

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (MSc) / Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing./DI)

im Masterstudiengang „412 Industrieller Umweltschutz, Entsorgungstechnik und Recycling“

an der Montanuniversität Leoben mit dem Titel

Technische Herausforderungen bei der Aufbereitung von Kühl- und Gefriergeräten mit Vakuumisolationspaneelen (VIP)

erstellt am

Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

Vorgelegt von:

Magdalena Prommegger, BSc

Matrikelnummer: 0635205

Betreuer/Gutachter:

Dipl. Ing. Renato Sarc

Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.mont. Roland Pomberger

Leoben, am 20.01.2014

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this Thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Leuten bedanken, die mich während meiner Studienzeit in Leoben aber auch bei der Erarbeitung der Masterarbeit unterstützt haben.

Zuallererst bei meiner Schulkollegin Sanela, die mich schon in unserem gemeinsamen Maturajahr sehr bestärkt hat, ein technisches Studium zu machen, was ich auf der Montanuniversität auch tatsächlich realisiert habe.

Bei meiner gesamten Familie, aber besonders bei meinen Eltern, die mich während meiner gesamten Studienzeit mental und auch finanziell unterstützt haben und mir somit das Leben in Leoben ermöglicht haben; und bei meinem Bruder David, der mich zum Studium in Leoben bestärkte und mich immer wieder dazu bewegte, mit mehr Engagement an das Studium, aber auch an die vorliegende Masterarbeit heran zu gehen.

Bei Dipl.-Ing. Renato Sarc, meinem Betreuer, der mir immer wieder wichtige Impulse und Anstöße für das Vorankommen in der Arbeit vermittelt hat und mich auf die Reisen zu den großtechnischen Versuchen begleitet hat.

Bei em.O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl Lorber, Leiter des ehemaligen Institutes für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik und bei Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.mont. Roland Pomberger, Leiter des Lehrstuhls für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, die mit ihrer fachlichen Kompetenz und Erfahrung mein Interesse an der Abfallwirtschaft /-verwertungstechnik gestärkt und vertieft haben

Bei Stefan, mit dem ich am Beginn dieses Projektes zusammenarbeiten durfte, als wir uns oft gegenseitig motivierten und uns auch gegenseitig durch unterschiedliche Sichtweisen neue Impulse lieferten.

Bei Claudia, Kerstin, Andrea und allen anderen Freunden, bei denen ich mich oft über Probleme ausgelassen habe und durch ihre Zusprache neue Motivation gefunden habe.

Bei allen Freunden, die ich in Leoben kennenlernen durfte, weil sie mein Leben während und neben dem Studium bereichert und mit Freude erfüllt haben.

Zu guter Letzt bei meinem langjährigen Freund Markus, mit dem ich größtenteils gemeinsam in unserem „Büro“ saß, während ich an der vorliegenden Masterarbeit schrieb und er an seiner. Dabei versuchten wir, trotz manchem Widerwillen wegen Schönwetters, uns gegenseitig zu unterstützen, wofür ich ihm sehr dankbar bin.

Kurzfassung

Technische Herausforderungen bei der Aufbereitung von Vakuumisolationspaneelen (VIP) in Kühl- und Gefriergeräten

Die Europäische Union (EU) legt für das Jahr 2020 u. a. die Steigerung der Energieeffizienz um 20 % als Ziel fest. Im Einklang dazu setzen europäische Haushaltsgerätehersteller, genauer Hersteller von Kühl- und Gefriergeräten (KGG), vermehrt auf den Einsatz der Vakuum-Dämmtechnik in Form von Vakuumisolationspaneelen (VIP) in der Gerätekonstruktion. Dadurch wird zur Verschlankeung des Gerätes (Verringerung der Wandstärke) bei gleichzeitiger Erhöhung des Geräte-Innenvolumens und Verbesserung der Energieeffizienz beigetragen. Die Verwertungs- bzw. Recyclingmöglichkeiten dieser neuen Dämm-Materialien sind allerdings noch weitgehend ungeklärt. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die derzeitig eingesetzten Typen von VIP und über den in Europa herrschenden Stand der Aufbereitungstechnik für zu entsorgende KGG. Diese Masterarbeit geht aus einem Projekt hervor, das vom Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft gemeinsam mit dem Europäischen Komitee der Haushaltsgerätehersteller (CECED), welche somit der Herstellerverantwortung gemäß der Richtlinie 2002/96/EG nachkommen, durchgeführt wurde. Die gegenständliche Arbeit beinhaltet physikalische Grundlagen der Wärmelehre und der Wärmedämmung, aber auch die zur Entsorgung von KGG relevanten rechtlichen und normativen Rahmenbedingungen. Außerdem sind Ergebnisse der mit den untersuchten VIP durchgeführten chemischen Analysen (Röntgenfluoreszenzanalysen), physikalischen Analysen (Siebanalysen), kleintechnischen Versuchen (z.B. Zerkleinerung) und großtechnischen Versuchen (in Aufbereitungsanlagen für KGG) enthalten. Anhand dieser Resultate wird die generelle Eignung der aktuellen Kühlgeräte-Aufbereitungstechnik für die Entsorgung von VIP-haltigen Geräten diskutiert und es werden mögliche Qualitätsänderungen der Output-Materialien von derzeitig üblichen Aufbereitungsanlagen abgeschätzt.

Abstract

Technical Challenges in Recycling of Vacuum Insulation Panels (VIPs) in Cooling and Freezing Appliances

The European Union (EU), among other targets claims for the year 2020 an increase of 20% of energy efficiency. In line with this program, European household appliance producers, particularly producers of cooling and freezing (C&F) appliances, increasingly rely on vacuum insulation technology, in the form of vacuum insulation panels (VIPs), in appliance construction. In this way, a smaller wall thickness is reached while a contribution to an increase of the appliance's internal volume and an improvement of energy efficiency can be achieved. However, the recovery and recycling possibilities of these new insulation materials are still widely unresolved. The presented Thesis gives an overview about prevailing types of VIPs as well as the current state of recycling technology in Europe for end-of-life C&F appliances. This Thesis has emerged from a project, carried out by the Chair of Waste Processing Technology and Waste Management together with the European Committee of Domestic Equipment Manufacturers (CECED), who complies with the principle of producer responsibility according to Directive 2002/96/EC. The Thesis in hand contains physical fundamentals of thermodynamics and thermal insulation as well as legal and normative backgrounds, which are relevant for the recycling of C&F appliances. Furthermore, the Thesis contains results on the performed chemical analyses (X-ray fluorescence analyses), physical analyses (sieving analyses), small scale tests (shredding) and large scale tests (in recycling plants for C&F appliances) with the investigated VIPs. On the basis of these findings, the general applicability of the state of the art recycling technology for C&F appliances in recycling of VIP-containing appliances is discussed and a possible change in quality of the recycling plants' output materials will be estimated.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG.....	4
1.1 Problemstellung.....	5
1.2 Zielsetzung.....	6
2 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN ZUR ENTSORGUNG VON KÜHL- UND GEFRIERGERÄTEN.....	7
2.1 Rechtliche Situation in der Europäischen Union (EU)	7
2.1.1 Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL) 2008/98/EG	8
2.1.2 WEEE-Richtlinie 2002/96/EG.....	11
2.1.2.1 Neufassung – WEEE-Richtlinie 2012/19/EU	12
2.1.3 RoHS-Richtlinie 2002/95/EG	13
2.1.3.1 Neufassung – RoHS-Richtlinie 2011/65/EU	14
2.2 Rechtliche Situation in Österreich	15
2.3 Rechtliche Situation in Deutschland	16
2.4 Rechtliche Situation in der Schweiz	17
3 PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DER WÄRMELEHRE UND DES UNTERSUCHTEN ISOLATIONSMATERIALS	18
3.1 Grundlagen des Wärmetransports	18
3.1.1 Wärmeleitung.....	18
3.1.2 Konvektion	19
3.1.3 Wärmestrahlung.....	20
3.2 Grundlagen der Wärmedämmung	20
3.3 Technologie der Vakuum-Wärmedämmung in den untersuchten VIP	21
4 VAKUUMISOLATIONSPANEELE (VIP).....	22
4.1 Struktur und Aufbau eines Vakuumisulationspaneels	22
4.2 Untersuchte Vakuumisulationspaneele	24
4.3 Physikalische Eigenschaften und Einsatzfelder von VIP	24
4.4 Eigenschaften von VIP-haltigen Geräten	27
4.5 Aspekte zum Arbeitsschutz und zur Arbeitssicherheit	31
5 SAMMLUNG UND RECYCLING VON KÜHL- UND GEFRIERGERÄTEN IN AUSGEWÄHLTEN LÄNDERN EUROPAS	32
5.1 Sammelmengen von EAG in Europa	32
5.1.1 Sammelmengen in Österreich.....	35
5.1.2 Sammelmengen in Deutschland.....	36
5.1.3 Sammelmengen in der Schweiz.....	38
5.2 Rechtlicher und technischer Ist-Stand der Recyclingtechnologien von Kühl- und Gefriergeräten in Europa	39

5.2.1	Rechtlicher und normativer Rahmen für die Kühlgeräteaufbereitung.....	39
5.2.2	Stand der Technik der Kühlgeräteaufbereitung in Europa	41
5.2.2.1	Beschreibung des vereinfachten Fließbildes	43
5.2.2.2	Massenbilanzen von Kühlgeräten	49
5.2.2.3	Mögliche Verwertungs- und Recyclingquoten.....	50
5.2.3	Recycling von VIP.....	54
6	PRAKTISCHER TEIL – VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	58
6.1	Zerkleinerungsversuche	59
6.1.1	Anlagenbeschreibung	59
6.1.2	Zerkleinerung von Materialgruppe 1	61
6.1.3	Zerkleinerung von Materialgruppe 2	61
6.1.4	Zerkleinerung von Materialgruppe 3	61
6.1.5	Zerkleinerung von Materialgruppe 4	62
6.1.6	Zerkleinerung von Materialgruppe 5	62
6.1.7	Zerkleinerung von Materialgruppe 6	63
6.1.8	Zusammenfassung der Zerkleinerungsversuche	63
6.2	Siebanalysen	64
6.3	Röntgenfluoreszenzanalysen	65
6.4	Ergebnisse und Interpretation der Versuche und Analysen	68
6.4.1	Ergebnisse von Materialgruppe 1 (papierartig)	68
6.4.2	Ergebnisse von Materialgruppe 2 (weißes Vlies)	70
6.4.3	Ergebnisse von Materialgruppe 3 (glaswollartig).....	72
6.4.4	Ergebnisse von Materialgruppe 4 (graues Pulver)	74
6.4.5	Ergebnisse von Materialgruppe 5 (braunes Pulver)	76
6.4.6	Ergebnisse von Materialgruppe 6 (schwarzes Pulver).....	78
6.4.7	Zusammenfassung der chemischen Zusammensetzung von VIP	79
6.5	Großtechnische Versuche in ausgewählten Recyclinganlagen	80
6.5.1	Planungsphase der großtechnischen Versuche	80
6.5.1.1	Geplanter Zeitrahmen für die großtechnischen Versuche	82
6.5.1.2	Berechnungen der nötigen VIP-Mengen für die großtechnischen Versuche	82
6.5.1.3	Lieferung der VIP von den Herstellern	83
6.5.2	Großtechnischer Versuch bei AVE Österreich GmbH in Timelkam (AT)	85
6.5.2.1	Materialgruppe 1 – papierartig.....	86
6.5.2.2	Materialgruppe 2 – weißes Vlies.....	87
6.5.2.3	Materialgruppe 3 – glaswollartig	87
6.5.2.4	Materialgruppe 4 – graues Pulver.....	89
6.5.2.5	Abbruch des Versuches	90
6.5.2.6	Zusammenfassung des Versuchs in Timelkam.....	91
6.5.3	Großtechnischer Versuch bei Veolia Propreté in Angers (FR)	92

6.5.3.1	Materialgruppe 1 – papierartig.....	93
6.5.3.2	Materialgruppe 2 – weißes Vlies.....	93
6.5.3.3	Materialgruppe 3 – glaswollartig	94
6.5.3.4	Materialgruppe 4 – graues Pulver.....	95
6.5.3.5	Materialgruppe 5 – braunes Pulver.....	95
6.5.3.6	Materialgruppe 6 – schwarzes Pulver	96
6.5.3.7	Zusammenfassung des Versuchs in Angers	96
6.5.4	Großtechnischer Versuch bei STENA in Angiari (IT)	99
6.5.4.1	Materialgruppe 1 – papierartig.....	100
6.5.4.2	Materialgruppe 3 – glaswollartig	100
6.5.4.3	Materialgruppe 4 – graues Pulver.....	101
6.5.4.4	Materialgruppe 5 – braunes Pulver.....	102
6.5.4.5	Materialgruppe 6 – schwarzes Pulver	102
6.5.4.6	Materialgruppe 2- weißes Vlies	103
6.5.4.7	Zusammenfassung des Versuchs in Angiari	104
7	ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	106
8	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	109
8.1	Allgemeine Angaben zu VIP.....	109
8.2	Kleintechnische Versuche	110
8.3	Angewandte Technologie in Europa und Recyclingquoten	110
8.4	Großtechnische Versuche	112
8.5	Empfehlungen für die Zukunft	113
9	VERZEICHNISSE	115
9.1	Literaturverzeichnis	115
9.2	Abkürzungsverzeichnis.....	121
9.3	Tabellen.....	123
9.4	Abbildungen	125
I.	ANHANG – STRUKTUR DES CECED.....	I
II.	ANHANG – FRAGEBOGEN AN CECED VOM 29.06.2012	II
III.	ANHANG – VEREINHEITLICHTES SICHERHEITSDATENBLATT	III
IV.	ANHANG – ANLAGENFLIEßBILDER	IX
V.	ANHANG – PRÜFBERICHTE DER CHEMISCHEN ANALYSEN	XXII
VI.	ANHANG – INFORMATIONSBLETT FÜR ENTSORGUNGSANLAGEN.....	XXX
VII.	ANHANG – FOTODOKUMENTATION DER DURCHGEFÜHRTEN VERSUCHE	XXXI

1 Einleitung

Die gegenständliche Masterarbeit geht aus einem Projekt hervor, das vom Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW) gemeinsam mit dem Europäischen Komitee der Haushaltsgerätehersteller (CECED)¹ durchgeführt wurde und in weiterer Folge dieser Arbeit als „CECED-Projekt“ bezeichnet wird. Da die Verfasserin der vorliegenden Masterarbeit einen wesentlichen Teil des Berichtes für das CECED-Projekt selbst erstellt hat, sind Teile aus dieser Arbeit übereinstimmend mit Teilen aus jener Projektarbeit, welche allerdings in Englisch verfasst wurde. Der Titel der betreffenden Projektarbeit lautet „Recycling of Cooling and Freezing Appliances Containing Vacuum Insulation Panels (VIPs)“.

Eines der Kernziele der Europäischen Union (EU) bis zum Jahre 2020 beinhaltet die Steigerung der Energieeffizienz um 20 %. [2] Im Einklang mit diesem Ziel verwenden europäische Haushaltsgerätehersteller in der Konstruktion von Kühl- und Gefriergeräten (KGG) vermehrt Isolationspaneele, die sich der energieeffizienten Vakuum-Dämmtechnik bedienen und daher als Vakuumisolationspaneele (VIP) bezeichnet werden. Diese garantieren aufgrund ihrer schmalen Bauform eine Verschlanung des Gerätes (Verringerung der Wandstärke) bei gleichzeitiger Erhöhung des Innenvolumens und Verbesserung der Energieeffizienz. Die Verwertungs- bzw. Recyclingmöglichkeiten dieser neuartigen Dämm-Materialien sind allerdings noch weitgehend ungeklärt und es gibt nahezu keine Erfahrungen über die Eignung von derzeit (2013) üblichen Entsorgungsanlagen für VIP-haltige Geräte. Um der Herstellerverantwortung² gemäß WEEE-Richtlinie 2012/19/EU gerecht zu werden, hat sich der CECED als Vertreter der europäischen Haushaltsgerätehersteller dazu entschlossen, der Frage der Eignung der gegenwärtig üblichen Aufbereitungstechnik für VIP-haltige Geräte nachzugehen, woraus die gegenständliche Arbeit entstanden ist.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet physikalische Hintergründe der Wärmelehre und der Wärmedämmung, aber auch für die Entsorgung von KGG relevante rechtliche und normative Grundlagen. Des Weiteren wird ein Überblick über die derzeit in Europa üblicherweise eingesetzten Typen von VIP gegeben (sechs unterschiedliche Typen), der in Europa herrschende Stand der Aufbereitungstechnik für Alt-Kühlgeräte erläutert und anhand eines selbst erstellten Fließbildes auch veranschaulicht. Außerdem sind Ergebnisse der mit den einzelnen VIP durchgeführten chemischen Analysen (Röntgenfluoreszenzanalyse), physikalischen Analysen (Siebanalysen), kleintechnischen Versuchen (Zerkleinerung) und großtechnischen Versuchen (in Aufbereitungsanlagen für Kühl- und Gefriergeräte) enthalten. Anhand dieser Ergebnisse wird auf die generelle Eignung der aktuellen

¹ Der CECED ist ein Verband mit Sitz in Brüssel, in dem sich Haushaltsgerätehersteller und nationale Fachverbände zusammengeschlossen haben. Zu den CECED-Mitgliedern zählen 18 direkte Mitglieder und 24 nationale Vereinigungen. [1] Die genaue Struktur des CECED ist in Anhang I ersichtlich.

² Die Herstellerverantwortung war bereits in der WEEE-Richtlinie 2002/96/EG [3] verankert als ein Mittel, mit dem bereits bei der Herstellung von Elektro- und Elektronikgeräten auf deren Reparatur, Wiederverwendung und Recycling geachtet werden soll.

Kühlgeräte-Aufbereitungstechnik für die Entsorgung von VIP-haltigen Geräten eingegangen und es werden Abschätzungen von eventuellen Qualitätsänderungen der Output-Materialien der derzeit üblichen Aufbereitungsanlagen getroffen.

1.1 Problemstellung

Im Rahmen dieser Arbeit gilt es festzustellen, ob die Entsorgungstechnologien für Kühl- und Gefriergeräte, wie sie derzeit (2013) in Europa üblich sind, auch für die Entsorgung von VIP-haltigen Geräten generell geeignet sind. Außerdem sollen eventuelle Qualitätsänderungen der outputseitigen Materialien aus den Entsorgungsanlagen durch Vermischung mit Materialien aus VIP (z.B. Anhaftungen von Siliciumdioxid) abgeschätzt werden. Die neuartigen Isolationspaneele werden zwar bereits seit einigen Jahren als Dämmmaterialien in der Bauindustrie eingesetzt, jedoch erst seit Kurzem vermehrt in der Konstruktion von KGG, um dort zur Steigerung der Energieeffizienz beizutragen. Um die zuvor erwähnte Eignung der Technologie bzw. die Abschätzung der eventuellen Qualitätsänderungen zu ermitteln, sollen die derzeit vorherrschenden Entsorgungstechnologien, aber auch die aktuell eingesetzten Typen von Vakuumisolationspaneelen identifiziert und untersucht werden. Die erforderliche Herangehensweise an diese Problemstellung wird anhand folgender drei Phasen näher erläutert:

1. Phase 1 (Ist-Stand)

- a. Identifikation von Vakuumisolationspaneelen, die von den Haushaltsgeräteherstellern eingesetzt werden.
 - i. Kooperation mit VIP-Herstellern, die die Haushaltsgerätehersteller beliefern; Ermittlung von Herstellern, Produkten und aktuellen Entwicklungen neuartiger Isolierungen wie VIP.
 - ii. Schaffung eines standardisierten Dokumentes mit allen technischen Details (z.B. Überladung des Abluftsystems), chemischen Eigenschaften (z.B. Bestandteile), Anlagenprozessen und Arbeitssicherheits-Anforderungen (z.B. Staubexplosion) bezüglich VIP.
- b. Identifikation von Recycling-Technologien
 - i. Bestimmung Kühlgeräteaufbereitungstechnik
 - ii. Recherche bezüglich Berichten/Erfahrungen mit dem Recycling von VIP
- c. Abschlussbericht von Phase 1

2. Phase 2 (Versuchsphase)

- a. Schaffung eines Test-Schemas, um diverse Kombinationsmöglichkeiten von VIP und Recyclingtechnologien abzudecken:
 - i. Durchführung von kleintechnischen Versuchen mit dem Ziel, mögliche Beeinträchtigungen der Gesundheit oder der Sicherheit in den Entsorgungsanlagen zu bestimmen.

- b. Auswertung der Versuche im Forschungszentrum, Ausarbeitung der Versuchsanlagen, des Arbeitsablaufs und Zeitplans für die Durchführung der Versuche mit den KGG (Planung der großtechnischen Versuche).
 - c. Abschlussbericht von Phase 2.
3. Phase 3 (Großtechnische Versuche und Auswertung)
- a. Durchführung und Auswertung der großtechnischen Versuche in ausgewählten Entsorgungsanlagen:
 - i. Durchführung von großtechnischen Versuchen als eine Reihe von unterschiedlichen Szenarien von KGG mit Polyurethan-Schaum und KGG mit VIP.
 - ii. Untersuchung der Recyclingquote aufgrund schwankender Qualität der Output-Fractionen von KGG;
 - iii. Untersuchung des monetären Wertes der Output-Fractionen.
 - b. Abschlussbericht von Phase 3.

1.2 Zielsetzung

Als grundsätzliches Ziel der gegenständlichen Masterarbeit wird die Ermittlung der Auswirkungen von VIP-haltigen Kühl- und Gefriergeräten auf die derzeit vorherrschende Entsorgungstechnologie bzw. die prinzipielle Eignung dieser Technologie für die Entsorgung von VIP-haltigen Kühl- und Gefriergeräten definiert. Dabei sind auch eventuelle Auswirkungen auf die Arbeitssicherheit und den Arbeitsschutz zu berücksichtigen. Darüber hinaus soll auf das Recycling und die Verwertbarkeit der VIP unter Berücksichtigung des Stands der Technik eingegangen werden und im besten Fall Recyclingquoten ermittelt werden. Eventuelle Qualitätsänderungen in den „Produkten“ (outputseitige Materialien) von Entsorgungsanlagen durch Vermischung (Kontamination) mit Stoffen aus VIP sollen untersucht werden und dabei auch deren monetäre Auswirkungen berücksichtigt werden. Schließlich soll das Potential der VIP bzw. der Inhaltsstoffe von VIP als Sekundärrohstoff beleuchtet werden (jeweils bezogen auf die unterschiedlichen VIP-Typen).

In Abbildung 1 sind die zuvor erwähnten Ziele zusammengefasst und veranschaulicht.

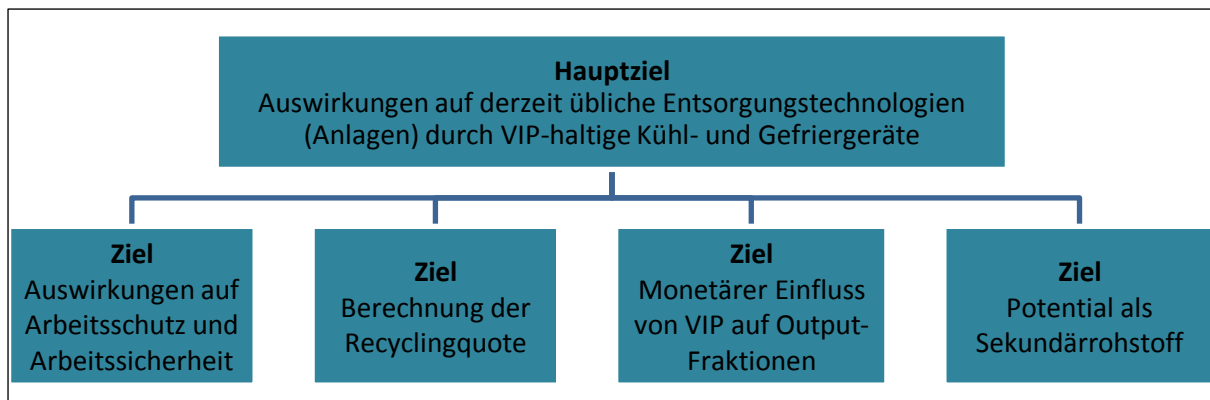


Abbildung 1: Ziele der vorliegenden Masterarbeit

2 Rechtliche Rahmenbedingungen zur Entsorgung von Kühl- und Gefriergeräten

Mit dem Ziel die natürlichen Ressourcen zu bewahren, wurden sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene Gesetze eingeführt, welche die Entsorgung von Elektroaltgeräten, unter welche auch Kühl- und Gefriergeräte fallen, regeln. Dieses Kapitel behandelt die derzeit (2013) gültigen rechtlichen Vorgaben auf Ebene der Europäischen Union und auf den nationalen Ebenen von Deutschland, Österreich und der Schweiz.

2.1 Rechtliche Situation in der Europäischen Union (EU)

Vorab ist es wichtig, die beiden Begriffe „Richtlinie“ und „Verordnung“, wie sie auf EU-Ebene verwendet werden, zu definieren. Diese Begriffsdefinitionen sind ausschlaggebend für den Charakter des jeweiligen Gesetzes.

- Eine **Richtlinie** auf EU-Ebene wird überwiegend zur Harmonisierung der nationalen Rechtsvorschriften eingesetzt. Die Richtlinie zeichnet sich durch ihre Flexibilität aus. Sie führt eine Ergebnisverpflichtung (Ziel und Zeitpunkt der spätesten Umsetzung) ein, überlässt jedoch den Staaten die Wahl der Mittel, um diese Vorgaben zu erfüllen [4].
- Eine **Verordnung** auf EU-Ebene geht allein von der Europäischen Union aus und hat allgemeine Geltung, ist in allen ihren Teilen verbindlich und gilt unmittelbar in jedem EU-Mitgliedstaat [5].

Das heißt, Mitgliedstaaten der EU müssen eine von der EU erlassene Richtlinie in nationales Recht umsetzen, eine EU-Verordnung jedoch gilt unmittelbar in allen Mitgliedstaaten. So wurden die drei wesentlichen Gesetzeswerke im Bereich der Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (EAG) auch von Österreich und Deutschland in nationales Recht umgesetzt, wie in Tabelle 1 gezeigt wird.

Tabelle 1: Umsetzung der EU Gesetzgebung in Österreich und Deutschland

Richtlinie der Europäischen Union	Umsetzung in Österreich	Umsetzung in Deutschland
Abfallrahmenrichtlinie [6] (Richtlinie 2008/98/EG)	Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) [7]	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [8]
WEEE-Richtlinie [3] (Richtlinie 2002/96/EG; Neufassung: Richtlinie 2012/19/EU)	Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO) [9]	Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) [10]
RoHS-Richtlinie [11] (Richtlinie 2002/95/EG, Neufassung: Richtlinie 2011/65/EU)		

Für die Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE-Richtlinie [3]) und die Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS-Richtlinie [11]) gibt es jeweils Neufassungen (WEEE-RL: 2012/19/EU [12], RoHS-RL: 2011/65/EU [13]), die zum Teil erst in nationales Recht implementiert werden müssen.

Eine der wichtigsten Verordnungen im Fachbereich „Abfall“ ist die Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (Abfallrahmenrichtlinie [6]), welche u. a. auch die europäische Abfallhierarchie klar definiert. Detaillierte Informationen über die Entsorgung von EAG sowie Angaben über Recyclingraten sind in der WEEE-Richtlinie enthalten. Auch die RoHS-Richtlinie ist für die Entsorgung von EAG im europäischen Raum wichtig, da sie wesentliche Informationen über die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe (z.B. Quecksilber) umfasst, die in Elektronik- und Elektrogeräten enthalten sind.

2.1.1 Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL) 2008/98/EG

Die Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle [6] trat mit 12. Dezember 2008 in Kraft und musste bis zum 12. Dezember 2010 in nationales Recht umgesetzt werden. In dieser Richtlinie ist u. a. auch die Bedeutung des Begriffs „Abfall“ definiert und die nötigen Behandlungsschritte von Abfall erklärt. Kühl- und Gefriergeräte werden zu Abfall, wenn sie dem Begriff „Abfall“, laut Artikel 3 (1) der Abfallrahmenrichtlinie, entsprechen:

***Abfall** bezeichnet jeden Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.*

Kühl- und Gefriergeräte gelten aber im Sinne Artikel 3 (2) der AbfRRL auch als **gefährlicher Abfall**, der Folgendes bezeichnet:

Abfall, der eine oder mehrere der in Anhang III aufgeführten gefährlichen Eigenschaften aufweist.

In Artikel 4 der AbfRRL ist die europäische Abfallhierarchie (siehe Abbildung 2) beschrieben. Diese Hierarchie ist in fünf Stufen unterteilt, welche den Rechtsvorschriften und politischen Maßnahmen im Bereich der Abfallvermeidung und -bewirtschaftung als Prioritätenfolge zugrunde liegen:

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

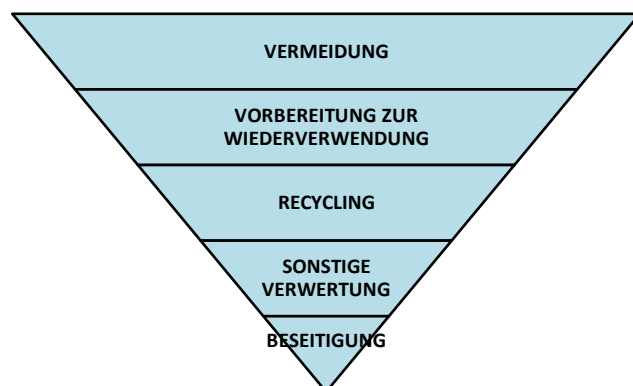


Abbildung 2: Fünfstufige Abfallhierarchie [14]

Die Definitionen der einzelnen Begriffe der Abfallhierarchie sind in Artikel 3 der AbfRRL angeführt und nachfolgend aufgelistet:

*„**Vermeidung**“ bezeichnet Maßnahmen, die ergriffen werden, bevor ein Stoff, ein Material oder ein Erzeugnis zu Abfall geworden ist und*

- a) die Abfallmenge, auch durch die Wiederverwendung von Erzeugnissen oder die Verlängerung ihrer Lebensdauer,*
- b) die schädlichen Auswirkungen des erzeugten Abfalls auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit oder*
- c) den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen verringern.*

*„**Vorbereitung zur Wiederverwendung**“ bezeichnet jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können.*

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

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

*„**Beseitigung**“ bezeichnet jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurück gewonnen werden.*

Im Anhang III der Abfallrahmenrichtlinie sind die nachfolgenden gefahrenrelevanten Eigenschaften von Abfällen angeführt, welche ausschlaggebend für die Einstufung und Kategorisierung von gefährlichem Abfall sind.

H 1 *„**explosiv**“: Stoffe und Zubereitungen, die unter Einwirkung einer Flamme explodieren können oder empfindlicher auf Stöße oder Reibung reagieren als Dinitrobenzol;*

H 2 *„**brandfördernd**“: Stoffe und Zubereitungen, die bei Berührung mit anderen, insbesondere brennbaren Stoffen eine stark exotherme Reaktion auslösen;*

H 3-A *„**leicht entzündbar**“:*

- Stoffe und Zubereitungen in flüssiger Form mit einem Flammpunkt von unter 21 °C (einschließlich hochentzündbarer Flüssigkeiten) oder*
- Stoffe und Zubereitungen, die sich bei Raumtemperatur an der Luft ohne Energiezufuhr erhitzen und schließlich entzünden können; oder*

- feste Stoffe und Zubereitungen, die sich durch kurzzeitigen Kontakt mit einer Zündquelle leicht entzünden und nach deren Entfernung weiterbrennen oder weiterglimmen; oder
- unter Normaldruck an der Luft entzündbare gasförmige Stoffe und Zubereitungen; oder
- Stoffe und Zubereitungen, die bei Berührung mit Wasser oder feuchter Luft hochentzündliche Gase in gefährlicher Menge entwickeln;
- H 3-B** „**entzündbar**“: flüssige Stoffe und Zubereitungen mit einem Flammpunkt von mindestens 21 °C und höchstens 55 °C;
- H 4** „**reizend**“: nicht ätzende Stoffe und Zubereitungen, die bei unmittelbarer, länger dauernder oder wiederholter Berührung mit der Haut oder den Schleimhäuten eine Entzündungsreaktion hervorrufen können;
- H 5** „**gesundheitsschädlich**“: Stoffe und Zubereitungen, die bei Einatmung, Einnahme oder Hautdurchdringung Gesundheitsgefahren von beschränkter Tragweite hervorrufen können;
- H 6** „**giftig**“: Stoffe und Zubereitungen (einschließlich hochgiftiger Stoffe und Zubereitungen), die bei Einatmung, Einnahme oder Hautdurchdringung schwere, akute oder chronische Gesundheitsgefahren oder sogar den Tod verursachen können;
- H 7** „**krebserzeugend**“: Stoffe und Zubereitungen, die bei Einatmung, Einnahme oder Hautdurchdringung Krebs erzeugen oder dessen Häufigkeit erhöhen können;
- H 8** „**ätzend**“: Stoffe und Zubereitungen, die bei Berührung mit lebenden Geweben zerstörend auf diese einwirken können;
- H 9** „**infektiös**“: Stoffe und Zubereitungen, die lebensfähige Mikroorganismen oder ihre Toxine enthalten und die im Menschen oder sonstigen Lebewesen erwiesenermaßen oder vermutlich eine Krankheit hervorrufen;
- H 10** „**fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch)**“: Stoffe und Zubereitungen, die bei Einatmung, Einnahme oder Hautdurchdringung nichterbliche angeborene Missbildungen hervorrufen oder deren Häufigkeit erhöhen können;
- H 11** „**mutagen**“: Stoffe und Zubereitungen, die bei Einatmung, Einnahme oder Hautdurchdringung Erbschäden hervorrufen oder ihre Häufigkeit erhöhen können;
- H 12** Abfälle, die bei der Berührung mit Wasser, Luft oder einer Säure ein giftiges oder sehr giftiges Gas abscheiden;
- H 13 (*)** „**sensibilisierend**“: Stoffe und Zubereitungen, die bei Einatmung oder Hautdurchdringung eine Überempfindlichkeitsreaktion hervorrufen können, so dass bei künftiger Exposition gegenüber dem Stoff oder der Zubereitung charakteristische Störungen auftreten;
- H 14** „**ökotoxisch**“: Abfälle, die unmittelbare oder mittelbare Gefahren für einen oder mehrere Umweltbereiche darstellen oder darstellen können.
- H 15** Abfälle, die nach der Beseitigung auf irgendeine Weise die Entstehung eines anderen Stoffes bewirken können, z.B. ein Auslaugungsprodukt, das eine der oben genannten Eigenschaften aufweist.

2.1.2 WEEE-Richtlinie 2002/96/EG

Die Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte [3], auch WEEE-Richtlinie genannt (vom Englischen für **W**aste **E**lectrical and **E**lectronic **E**quipment Directive), trat mit 27. Februar 2003 auf der EU-Ebene in Kraft. Sie musste von den EU-Mitgliedsstaaten bis zum 13. August 2004 in nationales Recht implementiert werden.

Die WEEE-Richtlinie setzt zu erfüllende Quoten für die Sammlung, die Verwertung und das Recycling für alle Arten von elektronischen und elektrischen Geräten fest, welche in die zehn folgenden Kategorien unterteilt werden (laut Anhang IA der WEEE-RL 2002/96/EG [3] und Anhang I der WEEE-RL 2012/19/EU [12]):

1. *Haushaltsgroßgeräte*
2. *Haushaltskleingeräte*
3. *IT- und Telekommunikationsgeräte*
4. *Geräte der Unterhaltungselektronik*
5. *Beleuchtungskörper*
6. *Elektrische und elektronische Werkzeuge (mit Ausnahme ortsfester industrieller Großwerkzeuge)*
7. *Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte*
8. *Medizinische Geräte (mit Ausnahme aller implantierten und infizierten Produkte)*
9. *Überwachungs- und Kontrollinstrumente*
10. *Automatische Ausgabegeräte*

Laut Anhang IA der WEEE-Richtlinie 2002 zählen Kühl- und Gefriergeräte zu Gerätekategorie 1, den „Haushaltsgroßgeräten“. Das bedeutet, dass laut Artikel 7 (2a) der Richtlinie 2002/96/EG für Kühlgeräte

- die Verwertungsquote auf mindestens **80 %** des durchschnittlichen Gewichts je Gerät anzuheben ist und
- die Wiederverwendungs- und Recyclingquote für Bauteile, Werkstoffe und Stoffe auf mindestens **75 %** des durchschnittlichen Gewichts je Gerät anzuheben ist, wie in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 3: Geforderte Verwertungs- und Recyclingquote laut WEEE-RL 2002/96/EG

In Artikel 5 (5) der Richtlinie 2002/96/EG ist verankert, dass die EU-Mitgliedstaaten spätestens bis zum 31. Dezember 2006 eine Quote von durchschnittlich mindestens **vier Kilogramm** getrennt

gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräten aus privaten Haushalten pro Einwohner und Jahr erreichen sollen.

Die bereits in der Einleitung der Richtlinie unter Absatz 5 erwähnte Herstellerverantwortung, wird in Absatz 12 als eines der Mittel bezeichnet „*mit denen die Konzeption und die Produktion von Elektro- und Elektronikgeräten gefördert werden sollen, die deren Reparatur, mögliche Nachrüstung, Wiederverwendung, Zerlegung und Recycling umfassend berücksichtigen und erleichtern.*“ Gemäß Absatz 20 der Einleitung sollte basierend auf dieser Herstellerverantwortung „*jeder Hersteller für die Finanzierung der Entsorgung des durch seine eigenen Produkte anfallenden Abfalls verantwortlich sein.*“

Die Hersteller von Elektro- und Elektronik-Altgeräten müssen deren Produkte mit dem Symbol für die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronikgeräten markieren (siehe Abbildung 4). Dieses Symbol, das eine durchgestrichene Abfalltonne auf Rädern darstellt, ist laut Anhang IV der WEEE-Richtlinie 2002 sichtbar, erkennbar und dauerhaft anzubringen



Abbildung 4: Symbol zur Kennzeichnung von Elektro- und Elektronikgeräten

2.1.2.1 Neufassung – WEEE-Richtlinie 2012/19/EU

Laut Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte [12] war „*die Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte in wesentlichen Punkten zu ändern. Aus Gründen der Klarheit empfiehlt es sich, eine Neufassung dieser Richtlinie vorzunehmen*“ ([12] Einleitung). Eine Umsetzung in nationales Recht hat bis zum 14. Februar 2014 von den EU-Mitgliedstaaten zu erfolgen.

Die Kategorisierung von Kühl- und Gefriergeräten zur Gerätekategorie 1 „Haushaltsgroßgeräte“ wird in Anhang I der WEEE-Richtlinie 2012/19/EU festgelegt.

Die Herstellerverantwortung ist auch in der neuen WEEE-Richtlinie verankert und es wird in Artikel 7 (1) sogar gefordert, dass jeder Mitgliedstaat die Umsetzung des Grundsatzes der Herstellerverantwortung sicherzustellen hat. Ansonsten wurden in der Einleitung die Absätze betreffend der Herstellerverantwortung aus der RL 2002/96/EG übernommen.

Änderung der Verwertungs- und Recyclingquoten für Kühl- und Gefriergeräte

Betreffend der Verwertungs- und Recyclingquoten gibt es Änderungen, die sich in insgesamt drei Phasen unterteilen, wie in Anhang V erläutert wird. Für Kühl- und Gefriergeräte sind aber nur die

ersten zwei Phasen von Bedeutung (werden nachfolgend erläutert), da die dritte keine Änderung zur zweiten Phase darstellt.

1. Mindestzielvorgaben vom 13. August 2012 bis zum 14. August 2015 für Kühl- und Gefriergeräte:
 - 80 % sind zu verwerten und
 - 75 % sind zu rezyklieren.

Dies stellt keine Änderung dar zu den in der WEEE-Richtlinie 2002 erwähnten Quoten (siehe Abbildung 3).

2. Mindestzielvorgaben vom 15. August 2015 bis zum 14. August 2018 für Kühl- und Gefriergeräte:
 - 85 % sind zu verwerten und
 - 80 % sind zur Wiederverwendung vorzubereiten und zu rezyklieren.

Das bedeutet, dass sowohl die geforderte Verwertungsquote als auch die geforderte Recyclingquote um jeweils 5 % bezogen auf die Gerätemasse ansteigen. Die ab 15. August 2015 gültigen Vorgaben sind in Abbildung 5 veranschaulicht.



Abbildung 5: Geforderte Verwertungs- und Recyclingquote ab 15.08.2015 laut WEEE-RL 2012/19/EU

2.1.3 RoHS-Richtlinie 2002/95/EG

Die Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlamentes und Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten [11], auch RoHS-Richtlinie genannt (vom Englischen für **R**estriction **o**f (the use of certain) **H**azardous **S**ubstances) trat im Jänner 2003 in Kraft. Die EU-Mitgliedstaaten hatten die Richtlinie bis zum 13. August 2004 in nationales Recht umzusetzen. Das Ziel dieser Richtlinie ist es, den Einsatz von gefährlichen Stoffen in Elektro- und Elektronikgeräten zu verhindern oder diesen auf ein Minimum zu beschränken. Die folgenden Stoffe, welche in Artikel 4 (1) aufgelistet sind, dürfen seit dem 1. Juli 2006 in neu in Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräten nur noch unter bestimmten Bedingungen, die im Anhang der RoHS-Richtlinie aufgelistet sind, enthalten sein:

- Blei,
- Quecksilber,
- Cadmium,
- sechswertiges Chrom,
- polybromiertes Biphenyl (PBB) bzw.
- polybromierten Diphenylether (PBDE).

2.1.3.1 Neufassung – RoHS-Richtlinie 2011/65/EU

Laut Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlamentes und Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten [13] sind „an der Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten eine Reihe von wesentlichen Änderungen vorzunehmen. Im Interesse der Klarheit sollte diese Richtlinie neu gefasst werden“ ([13] Einleitung). Eine Umsetzung in nationales Recht hatte bis zum 2. Jänner 2013 zu erfolgen.

Die oben angeführten Stoffe, haben laut Anhang II der neuen RoHS-Richtlinie neue Beschränkungen erhalten, die ab dem jeweiligen in der Richtlinie angeführten Stichtag gelten ([13] Artikel 4). In Klammer sind die Konzentrationshöchstwerte in Gewichtsprozent angeführt, die in homogenen Werkstoffen toleriert werden.

