohlenstoffanteils einen sehr guten Heizwert auf, welcher in der Größenordnung von Erdöl liegt. Nachteilig wirkt der relativ hohe Schwefelgehalt, der zur Bildung von Schwefeldioxid führt und durch Rauchgasreinigungsanlagen entfernt werden muss (MÖTZL, 2009).

8. Recycling von Dämmstoffen

In diesem Kapitel werden derzeitige Recyclingmöglichkeiten von Dämmstoffen untersucht. Es wird dabei von sortenreinen, unverschmutzten Dämmstoffabfällen ausgegangen.

Unter Recycling wird gemäß AWG jedes Verwertungsverfahren verstanden, durch das Abfallmaterialien zu Produkten, Sachen oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Ausgehend von einer Literaturrecherche werden die Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Dämmstoffabfällen, sowie die technischen Möglichkeiten für stoffliches Recycling untersucht. Der Fokus liegt dabei auf der Wiedereinbringung in den Produktionsprozess von Dämmstoffen, sowie die Verwendung und Verwertung von Dämmstoffabfällen in anderen Anwendungen im Bauwesen. Rohstoffliches Recycling sowie der Einsatz bei Produkten, die außerhalb der Bauwirtschaft liegen, werden nur vollständigheitshalber erwähnt und stehen nicht im Fokus dieser Arbeit. Ergebnisse der Literaturrecherche über die derzeitige Umsetzung von Recyclingprozessen für Dämmstoffabfälle in Österreich wurden durch persönliche und telefonische Interviews mit Abfallentsorgern und ausgewählten Dämmstoffproduzenten ergänzt. Für Dämmstoffe ist im Allgemeinen davon auszugehen, dass mit den derzeit herrschenden Rahmenbedingungen, die einen zerstörungsfreien oder unverschmutzten Rückbau kaum durchführbar machen, nur stoffliches Recycling betrieben werden kann.

8.1 Voraussetzungen und Einschränkungen für Recycling von Dämmstoffen

Grundlage für die Weiterverwendung von Dämmstoffen ist der zerstörungsfreie und unverschmutzte Rückbau des Dämmmaterials. Wie in Kapitel 4 – „Rückbau von Dämmstoffen“ erläutert, ist dies jedoch nur bei wenigen Anwendungen möglich (BUSCHMANN, 2003; GLAVAS, 2012; RÖDHAMMER, 2012). Selbst wenn die Demontage nach gewünschten Kriterien der Sortenreinheit erfolgt, das Material in einem einwandfreien Zustand und ohne mineralische und sonstige Verunreinigungen vorliegt, ist es nicht zu erwarten, dass Dämmstoffprodukte wie Platten oder Stopfwohle nochmals verwendet werden. Dies liegt darin begründet, dass früher verbaute Dämmstoffprodukte kaum heutigen Qualitätskriterien hinsichtlich Dicke, Wärmeleitfähigkeit und Abmessungen entsprechen. Die ungeklärten Fragen bezüglich Haftung, Garantieübernahme und vor allem fehlende Erfahrungswerte bei gebrauchten Baumaterialien aus Dämmanwendungen stellen nach RÖDHAMMER (2012) dabei die wohl größten Herausforderungen dar. Ausgehend von diesen Annahmen werden die Möglichkeiten der Wiederverwendung im weiteren Verlauf

des Kapitels für die betrachteten Dämmstoffe nicht genauer untersucht und allgemein als gering bis unwahrscheinlich, aber in jedem Fall als mengenmäßig untergeordnet, angenommen.

Ein sauberer Rückbau ist auch für die Wiedereinbringung von Dämmstoffabfällen in den Produktionsprozess grundlegend. Hier muss das Material nicht zerstörungsfrei vorliegen, da es im Zuge der Aufbereitung zerkleinert wird und dabei zu einem gewissen Teil gesäubert werden kann. Genaue Angaben, wie hoch die Verunreinigungen dabei sein dürfen und welche Stoffe ein größeres oder kleineres Problem bei der Aufbereitung darstellen konnten im Zuge dieser Arbeit nicht dargestellt werden.

Selbst beim Vorliegen sortenreiner und unverschmutzter Dämmstoffe ist ein Recycling nicht immer ohne weiteres möglich. Vielfach werden heutige Dämmstoffprodukte mit Kaschierungen aus verschiedensten Materialien wie Glasvlies oder Aluminium produziert, die im Zuge der Aufbereitung abgetrennt werden müssen. Selbiges gilt auch für die Verwendung von Dämmstoffen in Verbundsystemen, z.B. Sandwichplatten, wie sie im industriellen Hallenbau eingesetzt werden.

Weitere Probleme beim Recycling von Dämmstoffen stellen hohe spezifische Transportkosten des Materials und den Grundstoffen beigefügte Additive zum Flamm- oder Insektenschutz dar. Aufgrund der niedrigen Rohdichte von Dämmstoffabfällen können bei Transporten mit LKWs nur Mengen von einigen hundert Kilo Dämmstoff transportiert werden. Die Entfernung von Flammschutzmitteln und anderen Zusätzen ist oftmals energieintensiv oder die Reinigungsleistung herkömmlicher Verfahren ist schlichtweg mangelhaft (CREACYCLE, 2003).

8.2 Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen

8.2.1 Expandiertes Polystyrol (EPS), Extrudiertes Polystyrol (XPS)

Polystyrol-Abfälle, die bei der Herstellung oder der Verarbeitung auf der Baustelle anfallen, können grundsätzlich problemlos wieder in den Herstellungsprozess eingebracht werden, sofern sie frei von Verschmutzungen sind. Die Wiederverwertung von gebrauchten EPS-Abfällen in der Dämmstoffherstellung wird jedoch nach derzeitigen Literaturangaben nicht durchgeführt (WECOBIS, 2013). Produktionsabfälle werden sowohl bei der Herstellung von EPS als auch XPS zu 100 % wieder in den Herstellungsprozess rückgeführt. Dämmstoffabfälle von Baustellen und gebrauchte Dämmstoffe aus Abbrüchen werden jedoch kaum verwendet, da dieses Material meist zu hohe Verschmutzungen aufweist. Es wird

jedoch ein geringer Anteil von etwa 1 Masse-% Polystyrol aus Verpackungsabfällen beigemischt (JANDL, 2013).

Aufgeschäumte Polystyrol-Partikel oder Mahlgut aus EPS- oder XPS-Abfällen werden auch in nachfolgenden Einsatzgebieten des Bauwesens verwendet, wobei ihre Gesamtmenge eher gering ist (WALTER, 1996; SCHMID, 1997):

- Dämmschüttung zur Dämmung von Hohlräumen
- Leichtzuschlag für Beton, Putze und Mörtel: Den Ausgangsstoffen werden bei der Herstellung der Baustoffe kleinteilige, aufgeschäumte Polystyrol-Partikel beigemischt, die die Rohdichten des Endproduktes wesentlich verringern und für eine Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften sorgen. Bei dieser Anwendung von Polystyrol ist ein erneutes Recycling jedoch entweder auszuschließen oder nur als Rezyklat für die gleiche Verwendung denkbar.
- Porosierungsmittel für Ziegel: Dem aufbereiteten Rohthon werden vor dem Strangpressen aufgeschäumte Polystyrol-Partikel oder auch Mahlgut in Korngrößen von 1-4 mm Durchmesser beigemengt, die im Zuge des Brennvorganges rückstandsfrei verdampfen und so eine Makroporenstruktur erzeugen. Durch diesen Vorgang wird wiederum die Rohdichte des Endproduktes verringert und der Dämmwert des Ziegels verbessert. 2005 wurden in Österreich 181 Tonnen Polystyrol für diesen Zweck eingesetzt, wobei jedoch der Anteil an Polystyrol aus Dämmstoffen nicht quantifiziert werden kann (WALTER und TESAR, 2009).

Neben diesen herkömmlichen Varianten des Polystyrol-Recycling werden neue Verfahren zur stofflichen Verwertung entwickelt. Ein Beispiel dafür stellt der „EPS-Loop“ dar, der im Anschluss erläutert wird.

8.2.1.1 *EPS – Loop*

Das Forschungsprojekt „EPS-Loop“ beschäftigt sich seit 2003 mit einem Recyclingverfahren für verschmutzte EPS-Abfälle mit dem Ziel wiederaufschäumbares Polystyrol herzustellen. Im Zuge des Projekts wird auch ein kostengünstiges Logistikverfahren für die Sammlung der betreffenden EPS-Abfälle entwickelt. Das Kernstück der Recyclingtechnologie ist dabei das CreaSolv – Verfahren (CREACYCLE, 2003).

Die verschmutzten Dämmstoffabfälle aus Polystyrol werden im ersten Aufbereitungsschritt in einem selektiven Lösungsmittel aufgelöst, wobei nur das Zielpolymer Polystyrol in Lösung geht. Fremdpolymere und Verunreinigungen wie Verputz- oder Klebemörtelanhaftungen verbleiben dabei ungelöst im Lösemittel und können anschließend abgetrennt werden (MÄURER und KNAUF, 2005). Dabei handelt es sich um den zweiten Aufbereitungsschritt. Derzeit gibt es noch Optimierungsbedarf bei der Entfernung von bitumenhaltigen Stoffen. Diese können

derzeit zu etwa 90 % entfernt werden, Restverunreinigungen verbleiben noch im Polystyrol (MÄURER, 2013). Beim verwendeten Lösemittel handelt es sich um eine kennzeichnungsfreie Flüssigkeit, die ohne aufwendige Gefahrguttransporte in Tankfahrzeugen oder Behältern transportiert werden kann.

Im dritten Verfahrensschritt wird unter Zugabe von Fällungsmittel reines Polystyrol in Partikelform aus der Lösung gewonnen. Etwaige Flammschutzmittel aus dem Inputmaterial verbleiben in der Lösung, die bei der Wiederaufbereitung des Lösemittels als Konzentrat abgetrennt werden. Handelt es sich dabei um bromhaltige Flammschutzmittel, können diese der Bromwiederaufbereitung übergeben werden. Durch geeignete Wahl der Prozessparameter kann nach Wunsch das Flammschutzmittel auch im Polystyrol verbleiben.

Als vierter Aufbereitungsschritt erfolgt die Trocknung und Konfektionierung des gewonnenen Zielpolymers (MÄURER und KNAUF, 2005). Durch variable Prozessparameter und -führung kann selbst bei stark verschmutzten EPS-Abfällen re-expandierbares Polystyrol in Neuwarenqualität erzeugt werden.

Durch die Volumenreduktion um den Faktor 50 können die erforderlichen Transportkosten erheblich gesenkt werden. Die Verfahrenskosten inklusive Betrieb und Investition variieren dabei abhängig vom Zielpolymer zwischen 300 und 800 €/Tonne Rezyklat (MÄURER et al., 2010). Diese Angaben wurden für CreaSolv-Verfahren zur Aufbereitung von Polymeren aus Elektroaltgeräten berechnet. Nach MÄURER (2013) können die Verfahrenskosten für die Aufbereitung von EPS-Abfällen zu wiederaufschäumbarem Polystyrol jedoch an der unteren Grenze dieser Berechnungen angesetzt werden. Der kalkulierte Energieverbrauch pro Tonne beträgt beim EPS-Loop 15 % im Vergleich zur Neuwaren-Herstellung. Dies würde bei einem Produkt wie EPS, bei dem etwa 85 % des Gesamtprimärenergieverbrauchs für die Herstellung der Rohstoffe verbraucht wird, erhebliche Energieeinsparungen bewirken (EYERER et al., 2000).

Derzeit wird eine Pilotanlage nach dem Prinzip des CreaSolv-Prozesses in Deutschland errichtet, die jedoch ein anderes Polymer als Polystyrol als Zielkomponente aufweist. Für EPS rechnet MÄURER (2013) in einer Zeitspanne von zwei bis drei Jahren mit der Umsetzung einer Pilotanlage mit höherer Kapazität, derzeit wurden Forschungsanlagen in der Größenordnung von mehreren m³ umgesetzt. Extrudiertes Polystyrol kann vermutlich mit demselben Verfahren zu Polystyrol-Rezyklat aufbereitet werden wie EPS-Abfälle. Für andere Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen wie Polyurethan und Phenolharz ist dieses Verfahren jedoch nicht anwendbar.

8.2.2 Polyurethan (PUR)

Bei Polyurethan handelt es sich um einen duroplastischen Werkstoff. Im Unterschied zu Kunststoffen, die zu den Thermoplasten gezählt werden, können PUR-Produktionsabfälle, sowie sortenreine gebrauchte PUR-Dämmstoffe, nicht wieder eingeschmolzen und als Ausgangsmaterial für neue Dämmplatten verwendet werden (MÖTZL, 2009). Es gibt jedoch andere Möglichkeiten, wie Abfälle aus Polyurethan-Hartschaum recycelt werden können.

- Klebpressen von PUR: Diese Recyclingmethode lehnt stark an der Spanplattentechnologie an. Dazu werden PUR-Abfälle zerkleinert, mit einem Bindemittel wie zum Beispiel Polymethylenpolyphenylpolyisocyanat (PMDI) und Wasser unter einem Druck von 6-30 bar und einer Temperatur von 120-150°C gepresst. Diese Pressplatten sind feuchtigkeitsbeständig, weisen eine hohe Rohdichte von 700 kg/m^3 auf und können als Bodenplatten für Fußbodenheizungen oder Konstruktionsplatten in Feucht- und Sanitärbereichen ähnlich wie Spanplatten eingesetzt werden (RAßHOFER, 1994).

Diese Form des Recyclings wird derzeit auch in Österreich angewendet. Zwar geschieht dies nur mit Produktionsabfällen, für die Zukunft wird auch davon ausgegangen, dass Dämmstoffabfälle in entsprechender Qualität eingesetzt werden können, da eine gute Marktnachfrage nach diesen Produkten gegeben ist (HOFMANN, 2013).

Für verschmutzte PUR-Abfälle aus dem Bauwesen gibt es derzeit keine stoffliche Verwertung. Ein Rücknahme- und Sammelsystem ist derzeit nicht bekannt. Dies scheitert laut Herstellerangaben an den zu geringen verfügbaren Mengen. Bei Abfällen von alten PUR-Produkten kann zudem nicht ausgeschlossen werden, dass es bei der Aufbereitung zur Freisetzung von FCKW-haltigen Stoffen kommt, welche in der Vergangenheit als Treibmittel verwendet wurden (WECOBIS, 2013).

Chemische Recyclingmöglichkeiten für Polyurethan sind unter anderem Alkoholyse-, Pyrolyse-, Hydrolyse-, Glykolyse-, und Fraktionierungsverfahren (ZIA et al., 2007; YANG et al., 2012).

8.2.3 Phenolharz (Resolhartschaum)

Bei Phenolharzschaumplatten handelt es sich wie bei PUR um einen duroplastischen Kunststoff. Es ist also grundsätzlich nicht davon auszugehen, dass Abfälle aus diesem Dämmstoff wieder in den Produktionskreislauf neuer Dämmstoffe eingebracht werden können. Ein rohstoffliches Recycling ist zwar grundsätzlich möglich, jedoch ist dieser Vorgang sehr energieintensiv und aus diesem Grund derzeit nicht als Option zu sehen (PICKERING, 2006).

Nach PFUNDSTEIN et al. (2008) liegen zum möglichen Recycling von Dämmstoffen aus Phenolharzschaum keine fundierten Aussagen vor. Nach HORWARTH (2013) sind Dämmplatten aus Phenolharzschaum ein relativ neues Produkt am Dämmstoffmarkt, wodurch derzeit und auch in absehbarer Zeit wohl auf Grund der geringen Abfallmengen kein großer Bedarf an Recyclingmöglichkeiten für diesen Dämmstoff entstehen wird.

8.3 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

8.3.1 Mineralschaum

Nach FEURER (2013) und PFUNDSTEIN et al. (2008) können Produktionsabfälle aus der Herstellung von Mineralschaumplatten wieder in den Produktionsprozess eingebracht werden. Der Einsatz von gebrauchten Mineralschaumplatten ist allerdings zur Zeit keine Option, da dies aufgrund zu geringer Mengen nicht praktikabel ist. Literaturangaben zum Aufbereitungsverfahren von Produktionsabfällen konnten bei der Erstellung dieser Arbeit nicht gefunden werden. Selbst eine Umweltprodukterklärung eines Mineralschaumproduktes gibt keine Auskunft über diese Recyclingmöglichkeit (IBU, 2011a). Sehr wohl werden anderweitige Einsatzmöglichkeiten für gebrauchte Mineralschaumplatten angeführt:

- Granulat für Hochtemperaturschüttdichtung
- Granulat für Schüttdämmung

Mineralschaumabfälle sind nicht für die Verwendung als Zuschlagstoff für zementgebundene Baustoffe geeignet. Eine potentielle Verwertungsmöglichkeit stellt die Verwendung als Zuschlagstoff bei Leichtmauermörtel dar (MÖTZL, 2009).

8.3.2 Steinwolle

Das betriebsinterne Recycling bei der Herstellung von Steinwolle-Dämmprodukten ist bei allen Herstellern gängige Praxis. Die Reststoffe bei der Herstellung sowie fehlerhafte Dämmprodukte werden nach der Zerkleinerung mit Zement und Wasser vermischt und zu Recycling-Formsteinen gepresst. Diese werden wieder direkt in der Dämmstoffproduktion eingesetzt und können einen Anteil der Gesamtrohstoffe von bis zu 30 Masse-% stellen (BBSR, 2011; WECOBIS, 2013). In Deutschland setzt die Firma ROCKWOOL bereits seit 1994 gebrauchtes Dämmmaterial auf diese Weise ein. Grundvoraussetzung dafür ist, dass die Dämmstoffabfälle direkt vom privaten Kunden oder vom Entsorger zum Werk gebracht werden. Weitere Kosten entstehen für die abgebende Seite nicht. In Österreich unterhält die Firma ROCKWOOL keine Produktionsstätte für Dämmwolle. Auf Grund der hohen Transportkosten aus Österreich zum nächstgelegenen Werk stellt diese Möglichkeit zum jetzigen Zeitpunkt aus ökonomischer Sicht keine Alternative zur Deponierung auf Baurestmassendeponien dar (STRECHER, 2013). In der Schweiz wird von der

Fa. FLUMROC AG ein Rücknahmekonzept für Steinwolle-Abfälle praktiziert. Gegen Kaufpreis werden eigene Foliensäcke angeboten, die für die sichere Verpackung und dem Transport von Dämmstoffabfällen verwendet werden. Diese Säcke werden beim Kauf von Neuware vom Händler zurückgenommen und im Zuge der Anlieferung zum Hersteller zurücktransportiert. Beim Kauf der Neuware wird ein Anteil zur Deckung der Kosten des Händlers miteingerechnet, der Rücktransport des Dämmstoffabfalls zum Hersteller wird vom Hersteller getragen (BBSR, 2011). Weitere Möglichkeiten für die stoffliche Verwertung von Abfällen aus Steinwolle sind nach WECOBIS (2013), BBSR (2011) und STRECHER (2013):

- Verflockung von Steinwolle: Aus Steinwolle-Abfällen wird ein Granulat hergestellt, welches als Einblasdämmung verwendet wird,
- Zugabe als Porosierungsmittel in der Ziegelindustrie: aus gemahlene Abfällen aus Steinwolle wird unter der Zugabe von Ton, Gelatine und Wasser ein Granulat erzeugt, welches als Zusatzmittel bei der Ziegelherstellung beigemischt wird.

Nach STRECHER (2013) ist der Einsatz von Recycling-Formsteinen aus gebrauchten Steinwolle-Abfällen derzeit eher gering und beträgt etwa 3 – 5 % des Inputmaterials der Fa. ROCKWOOL.

8.3.3 Glaswolle

Glaswolle-Abfälle weisen ähnliche Recyclingmöglichkeiten wie jene Abfälle aus Steinwolle auf, jedoch ist nach ZLABINGER (2012) die Rückführung von Abfällen von Baustellen, die entweder als Verschnitt von Neuprodukten oder als getrennt gesammelter Abfall bei Abbruchprojekten anfallen, zum jetzigen Zeitpunkt keine Option. Dies wurde im Rahmen einer Studie des IBO und der Firma ISOVER untersucht und aufgrund von zu hohem Transportaufwand als nicht praktikabel bewertet. Auf diese Studie konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht zugegriffen werden. Auch MÖTZL (2009) konnte kein Rücknahme- und Verwertungskonzept für Glaswolle identifizieren.

Produktionsabfälle werden nach demselben Prinzip wie Steinwolle-Abfälle direkt vor Ort wieder aufbereitet und in den Produktionsprozess eingebunden. Auch die Zugabe als Porosierungsmittel in der Ziegelindustrie ist nach BBSR (2011) eine Möglichkeit der Glaswolle-Verwertung. ZLABINGER (2012) nennt als weitere Möglichkeit die Verwendung als Zuschlagsstoff bei der Asphaltherstellung.

8.4 Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

8.4.1 Kork

Saubere, unbehandelte Korkabfälle aus Verschnitten oder aus Abbrüchen können wieder in den Produktionsprozess eingebracht werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Verarbeitung zu Korkschrot, das für Schütt- oder Einblasdämmung verwendet wird. Bei unbehandeltem Kork besteht auch die Möglichkeit der Kompostierung oder die Verwendung zur Auflockerung von Böden (PFUNDSTEIN et al., 2008; WECOBIS, 2013). Verunreinigte Dämmstoffabfälle aus Kork, wie sie bei Abbrüchen eines WDVS entstehen, oder mit Bitumen behandelte Platten können jedoch nicht mehr für Dämmzwecke eingesetzt werden und müssen thermisch verwertet werden. Imprägnierter Kork kann in Form von imprägnierter Korkschüttung verwendet werden (MÖTZL, 2009). Nach ZOTT (2013) gibt es im deutschsprachigen Raum jedoch keinen Anbieter für recycelten Naturkork. Die befragte Firma bezieht ihre Korkplatten aus Spanien, da es in Österreich und Deutschland keinen Hersteller für Korkplatten gibt, dementsprechend gibt es auch kein Recyclingkonzept in diesem Bereich.

8.4.2 Schafwolle

Unverschmutzte Dämmstoffe aus Schafwolle sind prinzipiell wieder für die Produktion von neuem Dämmmaterial geeignet. Teilweise besteht auch eine Rücknahmegarantie durch Hersteller (WECOBIS, 2013). Die theoretische Beimischungsmenge von gebrauchtem Material im Produktionsprozess wird auf 10 % geschätzt. Nach LEHNER (2012) können Produktionsabfälle problemlos wieder in den Kreislauf eingefügt werden. Die Möglichkeit der Rücknahme von Baustellenverschnitten oder unverschmutzten, gebrauchten Schafwolle-Abfällen wird derzeit nicht in Anspruch genommen. Unbehandelte Schafwolle-Abfälle werden in den meisten Fällen kompostiert oder werden thermisch verwertet. Weitere Recyclingmöglichkeiten für Schafwolle konnten nicht gefunden werden (LEHNER, 2012).

8.4.3 Hanf

Produktionsabfälle und gebrauchte, unverschmutzte Dämmmaterialien aus Hanf können wieder in den Produktionskreislauf eingebracht werden. Nach WECOBIS (2013) lässt sich derzeit keine Übernahmegarantie von Dämmstoffherstellern finden. ZLABINGER (2012) sieht die vorhandenen Mengen in Verbindung mit hohen Transportkosten als zu gering an, damit bei Hanf ein stoffliches Recycling durchgeführt wird.

Unbehandelte Hanfdämmstoffe können kompostiert werden. Dämmprodukte, die mit Flammschutzmittel behandelt sind oder die Polyesterstützfasern enthalten, sind

jedoch schwieriger weiterzuverwenden. Es wird davon ausgegangen, dass solche Produkte thermisch verwertet werden müssen (PFUNDSTEIN et al, 2008).

8.4.4 Holzfasern

Bei Holzfaserdämmplatten, die im Trockenverfahren hergestellt werden, ist aufgrund des Materialverbundes durch den Einsatz von Bindemittel nicht von einer Rückführung in den Produktionsprozess auszugehen. Diese Platten müssen thermisch verwertet werden (MÖTZL, 2009).

Die Recyclingmöglichkeiten von Holzfaserdämmplatten, die im Nassverfahren erzeugt werden, entsprechen jenen von Korkplatten. Sie können also wieder in den Produktionsprozess eingebracht oder als Einblasdämmung verwendet werden. Nicht behandelte Dämmstoffe aus Holzfasern können auch zur Bodenauflockerung eingesetzt oder kompostiert werden. Behandelte Dämmplatten, die z.B. in Bitumen getränkt wurden, eignen sich nicht für ein stoffliches Recycling und müssen thermisch verwertet werden (PFUNDSTEIN et al., 2008; WECOBIS, 2013).

ZOTT (2013) sieht beim Recycling von Holzfasern mögliche Probleme durch eine erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit von Holzfaserdämmplatten. Diese seien zwar hydrophobiert, jedoch meist nur einseitig, sodass diese als Abfall vermehrt Wasser aufnehmen können. Hinweise auf die Eignung von Holzfaserdämmstoff-Abfälle für die Herstellung von Spanplatten konnten bei der Recherche nicht gefunden werden.

9. Ökologische Betrachtung von Dämmstoffen

In diesem Kapitel wird nun eine ökologische Betrachtung ausgewählter Umweltauswirkungen der Herstellung von Dämmstoffen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen dieser Arbeit die Heizkostensparnis durch den Einsatz ausgewählter Dämmstoffe anhand eines m^2 einer Referenzwand ermittelt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird der Primärenergieeinsatz zur Herstellung von Dämmstoffen für die Erreichung bestimmter U-Werte und die energetische Amortisationszeit durch die eingesparte Heizenergie berechnet. Zusätzlich wird der Ressourceneinsatz an erneuerbaren und fossilen Rohstoffen betrachtet.

9.1 Primärenergiebedarf nach Ökobilanz gemäß ISO 14040

Eine Ökobilanz, oder auch Life Cycle Assessment (LCA), nach ISO EN 14040 und 14044 ermöglicht die Analyse der Umweltauswirkungen von Produkten von der Rohstoffgewinnung und Energieträgergewinnung bis hin zur Beseitigung oder Verwertung zu beurteilen.

Bei der Erstellung einer Ökobilanz erfolgt zu Beginn die Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens. Bei einer vollständigen Ökobilanz schließt der Untersuchungsrahmen auch die Entsorgung mit ein. Diese kann in Form von Deponierung, einem möglichen Recycling oder als thermische Verwertung ausgeführt sein. Anschließend wird eine Sachbilanz erstellt, welche alle relevanten Input- und Outputflüsse des Produktes enthält.

Der Primärenergieverbrauch beschreibt dabei die Summe aller primärenergetisch bewerteten Aufwände, die bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes in Form von Roh- und Hilfsstoffen sowie benötigter Prozessenergie zugewiesen werden können (KLÖPFFER und GRAHL, 2009).

Wichtig bei der Erstellung von Ökobilanzen ist dabei die Festlegung der „funktionellen Einheit“. Diese bildet die Grundlage, um verschiedene Produkte vergleichen zu können. Im Rahmen dieser Arbeit ist die funktionelle Einheit jene Menge an Dämmstoff, die nötig ist um 1 m^2 einer ungedämmten Außenwandfläche einer Referenzwand so zu dämmen, dass die Vorgaben an den U-Wert einer gemäß OIB-RL 6 und gemäß dem Passivhausstandard erreicht werden.

Im Kapitel 9.3.2 werden die benötigten Dämmstoffstärken berechnet, die als Ausgangswerte für den ökobilanziellen Vergleich dienen.

9.2 Rohstoffeinsatz und Primärenergiebedarf zur Herstellung von Dämmstoffen

In diesem Kapitel wird der Ressourceneinsatz an Roh- und Hilfsstoffen sowie an Primärenergie bei der Herstellung von Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol, Glaswolle und Hanf verglichen. Datengrundlage bilden dabei Angaben aus Umweltproduktdeklarationen (EPD) und bestehenden Ökobilanzen. Systemgrenze der untersuchten Bilanzen ist dabei die Erzeugung des Dämmproduktes bis zum Fabrikator (cradle to gate). Weitere Aufwendungen wie Transporte der Dämmstoffe zur Baustelle, End-of-life Szenarien (Recycling, thermische Verwertung oder Deponierung) werden nicht berücksichtigt. EYERER et al. (2000) vergleichen in ihrem Werk mehrere Dämmstoffe innerhalb gleicher Bilanzgrenzen.

9.2.1 Polystyrol, expandiert (EPS)

EPS-Dämmplatten bestehen bis zu 94 Masse-% aus Polystyrol, 4 – 7 Masse-% Pentan und etwa 1 Masse-% HBCD (IBU, 2009). Styrol wird durch Dehydrierung von Ethylbenzol gewonnen, einem Produkt aus der Raffination der fossilen Rohstoffe Erdöl und Erdgas. Pentan ist Bestandteil von Erdgas und Benzenen und wird durch Destillation aus diesen gewonnen. Grundstoffe des Flammenschutzmittels sind Kohlenstoff, Wasserstoff und Brom, welches größtenteils aus Sole und stark salzhaltigem Wasser aus Salzseen gewonnen wird. Die Grundstoffe zur Herstellung von Polystyrol stammen also zu beinahe 99 Masse-% aus fossilen Energieträgern (KLÖPFER und GRAHL, 2009).

Der Primärenergiebedarf von Polystyrol wird mit einem Anteil von über 90 % dominiert durch Prozesse der Rohstoffherstellung, allem voran die Herstellung von Rohstyrol. Der Energieeinsatz beträgt dabei nach EYERER et al. (2000) zwischen 94 und 96 MJ/kg EPS, wobei dieser von der Rohdichte des Endproduktes abhängig ist. EPS-Produkte mit höheren Rohdichten weisen demnach aufgrund des vermehrten Einsatzes an Styrol einen höheren Gesamtenergieeinsatz auf. Eine Ökobilanz aus dem Jahr 2009 berechnet den Gesamt-PME mit 80 – 83,5 MJ/kg EPS (IBU, 2009). Der Aufschäumprozess trägt nur etwa 10 % zum Primärenergiebedarf bei. Bei Dämmstoffen aus EPS befindet sich etwa 42 % der eingesetzten Primärenergie als stoffgebundene Energie im Endprodukt, welche mittels thermischer Nutzung zurückgewonnen werden kann. Wird die energetische Gutschrift aus der thermischen Verwertung miteinberechnet, verbleibt ein Primärenergieaufwand von etwa 55 MJ/kg EPS. Der Anteil von erneuerbarer PME liegt unter 1 % der Gesamt-PME (EYERER et al., 2000).

9.2.2 Glaswolle

Grundstoffe für die Herstellung von Dämmprodukten aus Glaswolle sind Glasscherben (50-70 Masse-%), Sand (10-20 Masse-%), Soda (5-15 Masse-%) und

Borax (5-10 Masse-%). Als Hilfsmittel zur Vernetzung der Glasfasern wird maximal 7 Masse-% harnstoffmodifiziertes Phenol-Formaldehydharz und maximal 0,1 Masse-% Silan eingesetzt (IBU, 2011b). Die Verfügbarkeit der eingesetzten natürlich vorkommenden Gesteine wird als unbegrenzt angenommen. Mit dem Einsatz von Altglas kann im Vergleich zur Primärproduktion neben der Einsparung von mineralischen Rohstoffen eine Energieeinsparung von bis zu 29,6 % erreicht werden (FRISCHENSCHLAGER et al., 2010). Soda wird aus Kalkstein und Natriumchlorid, Borax aus Colemaniterz gewonnen. Formaldehydharz wird aus fossilen Rohstoffen hergestellt. Im Vergleich zu der Produktion von EPS entfällt bei der Glaswolle-Herstellung nur 12 % der eingesetzten Primärenergie auf die Gewinnung der erforderlichen Rohstoffe, bei denen die Bereitstellung von Soda den größten Anteil der Rohstoffbereitstellung einnimmt. Etwa 68 % des gesamten Primärenergiebedarfs wird für das Aufschmelzen der Rohstoffe und das Zerfasern der Schmelze benötigt. Für die Herstellung des eingesetzten Bindemittels werden ca. 20 % benötigt. Der gesamte Primärenergiebedarf liegt nach den Berechnungen von EYERER et al. (2000) bei etwa 35 MJ/kg Glaswolle, und damit um etwa 60 MJ/kg unter dem Primärenergieverbrauch von expandiertem Polystyrol. Ähnlich wie bei der EPS-Produktion sind auch bei der Herstellung von Glaswolle keine nennenswerten Einsätze regenerativer Energieträger oder Sekundärbrennstoffe zu verzeichnen. Aktuellere Berechnungen einer Umweltproduktdeklaration aus dem Jahr 2011 geben den Gesamt-PME mit etwa 30 MJ/kg Glaswolle an. Der Anteil an erneuerbarer Primärenergie liegt bei 4,5 % (IBU, 2011b). In Dämmstoffen aus Glaswolle befindet sich keine stoffgebundene Energie, die bei einer thermischen Verwertung gewonnen werden kann.