- Blei (0,1 %)
- Quecksilber (0,1 %)
- Cadmium (0,01 %)
- Sechswertiges Chrom (0,1 %)
- Polybromierte Biphenyle (PBB) (0,1 %)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE) (0,1 %)

2.2 Rechtliche Situation in Österreich

In Österreich gilt das Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft 2002, kurz Abfallwirtschaftsgesetz 2002 oder AWG 2002 [7], als juristische Grundlage für alle abfallwirtschaftlichen Belange. Mit der AWG-Novelle 2010, verlautbart im BGBl. I Nr. 9/2011 [15], wurde die EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG in österreichisches Recht umgesetzt. Wesentliche Änderungen der Novelle, welche mit 16. Februar 2011 in Kraft getreten ist, sind die Übernahme der neuen fünfstufigen Abfallhierarchie der EU (vgl. Abbildung 2), neue Begriffsbestimmungen, sowie geänderte Regeln für das Abfallende.

Die WEEE-Richtlinie und die RoHS-Richtlinie wurden durch die Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten, kurz Elektroaltgeräteverordnung oder EAG-VO [9], in österreichisches Recht implementiert. Seit 2006 gibt es eine im § 1 Absatz 2 der EAG-VO geforderte Quote von durchschnittlich mindestens 4 kg für die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten aus privaten Haushalten pro Einwohner und Jahr.

Aufgrund der Neufassungen der RoHS-Richtlinie 2011/65/EU und der WEEE-Richtlinie 2012/19/EU, wurde die EAG-VO-Novelle 2012, verlautbart im BGBl. II Nr. 397/2012 [16], ausgearbeitet. Sie enthält die geforderten Änderungen der neuen RoHS-Richtlinie, die bereits bis zum 2. Jänner 2013 umzusetzen waren, aber auch die Änderungen der neuen WEEE-Richtlinie, die erst bis 14. Februar 2014 in nationales Recht umzusetzen wären.

In Tabelle 2 sind die oben erwähnten Gesetze sowie deren Novellen ersichtlich.

Tabelle 2: Relevante österreichische Gesetze

Relevante österreichische Gesetze	Novellen (erforderlich wegen)
Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft StF: BGBl. I Nr. 102/2002 Abfallwirtschaftsgesetz 2002 - AWG 2002 [7]	AWG-Novelle 2010 , [15] BGBl. I Nr. 9/2011 (<i>AbfRRL 2008/98/EG</i> [6])
Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten StF: BGBl. II Nr. 121/2005 Elektroaltgeräteverordnung – EAG-VO [9]	EAG-VO-Novelle 2012 , [16] BGBl. II Nr. 397/2012 (<i>RoHS-RL 2011/65/EU</i> [11]) (<i>WEEE-RL 2012/19/EU</i> [3])

2.3 Rechtliche Situation in Deutschland

In Deutschland ist das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (kurz Kreislaufwirtschaftsgesetz oder KrWG) die Grundlage aller abfallwirtschaftlichen Handlungen. Mit der Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes vom 24. Februar 2012 [8] wurde die EU-Abfallrahmenrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt. Genauso wie auch im österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz wurde die fünfstufige Abfallhierarchie implementiert sowie auch viele neue Begriffsdefinitionen und andere Anpassungen.

Bezüglich der Umsetzungspflicht der RoHS-Richtlinie sowie der WEEE-Richtlinie gibt es in Deutschland das Elektro- und Elektronikgesetz [10]. Dieses trat schrittweise von März 2005 bis Ende 2006 in Kraft. Um die Neufassung der RoHS-Richtlinie in deutsches Recht zu implementieren, gibt es seit Mai 2013 die sogenannte Verordnung zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten [17], die den § 5 des ElektroG zur Umsetzung der RoHS-Richtlinie 2002/95/EG aufhebt. Um der neuen WEEE-Richtlinie nachzukommen, wird das ElektroG novelliert. [18], [19]

In Tabelle 3 sind die im obigen Text erwähnten deutschen Gesetze sowie deren Novellen ersichtlich.

Tabelle 3: Relevante deutsche Gesetze

Relevante deutsche Gesetze	Novellen oder neue Gesetze (erforderlich wegen)
Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994, BGBl I S. 2705 [20] Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen vom 24. Februar 2012, BGBl. I S. 212 [8] (AbfRRL 2008/98/EG [6])
Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 16. März 2005, BGBl. I S. 762 [10] Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG	Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung – ElektroStoffV Verordnung zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten [17] (RoHS-RL 2011/65/EU [13]) Novelle vom ElektroG (WEEE-RL 2012/19/EU [12])

2.4 Rechtliche Situation in der Schweiz

Obwohl die Schweiz kein Mitglied der Europäischen Union ist, gibt es dort einen nationalen Fachverband des CECED. Sie ist außerdem ein europäisches Land mit hohen Standards hinsichtlich der Abfallwirtschaft, weshalb auch die rechtlichen Rahmenbedingungen in der Schweiz vorgestellt werden. Das Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz, kurz Umweltschutzgesetz oder USG [21], ist in der Schweiz das rechtliche Hauptwerk um die nationale Abfallwirtschaft zu regulieren und die Umwelt zu schützen. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) arbeitet derzeit (2013) an einer Revision der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte [22], deren derzeit gültiger Text vom 23. August 2005 stammt. Diese Revision, welche sich in großem Ausmaß an die europäische WEEE-Richtlinie anpasst, soll laut dem Schriftstück „VREG-Anhörung – Erläuterungen“ [23] bis zum Jahresbeginn 2014 in Kraft treten. Mit der Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (kurz ChemRRV, [24]) setzte die Schweiz eine Verordnung in Kraft, die auf EU-Ebene der RoHS-Richtlinie entspricht, auf welche im ChemRRV auch oft Bezug genommen wird.

In Tabelle 4 sind die drei wichtigsten schweizerischen Gesetze im Bereich Entsorgung von Kühl- und Gefriergeräten ersichtlich.

Tabelle 4: Relevante schweizerische Gesetze

Relevante schweizerische Gesetze
Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG)
Verordnung vom 14. Januar 1998 über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG)
Verordnung vom 18. Mai 2005 zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV)

3 Physikalische Grundlagen der Wärmelehre und des untersuchten Isolationsmaterials

Um zu verstehen, warum Vakuumisolationspaneele in Kühlgeräten bzw. generell Isolationsmaterial in Geräten oder Bauwerken eingesetzt werden, müssen zuerst die grundlegenden Erkenntnisse des Wärmetransports verstanden werden. Erst dann wird klar, wie das Prinzip der Isolation funktioniert, da es dem Wärmetransport entgegen wirken soll, um einen möglichen Transport von Wärmeenergie zu verhindern. Deshalb befasst sich dieses Kapitel mit den drei unterschiedlichen Phänomenen des Wärmetransports und dem daraus resultierenden Bestreben, diesen durch entsprechende Materialien zu verhindern oder zumindest zu verringern, diesen also mit Hilfe von Isolier- oder Dämmmaterialien einzudämmen.

3.1 Grundlagen des Wärmetransports

Der Wärmetransport bzw. die Übertragung von Wärmeenergie zwischen unterschiedlich warmen Systemen, also Systemen mit unterschiedlicher Temperatur, bedeutet, dass ein System das andere beeinflusst. Es wird dabei immer ein Temperatúrausgleich, also ein thermisches Gleichgewicht beider Systeme angestrebt.

Ganz allgemein ist der Wärmetransport als die Gesamtheit des durch einen Temperaturgradienten hervorgerufenen Energietransports zu sehen. Er setzt sich prinzipiell zusammen aus Wärmetransport durch Konvektion, Wärmeleitung und Infrarotstrahlung (oder Wärmestrahlung). [25]

Im Allgemeinen treten alle drei Mechanismen, welche in den folgenden Unterkapiteln noch näher erklärt werden, beim Wärmetransport gemeinsam auf, können aber in ihren Beiträgen zum Wärmestrom sehr unterschiedlich sein.

Es gilt für den Wärmestrom: $\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{Leitung}} + \dot{Q}_{\text{Konvektion}} + \dot{Q}_{\text{Strahlung}}$ [26]

3.1.1 Wärmeleitung

Unter Wärmeleitung versteht man im Allgemeinen die Übertragung von Wärmeenergie durch Schwingungen und durch Stöße. [27]

Die Systeme sind bei der Wärmeleitung über eine gemeinsame Grenzfläche in Kontakt, an der sich ein Energietransport durch Wechselwirkung zwischen Atomen oder Molekülen, welche aber selbst nicht transportiert werden, vollzieht. Die Moleküle des wärmeren Systems regen durch Schwingungen (Festkörper) oder Stöße (Flüssigkeiten und Gase) die Moleküle des kälteren zu verstärkter thermischer Bewegung an. Die Temperatur des kälteren Systems steigt, die des wärmeren sinkt, die Wärme „fließt“ vom warmen zum kalten System. Allerdings verbleiben die Moleküle in ihrem jeweiligen System. Wird beispielsweise ein fester Stab an einem Ende erwärmt, dann schwingen die Atome hier stärker, also mit höherer Energie als die Atome am kalten Ende. Durch Stöße mit den jeweils benachbarten Atomen wird die Wärmeenergie allmählich durch den

Stab geleitet, wobei jedes Atom an seinem Platz bleibt. Metalle leiten die Wärme sehr gut, weil die freien Elektronen in ihnen während ihrer Bewegung ständig mit den Atomen zusammenstoßen, deren thermische Energie aufnehmen, dadurch ihre eigene kinetische Energie erhöhen und sie dann durch Stöße mit anderen Atomen wieder abgeben. In Gasen wird die Wärme durch die Stöße der Gasmoleküle übertragen. Die Moleküle im wärmeren Teil des Gasvolumens haben eine höhere mittlere kinetische Energie als die im kälteren Teil und geben ihre Energie bei den Stößen teilweise an die langsameren Moleküle ab. [26], [28] S. 546.

Für die Wärmeleitung durch einen eindimensionalen Leiter kann vereinfacht folgende Gleichung angenommen werden:

$$\dot{Q} = \lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta T \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} \dot{Q} \dots \text{Wärmestrom [W]}, \lambda \dots \text{Wärmeleitfähigkeit [W m}^{-1} \text{K}^{-1}], \\ A \dots \text{Querschnittsfläche [m}^2\text{]}, l \dots \text{Länge [m]}, \\ \Delta T \dots \text{Temperaturgradient [K]}; \end{array}$$

Durch diese Gleichung kann die Wärmeleitung von ebenen Körpern, wie z.B. Wänden beschrieben werden. Fasst man in der obigen Gleichung die Wärmeleitfähigkeit und die Querschnittsfläche zum Wärmedurchgangskoeffizienten k (in Bautechnik auch als U-Wert, früher auch k -Wert bezeichnet) mit $k = \frac{\lambda}{l}$ in $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ zusammen, erhält man

$$\dot{Q}_{1 \rightarrow 2} = A \cdot k_{\text{Leiter}} \cdot (T_1 - T_2)$$

für den Wärmestrom von System 1 (höhere Temperatur) zu System 2 (niedrigere Temperatur). Der Wärmedurchgangskoeffizient stellt den flächenbezogenen thermischen Leitwert der Wand dar und spielt z. B. bei der Wärmebedarfsberechnung von Gebäuden eine wichtige Rolle. [26]

3.1.2 Konvektion

Unter Konvektion versteht man die Übertragung von Wärmeenergie durch einen Materietransport in Fluiden, also Flüssigkeiten und Gasen. [27]

Bei der Konvektion ist die Wärmeübertragung mit einem Stofftransport verbunden. Wird die Luft in einem Zimmer an einem Heizkörper erwärmt, dann nimmt ihr Volumen zu und ihre Dichte ab; dadurch steigt sie auf und nimmt die aufgenommene Wärme mit nach oben. [28] S. 546.

Dieser Materietransport kann durch äußere Kräfte auf die Materie bewirkt werden; dann spricht man von **erzwungener Konvektion**. Beispiele hierfür sind der elektrische Fön zum Haartrocknen oder die Warmwasser-Zentralheizung. In beiden Fällen wird ein Wärmeträger, Luft oder Wasser, aufgeheizt und durch einen Ventilator oder eine Pumpe in Bewegung gesetzt. Von **freier Konvektion** spricht man, wenn die Bewegung der Materie durch Auftriebskräfte im Schwerfeld der Erde, die von Dichteunterschieden aufgrund unterschiedlicher Temperaturen herrühren, bewirkt wird (als Bsp. Wind- und Meeresströmungen werden durch Konvektion verursacht). [26]

Bei einer Kombination von konvektiven Wärmeübergängen in Fluiden und Wärmeleitung in Festkörpern spricht man von einem „**Wärmedurchgang**“. Beim Wärmedurchgang wird also Wärme

von einem Fluid über einen festen Körper in ein anderes Fluid transportiert. Ein Beispiel hierfür ist ein Heizkörper, bei dem die Wärme vom Wärmeträger Wasser über die Heizkörperwand in die Raumluft transportiert wird. [26]

3.1.3 Wärmestrahlung

Bei der Wärmestrahlung emittieren oder absorbieren die Körper Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung, die sich im Raum mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Sie ist folglich nicht an Materietransport gebunden, da kein Medium für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen nötig ist. Jeder Körper emittiert und absorbiert Strahlung. Befindet er sich im thermischen Gleichgewicht mit seiner Umgebung, so vollziehen sich Emission und Absorption mit gleicher Geschwindigkeit. Hat er eine höhere Temperatur als seine Umgebung, so emittiert er mehr als er absorbiert. Dadurch kühlt der Körper ab und erwärmt die Umgebung. [26], [28] S. 546.

3.2 Grundlagen der Wärmedämmung

Die Wärmedämmung soll die zuvor beschriebenen Transportmechanismen der Wärmeenergie durch Barrieren, die meist aus speziell gefertigten Materialien bestehen, auf ein kleinstmögliches Maß zu reduzieren.

Konvektion zu unterdrücken, ist die primäre Aufgabe jedes Wärmedämmmaterials. Da ruhende Luft im Vergleich zu Festkörpern eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist, sind Dämmstoffe im Allgemeinen hochporös. Je geringer die Dichte, umso weniger trägt Wärmeleitung über das Festkörpergerippe zum Gesamttransport bei. Da mit geringerer Dichte der Wärmetransport über Strahlung zunimmt, sind für eine Gesamtoptimierung der Verringerung des Materialeinsatzes Grenzen gesetzt. Bei den im Bauwesen eingesetzten konventionellen Dämmstoffen wird der Gesamtwärmetransport dementsprechend durch die Wärmeleitung des Gases in den Hohlräumen dominiert (Anteil größer als 60 %). Verbesserungen der Dämmeigenschaften setzen insbesondere an einer Verringerung dieser Gaswärmeleitfähigkeit an. Die bessere Dämmeigenschaft von beispielsweise Polyurethan-Schäumen (PU-Schäume) ist so auf andere Gase als Luft in den geschlossenen Zellen zurückzuführen. Durch diffusionshindernde Deckschichten kann die Degradation, also der Austausch der Zellgase mit der umgebenden Luft, erheblich verringert werden. Aufgrund spezieller Infrarot-Trübungsmittel konnte die Dämmwirkung von expandierten Polystyrol-Schäumen (EPS-Schäume) wesentlich verbessert oder bei gleicher Wärmeleitfähigkeit der Materialeinsatz auf die Hälfte reduziert werden. [25]

Typische Kennwerte für Dämmmaterialien sind: [29]

- **Wärmeleitfähigkeit λ** (in $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$): Je kleiner, umso besser.
- **Wärmedurchgangskoeffizient k bzw. U-Wert** (in $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$): Je kleiner, umso besser. Von der Höhe des U-Werts hängt die erforderliche Wandstärke des Dämmmaterials ab.

- **spezifische Wärmekapazität c** (in $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$): Gibt an, wie viel Wärmeenergie das Material aufnehmen kann.
- **Dichte ρ** (in kg m^{-3}): Gibt die Masse pro Volumen an. Je höher, umso höher ist die Wärmeleitung.
- **Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ** (dimensionsloser Materialkennwert): Gibt an, um welchen Faktor das betreffende Material gegenüber Wasserdampf dichter ist als eine gleich dicke, ruhende Luftschicht. Je größer, umso besser – Baustoff ist dampfdichter.
- **Baustoffklasse**: Gibt anhand von normierten Klassen das Brandverhalten des Materials an.
 - A1: nicht brennbar
 - A2: nicht brennbar
 - B1: schwer entflammbar
 - B2: normal entflammbar
 - B3: leicht entflammbar

3.3 Technologie der Vakuum-Wärmedämmung in den untersuchten VIP

Die bei Vakuumisulationspaneelen verwendete Dämmtechnologie, um einen Wärmetransport (d.h. Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung) zu verhindern, wird auch als Vakuum-Wärmedämmung bezeichnet und wird im folgenden Absatz näher erklärt.

Mit der Vakuumtechnik lassen sich alle drei Wärmeübertragungsmechanismen eindämmen. Das beste Beispiel für die Vakuumisolierung ist das üblicherweise als Thermosflasche bezeichnete Dewar-Gefäß, bei dem der Raum zwischen den beiden Wänden eines Zylinders fast vollständig evakuiert wird. Da fast keine Gasmoleküle mehr vorhanden sind, findet keine Wärmeübertragung durch Wärmeleitung oder Konvektion statt. Das Ergebnis ist eine extrem geringe Wärmeleitfähigkeit mit nur $0,005 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ oder noch weniger. Die Aufrechterhaltung eines solchen Druckgefälles zwischen der Außen- und der Innenseite des Gefäßes ist jedoch mit mechanischen Schwierigkeiten verbunden. Damit sind der Gestaltung solcher Gefäße und den hierfür geeigneten Materialien Grenzen gesetzt. Dazu kommt noch, dass die Wände des Zylinders absolut gas- und feuchtigkeitsundurchlässig sein müssen, weil schon eine kleine Zahl von Gasmolekülen das Isoliervermögen zunichtemachen würde. [30] S. 4.

Das Prinzip der Infrarot-Trübungsmittel, wie zuvor bereits erwähnt, wird auch in der Herstellung von VIP verwendet, um eine Wärmeübertragung mittels Strahlung zu verhindern. Das eingesetzte Trübungsmittel in den Kernmaterialien zerstreut oder absorbiert die elektromagnetischen Wellen.

4 Vakuumisulationspaneele (VIP)

In diesem Kapitel werden Informationen über VIP im Allgemeinen, deren Einsatzfelder und über Geräte, welche VIP als Isolierung enthalten, zusammengefasst. Diese Informationen stammen aus Internetrecherchen, aus Rückmeldungen von VIP-Herstellern und auch aus Dokumenten des CECED, die im Zuge des CECED-Projektes übermittelt wurden.

4.1 Struktur und Aufbau eines Vakuumisulationspaneels

Die Struktur der VIP, die in Kühl- und Gefriergeräten eingesetzt werden, ist der Struktur von VIP, die in der Bauindustrie eingesetzt werden, ähnlich.

Die Hauptkomponenten von VIP sind (s. Abbildung 6):

- eine hochdichte, mehrschichtige Hülle, die einen Gaseintrag in das Paneel verhindert;
- ein poröses Kernmaterial, das als Stützkörper für das Vakuum im Paneel dient ;
- Trockner oder sogenannte „Getter“, die eventuell eindringende Gase chemisch binden.

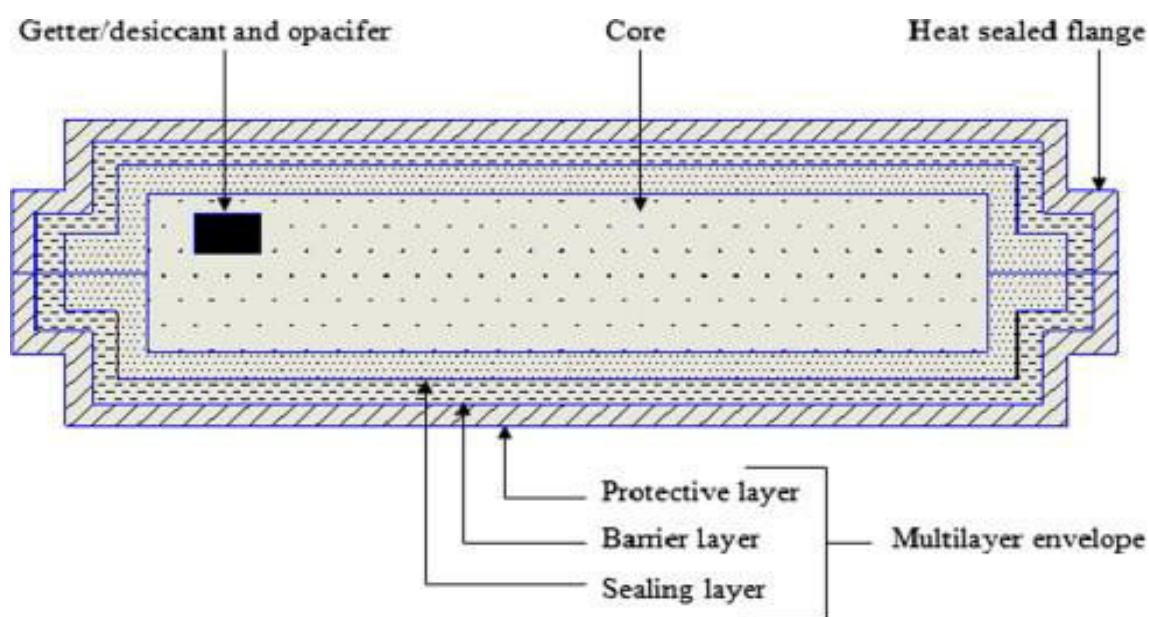


Abbildung 6: Schema eines VIP von der Bauindustrie [31]

Die mehrschichtige Hülle, in Abbildung 6 „multilayer envelope“ genannt, besteht laut Angaben eines VIP-Herstellers aus den in Tabelle 5 gezeigten Bestandteilen mit den jeweiligen Dicken. Die Gesamtdicke von nur 95 μm zeugt von platzsparender Technik. Über die Dichten der jeweiligen Stoffe konnten auch die Gewichtsanteile der Bestandteile in Massenprozent berechnet werden, die in der letzten Spalte aufgelistet sind.

Tabelle 5: Bestandteile einer mehrlagigen VIP-Hülle laut Angaben von VIPH-4

Unter-Komponente	Bestandteil	Dicke [μm]	Dichte ⁴ [g cm^{-3}] (bei 20°C)	Gew.-%
Mehrlagige Hülle	PET ¹	12,5	1,38	15,57
	Nylon ²	25,0	1,14	25,73
	Al-Folie	7,0	2,70	17,07
	LLDPE ³	50,0	0,922	41,63
	Summe		94,5	

¹⁾ PET steht für Polyethylenterephthalat

²⁾ Nylon steht für Polyamid 6.6

³⁾ LLDPE steht für lineares Polyethylen niederer Dichte

⁴⁾ Dichten der jeweiligen Stoffe stammen aus Internetrecherchen [32], [33] und [34]

Basierend auf den in der Tabelle zusammengefassten Daten, wurden die beiden Diagramme in Abbildung 7 und Abbildung 8 erstellt, um die Zusammensetzung einer VIP-Hülle zu veranschaulichen.

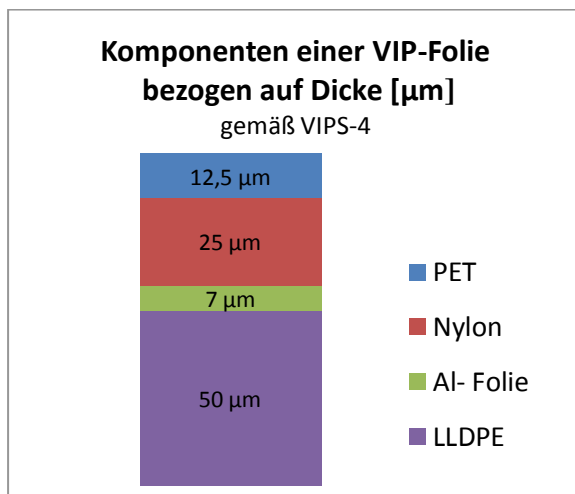


Abbildung 7: Grafische Darstellung der Dicke einzelner Komponenten einer VIP-Folie

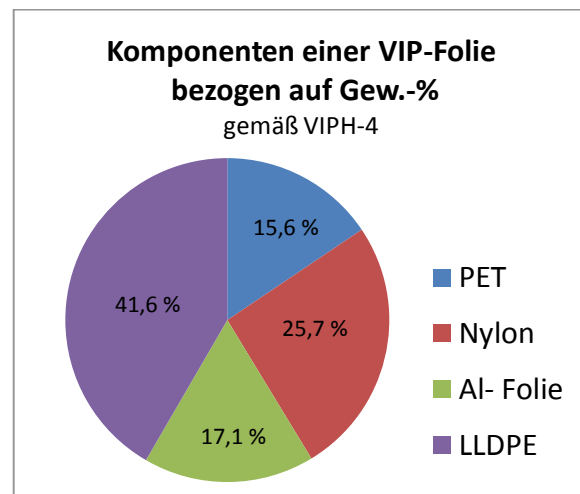


Abbildung 8: Kreisdiagramm der Komponenten einer VIP-Folie bezogen auf den Gewichtsanteil

Anhand von erhaltenen Sicherheitsdatenblättern bzw. Informationsblättern der VIP-Hersteller, konnte Tabelle 6 erstellt werden, welche die Hauptbestandteile der VIP zusammenfasst und als Vergleichsmöglichkeit dienen soll. Einige Hersteller gehen nicht auf die Bestandteile der Hülle ein, weshalb manche Felder leer sind.

Tabelle 6: Aufbau von VIP unterschiedlicher Hersteller (anonymisiert)

Bezeichnung	VIPH-1	VIPH-4	VIPH-7 / VIPH-9	VIPH-11	VIPH-12
Kernmaterial	Glasfaser	Glasfaser-platten	Silicium-dioxid	Siliciumdioxid (50-100%) Siliciumcarbid (1-20%)	mikrodisperses Siliciumdioxid
Hülle	mehrlagiger Barrierefilm	s. Tabelle 5	-	Polymer-Faser (1-12%)	-
Getter	„Nanogetter“	Calciumoxid	-	-	-

4.2 Untersuchte Vakuumisulationspaneele

Im Rahmen dieser Arbeit konnten sechs verschiedene Materialgruppen von derzeit (2013) in Europa üblichen VIP identifiziert werden, welche überwiegend anorganisches Material als Kernmaterial enthalten. Diese wurden für die klein- und großtechnischen Versuche (s. Kap. 6) von VIP-Herstellern (VIPH-1, VIPH-2 usw.) zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der chemischen Analysen dieser sechs Materialgruppen sind in Unterkapitel 6.4 ersichtlich.

Es gibt allerdings auch Vakuumisulationspaneele, die sich eines organischen Kernmaterials bedienen, wie z.B. EPS- oder PU-Schäume. Da keines der im Rahmen des CECED-Projektes erhaltenen VIP ein solches Kernmaterial aufwies, ist davon auszugehen, dass der Marktanteil dieser VIP-Typen eher gering ist. Hinsichtlich der Entsorgung von Polystyrol- oder Polyurethan-haltigen VIP dürften ohnehin keine Änderungen in der derzeitigen Entsorgungstechnik nötig sein, da die Kühlgeräteaufbereitungstechnik bereits jetzt mit Isoliermaterial aus Polyurethan arbeitet (siehe Kapitel 5.2.2).

In dieser Arbeit werden daher ausschließlich die nachfolgend aufgezählten und in Abbildung 9 veranschaulichten sechs Materialgruppen von VIP betrachtet und untersucht. In Klammer stehen die rein optisch getroffenen Beschreibungen der Kernmaterialien und dahinter sind die VIP-Hersteller, die diese Materialien geschickt haben, in anonymisierter Form erwähnt.

- Materialgruppe 1 (papierartig), erhalten von VIPH-4, VIPH-6, VIPH-10 und VIPH-14;
- Materialgruppe 2 (weißes Vlies), erhalten von VIPH-4;
- Materialgruppe 3 (glaswollartig), erhalten von VIPH-13;
- Materialgruppe 4 (graues Pulver), erhalten von VIPH-15;
- Materialgruppe 5 (braunes Pulver), erhalten von VIPH-7 und VIPH-10;
- Materialgruppe 6 (schwarzes Pulver), erhalten von VIPH-9.



Abbildung 9: Unterschiedliche Materialgruppen von Vakuumisulationspaneelen

4.3 Physikalische Eigenschaften und Einsatzfelder von VIP

Wie bereits erwähnt sind Vakuumisulationspaneele hocheffiziente thermische Isolationsmaterialien, die die Technologie der Vakuum-Wärmedämmung ausnutzen. Sie werden überwiegend in der Bauindustrie eingesetzt, aber seit Kurzem auch in der Kühl- und Gefriergeräteherstellung. Durch

deren hohen spezifischen Wärmewiderstand sind sie trotz schmäler Bauweise sehr energieeffiziente Isoliermaterialien.

In Abbildung 10 werden die Wärmeleitfähigkeiten λ in $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ (reziproker Wert des spezifischen Wärmewiderstandes) von VIP mit den von verschiedenen anderen Isoliermaterialien, die üblicherweise in der Bauindustrie verwendet werden, verglichen. Der zusätzlich angegebene U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) in $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ist abhängig von der Wandstärke (angegeben in mm). Es ist in der Darstellung offensichtlich, dass VIP trotz geringer Wandstärken (ca. 20 bis 70 mm) gegenüber den anderen Isoliermaterialien die niedrigsten (also für Isolation besten) Wärmeleitfähigkeiten aufweisen.

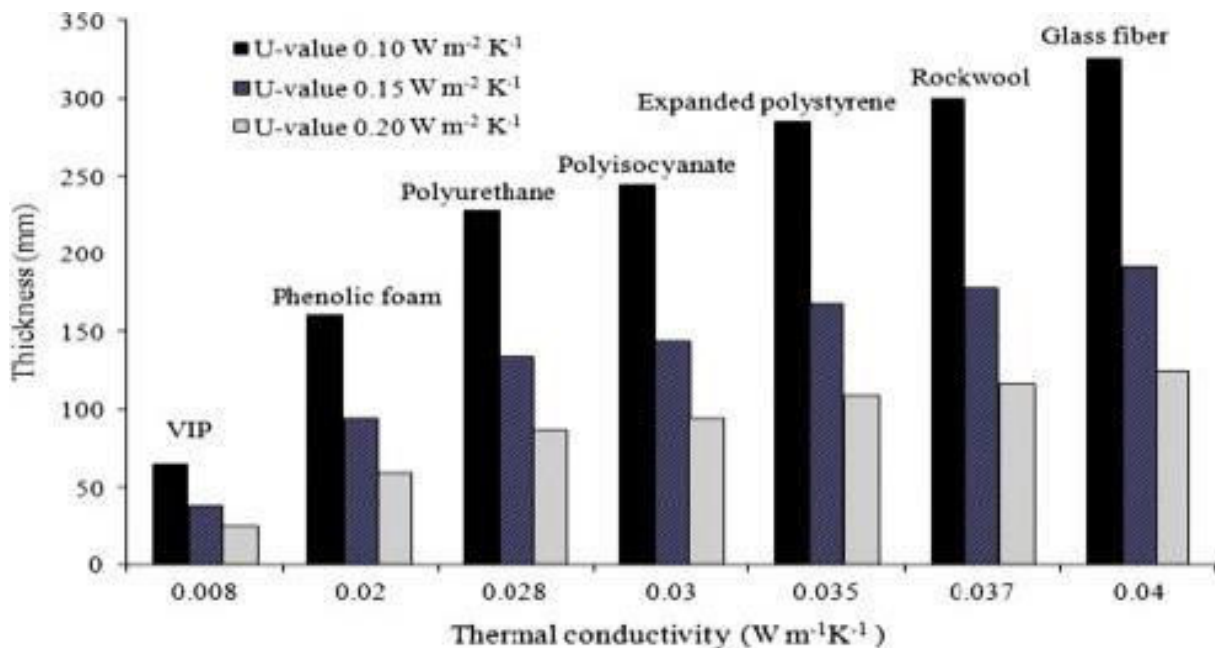


Abbildung 10: Vergleich von Wärmeleitfähigkeiten unterschiedlicher Isoliermaterialien [31]

Bei der Herstellung eines VIP wird das Kernmaterial durch die mehrschichtige Hülle eingeschlossen. Danach wird das System auf einen Druck zwischen 0,001 bis 1,5 mbar evakuiert. Die Anfangsdrücke und die an die Evakuierung anschließende Versiegelung der Hülle sind ausschlaggebend für die Lebensdauer eines Vakuumisulationspaneels. Der Innendruck hängt nämlich stark mit der Wärmeleitfähigkeit des Panels zusammen, was sich wiederum wesentlich auf die Funktionsfähigkeit und somit auf die Lebensdauer eines Isoliermaterials auswirkt.

Der Zusammenhang der Wärmeleitfähigkeit und dem Gas-Innendruck wird in Abbildung 11 und Abbildung 12 veranschaulicht. Diese beiden Grafiken stammen aus zwei verschiedenen Informationsbroschüren der Firma Porextherm ([30], [35]), deren VIP auch in KGG eingesetzt werden. Laut Angaben dieses VIP-Herstellers, der einen Anfangsinnendruck von ≤ 5 mbar garantiert, steigt der Druck eines 20 mm dicken Panels bei 23°C und 50 % relativer Feuchtigkeit um rund 1 mbar pro Jahr.

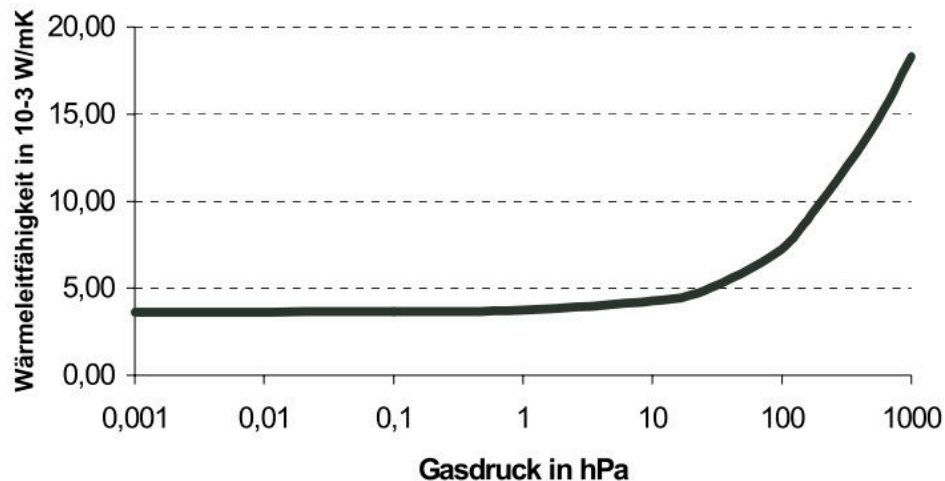


Abbildung 11: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Innendruck eines VIP [35]

In Abbildung 12 ist klar zu erkennen, dass die Wärmeleitfähigkeit des Vakuumisulationspaneels der Firma Porextherm mit dem Namen Vacupor deutlich stabiler gegenüber einem Druckanstieg im Inneren ist als andere Dämmmaterialien. Es ist davon auszugehen, dass VIP anderer Hersteller ähnliche Eigenschaften wie dieses Produkt der Firma Porextherm aufweisen.

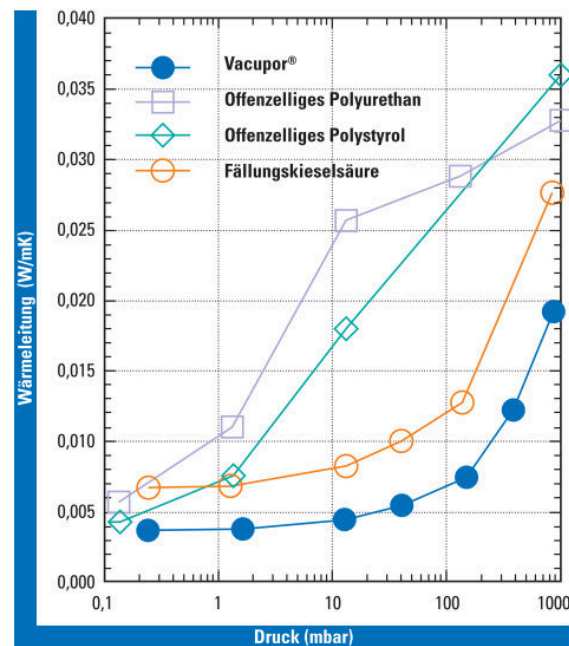


Abbildung 12: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Innendruck vier verschiedener Dämmmaterialien [30]

LEGENDE für Abbildung 12: **Vacupor**: VIP der Fa. Porextherm; **offenzelliges Polyurethan**: PU-Schaum; **offenzelliges Polystyrol**: EPS; **Fällungskieselsäure**: SiO₂ (hergestellt über Fällungsprozesse);

Obwohl in Kühl- und Gefriergeräten nicht ausschließlich VIP eingebaut werden, sondern vielmehr immer eine Kombination von VIP und ausgehärtetem PU-Schaum (mittlerweile frei von ozonabbaubaren Substanzen; mehr dazu in Kap. 5.2), ist ein Vergleich beider Isolationsmaterialien trotzdem interessant. Der ausgehärtete PU-Schaum gibt dem Kühlschrank konstruktiven Halt, indem

die Zwischenräume, in die die VIP eingelegt werden, mit Polyurethan völlig ausgeschäumt werden. Ein großer Vorteil der VIP gegenüber PU-Schäumen ist deren niedrige Wärmeleitfähigkeit (2 bis 5 $\text{mW m}^{-1} \text{K}^{-1}$ für VIP; ca. 20 $\text{mW m}^{-1} \text{K}^{-1}$ für PU-Schaum). Somit können VIP-haltige KGG mit einem größeren Innenvolumen realisiert werden als solche ohne VIP. Dies liegt an den fast um die Hälfte geringeren Wandstärken der VIP im Vergleich zu einer herkömmlichen PU-Schaum-Isolierung bei gleicher Wärmeisolierung. Die beiden Materialien unterscheiden sich auch stark in deren Dichten:

- Dichte von VIP: 150-300 kg m^{-3}
- Dichte von PU-Schaum: 5-90 kg m^{-3}

Bei den Angaben zu den Dichten muss zusätzlich erwähnt werden, dass Polyurethan sowohl in Form von Weichschaum (5 bis 30 kg/m^3) als auch als Hartschaum (40 bis 90 kg/m^3) vorkommt. Als herkömmliches Dämmmaterial werden aber häufig Werte zwischen 30 und 35 kg/m^3 angegeben.

4.4 Eigenschaften von VIP-haltigen Geräten

Ende Juni 2012 wurde im Rahmen des CECED-Projektes ein Fragebogen erstellt, welcher auch im Anhang II ersichtlich ist. Die Antworten bezüglich der VIP-haltigen Kühlgeräte sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Auszug aus den Antworten des CECED auf den Fragebogen vom Sommer 2012

VIP-haltige Geräte	Antwort laut CECED (erhalten im Nov. /Dez. 2012)
Energieklasse	hauptsächlich A++ und A+++; nur einmal A+ erwähnt
geschätzte Lebensdauer	10 bis 15 Jahre
verkaufte Geräte pro Jahr	1.000 bis 213.000 Geräte pro Jahr
Gewichtsanteil der VIP in den Geräten	Angaben zwischen 1 % und 10,5 %

Hinsichtlich der verkauften VIP-haltigen Geräte pro Jahr, lässt die Antwort sehr viel Spielraum zu. Um trotzdem eine Abschätzung machen zu können, wie viele VIP-haltige Geräte in den nächsten Jahren als EAG (d.h. Kategorie 1) anfallen werden, beschäftigt sich Kapitel 5.1 mit den Sammelmengen von EAG in Europa, aber besonders mit den Sammelmengen von Kühl- und Gefriergeräten.

Unterlagen vom CECED zufolge hat die Position der eingebauten VIP in den Geräten einen wichtigen Einfluss auf die Energieeffizienz des gesamten Gerätes. In Tabelle 8 sind die Position und die dadurch erreichte Energieeffizienzsteigerung bezogen auf herkömmliche Isolierungsmaterialien aufgelistet.

Tabelle 8: Einfluss der VIP-Position auf die Energieeffizienz des Kühlgeräts

Position des VIP im Kühlgerät	Energieeffizienzsteigerung
Tür	10%
Tür + beide seitliche Flächen	20%
Tür + beide seitliche Flächen + Rückseite	30%

Die in Tabelle 7 erwähnten Gewichtsanteile von VIP in Geräten gründen sich auf unterschiedliche Antworten der VIP-Hersteller. In den nachfolgenden Tabellen und Diagrammen werden diese Informationen veranschaulicht.

In Tabelle 9 und Tabelle 10 sind, basierend auf Informationen vom CECED, einige spezifische Beispiele für die Gewichtsverteilung von VIP-haltigen Kühlgeräten dargestellt (nur Gewichtsangaben für VIP und dazugehörige Geräte). Einige Angaben sind ungenau (Angaben mit Schwankungsbreite) und werden deshalb in Tabelle 10 separat dargestellt. Die Gewichtsanteile wurden jeweils bezogen auf das Gewicht des Gerätes berechnet (für die Angaben mit Schwankungsbreite wurden die Gewichtsanteile der jeweiligen Mittelwerte herangezogen).

Tabelle 9: Gewichtsanteil von VIP in KGG (Informationen vom CECED)

Gewicht des Geräts [kg]	VIP Gewicht im Gerät [kg]	Gewichtsanteil des VIP im Gerät [%]
100	9	9,0
70	2	2,9
74	4	5,4
78	8	10,3
77	8	10,5
132	4	2,9
77	3	4,4

Tabelle 10: Gewichtsanteil von VIP in KGG mit Schwankungsbreite (Information vom CECED)

Gewicht des Geräts [kg]	VIP Gewicht im Gerät [kg]	Gewichtsanteil des VIP im Gerät [%]
45-105	0,5-2,5	2,0
45-93	0,5-2,5	2,2
140-150	2,5-9	4,0
120-130	2 – 8	4,0
80-90	3 – 8	6,5

Anhand der Informationen dieser beiden Tabellen wurden grafische Auswertungen in Abbildung 13 (basierend auf Tabelle 9) und Abbildung 14 (basierend auf Tabelle 10) erstellt. Diese zeigen zusätzlich die daraus errechnete durchschnittliche Zusammensetzung.

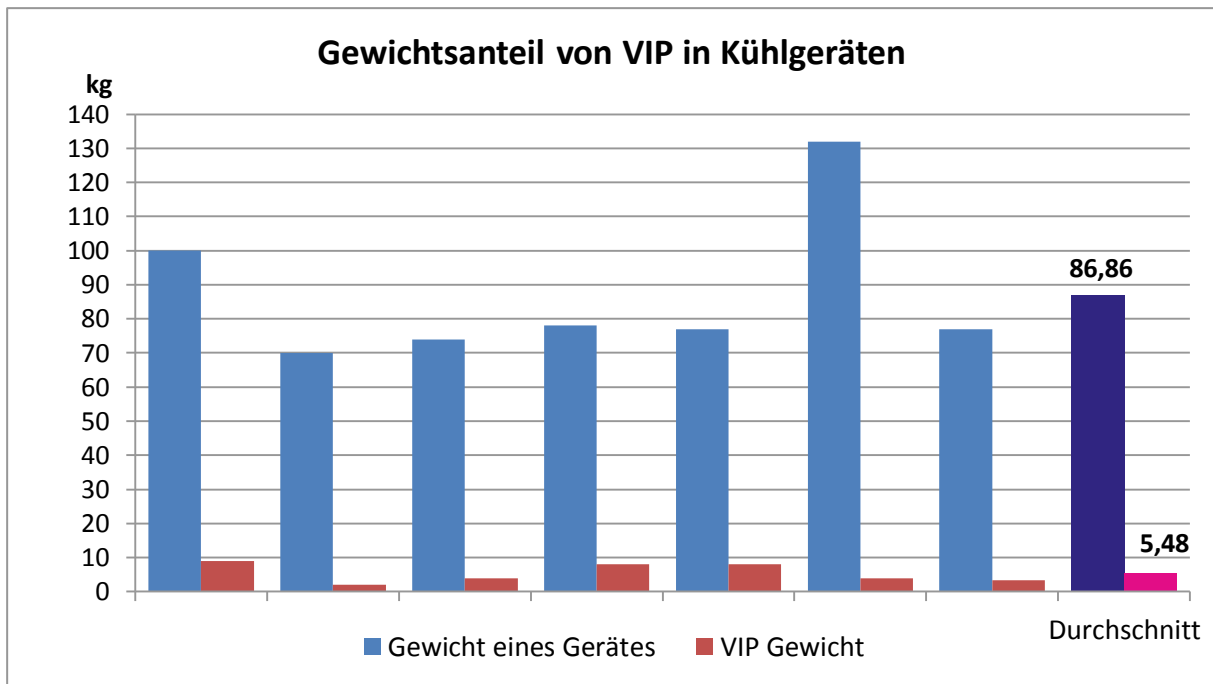


Abbildung 13: Gewichtsanteil von VIP in Kühlgeräten (basierend auf Daten vom CECED)

Die Schwankungsbreiten in Abbildung 14 spiegeln die Minimal- und Maximalwerte aus Tabelle 10 wider. Da keine zusätzlichen Informationen gegeben waren, wurden arithmetische Mittelwerte aus diesen Werten gebildet, um die Balken zu erstellen.

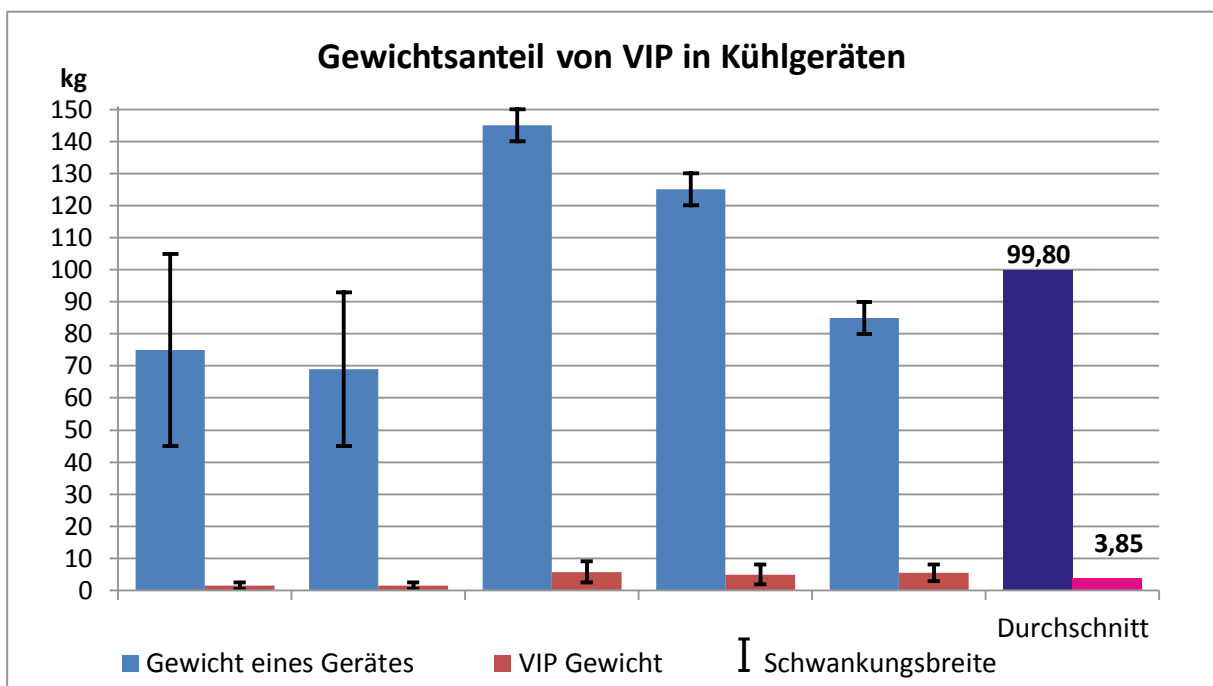


Abbildung 14: Gewichtsanteile von VIP in Kühlgeräten mit Schwankungsbreiten (basierend auf Daten vom CECED)

Die Durchschnittswerte, welche in den beiden Diagrammen (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14) rechts dargestellt sind, werden in Tabelle 11 als Durchschnittswert 1 und 2 zusammengefasst.

Ergänzend wird Durchschnittswert 3 angegeben, welcher aus den Antworten des CECED auf den Fragebogen übernommen wurde. Dieser besagt, dass das Durchschnittsgewicht eines Kühlgerätes 56 kg beträgt und darin 0,24 bis 1,75 kg VIP enthalten sind. Das würde bedeuten, dass der Gewichtsanteil von VIP in diesem Durchschnittsgerät zwischen 0,43 % und 3,13 % schwankt.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Angaben laut CECED zum Gewichtsanteil von VIP in KGG

Durchschnittswert	Gewicht des Geräts [kg]	VIP Gewicht im Gerät [kg]	Gewichtsanteil von VIP im Gerät [%]
1	86,86	5,48	6,3
2	99,80	3,85	3,86
3	56	0,24 bis 1,75	0,43 bis 3,13

Die Angaben vom CECED unterscheiden einander sehr stark. Es ist daher sehr schwierig festzustellen, welcher Wert oder welche Werte am ehesten den europäischen Markt widerspiegeln.

Im Bericht von Renato Sarc und Josef Adam aus dem Jahr 2011 (vgl. [36] S. 13f) ist diesbezüglich eine detaillierte Beschreibung über die Zusammensetzung eines modernen A++ Kühlschranks enthalten, welche in Abbildung 15 schematisch dargestellt ist. In dieser Beschreibung ergibt sich ein Gewichtsanteil von rund 5 % für VIP. Dieser Prozentsatz liegt auch im Bereich der Angaben, die vom CECED erhalten wurden.

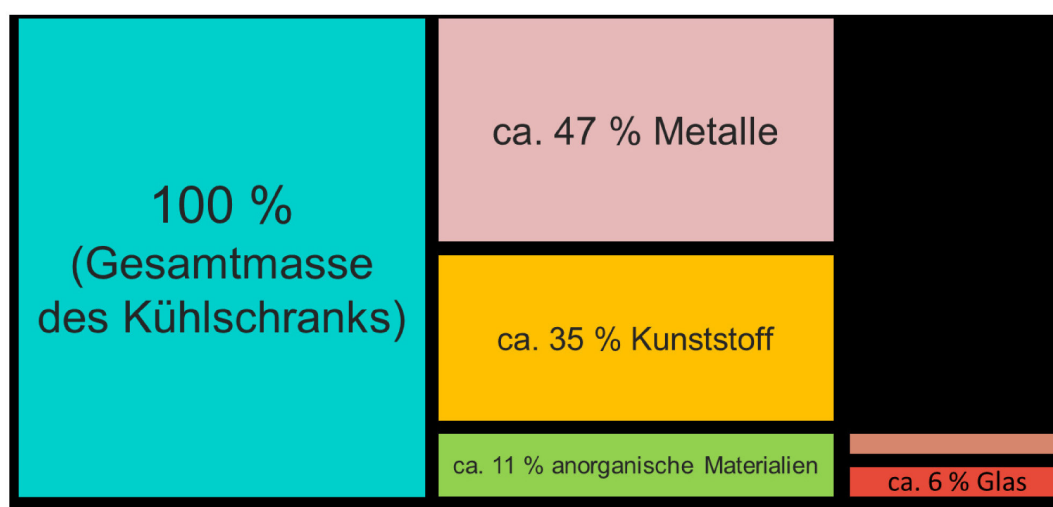


Abbildung 15: Massenbilanz eines A++ Kühlschranks

Weitere Angaben zur Zusammensetzung von Kühlgeräten werden am Ende von Kapitel 5.2.2 erwähnt.

4.5 Aspekte zum Arbeitsschutz und zur Arbeitssicherheit

Der Einfluss von VIP auf den Arbeitsschutz und die Arbeitssicherheit wurde anhand der erhaltenen Sicherheitsdatenblätter untersucht. In Tabelle 12 sind die Unternehmen, von denen Sicherheitsdatenblätter erhalten wurden, aufgelistet. Basierend auf diesen erhaltenen Sicherheitsdatenblättern wurde ein vereinheitlichtes Sicherheitsdatenblatt erstellt, welches unter Anhang III ersichtlich ist. Dieses wurde in Übereinstimmung mit der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH-Verordnung [37]) angefertigt.

Tabelle 12: Erhaltene Sicherheitsdatenblätter von Unternehmen

VIP Hersteller	Haushaltsgerätehersteller	Materialgruppe
VIPH-1	HHH-15	MG3
VIPH-2	HHH-8	MG4
VIPH-7	HHH-12, HHH-3	MG5
VIPS-8	HHH-9	MG1
VIPH-9	HHH-3, HHH-7, HHH-10	MG6
VIPH-11 ¹	-	-
VIPH-12 ¹	-	-

¹) VIPH-11 und VIPH-12 haben nur Sicherheitsdatenblätter gesendet, aber keine Paneele.

Bei der Behandlung von VIP-haltigen KGG in geeigneten Entsorgungsanlagen sollten keine Beeinträchtigungen hinsichtlich des Arbeitsschutzes und der Arbeitssicherheit zu erwarten sein, solange die Anlage nach dem Stand der Technik (gemäß EN 50574:2013) betrieben wird.

5 Sammlung und Recycling von Kühl- und Gefriergeräten in ausgewählten Ländern Europas

In diesem Kapitel werden die Sammlung und das Recycling von Kühl- und Gefriergeräten beschrieben, als auch einige Konzepte über das Recyceln von Vakuuminisierungspaneelen vorgestellt. Da die gesammelten Mengen an alten Kühl- und Gefriergeräten die Basis oder vielmehr die Ressource für die Entsorgung darstellen, handelt Kapitel 5.1 von den Sammelquoten von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (EAG) in Europa. Im weiteren Verlauf wird auf den rechtlich-normativen Rahmen der Kühlgeräteaufbereitung eingegangen und der derzeit angewandte Stand der Recyclingtechnik beschrieben.

5.1 Sammelmengen von EAG in Europa

In Artikel 5 (5) der WEEE-Richtlinie 2002/96/EG [3] wurde verlangt, dass spätestens bis zum 31. Dezember 2006 eine Quote von durchschnittlich mindestens vier Kilogramm getrennt gesammelten EAG pro Kopf und Jahr in jedem EU-Mitgliedsstaat gesammelt werden müssen. In der folgenden Abbildung 16 wird gezeigt, dass im Jahr 2010 viele europäische Länder dieses Sammelziel erreicht haben, manche Länder, wie Lettland, Litauen, Polen oder Rumänien noch nicht.

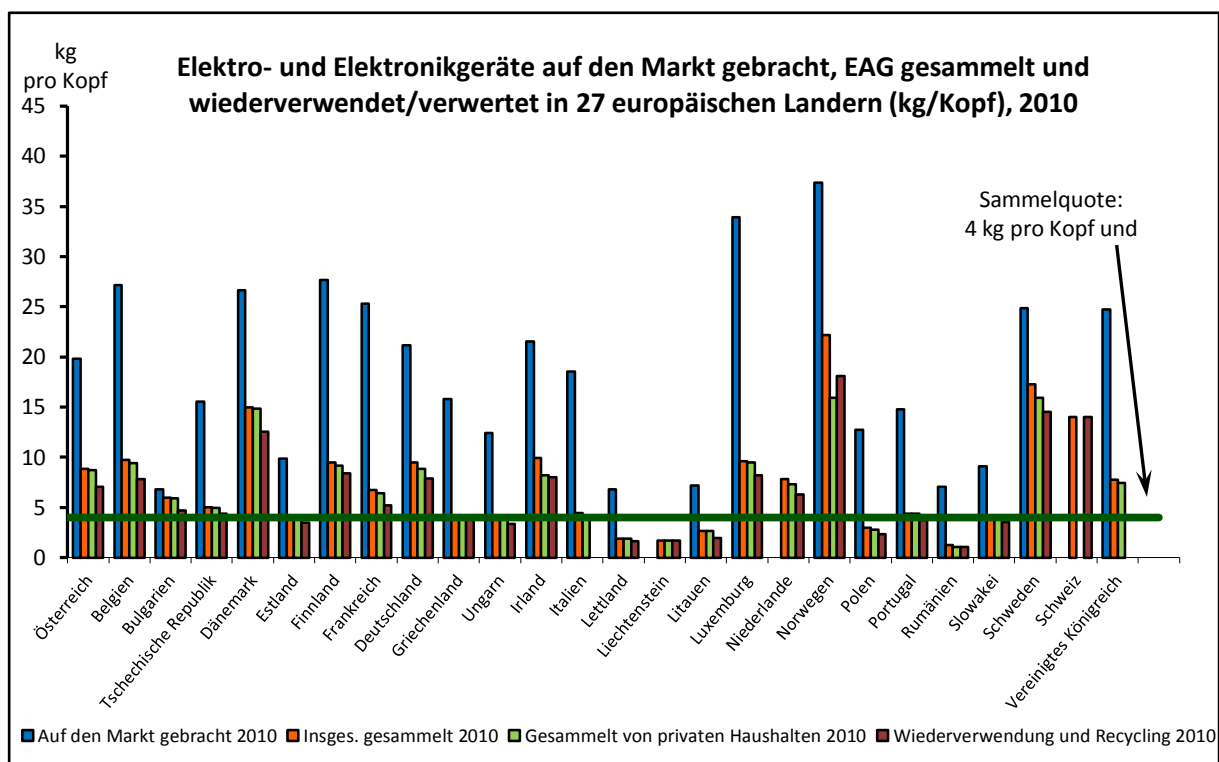


Abbildung 16: Auf den Markt gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte; gesammelte, wiederverwendete/verwertete EAG in Europa in kg/Kopf (2010) [38]

In der nachfolgenden Tabelle 13 sind die exakten Sammelquoten von 29 europäischen Ländern aus dem Jahr 2010 aufgelistet, sowohl in kg/Kopf als auch in Tonnen. Sowohl die Gesamtmenge der gesammelten EAG in Tonnen als auch der Einwohner-spezifische Wert in Kilogramm pro Kopf sind

wichtig. Während uns die Gesamtmenge einen Eindruck davon gibt, wie viele Geräte insgesamt entsorgt werden müssen, hilft uns der Einwohner-spezifische Wert die Länder untereinander zu vergleichen.

Tabelle 13: Sammelquoten von EAG in europäischen Ländern sortiert nach kg/Kopf (2010) [39], [40]

Land		Tonnen	kg/Kopf	Land		Tonnen	kg/Kopf
1	Schweden	161.444	15,90	16	Portugal	46.673	4,40
2	Norwegen ¹	107.767	15,80	17	Italien	268.216	4,20
3	Schweiz ¹	107.730	15,47	18	Estland	5.630	4,20
4	Dänemark	82.931	14,80	19	Slowenien	8.674	4,00
5	Luxemburg	4.823	9,40	20	Griechenland	46.527	3,90
6	Belgien	105.556	9,30	21	Ungarn	40.521	3,90
7	Finnland	50.867	9,10	22	Slowakei	21.916	3,90
8	Deutschland	777.035	8,80	23	Malta	1.535	3,40
9	Österreich	74.256	8,70	24	Zypern	2.609	3,20
10	Irland	44.431	8,20	25	Spanien	158.099	3,20
11	Vereinigtes Königreich	479.356	7,40	26	Polen	112.246	2,80
12	Niederlande	129.747	7,30	27	Litauen	8.928	2,70
13	Frankreich	433.959	6,40	28	Lettland	4.287	1,90
14	Bulgarien	45.056	5,90	29	Rumänien	26.247	1,10
15	Tschechische Republik	52.989	5,00				

¹kein Mitglied der Europäischen Union

Die folgende Abbildung 17 ist der obigen Tabelle 13 zugehörig und veranschaulicht die Höhe der EAG-Sammelungen in den jeweiligen europäischen Ländern. Es ist sowohl in Abbildung 17 als auch in der Tabelle 13 auffallend, dass Schweden und Norwegen bei Weitem die höchsten Pro-Kopf-Sammelquoten haben und Deutschland mit 777.035 Tonnen gesammelten EAG im Jahr 2010 die höchste Gesamtmenge an gesammelten EAG aufweist.

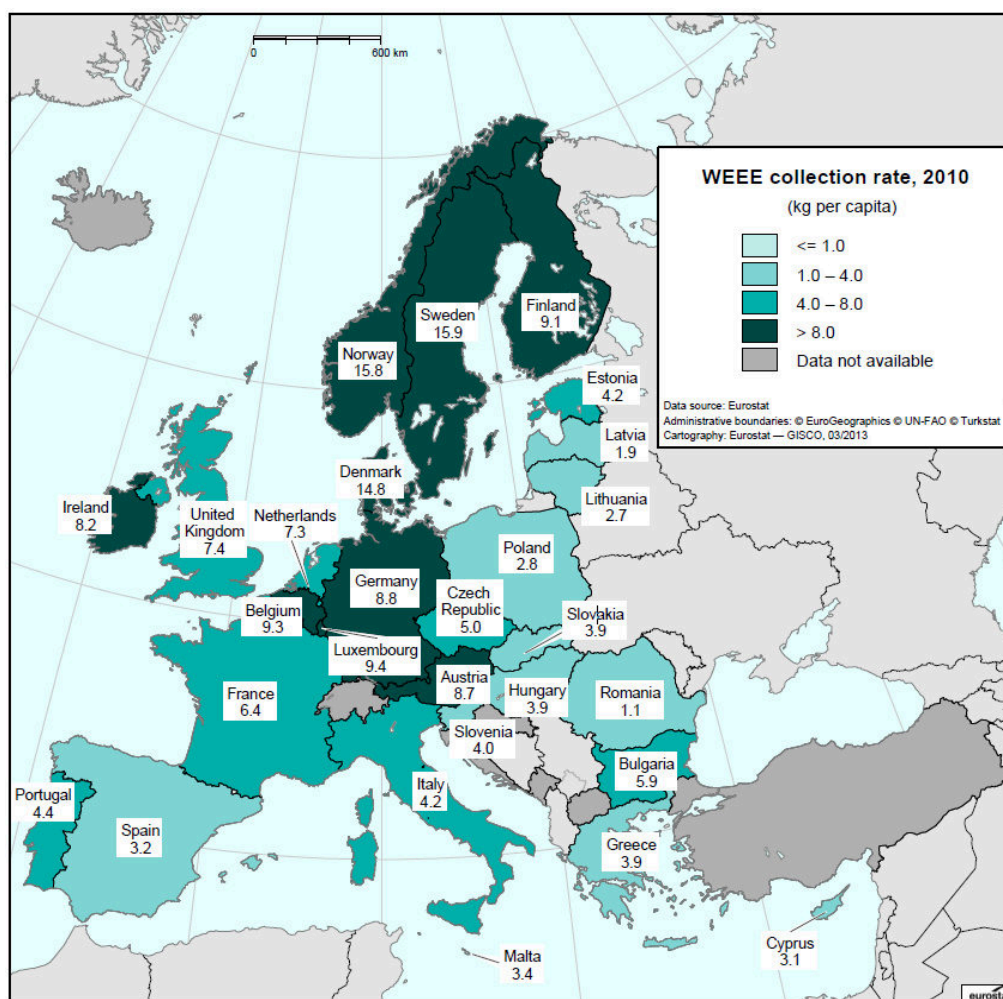


Abbildung 17: Sammelquoten von EAG in europäischen Ländern in kg/Kopf (2010) [39]

Für die Entsorgung und das Recycling von KGG ist es wichtig zu wissen, wie viele Tonnen an KGG gesammelt werden. In den folgenden Balkendiagrammen (s. Abbildung 18 bis Abbildung 22) wird genau dieser Aspekt für Europa insgesamt bzw. im Detail für Österreich, Deutschland und die Schweiz veranschaulicht.

Auf der rechten Seite des Balkendiagrammes in der Abbildung 18 wird außerdem der europäische Durchschnitt als Mittelwert dargestellt, wobei dieser zeigt, dass Haushaltsgroßgeräte (Kategorie 1-Geräte gemäß Anhang I der WEEE-Richtlinie 2012/19/EU) genau der Hälfte aller EAG entsprechen.

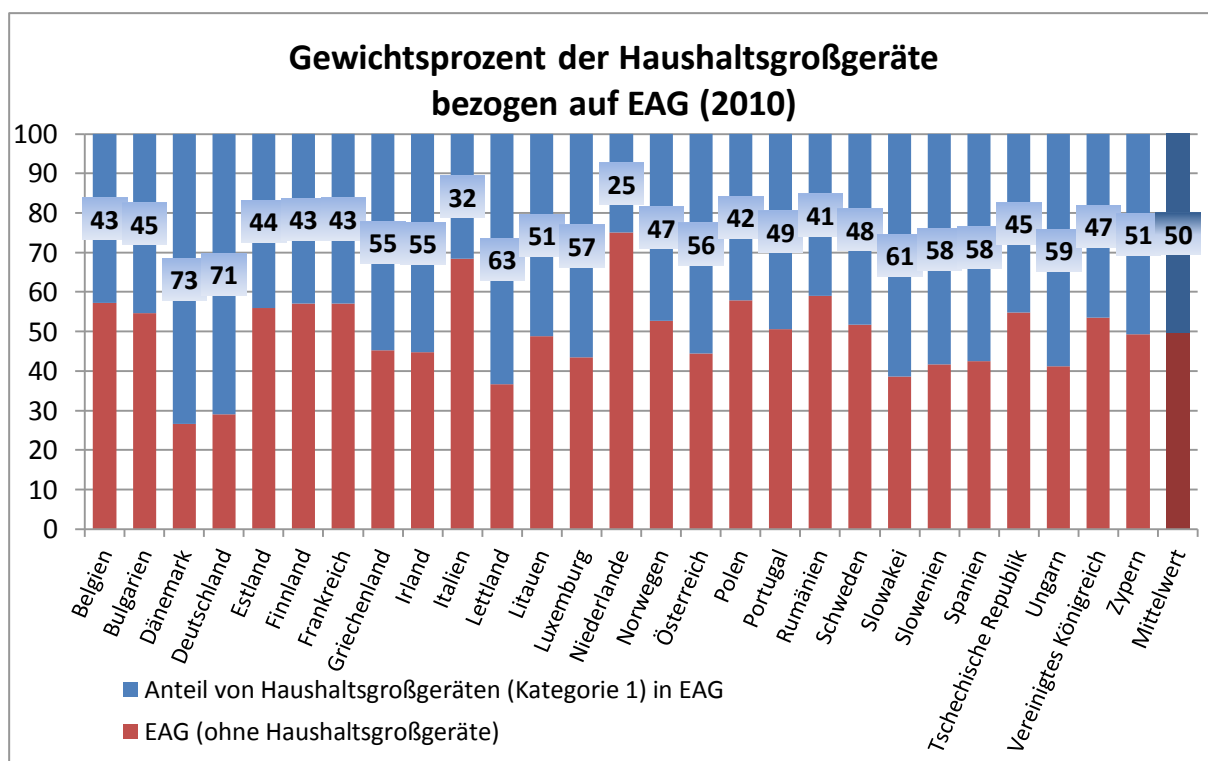


Abbildung 18: Gewichtsprozent der Haushaltsgroßgeräte bezogen auf EAG gesamt in Europa (2010; aus Daten von [39])

5.1.1 Sammelmengen in Österreich

Die Information über die Sammelmengen von EAG in Österreich von 2006 bis 2009, welche in Tabelle 14 zusammengefasst sind, stammen aus dem Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 [41]. Man sieht anhand der Prozentangaben in der zweiten Zeile, dass der Anteil an Kühl- und Gefriergeräten bezogen auf die gesamten EAG innerhalb dieser vier Jahre um mehr als 5 % gesunken ist, obwohl die Pro-Kopf-Massen in dieser Periode etwa konstant geblieben sind. Das lässt sich damit erklären, dass das Aufkommen von Elektro- und Elektronik-Altgeräten insgesamt gestiegen ist, was auch in Abbildung 19 gut zu erkennen ist.

Tabelle 14: Entwicklung der gesammelten Kühl- und Gefriergeräte in Österreich (2006-2009) [41]

Beschreibung	Einheit	2006	2007	2008	2009
Sammelmengen von KGG	t	15.882	13.914	14.290	14.761
Anteil an KGG bezogen auf EAG gesamt	%	25,36	21,56	21,83	19,53
Gesammelte KGG pro Kopf	kg/ Kopf	1,98	1,73	1,78	1,84

In Abbildung 19 wird die Entwicklung des Anteils der gesammelten Kühl- und Gefriergeräte, aber auch der gesammelten Haushaltsgroßgeräte (Kategorie-1-Geräte gemäß WEEE-Richtlinie) bezogen auf EAG gesamt veranschaulicht und die jeweiligen Mengen in Tonnen angegeben. Wie vorher bereits erwähnt, sinken die jeweiligen Anteile, die Gesamtmengen steigen jedoch bzw. bleiben stabil.

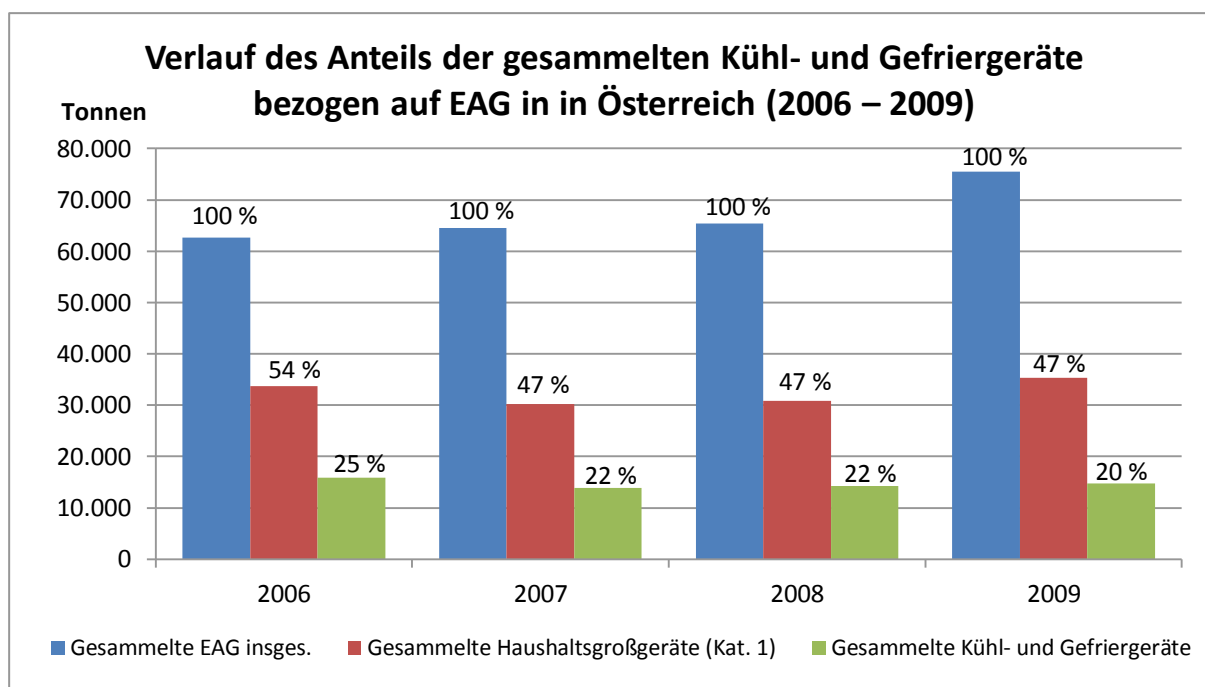


Abbildung 19: Verlauf des Anteils der gesammelten KGG bezogen auf EAG in Österreich (2006-2009; aus Daten von [41])

5.1.2 Sammelmengen in Deutschland

In Deutschland sind seit März 2006 durch das ElektroG [10] die Hersteller von Elektro- und Elektronikgeräten für die Rücknahme und Entsorgung der Altgeräte verantwortlich (Prinzip der Produktverantwortung). Laut dem Bericht des Statistischen Bundesamtes [42] findet die Sammlung der Geräte aus privaten Haushalten zum Teil weiterhin durch die Kommunen statt, zum Teil nehmen aber auch Händler und Hersteller Altgeräte zurück. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sind laut diesem Bericht zur Ermittlung und Berichterstattung an die Stiftung Elektro-Altgeräte Register (EAR) der kategoriespezifischen Daten über die Rücknahme und Entsorgung der Altgeräte nur dann verpflichtet, sofern sie die Geräte eigenständig verwerten. Weiters wird in diesem Bericht angemerkt, dass den obersten Abfallbehörden der Länder zurzeit keine bundeseinheitlichen Mengen aus der Abholkoordination der EAR für Elektroaltgeräte vorliegen. [42]

Aufgrund dieser Regelungen gibt es in Deutschland keine detaillierten Aufzeichnungen über das Aufkommen von entsorgten Kühl- und Gefriergeräten. Die EAR sendet die Jahresberichte über die Mengen der EAG an das Umweltbundesamt, welche für das Diagramm in Abbildung 20 herangezogen wurden. [43]

In Abbildung 20 lässt sich kein klarer Trend feststellen, sondern sehr starke Schwankungen - besonders vom Jahr 2006 auf das Jahr 2007. Es ist aber deutlich zu erkennen, dass die EAG-Sammelmengen in Deutschland ca. das 10-Fache der österreichischen EAG-Sammelmengen sind, was sich auf die Einwohnerzahlen der Länder zurückführen lässt.

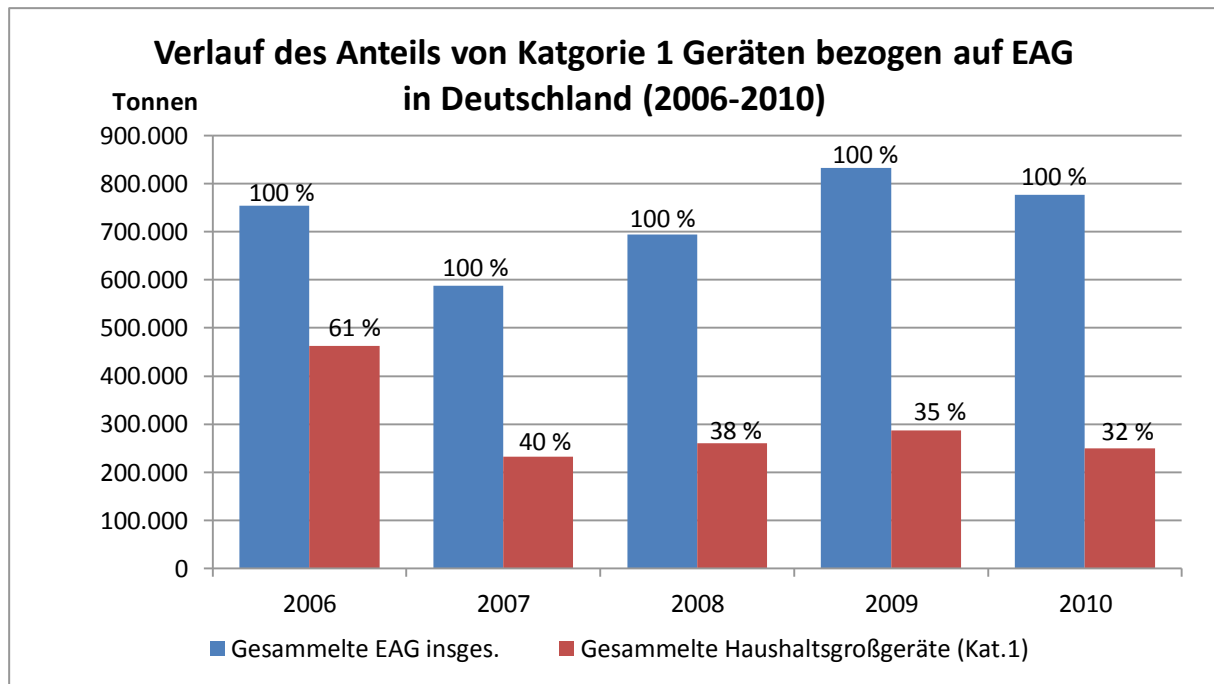


Abbildung 20: Verlauf des Anteils der Kat.1-Geräte bezogen auf EAG in Deutschland (2006-2010; aus Daten von [43])

Um doch noch auf das Verhältnis von Haushaltsgroßgeräten zu Kühl- und Gefriergeräten zu kommen wurde die folgende Abbildung 21 erstellt. Sie zeigt nur die Anzahl der Abholungen, gibt daher keine Auskunft über die Sammelmengen, allerdings ist sie für den Zeitraum von 2006 bis 2012. Die erwähnte Sammelgruppe 2 bezeichnet Kältegeräte, Klimageräte und Ölradiatoren für die Nutzung in privaten Haushalten, weshalb hier nicht eindeutig von Kühl- und Gefriergeräten die Rede sein kann.

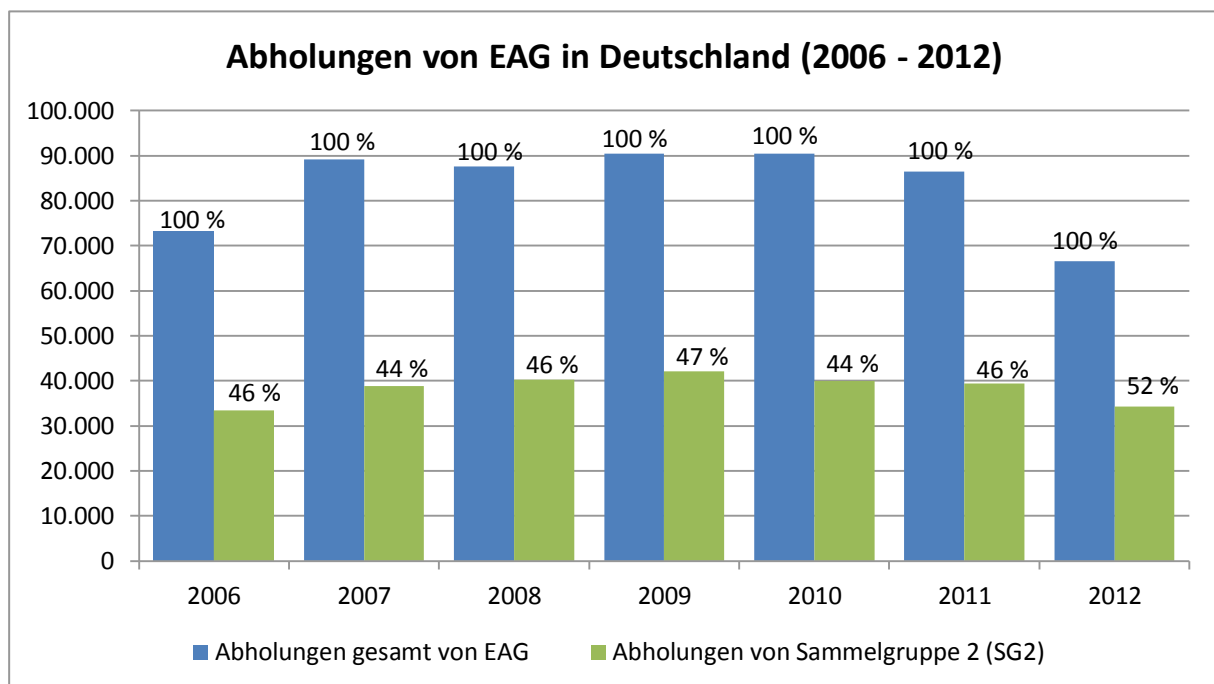


Abbildung 21: Verlauf des Anteils der Abholungen von EAG in Deutschland (2006-2012; aus Daten von [44])

5.1.3 Sammelmengen in der Schweiz

Auf Basis des Berichtes von SENS, SWICO und SLRS [45] aus dem Jahr 2011 wurde Abbildung 22 erstellt. Die Sammelmengen der gesamten EAG liegen über denen von Österreich, die Sammelmengen der KGG befinden sich jedoch auf dem selben Niveau.. Deshalb sind die Anteile der Haushaltsgroßgeräte bzw. der KGG geringer als die in Österreich.

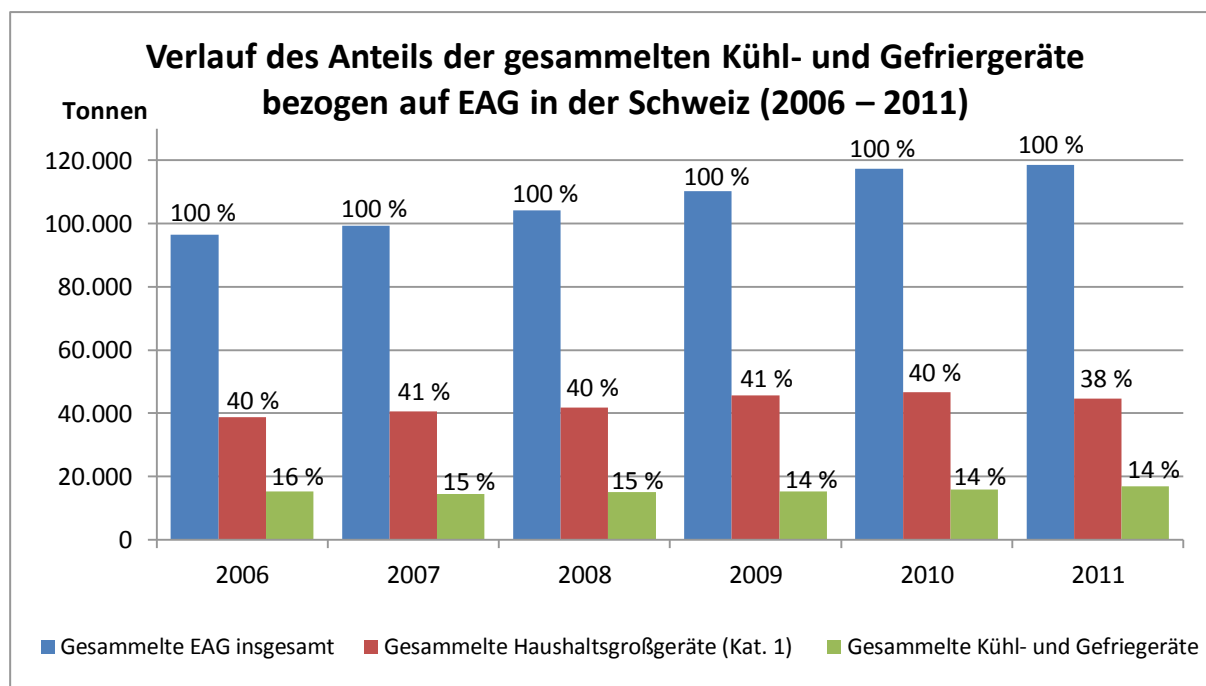


Abbildung 22: Verlauf des Anteils der gesammelten KGG bezogen auf EAG in der Schweiz (2006-2011; aus Daten von [45])

Es lässt sich gut erkennen, dass seit 2006 die Menge an gesammelten Kühl- und Gefriergeräten in der Schweiz kontinuierlich steigt. Aufgrund der noch stärker steigenden Gesamtmenge an gesammelten EAG, fiel der Anteil von 16 % im Jahr 2006 allerdings auf 14 % in den Jahren 2009, 2010 bzw. 2011.

5.2 Rechtlicher und technischer Ist-Stand der Recyclingtechnologien von Kühl- und Gefriergeräten in Europa

Bezüglich der derzeit eingesetzten Technologien in den Aufbereitungsanlagen für ausgediente Kühl- und Gefriergeräte, ist der gesetzliche Rahmen eine der wichtigsten Grundlagen. Die gesetzlichen Rahmenbedingen (für EAG im Allgemeinen) wurden bereits im Kapitel 2 erläutert. Es gibt aber auf dem Gebiet des Recyclings von Kühl- und Gefriergeräten einige Regelungen und Normen, welche konkret die Entsorgung von KGG regulieren und hier detailliert im ersten Teil des Kapitels behandelt werden. Der zweite Teil beschreibt die eingesetzten Technologien, die derzeit den europäischen Stand der Technik repräsentieren.