9.2.3 Flachs

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird an dieser Stelle der Ressourceneinsatz von Dämmstoffen aus Flachs untersucht, da eine vergleichbare Aufstellung für Dämmstoffe aus Hanf nicht verfügbar war. Es wird ein Flachsfaserdämmstoff mit einem Anteil von 15 % Polyester-Stützfasern betrachtet. Die Rohdichte beträgt 30 kg/m^3 Dämmstoff. Der Gesamt-PME bei Dämmstoffen aus Flachs beträgt 47,49 MJ/kg (EYERER et al., 2000). Ausgangspunkt der Produktion ist der Anbau von Flachs. Der Energieverbrauch inklusive Anbau, Düngemittel und Ernte nimmt einen Anteil von 6 % am Gesamt-PME ein. Werden Nebenprodukte wie z.B. Schäben, die nicht für Dämmzwecke verwendet und thermisch genutzt werden, in das System miteinberechnet ergibt der Anbau eines m^3 Flaches einen Energieüberschuss von 216 MJ/m^3 oder $7,2 \text{ MJ/kg}$ Dämmstoff. Die Bereitstellung der Polyester-Stützfasern und des Flammhemmstoffes Ammoniumphosphat benötigt zusammen etwa 59 % der gesamten Primärenergie. Der Herstellungsprozess selbst benötigt etwa 32 % des Gesamt-PME. Sowohl im Produktionsprozess selbst als auch im Rahmen der Rohstoffzubereitung sind keine nennenswerten Verbräuche regenerativer Energieträger zu verzeichnen. Der erneuerbare Anteil des PME ist

gleich dem Inhalt erneuerbarer Energie, der durch Sonnenenergie im Zuge der Photosynthese im Flachs gebunden wurde und bei der thermischen Verwertung nutzbar ist. Dieser Anteil beträgt 369 MJ/m^3 , umgerechnet $12,3 \text{ MJ/kg}$ oder 25% des Gesamt-PME. Der nutzbare Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie, der in Form von Polyesterfasern im Dämmstoff gebunden ist, beträgt 189 MJ/m^3 , umgerechnet $6,3 \text{ MJ/kg}$. Wird die energetische Gutschrift aus der thermischen Verwertung miteinbezogen, verbleibt bei der Herstellung von Flachs ein Primärenergieverbrauch von $28,89 \text{ MJ/kg}$ Dämmstoff. Zusätzlich kann auch eine Gutschrift durch die thermische Verwertung von Koppelprodukten wie Schäben einberechnet werden. Es verbleibt ein Primärenergieverbrauch von $21,69 \text{ MJ/kg}$ Flachsdämmstoff.

9.3 Energetische Amortisation von Dämmstoffen

Der Hauptzweck von Dämmstoffen liegt in der Einsparung von Heizenergie. Im folgenden Kapitel wird die energetische Amortisationszeit von Dämmmaterialien berechnet. Anhand des Dämmstoffaufwandes, der nötig ist, um eine Referenzwand auf die benötigten U-Werte gemäß OIB-Richtlinie 6 und dem Passivhausstandard zu dämmen (vgl. Kapitel 9.3.1), wird jene Zeit berechnet, die nötig ist, um den Primärenergiebedarf der Dämmstoffproduktion durch die eingesparte Heizenergie auszugleichen.

9.3.1 Berechnung Dämmstärken

In diesem Kapitel werden die benötigten Dämmstoffdicken für ausgewählte Dämmstoffe anhand einer Referenzwand berechnet. Dabei werden sowohl die nötigen Dämmstärken zum Erreichen der Vorgaben an den U-Wert gemäß OIB – RL 6, als auch für die Vorgaben des Passivhaus - Standards berechnet. Diese Ergebnisse dienen einerseits dazu, Dämmstoffe hinsichtlich ihrer Dämmleistung besser vergleichen zu können, andererseits als Ausgangspunkt für nachfolgende Berechnungen zur energetischen Amortisation. Bei der Referenzaußenwand handelt es sich um eine Hochlochziegelwand. Der zu erreichende U-Wert einer Außenwand gemäß OIB-RL 6 ist $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, beim Passivhaus-Standard (IGPassivhaus, 2013) $U \leq 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ für kleinvolumige Gebäude. Der Aufbau einer Hochlochziegel-Außenwand ist in Tabelle 18 beschrieben. Diese Wand besitzt ohne Dämmung einen U-Wert von $0,84 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Material	Stärke (in m)	Wärmeleitfähigkeit
Kalk - Zementputz	0,015	1
Ziegel (Hochloch)	0,25	0,25
Silikatputz (armiert)	0,0019	0,8
R _{Si} = 0,13; R _{Se} = 0,04;		

Tab. 18: Aufbau einer Hohlziegel – Außenwand, (BAUBOOK, 2012)

Ausgehend vom U-Wert der Referenzwand werden nun die benötigten Dämmstoffstärken zum Erreichen der geforderten U-Werte nach der in Tabelle 19 dargestellten Formel berechnet:

U = 1 / R_T, wobei R_T = R_{SE} + d₁/λ₁ + d₂/λ₂ + ... + R_{SI}	
R _T ...	Wärmedurchgangswiderstand [K*m ₂ /W]
U....	Wärmedurchgangskoeffizient [W/ K*m ²]
d _i ...	Schichtdicke der Schicht i [m]
λ _i ...	Spezifische Wärmeleitfähigkeit der Schicht i [W/ m*K]
R _{SI} ...	innerer Wärmedurchgangswiderstand [K*m ₂ /W]
R _{SE} ...	äußerer Wärmedurchgangswiderstand [K*m ₂ /W]

Tab. 19: Berechnungsformel Dämmstoffstärke, MARTI (2002)

Die Ergebnisse der Berechnungen finden sich in Tabelle 20 wieder. Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmstoffarten stellt einen Mittelwert der in der Literatur gefundenen Angaben dar (siehe Tabelle 3) und kann bei einzelnen Dämmprodukten derselben Dämmstoffart variieren.

Anhand Tabelle 20 lässt sich erkennen, dass doch teils erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Dämmmaterialien und den benötigten Dämmstärken bestehen. Der U-Wert der ungedämmten Außenwand spielt dabei eine geringere Rolle als die Wärmeleitfähigkeit des eingesetzten Dämmstoffes und der zu erreichende U-Wert. Für die Dämmung einer Außenwand nach dem Passivhaus-Standard muss eine um den Faktor 4-5 stärkere Dämmschicht verwendet werden als nach den Anforderungen gemäß OIB-RL 6.

Dämmstoff	λ Wärmeleitfähigkeit [W/m ² K]	Dämmstärke	
		d in [cm] bei U= 0,35 W/m ² *K	d in [cm] bei U= 0,10 W/m ² *K
Mineralschaum	0,045	8,09	39,66
Glaswolle	0,033	5,94	29,08
Steinwolle	0,036	6,48	31,73
EPS	0,037	6,66	32,61
XPS	0,038	6,84	33,49
PUR	0,026	4,68	22,91
Phenolharzschaum	0,022	3,96	19,39
Kork	0,04	7,19	35,25
Holzfaser	0,043	7,74	37,89
Schafwolle	0,0385	6,93	33,93
Hanf	0,04	7,19	35,25

Tab. 20: Dämmstoffstärken für OIB – RL 6 und Passivhausstandard, (eigene Berechnung)

9.3.2 Heizkostensparnis durch Dämmung

Für die Heizkostensparnis wird die Reduktion der Transmissionswärmeverluste (Q_T) durch 1m² opake Außenwand berechnet. Bei den Berechnungen muss beachtet werden, dass die tatsächliche Reduktion des Transmissionswärmeverlust nicht nur von der Installation einer Dämmschicht abhängt, sondern auch von Änderungen bei Wärmeverteilverlusten durch die Raumheizungsanlage und veränderter Ausnutzungsgrade solarer und interner Wärmegewinne/-verluste. Eine tatsächliche Reduktion des Heizenergiebedarfes kann nur individuell für jedes Haus berechnet werden und ist auch vom Verhalten des Benutzers abhängig. Die Transmissionswärmeverluste werden ausgehend von den Klimadaten des Österreichischen Referenzklimas nach OIB-RL 6 wie in Tabelle 21 berechnet. Die Heizkosten, bzw. deren Einsparung, werden für eine Ölheizung berechnet.

Der U-Wert der ungedämmten Referenzwand beträgt 0,84 W/m²*K. Der Transmissionswärmeverlust Q_{T1} beträgt demnach:

$$Q_{T1} [\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}] = 0,84 [\text{W/m}^2\cdot\text{K}] * 3400 [\text{K}\cdot\text{d}] * 1 [\text{m}^2] * 0,024$$

$$Q_{T1} = 68,54 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} = 246,76 \text{ MJ/m}^2\cdot\text{a}$$

Diese Energiemenge entspricht etwa 6,85 l Heizöl pro m²*a, umgerechnet auf die Heizkosten ergibt dies etwa 6,89 €/m²*a opake Außenwand. Für ein Einfamilienhaus mit 200 m² opaker Außenwand würden jährliche Heizkosten von etwa 1378 € anfallen.

$Q_T = U_{AW} * HGT * A * 0,024$	
Q_T	Transmissionswärmeverlust, [kWh/m ² *a]
U_{AW}	U-Wert des Bauteils, [W/m ² *K]
HGT	Heizgradtage des Referenzklimas für Österreich, [K.d], Wert für Österreich: 3400
A	Betrachtete Fläche, [m ²]
0,024	Umrechnungsfaktor der Einheit [W*d/m ² *a] in [kWh/m ² *a]
Hu (Heizöl)	Heizwert (unterer), [MJ/kg], Wert für Heizöl: 36
3,6	Umrechnungsfaktor von [kWh/m ² *a] in [MJ/m ² *a]
Der Preis für 1L „Heizöl leicht“ wird mit 1,0064 €/L angenommen; Mittelwert für Österreich;	
Stand 14.2.2013 (HEIZÖLTICKER, 2013)	

Tab. 21: Berechnungsformel Transmissionswärmeverlust, (SERVICEPLUS, n.a)

Der Transmissionswärmeverlust Q_{T2} bei Erreichen der Mindestanforderungen gemäß OIB-RL 6, **U-Wert $\leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$** , beträgt:

$$Q_{T2} [\text{kWh/m}^2\text{a}] = 0,35 [\text{W/m}^2\text{K}] * 3400 [\text{K.d}] * 1 [\text{m}^2] * 0,024$$

$$Q_{T2} = 28,56 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 102,82 \text{ MJ/m}^2\text{a}$$

Diese Energiemenge entspricht rund 2,86 l Heizöl pro m²*a oder bei einem Einfamilienhaus mit 200 m² opaker Außenfläche jährlichen Heizkosten von 576 €. Die energetische Ersparnis durch die Dämmschicht liegt bei 39,98 kWh/m²*a. Dies entspricht einer Einsparung von 143,93 MJ oder 58,33%.

Ist die Außenwand nach dem Passivhausstandard gedämmt, beträgt der **U-Wert $\leq 0,10 \text{ W/m}^2\text{a}$** . Der Transmissionswärmeverlust Q_{T3} beträgt:

$$Q_{T3} [\text{kWh/m}^2\text{a}] = 0,10 [\text{W/m}^2\text{K}] * 3400 [\text{K.d}] * 1 [\text{m}^2] * 0,024$$

$$Q_{T3} = 8,16 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 29,38 \text{ MJ/m}^2\text{a}$$

Diese Energiemenge entspricht etwa 0,82 l Heizöl pro m²*a und ergibt bei einem Einfamilienhaus jährliche Heizkosten von rund 165 €. Die energetische Einsparung

durch den verwendeten Dämmstoff beträgt $60,38 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ oder $217,37 \text{ MJ/m}^2\cdot\text{a}$. Dies entspricht einer Senkung des Transmissionswärmeverlustes Q_T von 88.09 %.

Die Verwendung einer Dämmung an einer Außenwand kann also zu signifikanten Einsparungen an Heizenergie und damit Heizkosten führen. Es gilt jedoch zu beachten, dass in einem Gebäude Wärme nicht nur durch die Außenwand, sondern auch durch Fenster, das Dach und die Bodenplatte verloren gehen kann und Einsparungspotenziale nur durch eine ganzheitliche Lösung erzielt werden können. Tabelle 22 enthält zusammenfassend die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen zur Heizkostensparnis.

	Ungedämmte Referenzwand	U-Wert nach OIB-RL 6	U-Wert nach Passivhausstandard
U-Wert, $[\text{W/m}^2\cdot\text{a}]$	0,84	0,35	0,10
Q_T , $[\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}]$	68,54	28,56	8,16
Einsparung gegenüber ungedämmter Referenzwand, [%]	-	58,33	88,09
Einsparung in $[\text{MJ/m}^2\cdot\text{a}]$	-	143,93	217,37

Tab. 22: Ergebnisse Berechnungen Heizkostensparnis durch Dämmung, eigene Berechnungen

9.3.3 Ergebnisse der energetischen Amortisationsdauer

Grundlage für die Berechnung der energetischen Amortisation von Dämmstoffen ist der Gesamtprimärenergieeinsatz eines Dämmstoffes, der benötigt wird, um jene Menge des Dämmstoffes herzustellen, die nötig ist um einen bestimmten U-Wert zu erreichen. Bei der Berechnung wurden PME-Angaben ohne Gutschriften aus der thermischen Verwertung am Lebenszyklusende verwendet. Etwaige Gutschriften würden sich positiv auf die Amortisationsdauer auswirken und diese verkürzen. Dadurch würde sich die Bilanz von Dämmstoffen aus synthetischen und nachwachsenden Rohstoffen verbessern. Deshalb wurden bei Dämmstoffen aus synthetischen und nachwachsenden Rohstoffen auch Berechnungen zur energetischen Amortisation durchgeführt, bei denen Gutschriften aus der thermischen Verwertung berücksichtigt wurden (Tabelle 25). Tabelle 23 enthält Literaturangaben zum Primärenergieeinsatz von ausgewählten Dämmstoffen ohne Gutschriften. Dabei wurde der Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf gesondert angegeben, da dieser zum erheblichen Teil für die Umweltauswirkungen verantwortlich ist. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen weisen in aller Regel einen hohen Anteil erneuerbarer Primärenergie auf. Dabei handelt es sich üblicherweise um jene Sonnenenergie, die im Zuge der

Photosynthese im Rohstoff gebunden wurde. Ausgehend von den Daten aus Tabelle 20 und Tabelle 23 wurde der benötigte Primärenergiebedarf berechnet, um jene Dämmstoffmenge herzustellen, die für 1m² opake Außenwand benötigt wird um die U-Wert Vorgaben gemäß OIB-RL 6 und des Passivhausstandards zu erfüllen. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 23 ersichtlich.

Dämmstoff	Rohdichte [kg/m ³]	PME Gesamt [MJ/kg]	PME nicht erneuerbarer Anteil [MJ/kg]	PME pro m ³ [MJ/m ³]	PME /m ² bei U=0,35 [MJ/m ²]	PME /m ² bei U=0,10 [MJ/m ²]
Mineralschaum	115 (1)	14 (1)	12,3 (1)	1610*	130,25	638,53
Glaswolle	25 (3)	30,1 (2)	28,8 (2)	752,5*	44,70	218,83
Steinwolle	90 (2)	13 (1)	12,9 (1)	1170*	75,82	371,24
EPS	25 (1)	81,4 (1)	81,0 (1)	2035*	135,53	663,61
XPS	34 (2)	101,1*	100,4 (2)	3437,5 (2)	235,13	1151,22
PUR	40 (1)	106,5 (1)	102,1 (1)	4260*	199,37	975,97
Phenolharzschaum	35 (4)	-	-	-	-	-
Kork (Backkork)	100 (1)	30,49 (1)	7,19 (1)	3049*	219,22	1074,77
Holzfaserdämmplatte	130 (1)	45,19 (1)	13,59 (1)	5874,7*	454,70	2225,92
Schafwolle (Matte)	30 (1)	37 (1)	16,4 (1)	1110*	76,92	376,62
Hanf (mit Stützfasern)	30 (1)	33,8 (1)	14,9 (1)	1014	72,91	357,43

Tab. 23: Gesamtprimärenergieverbrauch Dämmstoffe, (*eigene Berechnung; (1) PFUNDSTEIN et al.,2008; (2) IBU 2009 - 2012; (3) WECOBIS, 2013; (4) KINGSPAN, 2008)

Die Berechnungen zur energetischen Amortisation werden nun zum besseren Verständnis anhand des Beispiels von Polystyrol, expandiert (EPS) erläutert. Die Reduktion des Transmissionswärmeverlustes Q_T durch eine Dämmschicht aus EPS, durch die ein U-Wert der Referenzwand von 0,35 W/m²*a erreicht werden kann, beträgt wie in Tabelle 22 ersichtlich 143,93 MJ/m²*a. Dafür muss eine theoretische Dämmschicht von 6,66 cm EPS verwendet werden. Für das Dämmen von 1 m² der Referenzwand muss also ein Volumen von 0,0666 m³ EPS erzeugt werden. Für diese Menge Dämmstoff wird ein Primärenergiebedarf von 135,53 MJ benötigt. Die energetische Amortisation von EPS beträgt bei der gegebenen Energieeinsparung in diesem Fall 0,94 Jahre, was etwa 11,3 Monaten entspricht. Wird die Referenzwand nach dem Passivhausstandard auf einen U-Wert = 0,10 W/m²*a gedämmt, wird eine theoretische Dämmstärke von 32,61 cm benötigt. Dies bedeutet ein Dämmstoffvolumen von 0,3261 m³ EPS. Für diese Menge an EPS wird ein Primärenergieaufwand von 663,61 MJ benötigt. Bei einer jährlichen Einsparung von 217,37 MJ im Passivhausstandard gemäß Tabelle 22 tritt die energetische Amortisation nach 3,05 Jahren oder 36,6 Monaten ein. Tabelle 24 enthält die

Ergebnisse der Berechnungen zur energetischen Amortisation von ausgewählten Dämmstoffen. Bei Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wurde der hohe Anteil erneuerbarer Energie insofern berücksichtigt, dass die Amortisation des nicht erneuerbaren Anteils des Gesamtprimärenergiebedarfs gesondert berechnet und in den Werten in Klammer beigefügt wurden.

Dämmstoff	PME /m ² bei U=0,35 [MJ/m ²]	Energetische Amortisation bei U=0,35 [Monate]	PME /m ² bei U=0,10 [MJ/m ²]	Energetische Amortisation bei U=0,10 [Monate]
Mineralschaum	130,25 (114,4*)	10,9 (9,6*)	638,53 (560,9*)	35,3 (31,0*)
Glaswolle	44,70 (42,7*)	3,7 (3,5*)	218,83 (209,4*)	12,1 (11,6*)
Steinwolle	75,82 (75,2*)	6,3 (6,2*)	371,24 (368,4*)	20,5 (20,3*)
EPS	135,53 (134,8*)	11,3 (11,2*)	663,61 (660,4*)	36,6 (36,4*)
XPS	235,13 (233,5*)	19,6 (19,4*)	1151,22 (1143,3*)	63,6 (63,2*)
PUR	199,37 (191,1*)	16,6 (15,9*)	975,97 (935,7*)	53,9 (51,7*)
Phenolharzschaum	-	-	-	-
Kork (Backkork)	219,22 (51,7*)	18,3 (4,3*)	1074,77 (253,4*)	59,3 (14,0*)
Holzfaserdämmplatte	454,70 (136,7*)	37,9 (11,4*)	2225,92 (669,3*)	122,9 (36,9*)
Schafwolle (Matte)	76,92 (34,1*)	6,4 (2,8*)	376,62 (166,9*)	20,8 (9,2*)
Hanf (mit Stützfasern)	72,91 (32,1*)	6,1 (2,7*)	357,43 (157,5*)	19,7 (8,7*)

Tab. 24: Energetische Amortisation von Dämmstoffen, (eigene Berechnungen),
(davon PME nicht erneuerbar, bzw. Amortisationsdauer für PME nicht erneuerbar*)

Glas- und Steinwolle weisen die niedrigste Amortisationsdauer aller betrachteten Dämmstoffe auf. Selbst bei Dämmstärken, wie sie für den Passivhaus-Standard nötig sind, ist der Primärenergiebedarf von Glaswolle bereits nach einem Jahr amortisiert. Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen weisen höhere Werte auf. Der Primärenergiebedarf von Dämmprodukten aus EPS, XPS und PUR wird bei Dämmstärken nach dem Passivhaus-Standard nach etwa 3-5 Jahren durch den geringeren Heizenergiebedarf ausgeglichen. Bei Dämmstoffen aus Holzfasern ist der berechnete Wert im Vergleich zu den anderen Dämmstoffen sehr hoch. Hier tritt die energetische Amortisation erst nach 38 bzw. 123 Monaten ein. Dieser Wert ergibt sich einerseits durch die deutlich höhere Rohdichte von Holzfaserdämmplatten, andererseits durch den hohen stoffgebundenen Anteil an erneuerbarer Energie im Dämmstoff. Betrachtet man nur die energetische Amortisation des nicht erneuerbaren Primärenergieanteils von Dämmstoffen, weisen vor allem Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen eine deutlich kürzere Amortisationsdauer auf.

Tabelle 25 enthält Berechnungen zur energetischen Amortisation, bei denen der Energieinhalt der Dämmstoffe als potenzielle Gutschrift berücksichtigt wurde. Eine

Aufschlüsselung in Gutschriften aus erneuerbaren und fossilen Rohstoffen wurde nicht durchgeführt. Ausgangspunkt der Berechnungen sind die Ergebnisse aus Tabelle 24 und die Angaben zum Heizwert von Dämmstoffen nach BUSCHMANN (2003).

Dämmstoff	Heizwert [MJ/kg]	Gutschrift bei U= 0,35 [MJ/m ²]	Energetische Amortisation bei U=0,35 [Monate]	Gutschrift bei U= 0,10 [MJ/m ²]	Energetische Amortisation bei U=0,10 [Monate]
Mineralschaum	-	-	10,9 (9,6*)	-	35,3 (31,0*)
Glaswolle	-	-	3,7 (3,5*)	-	12,1 (11,6*)
Steinwolle	-	-	6,3 (6,2*)	-	20,5 (20,3*)
EPS	39,9	66,43	5,8 (5,7*)	325,28	18,7 (18,5*)
XPS	47	109,30	10,49 (10,3*)	535,17	34,01 (33,6*)
PUR	25	46,8	12,7 (12,0*)	229,1	41,23 (39,0*)
Phenolharzschaum	-	-	-	-	-
Kork (Backkork)	16,7	120,07	8,27 (-5,7*)	588,68	26,8 (-18,5*)
Holzfaserdämmplatte	18	181,12	22,81 (-3,7*)	886,63	73,94 (-12,0*)
Schafwolle (Matte)	20,43	42,47	2,87 (-0,7*)	207,96	9,31 (-2,3*)
Hanf (mit Stützfasern)	16,9	36,45	3,04 (-0,4*)	178,71	9,87 (-1,2*)

Tab. 25: Energetische Amortisation inkl. Gutschriften, (eigene Berechnung)
(Wert für Anteil PME nicht erneuerbar*)

Durch die Einbeziehung des Energiegehalts von Dämmstoffabfällen und daraus resultierender energetischer Gutschriften verringert sich die energetische Amortisationsdauer von einigen Dämmstoffen erheblich. Dämmstoffe aus Schafwolle und Hanf sind selbst bei Dämmstärken über 30 cm bereits innerhalb des ersten Jahres amortisiert. Der Primärenergiebedarf zur Herstellung von Dämmstoffmengen, die gemäß der OIB-RL 6 benötigt werden, ist mit Ausnahme von Holzfaserdämmplatten innerhalb des ersten Jahres, bei PUR nach 13 Monaten, durch eingesparte Heizenergie ausgeglichen. Dämmstoffvolumen, die nach dem Passivhaus-Standard anzuwenden sind, werden mit Ausnahme von PUR und Holzfasern innerhalb der ersten drei Jahre amortisiert. Bei den Angaben von Holzfaserdämmplatten ist wie bei allen Dämmstoffen auf pflanzlicher Basis jedoch der Anteil von Sonnenenergie bei der Rohstoffherstellung einberechnet.

Wird bei der Berechnung der energetischen Amortisation nur der nicht erneuerbare PME und der Energieinhalt der Dämmstoffe betrachtet, weisen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen negative Werte auf. Dies bedeutet, dass bei der

thermischen Verwertung mehr Energie gewonnen werden kann, als nicht erneuerbare Energie bei der Herstellung eingesetzt wird. Es wird also zusätzliche Energie, die in Form von Sonnenenergie durch Photosynthese in den Dämmstoff gebunden wurde, gewonnen. Vor allem Dämmstoffe aus Kork und Holzfasern weisen hohe stoffgebundene Energieinhalte auf. Der Energieinhalt jener Menge Kork, die für 1 m² Außenwand nach dem Passivhausstandard benötigt wird, entspricht dem Transmissionswärmeverlust von 18 Monaten. Theoretisch kann also aus dieser Menge Kork die benötigte Heizenergie für 1,5 Jahre gewonnen werden.

10. Zusammenfassung

Derzeit nehmen Dämmstoffabfälle in Österreich eine untergeordnete Rolle bei Abfällen aus dem Bauwesen ein. Sie werden de facto auch nicht mengenmäßig erfasst. Aus diesem Grund wurde ausgehend vom deutschen Dämmstoffabfallaufkommen eine Abschätzung des derzeitigen Aufkommens in Österreich getätigt. Das spezifische Abfallaufkommen für Dämmstoffabfälle beträgt in Deutschland 2,5 kg/EW*Jahr. Wird diese Menge für Österreich angenommen, liegt das Gesamtabfallaufkommen an Dämmstoffen derzeit bei etwa 21.500 Tonnen pro Jahr. Da in den nächsten Jahren mit einer Zunahme dieses Abfallstromes zu rechnen ist, wurde anhand von drei Szenarien versucht, ein mögliches Abfallpotenzial für das Jahr 2050 zu berechnen. Das berechnete Abfallpotenzial liegt dabei zwischen 1,3 Millionen m³ und 4,3 Millionen m³ pro Jahr. Dies entspricht einem spezifischen Abfallaufkommen von etwa 4,21 – 14,01 kg/EW*Jahr.

Die Rückbaufähigkeit von Dämmmaterialien ist primär nicht von der Art des Dämmstoffes, sondern von der gewählten Befestigungsart und der Anwendung abhängig. Lose eingebrachte Dämmstoffe, wie Einblasdämmung oder Dämmschüttungen, können problemlos abgesaugt werden. Dämmwollen, -filze oder -matten aus Gefachen der Dachdämmung oder aus Hohlräumen, können ebenfalls relativ problemlos und sortenrein rückgebaut werden, sofern sie nicht mittels Verklebung eingebaut wurden. Dasselbe wird für Dämmstoffplatten angenommen, die ohne Verklebung eingebaut wurden, wie zum Beispiel bei hinterlüfteten Fassaden. Der Rückbau von verklebten Dämmstoffen, sei die Verklebung vollflächig oder auch nach der Wulst-Punkt-Methode, ist derzeit noch zu wenig erforscht. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass hier ein sehr hoher Aufwand für die sortenreine Erfassung entsteht und ein zerstörungsfreier Ausbau nur schwer möglich ist. Ist eine zerstörungsfreie Trennung der Klebschicht zwischen Mauerwerk und Dämmplatte möglich, befindet sich immer noch eine mineralische Putzschicht auf der Dämmplatte, die wiederum als Voraussetzung für ein stoffliches Recycling entfernt werden müsste. Die Klebeschicht kann am mineralischen Wandbildner haften bleiben und so Einfluss auf den Schadstoffgehalt des Recyclingprodukts nehmen. Genaue Untersuchungen zu dieser Fragestellung fehlen jedoch, sodass etwaige Vorteile beim Rückbau von Dämmstoffen aus anderen Außenwandkonstruktionen wie zweischaligen oder hinterlüfteten Fassaden nicht erfasst sind.

Das Deponieren von Abfällen wird in Österreich durch die DVO (2008) geregelt. Für Baurestmassen gibt es dabei einige Ausnahmen der allgemein geltenden Regelungen und Behandlungsvorschriften. Unbehandelte Dämmstoffabfälle aus synthetischen und nachwachsenden Rohstoffen sind grundsätzlich nicht deponierbar, da sie aufgrund ihres Heizwertes und ihres Kohlenstoffgehaltes nicht

die Anforderungen gemäß DVO (2008) erfüllen. Sie müssen also zumindest einer thermischen Abfallbehandlungsanlage zugeführt werden. Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen wie Glas- und Steinwolle dürfen auf Baurestmassen- und Massenabfall-, Mineralschaum auch auf Inertabfalldeponien abgelagert werden. Das Deponieren von Baustellenabfällen ist nur in bestimmten Fällen möglich, nämlich wenn sich die Abfallfraktion nur aus inerten Stoffen wie Beton, Glas oder Bauschutt zusammensetzt und restliche Bestandteile wie Kunststoffe oder Dämmstoffe einen maximalen Anteil von 10 Vol.-% einnehmen. Eine maximale Verunreinigung von 10 Vol.-% ist auch beim Deponieren von anderen Baurestmassen wie Betonabbruch, Bauschutt und Ziegelbruch vorgeschrieben.

Die Verbrennung von Abfällen und die thermische Verwertung ebensolcher werden durch die AVV (2002) geregelt. Diese unterscheidet dabei zwischen Verbrennungsanlagen und Mitverbrennungsanlagen. Da die meisten Dämmstoffe, mit Ausnahme jener aus mineralischen Rohstoffen, über hohe bis sehr hohe Heizwerte verfügen, bildet die Nutzung von Dämmstoffabfällen als Inputmaterial bei der Ersatzbrennstoffherstellung eine Möglichkeit diese sinnvoll zu nutzen. Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen wie EPS, XPS, PUR und Resolhartschaum weisen hohe Heizwerte auf und bestehen zum überwiegenden Teil aus C_xH_x - Verbindungen, die sich in der Verbrennung bei guter Prozessführung unproblematisch verhalten. Mögliche Komplikationen können durch die in Dämmstoffen verwendeten Flammschutzmittel und Additive verursacht werden. Dämmprodukte aus XPS können FCKW enthalten. PUR-Dämmplatten weisen einen relativ hohen Stickstoffanteil auf. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen zum überwiegenden Anteil aus verbrennungstechnisch unproblematischen Inhaltsstoffen. Doch auch bei dieser Gruppe können bestimmte Additive, die zum Schutz vor Insektenfraß oder zur Flammhemmung beigemischt werden, Probleme verursachen. In Interviews mit Fr. LUDWIG von der Amand Umwelttechnik GmbH & Co.KG und Hr. FRIESSER von der Firma ThermoTeam wurde der Status Quo der Ersatzbrennstoffherstellung und der Einfluss von Dämmstoffen beleuchtet. Derzeit spielen Dämmstoffe eine eher untergeordnete Rolle, ihr Potenzial wird aufgrund des hohen Heizwertes jedoch als gut beschrieben. Laut Expertenmeinungen ziehen mineralische Verunreinigungen, wie sie aufgrund von geklebten und nicht sortenrein trennfähigen Platten beim Rückbau zu erwarten sind, wohl keine negativen Auswirkungen auf die Qualität der zu erzeugenden EBS nach sich.