5.2.1 Rechtlicher und normativer Rahmen für die Kühlgeräteaufbereitung

Der Großteil der Kühl- und Gefriergeräte, die derzeit entsorgt und recycelt werden, enthalten noch immer ozonabbauende Stoffe, wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKW), obwohl diese seit Mitte der 1990er Jahre durch die Verordnung (EG) Nr. 3093/94 des Rates vom 15. Dezember 1994 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen [46], verboten sind. Diese Verordnung untersagte die Herstellung ozonabbauender Stoffe und regelte deren Behandlung. Die novellierte Fassung dieser Verordnung ist die Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des Europäischen Parlamentes und Rates vom 29. Juni 2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen [47]. Diese wurde u. a. erstellt, da früher als in der Verordnung 3093/94 und im Montrealer Protokoll [48] vorgesehen waren, Technologien zum Ersatz von ozonabbauenden Stoffen verfügbar waren.

Aufgrund neuerlicher zahlreicher Änderungen dieser Verordnung wurde eine komplette Neufassung mit der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 des europäischen Parlamentes und Rates vom 16. September 2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen [49], verfasst. Alle erwähnten Verordnungen basieren auf dem Montrealer Protokoll, welches am 16. September 1987 beschlossen wurde, zu einer Zeit als die dramatische Zerstörung der Ozonschicht über der Antarktis bemerkt wurde. Derzeit ist die neunte Version des Montrealer Protokolls über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen, verfügbar [48].

Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) wurden als Substitution für FCKW und H-FCKW eingeführt und werden in der Herstellung von Geräten noch immer verwendet. Mitte der 1990er Jahre haben die Hersteller von Kühl- und Gefriergeräten begonnen Kühlmittel, wie FCKW, mit Kohlenwasserstoffen (wie Isobutan in den Kühlkreisläufen) zu ersetzen. Cyclopentan dient als Substitution von FCKW als Treibmittel für die Polyurethan-Schaum-Isolierung. Laut eines Berichts der Universität der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2007 [50] über die WEEE-Richtlinie wirken die Kohlenwasserstoffe, welche in Kühl- und Gefriergeräten eingesetzt werden, nicht ozonabbauend. Deren Erderwärmungspotenzial (GWP) liegt typischerweise zwischen 3 und 4 und ist weit unter dem GWP-Schwellenwert von 15, der in Anhang II der WEEE-Richtlinie 2002/96/EG [3] festgesetzt wurde. [50] S. 86

Gemäß Anhang VII der WEEE-Richtlinie 2012/19/EU [12] müssen folgende Punkte erfüllt werden:

- Mindestens folgende Stoffe, Gemische und Bauteile müssen aus getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräten entfernt werden:
 - Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW);
 - teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKW);
 - teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW);
 - Kohlenwasserstoffe (KW).
- Geräte, die Gase enthalten, die ozonabbauend sind oder ein Erderwärmungspotenzial (GWP) über 15 haben, z. B. enthalten in Schaum und Kühlkreisläufen; die Gase müssen ordnungsgemäß entfernt und behandelt werden. Ozonabbauende Gase werden gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 [49] behandelt.

Die europäische Norm EN 50574 (aktuelle Version: EN 50574:2013¹ [51]) mit dem Titel „Anforderungen an die Sammlung, Logistik und Behandlung von Altgeräten aus dem Haushalt, die flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe oder flüchtige Kohlenwasserstoffe enthalten“ ist Grundlage für die Entsorgung von derzeit anfallenden Alt-Kühlgeräten. Diese Norm erfüllt die Anforderungen der WEEE-Richtlinie 2002/96 EG [3] und unterstützt diese. Des Weiteren legt sie Anforderungen bezüglich der Handhabung, des Transports, der Lagerung, der Sortierung und der Behandlung von EAG fest, die flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe (VFC), flüchtige Kohlenwasserstoffe (VHC) oder beides enthalten. Sie gilt nur für EAG, bei denen andere Wärmeübertragungsmedien als Wasser verwendet werden (z.B. Kühlgeräte, Tiefkühlgeräte usw.).

Der CECED, das WEEE-Forum und die „European Electronics Recyclers Association“ (EERA) haben gemeinsam folgende Leitfäden erstellt, welche später in die oben erwähnte Norm EN 50574 integriert wurden:

- Anforderungen an die Sammlung, den Transport, die Lagerung und die Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten, die Kohlenwasserstoffe enthalten, vom 18. Oktober 2006;²
- Anforderungen an die Sammlung, den Transport, die Lagerung, die Bedienung und Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten aus Haushalten, die FCKW, H-FCKW oder H-FKW enthalten, vom 21. Dezember 2007;³

In Österreich sind zwei Normen relevant für die Entsorgung von Kühl- und Gefriergeräten:

- ÖNORM S 2106 „Verwertung und Beseitigung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten“ und
- ÖNORM S 2107 „Anforderungen an die Sammlungs- und Behandlungsbetriebe für Elektro- und Elektronik-Altgeräte“.

¹ EN 50574:2013 wird auch als EN 50574:2012 + AC:2012 bezeichnet (als Zusammenführung von EN 50574:2012 05 und EN 50574/AC:2012 11).

² Originaltitel: Requirements for the Collection, Transportation, Storage and Treatment of Cooling and Freezing Appliances containing Hydrocarbons (HC) [52]

³ Originaltitel: Requirements for the Collection, Transportation, Storage, Handling and Treatment of Household Cooling and Freezing Appliances containing CFC, HCFC or HFC [53]

Beide sind weitestgehend in der österreichische Elektroaltgeräteverordnung [16] sowie in der österreichischen Abfallbehandlungspflichtenverordnung [54] implementiert.

In Tabelle 15 sind die wichtigsten gesetzlichen und normativen Regelwerke für die Entsorgung und das Recycling von Kühl- und Gefriergeräten zusammengefasst.

Tabelle 15: Wichtige Gesetzliche und normative Regelungen für die Kühlgeräteaufbereitung

Typ und Nummer	Titel	Datum
Verordnung (EG) Nr. 1005/2009	Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen [49]	16. 09. 2009
Richtlinie 2012/19/EU	Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE-Richtlinie) [12]	04. 07. 2012
Europäische Norm EN 50574:2013	Anforderungen an die Sammlung, Logistik und Behandlung von Altgeräten aus dem Haushalt die flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe oder flüchtige Kohlenwasserstoffe enthalten [51]	01. 07. 2013

5.2.2 Stand der Technik der Kühlgeräteaufbereitung in Europa

Die Rückmeldungen der im Rahmen des CECED-Projektes kontaktierten Entsorgungsanlagenbetreiber und Anlagenbauer (es wurden lediglich 28 Rückmeldungen von 84 europaweit kontaktierten Betrieben erhalten) waren beinahe gleichlautend. Alle Entsorgungsunternehmen, die geantwortet haben, arbeiten basierend auf dem in der zuvor bereits erwähnten europäischen Norm EN 50574 [51] beschriebenen Behandlungsschema. Die Norm EN 50574 enthält konkrete Anweisungen, wie ozonabbauende oder erderwärmende Stoffe aus Geräten umweltschonend zu entfernen sind. Die Behandlung in dieser Norm wird unterteilt in die folgenden drei Schritte [51] Kap. 3.2.9 bis 3.2.11:

1. **Behandlungsstufe 1:** Entfernung von flüchtigen Fluorkohlenwasserstoffen (VFC), flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VHC) und Öl aus dem Kühlsystem.
ANMERKUNG: Andere Komponenten (d.h. Kompressorkabel, Glasböden, Kunststoffteile, Quecksilberschalter, Kondensatoren) können ebenfalls bei der Behandlungsstufe 1 entfernt werden.
2. **Behandlungsstufe 2:** Entfernung von VFC und VHC aus dem Isolierschaum.
ANMERKUNGEN: Andere Bestandteile (d.h. Eisenmetalle, Nichteisenmetall, Kunststoffe, PU-Schaum) können ebenfalls bei der Behandlungsstufe 2 entfernt werden.
3. **Behandlungsstufe 3:** Umwandlung von VFC und VHC in Verbindungen, die nicht die Ozonschicht abbauen, als Teil des Behandlungsprozesses.
ANMERKUNGEN: Die als Ozonschicht abbauenden Stoffe zu berücksichtigenden Verbindungen sind in der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 angeführt.

Es ist erwähnenswert, dass beinahe alle Entsorgungsanlagen ausschließlich Behandlungsstufe 1 und 2 durchführen. Um diesbezüglich die Rückmeldungen der kontaktierten Anlagenbetreiber zu zitieren, ist in der Kühlgeräteaufbereitung das „gängige 2-Stufen-Prinzip“ vorherrschend. Die in der Norm angeführte dritte Behandlungsstufe wird von den Anlagen oft an Dritte ausgelagert, weil dieser

Behandlungsschritt weiterer technischer Behandlungsanlagen (z.B. thermische Behandlung, Emissionsbehandlung usw.) bedarf.

Definition der organischen Verbindungen

In der EN 50574:2013 [51] werden für die organischen Verbindungen folgende Begriffe verwendet:

Flüchtiger Fluorkohlenwasserstoff (VFC) ist eine organische chemische Verbindung, die aus Kohlenstoff- und Fluoratomen besteht (und in einigen Fällen auch mit Chlor- und/oder Wasserstoffatomen) und die ihre Phase ändern kann, wenn sie als Kältemittel verwendet wird, oder die Zellen in Kunststoffstrukturen eines Isolierschaums erzeugt, wenn sie als Treibmittel verwendet wird.

ANMERKUNGEN: Übliche Handelsbezeichnungen für diese Stoffe sind R12 und R11 für FCKW, R22 und R141b für H-FCKW und R134a für H-FKW. FCKW, H-FCKW, H-FKW und KW sind alles flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC). [51] Kap. 3.2.15

Flüchtiger Kohlenwasserstoff (VHC) ist eine organische chemische Verbindung, die vollständig aus Wasserstoff und Kohlenstoff besteht und die ihre Phase ändern kann, wenn sie als Kältemittel verwendet wird, oder die Zellen in Kunststoffstrukturen eines Isolierschaums erzeugt, wenn sie als Treibmittel verwendet wird.

ANMERKUNG: Übliche Handelsbezeichnungen für flüchtige Kohlenwasserstoffe sind R290 für Propan, R600a für Isobutan, R1270 für Propen und RC601 für Cyclopentan. Gemische von VHC sind ebenfalls möglich. [51] Kap. 3.2.16

Abbildung 23, welche einer Darstellung aus dem Zustandsbericht 2008 über Elektroaltgerätebehandlung in Österreich vom Umweltbundesamt ([55] S. 54) nachempfunden ist, demonstriert verschiedene Entsorgungswege von Kühl- und Gefriergeräten in Österreich für 2006. Beinahe alle österreichischen Entsorgungsanlagen führen nur die oben erwähnten Behandlungsstufen 1 und 2 durch.

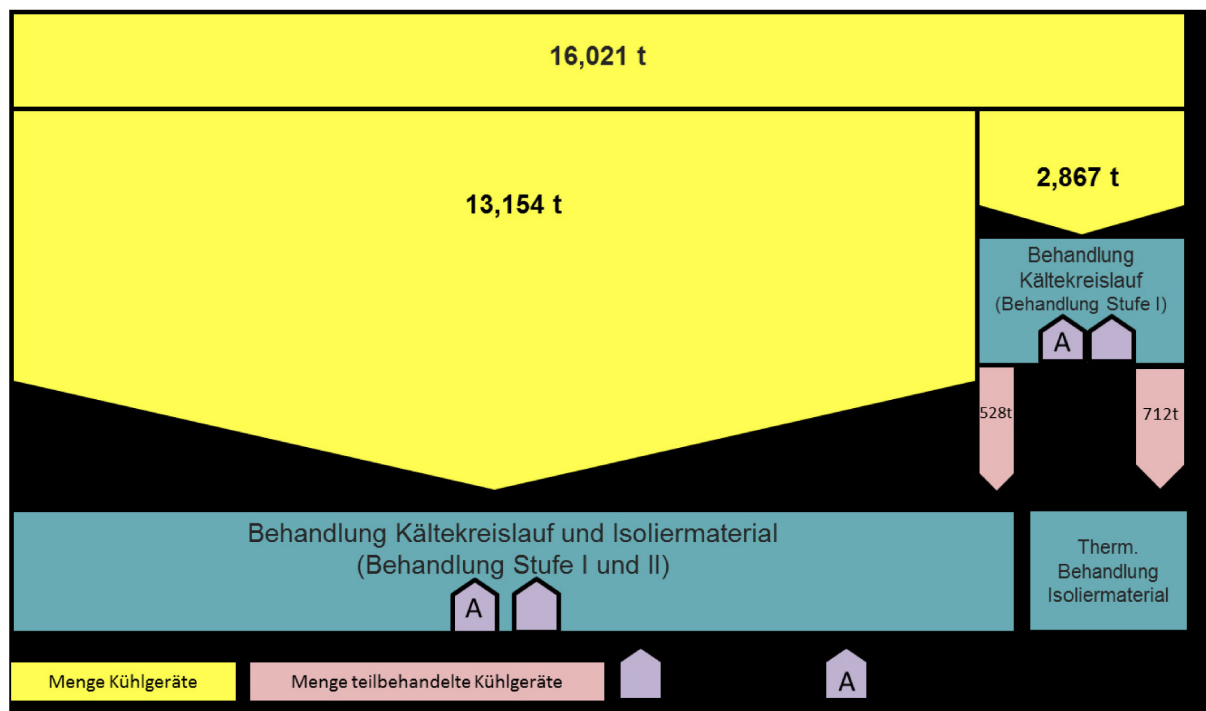


Abbildung 23: Übersicht der Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten in Österreich (2006) [55]

Ausgehend von den Rückmeldungen der Entsorgungsanlagenbetreiber und der Anlagenbauer, wurden sieben unterschiedliche Fließschemen erstellt, welche schließlich zu einem vereinfachten Fließbild zusammengefasst wurden.

5.2.2.1 Beschreibung des vereinfachten Fließbildes

Das Fließschema auf Seite 48 (vgl. Abbildung 26) stellt das zusammenfassende Ergebnis aller von den Entsorgungsunternehmen und Anlagenbauern erhaltenen Informationen dar. Als Grundlage für dieses Diagramm, welches mit dem Free-Ware-Tool „DIA“ erstellt wurde, dienten sieben Fließbilder (ebenfalls mit dem Programm DIA erstellt), die reale Anlagen darstellen sollen (siehe Anhang III). Jeder einzelne Schritt in dem zusammengefassten Fließbild wird in den folgenden Punkten erläutert.

- **Händische Demontage**

Als erstes werden die zu entsorgenden Kühlgeräte manuell entladen, indem alle ausbaufähigen Teile (Glaseinlagen, Quecksilberschalter, Kabel, Kompressoren, Kondensatoren) entnommen werden.

- **Behandlungsstufe 1**

Dieser Behandlungsschritt ist in der Norm EN 50574:2013 mit den folgenden Punkten beschrieben:

- 1) Alle Kältemittel und jegliches Öl müssen aus dem Kühlsystem entfernt werden.
- 2) Alle Kältemittel müssen von Öl getrennt werden.
- 3) Das gesamte Öl muss innerhalb eines geschlossenen Systems verbleiben, bis die Konzentration des Kältemittels weniger als 0,2 Massen % VFC beträgt.

- 4) Eine Freisetzung von Rest-VFC aus dem Öl in die Atmosphäre darf nicht zugelassen werden.
- 5) Die Gesamtmasse an aus dem Kühlsystem entferntem Kältemittel (Summe aus VHC und VFC) muss kontinuierlich überwacht und dokumentiert werden. ([51] Kap. 5.2)

Die praktische Durchführung des Entfernungsprozesses vom Kühlmittel und von Öl geschieht mit Hilfe von einer speziellen **Saug-Einrichtung**. Um eine vollständige Entleerung des Kühlmittel/Öl-Gemisches zu garantieren, wird diese Saug-Einrichtung am tiefsten Punkt des Kühlkreislaufes angebracht. Die **Abscheidung** bzw. die Trennung von Öl und Kühlmittel (R11, R12 etc.) wird durch Aufheizen des Gemisches erreicht. Dadurch werden die Kühlmittel gasförmig und können in Spezialbehältern gesammelt werden, während das Öl flüssig bleibt.

- **Zerkleinerung und Abscheidung**

Die nun sozusagen trockengelegten Kühlgeräte, denn sie enthalten nun keine Flüssigkeiten mehr, jedoch noch immer Treibmittel in den Isolierungsmaterialien, werden zerkleinert. Es gibt etliche unterschiedliche Zerkleinerungsaggregate am Markt, wie Querstromzerspanner oder Rotorschere, auf welche unter „Zerkleinerungsaggregate“ noch genauer eingegangen wird. Um eine Explosions- oder Brandgefahr zu vermindern, wird durch gasförmigen Stickstoff (N_2) eine inerte Atmosphäre geschaffen. Der Material-Mix, der als Output aus dem Zerkleinerungsaggregat hervorgeht, dessen Teilchengröße zwischen 20 und 40 mm variiert, wird durch einige nachfolgende Abscheider aufgetrennt. In einem ersten Schritt werden sehr leichten (d.h. geringe Dichte) PU-Schaum-Partikel entfernt, mit Hilfe eines Sichters z. B. eines Zick-Zack-Sichters. Diese abgetrennten Partikel müssen mit großer Vorsicht behandelt werden, um sicherzustellen, dass alle Treibmittel erfasst werden und nicht in die Umwelt bzw. in die Atmosphäre freigesetzt werden (beschrieben im nächsten Teil „Behandlungsstufe 2“). Durch einen Magnet-Abscheider, z. B. einen Überband-Magneten, werden die magnetischen Materialien wie Eisen von den nicht-magnetischen Materialien abgetrennt. Die verbleibende Fraktion wird über einen Wirbelstromabscheider in Nichteisen-Metalle (z.B. Kupfer und Aluminium) und Kunststoffe aufgetrennt. Zuletzt werden die beiden Metallgruppen (Kupfer und Aluminium) voneinander getrennt, z. B. mit Hilfe einer Hammermühle.

Zerkleinerungsaggregate

Hier soll eine kurze Übersicht der derzeit üblichen Zerkleinerungsaggregate im Bereich der Kühlgeräteaufbereitung gegeben werden.

Der Aufbau von **Rotorschere** (s. Abbildung 24) kann mit ein, zwei oder vier Rotoren, die sich mit Umfangsgeschwindigkeiten deutlich unter 0,5 m/s drehen, realisiert sein. Man spricht dementsprechend von langsam laufenden Ein-, Zwei- oder Vierwellen-Zerkleinerern. Die Rotoren bestehen aus abwechselnd angeordneten Schneid- und Distanzscheiben, die bei mehrrotorigen Rotorschere jeweils ineinander oder in spezielle Abstreifer greifen. Der Zerkleinerungsvorgang vollzieht sich durch die seitlichen Kanten der ineinander greifenden Schneidscheiben (Spaltweite < 0,3 mm) sowie die Zähne der Schneidscheiben. Bei Abständen

der Zahnspitzen von 5 mm oder mehr, muss davon ausgegangen werden, dass durch die Zähne der Schneidscheiben hauptsächlich ein Reißen erfolgt, da eine Scher- bzw. Schneidbeanspruchung in der Regel Spaltweiten von $< 0,3$ mm erfordert. Die Stückgröße des zerkleinerten Gutes wird bestimmt durch:

- die Breite der Schneidscheiben sowie;
- den Durchmesser;
- die Anzahl der Zähne pro Schneidscheibe.

Um die obere Stückgröße zu begrenzen, können die Rotorscheren mit einem Siebrost ausgerüstet werden. [56]

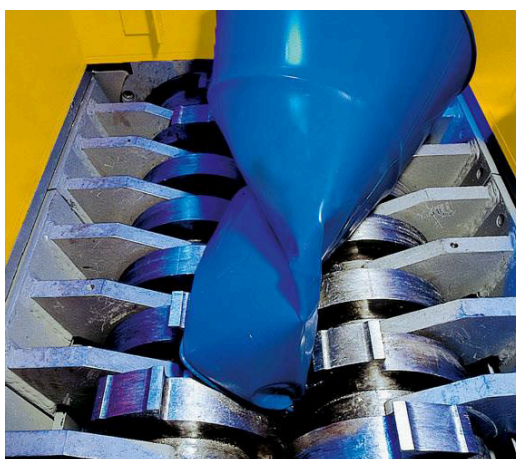


Abbildung 24: Darstellung einer Rotorschere [57]

Ausgangspunkt für die Entwicklung des **Querstromzerspaners (QZ)** war primär die Erschließung neuer Ansätze und Möglichkeiten für das Recycling von Kühlgeräten. Durch die nur einstufige Zerlegung der Kühlgeräte werden hochwertige Metallfraktionen und weiterverarbeitbare Kunststoffe erzeugt. Die für die Umwelt problematischen FCKW kann man bis auf einen Restgehalt $< 0,2$ % aus dem Polyurethan-Schaumstoff separieren und zurückgewinnen. Den konstruktiven Aufbau des QZ (s. Abbildung 25) kennzeichnen die Gutaufgabe über Kopf, welche konstruktiv jeweils an die Besonderheiten des Aufgabegutes angepasst werden muss, ein zylindrischer Arbeitsraum mit Begehungsöffnungen für Wartungsarbeiten und ein seitlicher Gutaustrag, der durch eine Haube abgeschirmt wird. Charakteristisch für das Wirkungsprinzip des QZ ist der Energieeintrag durch flexible und eine drehende Bewegung ausführende Werkzeuge bzw. Arbeitsorgane (meist Ketten), die das Aufgabegut durch Primärstoßvorgänge beschleunigen und eine ausgeprägte Gutbewegung im zylinderförmigen Arbeitsraum erzeugen. Der Aufschluss von Verbunden erfolgt ganz wesentlich durch sekundäre Stoßvorgänge und Kontakt zwischen den Gutpartikeln. Der Aufschlussgrad sowie die Form und Stückigkeit des Endproduktes werden bestimmt von:

- der Betriebsart der Maschine (Chargen- oder Durchlassbetrieb);
- der Rotordrehzahl;
- der Verweildauer des Gutes im Arbeitsraum. [58]

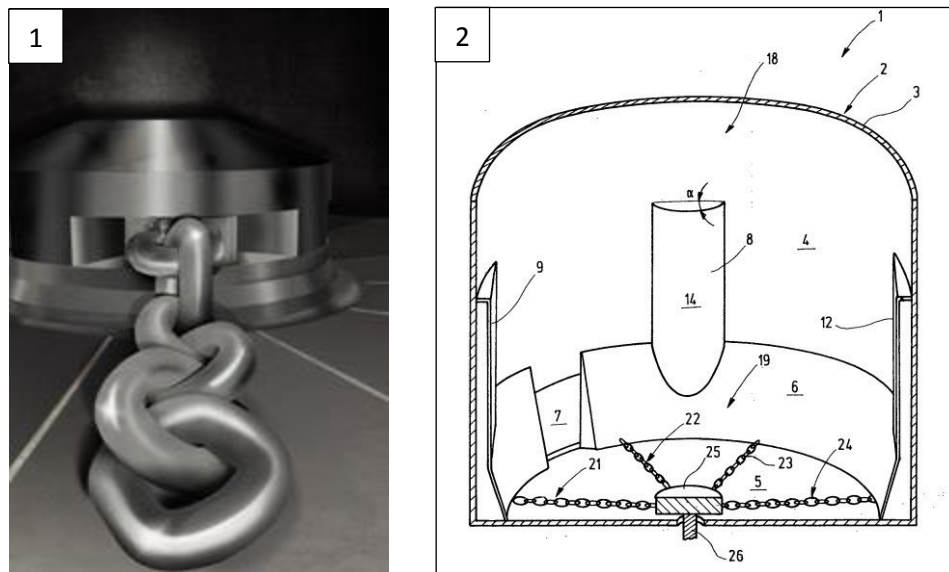


Abbildung 25: Kette (1) und schematische Darstellung (2) eines Querstromzerpaners [59], [60]

• Behandlungsstufe 2

Dieser Unterabschnitt, welcher für Elektro- und Elektronikaltgeräte gilt, die Isolierschaum mit entweder VFC oder VHC enthalten, ist in der Norm EN 50574:2013 [51] mit den folgenden Punkten beschrieben:

- 1) Die Behandlung von Geräten in Stufe 2 wird normalerweise mit in Stufe 1 behandelten Geräten (Gehäuse genannt) durchgeführt.
- 2) Der Isolierschaum darf nicht manuell entfernt werden.
ANMERKUNG: Zukünftige Isoliermaterial-Technologien können eine manuelle Entfernung des Isolierschaums erfordern.
- 3) Das Zerkleinern der Gehäuse und die Trennung der zerkleinerten Fraktionen muss so durchgeführt werden, dass Freisetzungen von VFC und VHC in die Atmosphäre entsprechend der nationalen Gesetzgebung vermindert sind.
- 4) Der in den getrennten Metall- und Kunststofffraktionen enthaltene Restgehalt an VFC muss minimiert werden.
- 5) Der VFC-Restgehalt im zerkleinerten Isolierschaum darf nicht in die Atmosphäre freigesetzt werden. Dieser muss in Verbindungen umgewandelt werden, die nicht die Ozonschicht abbauen.
ANMERKUNG: Die Umwandlung in nicht-ozonabbauende Stoffe ist entsprechend der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 notwendig.
- 6) Die Gesamtmasse an aus dem Isolierschaum entfernten Treibmittel (Summe aus VHC und VFC) muss kontinuierlich überwacht und dokumentiert werden. ([51] Kap. 5.3)

In der Praxis werden die PU-Schaum-Partikel, die vom Zerkleinerungsaggregat kommen, oft zu einem **Pelletierer** transportiert, wo die Partikel zu Pellets gepresst werden; in manchen Fällen auch zu einer Art Mühle, um ein PU-Mehl zu erhalten. Gleichzeitig werden die noch verbliebenen Treibmittel aus

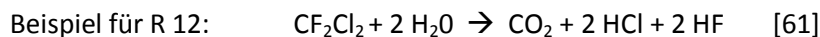
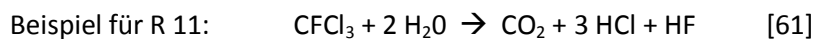
dem PU-Schaum gesaugt (**Matrix-Entgasung**). Mit Hilfe einer sogenannten Cryokondensation, wo sehr niedrige Temperaturen ($< -100^{\circ}\text{C}$) verwendet werden, um flüchtige Verbindungen wie Treibmittel zu kondensieren, werden VHC und VFC rückgewonnen und in geschlossenen Behältern gesammelt.

• **Behandlungsstufe 3**

Obwohl der dritte Behandlungsschritt ebenso wichtig ist wie die zuvor beschriebenen Behandlungsschritte, wird er nur in den wenigsten Entsorgungsanlagen durchgeführt, da er häufig ausgelagert wird und anderen Anlagen überlassen wird. In Zusammenhang mit Behandlungsstufe 3 steht in der Norm EN 50574:2013 [51] Folgendes:

Wenn die VFC am Standort in Verbindungen umgewandelt werden, die nicht die Ozonschicht abbauen, müssen stetig aufgezeichnete Eingangsdaten des Rohgases und Ausgangsdaten des gereinigten Gases kontinuierlich überwacht und dokumentiert werden. Die Dokumentation muss den Massendurchfluss und die Konzentration der VFC umfassen, um nachzuweisen, dass die Umwandlung wirksam ist. ([51] Kap. 5.4)

Eine Möglichkeit flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe zu zerstören, bietet eine Verbrennung bei hoher Temperatur. Eine andere Möglichkeit wäre eine Hydrolyse, welche die FCKW, wie R11 oder R12, in Salzsäure (HCl), Flusssäure (HF) und Kohlendioxid (CO_2) umwandelt.



• **Output-Materialien**

Jeder Pfeil, der über die Systemgrenze vom Fleißbild in Abbildung 26 reicht, stellt ein Output-Material dar. Manche davon müssen entsorgt werden, andere können recycelt oder sogar (als Produkt) verkauft werden, wie die folgenden Materialien:

- Eisen;
- PU-Pellets oder PU-Mehl ;
- Kunststoffe;
- Nichteisen-Metalle wie Kupfer oder Aluminium.

Manche Entsorgungsanlagenbetreiber vermarkten das PU-Material, aus dem die Treibmittel durch die zweite Behandlungsstufe entfernt wurden, als Öl-Binder oder chemisches Bindemittel. Andere wiederum bieten sie als Ersatzbrennstoffe an.

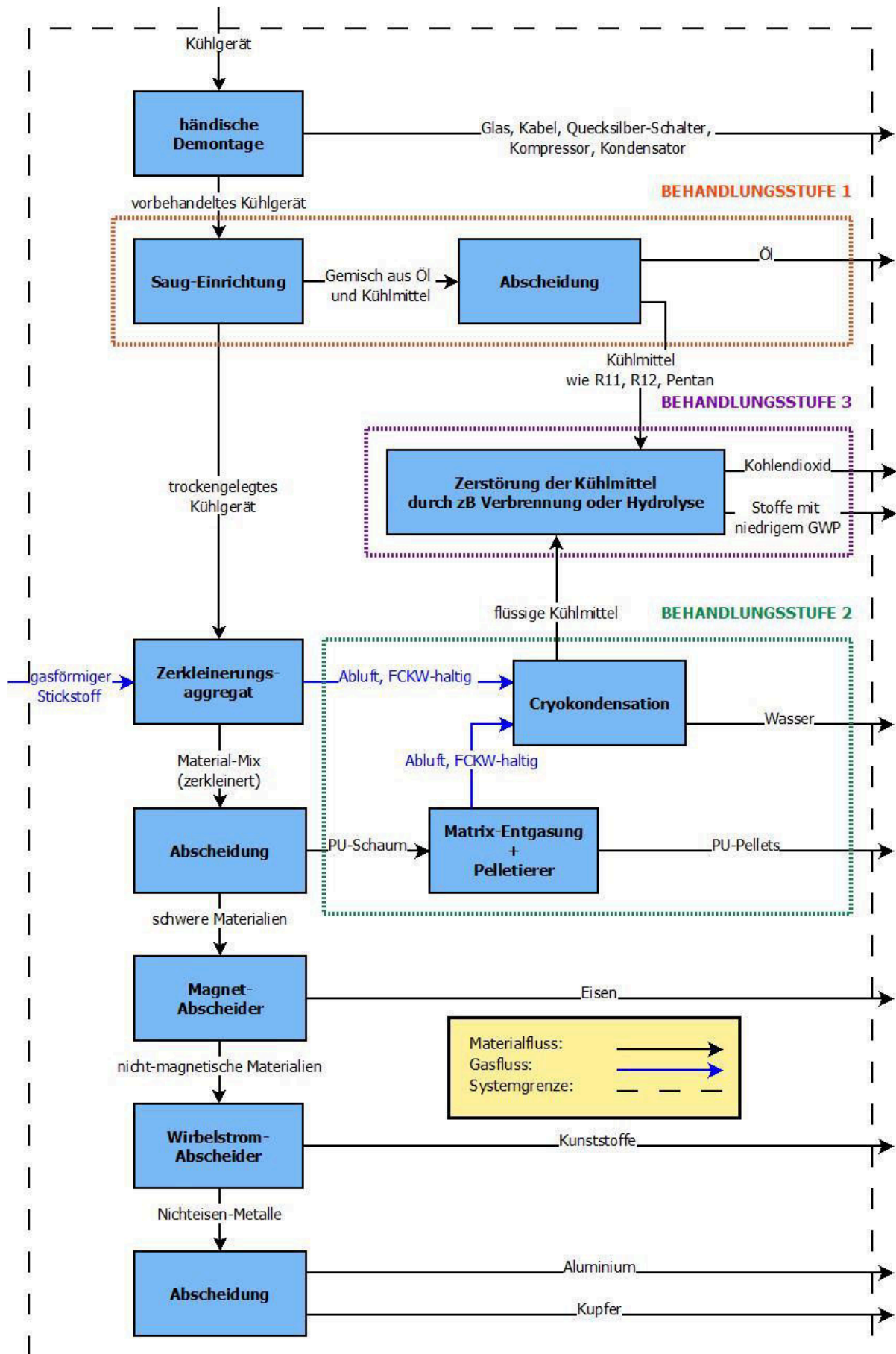


Abbildung 26: Vereinfachtes Fließbild einer derzeit üblichen Kühlgeräteaufbereitungsanlage

5.2.2.2 Massenbilanzen von Kühlgeräten

Laut einem Bericht aus dem Jahr 2011 ([36] S. 13f) besteht ein moderner A++ Kühlschrank aus folgenden Materialien:

- ca. **47 Gew.-% Metallfraktion** (stoffliche Verwertung möglich)
- ca. **35 Gew.-% Kunststofffraktion** (stoffliche und thermische Verwertung möglich)
- ca. **11 Gew.-% anorganische Materialien** (Glas, Keramik inkl. VIP)
 - ca. **6 Gew.-% Glas** (stoffliches Recycling möglich)
 - ca. **5 Gew.-% VIP**

Auf Basis dieser Angaben wurde Abbildung 15 (s. S. 30) erstellt, welche diese Zusammensetzung veranschaulicht.

Um diese Angaben eines modernen A++ Geräts (mit VIP) auch mit einem herkömmlichen FCKW-haltigen Kühlschrank zu vergleichen, werden in Tabelle 16 Daten aus einem Bericht aus dem Jahre 2006 betreffend der Behandlung von Alt-Kühlgeräten zitiert ([62] S 8) und in leicht veränderter Form (sortiert nach Gewichtsprozent) dargestellt.

Tabelle 16: Zusammensetzung eines FCKW-haltigen Kühlgerätes

Material	Gew.-%
Eisen	43,04
Kompressor	19,10
Kunststoff	15,00
PU-Schaum	9,92
Nicht-Eisenmetalle	6,18
Glas	2,17
FCKW (Summe)	0,89
Öl	0,64
Elektrotechnik	0,60
Rest	2,46
Gesamt	100%
Durchschnittsgewicht	ca. 41 kg

Kompressor	
Eisen	90%
Rest (v. a. Kupfer)	10%

Nicht-Eisenmetalle	
Aluminium	89%
Kupfer	11%

FCKW	
Treibmittel	70%
Kühlmittel	30%

Auf Basis der Informationen des Recyclingunternehmens Stena [63] wurde Tabelle 17 erstellt. Die dort ersichtliche Massenbilanz stellt eine Zusammenfassung von FCKW-haltigen und Pentan-haltigen Geräten dar und repräsentiert laut Stena die mittlere Zusammensetzung eines nordischen Kühlschranks.

Tabelle 17: Mittlere Zusammensetzung eines nordischen Kühlschranks [63]

Material	Gewicht	Gew.-%
Eisen (exkl. Kompressor)	31	ca. 58,1
Kompressor (7 kg Eisen)	8,5	ca. 16,0
Kunststoff	5-5,5	ca. 9,9
Isolierung (PU-Schaum)	5-5,5	ca. 9,9
Nicht-Eisenmetalle (Al, Cu, Zn, rostfreier Stahl)	1,9	ca. 3,5
Glas	0,7	ca. 1,3
FCKW/ Pentan	0,4	ca. 0,9
Öl	0,2	ca. 0,4
Gesamt	52-54 kg	100 kg

5.2.2.3 Mögliche Verwertungs- und Recyclingquoten

Basierend auf den zuvor erwähnten Massenbilanzen kann ein Vergleich zwischen Kühlschränken mit und ohne VIP hinsichtlich deren Potentiale zur stofflichen bzw. thermischen Verwertung angestellt werden. Ein Vergleich von VIP-haltigen Kühlschränken (s. Tabelle 18) und herkömmlichen Kühlschränken ohne VIP (s. Tabelle 19) zeigt eine geänderte (theoretische) Rezyklierbarkeit der Geräte auf.

Tabelle 18: Theoretische Potentiale zur stofflichen bzw. thermischen Verwertung eines modernen Kühlschranks mit VIP (Berechnung)

INPUT in Entsorgungsanlage				
Kühlschrank mit VIP	ca. 80 kg			100 %
OUTPUT aus Entsorgungsanlage				
Metalle (Eisen und NE)	37,6 kg	ca. 47 %	Stoff-Rec	75,5 %
Anorganische Materialien (Glas, VIP)	8,8 kg	ca. 11 %	Stoff-Rec	
Kunststoffe gesamt (PU, PE, PS etc.) ¹	28 kg	ca. 35 %	Stoff-Rec/ Ther-Verw	
Rest	5,6 kg	ca. 7 %	Ther-Verw	24,5 %

Legende: Stoff-Rec...stoffliches Recycling; Ther-Verw...thermische Verwertung;
gemäß Daten aus [36]

¹⁾ Annahme, dass die Hälfte der Kunststoff stofflich, die andere Hälfte thermisch verwertet wird.

Tabelle 19: Theoretische Potentiale zur stofflichen bzw. thermischen Verwertung eines herkömmlichen Kühlschranks (Berechnung)

INPUT in Entsorgungsanlage				
Kühlschrank ohne VIP	52-54 kg		100 %	
OUTPUT aus Entsorgungsanlage				
Eisen (inkl. Eisen aus Kompressor)	38 kg	ca. 71,3%	Stoff-Rec	79,8 %
NE-Metalle (Al, Cu, Zn, rostfreier Stahl, NE aus Kompressor)	3,4 kg	ca. 6,4%	Stoff-Rec	
Glass	0,7 kg	ca. 1,3%	Stoff-Rec	
FCKW/ Pentan	0,4-0,5 kg	ca. 0,8%	Stoff-Rec	
Kunststoff	5-5,5 kg	ca. 9,9%	Stoff-Rec / Ther-Verw	20,2 %
Isoliermaterial (PU-Schaum)	5-5,5 kg	ca. 9,9%	Stoff-Rec / Ther-Verw	
Öl	0,2 kg	ca. 0,4%	Stoff-Rec / Ther-Verw	

Legende: Stoff-Rec...stoffliches Recycling; Ther-Verw...thermische Verwertung;
gemäß Daten aus [63]

In Tabelle 20 und Tabelle 21 sind sowohl die Haupt-Inputmaterialien als auch die Haupt-Outputmaterialien von Kühlgeräteaufbereitungsanlagen mit deren Schlüsselnummern und Abfallcodes zusammengefasst. Obwohl die fünf-stelligen Schlüsselnummern gemäß ÖNORM S 2100 [64] mittlerweile europaweit vom sechs-stelligen Code-System des europäischen Abfallverzeichnisses (auch EWC für Englisch **W**aste **C**atalogue genannt) [65] abgelöst wurden, werden in der Praxis weiterhin die fünfstelligen Schlüsselnummern verwendet und von der Regierung akzeptiert. Die österreichische Abfallverzeichnisverordnung ist bereits auf die sechsstelligen Codes umgestellt. In den Tabellen werden beide Nummern-Systeme und Bezeichnungen angeführt. Dies soll einer besseren Nachvollziehbarkeit dienen, da sich beide Bezeichnungen insofern ergänzen, als die ÖNORM S 2100 die Abfälle in Materialgruppen einteilt und der EWC die Abfälle anhand deren Herkunft gruppiert.

Tabelle 20: Abfall-Input in die Aufbereitungsanlagen für Kühl- und Gefriergeräte

Code und Beschreibung gemäß EWC 2000		Schlüsselnummer und Beschreibung gemäß ÖNORM S 2100	
16	<i>Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind</i>		
16 02	<i>Abfälle aus elektrischen und elektronischen Geräten</i>		
16 02 11	gebrauchte Geräte, die teil- und vollhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe enthalten	35205	Kühl- und Klimageräte mit FCKW-, FKW- und KW-haltigen Kältemitteln (z.B. Propan, Butan)
16 02 13	gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen	35205 ODER 35206	Kühl- und Klimageräte mit FCKW-, FKW- und KW-haltigen Kältemitteln (z.B. Propan, Butan) ODER Kühl- und Klimageräte mit anderen Kältemitteln (z.B. Ammoniak bei Absorberkühlgeräten)
20	<i>Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen</i>		
20 01	<i>Getrennt gesammelte Fraktionen (außer 15 01)</i>		
20 01 23	gebrauchte Geräte, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe enthalten	35205	Kühl- und Klimageräte mit FCKW-, FKW- und KW-haltigen Kältemitteln (z.B. Propan, Butan)
20 01 35	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte, die gefährliche Bauteile enthalten, mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21 und 20 01 23 fallen	35206	Kühl- und Klimageräte mit anderen Kältemitteln (z.B. Ammoniak bei Absorberkühlgeräten)

Tabelle 21: Abfall-Output aus Aufbereitungsanlagen für Kühl- und Gefriergeräte

Code und Beschreibung gemäß EWC 2000		Schlüsselnummer und Beschreibung gemäß ÖNORM S 2100	
14	<i>Abfälle aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln und Treibgasen (außer 07 und 08)</i>		
14 06	<i>Abfälle aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln sowie Schaum- und Aerosoltreibgasen</i>		
14 06 01	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, H-FCKW, H-FKW	55205	fluorkohlenwasserstoffhaltige Kälte-, Treib- und Lösemittel
16	<i>Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind</i>		
16 02	<i>Abfälle aus elektrischen und elektronischen Geräten</i>		
16 02 09	Transformatoren und Kondensatoren, die PCB enthalten	54110	PCB- und PCT-haltige elektrische Betriebsmitte
17	<i>Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)</i>		
17 04	<i>Metalle (einschließlich Legierungen)</i>		
17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen	35314	Kabel
19	<i>Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke</i>		
19 10	<i>Abfälle aus dem Shreddern von metallhaltigen Abfällen</i>		
19 10 01	Eisen und Stahlabfälle	35103	Eisen- und Stahlabfälle, verunreinigt
19 10 02	NE-Metall-Abfälle	35304/ 35310/ 35315	Aluminium/ Kupfer/ NE-Metallschrott
19 10 04	Schredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen	57801	Schredderrückstände (Leichtfraktion)
19 12	<i>Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.</i>		
19 12 02	Eisenmetalle	91103	Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung
19 12 03	Nichteisenmetalle	35304/ 35310/ 35315/ 91103	Aluminium/ Kupfer/ NE-Metallschrott/ Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung
19 12 04	Kunststoff und Gummi	57110/ 57117/ 91103	Polyurethan (-schaum) / Kunstglas-, Polyacrylat- und Polycarbonatabfälle/ Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung
19 12 05	Glas	91103	Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	91103	Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung

Als Folge der zuvor angeführten Tabellen, drängt sich nun die Frage auf, welche Codes bzw. Schlüsselnummern auf Vakuumisolationspaneele zutreffen würden. Um dieser Frage nachzukommen, wurde Tabelle 22 erstellt, in der einige Vorschläge zusammengefasst sind.

Tabelle 22: Vorgeschlagene Schlüsselnummern für Vakuumisolationspaneele

Code und Beschreibung gemäß EWC 2000		Schlüsselnummern und Beschreibung gemäß ÖNORM S 2100	
17	<i>Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)</i>		
17 06	<i>Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe</i>		
17 06 04	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 06 01 und 17 06 03 fällt	31405/ 31416	Glasvlies/ Mineralfasern
19	<i>Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke</i>		
19 10	<i>Abfälle aus dem Shreddern von metallhaltigen Abfällen</i>		
19 10 04	Schredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen	57801	Schredderrückstände (Leichtfraktion)
19 12	<i>Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.</i>		
19 12 09	Mineralien (z. B. Sand, Steine)	91103	Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	91103	Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung

5.2.3 Recycling von VIP

Betreffend des Recyclings von VIP sind zurzeit noch relativ wenig Informationen verfügbar. Es wurde allerdings im Zuge dieser Arbeit sowie im Rahmen des CECED-Projekts versucht, über Befragungen der Entsorgungsanlagenbetreiber bzw. der VIP-Hersteller, aber auch über Internetrecherchen, Informationen zu finden.

Alle kontaktierten Entsorgungsanlagenbetreiber antworteten auf die Frage, ob sie zum Thema „Recycling-Strategie für VIP“ schon Überlegungen angestellt haben, eher zurückhaltend. Manche von ihnen gaben sogar an, noch nie von Vakuumisolationspaneelen gehört zu haben und dementsprechend auch noch keinerlei Strategien für deren Entsorgung zu haben. Einige Anlagenbetreiber hingegen antworteten, schon Erfahrungen mit VIP gemacht zu haben und auch schon kleinere Versuche unternommen zu haben, was allerdings aufgrund des „kleinen Marktanteils der VIP-haltigen Geräte“ nur sehr oberflächlich realisiert wurde. Einig waren sich alle Entsorgungsanlagenbetreiber, welche antworteten, dass VIP-haltige Geräte nach der ersten

Behandlungsstufe separat von den übrigen Geräten behandelt werden sollten. Dies gilt es allerdings im Zuge dieser Arbeit noch zu eruieren.

Patent US 6266941 B1

Zum Thema „Vakuumisoliertes Paneel und dessen Herstellungsverfahren“ wurde ein Patent aus dem Jahr 2001 gefunden. Im United States Patent mit der Nummer US 6266941 B1 vom 31. Juli 2001 (Erfinder: Yoshio Nishimoto; u.a. auch als EP 0862032 B1 am 17. November 2004 angemeldet [66]) sind Beschreibungen enthalten, wie Vakuumisoliationspaneele hergestellt werden können, aber auch wie recyceltes Material für die Herstellung neuer Paneele verwendet werden kann. In Abbildung 27 wird dieser Prozess beschrieben.

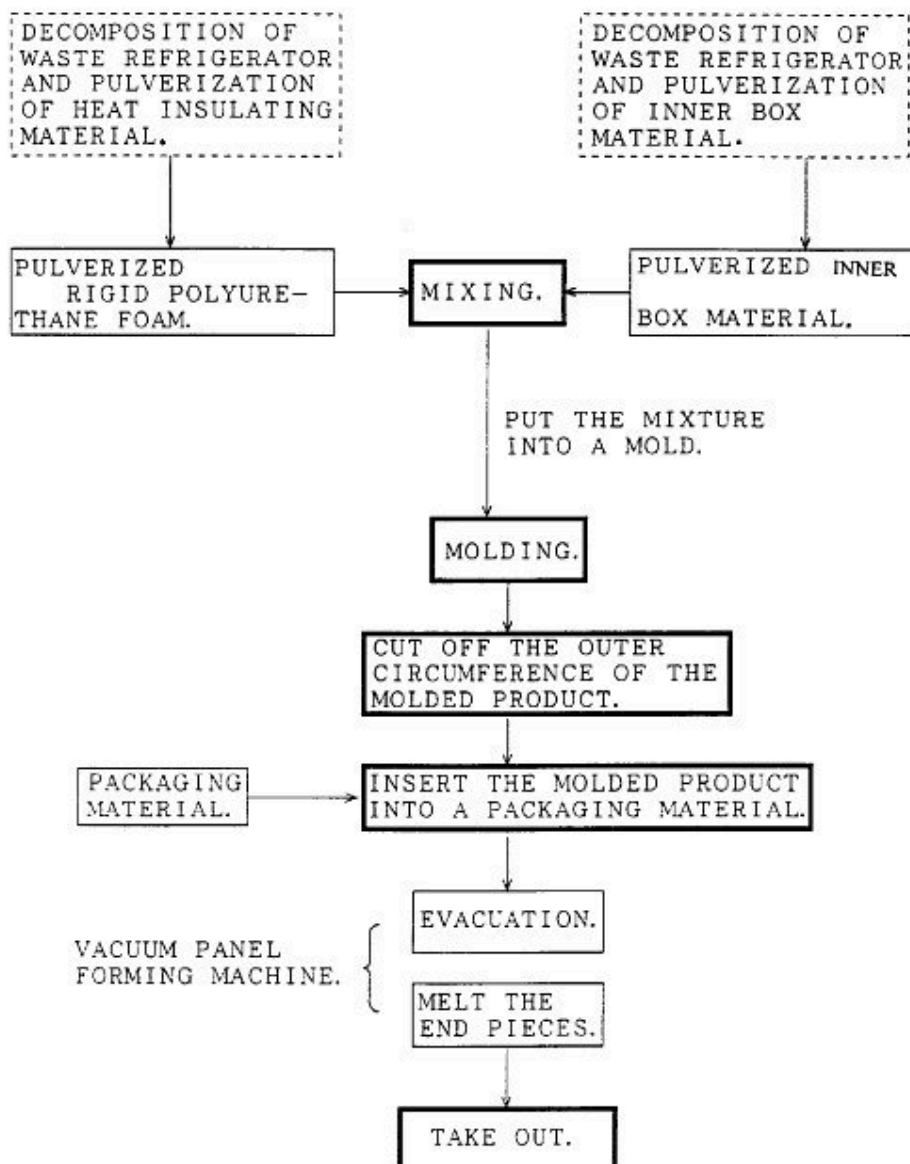


Abbildung 27: Möglichkeit um VIP zu recyceln [66]

Patent EP 1 527 863 B1

Ein weiteres Patent beantragt von der Panasonic Corporation aus dem Jahr 2003 (Europäisches Patent EP 1 527 863 B1, Erfinder: Akiko Yuasa [67]) beschreibt eine Methode für das Recycling von thermischem Isoliermaterial, welches aus Vakuum-Isoliermaterial mit anorganischem Material als Kernmaterial und starrem Urethan-Schaumstoff besteht. In diesem Patent werden acht verschiedene Methoden gezeigt, wie diese thermischen Isoliermaterialien recycelt werden können. Diese Methoden unterscheiden sich je nach Art der Kernmaterialien.

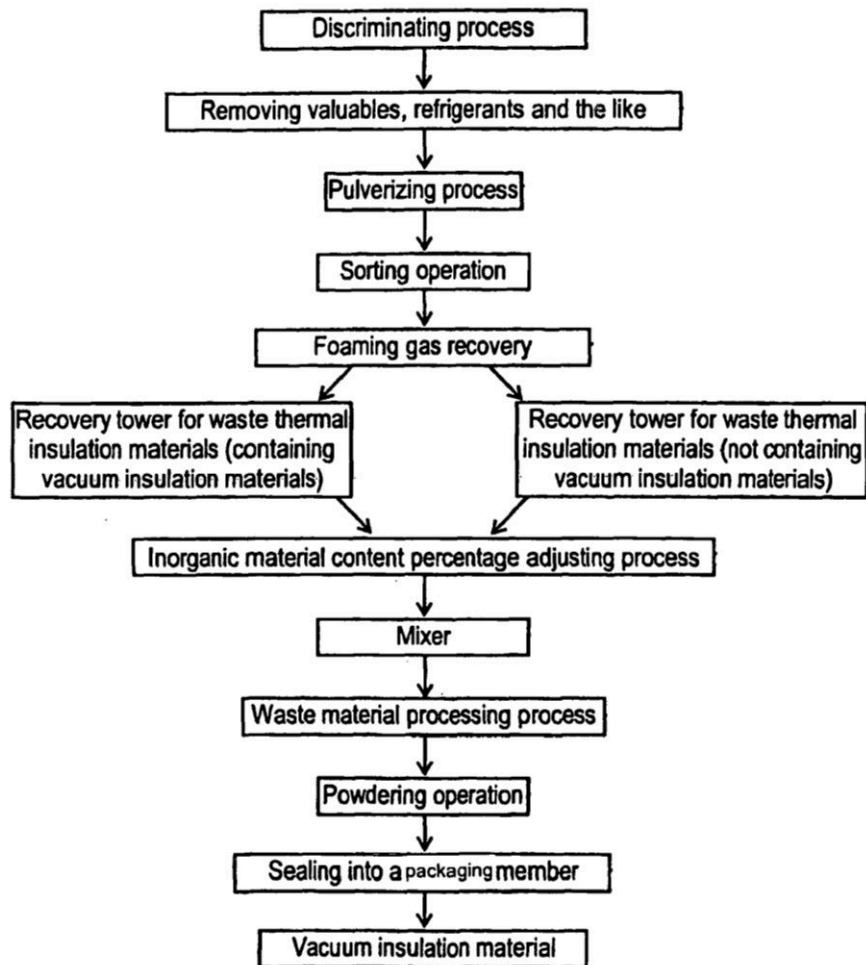


Abbildung 28: Methode um Kühlschränke zu recyceln und recyceltes Vakuumisulationsmaterial herzustellen [67]

Abbildung 29 zeigt eine Methode um thermisches Isolationsmaterial, welches aus starrem Urethan-Schaumstoff und aus Vakuum-Isoliermaterial mit anorganischem Kernmaterial besteht, zu recyceln. Das Isolationsmaterial wird gemeinsam mit dem Urethan-Schaumstoff herausgeschnitten und danach zerkleinert. Das Treibmittel (foaming gas) im Schaumstoff wird einem Rückgewinnungsprozess zugeführt. In den nächsten Schritten wird das gemahlene Material gemischt und sortiert, um eine einheitliche Qualität zu erhalten, was eine Wiederverwendung des Materials garantiert. Am Ende besteht das Material hauptsächlich aus Glasfaser, welches nach einem

Schmelzvorgang bei hoher Temperatur und anschließendem Zentrifugieren wiederverwendet werden kann.

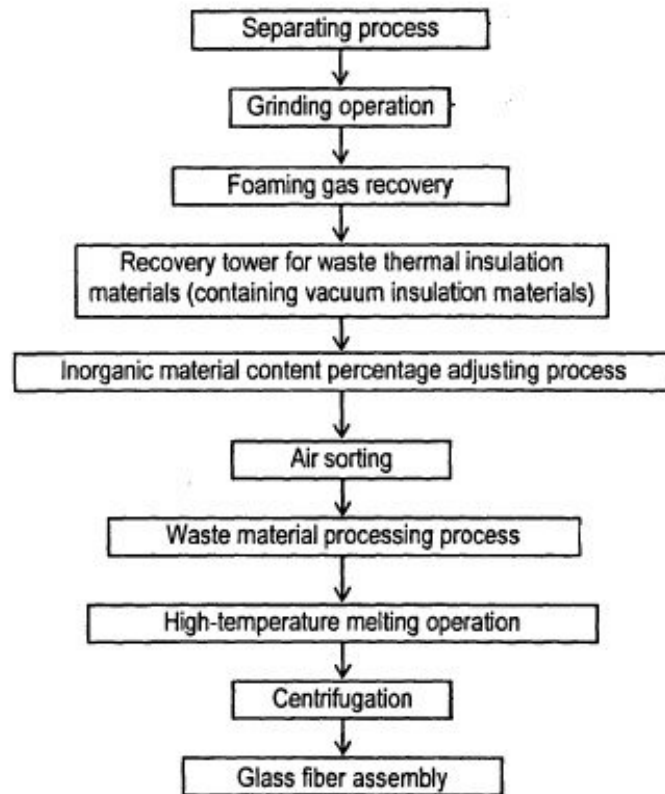








Abbildung 29: Methode um Isolationsmaterial von VIP zu recyceln [67]

6 Praktischer Teil – Versuchsdurchführung

In diesem Kapitel werden die Versuche und Analysen, die an der Montanuniversität bzw. in einer Technikumsanlage am 19., 20. und 21. März 2013 durchgeführt wurden, beschrieben. Diese Versuche dienen zur Planung und Organisation der großtechnischen Versuche in den Entsorgungsanlagen, weil dadurch eine Abschätzung der Bedingungen, im Hinblick auf die Arbeitssicherheit und technische Aspekte, in den Entsorgungsanlagen möglich ist. Um diese Versuche bzw. Analysen realisieren zu können, wurden Vakuumisulationspaneele von den Haushaltsgeräteherstellern bzw. den Produzenten angefordert. Es wurden neun verschiedene Pakete von sieben verschiedenen Zulieferern erhalten. Aufgrund der Ähnlichkeit mancher Paneele untereinander, konnte eine Gliederung in sechs verschiedene Materialgruppen (MG) erfolgen, welche in Tabelle 23 dargestellt ist. Die Gliederung bzw. die Beschreibung bezieht sich dabei ausschließlich auf die Kernmaterialien der Paneele.

Tabelle 23: Klassifizierung der untersuchten VIP Materialgruppen

Abkürzung	Materialgruppe	Beschreibung	Zulieferer	Fotos der MG
MG1	Materialgruppe 1	papierähnlich	VIPH-6, VIPH-10, VIPH-14, VIPH-4	
MG2	Materialgruppe 2	weißes Vlies	VIPH-4	
MG3	Materialgruppe 3	glaswollartig	VIPH-13	
MG4	Materialgruppe 4	graues Pulver	VIPH-15	
MG5	Materialgruppe 5	braunes Pulver	VIPH-7, VIPH-10	
MG6	Materialgruppe 6	schwarzes Pulver	VIPH-9	

Zusammengefasst wurden folgende Versuche/ Analysen durchgeführt:

- Zerkleinerungsversuche mit allen sechs Materialgruppen in der Technikumsanlage in Graz, welche unter Kap. 6.1 näher beschrieben ist,
- Siebanalysen mit den ersten fünf Materialgruppen im lehrstuhleigenen Labor (s. Kap. 6.2),
- Aufbereitung der ersten vier Materialgruppen für die RFA-Analyse im lehrstuhleigenen Labor (s. Kap. 6.3 und 6.4) und
- RFA-Analysen der Kernmaterialien dieser vier Materialgruppen im Labor des Lehrstuhls für Allgemeine und Analytische Chemie (s. Kap. 6.3).

6.1 Zerkleinerungsversuche

Am 19. März 2013 wurden in der Technikumsanlage in Graz, die Materialgruppen MG1 bis MG6 mit Hilfe eines Vierwellen-Zerkleinerers mit einem 25 mm Sieb nacheinander zerkleinert. Mit Hilfe einer Stehleiter konnten die einzelnen Paneele manuell in den Zerkleinerer aufgegeben werden. Über ein Förderband wurde das zerkleinerte Material von der Auslassstelle des Vierwellen-Zerkleinerers in Sammelbehälter befördert.

6.1.1 Anlagenbeschreibung

Die Zerkleinerungsversuche wurden in der lehrstuhleigenen kleintechnischen Aufbereitungsanlage in Graz durchgeführt. Die für den Zerkleinerungsversuch verwendeten Geräte sowie die Eckdaten des Versuchsortes sind in Tabelle 24 zusammengefasst. Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen den verwendeten Zerkleinerer, das Fließband und die Stehleiter.

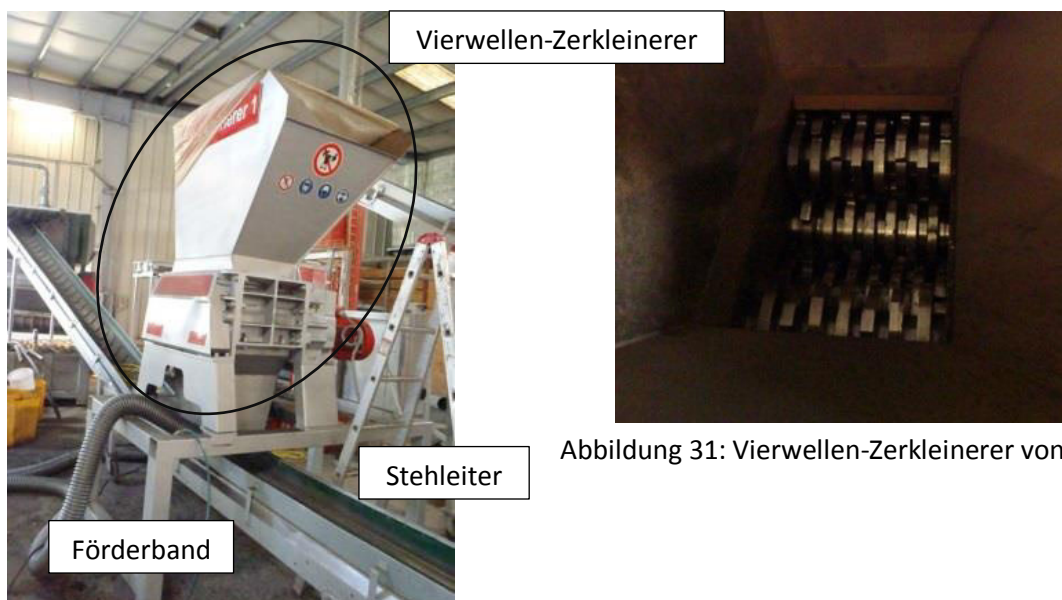


Abbildung 30: Vierwellen-Zerkleinerer

Abbildung 31: Vierwellen-Zerkleinerer von oben

Das Funktionsprinzip des verwendeten Vierwellen-Zerkleinerers, welcher zur Gruppe der Rotorscheren gehört, beruht auf einer zweistufigen Zerkleinerung, wobei sich die innen liegenden

Hauptrotoren gegenläufig bewegen und sich die jeweils dazugehörigen Sekundärrotoren in die gleiche Richtung drehen. Durch die Anordnung der vier Rotoren ist eine Vor- und Nachzerkleinerung in nur einem Arbeitsschritt möglich. Genauere Informationen zum Arbeitsprinzip von Rotorscheren sind in Kapitel 5.2.2 unter „Zerkleinerungsaggregate“ erläutert. Die drei Bilder, ersichtlich in Abbildung 32, veranschaulichen das Arbeitsprinzip des verwendeten Vierwellen-Zerkleinerers.

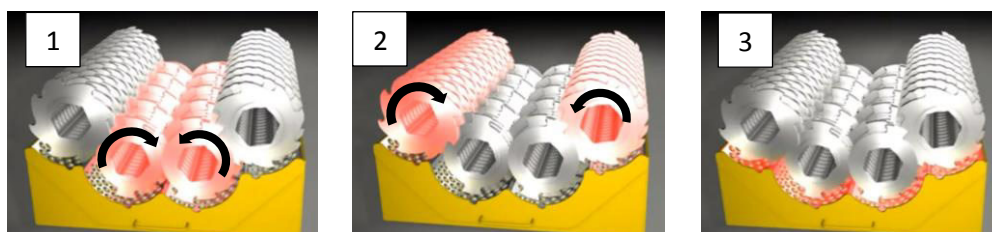


Abbildung 32: Hauptrotoren (1), Sekundärrotoren (2) und Sieb eines Vierwellen-Zerkleinerers [68]

In Tabelle 24 sind die für den Zerkleinerungsversuch verwendeten Geräte am Versuchsort zusammengefasst.

Tabelle 24: Verwendete Geräte für den kleintechnischen Versuch

Verwendete Geräte	Vierwellen-Zerkleinerer mit 25 mm Sieb	UNTHA, Type RS40-4.S, Serinennr.: RS432875480mm, 30 KW, Baujahr 12/2005
	Förderband	
	Stehleiter	

6.1.2 Zerkleinerung von Materialgruppe 1

Das papierartige Material verursachte nur eine geringe Staubentwicklung. In Abbildung 33 ist sowohl das Ausgangsmaterial als auch das zerkleinerte Material ersichtlich.



Abbildung 33: Input und Output des Materials „papierartig“ (MG1)

6.1.3 Zerkleinerung von Materialgruppe 2

Beim Zerkleinern dieses Materials kam es zu einer erheblichen Staubentwicklung wie Abbildung 34 und das erste Output-Bild von Abbildung 35 zeigt. Als Zusatzinformation soll hier angemerkt werden, dass der Rauchmelder in der Versuchsanlage während der Versuche ausgeschaltet war. Ansonsten wäre es durch die starke Staubentwicklung möglicherweise zu einem Alarm gekommen, der wiederum einen Einsatz der Feuerwehr ausgelöst hätte. In Abbildung 35 wird der Zerkleinerungsvorgang veranschaulicht.



Abbildung 34: Staubentwicklung von MG2



Abbildung 35: Input und Output des Materials „weißes Vlies“ (MG2)

6.1.4 Zerkleinerung von Materialgruppe 3

Während der Zerkleinerung des glaswollartigen Materials, war eine deutliche Vergrößerung des Volumens festzustellen. Dadurch war auch die Verweilzeit der Glasfaser-Flocken im Zerkleinerer

länger als bei anderen Materialgruppen. Im Vergleich zu MG2 ist die Staubentwicklung, die durch die Zerkleinerung dieses Materials hervorgerufen wurde, vernachlässigbar gering. In Abbildung 36 sind der Input und der Output dieses Materials dargestellt.



Abbildung 36: Input und Output des Materials „glaswollartig“ (MG3)

6.1.5 Zerkleinerung von Materialgruppe 4

Materialgruppe 4 verursachte eine starke Staubentwicklung, wie das mittlere Bild in Abbildung 37 beweist. Diese Staubentwicklung war ähnlich der von Materialgruppe 2. Aufgrund der pulverartigen Matrix von MG4 war die Verweilzeit im Zerkleinerer kurz.



Abbildung 37: Input und Output des Materials „graues Pulver“ (MG4)

6.1.6 Zerkleinerung von Materialgruppe 5

Wie in Abbildung 38 gut zu erkennen ist, zog der Zerkleinerungsprozess von MG5 eine massive Staubentwicklung nach sich. Die Verweilzeit des Materials im Zerkleinerer war wiederum sehr kurz, was auch auf die pulverartige Matrix zurückzuführen sein könnte.

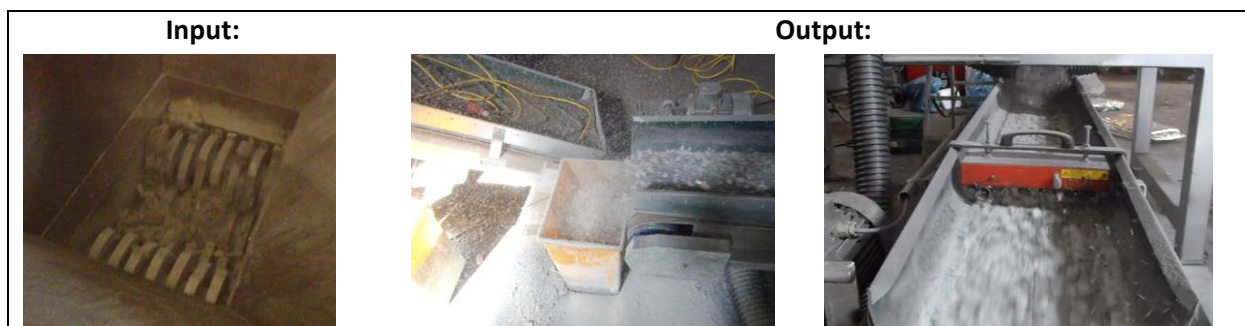


Abbildung 38: Input und Output des Materials „graues Pulver“ (MG5)

6.1.7 Zerkleinerung von Materialgruppe 6

Auch die Paneele der Materialgruppe 6 verursachten eine starke Staubentwicklung in der Luft und die Verweilzeit war aufgrund der pulverförmigen Matrix des Kernmaterials wiederum sehr kurz. Im rechten Bild von Abbildung 39 wird die Staubentwicklung durch die direkte Sonneneinstrahlung deutlich.

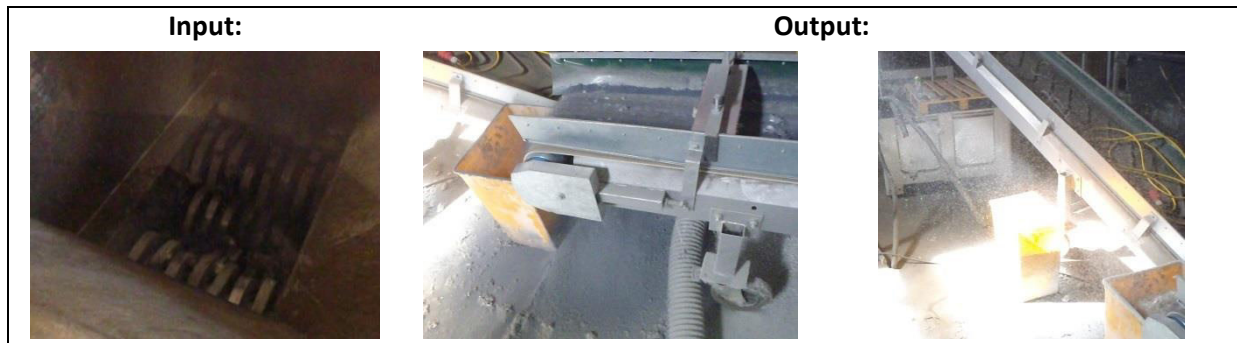


Abbildung 39: Input und Output des Materials „schwarzes Pulver“ (MG6)

6.1.8 Zusammenfassung der Zerkleinerungsversuche

Alle Materialgruppen mit Ausnahme von MG1 (papierartig) und MG3 (glaswollartig) haben eine erhebliche Staubentwicklung während des Zerkleinerungsprozesses mit dem Vierwellen-Zerkleinerer verursacht. Darum ist der Gebrauch von Staubmasken, Schutzbrillen und Schutzanzügen jedenfalls zu empfehlen. Die Tatsache, dass der Rauchmelder während der gesamten Versuchsdauer ausgeschaltet war, um eine eventuelle Alarmierung der Einsatzkräfte zu verhindern, ist wichtig für eventuelle zukünftige Untersuchungen dieser Materialien. Aus sicherheitstechnischen Aspekten müssen diese Erkenntnisse bei den großtechnischen Versuchen besonders berücksichtigt und ausreichend behandelt werden.

6.2 Siebanalysen

Zur Ermittlung der Korngrößenverteilung und Untersuchung der Trennbarkeit von Fraktionen (Hülle vom Kernmaterial) der zerkleinerten Materialgruppen MG1, MG2, MG3, MG4 und MG5 wurden sogenannte Siebanalysen durchgeführt. Aufgrund der Beschaffenheit von MG6 (sehr feinkörniges Pulver) wurde für dieses Material keine Siebanalyse durchgeführt. Das Ziel der Siebanalysen war es, herauszufinden, ob eine Abscheidung der Aluminiumfraktion, welche in den Paneel-Hüllen enthalten sind, vom Kernmaterial möglich wäre. Da in Kühlgeräteaufbereitungsanlagen nicht ausgeschlossen werden kann, dass die zu entsorgenden Kühlgeräte feucht sind (z.B. durch Niederschlag bei der Lagerung), wurden für jedes untersuchte Material zwei Arten von Siebanalysen durchgeführt:

- Siebanalyse des trockenen zerkleinerten Materials;
- Siebanalyse des befeuchteten zerkleinerten Materials (15 Gew.-% Wasser).

Anhand dieser beiden unterschiedlichen Vorgangsweisen galt es auch den Unterschied zwischen dem trockenen und dem befeuchteten Material herauszufinden. Deshalb wurde dasselbe Material zwei Mal gesiebt, beim ersten Durchgang trocken und beim zweiten Durchgang befeuchtet.

Ausgehend von der Maschenweite des Siebes des Zerkleinerers von 25 mm, wurden für beide Arten der Siebanalysen folgende Maschenweiten verwendet (insgesamt sieben Ebenen): 20 mm, 16 mm, 10 mm, 6,3 mm, 4 mm, 2 mm und ein Siebboden. In Abbildung 40 sind die sechs Siebe mit dem Siebboden auf einem mechanischen Schüttler der Firma Fritsch abgebildet.

In Tabelle 25 ist ersichtlich, dass die Gesamtmassen der untersuchten Materialien schwanken. Diese Massenunterschiede sind begründet in den unterschiedlichen Dichten der Materialien, weil das Ziel der Siebanalysen war, mit ähnlichen Volumina und nicht mit ähnlichen Massen zu arbeiten.



Abbildung 40: Siebturm auf Schüttler

Tabelle 25: Ergebnisse für MG1 – MG5 für Siebanalysen der trockenen Materialien

Trockenes Material	Gesamtmasse [g]	> 20 mm [g]	> 16 mm [g]	> 10 mm [g]	> 6,3 mm [g]	> 4 mm [g]	> 2 mm [g]	< 2 mm [g]
MG1	346,9	53,5	38,7	63,2	35,1	14,8	7,4	134,2
MG2	775,3	35,1	85,4	126,4	92,8	64,6	90,0	281,0
MG3	281,2	9,6	6,1	77,6	103,6	37,9	6,2	40,2
MG4	363,5	37,3	25,6	62,4	99,8	45,2	21,0	72,2
MG5	434,6	13,9	31,3	157,7	101,0	18,3	12,4	100,0

Basierend auf den Ergebnissen aus den Siebanalysen mit dem trockenen Material (vgl. Tabelle 25), wurden die einzelnen Materialgruppen mit rund 15 Gew.-% Wasser befeuchtet und erneut gesiebt. Die Ergebnisse beider Untersuchungen liefern Aussagen zur Vergleichbarkeit zwischen trockenem und feuchtem Material. Die Ergebnisse der Siebanalysen des befeuchteten Materials sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Ergebnisse für MG1 – MG5 aus Siebanalysen der befeuchteten Materialien

Befeuchtetes Material	Gesamtmasse [g]	Wasser (zugeg.) [g]	> 20 mm [g]	> 16 mm [g]	> 10 mm [g]	>6,3 mm [g]	> 4 mm [g]	> 2 mm [g]	< 2 mm [g]
MG1	399,8	66,1	214,5	1,7	63,7	48,2	17,2	7,5	47,0
MG2	901,3	140,2	56,1	65,6	178,2	134,0	76,1	111,0	280,3
MG3	316,8	50,1	77,8	22,8	111,8	68,9	25,6	3,0	6,9
MG4	422,2	65,1	47,2	35,2	55,1	87,1	65,9	24,8	106,9
MG5	498,0	80,3	60,1	48,4	118,7	84,9	13,8	6,3	165,8

In Kapitel 6.4 sind alle Siebe der jeweiligen untersuchten Materialien anhand von Fotos ersichtlich, sowie Balkendiagramme und Korngrößenverteilungen aller durchgeführten Siebanalysen.

6.3 Röntgenfluoreszenzanalysen

Um die chemische Zusammensetzung der Vakuumisulationspaneele bzw. deren Kernmaterialien zu analysieren eignet sich eine Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).

Da die Kernmaterialien von MG5 und MG6 bereits einer RFA unterzogen wurden (vgl. [36]), wurden im Rahmen dieser Arbeit nur die Kernmaterialien von MG1, MG2, MG3 und MG4 mithilfe einer RFA analysiert. Vor der Analyse mussten die Kernmaterialien noch dementsprechend aufbereitet werden, damit die Messung überhaupt möglich war. Dazu wurde eine Kugelmühle der Firma Retsch (Modell S 1000, siehe Abbildung 41) verwendet, um die Proben möglichst homogen und fein-pulvrig aufzubereiten. Die Ergebnisse der RFA sind im Kapitel 6.4 ersichtlich. Außerdem wird die Probenpräparation anhand von Fotos verdeutlicht.



Abbildung 41: Verwendete Kugelmühle der Firma Retsch (Modell S 1000)

Messprinzip der RFA

Bei der RFA werden die Atome oder Ionen der Substanz durch die primäre Strahlung einer Röntgenröhre oder radioaktiven Quelle angeregt. Die spektrale Zerlegung der entstehenden sekundären, charakteristischen Eigenstrahlung (auch Fluoreszenzstrahlung genannt) ermöglicht Aussagen über die in der Substanz enthaltenen Sorten der Atome oder Ionen. Die Messung der Intensität der von einer Elementsorte emittierten Fluoreszenzstrahlung enthält Informationen über deren Gewichtsanteil. [69]

Es wird bei der RFA prinzipiell zwischen wellenlängendispersiven (WDRFA) und energiedispersiven (EDRFA) Systemen unterschieden.

Die WDRFA detektiert mit Hilfe eines Szintillationszählers bzw. eines Gaszählrohrs die durch einen Analysatorkristall spektral zerlegte emittierte Röntgenfluoreszenzstrahlung einer mit Röntgenstrahlung angeregten Probe. Wellenlängendispersion bedeutet, dass die Strahlung nach ihrer Wellenlänge separiert wird. Ein Vorteil dieses System ist, dass Messungen automatisiert werden können und durch die simultane Messung die Messdauer sehr kurz ist. Nachteilig ist, dass die Detektion von Elementen begrenzt ist und die Messapparatur umgebaut werden muss, um andere Elemente zu detektieren. [70]

Die EDRFA detektiert direkt die emittierte Röntgenfluoreszenzstrahlung der mit einer Röntgenstrahlung angeregten Probe. Die Detektion erfolgt mittels energiedispersiven, also Energie separierenden Detektoren. Diese haben die Eigenschaft, dass sie nicht nur die Energiezustände der eintreffenden Röntgenquanten erfassen, sondern auch die Anzahl. Der Vorteil dieses Systems ist, dass die Simultanerfassung aller Elemente keine lange Messdauer erfordert und die Apparatur keine beweglichen Teile hat. Nachteilig ist das geringe Auflösungsvermögen im Vergleich zur WDRFA. [70]

Voraussetzung zur Durchführung quantitativer Analysen mit Hilfe der RFA ist die Herstellung von ebenen Proben zur Einhaltung gleicher geometrischer Bedingungen im Spektrometer, da die **Probenvorbereitung** bei mehreren Messungen einer Probe die Varianz der Ergebnisse bis zu 95 % beeinflusst. Die sachgemäße Präparation wird durch drei unterschiedliche Methoden erreicht: [69], [70]

- Pulvertabletten: Die feste Probe wird zunächst in einem Mörser oder Mahlwerk zu einem Pulver feinvermahlen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Verunreinigung der Probe durch das gewählte Mahlwerkzeug minimiert und an die Problemstellung, also an das Analyseziel, angepasst wird. Es sollte also Material verwendet werden das äußerst beständig ist bzw. welches außerhalb des Analysebereichs liegt. Durch den Prozess wird eine homogene Probe mit kleiner Korngröße erhalten. Eine definierte Menge an Pulver wird mit einem Zusatz an Bindemittel direkt gepresst. Als Bindemittel wird häufig wasserfreie Borsäure oder Wachs verwendet. [70]

- Schmelztabletten: Die feste Probe wird mit einem Schmelzmittel z.B. di-Lithiumtetraborat zuerst in einem Mörser vermischt und anschließend geschmolzen und ein Pressling angefertigt. Dies hat den Vorteil einer deutlich höheren Homogenisierung und durch die Verdünnung werden Matrixeffekte abgeschwächt bis eliminiert. Die Nachweisgrenze wird durch das Verdünnen jedoch deutlich schlechter - vor allem für die leichteren Elemente. [70]
- Lösungen: Es können durch die Möglichkeit des Einbringen einer Küvette auch flüssige Proben untersucht werden. Vorteilhaft ist dies, da auch hier durch die Verdünnung Matrixeffekte kompensiert bis zu eliminiert werden. Jedoch auf Kosten einer schlechteren Nachweisgrenze. [70]

6.4 Ergebnisse und Interpretation der Versuche und Analysen

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse und deren Interpretationen der durchgeführten Versuche und Analysen aller Materialgruppen (MG1 bis MG6) zusammengefasst. Alle erstellten Diagramme und Fotos einer Materialgruppe sind aus Gründen der Übersichtlichkeit auf einem einzelnen Blatt dargestellt, damit dieses Blatt als eine Art „Datenblatt“ für die jeweilige Materialgruppe dienen kann.

6.4.1 Ergebnisse von Materialgruppe 1 (papierartig)

Während des Zerkleinerungsversuches verursachte MG1 keine Staubprobleme und war auch ohne Schwierigkeiten im Vierwellen-Zerkleinerer zu zerkleinern. Die Siebanalyse des trockenen Materials ergab eine große Feinfraktion, was in Abbildung 42 deutlich zu erkennen ist. Bei der Siebanalyse des befeuchteten Materials (siehe Abbildung 43) ist es auffällig, dass das 16 mm-Sieb fast leer wirkt, während das 20 mm-Sieb eher überfüllt aussieht. Obwohl MG1 fast 25 Minuten lang gesiebt wurde (alle anderen Materialgruppen wurden nur rund 10 Minuten gesiebt), war keine Änderung im ersten (obersten) Sieb zu bemerken. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen ist, dass die befeuchtete Feinfraktion klebrig wird und sich an die größeren Partikel anhaftet. Deshalb werden die Partikel, die im trockenen Zustand noch durch das 20 mm-Sieb durchfielen, zu groß um durch das Sieb zu passen. Alle Partikel, die trotzdem durch das erste Sieb fielen, waren auch klein genug um durch das 16 mm-Sieb zu fallen, weshalb dort so wenig Material vorzufinden war. Eine Trennung der Aluminiumfraktion vom Kernmaterial war nicht festzustellen.

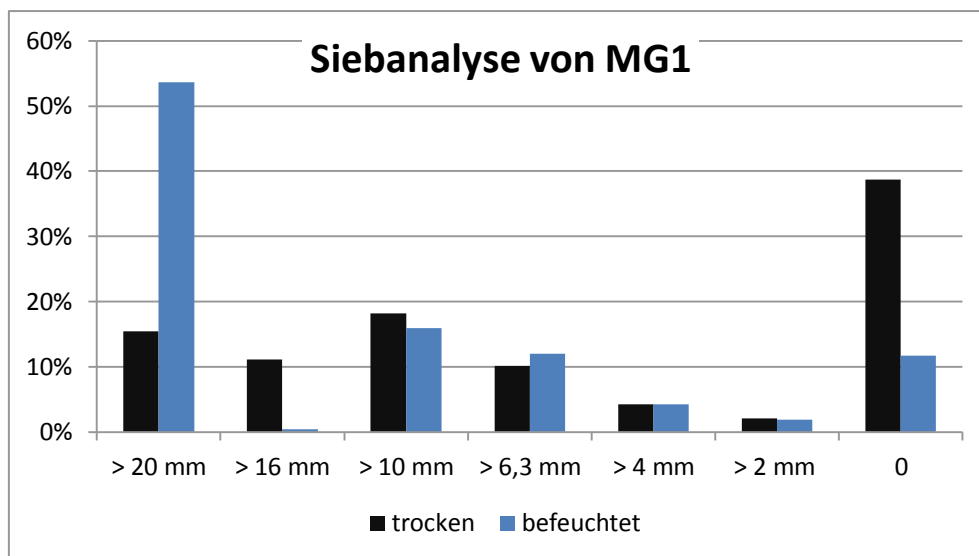


Abbildung 42: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG1 (trocken und befeuchtet)

Die Probenpräparation des Kernmaterials für die RFA in der Kugelmühle bereitete keine Schwierigkeiten. Aus Ergebnissen der RFA (siehe Tabelle 27) geht hervor, dass die Hauptbestandteile von MG1 Siliciumdioxid (69 %), Natriumoxid (14 %), Calciumoxid (8,8 %) und Magnesiumoxid (3,8 %) sind. Im Vergleich zu den Hauptbestandteilen anderer Materialgruppen, scheint Natriumoxid für dieses Material charakteristisch zu sein und erklärt auch die strahlend weiße Farbe. Der hohe Aschegehalt von 99,7 % beweist einen sehr geringen Anteil an organischen Stoffen.