Bei der Entsorgung oder Verwertung von Dämmstoffabfällen spielt Recycling zurzeit noch kaum eine Rolle in Österreich. Produktionsabfälle können mit Ausnahme von PUR- und Phenolharzdämmstoffen wieder in den Produktionsprozess eingebracht werden. Weitere Möglichkeiten für stoffliches Recycling sind in der Herstellung von Mörtel, Ziegel und Estrichen zu finden. Dämmstoffabfälle, die im Zuge von Sanierungsmaßnahmen oder bei Abbruchprojekten anfallen, werden in Österreich derzeit aber kaum stofflich recycelt. Einerseits liegt dies an den hohen

Transportkosten und andererseits an der minderen Materialqualität aufgrund hoher mineralischer Verschmutzung. Ergebnisse aus den Experteninterviews zeigen, dass kein Bedarf an stofflichem Recycling für Dämmstoffabfälle in Österreich gesehen wird.

Bei der ökologischen Betrachtung von Dämmstoffen wurden der Rohstoff- und Energieeinsatz bei der Herstellung betrachtet. Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen benötigen den Großteil des Primärenergiebedarfes zur Schmelze der Rohstoffe, welche beinahe unbegrenzt auf der Erde vorhanden sind. Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen bestehen zu über 90 % aus fossilen Energieträgern und deren Sekundärprodukten. Der Großteil des Gesamtenergiebedarfs bei der Herstellung wird hier für die Bereitstellung der Rohstoffe aufgebracht. Berechnungen zur energetischen Amortisation ergaben, dass der Gesamtenergiebedarf abhängig von der Dämmstoffstärke innerhalb weniger Monate bis hin zu 5 Jahren durch eingesparte Heizenergie energetisch amortisiert wird. Die kürzeste Amortisationsdauer weist dabei Glaswolle auf. Unter der Berücksichtigung der Energiegehalte von Dämmstoffabfällen, die in Dämmstoffen stofflich gebunden vorliegen und bei der thermische Verwertung zum Teil genutzt werden können, schneiden vor allem Dämmstoffe aus Schafwolle, Hanf und EPS auch sehr gut ab, wobei die Amortisationsdauer von Schafwolle und Hanf selbst bei Dämmstoffstärken über 30 cm bei 9 Monaten liegt. Wird nur der Anteil nicht erneuerbarer PME bei der Herstellung von Dämmstoffen betrachtet, weisen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sogar negative Werte auf. Es kann demnach bei der thermischen Verwertung dieser Dämmstoffabfälle mehr Energie gewonnen werden, als nicht erneuerbare PME bei der Produktion aufgewendet werden muss.

11. Schlussfolgerungen

Dämmstoffabfälle spielen derzeit im Abfallaufkommen aus dem Bauwesen noch eine untergeordnete Rolle. Ein Anzeichen dafür liegt darin, dass diese in Österreich mengenmäßig noch nicht gesondert aufgezeichnet werden. Nur das Aufkommen eines kleinen Teils an mineralischen Dämmstoffen wird in der Abfallkategorie „Mineralfasern“ erfasst. Eine Begründung dafür ist, dass die Abfallaufzeichnung in Österreich noch nach der ÖNORM S 2100 durchgeführt wird und nicht nach dem European Waste Catalogue, der eigene Abfallkategorien für Dämmmaterialien enthält.

Das derzeitige Abfallaufkommen an Dämmstoffen in Österreich wurde in dieser Arbeit anhand des Pro-Kopf-Aufkommens in Deutschland berechnet. Umgelegt auf Österreich fallen jährlich etwa 21.500 Tonnen an. Für die nächsten Jahrzehnte ist jedoch mit einem Anstieg zu rechnen. Durch die Sanierung und den Abbruch von Gebäuden mit Wärmedämmung werden Dämmstoffabfälle in höherem Maße anfallen. Berechnungen verschiedener Szenarien ergaben, dass sich das Abfallpotenzial bis zu einem Faktor 5,5 erhöhen kann. Dieser Abfallstrom wäre mengenmäßig mit jenem heutiger Baustellenabfälle vergleichbar.

Doch was geschieht mit Dämmstoffabfällen in Österreich? Dämmstoffproduzenten streichen oftmals die guten Möglichkeiten zur Wiederverwendung ihrer Produkte hervor. Ergebnisse aus Literaturrecherche und Experteninterviews lassen den Schluss zu, dass die Möglichkeit zur Wiederverwendung als äußerst gering einzuschätzen ist. Dies liegt einerseits im problematischen Rückbauverhalten von Dämmstoffen, und andererseits an den derzeit zur Verfügung stehenden Mengen und hohen spezifischen Transportkosten begründet. Die Rückbaubarkeit von Dämmstoffen, die durch großflächige Verklebung mittels Klebemörtel und Dübel befestigt wurden, ist zerstörungsfrei nahezu unmöglich. Auch sind Fragen der Haftung und Garantieübernahme bei gebrauchten Dämmmaterialien ungeklärt und deren Langzeitverhalten kaum erforscht.

Stoffliches und rohstoffliches Recycling wird durch mineralische Anhaftungen wie Verputz und Mörtel erschwert. Derzeitige Aufbereitungs- und Reinigungsvorgänge können diese Verunreinigungen nur unzureichend entfernen oder sind zu kostenintensiv, sodass derzeit nur Produktionsabfälle oder Baustellenverschnitte für ein stoffliches Recycling geeignet sind. Für das stoffliche Recycling von EPS könnte sich dies in den nächsten Jahren ändern. In Zuge des Forschungsprojekts „EPS-Loop“ wird ein Verfahren entwickelt, dass die Erzeugung von re-expandierbarem Polystyrol aus erheblich verschmutzten EPS-Abfällen ermöglichen soll. Für Dämmstoffe aus mineralischen oder nachwachsenden Rohstoffen sowie aus

Phenolharz konnten keine Recyclingsysteme oder Forschungsvorhaben gefunden werden. Als Hauptproblem wurde von Interviewpartner oftmals das derzeit niedrige Angebot an geeignetem Material, als auch die hohen spezifischen Transportkosten genannt, die sich aufgrund der geringen Rohdichte von Dämmstoffen ergeben. Viele Dämmstoffabfälle eignen sich jedoch als Zuschlagsstoffe in der Leichtbeton- und Leichtmörtelherstellung, bei der Produktion von Estrich oder der Ziegelherstellung. Dabei handelt es sich zwar um Recycling, es stellt sich jedoch die Frage, ob die Entsorgungsverantwortung durch solche Anwendungen damit nicht nur um ein oder zwei Generationen verschoben wird. Derzeit ist nicht geklärt, ob z.B. Leichtbeton und Leichtmörtel in weiterer Folge wieder recycelt oder weiterverwendet werden können. Der Einsatz von Dämmstoffabfällen als Inputmaterial zur Herstellung neuer Dämmmaterialien ist mit Ausnahme von PUR und Phenolhartschaum bei allen untersuchten Dämmstoffen möglich, jedoch wird dies zurzeit nur von der Firma ROCKWOOL für Steinwolleabfälle angeboten. Die Gründe dafür sind bekannt – hohe Transportkosten aufgrund geringer Dichten und Verunreinigungen durch mineralische Anhaftungen.

Sofern Dämmstoffe aufgrund dieser Anhaftungen nicht stofflich verwertet werden können, müssen sie entsorgt werden. Mineralische Dämmstoffe wie Glas- oder Steinwolle und Mineralschaum können ohne Behandlung gemäß DVO (2008) deponiert werden. Mineralische Baurestmassen dürfen dabei bis zu 10 Vol.-% mit anderen Baumaterialien wie auch nicht mineralischen Dämmstoffen verunreinigt sein. Dabei ist es möglich, dass bor-, phosphor- oder chlorhaltige Substanzen aus den beigefügten Flammschutzmitteln ausgelaugt werden.

Dämmstoffe aus nachwachsenden und synthetischen Rohstoffen müssen grundsätzlich thermisch behandelt werden. Dämmmaterialien dieser beiden Gruppen weisen hohe bis sehr hohe Heizwerte auf, wodurch sie sich als Inputmaterial für Anlagen zur Energiegewinnung oder zur Mitverbrennung eignen. Eine Möglichkeit zur thermischen Verwertung besteht dabei in der Ersatzbrennstoffherstellung. Dämmstoffe aus synthetischen und nachwachsenden Rohstoffen weisen meist ein unproblematisches Verbrennungsverhalten auf. Ihre Hauptbestandteile sind Kohlenstoff- und Kohlenwasserstoffverbindungen. Schafwolle und PUR enthalten einen höheren Anteil an Stickstoff, Schafwolle weist zusätzlich einen hohen Schwefelgehalt auf. Probleme bei der Verbrennung können jedoch durch enthaltene Flammschutzmittel und Additive entstehen, die allerdings in relativ geringen Anteilen enthalten sind. Flammhemmende Additive aus bor-, phosphor- oder chlorhaltigen Substanzen nehmen daher bei der Verbrennung eine mengenmäßig untergeordnete Rolle ein. Genauere Untersuchungen zum Verbrennungsverhalten von Dämmstoffen in Abfallbehandlungsanlagen und Anlagen zur Mitverbrennung wurden jedoch noch nicht durchgeführt, da sie bei der Verbrennung von Baustellenabfällen eine geringe Massenrelevanz aufweisen und deshalb nicht gesondert betrachtet werden.

Bei der ökologischen Betrachtung von Dämmstoffen wurden deutliche Unterschiede zwischen den Dämmstoffgruppen ersichtlich. Bei expandiertem Polystyrol wird über 90 % des Primärenergiebedarfs der Herstellung für die Produktion von Rohstyrol benötigt, jedoch nur knapp 10 % für das Aufschäumen des Dämmstoffes selbst. Der Rohstoff Styrol wird dabei aus der fossilen Ressource Erdöl gewonnen, der Primärenergiebedarf folglich durch fossile Energie dominiert. Recyclingprozesse wie „EPS-Loop“ können demnach zu erheblichen Energieeinsparungen bei der Herstellung von Dämmstoffen aus EPS führen. Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen weisen hohe Energieinhalte auf, die zum Teil durch thermische Verwertung wiedergewonnen werden können.

Bei Glaswolle wird als Hauptinput Altglas eingesetzt. Weitere Ressourcen sind Sand und Dolomit. Die Hauptinhaltsstoffe sind demnach Rohstoffe, die in der Erdkruste reichlich vorhanden sind. Über 2/3 des Primärenergiebedarfs bei der Herstellung wird für das Aufschmelzen dieser Rohstoffe und das Zerfasern verwendet, wobei Erdgas und Strom die vorherrschenden Energieträger sind. Durch etwaige Recyclingprozesse könnte im Gegensatz zum EPS-Recycling demnach deutlich weniger Energie eingespart werden, da der Schmelzvorgang auch für Dämmstoffabfälle beibehalten werden muss. Eine energetische Verwertung von mineralischen Dämmstoffen ist nicht möglich. Es gilt allerdings zu beachten, dass der Primärenergieaufwand zur Herstellung von Glaswolle deutlich geringer ist als jener von EPS, eine thermische Verwertung und damit verbundene Energiegewinnung ist jedoch nicht möglich.

Bei Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wurden aufgrund nicht verfügbarer Ökobilanzstudien Flachsdämmstoffe mit Polyesterfasern betrachtet. Bei der Herstellung werden etwa 59 % des Primärenergiebedarfs für die Bereitstellung der Polyester-Stützfasern und des Flammschutzmittels benötigt. Die Herstellung des Dämmstoffes selbst benötigt etwa ein Drittel der Gesamtenergie. Der Anbau des Flachses verbraucht nur 6 % des Primärenergiebedarfs, wobei bei Einbeziehung des Energiegehaltes von Nebenprodukten dieser sogar deutlich positiv ausfällt.

Auch hinsichtlich der energetischen Amortisationszeit unterscheiden sich Dämmstoffe. Der Gesamtenergieverbrauch bei der Herstellung, abhängig von dem zu erreichenden Dämmwert, ist bei allen untersuchten Dämmmaterialien innerhalb einiger Monate beziehungsweise weniger Jahre ausgeglichen. Beim U-Wert für Außenwandkonstruktionen gemäß OIB-RL 6 ($U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$) liegt der energetische Amortisationszeitpunkt der untersuchten Dämmstoffe bei 4 – 20 Monaten, beim U-Wert gemäß Passivhaus-Standard ($U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$) bei 12 - 64 Monaten. Bei der Mitbetrachtung von möglichen energetischen Gutschriften, die sich aufgrund von Energieinhalt der Dämmstoffabfälle bei einer thermischen Verwertung ergeben können, verbessert sich die energetische Amortisation von Dämmstoffen aus synthetischen und nachwachsenden Rohstoffen deutlich. Betrachtet man nur

den Anteil nicht erneuerbarer PME weisen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen eine negative Amortisationsdauer auf. Dies bedeutet, dass bei der thermischen Verwertung mehr Energie gewonnen werden kann, als Energie aus nicht erneuerbaren Quellen eingesetzt werden muss. Ihre Verwendung kann demnach als zweifach positiv beschrieben werden – einerseits durch die Einsparung von Heizenergie, andererseits durch den Energiegewinn im Zuge der thermischen Verwertung. Der Einsatz von Dämmstoffen rechnet sich allerdings bezogen auf die Heizkosteneinsparung auch ohne Gutschriften aus Energieinhalten rein energetisch um ein vielfaches. Stoffliches Recycling konnte bei den Berechnungen aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden. In diesem Bereich herrscht noch Forschungsbedarf.

Abschließend gilt es festzustellen, dass viele Erkenntnisse bezüglich der Entsorgung von Dämmstoffen fehlen. Dies beginnt bereits beim jährlichen Abfallaufkommen. Neben der genaueren Untersuchung des Deponieverhaltens von Dämmstoffen aus nachwachsenden und synthetischen Rohstoffen, die in Form von Verunreinigungen auf Baurestmassen abgelagert wurden, sind auch die Auswirkungen eines vermehrten Einsatzes von Dämmstoffabfällen in der Ersatzbrennstoffherstellung unbekannt. Vor allem bezüglich der Erstellung von Recyclingkonzepten für Dämmstoffe aus Polystyrol und Mineralwollen besteht Handlungsbedarf. Diese beiden Dämmstoffgruppen decken etwa 90 % des Österreichischen Dämmstoffmarktes ab und bieten ein großes Potenzial für stoffliches Recycling. Grundvoraussetzung dafür ist jedoch ein geordneter Rückbau und ein funktionierendes Sammelsystem. Derzeitige Befestigungsformen wie großflächige Verklebung mittels Klebemörtel und zusätzlicher Verdübelung machen dies beinahe unmöglich.

12. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aufbau eines WDVS	19
Abb. 2: Aufbau einer hinterlüfteten, vorgehängten Fassade	21

13. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Allgemeine Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile.....	6
Tab. 2: Mengenschwellen je Stoffgruppe gemäß Baurestmassentrennverordnung.....	7
Tab. 3: Charakteristische Kenngrößen ausgewählter Dämmstoffe	12
Tab. 4: Umsatz und Absatz der Dämmstoffe in Österreich	14
Tab. 5: Stufen der Effizienzskala für jährlichen Heizwärmebedarf,	15
Tab. 6: Gebäude im Bestand nach Bauperioden in Österreich	16
Tab. 7: Abfallarten im Bauwesen und ihre Bezeichnung gemäß ÖNORM S 2100 ...	32
Tab. 8: Aufkommen von Baurestmassen in Österreich.....	32
Tab. 9: Verwertungsquoten von Baurestmassen	33
Tab. 10: Abfallcodes für Baustellenabfälle gemäß EWC	34
Tab. 11: Zusammensetzung von Baustellenabfällen	35
Tab. 12: Abfallkategorien für Dämmstoffe nach EWC	36
Tab. 13: Dämmstoffabfälle in Deutschland	37
Tab. 14: Szenarien A – C, Abfallaufkommen Dämmstoffe.....	39
Tab. 15: Deponieklassen in Österreich und freies Deponievolumen.....	42
Tab. 16: Auswahl deponierbarer Baurestmassen gemäß Listen I + II	44
Tab. 17: Deponiefähigkeit und Heizwert ausgewählter Dämmstoffe.....	45
Tab. 18: Aufbau einer Hohlziegel – Außenwand.....	73
Tab. 19: Berechnungsformel Dämmstoffstärke.....	73

Tab. 20: Dämmstoffstärken für OIB – RL 6 und Passivhausstandard.....	74
Tab. 21: Berechnungsformel Transmissionswärmeverlust.....	75
Tab. 22: Ergebnisse Berechnungen Heizkostensparnis durch Dämmung.....	76
Tab. 23: Gesamtprimärenergieverbrauch Dämmstoffe.....	77
Tab. 24: Energetische Amortisation von Dämmstoffen.....	78
Tab. 25: Energetische Amortisation inkl. Gutschriften.....	79

14. Literaturverzeichnis

ABFALLRAHMENRICHTLINIE (ABFRRL): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle 2008/98/EG, 2008.

ABFALLVERBRENNUNGSVERORDNUNG (AVV): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Verbrennung von Abfällen. BGBl. II Nr. 389/2002.

ABFALLWIRTSCHAFTSGESETZ (AWG): Bundesgesetz über die nachhaltige Abfallwirtschaft. BGBl. Nr. 102/2002.

AMANN W.: Handlungsbedarf in der thermischen Sanierung – Werkstattgespräche. IBO Magazin, Ausgabe 4/08, 2008.

AMORIM: Kork. Corticeira Amorim Indústria, S.A. Stand 2003. Online verfügbar unter: <http://www.amorim-industrial.de/Kork1.html>, abgerufen am 20.11.2012.

ANDERL M., BEDNAR W., GÖSSL M., GÖTTLICHER S., GUGELE B., IBESICH N., JÖBSTL R., KÖTHER T., KUSCHEL V., LAMPERT C., NEUBAUER C., PAZDERNIK K., POUPA S., PURZNER M., RIEGLER E., SCHNEIDER J., SEUSS K., SPORER M., STRANNER G., STORCH A., WEISS P., WIESENEBRGER H., WINTER R., ZECHMEISTER A., ZETHNER G.: Klimaschutzbericht 2011, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2011.

AXMANN M., STROH K., HAAS B.: Künstliche Mineralfasern. In: Bayrisches Landesamt für Umwelt (Hrsg): Umweltwissen. Online verfügbar unter: http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_32_kuenstliche_mineralfasern.pdf, abgerufen am 3.12.2012.

BAUBOOK: Hochlochziegel – Außenwand, WDVS. In: Passivhaus – Bauteilkatalog. Online verfügbar unter: https://www.baubook.at/phbtk/index_BTR.php?SW=19, abgerufen am 13.11.2012.

BAUPRODUKTENVERORDNUNG: Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates.

BAURESTMASSENTRENNVERORDNUNG: Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien BGBl. Nr. 259/1991.

BECKMANN M., KELDENICH K., WILZEK M.: Herstellung und Einsatz von Ersatzbrennstoffen – Möglichkeiten zur Optimierung der gesamten Verfahrenskette. In: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg): Ersatzbrennstoffe in der Energietechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2002.

BÖHMER S., KÜGLER I., STOIBER H., WALTER B.: Abfallverbrennung in Österreich, Statusbericht 2006. Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2007.

BRANCHENRADAR: Dämmstoffe in Österreich – Marktanalyse. Kreuzer Fischer & Partner, 2012.

BRANDAU E., CONRAD K.-H., EINSFELD U., GROCHE F., GÜTH H., HAGEDORN H, HUGENSCHMIDT F., KERN E., KLÖKER W., QUIS P., RENKER H.J., SCHUHMANN H., WERSE H.-P.: Duroplaste. In: Prof. Wilbrand Wobcken (Hrsg): Kunststoff Handbuch 10, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München - Wien, 1988.

BRUCK M., GEISLER S.: Total Quality Planung und Bewertung von Gebäuden – Leitfaden für die TQ-Bewertung. Österreichisches Ökologie-Institut und Kanzlei Dr. Bruck, Wien, 2002.

BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN (BAWP): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2011.

BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN (BAWP): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2006.

BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN (BAWP): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2001.

BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN (BAWP): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1998.

BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN (BAWP): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1995.

BUNDESABFALLWIRTSCHAFTSPLAN (BAWP): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1992.

BUNDESINNUNG BAU (2002): Baurestmassen: Trennung auf der Baustelle – Ein Leitfaden für die Baustelle. Bundesinnung Bau, Wien, 2002.

BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR): Künstliche Mineralfaserdämmstoffe. BBSR-Berichte Kompakt, 01/2011, Bonn, 2011.

BUSCHMANN R. (2003): Umweltverträglichkeit von Gebäudedämmstoffen. Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, Kiel, 2003.

CARUS M., GAHLE C., PENDAROVSKI C., VOGT D., ORTMANN S., GROTHENHEMEN F., BREUER T., SCHMIDT C.: Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation von Naturfasern und Naturfaserwerkstoffen, Gülzower Fachgespräche, Band 26, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, 2008.

CLEMENT D., HAMMER K., BRUNNER P.H.: Bewertung unterschiedlicher Szenarien der Behandlung von Baurestmassen anhand von Kosten-Wirksamkeits-Analysen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Vol. 63, Iss. 11-12, Springer Verlag, Wien, 2011a.

CLEMENT D., HAMMER K., SCHNÖLLER J., DAXBECK H., BRUNNER P.H.: Wert- und Schadstoffe in Wohngebäuden. Wasser- und Abfallwirtschaft, Vol. 63, Iss. 3-4, Springer Verlag, Wien, 2011b.

CREACYCLE: Projekt-Porträt InnoNet Vorhaben 3578 - EPS-LOOP. 2003. Online verfügbar unter: http://www.creacycle.de/images/stories/creacycle-leitfaden_eps-loop.pdf?phpMyAdmin=3YWg3TY3Fwx5szw4jy1vC6g8tf&phpMyAdmin=168fc401cb4cc955191a9e0c52e0d626, abgerufen am 14.2.2013.

CZIESIELSKI E., VOGDT F.U.: Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2000.

DANNER H. (2010): Ökologische Wärmedämmstoffe im Vergleich 2.0, Landeshauptstadt München - Referat für Gesundheit und Umwelt, München, 2010.

DEPONIEVERORDNUNG (DVO): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien. BGBl. II Nr. 39/2008.

DESMET K., SCHELFAUT M., SANDRA P.: Determination of bromophenols as dioxin precursors in combustion gases of fire retarded extruded polystyrene by sorptive sampling-capillary gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Chromatography A 1071, Elsevier Science B.V, 2005.

DESTATIS: Bevölkerung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2013. Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html>, abgerufen am 27.1.2013.

DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU): Stoffliche Verwertung von Mineralwolle. DBU aktuell, 5/2009, Osnabrück, 2009. Online verfügbar unter: <http://www.dbu.de/index.php?menuecms=292>, abgerufen am 23.1.2013.

DIE PUTZFRÄSEN GMBH: Putzfräse – Entfernung von Putz und Beschichtung. Online verfügbar unter: www.putzfraese.de/putzfraesen.pdf, abgerufen am 16.10.2012.

DIE UMWELTBERATUNG: Dämmstoffe richtig eingesetzt. Verband Österreichischer Umweltberatungsstellen, Wien, 2008.

DIERKS K., SCHNEIDER K.-J., WORMUTH R.: Baukonstruktion. Werner Verlag GmbH & Co KG, Düsseldorf, 2002.

DOPPELBAUER E.M., MAHDAVI A.: Ein Vergleich von Passiv- und Niedrigenergiegebäuden am Beispiel zweier Wohnhäuser in Österreich, Bauphysik Vol. 32, Heft 3, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2010.

ENBAUSA: WDVS – Aufbau – Sto. Energetisch Bauen und Sanieren. Online verfügbar unter: <http://wdvs.enbausa.de/wp-content/uploads/2012/11/wdvs-aufbau-sto.jpg>, abgerufen am 17.2.2013.

EWC: Abfallkatalog auf Basis des Europäischen Abfallverzeichnisses – Stand 2002. Online verfügbar unter: http://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/pm/2013/pm13039_Abfall.pdf, abgerufen am 17.8.2012.

FEURER L.: Telefoninterview. Sto GmbH, durchgeführt am 21.1.2013, Abschrift im Anhang B.

FLAMME S.: Qualitätssicherung in Aufbereitungsanlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen. In: THOMÉ-KOZMIENSKY K.J. und BECKMANN M. (Hrsg): Energie aus Abfall, Band 1, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2006.

FRIESSER M.: Telefoninterview. ThermoTeam Alternativbrennstoffverwertungs-GmbH, durchgeführt am 21.1.2013, Abschrift im Anhang B.

FRISCHENSCHLAGER H., KARIGL B., LAMPERT C., PÖLZ W., SCHINDLER I., TESAR M., WIESENBERGER H., WINTER B.: Klimarelevanz ausgewählter Recycling – Prozesse in Österreich. Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2010.

GEHRMANN H.J., SEIFERT H., BECKMANN M., GLORIUS T.: Ersatzbrennstoffe in der Kraftwerkstechnik. Chemie Ingenieur Technik, Vol.84, Iss.7; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KG, Weinheim, 2012.

GLAVAS B.: persönliches Leitfaden-Interview. Prajo – Böhm Recycling GmbH, durchgeführt am 6.12.2012, Abschrift im Anhang B.

HANDLER S., KORJENIC A., BEDNAR T.: Einfluss von Wärmedämmverbundsystemen auf das Sommerverhalten von Gebäuden, Bauphysik Vol. 33, Heft 4, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2011.

HANIKA A., JASCHINSKI I., KLOTZ J., MARIK-LEBECK S., WISBAUER A.: Zukünftige Bevölkerungsentwicklung Österreichs und der Bundesländer 2012 bis 2060 (2075). Statistische Nachrichten 10/2012, Statistik Austria, Wien, 2012.

HEGGENBERGER M.: Telefoninterview. AVE Energie AG Umwelt, durchgeführt am 18.12.2012, Abschrift im Anhang B.

HENGSTBERGER O. (2010): Verwertung von Baurestmassen aus Sicht von Recht und Umweltmanagement – Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien, 2010.

HOBBS G., HURLEY J.: Deconstruction and the Reuse of Construction Materials. Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy. CIB Publication 266. CIB World Building Congress, New Zealand, 2001.

HOFMANN D.: Telefoninterview. Steinbacher Dämmstoff GmbH, durchgeführt am 16.1.2013, Abschrift im Anhang B.

HORWARTH M.: Telefoninterview. Saint Gobain Weber Terranova GmbH, durchgeführt am 8.1.2013, Abschrift im Anhang B.

HUANG W.-L., LIN D.-H., CHANG N.-B., LIN K.-S.: Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. Resources, Conservation and Recycling Vol.37, Iss. 1, Elsevier Science E.V., 2002.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU): EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Wände und Dächer - Umweltproduktdeklaration. Ausgabe 2009. Online verfügbar unter: http://bau-umwelt.de/download/C22bf5d3bX12622ef92abXY5c1e/EPD_IVH_2009311_D.pdf, abgerufen am 24.11.2012.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU): Holzfaserplatten - Umweltproduktdeklaration. Ausgabe 2012. Online verfügbar unter: http://bau-umwelt.de/download/CY6be388c3X134ea675e13XYf33/EPD_EHW_2008611_D.pdf, abgerufen am 24.11.2012.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU): Mikroporöse Calciumsilikat-Wärmedämmstoffe – Umweltproduktdeklaration. Ausgabe 2011(a). Online verfügbar unter:http://bau-umwelt.de/download/C1a520724X13333cfabd9X75cb/IBU_CSP_2008112_D_Calsit_herm.pdf, abgerufen am 24.11.2012.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU): Unkaschierte Glaswolle - Platten und – Filze – Umweltproduktdeklaration. Ausgabe 2011(b). Online verfügbar unter: http://bau-umwelt.de/download/CY4920dd01X135ed7eb781XY4cdb/GHI_2011212_D_Glaswolle.pdf, abgerufen am 24.11.2012.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU): Unkaschierte Steinwolle - Platten und – Filze – Umweltproduktdeklaration. Ausgabe 2011(c). Online verfügbar unter: http://bau-umwelt.de/download/CY4920dd01X135ed7eb781XY4cd8/GHI_2011112_D_Steinwolle.pdf, abgerufen am 24.11.2012.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU): Werkmäßig hergestellte Polyurethan - Dämmstoffe - Umweltproduktdeklaration. Ausgabe 2010 (b). Online verfügbar unter: http://bau-umwelt.de/download/C185ba51dX12b427c9478XY4541/EPD_IVPU_2010112_D.pdf, abgerufen am 24.11.2012.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU): XPS – Extrudierter Polystyrolschaum - Umweltproduktdeklaration. Ausgabe 2010 (a). Online verfügbar unter: http://bau-umwelt.de/download/C622522f9X129aec44bb4X5417/EPD_FPX_2010111_D.pdf, abgerufen am 24.11.2012.

INTERESSENSGEMEINSCHAFT PASSIVHAUS ÖSTERREICH (IG PASSIVHAUS): Was ist ein Passivhaus? Online verfügbar unter: <http://www.igpassivhaus.at/passivhaus/was-ist-ein-passivhaus/>, abgerufen am 22.11.2012.

JANDL J.: Telefoninterview. Austrotherm GmbH, durchgeführt am 18.2.2013, Abschrift im Anhang B.

JORDE T., GUPFINGER H.: Abschätzung künftiger Probleme der Entsorgung von Hochbaurestmassen durch veränderte Konstruktionsweisen. Österreichisches Ökologie – Institut, Wien, 1997.

KARIGL B.: persönliche Mitteilung per Telefon. Umweltbundesamt GmbH, 21.11.2012.

KINGSPAN: Kooltherm K5 – Technisches Datenblatt. Ausgabe März 2010. Online verfügbar unter: <http://www.kingspaninsulation.de/Downloads/Technische-Datenblätter/Kooltherm/Kooltherm-K5-WDVS-Dammlatte.aspx>, abgerufen am 24.11.2012.

KLÖPFER W., GRAHL B.: Ökobilanz (LCA). Wiley – VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim, 2009.

- KLÖPFFER W., GRAHL B.: Ökobilanz (LCA). Wiley V.C.H. Verlag, Weinheim, 2009.
- KORJENIC A., BITZINGER F., MAHDAVI A.: Bauphysikalische, ökologische und ökonomische Bewertung von geförderten Sanierungskonzepten in Wien, Bauphysik Vol. 31, Heft 3, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2009.
- KRUS M., RÖSLER D.: Hygrothermische Berechnung der Einsatzgrenzen unterschiedlicher Systeme bei der Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen, Bauphysik Vol. 33, Heft 3, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2011.
- KÜVER J., PETERSCHEWSKI J., MEINKE R.: Untersuchungen zum Verhalten von konventionellen und ökologischen Dämmstoffen gegenüber mikrobiellem Befall unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und Bewertung der mikrobiellen Kontamination für die Wohnhygiene und Effizienz der Energieeinsparung – BIODÄM, Abschlussbericht, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2004.
- LECHNER S.: Wirtschaftlichkeit von Abbruchmethoden – Quantifizierung von Leistungen und Kosten – Diplomarbeit. Technische Universität Wien, Wien, 2003.
- LEDERSTEGGER A.: Telefoninterview. Saubermacher AG, durchgeführt am 19.12.2012, Abschrift im Anhang B.
- LEHNER A.: Telefoninterview. Isolena Naturfaservliese GmbH, durchgeführt am 19.12.2012, Abschrift im Anhang B.
- LUDWIG C.: Ersatzbrennstoffe aus Baumischabfall, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Vol.63, Issue 11-12, Springer Verlag Wien, Wien, 2011.
- LUDWIG C.: Telefoninterview. Amand Umwelttechnik Lockwitz GmbH & Co.KG, durchgeführt am 18.2.2013, Abschrift im Anhang B.
- MARK F.E., VEHLOW J., GLEIS M., KLEPPMANN F., DRESCH H.A.: (H)FCKW geschäumte Altdämmstoffe im Bauwesen. Müll und Abfall 4/2011, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin, 2011.
- MARKOVA S., RECHBERGER H.: Entwicklung eines Konzepts zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen - Materieller Gebäudepass und Design for Recycling für das Bauwesen. Technische Universität Wien, Wien, 2011.
- MARTENS H.: Recyclingtechnik. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2011.
- MARTI K.: U-Wert Berechnung und Bauteilekatalog Neubauten. Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2002.

MÄURER A., KNAUF O.: EPS-Loop - Recycling of EPS-waste to expandable polystyrene. Vortrag FAKUMA Forum 2005, Friedrichshafen. Online verfügbar unter: http://www.ivv.fraunhofer.com/load.html?/mainframes/germany/business/gf_kr_eps_loop.html, abgerufen am 17.12.2012.