Siebanalyse von MG1

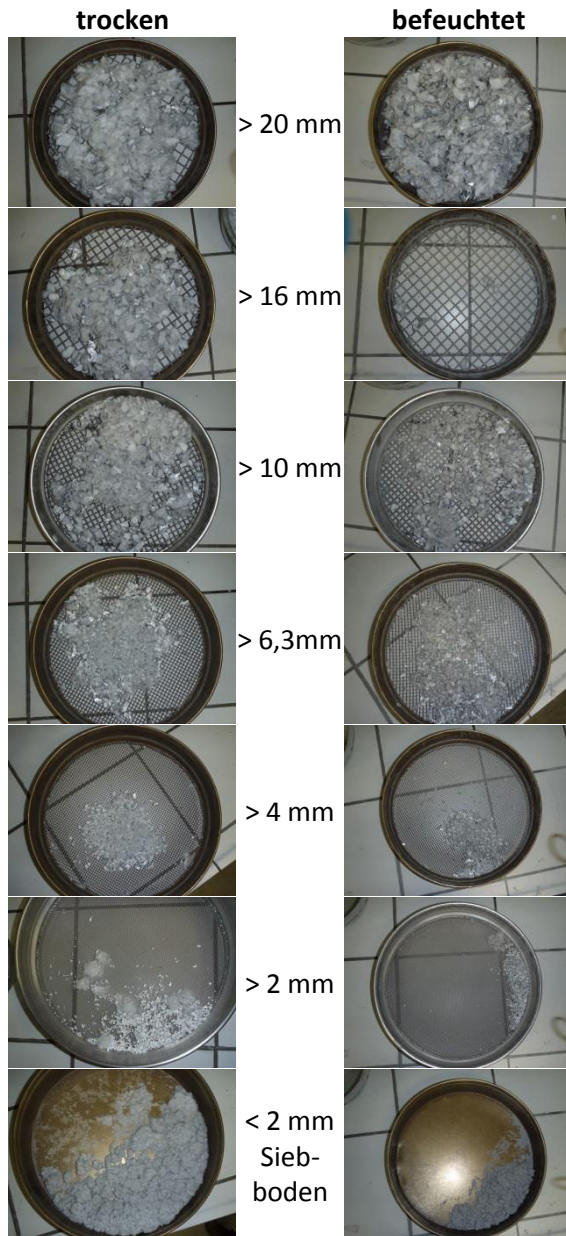


Abbildung 43: Siebanalyse von MG1

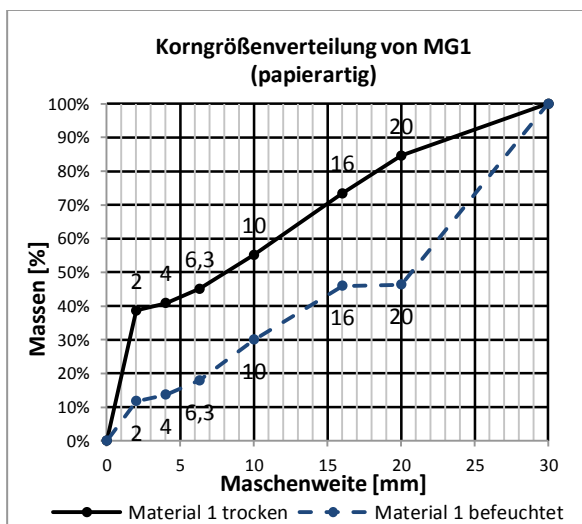


Abbildung 44: Korngrößenverteilung von MG1

Aufbereitung von MG1 für die RFA

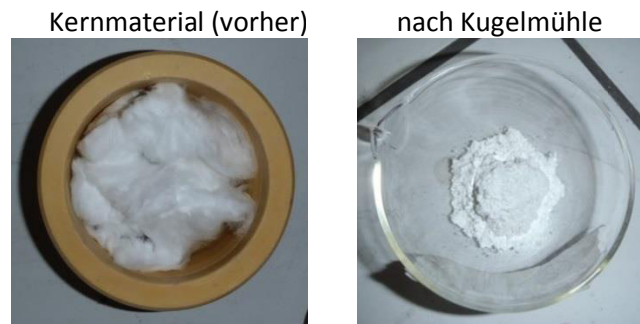


Abbildung 45: Unbehandelte und gemahlene MG1

Ergebnisse der RFA von MG1

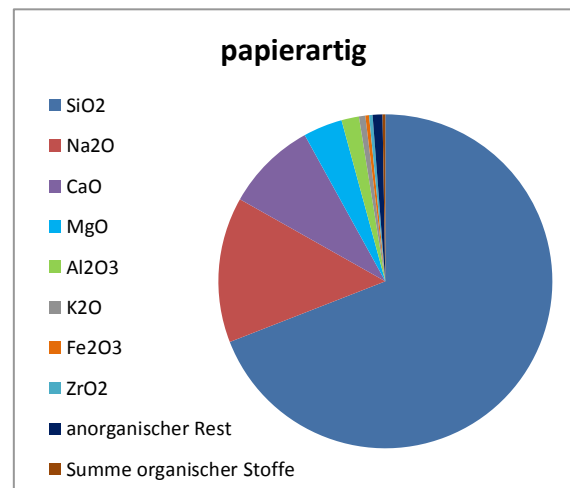


Abbildung 46: Chemische Zusammensetzung von MG1

Tabelle 27: Ergebnisse der RFA von MG1

Auswertungen der RFA von MG 1 (papierartig) (Probennummer: 0127-13-00)		
Chem. Verbindung	Chem. Formel	Massen-% bezogen auf Trockenmasse
Siliciumdioxid	SiO ₂	69,08
Natriumoxid	Na ₂ O	14,09
Calciumoxid	CaO	8,81
Magnesiumoxid	MgO	3,79
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	1,70
Kaliumoxid	K ₂ O	0,62
Eisen(III)oxid	Fe ₂ O ₃	0,36
Zirkoniumoxid	ZrO ₂	0,34
anorganischer Rest	-	0,95
Aschegehalt (Summe anorganischer Stoffe)		99,73
Glühverlust (Summe organischer Stoffe)		0,27
Gesamt (anorganische und organische Stoffe)		100

6.4.2 Ergebnisse von Materialgruppe 2 (weißes Vlies)

Dieses Material verursachte bei der Zerkleinerung eine starke Staubentwicklung, wie bereits im vorhergegangenen Kapitel 6.1.3 beschrieben und mit Fotos dokumentiert wurde.

Die beiden Siebanalysen konnten jeweils innerhalb von zehn Minuten durchgeführt werden. In Abbildung 48 ist festzustellen, dass die Aluminiumfraktion bei beiden Siebdurchgängen gut von der Fraktion des Kernmaterials abgetrennt werden konnte. Der Grund für diese gute Abtrennung könnte sein, dass das zerkleinerte Material relativ kleine Korngrößen jedoch keine klebrigen Eigenschaften gegenüber Aluminium aufweist (auch nicht im befeuchteten Zustand). Ähnlich wie bei MG1, ist erkennbar, dass die Feinfraktion beim befeuchteten Material kleiner ist als beim trockenen Material (siehe Abbildung 47). Allerdings ist der Effekt, dass feuchte kleinere Partikel an größeren anhaften und somit im Siebturm weiter oben verweilen, im Vergleich zu MG1 bei MG2 nur sehr schwach ausgeprägt.

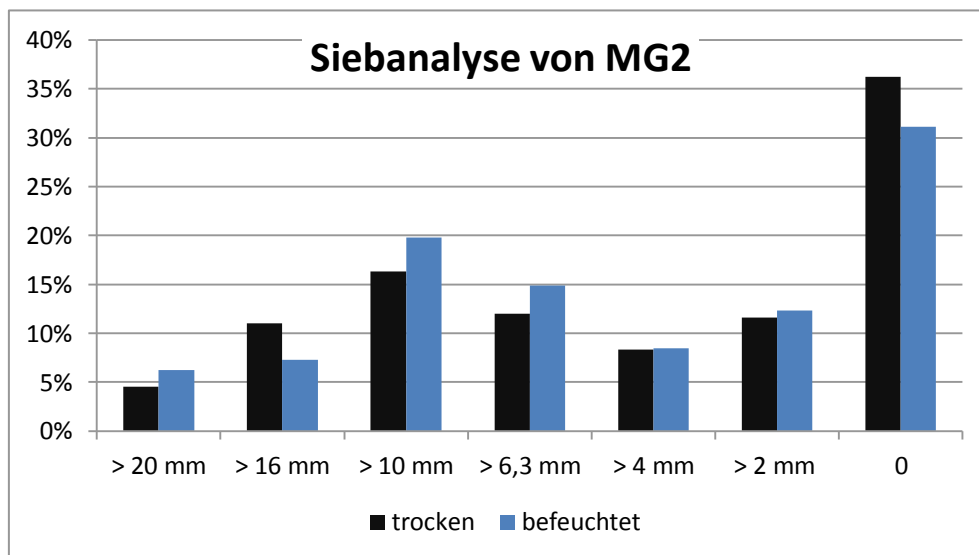


Abbildung 47: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG2 (trocken und befeuchtet)

Die Aufbereitung des Kernmaterials für die RFA mit der Kugelmühle stellte keine Probleme dar. Gemäß den Ergebnissen der RFA (siehe Tabelle 28) sind die Hauptkomponenten Siliciumdioxid (54 %), Calciumoxid (25 %) und Aluminiumoxid (rund 13,6 %). Der kleine Prozentsatz des organischen Materials weist nach, dass das Material fast zur Gänze anorganisch ist.

Siebanalyse von MG2

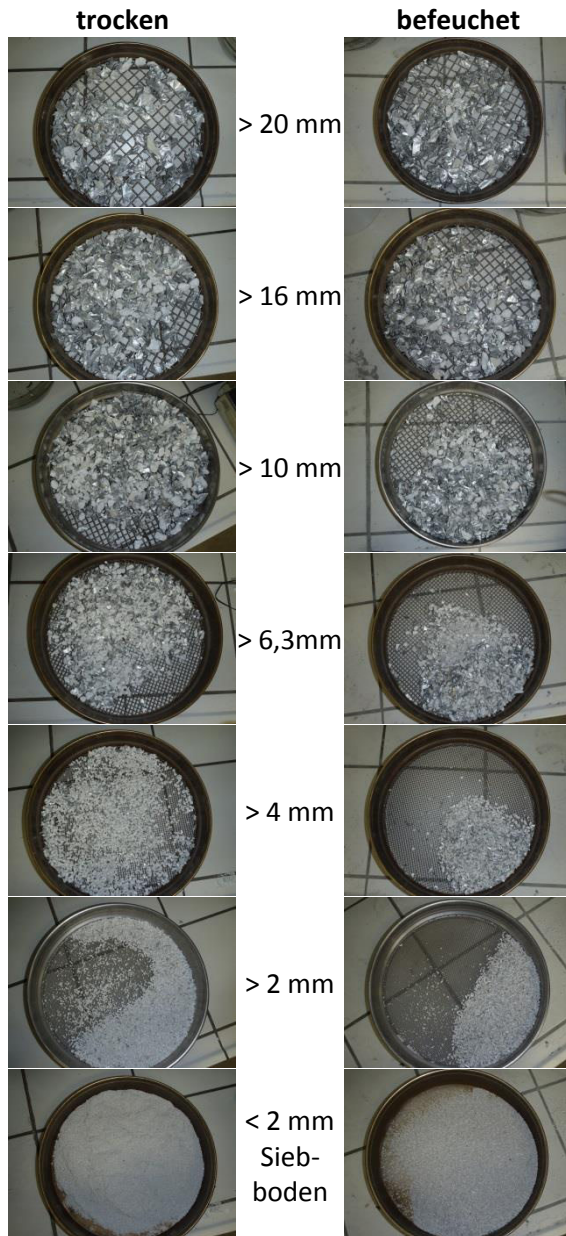


Abbildung 48: Siebanalyse von MG2

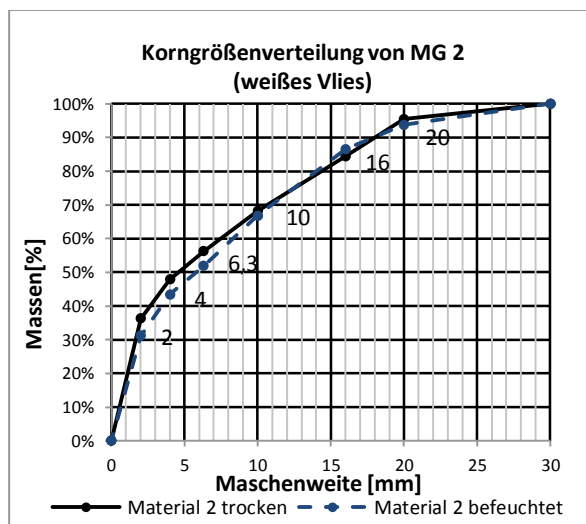


Abbildung 49: Korngrößenverteilung von MG2

Aufbereitung von MG2 für die RFA



Abbildung 50: Unbehandelte und gemahlene MG2

Ergebnisse der RFA von MG2

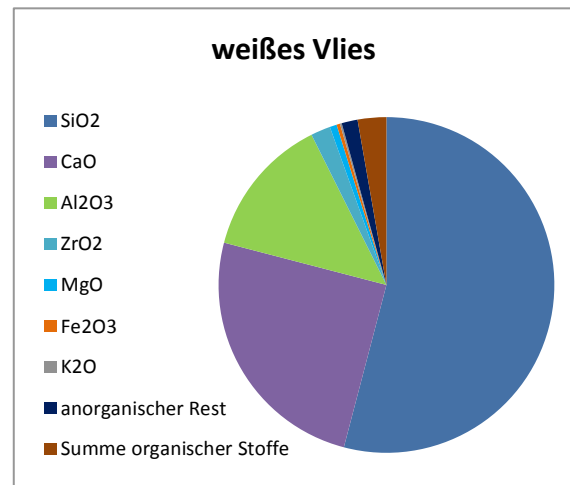


Abbildung 51: Chemische Zusammensetzung von MG2

Tabelle 28: Ergebnisse der RFA von MG2

Auswertungen der RFA von MG 2 (weißes Vlies) (Probennummer: 0128-13-00)		
Chem. Verbindung	Chem. Formel	Massen-% bezogen auf Trockenmasse
Siliciumoxid	SiO ₂	54,08
Calciumoxid	CaO	24,97
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	13,57
Zirkoniumoxid	ZrO ₂	1,90
Magnesiumoxid	MgO	0,67
Eisen(III)oxid	Fe ₂ O ₃	0,33
Kaliumoxid	K ₂ O	0,18
anorganischer Rest	-	1,54
Aschegehalt (Summe anorganischer Stoffe)		97,24
Glühverlust (Summe organischer Stoffe)		2,76
Gesamt (anorganische und organische Stoffe)		100

6.4.3 Ergebnisse von Materialgruppe 3 (glaswollartig)

Während des Zerkleinerungsprozesses der VIP dieses Materialtyps war ein großer Volumenzuwachs festzustellen. Durch diese enorme Vergrößerung des Volumens war auch die Verweilzeit des Materials im Vierwellen-Zerkleinerer relativ lang.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Siebanalysen erinnert das Material stark an MG1. Der Anteil der größten Fraktion (> 20 mm) des befeuchteten Materials ist viel größer als der des trockenen Materials. Der Unterschied zwischen dem trockenen und dem befeuchteten Material ist sehr klar in Abbildung 52 ersichtlich. Die Trennung von Aluminium vom restlichen Material konnte nicht erreicht werden.

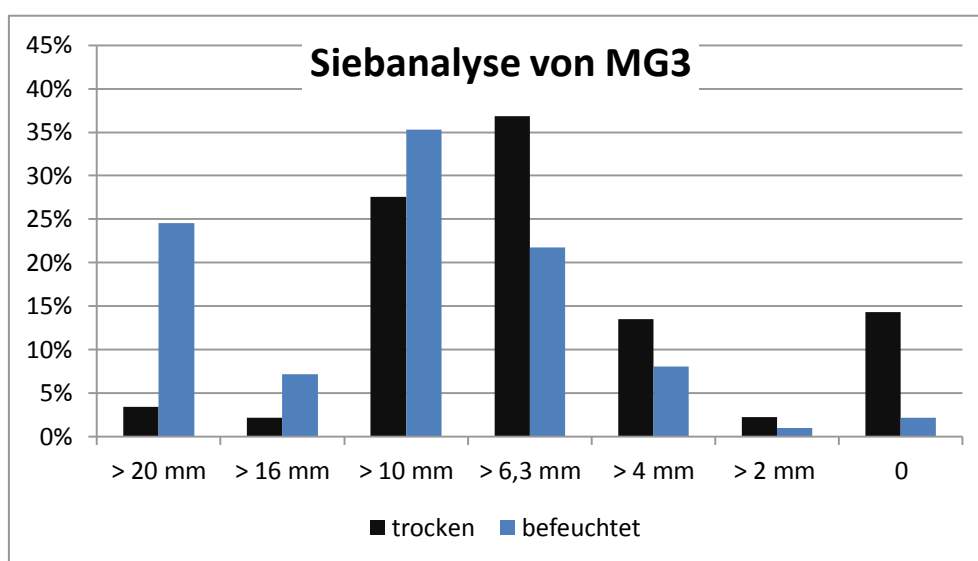


Abbildung 52: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG3 (trocken und befeuchtet)

Im Gegensatz zu den anderen Materialien verursachte MG3 große Probleme während des Mahlprozesses in der Kugelmühle. Der erste Versuch, das glaswollartige Material zu mahlen, brachte Ellipsoid ähnliche Pellets hervor, welche sich in ihrer Größe und Form auch nach längerem Mahlen nicht mehr änderten. Beim zweiten Versuch wurde das Material vorher händisch mit einer Schere in schmale Streifen zerschnitten. Dieser Mahlvorgang war erfolgreich und brachte das gewünschte fein zerriebene Pulver. Die Hauptkomponenten des Kernmaterials sind laut durchgeführter RFA (siehe Tabelle 29) Siliciumoxid (51 %), Calciumoxid (30 %) und Aluminiumoxid (14 %). MG3 weist einen hohen Aschegehalt auf.

Siebanalyse von MG3

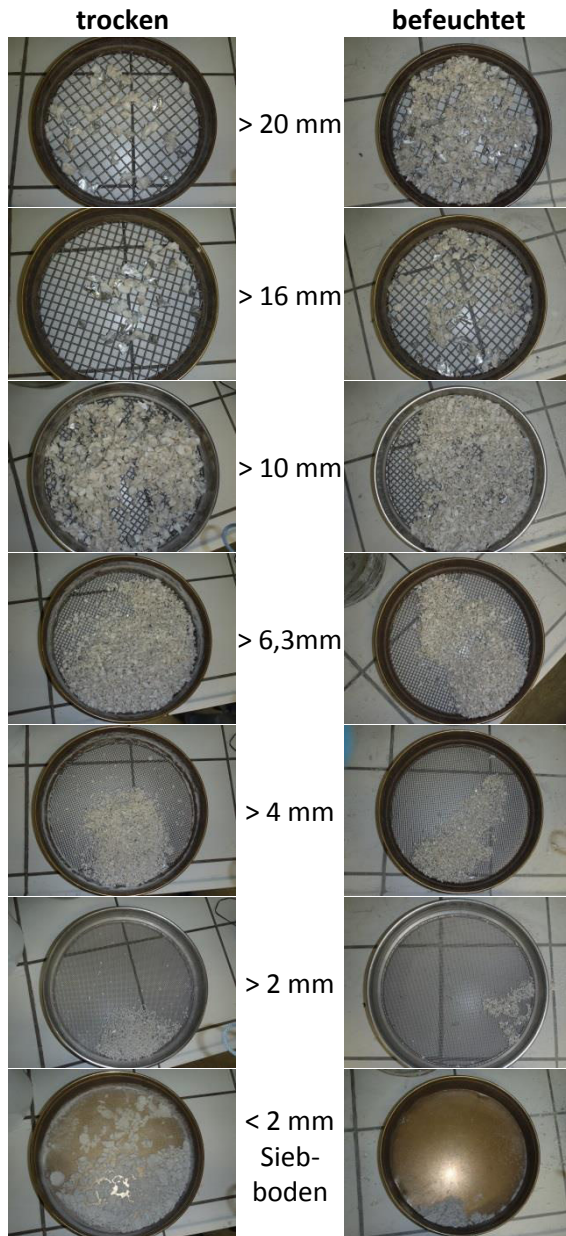


Abbildung 53: Siebanalyse von MG3

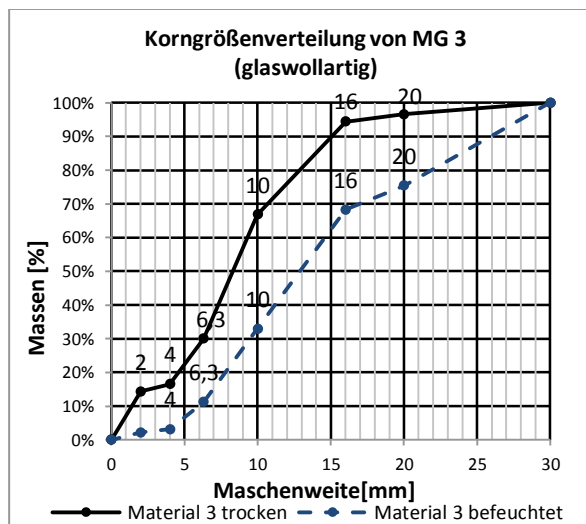


Abbildung 54: Korngrößenverteilung von MG3

Aufbereitung von MG3 für die RFA

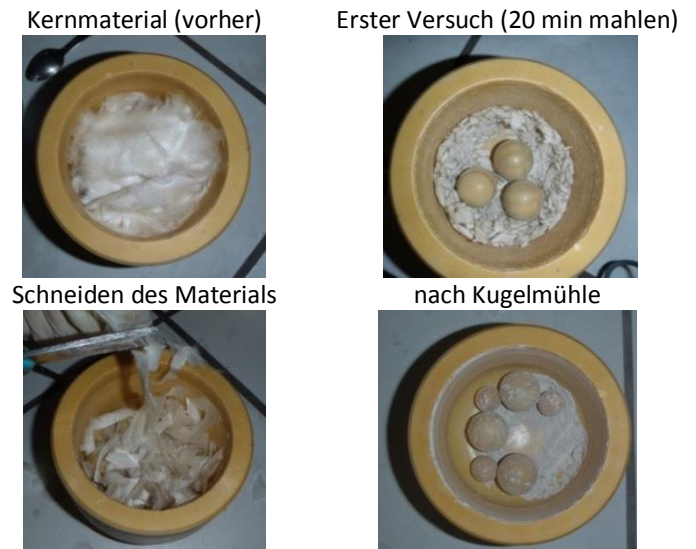


Abbildung 55: Schritte von unbehandelter zu gemahlener MG3

Ergebnisse der RFA von MG3

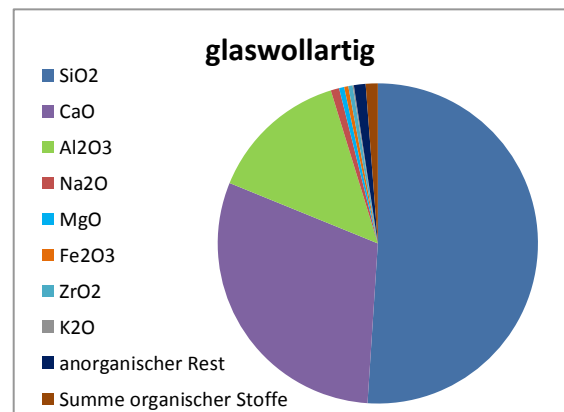


Abbildung 56: Chemische Zusammensetzung von MG3

Tabelle 29: Ergebnisse der RFA von MG3

Auswertungen der RFA von MG3 (glaswollartig) (Probennummer: 0129-13-00)		
Chem. Verbindung	Chem. Formel	Massen-% bezogen auf Trockenmasse
Siliciumoxid	SiO ₂	51,03
Calciumoxid	CaO	30,13
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	14,10
Natriumoxid	Na ₂ O	0,85
Magnesiumoxid	MgO	0,52
Eisen(III)oxid	Fe ₂ O ₃	0,42
Zirkoniumoxid	ZrO ₂	0,43
Kaliumoxid	K ₂ O	0,13
anorganischer Rest	-	1,18
Aschegehalt (Summe anorganischer Stoffe)		98,78
Glühverlust (Summe organischer Stoffe)		1,22
Gesamt (anorganische und organische Stoffe)		100

6.4.4 Ergebnisse von Materialgruppe 4 (graues Pulver)

Dieses Material verursachte während des Zerkleinerungsprozesses eine starke Staubentwicklung.

Die Ergebnisse der beiden Siebanalysen (siehe Abbildung 57) zeigen einen anderen Charakter der vorher beschriebenen Materialien. Im Gegensatz zu den anderen Materialien ist die Feinfraktion in dem befeuchteten Material größer als die Feinfraktion des trockenen Materials.

Wie in Abbildung 58 gezeigt wird, konnte eine relativ gute Abtrennung der Aluminiumfraktion vom restlichen Material erzielt werden.

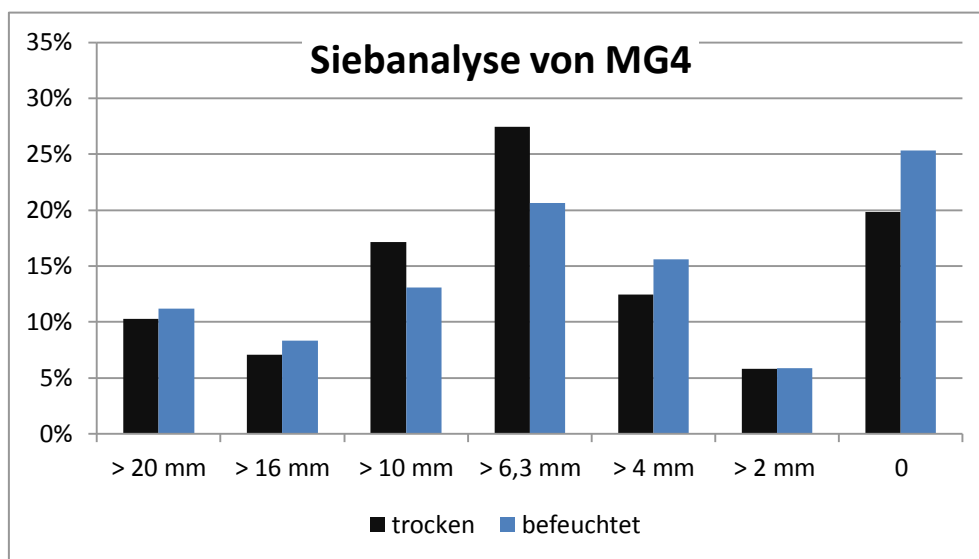


Abbildung 57: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG4 (trocken und befeuchtet)

Obwohl eine relativ lange Mahldauer (rund 50 Minuten) notwendig war, waren keine anderen Vorbehandlungen erforderlich, um das Material fein genug für die RFA zu mahlen. Die Ergebnisse der RFA (siehe Tabelle 30) zeigen, dass fast das gesamte Kernmaterial aus Siliciumdioxid besteht (98 %). Der Aschegehalt ist ebenso sehr hoch mit beinahe 99 %.

Siebanalyse von MG4

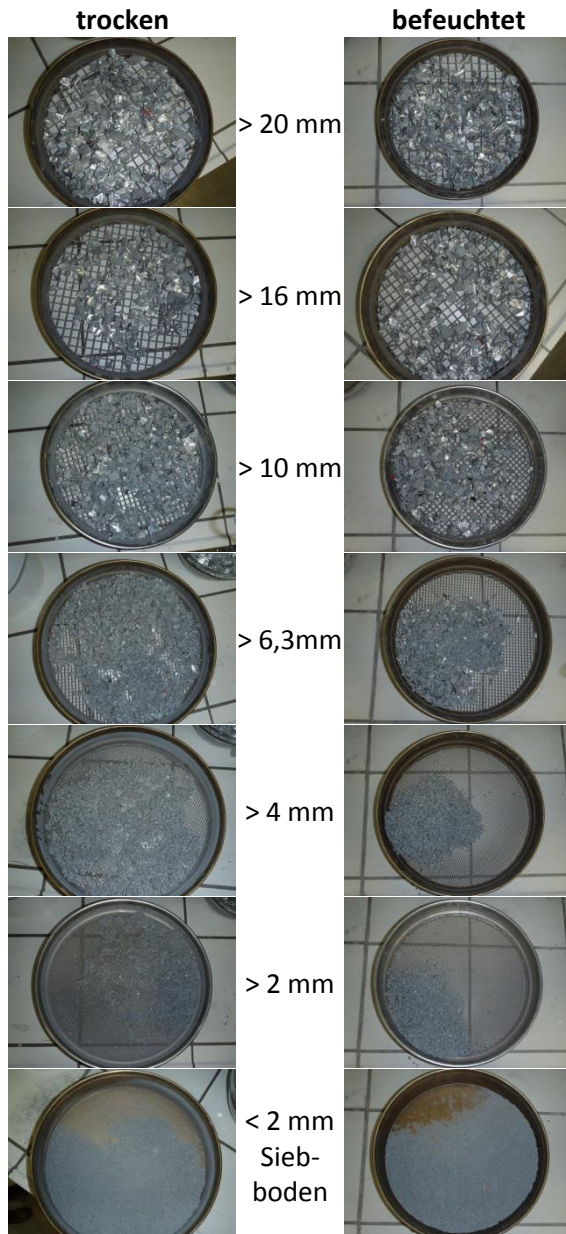


Abbildung 58: Siebanalyse von MG4

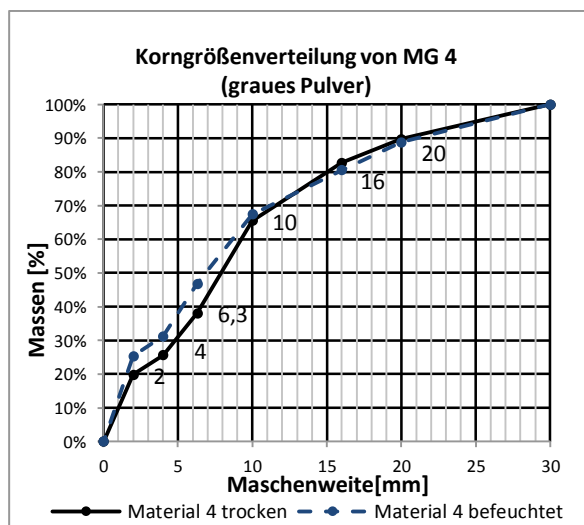


Abbildung 59: Korngrößenanalyse von MG4

Aufbereitung von MG4 für RFA



Abbildung 60: Unbehandelte und gemahlene MG4

Ergebnisse der RFA von MG4

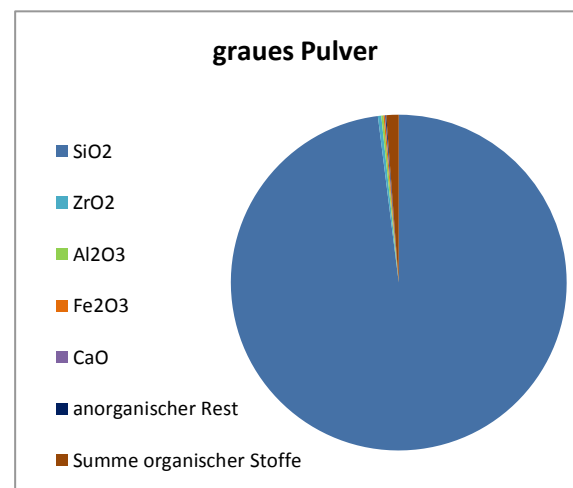


Abbildung 61: Chemische Zusammensetzung von MG4

Tabelle 30: Ergebnisse der RFA von MG4

Auswertungen der RFA von MG4 (graues Pulver) (Probennummer: 0126-13-00)		
Chem. Verbindung	Chem. Formel	Massen-% bezogen auf Trockenmasse
Siliciumdioxid	SiO ₂	98,01
Zirkoniumdioxid	ZrO ₂	0,33
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	0,21
Eisen(III)oxid	Fe ₂ O ₃	0,13
Calciumoxid	CaO	0,05
Magnesiumoxid	MgO	kein
Kaliumoxid	K ₂ O	kein
anorganischer Rest	-	0,09
Aschegehalt (Summe anorganischer Stoffe)		98,81
Glühverlust (Summe organischer Stoffe)		1,19
Gesamt (anorganische und organische Stoffe)		100

6.4.5 Ergebnisse von Materialgruppe 5 (braunes Pulver)

Dieses Material verursachte eine starke Staubentwicklung während des Zerkleinerungsprozesses mit dem Vierwellen-Zerkleinerer.

Auch die Siebanalyse, vor allem die trockene, war sehr staubig. Die Ergebnisse der Siebanalyse des befeuchteten Materials erinnern an MG4, weil die Feinfraktion des feuchten Materials wiederum größer ist als die des trockenen gesiebten Materials (siehe Abbildung 63).

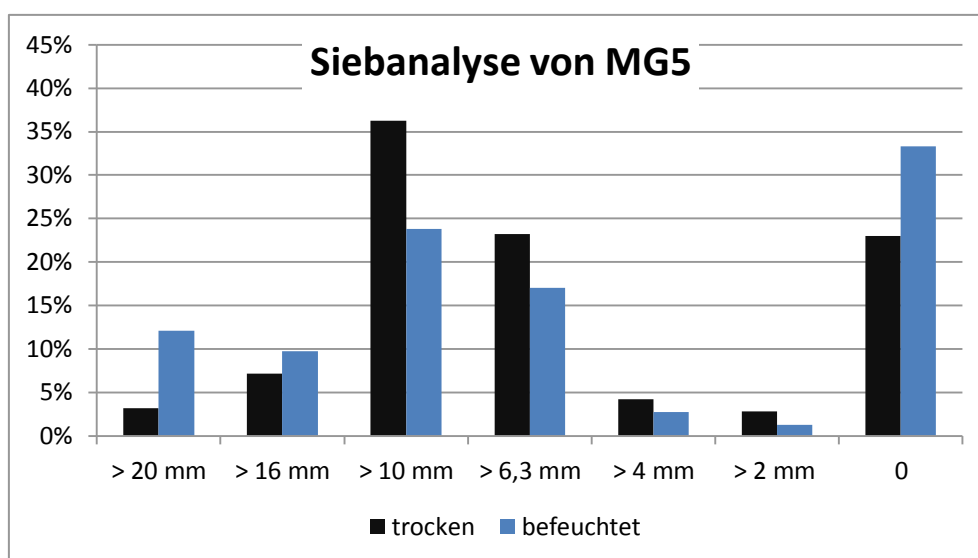


Abbildung 62: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG5 (trocken und befeuchtet)

In einem Bericht aus dem Jahr 2011 (vgl. [36]) sind die Ergebnisse der RFA dieses Materials angeführt (s. Tabelle 31). Der Hauptbestandteil von MG5 ist demnach Siliciumdioxid mit 88 %. Der Aschegehalt dieses Materials ist verglichen mit den vorher beschriebenen Materialien relativ gering mit nur 94 %. Das bedeutet, dass rund 6 % organische Stoffe in diesem Material enthalten sind. Die Gesamtmassenprozent von 100,24 % sind auf die Standardabweichung zurückzuführen [36].

Siebanalyse von MG5

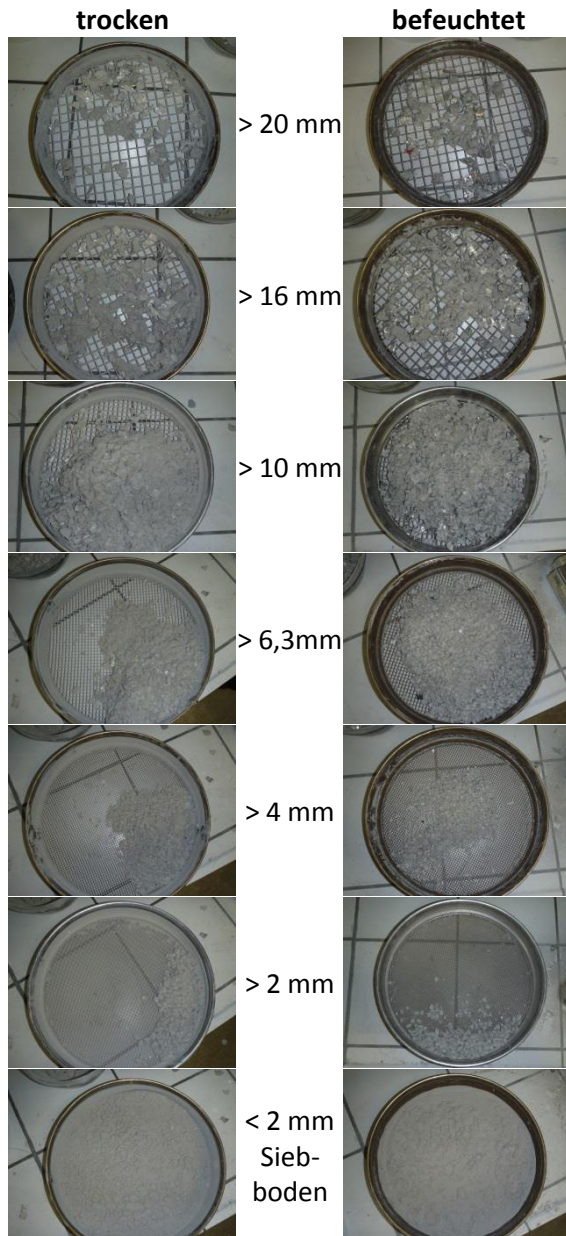


Abbildung 63: Serie der Siebanalyse von MG5

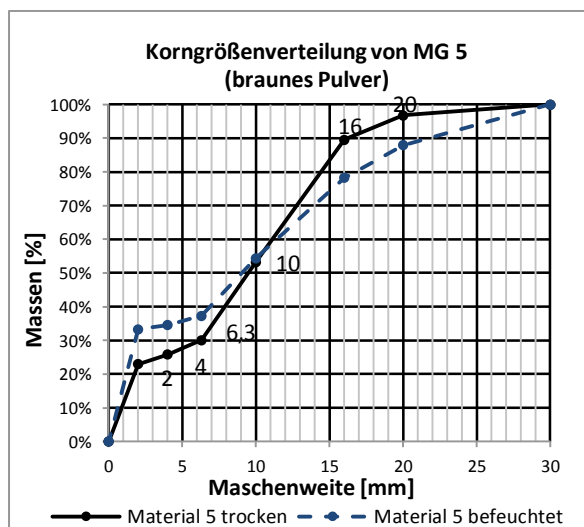


Abbildung 64: Korngrößenverteilung von MG5



Abbildung 65: Kernmaterial von MG5

Ergebnisse der RFA von MG5

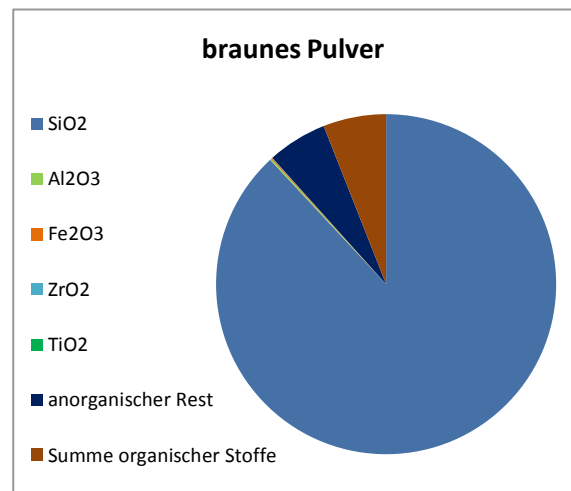


Abbildung 66: Chemische Zusammensetzung von MG5

Tabelle 31: Ergebnisse der RFA von MG5

Auswertungen der RFA von MG 5 (braunes Pulver) (Probennummer: 0172-11-00)		
Chem. Verbindung	Chem. Formel	Massen [%]
Siliciumoxid	SiO ₂	88,00
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	0,14
Eisen(III)oxid	Fe ₂ O ₃	0,10
Zirkoniumoxid	ZrO ₂	0,03
Titanoxid	TiO ₂	0,01
anorganischer Rest	-	5,67
Aschegehalt (Summe anorganischer Stoffe)		93,96
Glühverlust (Summe organischer Stoffe)		5,98
Ges. organ. Kohlenstoff	TOC	1,79
Andere organische Stoffe		4,19
Wassergehalt bei 99,7% Trockenrückstand: H₂O		0,30
Gesamt (anorganische, organische Stoffe und Wassergehalt)		100,24

6.4.6 Ergebnisse von Materialgruppe 6 (schwarzes Pulver)

Auch dieses Material verursachte eine starke Staubentwicklung während des Zerkleinerungsprozesses.

Auf eine Siebanalyse wurde hier wegen der Feinkörnigkeit des Materials verzichtet, da nur Feinfraktion erwartet wurde, was eine Siebanalyse ad absurdum führen würde.



Abbildung 67: Kernmaterial von MG6

Die **Ergebnisse der RFA** (siehe Tabelle 32) zeigen, dass die Hauptkomponenten von MG6 Siliciumdioxid (71 %) und Eisen(III)oxid (22 %) sind. Das Eisen(III)oxid gemeinsam mit dem Trübungsmittel verleiht dem Material vermutlich die charakteristische schwarze Farbe. Der Aschegehalt dieses Materials ist mit 97 % relativ hoch. Die Gesamtmassenprozent von 100,15 % sind auf die Standardabweichung zurückzuführen [36].

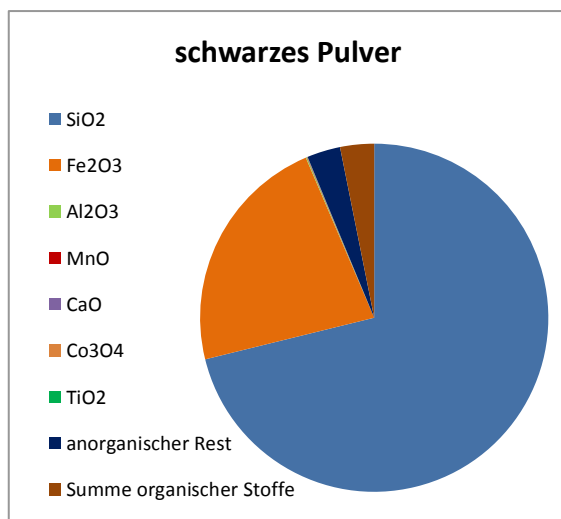


Abbildung 68: Chemische Zusammensetzung von MG6

Tabelle 32: Ergebnisse der RFA von MG6

Auswertungen der RFA von MG6 (schwarzes Pulver) (Probennummer: 0174-11-00)		
Chem. Verbindung	Chem. Formel	Massen [%]
Siliciumoxid	SiO ₂	71,12
Eisen(III)oxid	Fe ₂ O ₃	22,41
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	0,09
Mangan(II)oxid	MnO	0,04
Calciumoxid	CaO	0,02
Cobalt(II,III)oxid	Co ₃ O ₄	0,02
Titanoxid	TiO ₂	0,01
anorganischer Rest	-	3,10
Aschegehalt (Summe anorganischer Stoffe)		96,80
Glühverlust (Summe organischer Stoffe)		3,15
Ges. organ. Kohlenstoff	TOC	1,06
Andere organische Stoffe		2,09
Wassergehalt bei 99,8% Trockenrückstand: H₂O		0,20
Gesamt (anorganische, organische Stoffe und Wassergehalt)		100,15

6.4.7 Zusammenfassung der chemischen Zusammensetzung von VIP

In Tabelle 33 sind die Hauptkomponenten aller untersuchten VIP-Typen zusammengefasst. Es ist deutlich zu erkennen, dass Siliciumdioxid das am häufigsten verwendete Material in Vakuumisolations-Paneelen ist.