MÄURER A., SCHLUMMER M., AGULLA K.: Siebenfache Effizienz. Recyclingmagazin, Vol. 20, ATEC Business Information GmbH, München, 2010.

MÄURER A.: Telefoninterview. Fraunhofer Institut IVV, durchgeführt am 6.3.2013, Abschrift im Anhang B.

MAYDL J., KORJENIC A., DREYER J.: Bautechnisch-bauphysikalische Beurteilung der Wirksamkeit energetischer Sanierungen am Beispiel städtischer Wohnhausanlagen in Wien, Bauphysik Vol. 29, Heft 4, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2007.

MESSARI-BECKER L.: Nachhaltiges Sanieren? Zur ökologischen Effektivität und ökonomischen Effizienz energetischer Sanierungsmaßnahmen im Altbau am Beispiel von Dachsanierungen, Bauphysik Vol. 30, Heft 5, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2008.

MKM: Vorgehängte hinterlüftete Fassade. MKM – Concept, online verfügbar unter: <http://www.mwk-vertrieb.de/images/hlvasade.jpg>, abgerufen am 12.2.2013.

MORGAN C., STEVENSON F. (2005): Design and Detailing for Deconstruction. Scottish Ecological Design Association, online verfügbar unter: <http://www.seda.uk.net/assets/files/guides/dfd.pdf>, abgerufen am 21.11.2012.

MORGENBESSER D.: Recyclingfähigkeit von modernen Baukonstruktionen. FH Campus Wien, Wien, 2010.

MÖTZL H., ZELGER T.: Ökologie der Dämmstoffe. Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie, Springer Verlag, Wien, 2000.

MÖTZL H.: Entsorgungswege der Baustoffe. Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie, Wien, 2009.

NEROTH G.: Dämmstoffe. In: NEROTH G., VOLLENSCHAAR D. (Hrsg): Wendehorst Baustoffkunde, 27. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011.

NIEROBIS L.: Wärmedämmstoffe. 2003, verfügbar unter www.waermedaemmstoffe.com, abgerufen am 14. Aug. 2012.

ÖNORM B 2251: Abbrucharbeiten – Werkvertragsnorm. Austrian Standards Institut, Wien, 2006.

ÖNORM B 6000: Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme und/ oder Schallschutz im Hochbau. Austrian Standards Institut, 2010.

ÖNORM B 8110-6: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Austrian Standards Institut, 2007.

ÖNORM EN 13162: Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) — Spezifikation. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 13163: Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) — Spezifikation. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 13164: Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus extrudiertem Polystyrolschaum (XPS) — Spezifikation. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 13165: Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan Hartschaum (PUR) — Spezifikation. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 13166: Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Phenolharzschaum (PF) — Spezifikation. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 13170: Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Kork (ICB) — Spezifikation. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 13171: Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) — Spezifikation. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 13501-1: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten. Austrian Standards Institut, 2009.

ÖNORM EN 15359: Feste Sekundärbrennstoffe - Spezifikationen und Klassen. Austrian Standards Institut, Wien, 2011.

ÖNORM S 2100: Abfallverzeichnis. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2005.

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE UND -ÖKOLOGIE (IBO): Passivhaus – Bauteilkatalog, Springer Verlag, 2009.

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (OIB) – RICHTLINIE 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz. Ausgabe Oktober 2011.

PAPADOPOULOS A.M. (2005): State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments, Energy & Buildings Vol.37, Issue 1, Elsevier Science E.V, 2005.

PETER N.K.: Lexikon Bautechnik. C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2005.

PFUNDSTEIN M., GELLERT R., SPITZNER M.H., RUDOLPHI A.: Dämmstoffe. Korrigierter Nachdruck, Institut für internationale Architektur – Dokumentation GmbH & Co.KG, München, 2008.

PICKERING S. J.: Recycling technologies for thermoset compositematerials – current status. Composites: Part A, Vol. 37, Elsevier Science Ltd., 2006.

PISTI E. (2011): Demolition Waste Management and Design for Deconstruction. Diplomarbeit, TU Wien, Wien, 2011.

PLADERER C., GANGLBERGER E., FUNDER B., ROISER-BEZAN G.: Vermeidung von Baustellenabfällen in Wien, Teil 1 – 4. Magistratsabteilung 48, Wien, 2004.

POSITIVLISTE: Positivliste für die Verbrennung von Abfällen in Anlagen zur Zementherstellung, Stand: 2001. Online verfügbar unter: http://www.coproce.com/documents/positivliste_zement_oesterreich.pdf, zuletzt abgerufen am 21.12.12.

RAßHOFER W.: Recycling von Polyurethan- Kunststoffen. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1994.

REISENBICHLER R.: persönliches Leitfaden-Interview. Welser Baustoff Recycling, durchgeführt am 3.12.2012, Abschrift im Anhang B.

REYER E., SCHILD K., VÖLKNER S.: Wärmedämmstoffe und –systeme. In: Cziesielski (Hrsg): Bauphysik-Kalender 2005. Ernst, Wilhelm & Sohn Verlag, Berlin, 2005.

RÖDHAMMER M.: persönliches Interview, Niederschrift im Anhang B, geführt am 10.1.2013.

RÖDHAMMER R.: persönliches Leitfaden-Interview, Amip Engineering GmbH, durchgeführt am 11.1.2013, Abschrift im Anhang B.

RÖFIX: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand – Wärmedämm – Verbundsysteme. Ausgabe 08/2007. Online verfügbar unter: http://www.roefix.com/fileadmin/user_upload/tx_roefix_news/070903_Verarbeitungsrichtlinie_Endfassung.pdf, abgerufen am 19.11.2012.

SCHEIBENGRAF M., REISINGER H.: Abfallvermeidung und –verwertung: Baurestmassen. Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2005.

SCHMID A.: Ökologische Untersuchung von Wärmedämmstoffen, insbesondere von Expandiertem Polystyrol und Mineralfasern – Diplomarbeit. Technische Universität Wien, Wien, 1997.

SCHOLZ C.: persönliche Mitteilung per email. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft – Abteilung Abfallwirtschaftsplanung, Abfallbehandlung und Altlastensanierung, erhalten am 21.11.2012.

SEEGER H.: Ersatzbrennstoffkraftwerke und Abfallverbrennungsanlagen – Unterschiedliche Anlagentechnik? In: THOMÉ-KOZMIENSKY K.J. und BECKMANN M. (Hrsg): Energie aus Abfall, Band 2, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2007.

SERVICEPLUS: Berechnen Sie ihre Heizkosteneinsparung. Serviceplus – das Tiroler Handwerkernetzwerk. Online verfügbar unter: <http://www.s-plus.at/tipps/bautechnischetipps/heizkosteneinsparung/index.php>, abgerufen am 1.3.2013.

SPIEGEL W., HERZOG T., JORDAN R., MAGEL G., MÜLLER W., SCHMIDL W.: Korrosions-Früherkennung bei Abfall-, Biomasse- und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken. In: THOMÉ-KOZMIENSKY K.J. und BECKMANN M. (Hrsg): Energie aus Abfall, Band 3, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2007.

STATISTIK AUSTRIA: Bevölkerungsstand und –struktur. Online verfügbar unter: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/index.html, abgerufen am 13.1.2013.

STATISTIK AUSTRIA: Gebäude und Wohnungen 2001 nach Eigentümer, Eigentümerin des Gebäudes und Gebäudeart, verfügbar unter: www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen_und_gebaeude/bestand_an_gebaeuden_und_wohnungen/index.html, abgerufen am 25.7.2012.

STATISTIK AUSTRIA: Gebäude- und Wohnungszählung 2001 – Hauptergebnisse Österreich. Wien, 2004.

STATISTISCHES BUNDESAMT: Abfallentsorgung 2011 – Vorläufiger Ergebnisbericht für ausgewählte Entsorgungsanlagen. Wiesbaden, 2013.

STOIBER H., BÖHMER S., BRANDHUBER D., SCHINDLER I.: Stand der Umsetzung der Abfallverbrennungsverordnung. Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2007.

STRECHER: Telefoninterview. Rockwool Austria GmbH, durchgeführt am 8.1.2013, Abschrift im Anhang B.

THOMÉ-KOZMIENSKY K.J., THIEL S.: Abfallaufkommen und –entsorgung. In: THOMÉ-KOZMIENSKY K.J. und BECKMANN M. (Hrsg): Energie aus Abfall, Band 4, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2008.

TOPPEL C.O.: Technische und ökonomische Bewertung verschiedener Abbruchverfahren im Industriebau – Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2003.

VERBRENNUNGSRICHTLINIE: Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen. Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2000.

VOGDT F.U.: Wärmedämmverbundsysteme. In: Fouad N.A (Hrsg): Bauphysikkalender - Energetische Sanierung von Gebäuden, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2010.

WALTER B., TESAR M.: Porosierungsmittel in der Österreichischen Ziegelindustrie. Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2009.

WECOBIS: Ökologisches Baustoffinformationssystem. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin, 2013. Online verfügbar unter: www.wecobis.de, abgerufen am 16.3.2013.

WIENERBERGER: Protherm 49 W.i. & 42,5 W.i., Wienerberger Ziegelindustrie GmbH, Hennersdorf, 2011. Online verfügbar unter: <http://www.wienerberger.at/downloads-service-und-infomaterial/downloads/porotherm-mauerwerk-broschueren>, abgerufen am 15.3.2013.

WIESER M.: Telefoninterview. Ökotechna Entsorgungs- und Umwelttechnik GmbH, durchgeführt am 21.1.2013, Abschrift im Anhang B.

WILLEMS W.M., SCHILD K., VÖLKNER S.: Dämmstoffe im Bauwesen. In: Fouad N.A (Hrsg): Bauphysikkalender - Energetische Sanierung von Gebäuden, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2010.

WILLEMS W.M., SCHILD K., VÖLKNER S.: Dämmstoffe im Bauwesen. In: Fouad N.A. (Hrsg): Bauphysik – Kalender 2010. Ernst, Wilhelm & Sohn Verlag, Berlin, 2010.

WORMUTH R., SCHNEIDER K.J.: Baulexikon. 2. erweiterte Ausgabe, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin, 2009.

YANG W., DONG Q., LIU S., XIE H., LIU L., LI J.: Recycling and disposal methods for polyurethane foam wastes. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 16, Elsevier Science, 2012.

ZIA K. M., BHATTI H. N., BHATTI I. A.: Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: a review. *Reactive & Functional*, Vol. 67, Elsevier Science Ltd., 2007.

ZLABINGER K.: Telefoninterview. Saint Gobain Isover Austria GmbH, durchgeführt am 19.12.2012, Abschrift im Anhang B.

ZOTT B.: Telefoninterview. Röfix AG, durchgeführt am 23.1.2013, Abschrift im Anhang B.

ZWIENER G., MÖTZL H.: *Ökologisches Baustoff – Lexikon*, 3.Auflage, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2006.

Anhang

Anhang A: Dämmstoffbeschreibung

A 1: Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

A 1.1: Mineralschaum

Inhaltsstoffe:

Dämmstoffe aus Mineralschaum bestehen hauptsächlich aus Quarzsand (25 bis 40 Gew.-%), Portlandzement (25 bis 45 Gew.-%), Kalkhydrat (10 – 25 Gew.-%, gemahlene mineralische Zuschläge sowie Wasser. Die Zusammensetzung ist jener von Dämmstoffen aus Kalziumsilikat ähnlich, jedoch wird bei Mineralschaum auf die Zugabe von Zellstoffen verzichtet (WILLEMS et al., 2010). Als porenbildender Zusatzstoff wird meist Proteinschaum oder Recyclingaluminiumpulver verwendet. Mineralschaumdämmstoffe sind erst seit einer relativ kurzen Zeit erhältlich und besitzen daher eine geringe Marktbedeutung (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Herstellung:

Aus den Rohstoffen wird eine leichte, ultraporöse Schaummasse hergestellt, welche in Formen gereift, in einzelne Platten zerteilt und dann in Dampfdruckkesseln bei etwa 200 °C ausgehärtet wird (IBU, 2011a). Die Platten enthalten einen Luftporenanteil von 95 bis 98 Vol.-%. Zum Schutz vor Durchfeuchtung können die Platten mit einem entsprechenden mineralischen Verfestiger behandelt werden (WILLEMS et al., 2010).

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Mineralschaum wird üblicherweise in Form von Dämmplatten in Wärmedämmverbundsystemen eingesetzt. Ein besonderes Einsatzgebiet ist außerdem der Einsatz faserdotierter Platten als Innendämmung im Zuge von thermischen Sanierungen (IBO, 2009). Dämmstoffe aus Mineralschäumen weisen in der Regel mittlere bis mäßige Dämmeigenschaften auf und sind sehr druckfest und formstabil. (PFUNDSTEIN et al., 2008). Weitere Anwendungsbereiche sind laut Umweltproduktdeklaration einer Calciumsilikat - Dämmplatte bei der Hochtemperaturdämmung für wärmetechnische Anlagen, Wärme- und Brandschutz für den gesamten Hochbau, Sanierung von Feuchträumen, Dämmung und Feuchteregulierung mit schimmelhemmender Wirkung und Dämmung von denkmalgeschützten Fassaden, da sie auch als Innendämmung verwendet werden kann (IBU, 2011a). Platten aus Mineralschaum lassen sich aufgrund ihrer festen Form und ihres geringen Gewichtes relativ problemlos verarbeiten. Die Platten können mit Handsägen zugeschnitten werden, jedoch wird zum Schutz vor entstehenden Stäuben das Tragen von Atemschutzmasken und Schutzbrillen empfohlen. Im Allgemeinen sind sie beständig gegenüber Witterung, Frost, Laugen, und Alterung (WILLEMS et al., 2010).

Verhalten bei Durchfeuchtung

Im feuchten Zustand erreichen sie einen pH-Wert von 8 bis 10 und sind deshalb ohne zusätzliche Maßnahmen gegen das Wachstum von Algen, Pilzen und Bakterien geschützt. Aufgrund der hohen

Kapillarität besitzen sie die Eigenschaft, Feuchtigkeit aufzunehmen, zu speichern und schnell wieder abzugeben (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Brandverhalten

Mineralschaumplatten sind nicht brennbar und werden in den Baustoffklassen A1 und A2 eingestuft. Bei hohen Temperaturen entstehen allerdings Schwelgase, die toxisch jedoch unbedenklich sind. Der Schmelzpunkt von Mineralschaum liegt bei über 1000°C (WILLEMS et al., 2010).

Langzeitverhalten

Detaillierte Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Mineralschaum- Dämmprodukten konnten nicht gefunden werden. Dies liegt vermutlich daran, dass Dämmstoffe aus Mineralschaum erst seit einer relativ kurzen Zeit am Markt verfügbar sind.

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,045 – 0,09
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1000 - 1300
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	3 - 20
Rohdichte [kg/m ³]	90 - 390
Baustoffklasse EU [-]	A1, A2
EWC – Abfallcode	170101 (Beton) 170107* (Beton)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	31427 (Betonabbruch)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	1050

Tab. A.1: Kenngrößen Mineralschaum, (WILLEMS et al., 2010; IBU, 2011a; PFUNDSTEIN et al., 2008) (*< 2m Kantenlänge)

A 1.2: Glaswolle

Gemäß ÖNORM EN 13162 sind Dämmstoffe aus Mineralwolle, also aus Glas- und Steinwolle, „Dämmstoffe mit wolliger Beschaffenheit, die aus geschmolzenem Stein, Schlacke oder Glas hergestellt werden.“

Inhaltsstoffe

Dämmstoffe aus Glaswolle gehören zur Gruppe der Mineralwolle-Dämmstoffe. Die wesentlichen Rohstoffe für die Glaswolle-Herstellung sind Recyclingglas (50 - 70 Masse-%), Sand (10 - 20 Masse-%), Soda (5 - 15 Masse-%) und Borax (5 - 10 Masse-%). Die Vernetzung der Fasern wird durch maximal 7 % harnstoffmodifiziertes Phenol-Formaldehydharz und max. 0,1 % Silan im fertigen Produkt erreicht. Je nach Anwendungsfall kommen noch max. 0,5 % aliphatisches Mineralöl und / oder max. 0,1 % Silikonöl hinzu (IBU, 2011b).

Herstellung

Die Rohstoffe werden bei einer Temperatur von 1400 – 1500 °C in Schmelzwannen geschmolzen und anschließend in eine Zerfaserungsmaschine geleitet (PFUNDSTEIN et al., 2008). Eine der häufigsten Herstellungsmethode ist dabei das „Tel – Verfahren“, eine Kombination aus Schleuder- und Blasverfahren. Nach der Schmelzwanne gelangt die Schmelze in die Spinnmaschine, wo diese auf eine sich drehende Spinnscheibe gedrückt und nach außen geschleudert wird. Über kleine ringförmig angeordnete Gasbrennerdüsen wird sie nach unten abgeleitet und so zu feinen Glasfäden gesponnen. Im darauffolgenden Herstellungsschritt wird das Bindemittel auf die Fasern aufgesprüht und bei 250 °C im Tunnelofen polymerisiert (MOETZL und ZELGER, 2000).

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Dämmstoffe aus Glaswolle besitzen grundsätzlich sehr gute Wärmedämmwerte und sind in vielen Lieferformen verfügbar: Lose in Säcken als Stopfwolle, Rollenware kaschiert und unkaschiert, Matten kaschiert und unkaschiert, Platten kaschiert und unkaschiert, Matten auf Drahtgeflecht versteppt oder als Lamellenmatten und Lamellenplatten. Aufgrund der vielfältigen Produktformen ergeben sich auch zahlreiche potentielle Einsatzgebiete, die sowohl Außen- und Innendämmung von Wänden, als auch Außen- und Innendämmung von Dächern, Terrassen und Decken umfassen. Glaswolle ist jedoch nicht für druckbeanspruchte Anwendungen geeignet (PFUNDSTEIN et al., 2008). Bei der Verarbeitung ist darauf zu achten, dass der Dämmstoff unter möglichst trockenen Bedingungen eingebaut und dauerhaft vor Feuchte geschützt wird. Glaswolle kann ohne zusätzliche Befestigung zwischen Sparren oder Latten oder in Hohlräumen eingeklemmt oder mittels mechanischer Befestigung befestigt werden. Beim Einbau kann es aufgrund gröberer Fasern oder Faserbruchstücke durch die Einwirkungen auf Haut, Bindehaut oder Schleimhaut kurzfristig zu einem Jucken oder ähnlichen Erscheinungen kommen. Dies kann jedoch durch die Nutzung adäquater Arbeitskleidung verhindert werden. Neben der guten Dämmwirkung besitzt Glaswolle auch eine gute Schalldämmwirkung (MOETZL und ZELGER, 2000).

Brandverhalten

Glaswolleprodukte sind brandbeständig und werden in die Baustoffklasse A2 eingeordnet. Sie eignen sich daher gut für Anwendungszwecke, bei denen besondere Brandschutzanforderungen gegeben sind. Ab einer Temperatur von 200°C zersetzt sich jedoch das organische Bindemittel (MOETZL und ZELGER, 2000).

Verhalten bei Durchfeuchtung

Dämmstoffe aus Glaswolle besitzen kein kapillares Saugvermögen. Diese Dämmstoffe sind aus diesem Grund vor hoher Feuchtigkeit zu schützen, da sie im nassen oder feuchten Zustand ein vermindertes Wärmedämmvermögen aufweisen (MOETZL und ZELGER, 2000). Bei länger andauernder Durchfeuchtung wie einem Hochwasser ist der Dämmstoff auszutauschen (IBU, 2011b).

Langzeitverhalten

Dämmstoffe aus Glaswolle sind, sofern die vor Feuchtigkeit geschützt bleiben, weitgehend alterungs- und formbeständig und auch beständig gegen Säuren, schwache Alkalien und Schimmelpilze (MOETZL und ZELGER, 2000).

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,035 – 0,045
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	840 - 1000
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	1 – 2
Rohdichte [kg/m ³]	13 – 150
Baustoffklasse EU [-]	A1, A2
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	31416 (Mineralfasern)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	200; bis 500 ohne Bindemittel

Tab. A.2: Kenngrößen Glaswolle, (PFUNDSTEIN et al., 2008; IBU, 2011b; WILLEMS et al., 2010)

A 1.3: Steinwolle

Inhaltsstoffe

Steinwolle zählt wie Glaswolle zu den Mineralwolle-Dämmstoffen. Auch die Herstellung erfolgt ähnlich. Die grundlegenden Rohstoffe zur Herstellung sind Sediments- oder magmatischen Gesteine wie Dolomit, Diabas und Kalkstein (MOETZL und ZELGER, 2000). Bindung, Staubminderung und Hydrophobierung erfolgen mit denselben Zusatzstoffen wie bei der Erzeugung von Glaswolle (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Herstellung

Aus den Ausgangsstoffen wird eine Gesteinsschmelze hergestellt, welche mit Ziegelrezyklaten und Koks vermischt und über schnell rotierende Scheiben zerfasert und dabei abgekühlt wird. Die Fasern werden mit Bindemittel versehen und als Vlies gleichmäßig geschichtet und dann in einem Tunnelofen polymerisiert (MOETZL und ZELGER, 2000).

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Steinwolle-Produkte sind im Vergleich zu Glaswolle aufgrund der meist höheren Rohdichte weniger flexibel, können jedoch grundsätzlich in denselben Einsatzgebieten verwendet werden. Spezielle Steinwollen mit hoher Rohdichte und Druckfestigkeit werden auch im Verkehrsbau, zur Schalldämmung bei Lärmschutzwänden und als Vibrationsdämpfung unter Eisenbahnschienen verwendet (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Mineralwollen weisen eine hohe Hitzebeständigkeit auf und können ohne Bindemittel Dauertemperaturen bis 750 °C aushalten. Sicherheitsvorkehrungen beim Einbau und bei der Verarbeitung gelten gleichermaßen für Stein- und Glaswolle. Negative Einwirkungen durch Staubbildung und freigesetzte Fasern können mittels adäquater Arbeitsbekleidung sowie Atemschutzmasken und Schutzhandschuhen vermieden werden (MOETZL und ZELGER, 2000). Werksmäßig hergestellte Dämmstoffe aus Mineralwolle müssen die Anforderungen der ÖNORM EN 13162 erfüllen. Bezüglich der verschiedenen Produktarten aus Mineralwolle unterscheidet

auch die ÖNORM B 6000 nicht zwischen Dämmstoffen aus Glas- oder Steinwolle, sondern nur hinsichtlich der Verwendung.

Brandverhalten

Dämmstoffe aus Steinwolle werden der Baustoffklasse A1 zugeordnet. Sie weisen daher kein Gefährdungspotential bezüglich Rauchentwicklung und Abtropfverhalten auf. Durch etwaige aufgetragene Kaschierungen oder Beschichtungen kann sich jedoch das Brandverhalten verändern (IBU, 2011c).

Verhalten bei Durchfeuchtung

Die Dämmeigenschaften von Steinwolle werden durch Feuchtigkeitseintritt verschlechtert, der Dämmstoff kann jedoch in der Regel wieder austrocknen und seinen ursprünglichen Dämmwert erreichen. Bei massiver Durchnässung und länger anhaltender Wassereinwirkung ist der Dämmstoff jedoch auszutauschen (IBU, 2011c).

Langzeitverhalten

Dämmstoffe aus Steinwolle sind, sofern die vor Feuchtigkeit geschützt bleiben, weitgehend alterungs- und formbeständig und auch beständig gegen Säuren, schwache Alkalien und Schimmelpilze (MOETZL und ZELGER, 2000).

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,035 – 0,045
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	600 – 840
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	1 – 2
Rohdichte [kg/m ³]	20 – 220
Baustoffklasse EU [-]	A1
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	31416 (Mineralfasern)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	100 – 200; <800 ohne Bindemittel

Tab. A.3: Kenngrößen Steinwolle, (PFUNDSTEIN et al., 2008; WILLEMS et al., 2010; IBU, 2011c)

A 2 - Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen

A 2.1: Polystyrol, expandiert (EPS)

Gemäß ÖNORM EN 13163 ist EPS „ein fester Dämmstoff mit Zellstruktur, der aus verschweißtem, geblähtem Polystyrol oder einem seiner Co-Polymere hergestellt wird und eine geschlossenzellige, luftgefüllte Struktur hat.“

Inhaltstoffe

Polystyrol wird seit den 1950ern als Dämmstoff eingesetzt. EPS ist vielerorts besser unter dem Markennamen „Styropor“ der Firma BASF bekannt. Die Grundstoffe zur Herstellung von Polystyrol sind Benzol und Ethylen. EPS setzt sich aus 91 – 94 Massen-% Polystyrol, 4 - 7 Massen-% Pentan, 1 % Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) und Dicumylperoxid sowie kleinen Mengen von Parafinen und Metallsalzen zusammen (IBU, 2009).

Herstellung

Zu Beginn des Prozesses wird Styrol, ein perlenförmiges und glasähnliches Granulat, bei Temperaturen um die 90 °C durch Verdampfen des Treibmittels Pentan auf das 20- bis 50-fache seiner Ursprungsgröße vorgeschäumt. Nach einer Zwischenabkühlung wird das vorgeschäumte Polystyrol bei 110°C bis 120°C heißen Wasserdampf nochmals expandiert. In diesem zweiten Expandiervorgang verkleben die vorgeschäumten Polystyrolperlen miteinander und es entsteht ein überwiegend geschlossenzelliger Schaumstoff mit einem Luftporenvolumen von etwa 98 Vol.-%. Der so entstandene Dämmstoff muss danach mindestens sechs Wochen gelagert werden, um etwaige Schrumpfungen abzuwarten und mögliche Folgeschäden am Einbauort zu vermeiden (WILLEMS et al., 2010). Dämmstoffe aus EPS müssen die Anforderungen nach der ÖNORM EN 13163 erfüllen.

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Für Dämmstoffe aus expandiertem Polystyrol sind grundsätzlich alle Anwendungsbereiche für Dämmstoffe möglich: Fassaden-Dämmplatten, Dämmplatten zur Kellerdämmung, Perimeterdämmung, Dachdämmung, Zwischenwände oder Flachdachdämmung (DIE UMWELTBERRATUNG, 2008). Dämmstoffe aus EPS sind in der Regel sehr leicht zu verarbeiten. Dünnere Platten können mit Handwerksmessern, dicke Platten mit Kreis- oder Bandsägen geschnitten werden. Bei der Verarbeitung auf der Baustelle treten keine Staubbelastungen oder sonstige Reizwirkungen auf, abgebrochene Partikel können jedoch leicht durch Luftzug im Umfeld verteilt werden (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Brandverhalten

EPS-Platten werden nach der EN 13501-1 in die Baustoffklasse E eingeordnet. Im Brandfall bildet sich ein dichter Rauch, der die Sicht und damit eine etwaige Flucht behindern kann (MOETZL und ZELGER, 2000). Zusätzlich werden neben dem schädlichen Styrol auch Kohlenmonoxid, ätzende Brandgase und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) freigesetzt (WILLEMS et al., 2010). Expandiertes Polystyrol ist kurzfristig mit Temperaturen bis 100°C belastbar, ab einer Temperatur von 110°C beginnt das Polystyrol jedoch sich zu zersetzen (WILLEMS et al., 2010). Die Zündtemperatur von EPS liegt bei ca. 370°C, die Selbstentzündungstemperatur liegt bei etwa 450°C (IBU, 2009).

Verhalten bei Durchfeuchtung

EPS ist in aller Regel unempfindlich gegen Feuchtigkeit, da es aufgrund seiner überwiegend geschlossenen Zellen keine Feuchtigkeit aufnehmen und so nicht aufquellen kann (WILLEMS et al., 2010).

Langzeitverhalten

EPS ist formstabil, alterungsbeständig, schimmelt oder fault nicht und ist unempfindlich gegenüber Feuchtigkeit. Expandiertes Polystyrol ist biologisch nicht abbaubar, es kann jedoch von Insekten und Nagetieren als Nistplatz oder zum Anlegen von Futtermitteln verwendet werden (WILLEMS et al., 2010). Expandiertes Polystyrol ist gegenüber organischen Lösungsmitteln wie Klebern, Trennmitteln auf ölhaltiger Basis, Teerprodukten Anstrichstoffen empfindlich (IBO, 2010). Beim Verkleben müssen daher spezielle Klebstoffe verwendet werden. Aufgrund seiner chemischen Beschaffenheit sollte auch verhindert werden, dass EPS - Platten zu langer UV- Bestrahlung ausgesetzt wird, da es leicht versprödet (WILLEMS et al., 2010).

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,032 – 0,045
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1500
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	20 - 100
Rohdichte [kg/m ³]	15 – 30
Baustoffklasse EU [-]	E
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	57108 (Polystyrol, -schaum) 91206 (Baustellenabfälle)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	80 – 85 (langfristig)

Tab. A.4: Kenngrößen EPS, (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008; IBU, 2009)

A 2.2: Polystyrol, extrudiert (XPS)

XPS ist gemäß ÖNORM EN 13164 „ein harter Dämmstoff aus Schaumkunststoff, der durch Blähen und Extrudieren aus Polystyrol oder einem seiner Co-Polymere mit oder ohne Haut hergestellt wird und der eine geschlossenzellige Struktur aufweist.“

Inhaltsstoffe

Extrudiertes Polystyrol wurde bereits während des 2. Weltkrieges von den Amerikanern als Material für Schwimm- und Auftriebskörper verwendet. Die Herstellung von XPS erfolgt auf der Grundlage des perlenförmigen Polystyrolgranulats, welches auch die Grundlage für die Herstellung von EPS darstellt und 90 – 95 Massen-% der Grundstoffe ausmacht. Als Treibmittel werden HFKW oder meist CO₂ verwendet (5 – 8 Massen-%). Als Flammschutzmittel wird in der Regel Hexabromzyklododekan

eingesetzt (0,5 – 3 Massen-%). Zu einem geringen Anteil von weniger als 1 Massen-% werden etwaige Additive wie Pigmente hinzugefügt (IBU, 2010a).

Herstellung

Anstatt das Granulat nun mittels heißem Wasserdampf aufzuschäumen, wird bei der Herstellung von XPS das Polystyrolgranulat in einem Extruder aufgeschmolzen und mit einem Treibmittel sowie einem Flammschutzmittel behandelt. Durch die Extrusion wird die Schmelze aufgeschäumt, wobei ein Teil des Treibmittels emittiert und abgesaugt wird (WILLEMS et al., 2010). Bedingt durch das Extrusionsverfahren können nur Platten hergestellt werden (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Sowohl die Herstellung von EPS als auch XPS sind mit hohem Aufwand an Energie, und Chemikalien verbunden, wobei vor allem Benzol aufgrund seiner krebserzeugenden Eigenschaften für den Menschen gefährlich ist. Außerdem zählt Styrol zu den Nervengiften, ist jedoch nach heutigem Kenntnisstand vermutlich nicht krebserzeugend. Dämmstoffe aus XPS müssen die Anforderungen nach der ÖNORM EN 13164 erfüllen.

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Dämmstoff-Platten aus XPS werden vor allem dort eingesetzt, wo hohe Anforderungen durch Druck und Feuchtigkeit an den Dämmstoff gestellt werden. Durch die geringe Wärmeleitfähigkeit, der hohen Druckfestigkeit und der Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeit wird XPS vor allem in der Perimeterdämmung und auf Umkehrdach- oder Flachdachkonstruktionen verwendet. Lösemittel, Kraftstoffe und Mineralöle können die Oberflächen anlösen und das Material zerstören (PFUNDSTEIN et al., 2008). Die Anwendungsgrenztemperatur liegt zwischen -180 und +85 °C, wobei auch kurzfristig eine Temperatur von 100°C nicht überschritten werden sollte.

Brandverhalten

XPS-Platten sind gemäß EN 13501-1 der Baustoffklasse E zugeordnet. Im Brandfall entwickelt sich wie bei EPS dichter Rauch, ohne äußere Brandbelastung erlischt der Dämmstoff jedoch (WILLEMS et al., 2010).

Verhalten bei Durchfeuchtung

XPS nimmt auch bei länger andauernder Unterwasserlagerung kaum Wasser auf und ist gefrierbeständig (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Langzeitverhalten

XPS ist unempfindlich gegen Schimmel und kann von Insekten nicht als Nährboden verwendet werden. Extrudiertes Polystyrol ist jedoch nicht gegen UV-Strahlung beständig (IBO, 2009).

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,030 – 0,041
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1300 – 1700
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	50 – 250
Rohdichte [kg/m ³]	20 – 50
Baustoffklasse EU [-]	E
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	57108 (Polystyrol, -schaum) 91206 (Baustellenabfälle)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	75 – 85 (langfristig)

Tab. A.5: Kenngrößen XPS, (WILLEMS et al., 2010; IBU, 2010a; PFUNDSTEIN et al., 2008)

A 2.3: Polyurethan (PUR)

Ein Dämmstoff aus Polyurethan-Hartschaum ist gemäß ÖNORM EN 13165 „ein harter oder halbharter Schaumkunststoff auf der Basis von Polyurethan, der eine überwiegend geschlossenzellige Struktur aufweist.“

Inhaltsstoffe

Das Bildungsprinzip für Polyurethan ist bereits seit 1937 bekannt, eingesetzt wurde es erstmals 1957 beim Bau von Schiffen. Seit 1964 werden Dämmplatten aus PUR industriell hergestellt. Als Basisstoffe dienen Polyisocyanate (55 – 65 Massen-%), welche aus dem Grundstoff Erdöl gewonnen werden, und Polyole (20 – 30 Massen-%), die in Zuckerrüben, Mais oder Kartoffeln vorkommen. Als Treibmittel (4-5 Massen-%) werden Pentan, CO₂ und in manchen Ländern HFCKW verwendet. Als Flammschutzmittel werden bromierte, chlorierte oder phosphorhaltige Verbindungen verwendet (WILLEMS et al., 2010; IBU, 2010b).

Herstellung

PUR kann sowohl im Doppelband- als auch im Blockschaumverfahren hergestellt werden (WILLEMS et al., 2010). Im Doppelbandverfahren werden die Ausgangsstoffe mit dem Treibmittel über einem Mischkopf auf der unteren Seite eines Doppelbandes aufgebracht. Das Gemisch schäumt in der Folge auf das 25-fache seines ursprünglichen Volumens auf und verklebt mit den beiden Oberflächen des Doppelbandes. Auf diese Weise ist es möglich PUR mit Vliesen oder Aluminiumfolien zu kaschieren oder Verbundelemente mit Blechen oder Dichtungsbahnen als Außenschicht herzustellen. Beim Blockschaumverfahren werden die Ausgangsstoffe in eine Metallform eingebracht, schäumen dort auf und lagern dort eine bestimmte Zeit ab. Danach werden die Blöcke in Formen oder Platten geschnitten. Bei beiden Verfahren besteht der PUR- Dämmstoff aus 95 bis 97 Vol.-% aus Luftporen (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2007). PUR – Dämmstoffe müssen die Anforderungen gemäß ÖNORM EN 13165 erfüllen.

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Polyurethan ist ähnlich wie EPS und XPS sehr vielseitig einsetzbar, unter anderem als Aufsparrendämmung, Gefälledachdämmung, Flachdachdämmung, im Wärmedämmverbundsystem, Kerndämmung, Innendämmung, Perimeterdämmung, Dämmung von Bodenplatten, Dämmung druckbelasteter Böden, Aufschäumdämmung von Hohlräumen, Dämmung von Rohrleitungen und einige mehr (WILLEMS et al., 2010). Die bedeutendste Anwendung von PUR liegt in der Herstellung von Sandwichelementen im industriellen Hallen- und Gebäudebau, der über 40 % der gesamten PUR-Produktion umfasst. 30 % der PUR-Menge wird in Form von Dämmplatten verbaut (WECOBIS, 2013).

In der Regel sind Dämmplatten aus PUR leicht zu verarbeiten und einzubauen, die Anwendung als Ortschaum wird jedoch nur handwerklich erfahrenen Heimwerkern empfohlen. Die Befestigung der Dämmplatten kann mittels Verklebung sowie durch mechanische Befestigung erfolgen. Prinzipiell gilt, dass bei der Verarbeitung von PUR freigesetzte Stoffe nicht eingeatmet werden sollen. Polyurethan ist gegen den Großteil am Bau verwendeten Chemikalien beständig, sollte jedoch vor zu hoher UV-Strahlung geschützt werden (WILLEMS et al., 2010).

Brandverhalten

Im Brandfall kommt es zu einer starken Rauchentwicklung und der Freisetzung giftiger Chemikalien wie Isocyanate oder Blausäure (WILLEMS et al., 2010). Der Dämmstoff zersetzt sich dabei, ohne dass es zu einem brennenden Abtropfen kommt (IBU, 2010b). Dämmstoffe aus PUR werden gemäß EN 13501-1 den Baustoffklassen B oder C zugeordnet (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Verhalten bei Durchfeuchtung

Dämmstoffe aus PUR nehmen aufgrund ihrer geschlossenen Zellstruktur kaum Feuchtigkeit auf, d.h. sie sind nicht kapillaraktiv. Bei unvorhergesehener Wassereinwirkung wie Hochwasser werden lösliche Stoffe nur in sehr geringem Umfang freigesetzt (IBU, 2010b).

Langzeitverhalten

PUR ist alterungsbeständig, wasserabweisend und ist kurzfristig mit Temperaturen bis zu 250 °C belastbar, langfristig sollten jedoch Temperaturen von -30 °C nicht unterschritten beziehungsweise von +90°C überschritten werden. Die thermische Zersetzung beginnt ab etwa 300°C (WILLEMS et al., 2010). PUR ist gut beständig gegen Lösemittel, er verrottet nicht und ist schimmel- und fäulnisfest.

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,024 – 0,040
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1400 – 1500
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	30 – 200
Rohdichte [kg/m ³]	30 – 250
Baustoffklasse EU [-]	B (Sandwichpaneel), C
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	57110 (Polyurethan, -schaum) 91206 (Baustellenabfälle)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	120 (langfristig)

Tab. A.6: Kenngrößen Polyurethan, (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008; IBU, 2010b)

A 2.4: Phenolharz (auch Resolhartschaum)

Phenolharzschaum ist gemäß ÖNORM EN 13166 ein „harter Dämmstoff aus Schaumkunststoff, dessen polymeres Gerüst im Wesentlichen durch die Polykondensation von Phenol, seiner Homologen und/oder Derivaten mit Aldehyden oder Ketonen hergestellt wird.“

Inhaltsstoffe

Rohstoffe zur Herstellung von Phenolharz-Dämmstoffen, oftmals auch Resolhartschaum genannt, sind Phenolharz und das Treibmittel Pentan. Als Flammschutzmittel wird Bor- oder Phosphorsäure verwendet (WILLEMS et al., 2010). Eine Dämmplatte mit Glasvlieskaschierung setzt sich aus etwa 90 Massen-% Resolschaum, < 10 Massen-% Glasfasern sowie bis zu 5 Massen-% Flammschutz- und Treibmittel zusammen (KINGSPAN, 2010).

Herstellung

Für die Herstellung von Phenolharz, welche meist im kontinuierlichen Verfahren erfolgt, werden Phenoplaste, in diesem Fall Novolake oder Resole, durch Polykondensation von Formaldehyd mit Phenol oder verwandten Grundstoffen gebildet. In verschiedenen Katalysations- und Kondensationsprozessen wird aus den Phenoplasten das Zwischenprodukt Resitol und schließlich Resit. Die entstandenen Harze werden gemahlen, mit Füllstoffen versetzt und mittels Pentan aufgeschäumt. Als Flammschutzmittel dienen Bor- oder Phosphorsäure. Der viskose Schaum wird durch Trocknen gehärtet und in Form geschnitten (WILLEMS et al., 2010). Dämmstoffe aus Phenolharz müssen die Anforderungen gemäß ÖNORM EN 13166 erfüllen.

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Phenolharz ist üblicherweise als Dämmstoff in der Form von Platten erhältlich. Anwendungsbereiche sind Aufsparrendämmung, auf Flachdächer, Außenwände, Kerndämmung, Decken,

Trittschalldämmung und die Dämmung technischer Anlagen. Zuschnitte von Phenolharzdämmplatten können relativ einfach mittels Messer oder Handsägen erfolgen. Die Befestigung wird meist mechanisch mittels Dübel vorgenommen. Dämmplatten aus Phenolharz müssen trocken gelagert und verarbeitet sowie während der Befestigung mittels Abdeckungen gegen Witterungseinflüsse geschützt werden. Dieser Dämmstoff steht im Verdacht sich korrosiv gegenüber Metallen zu verhalten, ist jedoch aufgrund seiner Unempfindlichkeit gegenüber Säuren, Laugen, UV-Strahlung, Schädlingen, Schimmel und Fäulnis jedoch für viele Anwendungsgebiete sehr gut geeignet (WILLEMS et al., 2010).

Brandverhalten

Im Brandfall schmilzt der Dämmstoff nicht, tropft nicht ab und erlischt selbstständig nach Entfernen des Brandherdes. Bei einem vollentwickeltem Brand ist auch nur mit einer geringen Rauchentwicklung zu rechnen (WILLEMS et al., 2010). Nach PFUNDSTEIN et al. (2008) sind Produkte aus Phenolharz der Baustoffklasse C zuzuordnen. Im Brandfall wird Formaldehyd freigesetzt.

Verhalten bei Durchfeuchtung

Siehe Anwendungsbereiche und Verarbeitung.

Langzeitverhalten

Phenolharzschaum ist gut beständig gegen Chemikalien, Insekten und Nagetiere. Durch die hohe Geschlossenheit der Zellstruktur wird ein Ausgasen des hoch dämmenden Treibmittels langfristig verhindert. Direkter Kontakt mit Metallen sollte vermieden werden, da sich bei Kontakt mit Feuchtigkeit Sulfonsäure aus dem Dämmstoff lösen kann, welche in der Folge zu Korrosionsschäden führt (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,022 – 0,040
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1500 – 1880
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	10 – 80
Rohdichte [kg/m ³]	20 – 160
Baustoffklasse EU [-]	C
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	57101 (Phenol- und Melaninharz) 91206 (Baustellenabfälle)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	150 (langfristig)

Tab. A.7: Kenngrößen Phenolharz, (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008;

A3 - Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

A 3.1: Kork

Dämmstoffe aus expandiertem Kork sind gemäß ÖNORM EN 13170 vorgeformte Produkte aus Korkgranulat, welche durch Erhitzen unter Druck expandiert und ausschließlich durch natürliches Bindemittel, das aus den Zellwänden des Korks austritt, gebunden werden.

Inhaltsstoffe

Rohstoff für die Herstellung von Dämmstoffen aus Kork ist die gemahlene Bastschicht aus der Rinde der Korkeiche, dem sogenannten Korkschrot. Dieses kann als Naturkorkschrot bereits als Dämmschüttung verwendet werden (IBO, 2009). Naturkork besteht 45 % aus Suberin, 27 % Lignin und 12 % Polysaccharide. Der Rest setzt sich aus Tanninen, Wachsen, Glycerin und Asche zusammen (AMORIM, 2003). Zusätze von Bitumen oder Formaldehydharz dienen der Imprägnierung. Für die Herstellung von Korkschrot werden auch recycelte Flaschenkorke verwendet (WECOBIS, 2013).

Herstellung

Bei der Herstellung von Dämmplatten aus Kork wird das Korkschrot unter heißem Wasserdampf auf das mehrfache seines Ausgangsvolumens expandiert. Durch die Heißaktivierung der korneigenen Harze wird in weiterer Folge beim Pressen der Backkork erzeugt und in Platten geschnitten (WILLEMS et al., 2010). Dämmstoffe aus expandiertem Kork müssen die Anforderungen gemäß ÖNORM EN 13170 erfüllen.

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Kork kann sowohl als Schrot zum Zweck der Dämmschüttung, als auch in der Form von Dämmplatten verwendet werden. Einsatzbereiche für Dämmprodukte aus Kork sind die Außenwand- und Dachdämmung, leichte Trennwände, Wärme- und Trittschalldämmung bei schwimmenden Estrichen und die Hohlräumdämmung. Kork kann auch als Vibrationsdämpfung eingesetzt werden (DANNER, 2010). Sie sind leicht zu verarbeiten, bei der Einbringung von Korkschrot in Hohlräume muss jedoch mit nachträglichen Setzungen gerechnet werden (PFUNDSTEIN et al., 2008). Korkplatten sind elastisch, besitzen gute Schalldämmeigenschaften und sind bis zu Temperaturen von -200°C belastbar, jedoch sollten längerfristig Temperaturen über 120°C vermieden werden, da sich die Korkzellen bei Hitzeeinwirkung weiter ausdehnen (WILLEMS et al., 2010).

Brandverhalten

Bei der Verbrennung von Kork entstehen ähnliche Produkte wie bei der Verbrennung von Holz – CO₂, CO und Wasser. Darüber hinaus können Phenole, Alkohole, Aldehyde und Essigsäure freigesetzt werden (DANNER, 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008).

Verhalten bei Durchfeuchtung

Siehe Langzeitverhalten

Langzeitverhalten

Kork ist unempfindlich gegenüber Schädlingen, Säuren und Laugen und ist alterungsbeständig. Auch Heißbitumen sowie Kalk und Gips wirken nicht schädlich, es wird jedoch davon abgeraten den Dämmstoff im feuchten Zustand einzubauen, da bei längerer Nässeinwirkung Pilzbefall möglich ist (MOETZL und ZELGER, 2000). Diese Ergebnisse werden von KÜVER et al. (2004) insofern bestätigt, dass bei Untersuchungen über den mikrobiologischen Befall von Dämmstoffen Kork bereits bei moderaten Temperaturen um 20°C und einer erhöhten Luftfeuchtigkeit besonders anfällig für Pilzbefall

war. Die Dämmeigenschaften wurden jedoch durch den Schimmelpilzbefall nicht verschlechtert. (WILLEMS et al., 2010).

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,040 – 0,060
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1670 – 2100
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	5 – 10 (Backkork)
Rohdichte [kg/m ³]	65 – 220
Baustoffklasse EU [-]	D
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	-
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	120 (langfristig)

Tab. A.8: Kenngrößen Kork, (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008; WECOBIS, 2013)

A 3.2: Holzfaser

Holzfaserdämmstoffe sind gemäß ÖNORM EN 13171 werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe aus Holzfasern, die gegebenenfalls unter Hinzufügung von Bindemitteln und/oder Zusatzmitteln erzeugt werden. Mechanisch gebundene Erzeugnisse fallen ebenfalls unter diese Begriffsbestimmung.

Inhaltsstoffe

Die Grundlage dieses Dämmstoffes bilden mit bis zu 96 Masse-% Holzfasern, die aus Durchforstungsholz oder Restholz der heimischen Holzindustrie gewonnen werden (IBO, 2009). Im Unterschied zu Holzwolle- Leichtbauplatten, die mit Zement oder Magnesit gebunden werden, wird bei Holzfaserdämmstoffen die Bindung mittels des holzeigenen Bindemittels Lignin und etwa 1 Masse-% Aluminiumsulfat erreicht. Zur Hydrophobierung werden gegebenenfalls bis zu 2 Masse-% Paraffin- oder Naturharzemulsionen verwendet (WILLEMS et al., 2010; WECOBIS, 2013). Als Flammenschutzmittel und zum Schutz vor Insekten wird Borsäure verwendet (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Herstellung

Man unterscheidet in der Herstellung von Holzfaserdämmstoffen das Trocken- und das Nassverfahren. Je nach Art des Herstellungsprozesses unterscheiden sich die fertigen Dämmprodukte teils erheblich in ihren bauphysikalischen und konstruktiven Eigenschaften, welche vor allem die Rohdichte und die Festigkeiten beeinflussen. Für beide Verfahren wird zuerst das Restholz, überwiegend langfaseriges Nadelholz (PFUNDSTEIN et al., 2007), in einem Hacker zerkleinert, danach werden die Holzreste in Druckkesseln über Wasserdampf zerfasert. Im Trockenverfahren werden die Fasern danach mit bis zu 12 % Bindemittel versetzt, bevor die Produkte geformt werden und das Bindemittel aushärtet. Im weiter verbreiteten Nassverfahren werden die weichen Holzfasern mittels Wasser zu einem Holzbrei vermischt und zur Aktivierung des holzeigenen Bindemittels Lignin eine Wachsemulsion und Aluminiumsulfat hinzugefügt. Der Brei wird in weiterer Folge auf großen

Sieben zu Platten gepresst und mehrere Tage getrocknet (WILLEMS et al., 2010). Dämmstoffe aus Holzfasern müssen die Anforderungen gemäß ÖNORM EN 13171 erfüllen.

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Dämmstoffe aus Holzfasern sind als Matten, Platten, Filze, Rollen, Stopfwole oder als Einblasdämmung erhältlich. Holzfaserplatten und Stopfwollen sind im Allgemeinen leicht zu verarbeiten, Einblasdämmung sollte jedoch nur von geschulten Fachkräften eingebracht werden. Anwendungsgebiete für Dämmstoffe aus Holzfasern sind die Außen- und Innendämmung von Dächern und Decken, sowie die Außen- und Innendämmung von Außenwänden und die Hohlraumdämmung. Bei der maschinellen Bearbeitung von Dämmplatten und dem Einbringen der Einblasdämmung wird das Verwenden von Atemschutzmasken sowie einer Schutzbrille empfohlen (PFUNDSTEIN et al., 2007). Die Befestigung von härteren Platten kann durch Nägel oder Schrauben erfolgen, weichere Platten können zwischen tragenden Balken eingeklemmt werden. Holzfaserdämmstoffe sollten trocken gelagert und eingebaut werden und sind in aller Regel beständig gegen Schimmel, Fäulnis und Ungeziefer. Bei der Anwendung sollte eine Temperatur von 110°C nicht überschritten werden (WILLEMS et al., 2010).

Brandverhalten

Die bei der Verbrennung von Dämmstoffen aus Holzfasern anfallenden Schadstoffe ähneln jenen der Verbrennung von Holz, etwaige Unterschiede ergeben sich durch die verwendeten Zusatzstoffe (DANNER, 2010). Gemäß der EN 13501-1 werden Dämmprodukte aus Holzfasern der Baustoffklasse E zugeordnet.

Verhalten bei Durchfeuchtung

Siehe Langzeitverhalten

Langzeitverhalten

Bei der Untersuchung von KÜVER et al. (2004) zeigte sich bei einigen Holzfaserdämmprodukten ein starker Pilzbefall, der bei längerer Einwirkung eine Senkung der Dämmeigenschaften bewirkte. Die Abnahme der Dämmeigenschaften war jedoch nicht so gravierend, dass von einem Verlust der Dämmeigenschaften gesprochen werden kann. Insbesondere leichte Holzfaserprodukte können schnell Feuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben, dadurch kann es relativ einfach zu Quellvorgängen kommen (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,040 – 0,090
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1600 – 2100
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	5 – 10
Rohdichte [kg/m ³]	30 – 60 (Einblasdämmung) 40 – 270 (Dämmplatte)
Baustoffklasse EU [-]	E
EWC – Abfallcode	170201 (Holz)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	170202 (Bau- und Abbruchholz) 170203 (Holzwolle)
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	110 (langfristig)

Tab. A.9: Kenngrößen Holzfaser, (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008; DANNER, 2010; IBU, 2012)

A 3.3: Hanf

„*Canabis sativa*“, oder Hanf, ist eine der ältesten Nutzpflanzen des Menschen und ist eine zwischen 2 und 4m hohe Pflanze. Als Faustregel gilt, dass man pro Hektar Anbaufläche Hanf Fasern für zirka 100 m³ Dämmstoff gewinnen kann (WILLEMS et al., 2010).

Inhaltstoffe

Zur Herstellung von Hanfdämmstoffen werden neben den Fasern der Hanfpflanze auch die Schäben, Bruchstücke der Stängelrinde, verwendet. Dämmplatten bestehen zu 82 – 85 Masse-% aus Hanffasern, 3 – 5 Masse-% Flammschutzmittel und bis zu 15 Masse-% Polyester-Stützfasern. Als Flammschutzmittel dient Natriumkarbonat oder Ammoniumphosphat. Dämmfilze oder Stopfwolle bestehen aus 95 – 97 Masse-% Hanffasern und 3 – 5 Masse-% Flammschutzmittel, auf die Zugabe von Stützfasern wird bei diesen Dämmprodukten verzichtet (WECOBIS, 2013).

Herstellung

Bei der Produktion werden die zuvor gewonnenen Hanffasern teilweise mit Flachsfasern gemischt, gebündelt, geröstet und anschließend zu Filzen verarbeitet. Dabei werden in etwa zu 10 – 15 % Polyesterstützfasern zur Formstabilität und zur Verbesserung der Flexibilität zugemengt. Zur Verbesserung der Hydrophobierung und des Brandschutzes werden Borsalz, Kartoffelstärke oder Natriumkarbonat hinzugefügt. Diese werden häufig mit Bitumen imprägniert und als loses Schüttgut in Hohlräume eingebracht (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008).

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Schäben, das sind holzige Überreste des Strohs, können als Dämmschüttung oder für die Einblasdämmung verwendet werden. Die hauptsächlich vorkommenden Dämmmatten oder –filze

werden zur Dachdämmung im Zwischen- und Innensparrenbereich, als Stopfdämmung im Fensterbereich oder zur Dämmung von Außenwänden hinter einer Bekleidung verwendet (PFUNDSTEIN et al., 2008; DANNER, 2010).

Brandverhalten

Bei der Verbrennung von Hanfdämmstoffen entstehen in etwa die gleichen Rückstände wie bei der Verbrennung von Holz. Stoffe, die die Umwelt gefährden, werden in der Regel nicht freigesetzt (WILLEMS et al., 2010). Gemäß EN 13501-1 werden Dämmstoffe aus Hanf der Baustoffklasse E zugeordnet (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Verhalten bei Durchfeuchtung

Dämmprodukte aus Hanf sind nicht für feuchtebeanspruchte Verwendungen geeignet und sind deshalb möglichst vor Durchfeuchtung zu schützen (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Langzeitverhalten

Hanfdämmstoffe sind widerstandsfähig gegen den Befall von Schimmel, Insekten und Fäulnis, da sie kein verwertbares Eiweiß enthalten (IBO, 2009)

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,040 – 0,050 (Matten)
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	1500 – 2200
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	1 – 2
Rohdichte [kg/m ³]	20 – 40 (Matte)
Baustoffklasse EU [-]	C – E
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	-
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	100 (langfristig)

Tab. A.10: Kenngrößen Hanf, (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., DANNER, 2010)

A 3.4: Schafwolle

Inhaltsstoffe

Schafwollämmstoffe bestehen aus reiner Schafwolle, die teilweise auch aus recycelter Schurwolle gewonnen wird. Zusätze wie Natriumsalze, Harnstoffderivate oder Borsalz schützen die Wolle vor Mottenbefall und erhöhen den Brandschutz (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Herstellung

Nach der Schur wird die Wolle mit Natriumkarbonat von Verschmutzungen und dem natürlich anhaftendem Wollwachs befreit. Bei der Verwendung von Kernseife muss diese durch wiederholte Spülvorgänge ausgewaschen werden. Zum Schutz vor Ungeziefer wird die Wolle mit Borsalz oder Harnstoffderivaten behandelt. Die Fasern werden in einer Krempelanlage aus der Wolle gelöst und zu einem Krempelvlies kardiert (WILLEMS et al., 2010). Diese Vliese werden zur gewünschten Stärke kreuzweise übereinandergelegt und mittels einer Nadelfilzmaschine zu Matten verbunden. Aufgrund der guten Brandschutzwerte ist eine Behandlung mit Flammenschutzmitteln für den Einsatz als Dämmstoff nicht unbedingt notwendig, üblicherweise wird jedoch Borsalz eingesetzt, welches zusätzlich auch als Schutz vor Schimmelpilzen und Insektenbefall dient (IBO, 2009).

Anwendungsbereiche und Verarbeitung

Schafwolle kann in der Form von Matten, Filzen, Vliesen und Stopfwole bezogen werden. Sie kann in den Bereichen der Zwischen- und Untersparrendämmung, Fassadendämmung, Kerndämmung, Dämmung leichter Trennwände, als Stopfdämmung von Hohlräumen, Trittschalldämmung, Akustikdämmung oder Trittschalldämmung eingesetzt werden. Schafwolle eignet sich durch ihre Flexibilität gut für den Einbau in Gefachen.

Dämmstoffe aus Schafwolle sollten trocken gelagert und eingebaut werden. Dämmmatten werden üblicherweise zwischen tragenden Elementen eingeklemmt oder mittels Klammern befestigt. Sie sind alterungsbeständig, geruchsneutral, beständig gegen Schimmelbefall und Fäulnis und können große Mengen an Feuchtigkeit speichern. Unbehandelt sind die Wollfasern jedoch anfällig gegenüber Mottenfraß. Dauerhaft sollten die Dämmstoffe aus Schafwolle keiner Temperatur über 100 °C ausgesetzt werden, da es hier bereits zu Verfärbungen und in der Folge höherer Temperaturen zu Zersetzungsvorgängen kommt. Die Entzündungstemperatur von Schafwolle liegt bei 600°C, sie erlischt jedoch aufgrund ihrer flammhemmenden Eigenschaften nach dem Entfernen der Brandquelle eigenständig. Im Brandfall kommt es bei einer sauerstoffreichen Verbrennung nur zu geringen Emissionen, bei Verschmelzungen kann es zu Emissionen von Kohlenmonoxid, Blausäure und Schwefeldioxid kommen (WILLEMS et al., 2010).

Brandverhalten

Im Brandfall gibt Wolle keine giftigen Brandgase ab und schmilzt nicht. Es bildet sich eine schaumartige Asche, die isolierend gegen Hitze wirkt (WECOBIS, 2013). Die Entzündungstemperatur liegt bei 600°C, jedoch erlischt Schafwolle direkt nach dem Entfernen der Brandquelle von selbst (WILLEMS et al., 2008). Gemäß EN 13501-1 werden Dämmprodukte aus Schafwolle der Baustoffklasse E zugeordnet.

Verhalten bei Durchfeuchtung

Dämmstoffe aus Schafwolle können bis zu 33% ihres Eigengewichtes an Feuchtigkeit aufnehmen und auch relativ rasch wieder abgeben (PFUNDSTEIN et al., 2008).

Langzeitverhalten

Aufgrund des tierischen Eiweißes, das in Schafwolle enthalten ist, ist der Schutz vor Insektenfraß und Schimmelbefall sehr wichtig im Bezug auf das Langzeitverhalten. Grundsätzlich sind Schafwollämmstoffe jedoch alterungsbeständig und geruchsneutral. Die Anwendungsgrenztemperatur liegt bei 90 – 100 °C. Ab einer Temperatur von 120°C beginnt sich Schafwolle zu verfärben, ab 240°C beginnt der Zersetzungsprozess.

Charakteristische Kenngrößen

Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	0,035 – 0,045
Spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]	960 – 1700
Wasserdampfdiffusions – Widerstandszahl [-]	1 – 5
Rohdichte [kg/m ³]	15 – 100
Baustoffklasse EU [-]	E
EWC – Abfallcode	170604 (sonstiges Dämmmaterial)
Schlüsselnummer ÖN S 2100	-
Anwendungsgrenztemperatur [°C]	100 (langfristig)

Tab. A.11: Kenngrößen Schafwolle, (WILLEMS et al., 2010; PFUNDSTEIN et al., 2008; DANNER, 2010)

Anhang B – Niederschrift Leitfadenterviews

B 1: Interviews mit Dämmstoffproduzenten

B 1.1: Hr. JANDL, Leiter Forschung & Entwicklung Fa. Austrotherm, geführt am 18.2.2013

Wie sehen die derzeitigen Recyclingmöglichkeiten für Dämmstoffe aus Polystyrol aus?

Produktionsabfälle werden bei uns zu 100% wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt, sowohl bei der Herstellung von EPS als auch bei der Herstellung von XPS.

Setzen sie abgesehen von Produktionsabfällen auch gebrauchtes Dämmmaterial ein?

Grundsätzlich gibt es bei uns nur die Anforderung, dass das Material nicht verschmutzt sein darf. Wir kaufen zum Beispiel auch Material aus der Verpackungsindustrie zu, weil dieses sehr sauber ist. Das sind dann Fernsehverpackungen oder ähnliches. Diese Fraktionen werden dann bei uns gemahlen und beigemischt und so recycelt. Gebrauchtes Material von der Baustelle muss ich offen sagen, ist eher selten, weil dies meistens in einem Container gelagert wird, in dem sich auch Schutt und alles andere befindet. Sofern es aber sortenrein und unverschmutzt ist, mischen wir es genauso im Produktionsprozess bei wie Produktionsabfälle.

Wie hoch ist der Anteil von diesem Material, welches sie von außen hinzufügen?

Dieser Anteil liegt bei knapp unter 1 %. Der Grund für diese eher geringe Menge ist, dass sehr viele unserer Platten Zuschnitte sind für Flachdächer und dergleichen. Bei diesen Produkten fällt sehr viel Verschnitt an bei der Herstellung. Wir haben also innerhalb des Werkes viel Recyclingmaterial, welches wir verwenden können, und deswegen ist der Anteil von außen nicht so hoch.

Gibt es Unterschiede bei den stofflichen Recyclingmöglichkeiten von EPS und XPS?

Eine Differenzierung beim Recycling ist aus Austrotherm - Sicht nicht gegeben.

Wie hoch ist der Anteil des Dämmplattenmarktes am Gesamtdämmstoffmarkt in Österreich?

Der Anteil jener Dämmstoffarten wie Platten, Vliese, Matten, Rollen etc., also alle Dämmprodukte, die irgendwie miteinander verbunden sind und jetzt nicht Schüttdämmungen oder Einblasdämmstoffe sind, beträgt etwa 98%.

Wenn sie nur den Plattenmarkt betrachten, wie hoch liegt hier der Anteil an EPS- und XPS-Platten?

Der Anteil liegt hier bei 90 %. Es folgen mineralische Dämmplatten mit einem Marktanteil von 8 %, und die restlichen 2 % teilen sich auf alle anderen Dämmplatten auf.

B 1.2: Hr. HORWARTH M., Firma Saint-Gobain Weber Terranova GmbH, geführt am 8.1.2013

Wie sehen die derzeitigen Recyclingmöglichkeiten für Resol - Hartschaumplatten in Österreich aus?

Dämmplatten aus Resol-Hartschaum sind ein relativ neues Produkt und werden auch erst seit kurzem eingesetzt. Die Objekte, bei denen sie verwendet wurden, sind überschaubar. Es handelt sich dabei also nicht um ein Massenprodukt. Der österreichische Markt für Dämmplatten wird zu 90 - 95% mit EPS abgedeckt, gefolgt von zirka 4 % Mineralwolle und der Rest sind dann Platten aus alternativen Dämmstoffen mit rund 1 %. Dazu zählen Platten aus Resol- Hartschaum, Kork, Mineralschaum und was es noch so gibt. Theoretisch möglich ist ein stoffliches Recycling schon ja, jedoch stellt sich diese Frage zurzeit nicht für uns.

B 1.3: Hr. Ing. LEHNER A., Geschäftsführung und Produktionsleitung Firma ISOLENA, geführt am 19.12.12

Welche Recyclingmöglichkeiten für gebrauchte Schafwolle-Dämmprodukte gibt es derzeit?

Einerseits ist der direkte Wiedereinbau problemlos möglich, andererseits ist die Rückführung des Dämmstoffes an uns eine Möglichkeit, damit wir diesen wieder direkt in den Produktionsprozess einbringen können.

Verwenden sie derzeit Recyclingmaterial von Schafwolle-Dämmstoffen in der Herstellung?

Nein. Also wir verwenden natürlich jene Dämmstoffabfälle, die im Zuge der Produktion entstehen wie Randabschnitte und dergleichen. Aber das ist für mich kein Recyclingmaterial im eigentlichen Sinn. Gebrauchte Dämmwolle, die in Verwendung war, setzen wir derzeit keine ein. Die gibt es ja noch nicht wirklich. Jene Anteile unserer Produkte, die als Abfall oder als Verschnitt auf der Baustelle anfallen und nicht eingebaut werden, werden einer Kompostierung zugeführt.

Wie hoch dürfte eine Verunreinigung von gebrauchtem Material sein, damit sie es in den Prozess einbinden könnten?