Tabelle 33: Zusammenfassung der Hauptkomponenten der Materialgruppen 1 bis 6

Chem. Verbindung/ Chem. Formel		Massen [%]					
		MG1 papierartig	MG2 weißes Vlies	MG3 glaswollartig	MG4 graues Pulver	MG5 braunes Pulver	MG6 schwarzes Pulver
Siliciumdioxid	SiO ₂	69,08	54,08	51,03	98,01	88,00	71,12
Calciumoxid	CaO	8,81	24,97	30,13	-	-	-
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	-	13,57	14,10	-	-	-
Eisen(III)oxid	Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	22,41
Natriumoxid	Na ₂ O	14,09	-	-	-	-	-
Summe organischer Stoffe		0,27	2,76	1,22	1,19	5,98	3,15

Bei Betrachtung der Hauptkomponenten der Kernmaterialien wäre ein Recycling von diesen in einem Industriezweig, der anorganische Materialien, wie Siliciumdioxid, Calciumoxid und Aluminiumoxid als Einsatzstoff benötigt, sinnvoll. Bereits im Bericht aus 2011 ([36] S. 14) wurde bestätigt: „Das Kernmaterial ist prinzipiell für den Einsatz in einem Zementwerk geeignet.“ Aber auch eine Verwertung in der Glas- oder Keramikindustrie wäre aufgrund der Zusammensetzung der Materialien denkbar.

6.5 Großtechnische Versuche in ausgewählten Recyclinganlagen

Im Rahmen der großtechnischen Versuche sollen alle der zuvor erwähnten sechs Materialgruppen und deren Einfluss auf die bestehende Recyclingtechnologie von Kühlgeräten untersucht werden, indem sie gemeinsam mit Kühl- und Gefriergeräten in ausgewählten Entsorgungsanlagen behandelt werden. In diesem Kapitel werden zuerst die Planungsphase sowie die Kontaktaufnahmen mit den Betreibern der Recyclinganlagen, die für die großtechnischen Versuche in Frage kamen, erläutert, danach wird auf die Ergebnisse der durchgeführten Versuche eingegangen.

6.5.1 Planungsphase der großtechnischen Versuche

Ursprünglich standen für die großtechnischen Versuche zehn verschiedene Recyclinganlagen für Kühl- und Gefriergeräte in Europa zur Auswahl. Davon sollten letztendlich drei Anlagen ausgewählt werden, in denen die großtechnischen Versuche stattfinden sollten. Jede Anlage, die in Tabelle 34 aufgelistet ist, wurde schriftlich oder auch telefonisch kontaktiert und an alle Anlagenbetreiber ging auch das im Anhang VI ersichtliche Informationsblatt.

Die Auswahl der Anlagen erfolgte auf Basis folgender Kriterien:

1. Bereitschaft des Anlagenbetreibers für einen großtechnischen Versuch in seiner Anlage;
2. Jede dem Stand der Technik entsprechende Technologie in Europa sollte vertreten sein;
3. Stickstoffatmosphäre im Zerkleinerungsaggregat ist vorhanden;
4. Monitoring (z.B. über Staubentwicklung) sollte möglich sein.

STENA Lauingen in Deutschland und NOEX Grevenbroich in Deutschland erfüllten Kriterium 1 nicht. SEVAL in Italien erfüllte Kriterium 3 nicht, weil sie im Zerkleinerungsaggregat ohne Stickstoffatmosphäre arbeiten. Remondis Berlin in Deutschland wollte nur einen kleintechnischen Versuch durchführen (mit weniger als fünf Geräten), da sie Zweifel bezüglich der Staubemissionen und eventueller Schäden oder Störungen an Anlagen hatten, welche sich in den Monaten davor durch VIP-haltige Geräte ergaben. In der Anlage Fricom/Corepa in Frankreich wird die gleiche Technologie verwendet wie in Österreich bei der AVE Timelkam. Aufgrund logistischer Aspekte wurde die österreichische Anlage bevorzugt. Beim Vergleich der übrigen beiden STENA Anlagen in Italien und Schweden führten auch logistische Überlegungen zur Entscheidung, von einem großtechnischen Versuch in Schweden abzusehen. Um Kriterium 2 zu erfüllen, wurde in Frankreich die Veolia Anlage der Terecoval Anlage vorgezogen.

Die Auswahl der Anlagen führte schließlich zu den folgenden drei Anlagen.

- AVE in Österreich;
- STENA in Italien;
- VEOLIA in Frankreich.

Deren Anlagenfließbilder sind im Anhang III ersichtlich.

Im Juli 2013 zeigte auch die deutsche Anlage L+N Recycling Interesse am großtechnischen Versuch, welche jedoch lediglich als Reserveanlage diente.

Tabelle 34: In Frage kommende Anlagen für die großtechnischen Versuche

Land	Firma und Adresse	Technologie
AT	AVE Österreich GmbH Mühlfeld 2 4850 Timelkam	SEG Technologie: 4-Wellenzerkleinerer, Aktivkohle- und Papierfilter, Desorption und Kondensation von FCKW
FR	Derichebourg Environnement S.A. (Fricom/Corepa) 28 rue de Beaumont 95820 Bruyères-sur-Oise	SEG Technologie: 4-Wellenzerkleinerer, Aktivkohlefilter, Desorption u. Kondensation von FCKW
FR	Veolia Propreté Triade Electronique, 32 Boulevard de la Chanterie, Parc d'Activité Angers Est (Pole 49), 49480 Saint Sylvain d'Anjou	MeWa Technologie: Querstromzerspaner, Gewebefiltersysteme, Kryo-Technologie
FR	Terecoval Zoning Industriel les Attignours 73130 La Chambre	Zwei 2-Wellenzerkleinerer, zwei Hammermühlen, Ein-Wellenzerkleinerer; Aktivkohle
DE	L+N Recycling GmbH An der Autobahn 7 89347 Bubesheim	4-Wellenzerkleinerer und Querstromzerspaner
DE	Remondis Industrie Service GmbH & Co. KG Lahnstraße 31 12055 Berlin-Neukölln	Querstromzerspaner, Aktivkohlefilter und Kryo-Technologie
DE	NOEX AG Benzstraße 1 41515 Grevenbroich	Querstromzerspaner, Kryo-Technologie
DE	Stena Technoworld GmbH Wittislinger Straße 7 89415 Lauingen (Donau)	2-Wellen und 4-Wellenzerkleinerer, Granulator, Pelletierer und Kryo-Technologie
IT	S.E.VAL. Srl Via La Croce 14 23823 Colico (LC)	2-Wellen und 4-Wellenzerkleinerer, FCKW direkt verbrannt (950°C)
IT	Stena Technoworld Srl Via dell'Industria, 515/517 37050 Angiari (VR)	2-Wellen und 4-Wellenzerkleinerer, Kryo-Technologie
SE	Stena Recycling AB Kistinge Industriområde; Box 1009; 30110 Halmstad	Zwei Zerkleinerungsaggregate, Aktivkohle, Direktbehandlung der Gase

6.5.1.1 Geplanter Zeitrahmen für die großtechnischen Versuche

Der erste großtechnische Versuch sollte in Österreich in der AVE Anlage in Timelkam stattfinden (geplant war der 1., 2., 3. oder 4. Oktober 2013), der zweite großtechnischen Versuch sollte in Italien in der STENA Anlage in Angiari durchgeführt werden (geplant war der 7., 8., 10. oder 11. Oktober 2013) und der dritte großtechnischen Versuch sollte in Frankreich in der Veolia Anlage in Angers ausgeführt werden (geplant war der 14. Oktober 2013).

6.5.1.2 Berechnungen der nötigen VIP-Mengen für die großtechnischen Versuche

Die nötigen Mengen an Vakuumisulationspaneele für die jeweiligen Anlagen, in denen die Versuch stattfinden sollen, wurden aufgrund folgender Punkte berechnet:

- Durchsatz der Anlagen (gemäß den Anlagenbetreibern);
- Durchschnittsgewichte der Kühlgeräte (gemäß den Anlagenbetreibern);
- 5 % Gewichtsanteil VIP in Kühl- und Gefriergeräten;
- 5 Stunden Arbeitszeit für einen Versuch;
- Gleiche Menge an VIP für jede Materialgruppe.

Berechnungen für AVE in Österreich

Der Durchsatz der AVE Anlage in Timelkam liegt ungefähr bei 25 bis 30 Geräten pro Stunde, wobei gemäß den Informationen des Betriebsleiters, Hrn. Anton Niedermayr (vgl. [71]), das Durchschnittsgewicht eines Geräts 42 Kilogramm beträgt. Bezugnehmend auf die oben genannten Punkte, welche die Basis der Berechnung darstellen, sind 60 Kilogramm pro VIP-Gruppe nötig für den großtechnischen Versuch in der Anlage der AVE Österreich GmbH in Timelkam (siehe Tabelle 35).

Tabelle 35: Berechnungen der nötigen VIP Mengen für AVE in Österreich

Berechnung	Kommentar/Erklärung
$25 - 30 \text{ Geräte/h} * 42 \text{ kg} = 1050 - 1260 \text{ kg/h}$	max. Durchsatz: 1260 kg/h
$1260 \text{ kg/h} * 0,05 = 63 \text{ kg/h}$	5 % Gewichtsanteil von VIP in KGG (=0,05)
$63 \text{ kg/h} * 5 \text{ h} = 315 \text{ kg VIP gesamt}$	5 Stunden für den Versuch
$315 \text{ kg} / 6 = 52,5 \text{ kg} \approx \mathbf{60 \text{ kg pro Materialgruppe}}$	6 verschiedene Materialgruppen
$60 \text{ kg} * 6 = \mathbf{360 \text{ kg VIP gesamt}}$...werden für Versuch bei AVE benötigt

Berechnungen für STENA in Italien

Laut Hrn. Emanuele Bonaldi, dem Betriebsleiter der ausgewählten Anlage von Stena Technoworld Srl in Italien, liegt der Durchsatz der Anlage zwischen 55 und 60 Geräten pro Stunde und das Durchschnittsgewicht eines Gerätes beträgt 42 Kilogramm [72]. Auf Basis dieser Informationen ist die nötige Menge von VIP für diese Anlage 110 Kilogramm pro VIP-Materialgruppe. Die Berechnungsschritte, die zu diesem Ergebnis führen, sind in Tabelle 36 zusammengefasst.

Tabelle 36: Berechnungen der nötigen VIP Mengen für STENA in Italien

Berechnung	Kommentar/Erklärung
$55 - 60 \text{ Geräte/h} * 42 \text{ kg} = 2300 - 2500 \text{ kg/h}$	max. Durchsatz: 2500 kg/h
$2500 \text{ kg/h} * 0,05 = 125 \text{ kg/h}$	5 % Gewichtsanteil von VIP in KGG (=0,05)
$125 \text{ kg/h} * 5 \text{ h} = 625 \text{ kg VIP gesamt}$	5 Stunden für den Versuch
$625 \text{ kg} / 6 = 104,2 \text{ kg} \approx \mathbf{110 \text{ kg pro Materialgruppe}}$	6 verschiedene Materialgruppen
$110 \text{ kg} * 6 = \mathbf{660 \text{ kg VIPs gesamt}}$...werden für Versuch bei STENA benötigt

Berechnungen für Veolia in Frankreich

In dieser Anlage werden laut Frédéric Fournier, dem Werksleiter der ausgewählten Veolia Anlage in Frankreich [73], rund 50 Geräte, mit einem Durchschnittsgewicht von 45 Kilogramm, pro Stunde behandelt. Basierend auf diesen Informationen ergibt sich pro VIP-Materialgruppe eine Masse von 100 Kilogramm, wie in Tabelle 37 gezeigt wird.

Tabelle 37: Berechnungen der nötigen VIP Mengen für Veolia in Frankreich

Berechnung	Kommentar/Erklärung
$50 \text{ Geräte/h} * 45 \text{ kg} = 2250 \text{ kg/h}$	max. Durchsatz: 2250 kg/h
$2250 \text{ kg/h} * 0,05 = 112,5 \text{ kg/h}$	5 % Gewichtsanteil von VIP in KGG (=0,05)
$112,5 \text{ kg/h} * 5 \text{ h} = 562,5 \text{ kg VIP gesamt}$	5 Stunden für den Versuch
$562,5 \text{ kg} / 6 = 93,75 \text{ kg} \approx \mathbf{100 \text{ kg pro Materialgruppe}}$	6 verschiedene Materialgruppen
$100 \text{ kg} * 6 = \mathbf{600 \text{ kg VIP gesamt}}$...werden für Versuch bei Veolia benötigt

6.5.1.3 Lieferung der VIP von den Herstellern

Für die großtechnischen Versuche sind die zuvor beschriebenen sechs verschiedenen VIP-Materialgruppen in gleichen Mengen nötig. Es wurde absichtlich darauf verzichtet die derzeitige Marktsituation widerzuspiegeln, um eine Vergleichbarkeit zwischen den untersuchten VIP-Gruppen zu ermöglichen. Darüber hinaus ist die aktuelle Marktsituation nicht genau bekannt und selbst wenn sie es wäre, könnte sich diese rasch wieder ändern.

Wie in Tabelle 23 (s. S. 58) zu erkennen ist, ist Materialgruppe 1 mit vier Lieferanten, die am häufigsten gesandte für die kleintechnischen Versuche. Zwei Lieferanten sandten VIP der Materialgruppe 5. Alle anderen VIP-Gruppen wurden nur von jeweils einem Lieferanten zur Verfügung gestellt. Um die benötigten VIP Mengen möglichst fair auf alle Lieferanten aufzuteilen, müssen zwei Lieferanten, die Materialgruppe 1 für die kleintechnischen Versuche geliefert haben, diese für den großtechnischen Versuch nicht mehr senden, da diese ohnehin auch andere Materialgruppen senden müssen. In Tabelle 38 sind die benötigten Mengen von VIP pro Lieferant und pro Materialgruppe zusammengefasst.

Tabelle 38: Benötigte VIP-Mengen für die großtechnischen Versuche (erste Berechnung)

VIP Hersteller	Materialgruppe	Benötigte Menge an VIP für Versuch in			Gesamte benötigte VIP Menge
		Österreich	Italien	Frankreich	
VIPH-6	MG1	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
VIPH-14	MG1	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
VIPH-4	MG2	60 kg	110 kg	100 kg	270 kg
VIPH-13	MG3	60 kg	110 kg	100 kg	270 kg
VIPH-15	MG4	60 kg	110 kg	100 kg	270 kg
VIPH-7	MG5	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
VIPH-10	MG5	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
VIPH-9	MG6	60 kg	110 kg	100 kg	270 kg
Gesamt:		360 kg	660 kg	600 kg	1.620 kg

Im Sommer 2013 ist es zu einigen Änderungen seitens der Lieferanten gekommen, weshalb die endgültige Tabelle für die geforderten Mengen der VIP neu berechnet wurde. In Tabelle 39 sind die neu geforderten Mengen zusammengefasst. Die Abkürzung HHH-1, HHH-2 usw. steht für Haushaltsgeräte-Hersteller. Diese Abkürzung ist notwendig, um die Anonymisierung der Firmen zu garantieren. Außerdem wurde mangels Liefermöglichkeiten die Materialgruppe 2 vom großtechnischen Versuch entfernt. Jedoch wurde während der Durchführung der drei Versuche (s. Kap. 6.5.2, 6.5.3 und 6.5.4) jeweils doch eine geringe Menge von MG2-Paneelen geschickt, weshalb auch Ergebnisse der großtechnischen Eignung dieser Materialgruppe vorliegen.

Tabelle 39: Benötigte VIP-Mengen für die großtechnischen Versuche (endgültige Berechnung)

Haushaltsgeräte-Hersteller	VIP Hersteller	Materialgruppe	Benötigte Menge an VIP für Versuch in			Gesamte benötigte VIP Menge
			Österreich	Italien	Frankreich	
HHH-18	VIPH-6	MG1	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
HHH-9	VIPH-8	MG1	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
HHH-15	VIPH-1	MG3	60 kg	110 kg	100 kg	270 kg
HHH-8	VIPH-2	MG4	60 kg	110 kg	100 kg	270 kg
HHH-12	VIPH-7	MG5	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
HHH-3	VIPH-7	MG5	30 kg	55 kg	50 kg	135 kg
HHH-10	VIPH-9	MG6	20 kg	ca.36.7 kg	ca. 33.3 kg	90 kg
HHH-7	VIPH-9	MG6	20 kg	ca.36.7 kg	ca. 33.3 kg	90 kg
HHH-3	VIPH-9	MG6	20 kg	ca.36.7 kg	ca. 33.3 kg	90 kg
Gesamt:			300 kg	550 kg	500 kg	1.350 kg

6.5.2 Großtechnischer Versuch bei AVE Österreich GmbH in Timelkam (AT)

Der erste großtechnische Versuch wurde in Timelkam (Oberösterreich) in der Entsorgungsanlage der Firma AVE Österreich GmbH am 2. Oktober 2013 durchgeführt (Anlagenfließbild siehe Anhang III). Geplant war, dass Paneele der sechs verschiedenen Materialgruppen MG1, MG2¹, MG3, MG4, MG5 und MG6 gemeinsam mit Alt-Kühlschränken in aufsteigender Reihenfolge in der Anlage behandelt werden und anschließend das Output-Material überprüft werden.

Aufgrund der relativ hohen Luftfeuchtigkeit in der Behandlungsanlage (> 70 %) stellte sich die Frage, wie die unterschiedlichen Kernmaterialien der sechs Materialgruppen mit der Luftfeuchte reagieren und wie sich die Filtersysteme bei den zu erwartenden hohen Staubmengen verhalten.

Die beim Versuch anwesenden Personen sowie die Eckdaten des Versuches bzw. der Anlage sind in Tabelle 40 ersichtlich.

Tabelle 40: Eckdaten des großtechnischen Versuches in Timelkam

Datum	2.10.2013
Dauer	ca. 4 Stunden (von 9:00 Uhr – ca. 12:45 Uhr)
Adresse der Anlage	Mühlfeld 2, 4850 Timelkam, Österreich
Baujahr der Anlage	2003; seither regelmäßige Verbesserungen und Adaptierungen
Technologie der Anlage	SEG Technologie; Vierwellen-Zerkleinerer, Aktivkohle-, Papierfilter, neuer Filter nach „Dyson-Prinzip“, Desorption und Kondensation von FCKW
Durchsatz	25 – 30 Geräte/h
Anwesende Personen (6 Personen)	Anton Niedermayr (Betriebsleiter der Anlage); Martin Scholtes (Techniker von SEG Umweltservice GmbH); Nikolaus Obermayr (USG Umweltservice GmbH) Christian Dworak (Umweltschutz und Arbeitssicherheit für BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH); Renato Sarc (Projektmanager, Montanuniversität Leoben); Magdalena Prommegger (Montanuniversität Leoben);

Nach dem Sortieren und Zuordnen der erhaltenen Pakete zu den sechs Materialgruppen wurde mit dem eigentlichen Versuch begonnen. Die jeweiligen Abläufe bzw. Ergebnisse der einzelnen Materialgruppen sind in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

¹ Von MG2 war nur sehr wenig Material vorhanden.

6.5.2.1 Materialgruppe 1 – papierartig

24 Paneele der Materialgruppe 1, welche in Abbildung 69 ersichtlich sind, wurden auf acht Kühlschränke verteilt (drei Paneele pro Gerät). In Abbildung 70 ist die Befüllung der Kühlgeräte mit VIP-Paneelen ersichtlich.



Abbildung 69: Paneele der Materialgruppe 1 (Timelkam)



Abbildung 70: Befüllen der Kühlschränke mit Paneelen in Aufgabe-Halle

Bei dieser Materialgruppe konnten weder Veränderungen in der Output-Fraktion „Metall“ (siehe Abbildung 71) noch in der Output-Fraktion „Kunststoff“ (s. Abbildung 72) festgestellt werden. Es ist daher davon auszugehen, dass sämtliche Bestandteile der VIP (sowohl die Hülle als auch das Kernmaterial) in die PU-Fraktion gelangt sind. Es entstanden keine technischen Probleme in der Anlage durch die Behandlung von MG1.



Abbildung 71: Metallische Fraktion



Abbildung 72: Kunststofffraktion

In Tabelle 41 sind die Eckdaten zum Durchlauf von MG1 in der AVE Anlage ersichtlich

Tabelle 41: Eckdaten zum Versuch von MG1 in Timelkam

Anzahl der Geräte	8 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	24 Paneele
Dauer	ca. 20 Minuten (10:05 Uhr – 10:25 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.2.2 Materialgruppe 2 – weißes Vlies

Aufgrund der geringen Mengen von den VIP der Materialgruppe 2 konnten nur neun kleine Paneele (s. Abbildung 73) verteilt auf drei Geräte (3 Paneele pro Gerät) getestet werden.



Abbildung 73: Paneele der Materialgruppe 2 (Timelkam)

Die Behandlung dieses Materials war ebenso problemlos für die Anlage wie die von MG1. Auch die Bestandteile dieser Paneele gelangten in die PU-Fraktion. In der metallischen und in der Kunststofffraktion war kein VIP-Material enthalten.

ANMERKUNG: Beim kleintechnischen Zerkleinerungsversuch, der in einem offenen Shredder erfolgte (s. Kap. 6.1.3) verursachte diese Materialgruppe eine enorme Staubentwicklung. Aufgrund der hier nur geringen Menge von Paneelen waren die Auswirkungen äußerst gering und Staubprobleme konnten nicht festgestellt werden.

Tabelle 42: Eckdaten zum Versuch von MG2 in Timelkam

Anzahl der Geräte	3 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	9 kleine Paneele
Dauer	ca. 10 Minuten (10:25 Uhr – 10:35 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.2.3 Materialgruppe 3 – glaswollartig

24 Paneele diverser Größen (s. Abbildung 74) wurden auf acht Geräte verteilt, sodass drei Paneele pro Gerät eingesetzt wurden.



Abbildung 74: Paneele der Materialgruppe 3 (Timelkam)

Es kam, wie auch schon im kleintechnischen Versuch beim Zerkleinern dieses Materials zu einer Volumensvergrößerung, welche durch eine im Shredder installierte Kamera zu beobachten war. Jedoch war diese geringer als aufgrund der Erfahrungen aus dem kleintechnischen Versuch erwartet, was durch den im Shredder herrschenden Unterdruck erklärt werden kann. Das gesamte VIP-Material ging ebenso wie bei den anderen Materialgruppen outputseitig in die PU-Fraktion. Hier gab es große Schwierigkeiten beim Schneckenaustrag. Es bildete sich eine Art Turm vom PU/Kernmaterial-Gemisch, wodurch die Förderschnecke nicht mehr arbeiten konnte. Ein Öffnen der Klappe zur Schnecke und eine manuelle Reinigung (ersichtlich in den drei Bildern unter Abbildung 75) war nötig.



Abbildung 75: Öffnen der Klappe zum Schneckenaustrag (3 Bilder)

In Abbildung 76 ist deutlich zu erkennen, dass neben dem PU-Schaum-Material auch Aluminiumfolien der VIP-Hüllen sowie Kernmaterial von MG3 im Schneckenaustrag zu finden war.



Abbildung 76: PU-Fraktion vermischt mit VIP-Material

Tabelle 43: Eckdaten zum Versuch von MG3 in Timelkam

Anzahl der Geräte	8 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	24 Paneele diverser Größen
Dauer	ca. 50 Minuten (10:40 Uhr – 11:30 Uhr); inklusive Reinigung des Schneckenaustrags
Ergebnis	Probleme beim Schneckenaustrag → kurzer Anlagenstopp; manuelle Reinigung nötig; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.2.4 Materialgruppe 4 – graues Pulver

27 Paneele der Materialgruppe 4 (s. Abbildung 77) unterschiedlicher Größen wurden verteilt auf 9 Geräte, also drei Paneele pro Gerät.



Abbildung 77: Paneele der Materialgruppe 4 (Timelkam)

MG4 hat ein sehr feinkörniges Kernmaterial, was zu erheblichen Staubentwicklung innerhalb der Anlage führte. Auf der im Shredder installierten Kamera war darum nichts mehr zu erkennen. Bei jedem Einwurf eines neuen Gerätes in den Zerkleinerer gelangte Staub in die Aufgabe-Halle. Nach ca. 20 Minuten wurde durch den Staub, der in die Halle gelangt war, der Brandmelder ausgelöst, welcher auf Rauch reagiert. Die Betriebsfeuerwehr wurde allerdings entwarnt; es kam daher zu keinem Einsatz. In den folgenden Abbildungen ist die Staubentwicklung ersichtlich, wobei Abbildung 78 die Staubentwicklung in der Aufgabehalle und Abbildung 79 die Staubentwicklung bei den Output-Materialien zeigt (besonders in den markierten Bereichen).



Abbildung 78: Staubentwicklung in Aufgabehalle



Abbildung 79: Staubentwicklung in der Halle der Output-Materialien

Der in der Anlage bestehende Papierfilter wurde in der Woche vor dem Versuch mit neuem Filterpapier ausgestattet. Außerdem wurde er durch einen speziellen Filter ergänzt. Trotz der neuen Filter, kam es zu enormen Anhaftungen im Papierfilter (s. Abbildung 80) sowie zu Ablagerungen in den Zulaufschläuchen zum „Spezialfilter“ (s. Abbildung 81). Durch die erheblichen Anhaftungen im Papierfilter (laut Hrn. Scholtes seien „solche Staubmengen nicht einmal nach einem Monat

Normalbetrieb üblich“) war ein herkömmliches Abreinigen mit Gegendruck nicht mehr möglich. Der Filter musste manuell gereinigt werden. Die Ablagerungen im Zulaufschlauch hatten aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit einen schmierigen Charakter. Auch die anderen Anlagenteile des Abluftsystems mussten gereinigt werden.



Abbildung 80: Anhaftungen am Papierfilter



Abbildung 81: Ablagerungen im Zulaufschlauch

Tabelle 44: Eckdaten zum Versuch von MG4 in Timelkam

Anzahl der Geräte	9 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	27 Paneele diverser Größen
Dauer	ca. 35 Minuten (11:40 Uhr – 12:15 Uhr); exklusive Reinigung des Abluftsystems;
Ergebnis	enorme Staubentwicklung → Brandalarm; Anlagenstopp; Reinigung der Abluftsysteme nötig; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.2.5 Abbruch des Versuches

Um eventuelle Schäden in der Anlage zu vermeiden, wurden die Paneele der Materialgruppen 5 (s. Abbildung 82) und 6 (s. Abbildung 83) nicht mehr in die Anlage aufgegeben.



Abbildung 82: Paneele der Materialgruppe 5 (Timelkam)



Abbildung 83: Paneele der Materialgruppe 6 (Timelkam)

Die Kernmaterialien dieser Materialgruppen sind sowohl chemisch in deren Zusammensetzung als auch physikalisch in deren Porosität mit dem Kernmaterial von MG4 vergleichbar. Daher war davon auszugehen, dass es wiederum ähnliche Probleme mit den Filtern geben würde, weshalb der Versuch nach dem Einsatz der MG4-Paneele abgebrochen wurde.

6.5.2.6 Zusammenfassung des Versuchs in Timelkam

Der Versuch in Timelkam zeigte, dass sich die fasrigen Materialgruppen MG1, MG2 und MG3 anlagentechnisch anders verhalten als MG4. Aufgrund der erheblichen Anhaftungen und Ablagerungen in den Filtern und Abluftsystemen, wurde der Versuch nach MG4 abgebrochen, da MG5 und MG6 ähnliche Eigenschaften ausweisen wie MG4. In Tabelle 46 sind die wichtigsten Daten des Versuches zusammengefasst.

Tabelle 45: Zusammenfassung des Versuchs in Timelkam

Anzahl der Geräte insgesamt	28 Kühlschränke
Anzahl der Paneele insgesamt	84 Paneele (diverse Größen, 4 verschiedene MG)
Dauer	ca. 4 Stunden (von 9:00 Uhr – ca. 12:45 Uhr)
Ergebnis	MG1, MG2 und MG3: kein technisches Problem für Anlage; MG4 (erstes pulveriges Material): erhebliche Staubentwicklung → Brandalarm → Anlagenstopp; Reinigung der Abluftsysteme nötig; VIP-Bestandteile aller MG (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.3 Großtechnischer Versuch bei Veolia Propreté in Angers (FR)

Der zweite großtechnische Versuch wurde im Industriegebiet von Angers in Frankreich bei Veolia Propreté am 14. Oktober 2013 durchgeführt (Anlagenfließbild siehe Anhang III). In Tabelle 46 sind die Eckdaten dieses Versuches sowie die dort anwesenden Personen zusammengefasst.

Wie bei dem ersten Versuch, sollten die erhaltenen Paneele, welche in die sechs verschiedenen Materialgruppen sortiert wurden, in aufsteigender Reihenfolge gemeinsam mit Alt-Kühlschränken in die Anlage eingebracht werden. Da der Querstromzerspaner (QZ) mit fünf bis sieben Geräten auf einmal befüllt werden kann, wurden bei diesem Versuch jeweils sechs oder sieben Geräte pro Materialgruppe verwendet, um zu gewährleisten, dass der QZ während eines Durchgangs gänzlich mit VIP-haltigen Geräten gefüllt ist (worst-case scenario). Ein Durchgang bzw. die Verweildauer der Geräte im QZ betrug immer rund 15 Minuten. Bevor die VIP in den QZ eingebracht wurden, wurde der QZ immer geleert, um das gewünschte „worst-case scenario“ zu garantieren.

Tabelle 46: Eckdaten des großtechnischen Versuches in Angers

Datum	14.10.2013
Dauer	ca. 6 Stunden (von 9:00 Uhr – 17:00 Uhr; exkl. Mittagspause)
Adresse der Anlage	Triade Electronique, 32 Boulevard de la Chanterie, Parc d'Activité Angers Est (Pole 49), 49480 Saint Sylvain d'Anjou, Frankreich
Baujahr der Anlage	2008
Technologie der Anlage	MeWa Technologie: Querstromzerspaner (QZ), Gewebefiltersysteme, Kryo-Technologie
Durchsatz	50 Geräte/h
Anwesende Personen (6 Personen)	Frédéric Fournier (Betriebsleiter der Anlage); James Gautreau (Technischer Leiter der Anlage); Odile Thoré (Verantwortliche für Umweltprodukte bei Fagor); Thomas Van Nieuwenhuysse (Ecosystèmes); Renato Sarc (Projektmanager, Montanuniversität Leoben); Magdalena Prommegger (Montanuniversität Leoben);

Aufgrund der Staubprobleme beim ersten Versuch, bei Materialgruppe 4 aufgetreten waren, wurde während diesem Test auch ein besonderes Augenmerk auf die Filtersysteme gelegt. Besonders die Differenzdruckmessung des Filters, der direkt von Querstromzerspaner die Luft absaugt (nachfolgend als Filter 1 bezeichnet), wurde laufend überprüft. Es handelt sich hierbei um einen Gewebefilter, der über eine automatische Gegendruckreinigung verfügt, welche sich etwa im 20-Sekunden-Takt aktiviert. In Abbildung 84 ist eine vereinfachte Darstellung des betreffenden Filters zu sehen.

Die Messwerte des Filters wurden während der gesamten Versuchsdauer (in unregelmäßigen Abständen) aufgezeichnet, worauf am Ende in Kap. 6.5.3.7 noch genauer eingegangen wird. In den folgenden Unterkapiteln sind die Abläufe und Ergebnisse jeder Materialgruppe erläutert.

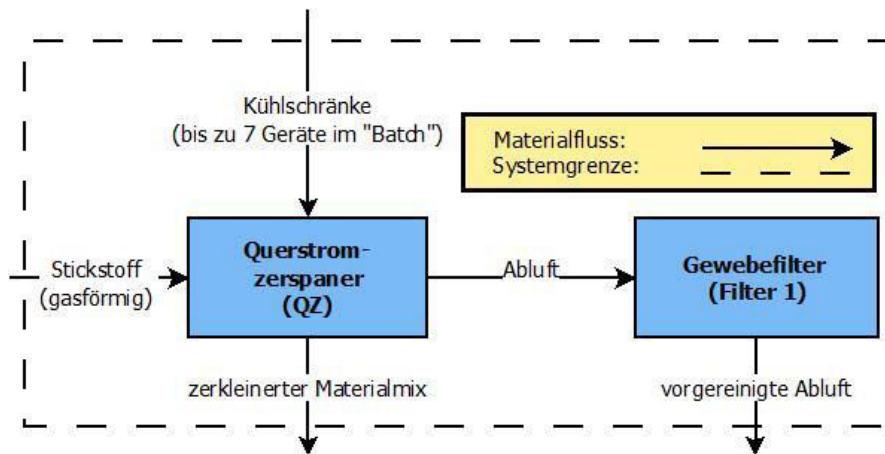


Abbildung 84: Schematische Darstellung zum Gewebefilter (Filter 1) direkt nach dem QZ

6.5.3.1 Materialgruppe 1 – papierartig

Fünf Geräte mit je vier Paneelen und eines mit fünf Paneelen der MG1 (s. Abbildung 85) wurden in den QZ aufgegeben.



Abbildung 85: Paneele der Materialgruppe 1 (Angers)

Es wurden keine technischen Probleme in der Anlage festgestellt. Die Werte des Filters 1 (s. Kap. 6.5.3.7) waren im Normalbereich. Sämtliche VIP-Materialien gingen in die PU-Fraktion. In Tabelle 47 sind die Eckdaten des Durchgangs mit den Paneelen von MG1 zusammengefasst.

Tabelle 47: Eckdaten zum Versuch von MG1 in Angers

Anzahl der Geräte	6 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	25 Paneele
Dauer	ca. 30 Minuten (10:35 Uhr – 11:05 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.3.2 Materialgruppe 2 – weißes Vlies

Insgesamt 23 Paneele der MG2 (s. Abbildung 86) wurden auf sieben Geräte verteilt in die Anlage eingebracht. Die Werte des Filters 1 (s. Kap. 6.5.3.7) waren im Normalbereich und ansonsten gab es auch keine technischen Probleme in der Anlage. Sämtliche VIP-Materialien gingen in die PU-Fraktion. Die Eckdaten zum Versuchsdurchgang mit MG2 sind in Tabelle 48 zusammengefasst.



Abbildung 86: Paneele der Materialgruppe 2 (Angers)

Tabelle 48: Eckdaten zum Versuch von MG2 in Angers

Anzahl der Geräte	7 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	23 Paneele (diverse Größen)
Dauer	ca. 15 Minuten (11:50 Uhr – 12:05 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.3.3 Materialgruppe 3 – glaswollartig

Insgesamt 30 MG3-Paneele von kleinem Format (s. Abbildung 87) wurden, auf sechs Geräte verteilt, in die Anlage eingebracht. Die Werte des Filters 1 waren im Normalbereich (s. Kap. 6.5.3.7), jedoch wurde der Soll-Wert des Sauerstoffgehalts im QZ überschritten. Das Maximum liegt bei 4,5 %, jedoch zeigte der Messwert um 12:10 Uhr 5,3 % an. Allerdings stellte dies kein Problem für die Anlage dar und sie konnte normal weiterbetrieben werden. Tabelle 49 fasst die Eckdaten des Durchgangs mit MG3 zusammen.



Abbildung 87: Paneele der Materialgruppe 3 (Angers)

Tabelle 49: Eckdaten zum Versuch von MG3 in Angers

Anzahl der Geräte	6 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	30 kleine Paneele
Dauer	ca. 20 Minuten (12:10 Uhr – 12:30 Uhr)
Ergebnis	O ₂ -Wert im QZ: 5,3 % (max.: 4,5 %); ansonsten kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.3.4 Materialgruppe 4 – graues Pulver

Sechs Geräte mit jeweils zwei großen und vier kleineren Paneelen der Materialgruppe 4 (s. Abbildung 88) wurden in die Anlage eingebracht. Da diese Materialgruppe die erste der drei pulverigen repräsentiert, wurde während dieses Versuches besonders häufig die Differenzdruckmessung am Filter 1 abgelesen, welche auch tatsächlich merklich höhere Werte anzeigte als bei den Materialgruppen davor (s. Kap. 6.5.3.7). Ansonsten war aber kein technisches Problem in der Anlage festgestellt und die Qualität der Output-Materialien verhielt sich gleich wie bei den anderen VIP: In der Kunststoff- und in der Metallfraktion war kein VIP-Material zu finden, weil es in die PU-Fraktion ging. In Tabelle 50 sind die Eckdaten dieses Durchgangs zusammengefasst.



Abbildung 88: Paneele der materialgruppe 4 (Angers)

Tabelle 50: Eckdaten zum Versuch von MG4 in Angers

Anzahl der Geräte	6 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	36 Paneele (12 große, 24 kleine)
Dauer	ca. 20 Minuten (12:40 Uhr – 13:00 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.3.5 Materialgruppe 5 – braunes Pulver

Insgesamt 30 Paneele unterschiedlicher Größen von MG5 (s. Abbildung 89) wurden gemeinsam mit sechs Geräten in den Querstromzerspaner eingebracht.



Abbildung 89: Paneele der Materialgruppe 5 (Angers)

Bis auf die leicht erhöhten Werte vom Filter 1 (s. Kap. 6.5.3.7) wurden keine technischen Probleme in der Anlage festgestellt. Die VIP-Materialien gingen in die PU-Fraktion. In Tabelle 51 sind die Eckdaten zum Durchgang mit MG5 zusammengefasst.

Tabelle 51: Eckdaten zum Versuch von MG5 in Angers

Anzahl der Geräte	6 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	30 Paneele (diverse Größen)
Dauer	ca. 25 Minuten (15:25 Uhr – 15:50 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.3.6 Materialgruppe 6 – schwarzes Pulver

Von der letzten Materialgruppe MG6 wurden sieben Geräte mit insgesamt 40 Paneelen eingesetzt, welche im Vergleich zu den anderen Paneelen sehr dünn und klein waren (s. Abbildung 90). Während des Zerkleinerns dieser Materialgruppe im QZ bleiben die Werte des Differenzdruckes am Filter 1 in vergleichbarer Höhe wie bei MG5 (s. Kap. 6.5.3.7). Ansonsten wurden keine technischen Probleme in der Anlage festgestellt. In Tabelle 52 sind die Eckdaten des Versuches mit MG6 zusammengefasst.



Abbildung 90: Paneele der Materialgruppe 6 (Angers)

Tabelle 52: Eckdaten zum Versuch von MG6 in Angers

Anzahl der Geräte	7 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	40 kleine, dünne Paneele
Dauer	ca. 30 Minuten (16:00 Uhr – 16:30 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.3.7 Zusammenfassung des Versuchs in Angers

Der Versuch in der Veolia Anlage in Angers machte deutlich, dass VIP-haltige Kühlgeräte für Anlagen dieser Bauweise keinerlei technisches Problem darstellen. Die Annahme, dass die pulvrigen Materialtypen MG4, MG5 und MG6 in den Filtersystemen problematisch sein könnten, wurde nicht

bestätigt. Allerdings ist in Abbildung 91 deutlich erkennbar, dass der Differenzdrucks Δp , der beim Filter 1 abgelesen wurde, bei den pulvrigen Materialgruppen deutlich höher ist als im Normalbetrieb, was jedoch kein betriebliches Problem für die Anlage darstellte. Bei der Betrachtung von Abbildung 91 ist jedoch wichtig zu wissen, dass die Ketten des QZ vor dem Versuch getauscht wurden, daher die Anlage offen war und dabei atmosphärischer Druck herrschte. Erst danach wurde wieder Stickstoff in die Anlage eingebracht und ein Unterdruck aufgebaut. Über den Tagesverlauf insgesamt konnte ein leichter Anstieg von Δp beim Filter 1 beobachtet werden, was die beiden „Normalbetriebs-Messungen“ (erste um 10:35 Uhr, zweite um 15:00 Uhr) belegen.

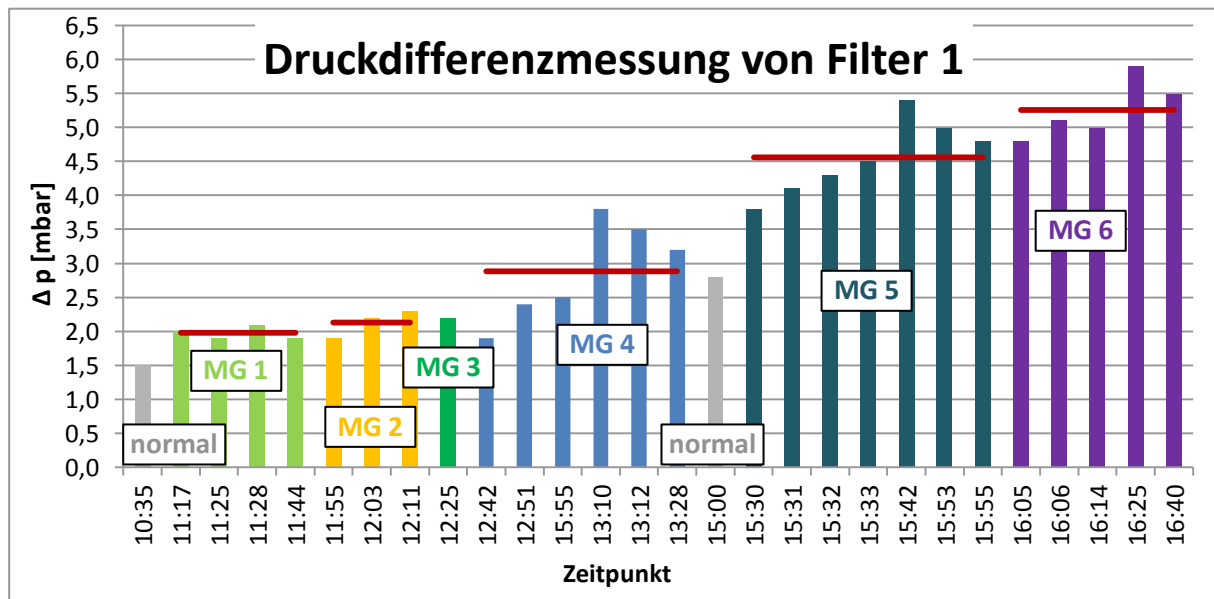


Abbildung 91: Differenzdruckmessung bei Filter 1 während des Versuches in Angers
(rote Linien: Mittelwerte)

Das VIP-Material aller Materialgruppen konnte weder in der Nichteisen-Fraktion (s. Abbildung 92) noch in der Eisenfraktion gefunden werden. Daher ist davon auszugehen, dass alle Bestandteile der VIP in die PU-Fraktion gelangte, was aufgrund der ähnlichen Dichte der Materialien auch die einzig denkbare Output-Fraktion ist.