Staub und Holzspäne oder dergleichen wären kein Problem. Grobe Störstoffe wie Metalle oder dergleichen wären natürlich für die Maschinen ein Problem. Sofern die Verunreinigungen nicht zu stark sind könnten diese bestimmt im Zuge der Aufbereitung der Wolle für die Auffaserung entfernt werden.

Welche Voraussetzungen müssen ihrer Meinung nach gegeben sein, damit ein erfolgreiches Recycling für Dämmprodukte aus Schafwolle möglich sein wird?

Ja natürlich die Reinheit des ausgebauten Dämmstoffes, sodass dieser möglichst frei von anderen Baumaterialien wie Kleber oder Ziegel oder dergleichen ist. Und das ist meiner Meinung nach schon alles. Das Material würde dann in Säcke gestopft und mit LKWs zu uns transportiert werden, wo wir sicher einen eigenen Wareneingang zur Eingangskontrolle machen würden. Da brauchen wir denke ich kein übergeordnetes Erfassungs- oder Recyclingsystem.

Wie schätzen sie den möglichen Anteil von Recyclingwolle an ihrem Produkt ein? Was wäre die maximale Beimischungsmenge?

Ein Produkt, das zu 100 % aus Recyclingmaterial besteht, ist sicher nicht möglich. Realistisch ist eine Beimischung um die 10 %.

B 1.4: Hr. ZLABINGER K., Qualitätssicherung SAINT-GOBAIN-ISOVER Austria GmbH, geführt am 19.12.12

Wie sehen die derzeitigen Recyclingmöglichkeiten für Glaswolle und für Thermohanf in ihrem Betrieb aus?

Es gibt keine. Die Begründung dafür ist, dass die Logistik nicht lösbar ist. Sie ist zu teuer und sowohl ökonomisch als auch ökologisch nicht sinnvoll. Wir haben zu diesem Thema eine vom Forschungsförderungsfond geförderte Studie gemeinsam mit dem IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie) durchgeführt. Die wurde zwar aufgrund von Änderungen in den Fördermodalitäten abgebrochen. Dies geschah jedoch zu einem Zeitpunkt, wo wir schon wussten, dass es keinen Sinn macht sowohl Dämmstoffe, die auf Baustellen als Verschnitt anfallen, oder gebrauchte, die beim Rückbau von Gebäuden getrennt erfasst werden, wiederzuverwerten.

Untersuchte diese Studie auch mögliche Potentiale für die Zukunft?

Das ist mal der heutige Stand. Aber ich glaube persönlich, dass sich die logistischen Probleme in der Zukunft nicht großartig ändern lassen. Die Frage ist immer ob ich den Dämmstoff, egal welcher eigentlich, mit vertretbarem Aufwand rückbauen und einsammeln kann. Der Dämmstoff müsste dafür gereinigt und komprimiert werden, am besten vor Ort natürlich. Also ich müsste im Prinzip ein Fahrzeug haben, mit dem ich vor Ort das Produkt reinigen und komprimieren kann. Das ist aus ökonomischer und ökologischer Sicht nicht sinnvoll, weil die Umweltbelastungen durch den Transport und die damit verbundenen Kosten so hoch sind, dass das nie jemanden interessieren wird.

Die Firma ROCKWOOL hat so etwas vor vielen Jahren einmal gemacht, das war noch zu Zeiten der deutschen Mark. Die haben jeden Reststoff von Rockwool-Produkten zurückgenommen, wenn das Produkt frei-Werkstor geliefert und der Kunde zusätzlich 500 - 600 Mark/Tonne bezahlte. Da war die Deponierung die viel günstigere Variante.

Welche Möglichkeiten zur Wiederverwertung von Mineralwolle gibt es sonst, wenn das stoffliche Recycling keine Option ist?

Zum Beispiel als Zuschlagsstoff in der Asphaltherstellung, ist jedoch auch wieder eine Frage der Logistikkosten. Außerdem muss man ja sagen, dass die Deponieverordnung 2008 ja ausdrücklich die Deponierung von Baurestmassen regelt und Mineralwolle-Produkte problemlos auf Baurestmassen- und Massendeponien deponiert werden können. Und bei Thermohanf bleibt die thermische Verwertung. Durch den kalorischen Beitrag denke ich ist das sicher ein gern gesehenes Material in der Müllverbrennungsanlage.

B 1.5: Hr. HOFMANN D., Firma Steinbacher, Produktmanager, geführt am 16.1.13

Wie sehen die Recyclingmöglichkeiten für gebrauchte PUR - Dämmstoffe in Österreich aus?

Reststoffe aus PUR/PIR-Dämmplatten können sortenrein gehäckselt und zu einer Pressplatte, ähnlich einer Spanplatte, verarbeitet werden. Pressplatten dieser Art finden unter anderem z.B. Verwendung im Fenster-, Schiff- oder Küchenbau. Dem eigentlichen Produktionsprozess können PUR/PIR-Schnittreste nicht zugegeben werden.

Werden für die Herstellung dieser Platten vorwiegend Produktionsabfälle verwendet oder auch gebrauchte PUR-Dämmstoffe?

Zum jetzigen Zeitpunkt sind dies in erster Linie Produktionsabfälle. Auch Reststoffe von Baustellen können verwendet werden, sind diese nicht sortenrein leidet die Qualität der Pressplatte.

Wie schätzen sie die Verfügbarkeit von gebrauchten PUR-Dämmstoffen mit entsprechender Qualität in der Zukunft ein?

PUR/PIR-Dämmungen werden vorwiegend als Aufsparrendämmung eingebaut. Dämmungen dieser Art werden nur mittels Schrauben in den Sparren befestigt und können somit rückstandsfrei rückgebaut und direkt der Pressplattenproduktion zugeführt werden. Die Lebensdauer von PUR/PIR-Dämmplatten liegt weit über 25 Jahre, ausgebaute Produkte sind aktuell nur vereinzelt verfügbar.

Wie groß ist die Nachfrage nach den recycelten Pressplatten?

Auf Grund der vielseitigen Anwendungsbereiche kann die Nachfrage als gut bezeichnet werden. Mit Zunahme der Anbieter wird diese mit Sicherheit steigen.

Ist die Beimischung von PUR bei der Herstellung von Leichtbeton oder Leichtmörtel eine Möglichkeit zum stofflichen Recycling, die derzeit in Österreich genutzt wird?

Nein.

B 1.6: Hr. STRECHER M., Firma Rockwool, Gebietsleiter und technischer Service, geführt am 8.1.2013

Wie sehen die derzeitigen Recyclingmöglichkeiten für Steinwolle in Österreich aus?

Grundsätzlich besteht in unseren Werken die Möglichkeit, unverschmutzte Restmaterialien abzugeben. Diese werden im Häckselverfahren zerkleinert und unter Zugabe von Wasser und Zement zu Würfeln gepresst, die dann wieder der Schmelze zugeführt werden. Unsere Produktionsabfälle werden auf dieselbe Weise wieder in den Kreislauf zurückgeführt. Eine weitere Möglichkeit für stoffliches Recycling besteht insofern, dass man Steinwolle verflockt. Dabei wird ein Granulat hergestellt, das dann als Einblasdämmung verwendet wird. Wir machen das aber nicht, wir führen unsere Produktionsabfälle und die angelieferten Materialien wieder in den Produktionskreislauf zu.

Woher bekommen sie das Recyclingmaterial, das sie in ihren Anlagen verwendet wird?

Das Material muss vom Kunden zum Werk gebracht werden. Eine Abholung von Baustellen vor Ort oder dergleichen wird von uns nicht durchgeführt. Die Annahme des Materials ist dann kostenfrei, sprich wir bezahlen nichts für das Material und der Rückgeber muss den Transport selbst organisieren, beziehungsweise durchführen.

Wie hoch ist der derzeitige Einsatz von Recyclingmaterialien?

Den Anteil solcher gebrauchter Materialien würde ich auf 3 – 5 % schätzen. Dies trifft jedoch auf Deutschland zu. In Österreich betreiben wir kein Produktionswerk. Das nächste Werk zu Österreich liegt in Neuburg an der Donau. Aus logistischer Sicht ist es nicht sinnvoll, Recyclingmaterial aus Österreich über solche Strecken zu befördern.

Wie sehen die Anforderungen an die Reinheit des Materials aus, damit sie es verwenden können? Welche Verschmutzungen sind dabei besonders hinderlich für den Einsatz des Recyclingmaterials?

Staub oder dergleichen wird bei der Schmelze vernichtet und stellt kein Problem dar. Beschichtungen oder Fassadenputz können wir jedoch nicht einsetzen. Bei Fassadenplatten zum Beispiel müsste dies dann vorher entfernt werden. Verschmutzungen durch Teerplatten von Flachdächern oder andere Teerverunreinigungen an Dämmmaterialien können wir auch nicht verwerten und müssten vorher aussortiert werden.

Welche Veränderungen wären notwendig, damit Steinwolle in der Zukunft auch in Österreich einem Recycling zugeführt werden könnte?

Grundsätzlich ist alles eine Frage der Finanzierung. Diese Ideen sind ja nicht neu, dass man Dämmstoffe recyceln könnte. Aber dadurch, dass allgemein Dämmstoffe aus Mineralwollen als Bauschutt deponiert werden können und nicht als Problemstoffe entsorgt werden müssen, ist ein Recycling derzeit auch nicht im großen Umfang durchführbar, denn die nächste Bauschuttdeponie ist immer näher als das nächste Werk.

B 1.7: Hr. ZOTT, Leiter Abteilung Forschung und Entwicklung Firma RÖFIX, geführt am 23.1.2013

Welche Recyclingmöglichkeiten für Kork und Holzfaserdämmstoffe gibt es in Österreich?

Diese Produkte werden nicht von uns erzeugt, sondern wir werden damit beliefert und geben das dann an den Kunden weiter. Wir verkaufen WDVS, bei denen wir nicht alle Komponenten selbst herstellen. Es gibt bei uns also nicht die Möglichkeiten Recyclingmaterial aus Kork oder Holzfasern zu verarbeiten. Bei EPS-Dämmung ist es anders. Da setzen wir schon aufbereitetes Recyclingmaterial ein, das wir jedoch nicht selbst aufbereiten. Das kann aus allen möglichen Quellen stammen, nicht nur aus der Dämmindustrie. Dieses Material wird aber auch nicht zur Erzeugung von Dämmplatten verwendet. Mit diesem EPS - Material erzeugen wir andere Produkte wie Bodendämmung oder Leichtputz.

Können sie aufbereiteten Kork oder Holzfaser-Material in diesen Bereichen einsetzen?

Gäbe es einen Hersteller, der uns geschredderten, unbehandelten expandierten Naturkork liefert, dann könnten wir dieses Material einsetzen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist mir aber niemand bekannt, der das anbietet. Bei Holzfasern bin ich mir nicht sicher, ob das möglich ist. Da denke ich ist es besser, dieses Material aufgrund der Wasseraufnahme thermisch zu verwerten. Die Platten sind zwar hydrophobiert, aber meist nur einseitig und haben dadurch oft eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit. Das könnte dann schwierig sein beim Recyclingmaterial. Ich denke eine Möglichkeit wäre der Einsatz als Einblasdämmstoff, wenn die Holzfasern zuvor mit einem Brandschutzmittel behandelt würden. Also bei unseren Produkten sehe ich nicht so die Anwendungsmöglichkeiten, vermutlich eher bei anderen Dämmwendungen.

Von wo beziehen sie ihre Dämmplatten?

Korkplatten kommen aus Spanien. Für Korkplatten kenne ich eigentlich keinen Hersteller aus dem deutschsprachigen Raum. Holzfaserplatten beziehen wir von der Firma Steico aus Deutschland.

B 1.8: Hr. FEURER L., Firma STO Austria, Technischer Innendienst, Standort Wien, geführt am 21.1.2013

Gibt es für Mineralschaumplatten derzeit eine Recyclingmöglichkeit in Österreich?

Nein, nicht wirklich. Die Platten können wie Bauschutt deponiert werden. Theoretisch möglich wäre es schon. Das ist aber im Moment bei den zur Verfügung stehenden Mengen zu teuer.

Setzen sie in ihrem Betrieb Dämmstoffabfälle bei der Produktion von Mineralschaumplatten ein?

Nein. Produktionsverschnitte und dergleichen wird schon eingesetzt, aber keine gebrauchten Platten.

Denken sie, dass in naher Zukunft jene Mengen zur Verfügung stehen werden, damit ein stoffliches Recycling ökonomisch effizient durchgeführt werden kann?

Solange Styropor, also EPS und XPS, so billig ist wie jetzt sicher nicht.

B 2: Telefonate mit Entsorgerfirmen

B 2.1: Fr. HEGGENBERGER M., Firma AVE Österreich GmbH, Ansprechperson für Wien und Burgenland; geführt am 18.12.12:

Wie fallen Dämmstoffe bei ihnen vorwiegend an?

Grundsätzlich werden Dämmstoffe, dabei handelt es sich meist um Styropor-Platten, bei uns als Sperrmüll gehandhabt. Dieses Material wird verbrannt.

Wie übernehmen sie Dämmstoffe in der Regel? Erhalten sie diese sortenrein oder im Baustellenmix?

Nein die Dämmstoffe sind in den vermischten Baustellenabfällen enthalten. Außer es ist von einer Produktionsfirma, dann dürfen wir das auch offiziell als reines Material annehmen. Aber im Normalfall bekommen wir es in den Baustellenabfällen und da wird es dann gemeinsam mit den anhaftenden Verklebungen und den Putzrückständen entsorgt.

Werden die Baustellenabfälle noch einer Sortierung unterzogen oder werden diese direkt thermisch verwertet?

Ja es wird versucht so weit wie möglich zu sortieren, aber sofern diese zu stark verklebt sind oder verschmutzt wird die Restfraktion als Sperrmüll entsorgt.

Ist es ihnen möglich gewisse Dämmstoffmengen auch als Ersatzbrennstoffe zu verkaufen?

Das ist nur möglich, wenn wir eben unverschmutztes sortenreines Material von einer Dämmfirma oder von Produzenten bekommen. Hier muss es sich dann natürlich auch um entsprechende Mengen handeln. Das kommt aber äußerst selten vor.

Und haben sie auch Dämmstoffe, die sie einem Recycling zuführen können?

Ja wenn es sich um eine gewisse Menge handelt, dass sich das rentiert und das Material sauber ist.

Und wohin geht das Material dann?

Das geht dann wieder in die Dämmstoffindustrie.

B 2.2: Hr. LEDERSTEGER, Firma Saubermacher, Stoffstrommanager für nicht gefährliche Abfälle, geführt am 19.12.12

In welcher Form werden Dämmstoffe in ihrem Betrieb hauptsächlich angeliefert und wie hoch ist das Aufkommen?

Dämmstoffe kommen hauptsächlich in Baustellenabfällen vor. Sortenrein ist mir jetzt nicht bekannt, dass das regelmäßig auftritt, aber kommt sicher auch hier und da mal vor. Das ist aber nicht die Regel. Große Stoffflüsse sind mir nicht bekannt.

Wie werden Baustellenabfälle bei ihnen aufbereitet?

Wir versuchen natürlich die Wertstoffe, die enthalten sind und die wir verwerten können, herauszuholen. Holz ist da ein gutes Beispiel. Betrachtet man die Dämmstoffe ist die Materialzusammensetzung doch meist so, dass man diese Materialien nicht stofflich verwerten kann. Bei manchen Lieferungen ist es schon so, dass man Dämmstoffe, zum Beispiel EPS, in größeren Mengen sortenrein und sauber erfassen kann. Dieses Material geben wir dann zur Seite. Aber in der Regel ist der Verschmutzungsgrad zu hoch, um es stofflich verwerten zu können.

Wie hoch ist die Nachfrage nach sortenreinem Dämmmaterial?

Ich hatte zwei oder dreimal solch einen Anfrage nach sortenreinem EPS für die Dämmstoffindustrie. Ich konnte damals aber keine entsprechenden Mengen an geeignetem Material zusammenstellen, weil die Verschmutzung des Materials durch diverse Kleber und mineralischen Bestandteile zu hoch war. Die Qualitätsanforderungen konnten nicht erreicht werden. Wir bekommen die Baustellenabfälle in Mulden, wo verschiedenste Materialien zusammengeworfen wurden, und da dann bestimmte Materialien auszusortieren, die sauber sind und wo man genau weiß, was das ist, ist de facto dann nicht mehr möglich. Manche Sachen schauen gleich aus, sind vom stofflichen her aber verschieden.

Wo wir EPS regelmäßig verkaufen ist in Richtung Bau- u. Baustoffindustrie. XPS ebenfalls, wenn möglich. XPS kann ev. FCKW enthalten, das muss vorher ausgeschlossen werden. Der Einsatz von PUR war in diesem Zusammenhang für uns bisher kein Thema, auch Mineralwollen nicht.

Wie hoch kann oder darf der Dämmstoff verschmutzt sein, damit er noch stofflich verwertet werden kann?

Polystyrol für die Dämmstoffindustrie darf zum Beispiel überhaupt keine Verschmutzung aufweisen. Das muss wirklich sauber und sortenrein vorliegen. Sobald die Dämmplatten in irgendeiner Form mit Kleber oder Bauschutt oder anderen Materialien verunreinigt sind ist dieses Material definitiv nicht verwertbar und kann nur noch verbrannt werden. Auch beim Material für die Bau- und Baustoffindustrie können wir nur sortenreine und saubere Fraktionen verkaufen, weil diese anschließend in einer Styropormühle gemahlen werden, die keine mineralischen Stoffe verträgt. Außerdem ist Bauschutt schwer u. EPS sehr leicht. Niemand zahlt für Bauschutt EPS-Preise.

Gibt es noch andere Hinderungsgründe außer die Verschmutzung, die derzeit ein erfolgreiches Dämmstoffrecycling verhindern?

Die verfügbaren qualitativ geeigneten Mengen müssen mehr werden und es muss genau bekannt sein, welcher Stoff das ist. Ein erfolgreiches technisches Recycling funktioniert nur wenn ich

- das Material zu 100 % sortenrein vorliegen habe,
- das Material zu 100 % problem- und störstofffrei vorliegen habe,
- und mir genau bekannt ist, um welchen Stoff es sich handelt.

Sind diese drei Kriterien gegeben, kann ich die Materialien stofflich verwerten. Sobald nur eines nicht erfüllt ist, wird es schon sehr schwierig bis unmöglich. Es gibt natürlich Ausnahmen bei Prozessen, wo man im Nachhinein bestimmte Stoffe abtrennen kann. Diese sind aber meist sehr aufwendig und rentieren sich nur dann, wenn sehr große Mengen damit verbunden sind. Andere Stoffe wie Polyurethan sind gar nicht wirklich stofflich verwertbar. Bei Dämmstoffen aus Kunststoffen können nur Thermoplaste stofflich verwertet werden. Polyurethan hat die Eigenschaft, dass es zerfällt bevor es eingeschmolzen werden kann. PUR-Dämmstoffe sind also definitiv nicht stofflich verwertbar und müssen verbrannt werden. Es gibt natürlich Möglichkeiten, bei denen der Stoff zermahlen und dann als Füllmaterial verwendet wird, nur das ist meiner Meinung nach keine echte Verwertung.

Damit kommen eigentlich nur Produktionsrückstände oder Verschnitte beim Neubau in Frage für Recyclingprozesse?

Diese Stoffströme natürlich. Aber es ist auch durchaus denkbar, dass der Rückbau so sorgfältig betrieben wird, dass das Material in dieser Qualität gewonnen werden kann. Das würde aber voraussetzen, dass auf der Baustelle sorgfältiger gearbeitet wird. Zum Beispiel, dass beim Rückbau von Dämmstoffen jene Dämmstoffteile, die stark verunreinigt sind, abgetrennt und die sauberen und sortenreinen Anteile entsprechend gelagert werden, damit diese nicht noch nachträglich verschmutzt werden. Aber zurzeit wird eben nicht dementsprechend gearbeitet, weil man es nicht muss. Solange vom Gesetzgeber der ökologische oder der verwertungsorientierte Abbruch nicht verpflichtend vorgeschrieben wird und der bestraft wird, der nicht-ökologisch rückbaut, wird jeder das machen, was am billigsten ist. Und da müsste der Gesetzgeber mittels Steuern oder anderen Maßnahmen lenkend eingreifen.

Wenn sie die Dämmstoffe nicht stofflich verwerten können werden sie verbrannt. Können sie auch bestimmte Dämmstofffraktionen als Ersatzbrennstoffe verkaufen oder gehen die Materialien grundsätzlich in die Abfallverbrennung?

Ein Problem ist dabei, dass die Dämmstoffe sehr leicht sind und ich damit einen großen Transportaufwand für relativ geringe Mengen betreiben muss. Wenn wir von EPS sprechen, das insoweit verschmutzt ist, dass ich es nicht stofflich verwerten kann, dann muss ich es verbrennen. Ich kann schon eine Brennstoffproduktion damit betreiben, muss dann aber abwägen, wie weit ich das Material dafür transportieren muss. Es ist also wichtig, dass die Verwertung in einem räumlich geringen Umfeld geschieht, wo geringe Transportwege anfallen. Ansonsten ist es dann unter Umständen besser, wenn ich es nicht thermisch verwerte und woanders als Abfall verbrenne.

Wie hoch darf das Material verschmutzt sein, wenn sie es als Ersatzbrennstoff verwerten wollen?

Verunreinigungen von ein paar Prozent sind hier kein Problem. Verunreinigungen ab einem größeren Ausmaß wie 20-30 % können dann schon zum Problem bei der Ersatzbrennstoffproduktion werden. Ab einem gewissen Punkt rentiert sich nämlich auch der Sortierprozess bei dieser Aufbereitung nicht mehr und ab diesem Zeitpunkt stellt dann auch wieder die klassische Müllverbrennung den besseren Schritt dar.

Wie sieht das Aufkommen an Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen in ihrem Betrieb aus?

Mit solchen Dämmstoffen bin ich überhaupt noch nie in Berührung gekommen.

B 2.3: Hr. WIESER M., Firma Ökotechna Entsorgungs- und Umwelttechnik GmbH, Bereichsleitung Deponie/Recycling Perchtoldsdorf, geführt am 21.1.2013

In welchen Abfallfraktionen werden Dämmstoffe bei ihnen in der Regel angeliefert?

EPS ist in der Regel meist in den Baustellenabfällen vermischt, also liegt nicht sortenrein vor und ist auch meist verschmutzt. Dämmwolle kommt aber doch manchmal in sortenreiner Form zu uns.

Können sie eine ungefähre Menge abschätzen, wie groß das Aufkommen von Dämmstoffen in ihrem Betrieb pro Jahr ist?

Bei den Dämmstoffen, die in Baustellenabfällen vermischt sind, ist dies nicht möglich. Das wird bei uns nicht eigens erfasst. Aber es ist mir jetzt nicht bewusst, dass die Mengen sonderlich hoch wären. Bei sortenreiner Mineralwolle kann ich ihnen jedoch schon das Aufkommen im letzten Jahr sagen. Von diesem Material wurden letztes Jahr 124 Tonnen auf der Baurestmassendeponie abgelagert. Dies ist aber natürlich nur ein kleiner Teil der Dämmstoffmengen, die wir erhalten.

Wie werden Baustellenabfälle auf ihrer Anlage weiterbehandelt?

Die Baustellenabfälle werden bei uns sortiert und Wertstoffe wie z.B. Holz und Kunststoffe, etc. werden herausgeholt. Der mineralische Anteil wird so gut als möglich abgetrennt. Der Rest wird dann thermisch verwertet.

Geben sie Dämmstoffe an Ersatzbrennstoffhersteller ab?

In reiner Form nicht. Dieses Material geht komplett in die Müllverbrennung.

Können sie Dämmstofffraktionen einem Abnehmer für stoffliches Recycling übergeben?

Nein, bei Dämmmaterial gibt es meines Wissens nach bis jetzt kein stoffliches Recycling bei uns, außer ev. Hersteller selbst mit sortenreinen Produktionsabfällen.

B 3: Telefonate mit Ersatzbrennstoffhersteller

B 3.1: Hr. FRIESSER M., Firma ThermoTeam, Produktionsanlagenleiter, geführt am 21.1.2013

Setzen sie Abfälle aus Dämmmaterialien als Inputmaterial bei der Ersatzbrennstoffherstellung ein?

Wir verwenden nur vorsortierte Ware der Firma Saubermacher, und da können natürlich geringe Mengen an Dämmstoffen enthalten sein. Was ich aber aufgrund von Sichtkontrollen an den Ballen und am losen Material sagen kann, handelt es sich dabei um geringe Mengen.

Von welchem Ausgangsmaterial werden ihre Inputfraktionen zusammengestellt?

Einerseits aufbereitete Baustellenabfälle. Das sind thermische verwertbare Abfälle, welche als EBS laut AVV eingesetzt werden dürfen. Das Material wurde schon vorzerkleinert und über einen Metallabscheider, eine Siebanlage und eine Windsichtung geschickt. Dann verwenden wir viele Abfälle von Produktionsbetrieben, die Abfälle getrennt für die thermische Verwertung sortieren. Dabei handelt es sich um Verpackungsmaterial von vakuumverpackten Produkten, die aufgrund ihrer Verunreinigung thermisch verwertet werden müssen. Dies sind also Fraktionen, welche stofflich nicht verwertet werden können, bzw Verbundstoffe, oder verunreinigte Materialien. Dämmstoffe sortenrein sind bei uns überhaupt kein Thema. In Dämmstoffen sind teilweise auch Flammschutzmittel eingesetzt und haben als EBS keinen Sinn.

Sind Dämmstoffe wie EPS oder PUR aufgrund ihres hohen Heizwertes eine Fraktion, die für sie in Zukunft interessant werden?

EPS wird grundsätzlich wieder recycelt und der Lebenszyklus dadurch verlängert, zum Beispiel als Schüttmaterial für Estriche, im Leichtbetonbau usw. Für uns selbst ist dieses Material vielleicht nicht so interessant, aber für die Vorsortierung kann ich mir das gut vorstellen. Für die Shredder - Anlage stellen sie bestimmt kein Problem dar und der Stoffstrom ist aufgrund seines hohen Heizwertes natürlich interessant zum Optimieren des Heizwertes. Vorsichtig muss man bei verunreinigten Fraktionen sein. Um die Vorgaben der Zementwerke zu erfüllen wurde eine Stör- und Wertstoffausschleusung installiert. Somit können wir qualitätsgesicherten EBS an die Zementindustrie liefern. Grundsätzlich müsste man diese Fraktionen aber vorher ausprobieren, ob sie geeignet sind.

B 3.2: Fr. LUDWIG, Firma Amand Umwelttechnik Lockwitz GmbH & Co.KG, Dresden, geführt am 18.2.2013

Wie setzt sich das Inputmaterial für ihre Anlage zur Sekundärbrennstoffherstellung zusammen?

Wir verarbeiten in unserer Anlage nur reine Gewerbeabfälle, also keinen Hausmüll. 40 – 50 % des Materials sind Baumischabfälle. In etwa die gleiche Menge stellen Sortierabfälle aus anderen Anlagen, die nicht über diese Aufbereitungstiefe verfügen wie unsere Anlagen. Der Rest des Inputmaterials umfasst Sperrmüll und Siedlungsabfälle aus dem gewerblichen Bereich, wie zum Beispiel die Mülltonne von der Tankstelle oder dergleichen.

Wenn sie den Anteil der Baumischabfälle betrachten – wie hoch schätzen sie den Anteil der Dämmstoffe daran ein?

Die Anteile schwanken je nach Anlieferung, ich denke die Schwankungsbreite liegt von 0 – 30 %. Gesamt betrachtet würde ich 5 % schätzen. Diese Dämmstoffe setzen sich aus Styropor und aus gelblicher Mineralwolle, also Glaswolle, zusammen.

Wird Glaswolle im Zuge der Aufbereitung aussortiert?

Nein, das wird nicht aussortiert. In der Regel ist das Material bei der Anlieferung schon sehr stark mit dem restlichen Müll vermischt und lässt sich nicht trennen.

Sie haben im Vorgespräch erwähnt, dass sie keine sortenreinen Dämmstofffraktionen verarbeiten. Ist dies eine Möglichkeit für die Zukunft?

„Sortenreines“ Dämmmaterial haben wir zumeist nur in Verbindung mit Dachpappe. Dabei handelt es sich um mit Bitumen bestrichene Styropor-Platten. Das Material ist also mit teerhaltigen Anhaftungen versehen. Diese Fraktionen werden dann von uns nach der Aufbereitung beigemischt. Wir haben also

die Möglichkeiten, solche Materialien vor Ort mit einem extra Shredder aufzubereiten und dann dem Brennstoffmaterial beizumischen.

Wie hoch darf die Verunreinigung des Inputmaterials mit mineralischen Bausubstanzen sein?

Dadurch, dass es sich bei unseren Brennstoffen grundsätzlich um ein Mischprodukt handelt, spielt die mineralische Verunreinigung keine so große Rolle. Wenn ich angenommen eine Fraktion von Dämmstoffabfällen extra beimengen möchte sollte die mineralische Verunreinigung nahe null sein. Fahre ich mit dem Material über die gesamte Anlage, die dafür ausgelegt ist Baumischabfälle mit mineralischen Anteilen zu verarbeiten, gibt es keine Probleme.

Welche negativen Auswirkungen ziehen mineralische Verunreinigungen beim Brennstoffprodukt nach sich?

Die negativen Auswirkungen liegen weniger beim Endprodukt als bei der Durchsatzmenge unserer Anlage. Die mineralischen Anhaftungen werden von der Anlagentechnik sicher aussortiert. Der in der Regel schwerere mineralische Anteil steigert den nominellen Durchsatz der Anlage. Bei einigen Klebern ist mir bekannt, dass diese sehr viel Chlor enthalten, jedoch gesamt gesehen ist diese Menge relativ wenig, sodass diese kein Problem darstellen. Bei PU-Schäumen gibt es jedoch einige Produkte, die einen sehr hohen Chlorgehalt aufweisen, der uns dann auch schaden kann. Diese Materialien werden von uns versucht auszusortieren. Jedoch kann ich derzeit nicht sagen, ob in heutigen Materialien der Chlorgehalt auch so hoch ist.

Sind auch andere Dämmmaterialien aufgrund ihrer Inhaltsstoffe problematisch, zum Beispiel hinsichtlich Schwermetallgehalte?

Wir arbeiten jetzt seit 7 Jahren in diesem Bereich mit dieser Anlage und diesen Materialien. Bei uns ist es so, dass Schwermetalle in der Regel eine untergeordnete Rolle spielen. Natürlich gibt es mal einen hohen Wert, wo reagiert werden muss. Aber in aller Regel stehen bei uns der Chlorgehalt und der Heizwert im Mittelpunkt.

Wie sehen sie die Entwicklung in den nächsten Jahren bezüglich Dämmstoffmengen in ihrer Anlage?

Bei den vorhin angesprochenen PU-Schäumen denke ich schon, dass neuere Materialien einen deutlich geringeren Chlorgehalt aufweisen. Hinsichtlich der Mineralwollen sehe ich weniger ein Problem hinsichtlich der Brennstoffqualität, sondern vermehrt beim Arbeiterschutz. Alte Mineralwolle wird ja als krebserzeugend eingestuft. In den letzten 5 Jahren zumindest habe ich aber hier keine Tendenz gesehen, dass es mehr oder weniger werden würde.

B 4: Persönliche Leitfaden – Interviews

B 4.1: Hr. GLAVAS, Geschäftsführer von Prajo-Böhm Recycling GmbH, Himberg, geführt am 6.12.12

Seit wann besteht die Recyclinganlage in Himberg?

Der Standort besteht seit 1961, er hat sich dann sukzessive entwickelt. Früher war das nicht unbedingt der Renner, es gab viele Deponien, die Deponiekosten waren geringer und auch der ALSAG war nicht in diesem Ausmaß ein Thema als er es heute ist. Also ich bin überzeugt, dass der Standort früher nicht

gewinnbringend war. Vor zirka 15 Jahren kaufte dann die Firma Böhm die ganze Anlage und wir haben sie dann 2007 von der Firma Böhm gekauft und übernommen.

Über welche Jahreskapazität verfügt ihre Anlage und wie sieht die derzeitige Auslastung aus?

Grundsätzlich hätten wir die Möglichkeit mit zwei Sortierstraßen zu fahren, weil wir hier zwei besitzen, eine davon ist aber schon seit längerer Zeit nicht aktiv, weil die eine ausreichend ist für uns. Mit zwei Sortierstraßen und im Schichtbetrieb hätte die Anlage eine Kapazität von knapp 1 Mio. Tonnen pro Jahr. Diese erreichen wir bei weitem nicht. Seit wir das Werk haben fahren wir mit einem Band und einer Schicht, wo es bei Mengenspitzen immer wieder mal zu Überstunden kommen kann. Die Outputmenge lag letztes Jahr bei knapp 390.000 Tonnen.

Verarbeiten sie nur Baurestmassen aus Abbrüchen der Firma Prajo und Partner oder ist das Werk offen für alle Anlieferer?

Bis vor zwei Jahren waren wir eher geschlossen für Prajo tätig. Das haben wir dann geändert, weil wir uns nicht sicher waren, ob wir diese Mengen auch weiterhin bekommen, die wir benötigen. Also das Werk ist offen, der Großteil des Inputmaterials, also um die 90 % in etwa, stammt jedoch von Prajo, der Rest von anderen Quellen.

Welche Fraktionen von Baurestmassen bereiten sie hier auf?

Im Endeffekt gibt es bei uns zwei Hauptprodukte: Ziegel und Beton, heißt rote und grüne Schiene. Natürlich gibt es auch in geringen Mengen Asphalt, jedoch die anderen zwei sind definitiv jene Produkte, wo wir unser Geschäft machen. Die anderen Fraktionen kommen auch vor, sind aber mengenmäßig zu vernachlässigen.

Nehmen sie in ihrer Anlage auch Baustellenmischabfälle an?

Zum Teil ja, wenn dann aber nur von eigenen Baustellen. Wir vermeiden das, weil für uns einfach zu wenig Material dabei ist, das wir wiederverwerten können. Dieses Material müssen wir dann auch auf die Deponie bringen und die Kosten kommen dann wieder zu uns zurück.

Welche Recyclingprodukte werden in ihrer Anlage hergestellt?

Also es gibt einmal im Ziegelbereich Produkte für die Betonerzeugung, dann Ziegelprodukte für Hinterfüllungen und das hochwertigste was wir hier eigentlich produzieren ist Ziegelsplitt. Der wird für die Substratherstellung verwendet und wird zum Beispiel dazu verwendet die Dächer von Wien zu begrünen. Das ist unser Produkt. Betonprodukte werden klassisch im Straßenbau, zum Hinterfüllen und dergleichen verwendet. Was jetzt seit kurzem beginnt ist auch der Einbau solcher Recyclingprodukte direkt wieder in die Betonproduktion. Das hat sich vor allem in den letzten zwei Monaten sehr stark entwickelt.

Werden ihre Produkte dann hauptsächlich wieder im Firmenverband eingesetzt oder bieten sie diese am freien Markt an?

Das ist genau die Kehrseite zum Inputmaterial. Die Verteilung des Absatzes liegt da zu über 90 % bei externen Abnehmern.

Beschreiben sie kurz schemenhaft den Ablauf ihrer Aufbereitungsanlage

Also das Material wird aufgegeben, wird entsprechend ausgesiebt, um Erd- und Feianteile gleich auszusortieren. Das Material geht zum Teil über ein Wasserbad, wo schwimmende Teile

herausgenommen werden. Dann kommt es über einen Magnetabscheider auf die Sortierstraße, wo alle anderen Metalle, die nicht mit dem Magnetabscheider entfernt wurden, und andere Störstoffe händisch entfernt werden. Die Sortierung erfolgt da je nachdem was man gerade produziert. Wenn ich RMH produziere darf ich Ziegel und Beton dabei haben, wenn ich aber RZ, also Ziegel rein, produziere, darf auch kein Beton dabei sein. Da muss man dann alles entfernen was nicht reiner Ziegel ist. Je verunreinigter das Material ist, desto langsamer fährt dann die Sortierstraße. Sprich je besser das Material auf der Baustelle aufbereitet ist desto schneller geht auch die Aufbereitung. Das Material kommt danach in einen Brecher, nach dem Brechvorgang kommt noch einmal ein Magnetabscheider, falls im Zuge des Brechens noch Metall zum Vorschein gekommen ist. Danach geht es über eine Absaugung, wo der Staub entfernt wird und dann geht es über Siebe, wo man danach dann das fertige Produkt im Bunker hat.

Welche Recyclingquoten können sie mit ihrer Anlage erreichen?

Das ist sehr abhängig vom Ausgangsmaterial. Wir hatten schon von Baustellen reinen Ziegelabbruch, da erreicht man beinahe 100 %. Der Rest bewegt sich zwischen 90 % und 70 % wenn ich ein reines Produkt herstelle. Bei der Herstellung von RMH kommen wir auch auf jeden Fall über 90 %.

Sie haben gesagt es kommen über 90 % des Inputmaterials aus dem Prajo - Konzern. Gibt es konzernintern bestimmte Richtlinien, wie anfallende Baurestmassen zu trennen sind und falls ja - wie gut werden diese umgesetzt?

Ja es gibt einerseits offizielle Normen, Vorgaben wie ein Abbruch zu erfolgen hat. Es gibt auch Vorgaben von uns in Form von Broschüren für die Mitarbeiter. Aber vor allem im Innenabbruchbereich ist es schwierig. Die Helfer stemmen oft drauf los ohne darüber nachzudenken, aber dafür ist dann ein Polier da oder der Bauleiter, dass er darauf schaut, dass die Leute entsprechend instruiert werden. Im Nachhinein wird es dann natürlich schwieriger mit der Aussortierung. Bei manchen Materialien, die im Anschluss sowieso auf die Deponie kommen macht es natürlich wenig Sinn, diese zuerst zu trennen und dann wieder gemeinsam auf die Deponie zu transportieren. Aber das Bemühen unsererseits ist da, denn es macht auch keinen Sinn das Material zuerst zu uns zu transportieren, und es dann später wieder abzuführen, weil es nicht verwertbar ist. Wir versuchen da immer wieder die Leute zu sensibilisieren und haben auch wiederholt den Leuten gezeigt: Das hier ist der Ausgangsstoff, und das ist das Produkt was wir verkaufen wollen, und wir können das nur in einer entsprechenden Qualität verkaufen. Wenn auf der Baustelle nicht die entsprechende Arbeit vorgeleistet wird können wir machen was wir wollen, wir werden diese Qualität nicht erreichen können, die wir uns wünschen.

Welche Fraktionen werden aussortiert bzw. welche Abfallfraktionen erfassen sie bei der Aufbereitung?

Metall natürlich. Dann Erde und Mörtel, das kann man in keinem einzigen Produkt einsetzen und verwenden. Das ist eigentlich die Hauptabfallfraktion hier bei uns. Mörtel kann ich aufgrund des zu hohen Sulfatgehaltes nirgendwo einsetzen. Dann natürlich Plastikstoffe, für die wir jetzt auch einen Abnehmer gefunden haben, der diese weiterverwendet. Früher wollten die Abnehmer die Stoffe getrennt in hart und weich haben, diese Zeit war beim Aussortieren nicht gegeben. Aber jetzt haben wir einen gefunden, der die Plastikabfälle in jener Form übernimmt wie wir sie anbieten können und so haben wir auch da einen Erlös. Je nach der zu produzierenden Fraktion kann es auch sein, dass wir Beton oder Asphalt auf der Sortierstraße entfernen müssen, diese Stoffe können wir aber bei anderen Produkten verwenden. Holz wird auch weiterverwertet. Sperrige Störstoffe und andere aussortierte Stoffe, die wir nicht weiterverwerten können, müssen dann auf Deponien entsorgt werden und da entstehen dann natürlich zusätzliche Kosten.

Wie schätzen sie in ihrer Anlage das derzeitige Aufkommen von Dämmstoffen ein?

Da haben wir heuer zum Beispiel festgestellt dass wir diese verstärkt haben. Die Dämmstoffe kommen vor allem beim Betonmaterial vor, wo der Dämmstoff zwischen den Platten drinnen ist. Also das ist ein wirkliches Problem. Erstens einmal wie bekomme ich den Dämmstoff raus wenn er mitten drinnen ist. Die einzige Möglichkeit ist über die Waschstraße. Den aussortierten Teil muss man dann aber auch sofort in einen verschlossenen Container oder einer Mulde geben, weil das Material sonst durch den Wind verweht wird. Das ist wirklich ein Problem, das wir heuer schon festgestellt haben und ich befürchte, dass das durch die heutigen Bauarten immer mehr werden wird. Es gibt da zum Beispiel jetzt diesen super Ziegel eines Herstellers, wo damit gepriesen wird, dass mitten drinnen Schaumstoff ist. Aber ich frage mich, wie da eine Wiederverwertbarkeit entstehen soll. Das ist zwar nicht unmöglich zu trennen, aber zu aufwendig, sodass sich niemand die Arbeit antun wird.

Können sie eine ungefähre Mengenabschätzung über Dämmstoffe in ihrer Anlage angeben?

Das ist sehr schwierig, weil im Zuge des Prozesses die schwimmenden Teile, die wir herausnehmen, ja nicht nur Dämmstoffe sind, sondern auch Holzstücke und andere schwimmende Materialien. Also ich möchte mich da nicht auf einen Wert festlegen. Also es wird wirklich auf der Baustelle sehr darauf geachtet, dass die Materialien nicht vermischt werden und es ist wirklich ein ganz geringer Teil, der zu uns in die Anlage kommt.

Können sie das Dämmmaterial noch mit weiteren Aufbereitungsschritten entfernen als dem Schwimmverfahren?

Nach dem Schwimmverfahren gibt es noch eine Absaugung, und auch ein Gebläse, aber in Summe ist es schwierig. Größere Stücke werden in der Sortierstraße händisch entfernt, aber wenn es mal gebrochen ist wird es sehr schwierig. Ich bin mir sicher, dass die Fassaden mit den Dämmstoffen in Zukunft vermehrt kommen werden, doch die Aufbereitung müssen wir hinsichtlich dieser Dinge sicher verfeinern. Wir sind auch in letzter Zeit in Gesprächen bezüglich einer neuen Waschanlage, jedoch muss sich das schlussendlich auszahlen, also das muss der Markt hergeben.

Sehen sie also derzeit eine Möglichkeit ein WDVS, das gemeinsam mit der mineralischen Bausubstanz ohne vorherige Entfernung des Dämmstoffes abgebrochen wird, wirtschaftlich aufzubereiten?

Wirtschaftlich nein. Ich habe dann einen so aufwendigen Prozess der mir dann zu viel kostet. Ich sage einmal die Möglichkeiten sind da, aber da hab ich dann die Schere, was kostet mich mehr: Trennen oder Entsorgen. Wenn es entsprechend große Stücke sind kann ich sie entfernen. Sobald der Dämmstoff verklebt ist, muss ich eigentlich den daran haftenden mineralischen Teil abscheren. Das heißt ich muss es eigentlich noch einmal brechen und in den Zyklus einbringen. Also aus unserer jetzigen Sicht wollen wir so ein Material gar nicht bei uns haben, weil es einfach zu aufwendig ist und wir nicht zu jener Qualität des Endproduktes kommen, die wir uns wünschen.

Haben sie derzeit Probleme dass sich noch Dämmstoffrückstände im Endprodukt befinden?

Beim Ziegel weniger. Da wirken diese Schritte die wir eingebaut haben sehr gut. Aber beim Beton ja. Zum Beispiel dort wo Estrich mit Styropor vermischt ist oder bei Sandwichplatten, bei denen sich der Dämmstoff innerhalb befindet. Es kann also vorkommen.

Sehen sie bei den verschiedenen Dämmstoffarten Unterschiede, wie leicht diese abzutrennen sind? Sie haben gemeint Styropor schwimmt auf, kann jedoch leicht vom Wind verweht werden. Wie sieht es mit Mineralwollplatten aus?

Diese schwimmen nicht auf. Dort haben wir auch eher das Problem, dass diese während des Waschvorganges mit anderen Teilen verklumpen oder ähnliches, denn in unserem Fall handelt es sich um eine Schwertwäsche.

Wie weit ist bei Abbruchprojekten des Prajo Konzerns die Methode des selektiven Rückbaus verbreitet oder ist es schon der Status quo?

Wir sind dabei. Ich sage mal 100 % gibt es, glaube ich, nirgends in dieser Form. Aber dieses Jahr hatten wir auch eine Musterbaustelle, wo alles so rückgebaut wurde, wie man sich das im besten Fall vorstellen kann. Aber es gibt wiederum Baustellen mitten in Wien, wo die Baulücke dementsprechend klein ist, wo man nicht viel Platz hat und man sich mit Maschinen nicht richtig bewegen kann. Was macht man da also, der erste Trupp entrümpelt das Gebäude, dann folgt die Demontage aller zugänglichen Materialien, das Dach kommt herunter. Doch eine weitere Trennung der Materialien ist nicht möglich. Da haben wir dann eine Qualität vom Material, die bis zu 30 % schlechter ist und das merkt man dann doch deutlich.

Ist auch die benötigte Zeit für die saubere Trennung ein Hindernisgrund?

Zeit ist natürlich ein wichtiger Punkt, es bringt jedoch nichts, wenn die Materialien dann am Ende so stark vermischt sind, dass wir sie nicht verwenden können oder eine Aufbereitung zu aufwendig ist. Eine zu starke Vermischung ist zudem ja auch nicht zulässig.

Also es gibt durchaus auch Mengen, die sie bei der Anlieferung ablehnen?

Ja natürlich. Da gibt es dann halt andere Abnehmer, das sind dann meist Deponien. Also der schlechteste Bauschutt, den es gibt, ist jener vom Innenabbruch. Da wird am wenigsten geschaut und da werden viele verschiedene Materialien wie Kabelkanäle, Mörtel usw. zusammengeschmissen. Das sind dann die sogenannten Baustellenmischabfälle, und die nehmen wir nur in Ausnahmefällen an. Wir werben nicht darum, dass diese bei uns angeliefert werden, und der Annahmepreis dafür ist natürlich auch wesentlich höher.

Würden sie sagen dass der Anfall von Dämmstoffen derzeit im Rückbau noch relativ gering ist oder merken sie schon eine deutliche Zunahme?

Also im Ziegelbau ist es nicht viel. Im Betonbau wird es jetzt schon mehr was kommt. Das ist natürlich abhängig davon, welches Gebäude abgerissen wird, aber ich sage mal, es ist auf alle Fälle etwas, das stark im Kommen ist.

Mit welchen Methoden wird der Rückbau von Dämmstoffen durchgeführt?

Bei den zuletzt rückgebauten Häusern mit Alufassaden hatten wir den Fall, dass die Dämmplatten mit Dübeln befestigt waren. Da wurden zuerst die Aluplatten entfernt und der Dämmstoff dann mit dem Bagger heruntergeschert und dieses Material in Container gesammelt und getrennt entsorgt. Bei einer Baustelle letztes Jahr war es auch der Fall, dass sehr viel Dämmstoffmaterial angefallen ist, und da war dann die Frage, ob man das nicht sogar verkaufen kann. Für dieses sortenreine Dämmmaterial haben wir dann auch Geld bekommen.

Können sie einen zeitlichen Rückbauaufwand für die Demontage von Dämmstoffen einschätzen, wenn sie geklebte und gedübelte Dämmplatten vergleichen?

Wie viel Aufwand das wirklich ist müsste man direkt die Leute auf der Baustelle fragen, das könnte ich jetzt nur aus dem Bauch heraus abschätzen. Dort wo es möglich ist wird mit entsprechendem Gerät versucht den Dämmstoff zu entfernen, das muss nicht immer der Bagger oder Minibagger sein. Ab einer bestimmten Höhe geht das aber nur mehr mit dem Kran. Und dort, wo ich aufgrund der Statik keine schweren Maschinen benutzen kann muss ich dann eben versuchen, das mit der Hand runter zu schaben. Aber das ist eben von Baustelle zu Baustelle verschieden und von mehreren Faktoren abhängig.

Ist ein zerstörungsfreier Rückbau von Dämmstoffen dann derzeit überhaupt realistisch?

Nein das geht nicht. Also ich sag mal bei Styrodurteilen (XPS) ist das möglich, wenn diese nicht geklebt sind oder sich der Kleber leicht lösen lässt wie im Kellerbereich zum Beispiel. Aber sonst bei der klassisch geklebten Styroporfassade (EPS) sehe ich die Möglichkeit nicht.

Sehen sie bei der Betrachtung der unterschiedlichen Dämmstoffarten welche, die sich aufgrund ihrer Beschaffenheit besser für einen Rückbau eignen könnten?

Es ist natürlich davon abhängig wie der Stoff verarbeitet wurde und wie das Material in Verwendung war, denn der Stoff arbeitet ja durchgehend bei Wärmeeinwirkung etc. Dadurch besteht die Möglichkeit dass er dann leichter zu entfernen ist oder nicht. Aber bei Styropor ist es so, dass er vermutlich sowieso zu 99 % geklebt ist und sobald ich das entfernen möchte, zerbricht die Platte. Die Widerstandsfähigkeit der Platte selber ist da natürlich neben der Befestigungsart das entscheidende.

Gibt es einen Unterschied bezüglich der Rückbaufähigkeit von Beton- und Ziegelfassaden?

Von der Bautechnik gesehen ja, weil ein Ziegel natürlich leichter abbröckelt als Beton. Aber abgesehen von einzelnen Ausnahmen kommen Bauwerke mit solchen Fassaden nicht sooft vor, weil Bauten mit diesen Fassaden noch nicht so weit sind, abgebrochen zu werden. Deswegen hat man auch noch nicht so viele Erfahrungen in diesem Bereich. Alufassaden sind zurzeit laufend ein Thema, mit dem wir uns beschäftigen. Diese Bauten sind sozusagen gerade in der Zeit, wo sie reif sind für einen Abbruch. Einfamilienhäuser und renovierte Bauten mit gedämmten Fassaden werden schätzungsweise in 10 Jahren und mehr dann ein Thema sein.

Wenn sie den Dämmstoff an der Baustelle getrennt erfasst haben, was geschieht in der Folge mit diesem Material?

Das Material wird in dem meisten Fällen vom eigenen Fuhrpark zu dem jeweiligen Entsorger transportiert oder ein Frächter übernimmt diesen Transport in unserem Auftrag und der Entsorger verwertet dieses Material dann weiter. Es kommt natürlich auch vor, dass der Entsorger selbst die Sammelcontainer zur Verfügung stellt und diese abholt.

Haben sie von der Technologie des Bibers gehört? Die Firma Austrotherm adaptierte in einem Versuch das Putzfrässystem Biber, um damit den Dämmstoff einer Fassade zu entfernen. Wie würden sie diese Technik einschätzen?

Von diesem Beispiel explizit habe ich noch nichts gehört, vom Prinzip her aber schon. Aber wenn ich mir ein großes Projekt vorstelle mit einer großen Fassadenfläche: entweder es gibt eine Norm, nach der ich das machen muss, dann ist man dazu gezwungen. Wenn es diese nicht gibt, dann schaue ich was günstiger ist. Die Frage ist: welche Fläche kann ich mit dieser Maschine abdecken und welche

Höhe. Das heißt, ich brauche dann einen Kran oder einen Bagger, an dem ich diese Technologie befestigen kann. Wenn ich es aufgrund einer fehlenden Norm nicht machen muss, bin ich überzeugt, dass es sich zumindest aus jetziger Sicht nicht rentieren wird. Man muss sich vorstellen, da ist eine Maschine dahinter und ein Arbeiter, der diese bedient, und die Maschine wird vermutlich eher langsam arbeiten. Und wie trenne ich das Material dann? Fahre ich zweischichtig, sprich in einem ersten Arbeitsgang wird der Silikatputz und das Netz abgetragen, und im zweiten Durchgang dann erst der Dämmstoff? Aus Kostengründen müsste das in einem Durchgang geschehen, aber dann habe ich eben diese Vermischung der Materialien wieder.

Wie sehen sie den selektiven Rückbau in der Zukunft, wenn sie heutige Praktiken in der Bauwirtschaft betrachten?

Unsere Zeit heute ist sehr schnelllebig. Ob das gerade im Bereich der Bauwirtschaft so gut ist? Ich habe zum Beispiel jetzt schon mitbekommen, dass man versucht bei der Befestigung von Dämmstoffen Kleber zu vermeiden, stattdessen wird Schaum verwendet. Und da frage ich mich auch dann, wie man da den Rückbau machen will? Da werden die Probleme meiner Meinung nach noch größer werden. Also ich bin überzeugt, dass die Entwicklungen, die wir gerade bei neuen Bauprodukten durchmachen, das Recycling und die Wiederverwendbarkeit nicht unterstützen. Man macht sich einfach keinen Gedanken, was einmal in 50 Jahren oder mehr sein wird, wenn ich das rückbauen möchte. „Da bin ich nicht mehr da, das ist nicht mein Problem“ denkt man sich da. Österreich ist in diesem Bereich zwar sehr fortgeschritten, man tut sehr viel, jedoch jeder preist nur seinen Werkstoff, den spitzen U-Wert und alles Mögliche, und was danach kommt, daran denkt keiner. Auf der einen Seite heißt es immer „Green Building“ und Wiederverwertung der Stoffe, das wird auch wirklich immer mehr, vor allem auch im Betonbereich. Da hoffe ich, dass da Förderungen kommen und davon bin ich auch überzeugt, dass es die geben wird in nächster Zeit, sodass Recyclingstoffe verwendet werden müssen. Doch auf der anderen Seite gibt es Entwicklungen, wie zum Beispiel eine Rahmenkonstruktion mit Styropor und Steinen, die dann mit Beton ausgefüllt wird – wie soll ich das dann trennen? Da sollte man meiner Meinung nach etwas machen.

Sie meinen gesetzliche Regulierungen?

Davon bin ich überzeugt. Es muss etwas kommen, wo man sagt: es muss bei der Konstruktion die Möglichkeit gegeben sein, damit ich diese dann am Ende entsprechend einfach wieder trennen kann.

B 4.2: Hr. REISENBICHLER, Betriebsleiter der Welser Baustoffrecycling GmbH, Leiter des Bereichs Abfallwirtschaft bei Fa. Felbermayr Bau GmbH & Co KG, geführt am 3.12.12

Seit wann besteht die Anlage zur Bauschuttsortierung und –aufbereitung hier in Wels?

Seit 18 Jahren.

Wie hoch ist die Jahreskapazität der Anlage und wie ist diese im Schnitt ausgelastet?

Die Kapazität ist höher als sie derzeit genutzt wird. Theoretisch gibt es die Möglichkeit, die Anlage im Schichtbetrieb zu fahren, wodurch die Kapazität deutlich erhöht würde. Momentan wird die Anlage 8-9 h am Tag betrieben und der Jahresinput liegt zwischen 60.000 und 80.000 Tonnen pro Jahr. Eine Erhöhung der Kapazität ist derzeit nicht möglich, da der Einzugsbereich einer Bauschuttaufbereitungsanlage eng mit den Transportkosten verbunden ist. Aus diesem Grund versuchen wir hier das regionale Geschäft abzuschöpfen, welches sich derzeit etwa bei dieser Inputmenge beläuft.

Wie hoch ist der Einfluss der Transportkosten beim Recyclingbaustoff?

Noch höher als beim Bauschutt. Der Output der Anlage, die Recyclingbaustoffe, steht in Konkurrenz mit einer Vielzahl von Anbietern von Naturmaterialien.

Welche Fraktionen von Baurestmassen werden in ihrer Anlage aufbereitet und wie sieht die ungefähre Mengenverteilung dazu aus? Gibt es große Unterschiede in der Qualität des Inputmaterials?

(Input- und Outputmengen sowie eine Definition der verschiedenen Fraktionen wurde im Anschluss an das Interview per email übermittelt. Die Input- und Outputmenge der WBR vom 1.1.12 bis zum 31.10.12 sind in Tabelle i. sowie Tabelle ii. aufgeführt.)

Ergänzungen zu den Daten von Hr. Reisenbichler:

Bauschutt ist nicht gleich Bauschutt. Wir übernehmen verschiedenste Qualitäten. Wir sind eine Recyclinganlage, sprich unsere Prämisse ist es, Inputmaterialien zu bekommen, die wir auch technisch aufbereiten können und die chemisch dazu geeignet sind. Reines Asphaltfräsgut wird in unserer Anlage auf Grund des Chemismus nicht aufbereitet. Mineralischer Bauschutt, der mit einem höheren Fremdstoffanteil als 50 Vol.% angeliefert wird, wird von uns abgelehnt.

Beschreiben Sie schemenhaft die Sortier- und Aufbereitungsanlage.

Zu Beginn wird das Material am Lagerplatz abgekippt und es folgt eine visuelle Kontrolle, bei der der Baggerfahrer bereits grobe Verunreinigungen entfernt. Dann erfolgt die Aufgabe. Nach der Aufgabe geht das Material über den ersten Magnetabscheider zur Handsortierung, dann weiter zum Brecher, dann über die Sandmühle. Nachgeschaltet nach den Brechern ist jeweils eine weitere Magnetabscheidung. Das Material geht danach über die verschiedenen Siebe und fällt durch den Windsichter als Fertigprodukt in die verschiedenen Bunker.

Inputmaterialien, bei denen wir wissen, dass die Qualität sehr gut ist, werden nicht über die gesamte Anlage gefahren. Wir können das individuell steuern und somit Betriebskosten sparen. Sortenreiner Betonabbruch wird zum Beispiel nicht über die Windsichtung gefahren.

Wie unterscheidet sich ihre Anlage von mobilen Anlagen?

Es gibt drei Punkte, wodurch sich unsere stationäre Anlage von mobilen Anlagen unterscheidet:

- Selektion des Inputmaterials – jeder Eingang wird visuell kontrolliert und bewertet
- die Handsortierung – die Erfassung von Fremd- und Schadstoffen sichert die Output-Qualität
- die Windsichtung - das Abscheiden von Kleinteilen, wie Holz, Stroh, Styropor, Papier, Kunststoffe und dergleichen ist extrem wichtig für eine gute Output-Qualität

Mobile Anlagen sind sicher eine Konkurrenz für uns. Mobile Anlagen werden zur Baustelle transportiert, während im Gegenzug der Bauschutt zur WBR transportiert werden muss. Jeder gefahrene Kilometer verursacht Transportkosten. Aus diesem Grund gibt es Auftraggeber und Abbruchfirmen, die zu mobilen Anlagen tendieren. Bei vielen Abbrüchen wird das Material auf einen Haufen zusammengeworfen, der selektive Rückbau ist kein Thema. Auf vielen Baustellen fehlt einfach der Platz zum Sortieren. Das Material wird unsortiert direkt durch die Anlage gefahren. Das Ergebnis ist oft ein Gemenge, das den modernen Anforderungen der Recyclingwirtschaft nicht entspricht. Mobile Anlagen haben meiner Meinung nach dann einen Sinn, wenn das Inputmaterial in der Qualität entspricht.

Art – Nummer	SN - ÖN S 2100	Material	Übernahmepreis Preis/ Tonne, €	Inputmenge Tonnen
B – 21	31 427	Betonabbruch, KL < 80cm	8,50	7870
B – 22	31 427	Betonabbruch, KL > 80cm	20,00	2718
B – 23	31 427	Betonabbruch, vermischt mit Styropor und Heraklith	45,00 inkl. ALSAG	638
B – 25	31 410	Asphaltaufbruch, mit geringem Anteil von Unterbauschotter	4,20	5118
B – 26	31 409	Bauschutt, sortenrein	20,00	21730
B – 27	31 409	Bauschutt, verunreinigt, Fremdstoffanteil < 5 Vol.-%	35,00 inkl. ALSAG	4092
B – 28	31 409	Bauschutt, verunreinigt, Fremdstoffanteil < 30 Vol.-%	88,00 inkl. ALSAG	801
B – 30	31 409	Bauschutt, verunreinigt, Fremdstoffanteil < 50 Vol.-%	125,00 inkl. ALSAG	1092
B – 29	31 438	Gipskarton, Heraklith - sortenrein	125,00 inkl. ALSAG	592

Tab. B.1: Inputmenge 1.1. – 31.10.2012 WBR Wels, (REISENBICHLER, 2012)

Welche Recyclingquoten erreichen sie bei den einzelnen Fraktionen, beziehungsweise wie hoch ist der Anteil der Störstoffe?

Der Fremdstoff-Output wird bei uns verwogen und liegt durchschnittlich bei ca. 5 Gewichts-%.

Was sind die am häufigsten auftretenden Störstoffe und welche verursachen dabei die größeren Probleme?

Holz, Stroh, Schlacke von Zwischenböden, Tapeten, Kunststoffe alle Art, versottete Kamine und dergleichen sind Problemfraktionen. Vor allem bei alten Häusern ist ein gründlicher Rückbau nötig, um ein Vermischen der mineralischen Materialien mit biologisch- organischen Materialien zu verhindern. Als organisches Material wurde in alten Häusern zum Beispiel häufig Schilf verwendet. Dazu kommt der typische Hausmüll. Die Leute räumen die Baustelle zusammen (Farben, Lacke, Isoliermaterial, Papier- und Kunststoffverpackungen, Glühbirnen, Teppiche usw.) und werfen alles in den Bauschuttcontainer. Ab einem bestimmten Abschnitt des Abbruchs, wenn der Keller erreicht wird, finden wir vermehrt Erde im Bauschutt. Für Bauschuttrecyclinganlagen ist der Erdanteil ein Problem. Organische Verunreinigungen führen im Recyclingmaterial, wenn sie nicht zur Gänze entfernt werden können, zu nicht erwünschten biologischen Abbauprozessen.

Inputmaterial	Outputmaterial	Materialcode	Outputmenge, t.	Materialpreis, €
Ziegelmaterial	Recyclingsplitt RMH III, 4/14 mm	C – 21	3400	5,40
	Ziegelbruch RZ III, 0/4 mm	C – 23	153	14,30
	Ziegelsplitt RZ III, 4/12 mm	C – 24	200	19,00
	Recyclingsand RS III, 0/4 mm	C – 15	7467	4,60
	Schüttmaterial RMH III, 0/63 mm	C – 14	28080	2,80
	Bankettschotter RM III, 0/12 mm	C – 16	-	3,00
Beton	Recyclingbeton RM I, 0/32 mm	C – 12	3330	6,90
	Recyclingbeton RM II, 0/63 mm	C – 13	9975	5,90
Asphalt	Recyclingasphalt RA I, 0/30 mm	C – 10	3000	8,70

Tab. B.2: Outputmenge WBR 1.1.- 31.10.2012, (REISENBICHLER, 2012)

Können sie in den letzten Jahren Veränderungen bei der Qualität des Inputmaterials und vom Aufkommen bestimmter Störstoffen feststellen?

Bei den Baufirmen, mit denen wir zusammen arbeiten, hat die Informationsarbeit der letzten Jahre doch Wirkung gezeigt. Es wird besser getrennt, da verunreinigter Bauschutt je nach Klasse höhere Entsorgungskosten verursacht.

Welche Materialien werden dabei verstärkt versucht getrennt zu erfassen?

Sortenreiner mineralischer Bauschutt ist die kostengünstigste Fraktion. Auf den Baustellen wird versucht Altholz, Rigips, Dämmstoffe, Schrott, Eternit (begleitscheinpflichtiger Abfall), Erde, Aushub, Glas, Bitumen, Kunststoffe, Papier getrennt zu sammeln. Die sortenreine Trennung bringt in der Regel große Kostenvorteile mit sich.

In welche Fraktionen werden die Störstoffe getrennt erfasst und wie wird damit in weiterer Folge umgegangen?

Altholz geht in die Verbrennung, Rigips, Erde, Aushub und Eternit werden deponiert. Schrott, Kunststoffe und Papier gehen in die stoffliche Verwertung

Wie gehen sie in ihrer Anlage mit angelieferten Baustellenabfällen um?

Die Baustellenabfälle werden vom Kunden abgeholt und einer Verbrennungsanlage zugeführt. Von Zeit zu Zeit werden Baustellenabfälle auch sortiert. Die Sortierung kostet jedoch auch wieder extra Geld.

Woher bekommen die Bauherrn oder die Abbruchunternehmen diese Informationen, welche Fraktionen hergestellt werden sollen und was wo reingehört?

Wir als WBR arbeiten mit diversen Entsorgungsbetrieben zusammen. Die Firma Felbermayr ist als Hauptlieferant der WBR ein wichtiger Multiplikator. Bei Felbermayr gibt es 4 Personen, die am Telefon und bei diversen Kundenbesuchen über das Thema Abfalltrennung und Bauschuttrecycling informieren. Sowohl bei Felbermayr als auch als WBR wurden damit in den letzten Jahren gute Ergebnisse durch die gezielte Informationstätigkeit erzielt. Natürlich gibt es bei privaten Häuslbauern noch einige Uninformierte, aber im Großen und Ganzen sind wir da auf einem guten Weg. Bei jeder Containerbereitstellung übergibt der Fahrer dem Kunden ein Informationsblatt über die verschiedenen Bauschuttqualitäten.

Wie schätzen sie das derzeitige Aufkommen von Dämmstoffen in ihrer Anlage ein und in welchen Fraktionen kommen sie vermehrt vor?

Sortenrein übernehmen wir Dämmstoffe beim WBR nicht. Aber natürlich enthält Bauschutt auch Dämmstoffe in Form von Verunreinigungen. Neu in letzter Zeit sind aber Ziegel, deren Hohlräume mit einem Dämmstoff gefüllt sind.

Wie bereiten sie diese Fraktionen auf und in welchen Schritten können sie den Dämmstoff entfernen?

Wenn Dämmstoffe in großer Form wie Platten anfallen, werden diese händisch entfernt. Dämmstoffkleinteile müssen in der die Anlage durch die Windsichtung abgetrennt werden. Die Aufbereitung der Ziegelfraktionen mit dem integrierten Dämmstoff ist auch möglich. Die Ziegel werden gebrochen, zerkleinert und über die Windsichtung gefahren. Eine besondere Herausforderung sind aufgeklebte Dämmstoffe auf Ziegel und Beton.. Ich denke, dass wird auch technisch in Zukunft ein Problem bleiben. Der Klebstoff ist vom Ziegel nicht trennbar.

Gibt es einen Unterschied bei der Aufbereitung von Betonabbruch und Ziegelabbruch, wenn diese mit Dämmstoffen verunreinigt sind?

Ja es gibt schon einen Unterschied. Bei der Aufbereitung von Betonteilen sind Dämmstoffe in der Regel leichter trennbar. Bei Sandwichplatten ist das Styropor meist nicht verklebt. Bei den Ziegeln mit Dämmstoffeinschlüssen haben wir das Problem, dass der Feinstoffanteil durch das Brechen auf kleinere Korngrößen erhöht wird und dadurch die Ausbeute pro Inputmenge geringer ist.

Sehen sie eine Möglichkeit Wärmedämmverbundsysteme, die ohne vorherigen Rückbau des Dämmstoffes gemeinsam abgebrochen werden, in der Anlage aufzubereiten?

Ja technisch machbar ist es schon. Das Material kann wie zum jetzigen Zeitpunkt stark zerkleinert und über eine Windsichtung gefahren werden. Das aussortierte Material wird im Anschluss über eine Schwimm-Sinkanlage geschickt, jedoch muss das bezahlt werden. Aus der jetzigen Sicht sehe ich da momentan größte Bedenken.

Welche bautechnischen Anforderungen von Recyclingbaustoffen werden besonders von Verunreinigungen durch Dämmstoffe beeinflusst?

Dämmstoffreste im Recyclingmaterial sind nicht erwünscht. Zum jetzigen Zeitpunkt sehe ich vom chemischen her keinen Einfluss, sowohl bei Glas- und Steinwolle als auch bei Styropor. Glas- und Steinwolle würde ich als inert bezeichnen, Styropor wird mit der Zeit durch den Einfluss von UV-Strahlen zersetzt. Aber ein wesentlicher Punkt ist die Optik. Vor allem bei der Herstellung von Recyclingsand und Ziegelsplit. Kein Bauherr bestellt Recyclingmaterialien mit Dämmstoffresten.

Wie schätzen sie persönlich das zukünftige Aufkommen von Dämmstoffen im Baustoffrecycling ein?

Steigend. Einerseits durch die neuartigen Ziegel, andererseits durch aufgeklebte Dämmstoffe bei der Wärmesanierung von Gebäuden. Die ganze Welt dämmt, um Energiekosten zu sparen.

Gehen sie davon aus, dass sich dadurch die Probleme mit Dämmstoffen in der Baurestmassenaufbereitung verstärken?

Ja schon. Nehmen wir als Beispiel die Carbonfassade. Wie schaut der Recyclingweg dieses Produktes aus? Derzeit kann niemand diese Frage beantworten. Recyclinganlagen werden sich technisch verbessern, aber es werden dennoch nicht alle Dämmprodukte aufgearbeitet werden können.

Welche Probleme sehen sie noch in der Zukunft des Baustoffrecyclings in der Zukunft?

Derzeit gibt es Probleme beim Absatz von roten Recyclingmaterialien, also den klassischen Hochbaurestmassen. Derzeit liegen hundert tausende Tonnen auf Zwischenlager in Österreich. Die Diskussion über Einsatzmöglichkeiten dieser Materialien findet derzeit statt. Eine Verwendung in der Ziegelindustrie als Sekundärrohstoff zeichnet sich jedoch noch nicht ab. Ein anderes zunehmendes Problem ist, dass die Abbrüche und Umbauten von neueren Gebäuden viel mehr Chemie im Bauschutt mit sich bringen wird. Neubauten sind keine Steinhäuser. Heute werden modernste hochchemische Materialien wie Kleber oder künstliche Dämmstoffe verwendet. Wie gehen wir mit der Bauchemie um? Das wird mit dem verwertungsorientierten Rückbau alleine nicht zu lösen sein. Wenn sie heute Werbung schauen, da gibt es eine neue hochwertige Karbonfassade, die überall wegen ihrer Widerstandfähigkeit und UV-Beständigkeit beworben wird. Doch was geschieht mit der Karbonfassade, wenn sie ihr Lebensende erreicht hat? Karbon brennt nicht, das geht direkt durch die Verbrennung in die Schlacke, Karbon darf wegen des enthaltenen Kohlenstoffs nicht deponiert werden, er kann auch nicht recycelt werden, was geschieht also damit?

Welche Lösungsansätze sehen sie, um diese Probleme im Baurestmassenrecycling angehen zu können?

Was uns sehr helfen könnte ist, wenn wir mit dem Recyclingmaterial aus dem Abfallregime herauskommen würden. Ein Beispiel aus der Schweiz – die Stadt Zürich fordert beim Neubau von Gebäuden beim Betoneinsatz einen Recyclinganteil von 15 %. Die Schweiz kennt die Problematik mit dem gesetzlichen Abfallregime nicht. In Österreich sind wir leider immer im Abfallregime. Wir brauchen endlich ein Abfallende für diverse Qualitäten und verkaufen dann ein echtes (Recycling)Produkt. Das Thema ALSAG hätte sich ebenfalls dadurch erledigt.

B 4.3: Hr. RÖDHAMMER M., Geschäftsführer AMIP Engineering GmbH, geführt am 10.1.2013.

Von welcher Lebensdauer wird bei Dämmstoffen ausgegangen und gibt es Unterschiede zwischen Dämmstoffen aus synthetischen, mineralischen und nachwachsenden Rohstoffen?

Bei unseren Planungstätigkeiten unterscheiden wir grundsätzlich nicht im Bezug auf die Lebensdauern. Unterschiede bei den Lebensdauern der Dämmstoffe gibt es jedoch mit Sicherheit. Wir gehen davon aus, dass hinterlüftete Fassaden mit mineralischen Dämmstoffen langlebiger sind als Fassaden mit Wärmedämmverbundsystemen, in denen EPS verwendet wurde. Allgemein eine Lebensdauer von Dämmstoffen abzuschätzen ist jedoch schwierig. Gerade im Wohnbau gibt es sehr unterschiedliche Konstruktionen, bei denen allen Planungsbeteiligten sehr wohl klar ist, dass verschiedene Konstruktionsweisen, wie zum Beispiel eine Holzrahmenkonstruktion, kürzere Lebenserwartungen aufweisen als Massivbauweisen. Genauer betrachtet spielt auch das

Gebäudeumfeld eine wichtige Rolle bei der Lebenserwartung. Sockelbereiche sind extrem exponiert, im städtischen Hochbau ist es abhängig von der Himmelsrichtung, wie sehr eine Fassade belastet wird.

Bei einigen Dämmstoffprodukten wird die Lebensdauer mit jener der mineralischen Bausubstanz gleichgesetzt, sofern es zu keinen äußeren Beschädigungen kommt. Sind diese Abschätzungen realistisch?

Meiner persönlichen Einschätzung nach ist diese Abschätzung nicht nachvollziehbar. Bei mineralischen Fassaden kann man von einer Zeitspanne von bis zu 50 Jahren ausgehen. Ich weiß, dass teilweise sehr lange Lebensdauern in Aussicht gestellt werden. Zur Erklärung, um das besser abschätzen zu können: im Allgemeinen müssen wir davon ausgehen, dass ein Haus nach 50 Jahren komplett entwertet ist. Anders gesprochen, ich muss für jedes Gebäude pro Jahr 2 % des Substanzwertes aufwenden, um es im Wert zu erhalten. Da ist dann die Erneuerung der Fassade und der Dämmung innerhalb dieser Lebensdauer, sprich 50 Jahre, bei allen Gebäuden eingerechnet.

Unterscheiden sich je nach Anwendungsort die eingesetzten Dämmstoffe auch innerhalb eines Gebäudes?

Es wird auf jeden Fall je nach Anwendungsort unterschieden, zumindest aber in Sockel-, Fassaden- und Dachbereich. Es finden sich also zumindest 3-4 verschiedene Dämmstoffarten pro Gebäude.

Gibt es eine gesetzliche Regelung, welche Art der Befestigung für Dämmplatten gewählt werden muss?

Gesetzlich nicht, jedoch schreiben Normen und Herstellerrichtlinien detailliert vor, wie Fassadensysteme zu montieren sind.

Welche Faktoren sind entscheidend für die Art der Befestigung?

Die Befestigungsart ist abhängig von der Exponiertheit des Bauteils, bei Fassaden zum Beispiel bezogen auf den Wind, und vom Untergrund.

Welche Art der Befestigung ist Stand der Technik?

Bei nahezu allen Wärmedämmverbundsystemen ist die Kombination von Verkleben und Verdübeln erforderlich. Reine Verklebung ohne Dübelung wird nur im geringen Ausmaß angewendet, nur Verdübeln kommt in keinem Fall in Frage. Bei der Verklebung ist die Wulst-Methode anzuwenden.

Gibt es Unterschiede zwischen den Befestigungsarten bezüglich Bauphysik oder Lebensdauer?

Der Wärmetransport mittels Wärmebrücken durch die Verdübelung ist ja ein stark diskutiertes Thema. Aufgrund meiner Berechnungsergebnisse kann ich jedoch persönlich nicht ganz nachvollziehen, warum diese Dübel so im Schussfeld sind. Die Wärmebrücken sind zwar vorhanden, jedoch spielen sie eher bezogen auf die Fassadenqualität eine Rolle als auf die Thermik. Der Wärmetransport, der im Innenraum zu einer Abkühlung führt ist hier ein untergeordnetes Problem. Ein größeres Problem ist jedoch, dass sich der Verputz über der Abdeckung der Dübel bei Übergangsjahreszeiten anders verhält und dadurch ein Kondensatausfall in diesem Bereich stattfindet. Dadurch kann es zu Anhaftungen von Staub oder zu Algenbildung an diesen Stellen kommen und so eine höhere Sichtbarkeit im Vergleich zum Rest der Fassade gegeben sein.

Spielt der Rückbaugedanke eine Rolle bei der Auswahl der Befestigung?

Nein. Gar nicht. Die Angst vor Reklamationen im Zusammenhang mit einem störenden Fassadenbild dominiert. Es wäre schön, wenn wir ein System hätten, das leichtere Demontagen ermöglicht. Aber Tatsache ist, es spielt praktisch gesehen keine Rolle soweit mir das bekannt ist.

Gibt es Unterschiede im Langzeitverhalten von Dämmstoffen und wird dieses durch die Befestigungsart beeinflusst?

Dies ist ein Bereich, mit dem ich mich nicht so intensiv auseinander gesetzt habe, aber diese Unterschiede sind insbesondere im Zusammenhang mit der Feuchtigkeitsaufnahme zu sehen, vor allem in feuchtigkeitsbeaufschlagten Anwendungsbereichen wie unter dem Dach. Dort haben wir das Problem, dass XPS-Platten nicht in den erforderlichen Dämmstärken verfügbar sind. Dämmstärken von 20cm können bei XPS nur über verklebte Platten erreicht werden. Diesen Klebschichten wird ein negatives Langzeitverhalten nachgesagt. Die Klebeflächen lassen mit der Zeit nach und die Verklebung wird schlechter, Wasser kann eindringen und so wird die weitere Auflösung dieser Klebeschicht gefördert. Genau aus diesem Bereich kommen jetzt verstärkt Anfragen, ob man hier nicht hydrophobierte EPS-Platten anwenden könnte. Bei EPS ist zwar eine größere Plattendichte möglich, aber die Hydrophobierung ist wiederum ein Bereich, wo man keine Langzeiterfahrungen vorweisen kann und es ist fraglich, ob sie alles halten kann was sie verspricht.

Gibt es auch bei Dübelung ein negatives Langzeitverhalten?

In diesem Zusammenhang sind mir bekannt die Schädigung der Fassade durch Formverlust, Bildung von Welligkeit, und abblättrender Putz. Es hat also immer mit dem Eintritt von Feuchtigkeit und einem Temperaturwechsel zu tun.

Hat das Langzeitverhalten von Dämmplatten Einfluss auf ihre Rückbaufähigkeit? Nimmt zum Beispiel ihre mechanische Widerstandsfähigkeit ab über die Lebensdauer?

Da muss ich sagen sind mir keine detaillierten Daten bekannt. Interessanterweise jedoch zeigt die Erfahrung mit den ältesten mir bekannten Dämmstoffplatten, das waren XPS-Platten auf Flachdächern, dass die Qualität hier sehr gut war. Die Platten stammen aus den 70ern, waren also unter den ersten XPS-Platten, die verbaut wurden. Studien beweisen auch, dass in solchen Bereichen eine sehr hohe Lebensdauer erzielt werden kann. Jedoch dort sind die optischen Anforderungen auch nicht so hoch. Fassaden haben in diesem Zusammenhang sehr hohe optische Anforderungen. Es gibt dadurch sehr wohl Sanierungen, die nur aus Verschönerungsgründen durchgeführt werden, wo die thermische Sanierung nicht den Hauptgrund für die Baumaßnahme darstellt.

Wie wird bei der thermischen Sanierung eines Gebäudes mit einer etwaigen vorhandenen Dämmschicht verfahren?

Also in den meisten Fällen ist es so, dass die zu sanierenden Gebäude keine oder eine Dämmung mit unzureichenden Querschnitten aufweisen. In den Normen gibt es sehr detaillierte Vorgaben zur Beschaffenheit des Untergrundes und der Ebenheit des Untergrundes. Auch die Hersteller stellen detaillierte Vorgaben an die Montage der Dämmstoffe. Aus diesem Grund ist die Montage von Dämmstoffen auf Fassaden, die bereits eine Dämmschicht enthalten, sehr schwierig bis hin zu ganz klar nicht empfehlenswert. Für so einen Vorgang wird ihnen niemand eine Gewährleistung übernehmen. Sofern eine Wärmedämmung oder ein Wärmedämmverbundsystem vorhanden ist, sind also Demontagen die Regel.

Wird die Demontage des Dämmstoffes auch durchgeführt, wenn die Fassade „nur“ aus optischen Gründen saniert wird und die Dämmung eigentlich instand ist und die Lebensdauer noch nicht überschritten ist?

Es ist ein absolutes No-Go den Dämmstoff in so einem Fall nicht zu entfernen. Diesen halben Schritt würde auch niemand machen.

In welchen Zeitabständen kann mit der Sanierung einer Fassade gerechnet werden?

Im Wohnhausbereich kommt es typischer Weise alle 30 bis 40 Jahre zu einer Sanierung der Fassade. Im großvolumigen Baubereich gibt es vielleicht Fassaden, die tendentiell länger halten, weil hier doch verstärkt Fassaden mit Berücksichtigung dieser Wartungskosten gemacht wurden. Jedoch mehr als 10 Jahre verschiebt es sich auch hier nicht. Ich würde also sagen, dass eine Fassade durchschnittlich alle 40 Jahre saniert wird, unabhängig davon, ob der Dämmstoff noch länger halten würde. Punktuell wirken Schäden oder Verbesserungsmöglichkeiten aber natürlich motivierend für eine frühere Sanierung.

Sehen sie Möglichkeiten Wärmedämmverbundsysteme zerstörungsfrei rückzubauen, sodass eine Wiederverwendung möglich wäre?

Nein. Vor allem nicht im Zusammenhang mit einer Gewährleistung.

Wie hoch schätzen sie die verbleibende Verschmutzung an der mineralischen Bausubstanz beim Entfernen der Dämmplatten ein?

Bei aktuellen Fassaden können bei der Entfernung der mineralischen Putzschicht, die über den Dämmplatten angebracht sind, in etwa 50 % dieser Putzschicht entfernt werden. Das die Dämmung vom Wandbildner, also Ziegel oder Beton, grundsätzlich getrennt wird, das funktioniert schon gut. Aber wie hoch die verbleibende Verunreinigung ist kann ich nicht genau sagen. Ich würde auch um die 50 % schätzen. Bei hinterlüfteten Fassaden stellt sich diese Frage nicht, da kann ich den Dämmstoff, meist handelt es sich hier um mineralische, zerstörungsfrei entfernen.

Sind ihnen persönlich Projekte bekannt, in denen gebrauchte Dämmplatten oder Dämmstoffe verwendet wurden?

Rezyklierte Dämmstoffe kenne ich hauptsächlich im Bereich des Einblasens. Das sind aber vielleicht auch keine recycelten Dämmstoffe, sondern andere recycelte Stoffe. Das ganze Platten von hinterlüfteten Fassaden wiederverwendet wurden ist mir nicht bekannt.

Haben sie Bedenken gegen die Verwendung solcher gebrauchten Platten?

Bauphysikalisch vielleicht weniger um ehrlich zu sein. Da müsste man jedoch genau wissen, um welches Material es sich handelt und wie alt ist es. Für die Materialspezifika müsste es dann zu den einzelnen Materialien aus dem jeweiligen Zeitraum verlässliche Erfolgswerte geben, die man heranziehen könnte, sofern über das Material nichts Genaueres bekannt ist. Da beginnt jedoch auch schon das Problem. Wir kämpfen ja heute um sehr hochwertige Ergebnisse und müssen dementsprechend auch sehr hochwertige Dämmstoffe einsetzen. Wenn wir dann einen alten Dämmstoff mit einem schlechten Dämmwert einsetzen müssen erreichen wir die vorgegeben Ziele schwerer. Und wie bereits vorhin erwähnt verfügen alte Dämmstoffe nicht über die nötigen Querschnitte. Das ist ein wesentlicher Punkt. Vor allen in den letzten 10 Jahren haben diese Querschnitte rasant zugenommen und es ist nicht zu erwarten, dass ein wiederverwendeter Dämmstoff diese Anforderungen aufweist. Eine mehrschichtige Verlegung wäre notwendig und dann spielen hier die etwaigen Mehrkosten wieder eine gewichtige Rolle.

Wie sehen sie die Entwicklung des Passivhausstandes in Österreich?

Klar ist, dass wir mit 2020 nur noch Passivhäuser bauen werden. Diese Roadmap ist ja bereits in EU-Recht gegossen und vielfach publiziert. Im Bereich der Wohnbauförderung sind wir schon massiv in diesem Bereich unterwegs. Auch die Bauordnung wird sich in den nächsten 7 Jahren daran anpassen. Das wird dann vielleicht anders bezeichnet werden, aber das was wir als Passivhaus verstehen ist dann der Standard.

Wie schätzen sie die Entwicklung bei thermischen Sanierungen ein?

Hier liegt ein großer Nachholbedarf vor. Wir haben eine Sanierungsrate von ca. 1%. Dies bedeutet bei der vorher erwähnten erwarteten voll funktionsfähigen Lebensdauer eines Gebäudes von 50 Jahren, sanieren wir nur halb so viel wie wir müssten. Der Sanierungsrückstand vergrößert sich also jedes Jahr. Im Sanierungsbereich wird uns also daher die Arbeit sicher nicht ausgehen in den nächsten Jahren, es ist vielmehr so, dass hier mehr getan werden muss. Es ist eine sehr interessante Fragestellung, warum diese thermischen Sanierungen nicht so recht vom Fleck kommen. Wir können das auch daran erkennen, dass die Fördertöpfe für Gebäudesanierungen nicht ausgeschöpft werden. Das heißt die Förderungen werden im vollem Umfang gar nicht abgerufen. Aus meiner persönlichen Erfahrung kann ich auch sagen, dass im Bereich von Gewerbeimmobilien ein sehr großer Sanierungsrückstand besteht. Das Problem ist hier die Unsicherheit der Unternehmen bei langfristigen Investitionen.

Wie schätzen sie die weitere Entwicklung bei Dämmstoffen ein?

Bei den Dämmstoffprodukten bin ich sehr gespannt, was sich da noch tun wird. Im Bereich der Dachdämmung und dem Querschnitt von XPS-Platten, Stichwort verklebte XPS-Platten, haben wir noch Anforderungen, die der Markt derzeit noch nicht zu 100% abdecken kann. Es werden noch Detailanpassungen vorgenommen werden und vielleicht eine schrittweise Verbesserung der Wärmeleitfähigkeiten, obwohl wir bereits bei sehr hochwertigen Dämmstoffen angelangt sind. Ich denke es werden aber keine massiven Veränderungen mehr stattfinden. Die Dämmstärken an den Dächern werden sich erhöhen, da ist es notwendig. Die Dämmstärken an den Wänden werden sich nicht mehr erhöhen. Mehr zu dämmen bringt da nicht recht viel mehr Effekt. Das wissen wir jetzt bereits. Die restliche Entwicklung, die in den nächsten Jahren stattfindet, können wir mit leichten Anpassungen aus dem Potpourri vorhandener Dämmstoffprodukte abdecken. Wo ich glaube, dass noch mehr Druck ist, ist nicht im Bereich der stofflichen Wiederverwertbarkeit, sondern eher beim Thema Schadstofffreisetzung bei thermischer Verwertung. Da wäre zwar kein „easy goal to achieve“, aber ein erreichbares zumindest.

Wie weit verbreitet ist das Konzept „Design for Deconstruction“ im Planungswesen?

Wir beschäftigen uns am Rande ein bisschen mit dem Thema. Es gibt Puzzlesteine des Konzeptes, die wir anwenden können. Es ist jedoch in einem sehr groben Ausmaß. Da geht es noch nicht um Verbindungen oder Montageanweisungen, sondern um Grundsatzentscheidungen. Zum Beispiel wird an gewissen Stellen eine Holzkonstruktion verwendet, weil man schon weiß, dass man das in nicht allzu langer Zeit wieder rückbauen wird. Sehr wohl ein Thema ist aber die Life-Cycle-Betrachtung. Das ist ein Punkt, über den wir schon seit einigen Jahren immer wieder sprechen und was wir in unserem Unternehmen machen möchten. Ich kann es jetzt auf die anderen schieben und sagen, es war noch nie wirklich ein Interesse diesbezüglich da. Ich kann es auch auf uns selbst beziehen und sagen, dass wir diese Zeit und Energie und das Geld nicht aufwenden haben können. Wir stecken noch zu tief im thermisch-energetischen Bereich und in der Energieeinsparung, dass wir die Life-Cycle-Betrachtung in die Zukunft verschoben haben. Die Frage wie ich etwas wieder demontieren kann stellt sich derzeit nur bei kurzfristigen Projekten.

Was müsste geschehen, damit auch die Entsorgungsphase von Gebäuden verstärkt Beachtung finden würde?

Das alte Konzept, mit dem wir nach wie vor auch im Energiebereich agieren, ist das Konzept über Kosten. Und hier tut sich schon langsam was. Deconstruction wird dann ein gewichtiges Thema, wenn beim Abbruch Kosten für den Errichter entstehen, wenn er weiß, er muss selber für den Abbruch zahlen. In Österreich und Mitteleuropa allgemein bauen wir nach wie vor sehr stark für die Ewigkeit. Wir bauen so, dass das Gebäude jedenfalls den unmittelbar gedachten Anwendungszweck überleben wird. Also mein Wohnhaus steht länger als ich lebe, oder mein Bürohaus nutze ich jetzt als Büro und dann verkaufe ich es. Solange wir so bauen ist die Deconstruction nicht im Blickwinkel.

B 4.4: Hr. DI MÄURER, Fraunhofer Institut IVV, geführt am 6.3.2013

Der Inhalt des Interviews handelt von dem Forschungsprojekt „EPS - Loop“ und dem CreaSolv-Prozess, der im Kapitel 8.2.1.1 „EPS Loop“ des Hauptteils der Arbeit beschrieben wird. Das Grundprinzip des EPS-Loops besteht aus in der selektiven Extraktion von EPS aus EPS-Abfällen. Dazu werden EPS in einer Lösungsflüssigkeit aufgelöst, wobei jedoch nur die Zielkomponente Polystyrol betroffen ist. Mineralische und andere Verunreinigungen sind davon nicht betroffen und können in einem anschließenden Prozess abgetrennt werden. Danach erfolgt die Ausfällung des gelösten Polystyrols aus der gereinigten Lösung. Eine genauere Beschreibung des Ablaufs sowie weitere Erläuterungen können dem Kapitel XX aus dem Hauptteil der Arbeit entnommen werden.

Welches Inputmaterial ist für den Einsatz im EPS-Loop geeignet?

Beim Inputmaterial von EPS gibt es drei bis vier mögliche Alternativen. Es kann sich dabei um geschredderte Platten aus der Produktion handeln, um EPS-Sägemehl aus der Produktion, Verpackungsmaterial wie gepresste Fischboxen oder Dämmabfälle. Das Verfahren wurde so entwickelt, dass unabhängig von der Inputqualität das Recycling für alle Inputströme gleich oder ähnlich gefahren werden kann. Das einzige, wo es grundsätzlich Unterschiede im Verfahren gibt, ist, ob als Zielprodukt Polystyrol – Granulat oder wieder EPS entstehen soll. Eine weitere Alternative im Aufbereitungsprozess besteht darin, ob bei Vorhandensein vom Flammenschutzmittel HBCD dieses aus dem Material extrahiert werden soll oder nicht. Das CreaSolv - Verfahren eignet sich grundsätzlich auch für die Gewinnung von Polystyrol aus Elektroaltgeräten und aus Schredder-Rückständen der Altauftaufbereitung. Jedoch sind hier die Anteile an Fremdpolymeren, die abgetrennt werden müssen, höher als bei EPS.

Verbleibt HBCD in der Regel im Material, wenn es wiederum als Dämmstoff verwendet werden soll?

So grundsätzlich kann man das nicht sagen. Eine Zielstellung des Projekts war, aus schwerentflammbarem Material wiederum bromfreies EPS herstellen zu können. Das Brom muss grundsätzlich nicht aus dem Material entfernt werden, wenn es wieder als Dämmstoff eingesetzt werden soll, jedoch gehen heutige Tendenzen eher in die Richtung, dass Anwender lieber bromfreie Systeme haben.

Kann dieses Verfahren auch auf extrudiertes Polystyrol (XPS) angewendet werden und wenn ja, ist es möglich EPS und XPS gemeinsam der Aufbereitung zuzuführen?

Da bin ich mir unsicher. Ich denke, dass wir beim Inputmaterialien einige Formteile aus XPS dabei hatten, der überwiegende Teil der rund 15 verschiedenen Inputmaterialien waren jedoch aus EPS. Dementsprechend fehlen hier noch eindeutige Ergebnisse.

Denken sie, dass XPS aufgrund der möglicherweise enthaltenen FCKW-Treibmittel Probleme darstellen könnten?

Bei uns im Verfahren würde FCKW genauso wie andere Additive nicht stören. Das Lösemittel wird in einem geschlossenen Kreislauf wiederaufbereitet. Ein kleiner Teilstrom wird als Konzentrat abgeführt, in dem Stör- und Fremdstoffe enthalten und aufkonzentriert sind. So wird zum Beispiel das extrahierte Brom der Bromaufbereitung zugeführt. So ähnlich könnte dies dann auch mit etwaigen FCKW-Stoffen geschehen. Sie würden also weder in der Flüssigkeit noch im Polystyrol verbleiben.

Ist der CreaSolv Prozess grundsätzlich unter der Prämisse von anderen Lösungsmitteln und weiteren Anpassungen für Dämmstoffe aus Polyurethan oder Resolhartschaum adaptierbar?

Nein. Grundsätzlich ist der CreaSolv Prozess ja ein werkstoffliches Recycling. Es handelt sich dabei um einen rein physikalischen Prozess. Das Polystyrol wird rein physikalisch in der Flüssigkeit gelöst, so wie Zucker in Wasser als Beispiel. Die Moleküle an sich bleiben intakt. Verdampfe ich das Wasser erhalte ich wieder Zuckermoleküle, die Moleküle werden also nicht runtergebrochen oder kleingebrochen. Bei Polyurethan kann man nur eine Säurolyse, also eine richtige Bindungsspaltung und einen Abbau des Polymers in kleinere Monomere oder Oligomere durchführen. Dabei handelt es sich dann um rohstoffliches Recycling.

Stellen bitumenhaltige Störstoffe und Anhaftungen ein Problem beim Prozess dar?

Dieses Thema wird gerade in einem weiteren Projekt versucht zu optimieren. Bitumen sind bezogen auf ihre Polarität dem Polystyrol ähnlich. Einen Großteil der Bitumen-Verunreinigungen, also weit über 90 %, können wir extrahieren, jedoch kleine Restverunreinigungen verbleiben noch im Polystyrol.

Wie sieht der derzeitige Stand bei der Umsetzung einer Pilotanlage aus? In einem Artikel (MÄURER et al., 2010) war als Ziel ein Spin Off mit dem Namen „PolyCycle“ für 2012 geplant?

PolyCycle war geplant als Spin Off, der sich nicht mit Polystyrol aus EPS beschäftigt, sondern mit Polystyrol aus Elektroaltgeräten. Diese Umsetzung war nach unserem Businessplan und der errechneten Renditen noch nicht attraktiv genug. Wesentlich weiter sind wir bei der Umsetzung von Pilotanlagen, die andere Thermoplaste als Polystyrol als Zielkomponente haben. Hier bewegen wir uns nun in deutlich größeren Maßstäben, weil es sich dabei um einen wertvolleren Grundstoff handelt, da lohnt sich das Recycling noch mehr. Bei dieser Anlage optimieren wir kontinuierlich, wir können dort für Anlagen im großen Maßstab sehr viel lernen und gehen dann vermutlich als nächsten Schritt wieder zurück auf EPS und wenden dort dann die gewonnenen Erkenntnisse an.

In welcher Zeitspanne ist dann mit einer Umsetzung für EPS zu rechnen?

Ich rechne mit einer Umsetzung in den nächsten 2 bis 3 Jahren. Wir haben Partner, die sehr großes Interesse an einer großtechnischen Umsetzung haben und die auch schon daran arbeiten.

Ab welcher Anlagengröße wird solch eine Anlage in etwa wirtschaftlich betrieben werden können?

Erste Ergebnisse des EPS – Loops ergaben eine benötigte Kapazität pro Anlage von 4000 – 5000 Tonnen im Jahr, sodass die Wirtschaftlichkeit doch sehr negativ darstellen würde. Dafür bräuchte man beinahe halb Deutschland, um diesen Input sicherstellen zu können. Das wäre mit riesigen Logistikaufwänden verbunden. Deshalb sind wir weiter mit Optimierungsschritten beschäftigt, um in Zukunft auch mit Inputmengen von 400 – 500 Tonnen pro Anlage und Jahr wirtschaftlich arbeiten zu können. Seit einem Jahr haben wir ein EU Forschungsprojekt mit sieben Partnern laufen, wo es vermutlich noch dieses Jahr neue Veröffentlichungen geben wird.