Abbildung 92: Nichteisen-Fraktion (Angers)

Für die Anlage in Angers bedeutet das keine Minderung der Qualität der PU-Fraktion, weil diese als Ersatzbrennstoff in die Zementindustrie geht und dort Siliciumdioxid nicht stört, sondern sogar erwünscht ist.

In Tabelle 53 sind die wichtigsten Parameter des Versuches zusammengefasst.

Tabelle 53: Zusammenfassung des Versuchs in Angers

Anzahl der Geräte insgesamt	38 Kühlschränke
Anzahl der Paneele insgesamt	184 Paneele (diverse Größen, 6 verschiedene MG)
Dauer	ca. 6 Stunden (von 9:00 Uhr – 17:00 Uhr; inkl. Mittagspause)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; Anstieg von Δp beim Filter 1 bei pulvrigen Materialgruppen; VIP-Bestandteile aller MG (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion → keine Qualitätsminderung, weil PU-Fraktion an Zementindustrie geht;

6.5.4 Großtechnischer Versuch bei STENA in Angiari (IT)

Der dritte großtechnische Versuch wurde in Angiari in Italien bei STENA Technoworld am 23. Oktober 2013 durchgeführt (Anlagenfließbild siehe Anhang III). In Tabelle 54 sind die Eckdaten zum Versuch in Angiari zusammengefasst.

Aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit in Angiari selbst (regnerischer Tag) stellte sich die Frage, wie die unterschiedlichen Kernmaterialien der sechs Materialgruppen mit der Luftfeuchte reagieren würden und wie die Filtersysteme auf die zu erwartenden hohen Staubmengen reagieren würden.

Tabelle 54: Eckdaten des großtechnischen Versuches in Angiari

Datum	23.10.2013
Dauer	ca. 2,5 Stunden (von 9:30 bis 12:00)
Adresse der Anlage	Via dell'Industria, 515/517, 37050 Angiari (Italien)
Baujahr der Anlage	2007/2008, aber erst seit 2010 an diesem Standort
Technologie der Anlage	2-Wellen und 4-Wellenzerkleinerer, Gewebefilter, PU-Pelletierer und Kryo-Technologie
Durchsatz	55 – 60 Geräte/h
Anwesende Personen (9 Personen)	Emanuele Bonaldi (Betriebsleiter der Anlage); Simone Stefani (Produktionsleiter der Anlage); Carlo Tomaselli und Alfredo Bassan (beide Eletrolux); Enzo Ravis (Whirlpool); Sebastian Brand (Liebherr); Luca Campadello (Ecodom); Renato Sarc (Projektmanager, Montanuniversität Leoben); Magdalena Prommegger (Montanuniversität Leoben);

Für diesen Versuch wurden pro Materialgruppe jeweils sechs Kühlschränke vorbereitet und mit einer entsprechenden Menge an Paneelen gefüllt. Vor dem Start des Versuches wurde die Anlage komplett entleert, um sicher zu stellen, dass die Anlage während des Versuchszeitraumes ausschließlich mit VIP-haltigen Geräten beschickt wird (worst-case scenario). Das Pelletier-Aggregat, das eigentlich zum Pelletieren der PU-Fraktion gedacht ist, wurde für diesen Versuch deaktiviert. Die gesamte PU-Fraktion (vermischt mit VIP-Materialien) wurde in einem Silo gefasst und nicht in den Pelletierer eingebracht. Eigentlich sollten die Materialgruppen wiederum in aufsteigender Reihenfolge in die Reihenfolge eingebracht werden, aber in diesem Fall wurde MG2 erst als letztes Material eingebracht, da es zu Beginn des Versuches so schien, als wäre es nicht vorhanden und es erst am Schluss entdeckt wurde. In den folgenden Unterkapiteln sind die Versuchsabläufe bzw. die jeweiligen Ergebnisse der einzelnen Materialgruppen erläutert.

6.5.4.1 Materialgruppe 1 – papierartig

Sechs Geräte wurden mit insgesamt 24 MG1-Paneeelen unterschiedlicher Größen für den Versuch vorbereitet (s. Abbildung 93 und Abbildung 94).



Abbildung 93: Paneele der Materialgruppe 1 (Angiari)



Abbildung 94: Befüllte Geräte mit MG1-Paneeelen (Angiari)

Sowohl die Eisenfraktion als auch die Nichteisenfraktion zeigte keine Änderungen zum Normalbetrieb. Daher war davon auszugehen, dass die Bestandteile der VIP in die PU-Fraktion gelangten, was allerdings erst am Ende des gesamten Versuches verifiziert werden konnte. In Tabelle 55 sind die Eckdaten zum Versuchsdurchgang mit MG1 zusammengefasst.

Tabelle 55: Eckdaten zum Versuch von MG1 in Angiari

Anzahl der Geräte	6 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	24 Paneele (diverse Größen)
Dauer	ca. 20 Minuten (10:10 Uhr – 10:30 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.4.2 Materialgruppe 3 – glaswollartig

Wiederum 24 Paneele der MG3 mit unterschiedlichen Größen wurden auf sechs Geräte aufgeteilt und in die Anlage eingebracht (s. Abbildung 95 und Abbildung 96).



Abbildung 95: Paneele von Materialgruppe 3 (Angiari)



Abbildung 96: Befüllte Geräte mit MG3-Paneeelen (Angiari)

Die Qualität der Output-Fractionen blieb unverändert. In Tabelle 56 sind die Eckdaten zum Versuchsdurchgang mit MG1 zusammengefasst.

Tabelle 56: Eckdaten zum Versuch von MG3 in Angiari

Anzahl der Geräte	6 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	24 Paneele (diverse Größen)
Dauer	ca. 15 Minuten (10:25 Uhr – 10:40 Uhr)
Ergebnis	kein technisches Problem für Anlage; sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.4.3 Materialgruppe 4 – graues Pulver

Es wurden zwar sechs Geräte mit je vier Paneelen von MG4 (s. Abbildung 97) vorbereitet, jedoch wurden aufgrund der Erfahrungen in Timelkam mit dieser Materialgruppe vorerst nur drei Geräte in die Anlage eingebracht. Da bereits diese geringe Menge an Geräten, die mit MG4-Paneelen befüllt waren, eine enorme Staubentwicklung nach sich zog, wurde davon abgesehen, die restlichen drei Geräte in die Anlage einzusetzen. In Kap. 6.5.4.7 ist die Staubentwicklung anhand von Fotos dokumentiert und in Tabelle 57 sind die Eckdaten zum Versuch mit MG4 in Angiari zusammengefasst.



Abbildung 97: Paneele der Materialgruppe 4 (Angiari)

Tabelle 57: Eckdaten zum Versuch von MG4 in Angiari

Anzahl der Geräte	3 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	12 Paneele (diverse Größen)
Dauer	ca. 10 Minuten (10:40 Uhr – 10:50 Uhr)
Ergebnis	enorme Staubentwicklung in Anlage (s. Kap. 6.5.4.7); sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.4.4 Materialgruppe 5 – braunes Pulver

Die Paneele der Materialgruppe 5 (s. Abbildung 98) sind bezogen auf deren physikalische Eigenschaften und chemische Zusammensetzung den MG4-Paneelen ähnlich. Aufgrund der erheblichen Entwicklung von Staub im Anlagengebäude durch MG4, wurde während des Versuches beschlossen, von den MG5-Paneelen ebenfalls nur zwölf Paneele verteilt auf drei Geräte in die Anlage einzusetzen. Diese Entscheidung erwies sich als sinnvoll, da auch MG5 beim Zerkleinern zu erheblichen Staubemission innerhalb des Anlagengebäudes führte. In Tabelle 58 sind die Eckdaten des Versuches in Angiari zusammengefasst.



Abbildung 98: Paneele der Materialgruppe 5 (Angiari)

Tabelle 58: Eckdaten zum Versuch von MG5 in Angiari

Anzahl der Geräte	3 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	12 Paneele (diverse Größen)
Dauer	ca. 10 Minuten (10:54 Uhr – 11:05 Uhr)
Ergebnis	enorme Staubentwicklung in Anlage (s. Kap. 6.5.4.7); sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.4.5 Materialgruppe 6 – schwarzes Pulver

Da davon auszugehen war, dass sich das Kernmaterial der MG6-Paneele (s. Abbildung 99) ähnlich verhalten würde wie jenes von MG4 und MG5, wurden auch hier nur drei Geräte mit je vier Paneelen getestet.



Abbildung 99: Paneele der Materialgruppe 6 (Angiari)

Die Annahme, dass es bei der Zerkleinerung dieser Paneele in der Anlage ebenso zu einer Staubemission kommen würde, konnte im Versuch bestätigt werden (s. Kap. 6.5.4.7). Das Kernmaterial von MG6 hat magnetische Eigenschaften und wurde deshalb auch als dünner Film auf der Eisen-Fraktion gefunden. Der Großteil der VIP-Bestandteile ging aber wie bei den anderen Materialgruppen in die PU-Fraktion. In Tabelle 59 sind die wichtigsten Daten des Versuchsdurchgangs mit MG6 zusammengefasst.

Tabelle 59: Eckdaten zum Versuch von MG6 in Angiari

Anzahl der Geräte	3 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	12 Paneele (diverse Größen)
Dauer	ca. 10 Minuten (11:06 Uhr – 11:15 Uhr)
Ergebnis	enorme Staubentwicklung in Anlage (s. Kap. 6.5.4.7); sämtliche Bestandteile der VIP (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion; dünner Film des Kernmaterials auch in Eisenfraktion (aufgrund magnetischer Eigenschaften);

6.5.4.6 Materialgruppe 2- weißes Vlies

Die Paneele der MG2 wurden erst gegen Ende des Versuches gefunden und daher nicht so wie vorgesehen als zweite Materialgruppe getestet, sondern erst als letzte. Es waren nur wenige MG2-Paneele verfügbar, weshalb auch hier nur drei Geräte mit insgesamt 15 kleinen Paneelen in die Anlage eingebracht wurden. Es wurde während des Versuches festgestellt, dass die Staubentwicklung weniger stark war als bei MG4, MG5 und MG6. In Tabelle 60 sind die Eckdaten vom Versuch mit den MG2-Paneelen zusammengefasst.

Tabelle 60: Eckdaten zum Versuch von MG2 in Angiari

Anzahl der Geräte	3 Kühlschränke
Anzahl der Paneele	15 kleine Paneele
Dauer	ca. 10 Minuten (11:17 Uhr – 11:30 Uhr)
Ergebnis	Rückgang der Staubentwicklung (s. Kap. 6.5.4.7); Großteil der VIP-Bestandteile (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;

6.5.4.7 Zusammenfassung des Versuchs in Angiari

Bis auf MG2 wurden die sechs erhaltenen Materialgruppen in aufsteigender Reihenfolge in die Anlage eingebracht. Bei MG4, MG5 und MG6 kam es zu einer erheblichen Staubentwicklung in dem Anlagengebäude, was unter Abbildung 100 ersichtlich ist. Im ersten Bild ist erkennbar, wie Staub aus der Anlage bei der Öffnung des Aufgabebandes strömt, im zweiten Bild wird die Staubentwicklung im gesamten Anlagengebäude deutlich und das dritte Bild zeigt das Förderband mit einer erheblichen Staubschicht.



Abbildung 100: Staubentwicklung in Anlage während Zerkleinerung von MG4, MG5, MG6 (3 Bilder)

Diese Bilder machen deutlich, dass die bestehende Anlage in Angiari für die pulverigen Materialgruppen MG4, MG5 und MG6 in großen Mengen nur bedingt geeignet ist und eventuell Adaptierungen an der Anlage erforderlich wären (bessere Filtersysteme, höherer Abluftstrom usw.). Nach den drei pulverigen Materialgruppen wurde als letztes Versuchsmaterial MG2 in die Anlage eingebracht. Während des Zerkleinerns dieses Materials war die Staubentwicklung insgesamt geringer, allerdings schwebten noch einige Staubpartikel in der Luft, welche deutlich im Blitzlicht in Abbildung 101 (aufgenommen während MG2-Zerkleinerung) zu sehen sind.



Abbildung 101: Staub im Anlagengebäude (Aufnahme mit Blitz)



Abbildung 102: Beladung des Filters direkt nach dem Zerkleinerer

Nachdem alle der sechs Materialgruppen in die Anlage eingebracht worden waren, konnte die Anlage gestoppt werden und die Filter geöffnet werden. Dort wurden, wie vermutet, die die Kernmaterialien der VIP vermischt mit PU-Schaum gefunden. Die Mengen, die aus dem ersten Filter herauskamen (s. Abbildung 102) waren laut dem Produktionsleiter Simone Stefani deutlich mehr als im Normalbetrieb. Es handelt sich hierbei um eine Mischfraktion von PU-schaum und VIP-Kernmaterialien, welche auch im PU-Silo (s. Abbildung 103) zu finden war.



Abbildung 103: PU-Fraktion gemischt mit VIP-Materialien
(1: Schichtprofil, 2: Inneres des PU-Silos)

Da der Pelletierer für diesen Versuch nicht aktiviert war, konnte nicht überprüft werden, wie diese Mischfraktion (PU-Schaum gemischt mit VIP-Bestandteilen) im Pelletierer reagieren würde bzw. ob es möglich wäre, diese Fraktion überhaupt zu pelletieren.

Die wichtigsten Daten zum großtechnischen Versuch in Angiari sind in Tabelle 61 zusammengefasst.

Tabelle 61: Zusammenfassung des Versuchs in Angiari

Anzahl der Geräte insgesamt	24 Kühlschränke
Anzahl der Paneele insgesamt	99 Paneele (diverse Größen, 6 verschiedene MG)
Dauer	ca. 2,5 Stunden (von 9:30 Uhr – 12:00 Uhr)
Ergebnis	<p>MG1 und MG3: kein technisches Problem für Anlage;</p> <p>MG4, MG5 und MG6: erhebliche Staubentwicklung in Anlagengebäude; nur Hälfte des geplanten Materials wurde eingesetzt;</p> <p>MG2 (letztes Versuchsmaterial): Staubentwicklung nahm wieder ab;</p> <p>Großteil der VIP-Bestandteile aller MG (Hülle und Kernmaterial) in PU-Fraktion;</p> <p>dünner Film des MG6-Kernmaterials auch in Eisenfraktion (aufgrund magnetischer Eigenschaften)</p>

7 Ergebnisse und Diskussion

Hauptziel dieser Masterarbeit war es, die Auswirkungen auf derzeit übliche Entsorgungstechnologien durch VIP-haltige Kühl- und Gefriergeräte zu untersuchen, wobei besonderes Augenmerk auf folgende Aspekte gelegt werden sollte:

- Auswirkungen auf den Arbeitsschutz und die Arbeitssicherheit;
- Berechnung der Recyclingquote;
- Monetärer Einfluss von VIP auf die Output-Fractionen;
- Potential als Sekundärrohstoff.

In diesem Kapitel wird ein Abgleich der erlangten Ergebnisse mit den zuvor erwähnten Zielen durchgeführt und dabei die Ergebnisse kritisch diskutiert.

Auswirkungen auf derzeit übliche Entsorgungstechnologien durch VIP-haltige Kühl- und Gefriergeräte

Die drei großtechnischen Versuche, welche in Österreich, in Italien und in Frankreich in jeweils unterschiedlichen Entsorgungsanlagen durchgeführt wurden, führten zum Ergebnis, dass VIP-haltige KGG für Entsorgungsanlagen, welche nach dem Stand der Kühlgeräte-Aufbereitungstechnik betrieben werden (gemäß EN 50574:2013), kein technisches Problem darstellen.

Diskussion

Durch die großtechnischen Versuche in Österreich und in Italien wurde festgestellt, dass die Zerkleinerung der VIP-Materialgruppen MG4, MG5 und MG6 zu erheblichen Staubemissionen im Anlagengebäude führen können. Außerdem kam es bei der Behandlung von Kühlgeräten mit MG3-Paneeelen in der österreichischen Anlage zu Problemen in der Austragsschnecke. Da sowohl die italienische als auch die österreichische Entsorgungsanlage nicht über den Stand der Technik entsprechenden Abluftsysteme verfügten (Staub konnte aus den Zerkleinerungsaggregaten entweichen), ist davon auszugehen, dass diese beiden Anlagen im Falle vermehrten Aufkommens von VIP-haltigen Kühlgeräten, Adaptionen durchführen müssten.

- **Auswirkungen auf den Arbeitsschutz und die Arbeitssicherheit**

Bei der Behandlung von VIP-haltigen KGG in geeigneten Entsorgungsanlagen sollten keine Beeinträchtigungen hinsichtlich des Arbeitsschutzes und der Arbeitssicherheit zu erwarten sein, solange die Anlage nach dem Stand der Technik betrieben wird, der ausführlich in Kap. 5.2.2 beschrieben ist.

Diskussion

Die großtechnischen Versuche in Österreich und in Italien zeigten allerdings, dass sich die VIP-Materialgruppen hinsichtlich der Staubentwicklung durch eine Zerkleinerung wesentlich unterscheiden. Bei der Behandlung von MG1, MG2 und MG3 wurden keine Staubprobleme

festgestellt, während bei der Behandlung von MG4, MG5 und MG6 die Staubentwicklungen so massiv waren, dass der Versuch entweder in modifizierter Form fortgesetzt oder sogar abgebrochen werden musste. Unter den vorherrschenden Bedingungen, die zur Änderung des Versuchsplanes bzw. zum Abbruch des Versuches führten, ist ein sicherheitstechnisch unbedenklicher Betrieb nur erschwert möglich.

- **Berechnung der Recyclingquote**

Durch den Vergleich der Massenbilanz von einem modernen VIP-haltigen Kühlschrank mit einem herkömmlichen Kühlschrank ohne VIP (s. Kap. 5.2.2.3) wird deutlich, dass die mögliche Recyclingquote durch den Einsatz von VIP in KGG leicht gesenkt werden könnte.

Tabelle 62: Theoretische Verwertungs-/Recyclingquoten eines modernen Kühlschranks mit VIP

Bestandteile des Kühlschranks	Art der Verwertung	Quote
Metalle (Eisen und NE)	stoffliches Recycling	75,5 %
Anorganische Materialien (Glas, VIP)	stoffliches Recycling	
Kunststoffe gesamt (PU, PE, PS etc.) ¹	stoffliches Recycling / thermische Verwertung	24,5 %
Rest	thermische Verwertung	

¹) Annahme, dass die Hälfte der Kunststoffe stofflich, die andere Hälfte thermisch verwertet wird.

Tabelle 63: Theoretische Verwertungs-/Recyclingquoten eines herkömmlichen Kühlschranks ohne VIP

Bestandteile des Kühlschranks	Art der Verwertung	Quote
Eisen (inkl. Eisen aus Kompressor)	stoffliches Recycling	79,8 %
NE-Metalle (Al, Cu, Zn, rostfreier Stahl, NE aus Kompressor)	stoffliches Recycling	
Glass	stoffliches Recycling	
FCKW/ Pentan	stoffliches Recycling	
Kunststoff	stoffliches Recycling / thermische Verwertung	20,2 %
Isoliermaterial (PU-Schaum)	stoffliches Recycling / thermische Verwertung	
Öl	stoffliches Recycling / thermische Verwertung	

Diskussion

Hier wurden nur zwei Kühlschränke gegenübergestellt, was die Aussagekraft der Ergebnisse stark einschränkt. Um genauere Verwertungs- und Recyclingquoten zu erhalten, müssten

Massenbilanzierungen von Entsorgungsanlagen durchgeführt werden, die VIP-haltige KGG behandeln.

- **Monetärer Einfluss von VIP auf die Output-Fraktionen**

Das Ergebnis aller drei durchgeführten großtechnischen Versuche war, dass die Bestandteile der VIP in die PU-Output-Fraktion gelangten. Dies war aufgrund der ähnlichen Dichten auch zu erwarten. Falls die PU-Fraktion als Sekundärbrennstoff in der Zementindustrie eingesetzt wird, könnte dort das Material der VIP sogar als Rohstoff angesehen werden.

Diskussion

Eine monetäre Bewertung der Kontamination mit VIP-Bestandteilen der jeweiligen Output-Fraktionen wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Da die VIP-Bestandteile bei allen drei großtechnischen Versuchen fast ausschließlich in die PU-Output-Fraktion gelangte, kann angenommen werden, dass die anderen Output-Materialien (Eisen, Nichteisen-Metalle, Kunststoffe) nur geringe Kontaminationen durch Anhaftung von VIP-Bestandteilen aufweisen und somit keine Wertminderung erfahren. Bezüglich der mit VIP-Bestandteilen vermischten PU-Fraktion wäre aufgrund der ohnehin benötigten Rohstoffe, die in den VIP enthalten sind, sogar eine Wertsteigerung möglich.

- **Potential als Sekundärrohstoff**

Die Hauptkomponenten der Kernmaterialien der sechs untersuchten VIP-Materialgruppen sind Siliciumdioxid, Calciumoxid und Aluminiumoxid (s. Tabelle 33). Ein Recycling wäre daher in einem Industriezweig, der diese anorganischen Materialien als Einsatzstoff benötigt denkbar. Sowohl in der Zementindustrie als auch in der Glas- oder Keramikindustrie wäre aufgrund der Zusammensetzung der VIP-Materialien ein Recycling möglich. Die in Kap. 5.2.3 erwähnten Patente zeigen darüber hinaus die Möglichkeit eines stofflichen Recyclings vom VIP zu einem neuen VIP auf.

Diskussion

Das Potential für VIP als Sekundärrohstoff in der Zementindustrie ist gegeben, da hier keine hohe Sortenreinheit erforderlich ist, sondern durchaus die Vermischung mit PU-Schaum, der als Brennstoff eingesetzt werden kann, erwünscht ist. Es ist allerdings fraglich, ob die VIP für eine Wiederverwertung, bei der aus alten VIP wieder ein neues Paneel hergestellt wird, in ausreichender Sortenreinheit gesammelt werden könnten.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel sind die wichtigsten Ergebnisse, welche innerhalb dieser Arbeit gewonnen wurden, zusammengefasst. Am Ende des Kapitels werden Empfehlungen für die Zukunft betreffend der Entsorgung von VIP-haltigen Kühlschränken, sowohl für die Haushaltsgerätehersteller als auch für die Entsorgungsunternehmen, gegeben.







8.1 Allgemeine Angaben zu VIP

Vakuumisolationspaneele werden etwa seit 2010 in der Konstruktion von Kühl- und Gefriergeräten (vorwiegend in Geräten der Energieklassen A++ und A+++) eingesetzt. Durch die Verwendung dieser hocheffizienten thermischen Isolationsmaterialien, mit besseren Isoliereigenschaften (niedrigere Wärmeleitfähigkeit) verglichen mit dem herkömmlich verwendeten PU-Schaum, kann eine Erhöhung des Geräteinnenvolumens erreicht werden. Die Hauptbestandteile von Vakuumisolationspaneelen sind:

- eine hochdichte, mehrschichtige Hülle, die einen Gaseintrag in das Paneel verhindert;
- ein poröses Kernmaterial, das als Stützkörper für das Vakuum im Paneel dient ;
- Trockner oder sogenannte „Getter“, die eventuell eindringende Gase chemisch binden.

In dieser Arbeit wurden sechs verschiedene Materialgruppen von VIP (hinsichtlich der Kernmaterialien) identifiziert und untersucht. In Tabelle 64 sind die Ergebnisse der RFA der sechs Materialgruppen (MG1 – MG6) zusammengefasst. Es ist offensichtlich, dass Siliciumdioxid (SiO_2) den Hauptbestandteil aller sechs Materialgruppen darstellt, wobei MG4, MG5 und MG6, die ein pulvriges Kernmaterial haben, sogar einen höheren Anteil an SiO_2 als MG1, MG2 und MG3 aufweisen. Alle untersuchten Materialgruppen enthalten einen sehr hohen Anteil an anorganischem Material.

Tabelle 64: Grundlegende chemische Zusammensetzung der sechs Materialgruppen

Chem. Verbindung/ Chem. Formel	Massen [%]					
	MG1 papierartig 	MG2 weißes Vlies 	MG3 glaswollartig 	MG4 graues Pulver 	MG5 braunes Pulver 	MG6 schwarzes Pulver 
Siliciumdioxid (SiO_2)	69,08	54,08	51,03	98,01	88,00	71,12
Calciumoxid (CaO)	8,81	24,97	30,13	-	-	-
Aluminiumoxid (Al_2O_3)	-	13,57	14,10	-	-	-
Eisen(III)oxid (Fe_2O_3)	-	-	-	-	-	22,41
Natriumoxid (Na_2O)	14,09	-	-	-	-	-
Summe organischer Stoffe	0,27	2,76	1,22	1,19	5,98	3,15

8.2 Kleintechnische Versuche

Aufgrund der durchgeführten kleintechnischen Versuche (Zerkleinerungsversuche und Siebanalysen) und den chemischen Analysen der sechs Materialgruppen konnten grundlegende Informationen über deren Materialeigenschaften erlangt werden. Diese Versuche waren nötig, um mögliche Änderungen der Gesundheits- und Sicherheitsbedingungen in den Entsorgungsanlagen während der großtechnischen Versuche zu bestimmen.

Zuerst wurden Paneele aller sechs Materialgruppen mithilfe eines Vierwellen-Zerkleinerers behandelt. Das zerkleinerte Material (<25 mm) jeder Materialgruppe wurde über ein Förderband in einen Sammelbehälter transportiert, wo es separat gesammelt wurde. Mit den Materialgruppen MG1 bis MG5¹ wurden Siebanalysen durchgeführt. Es wurde untersucht, ob eine Abscheidung der Aluminiumfraktion, welche in den Paneel-Hüllen enthalten ist, vom Kernmaterial möglich wäre. Die Kernmaterialien von MG1, MG2, MG3 und MG4 wurden außerdem mithilfe einer RFA chemisch analysiert (RFA Ergebnisse für MG5 und MG6 lagen bereits vor [36]), wofür die Kernmaterialien zuvor noch dementsprechend aufzubereiten waren (möglichst fein-pulvrig mithilfe einer Kugelmühle).

Jeder durchgeführte Schritt der kleintechnischen Versuche hatte bestimmte Herausforderungen, wie z.B. die Eignung für das Zerkleinern oder das Transportieren des Materials während der Zerkleinerungsversuche. Die Herausforderungen jedes einzelnen Schritts sowie die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 65 zusammengefasst.

Tabelle 65: Herausforderungen der Materialgruppen während der kleintechnischen Versuche

Materialgruppe	MG1	MG2	MG3	MG4	MG5	MG6
Herausforderungen						
Eignung für die Zerkleinerung	↑	↑	○	↑	↑	↑
Eignung für den Transport (Förderband)	↑	↑	↑	○	○	○
Staubentwicklung	↓	○	↓	↑	↑	↑
Unterschied zw. trockener und feuchter Siebanalyse	↑	○	↑	○	○	/
Aufwand zum Mahlen des Kernmaterials für RFA	↓	↓	↑	○	/	/

Legende: ↑...hoch; ○ ...mittel; ↓...niedrig;

8.3 Angewandte Technologie in Europa und Recyclingquoten

Der aktuelle Stand der Recycling Technologie in Europa für Alt-Kühl- und Gefriergeräte wird durch die europäische Norm EN 50574, welche eine Reduktion von Umweltauswirkungen durch EAG, die ozonabbauende Stoffe enthalten, anstrebt. Die Behandlung von KGG wird in dieser Norm in die folgenden drei Schritte unterteilt:

¹ Aufgrund der sehr feinkörnigen Eigenschaft von MG6 wurde keine Siebanalyse mit MG6 durchgeführt.

1. **Behandlungsstufe 1:** Entfernung von flüchtigen Fluorkohlenwasserstoffen (VFC), flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VHC) und Öl aus dem Kühleisystem.
2. **Behandlungsstufe 2:** Entfernung von VFC und VHC aus dem Isolierschaum.
3. **Behandlungsstufe 3:** Umwandlung von VFC und VHC in Verbindungen, die nicht die Ozonschicht abbauen, als Teil des Behandlungsprozesses.

Alle Entsorgungsunternehmen, die im Rahmen dieses Projektes kontaktiert wurden, arbeiten auf Grundlage dieser Norm. Beinahe alle konzentrieren sich dabei auf die beiden ersten Behandlungsschritte (häufig erwähnt wurde „gängiges 2-Stufen-Prinzip“) und lagern die dritte Stufe häufig an Dritte aus, weil dieser Behandlungsschritt weiterer technischer Behandlungsanlagen (z.B. thermische Behandlung, Emissionsbehandlung usw.) bedarf. Ein vereinfachtes Fließbild (siehe Tabelle 27) wurde erstellt, welches den derzeit herrschenden Stand der Entsorgungstechnologie von Alt-KGG in Europa repräsentiert. Die sieben Fließbilder (in Anhang III ersichtlich), welche auf Basis der erhaltenen Informationen der kontaktierten Entsorgungsunternehmen erstellt wurden, dienen wiederum als Grundlage für das vereinfachte Fließbild (s. Kap. 5.2.2).

Gemäß Anhang V der WEEE-RL 2012/19/EU sollten bis August 2015 80 % von KGG verwertet und 75 % sollten recycelt werden. Ab August 2015 sollten beide Quoten, sowohl die Verwertungs- als auch die Recyclingquote um je 5 % erhöht werden, was bedeutet, dass 85 % zu verwerten und 80 % zur Wiederverwendung vorzubereiten und zu recyceln sind.

Um die von der WEEE-Richtlinie geforderten Quoten zu erfüllen, ist es nötig, in der Konstruktion (hauptsächlich) Materialien zu verwenden, welche für diese Herausforderungen geeignet sind. Außerdem ist eine Grundvoraussetzung für ein stoffliches Recycling ein Markt für das entsprechende Produkt.

Ein Vergleich zwischen den Massenbilanzen von VIP-haltigen Kühlschränken und üblichen Kühlschränken ohne VIP (s. Kap. 5.2.2.3) zeigt, dass die Verwendung von VIP, aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Geräte, einen leicht negativen Einfluss auf die Rezyklierbarkeit der Geräte hat.¹ Die Gegenüberstellung der Verwertungs- und Recyclingquoten ist in Tabelle 66 zusammengefasst.

Tabelle 66: Gegenüberstellung der möglichen Verwertungs- und Recyclingquoten eines Kühlschranks mit und ohne VIP

Art des Kühlschranks Art der Verwertung	Verwertungs- und Recyclingquote	
	moderner Kühlschrank (mit VIP)	herkömmlicher Kühlschrank (ohne VIP)
stoffliches Recycling	75,5 %	79,8 %
thermische Verwertung	24,5 %	20,2 %

¹ Anmerkung: Obwohl die VIP in der Zementindustrie (aus technischer Sicht) stofflich verwertet werden, zählt der Einsatz von PU-Schaum inkl. VIP-Materialien als thermische Verwertung.

8.4 Großtechnische Versuche

Im Oktober 2013 wurden drei großtechnische Versuche in drei verschiedenen Entsorgungsanlagen für Kühl- und Gefriergeräte durchgeführt. Bei der Durchführungen dieser Versuche wurden die sechs Materialgruppen gemeinsam mit Alt-KGG behandelt und dabei deren Auswirkungen auf die Entsorgungsanlagen untersucht. Die Auswahl der in Frage kommenden Anlagen führte schließlich zu AVE in Timelkam in Österreich (erster Versuch), zu Veolia in Angers in Frankreich (zweiter Versuch) und zu Stena in Angiari in Italien (dritter Versuch).

In den folgenden Tabellen (Tabelle 67, Tabelle 68 und Tabelle 69) sind die Eckdaten der durchgeführten Versuche in den drei verschiedenen Anlagen zusammengefasst. Im Anhang VII sind überdies Fotos der jeweiligen Versuche ersichtlich.

Tabelle 67: Eckdaten des ersten großtechnischen Versuches in Timelkam (Österreich)

Zerkleinerungseinheit	Vierwellen-Zerkleinerer
Herausforderungen	starke Staubentwicklung während der Behandlung von MG4 → Anlagenstopp; Reinigung der Abluftsysteme nötig;
Output-Materialien-Qualität	keine signifikanten Änderungen; alle VIP-Bestandteile (Hülle und Kernmaterial) in PU-Output-Fraktion (verwendet als Öl-Binder);

Tabelle 68: Eckdaten des zweiten großtechnischen Versuches in Angers (Frankreich)

Zerkleinerungseinheit	Querstromzerspaner (QZ)
Herausforderungen	Anstieg von Δp beim Filter 1 während der Behandlung von MG4, MG5 und MG6 → kein technisches Problem für Anlage;
Output-Materialien-Qualität	keine signifikanten Änderungen; alle VIP-Bestandteile (Hülle und Kernmaterial) in PU-Output-Fraktion (verwendet in Zementindustrie);

Tabelle 69: Eckdaten des dritten großtechnischen Versuches in Angiari (Italien)

Zerkleinerungseinheit	Zwei- und Vierwellen-Zerkleinerer
Herausforderungen	erhebliche Staubentwicklung in Anlagengebäude; während der Behandlung von MG4, MG5 und MG6;
Output-Materialien-Qualität	keine signifikanten Änderungen; Großteil aller VIP-Bestandteile (Hülle und Kernmaterial) in PU-Output-Fraktion; dünner Film des MG6-Kernmaterials auch in Eisenfraktion (aufgrund magnetischer Eigenschaften);

Schlussfolgerungen

Trotz der unterschiedlichen Technologien in den Entsorgungsanlagen, wurden **generelle Aussagen** hinsichtlich der Eignung der derzeit herrschenden Aufbereitungstechnik für die Entsorgung von VIP-haltigen KGG erzielt:

- Die fasrigen Materialgruppen MG1, MG2 und MG3 verhalten sich anlagentechnisch anders als die pulvrigen MG4, MG5 und MG6.
- VIP-Bestandteile gelangen aufgrund ähnlicher Dichten in die PU-Output-Fraktion.
- Keine Änderungen in der Qualität der Output-Fractionen. Die VIP-Bestandteile sind in der Zementindustrie aufgrund deren ähnlichen chemischen Zusammensetzung zu den geforderten Rohstoffen sogar erwünscht, wenn diese in der PU-Fraktion (als Ersatzbrennstoff verwendet) enthalten sind.
- Der Einfluss von VIP auf die Entsorgungsanlagen hängt sowohl von der Technologie der Anlage als auch von der Beschaffenheit der Kernmaterialien ab.

In Tabelle 70 sind die wichtigsten Eckdaten der großtechnischen Versuche zusammengefasst.

Tabelle 70: Zusammengefasste Eckdaten der großtechnischen Versuche

Herausforderungen \ Versuche	Timelkam (Österreich)	Angers (Frankreich)	Angiari (Italien)
Staubentwicklung	↑	↓	↑
Änderungen der Outputqualität	↓	↓	↓

Legende: ↑...hoch; ○ ...mittel; ↓...niedrig;

8.5 Empfehlungen für die Zukunft

Auf Grundlage der gewonnenen Erfahrungen bei den großtechnischen Versuchen, können Empfehlungen für die Haushaltsgerätehersteller, aber auch für die Entsorgungsanlagenbetreiber gegeben werden.

Empfehlungen für Haushaltsgerätehersteller

Die großtechnischen Versuche in Österreich und in Italien zeigten, dass es einen großen Unterschied zwischen den fasrigen VIP-Materialgruppen (MG1, MG2, MG3) und den pulvrigen VIP-Materialgruppen (MG4, MG5, MG6) gibt, wenn diese in KGG-Entsorgungsanlagen behandelt werden. MG1, MG2 und MG3 führten zu keinen Problemen in der österreichischen bzw. der italienischen Anlage, MG4, MG5 und MG6 hingegen hatten große Staubentwicklungen in den beiden Anlagengebäuden zur Folge. In Timelkam entschied der Betriebsleiter der AVE Anlage (Herr Niedermayr), den Versuch abubrechen, um eventuelle Schäden an der Anlage zu vermeiden.

Aufgrund dieser Erfahrungen, wäre eine **Kennzeichnung von VIP-haltigen Geräten** zu empfehlen, besonders von Geräten, die VIP von MG4, MG5 oder MG6 enthalten. Am besten wäre es, die

Gerätetür und den Rest des Gerätes separat zu kennzeichnen, was zwei Gründe hat. Erstens werden Türen häufiger mit VIP ausgestattet als der Rest des Gerätes (wegen des Produktionsprozesses). Zweitens werden in Entsorgungsanlagen manchmal die Türen getrennt von dem Rest der KGG behandelt.

Empfehlungen für Entsorgungsanlagenbetreiber

Die durchgeführten großtechnischen Versuche repräsentierten eine Art „worst-case scenario“. Im Optimalfall sollten die Entsorgungsanlagenbetreiber während des Betriebs selbst entscheiden können, ob sie VIP-haltige Geräte behandeln oder nicht (dafür wäre eine Kennzeichnung erforderlich). Wenn VIP von MG4, MG5 oder MG6 in die Anlage gelangen, soll ein besonderes Augenmerk auf die **Abdichtung der Anlagenteile** (gemäß EN 50574), eine **hohe Abluftrate**, auf die **Filtersysteme der Abluft** und selbstverständlich auf den **Arbeits- und Gesundheitsschutz** (fallweise Staubmasken) gelegt werden. Wenn mehr Geräte mit pulvrigen Kernmaterialien behandelt werden, wären unter Umständen auch Adaptierungen an den Filtersystemen nötig.

Bezüglich der Output-Materialien sollte klar sein, dass der Großteil der VIP-Bestandteile in der PU-Fraktion landet. Die Qualität aller anderen Output-Fractionen wird gemäß der gewonnenen Erfahrungen nicht beeinträchtigt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Mengen der VIP-haltigen Geräte in den nächsten Jahren steigen werden, weil VIP erst seit 2010 in KGG eingesetzt werden. Deshalb sollte jeder Entsorgungsanlagenbetreiber rechtzeitig auf diese Änderung reagieren.

9 Verzeichnisse

9.1 Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Union: Mitteilung gemäß Artikel 19 Absatz 3 der Verordnung Nr. 17 des Rates in der Sache COMP.F.1/37.893 — CECED Wassererwärmer. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. C 250/4 vom 08.09.2001.
- [2] Europäische Kommission: Europa 2020 – EU-Kernziele für das Wirtschaftswachstum - Europäische Kommission. URL: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_de.htm. Stand: 01.07.2013.
- [3] Europäische Union: Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. In: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 37/24 vom 13.2.2003.
- [4] Europäische Union: Zusammenfassung der EU-Gesetzgebung: Die Richtlinie. URL: http://europa.eu/legislation_summaries/institutional_affairs/decisionmaking_process/l1_4527_de.htm. Stand: 16.08.2013
- [5] Europäische Union (2010): Zusammenfassung der EU-Gesetzgebung: Die Verordnung. URL: http://europa.eu/legislation_summaries/institutional_affairs/decisionmaking_process/l1_4522_de.htm. Stand: 16.08.2013.
- [6] Europäische Union: Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. In: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. 312/3 vom 22.11.2008.
- [7] Bundeskanzleramt Österreich: BGBl. I Nr. 102/2002: Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 - AWG 2002). Stand: 27.04.2012.
- [8] Bundeskanzleramt Deutschland: BGBl. I S. 212: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG). Stand: 24.02.2012.
- [9] Bundeskanzleramt Österreich: BGBl. II Nr. 121/2005: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung – EAG-VO). Stand: 27.04.2012.
- [10] Bundeskanzleramt Deutschland: BGBl. I S. 212: Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG). Stand: 24.02.2012.
- [11] Europäische Union: Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. In: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 37/19 vom 13.02.2003.
- [12] Europäische Union: Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Neufassung). In: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 197/38 vom 24.07.2012.

- [13] Europäische Union: Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Neufassung). In: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 147/88 vom 01.07.2011.
- [14] Europäische Kommission (2012): Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive). URL <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm>. Stand: 01.09.2013.
- [15] Bundeskanzleramt Österreich: BGBl I Nr. 9/2011: Änderung des Abfallwirtschaftsgesetzes 2002 (AWG-Novelle 2010). Stand: 15.02.2011.
- [16] Bundeskanzleramt Österreich: BGBl. II Nr. 397/2012: Änderung der Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO-Novelle 2012). Stand: 30.11.2012.
- [17] Bundeskanzleramt Deutschland: BGBl. I S. 1111: Verordnung zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung - ElektroStoffV). Stand: 19.04.2013.
- [18] Faber, M.; Rockholz, A.; Kremer, D.; Koring, A. (2013): ElektroStoffVerordnung - Handlungshilfe für Industrie und Handel zur Kommunikation entlang der Lieferkette. Bundesverband Großhandel, Außenhandel, Dienstleistungen e.V. (BGA); Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V. (DIHK); Bundesverband des Elektro-Großhandels e.V. (VEG); Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) (Hrsg.)
- [19] Hesselmann Kommunikation GmbH: Das Elektrogesezt. URL <http://www.elektrogesezt.de/>. Stand: 16.08.2013.
- [20] Bundeskanzleramt Deutschland: BGBl. I S. 2705: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG). Stand: 27.09.1994.
- [21] Schweizerische Bundeskanzlei: SR 814.01: Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). Stand: 01.08.2010).
- [22] Schweizerische Bundeskanzlei: SR 814.620: Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG). Stand: 23.08.2005
- [23] Schweizerisches Bundesamt für Umwelt BAFU (2013): VREG-Anhörung – Erläuterungen, Revision der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG, SR 814.620).
- [24] Schweizerische Bundeskanzlei: SR 814.81: Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV). Stand: 01.06.2013.
- [25] Heinemann, U.; Weinläder, H.; Ebert, H.-P. (2009): Energieeffiziente Gebäudehüllen: Neue Materialien und Komponenten. Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., ZAE Bayern (Hrsg.). DPG Frühjahrstagung 2009 Arbeitskreis Energie (AKE), Hamburg, 02.-03.03.2009.
- [26] Hahn, U. (2007): Physik für Ingenieure: Kapitel 3.10 Wärmetransport. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

- [27] Paris, O. (2010): Vorlesungsunterlagen von Physik II (SS 2010). Institut für Physik (Hrsg.), Montanuniversität Leoben, Leoben
- [28] Tipler, P. (1994): Physik : Deutsche Ausgabe. Originaltitel: Physics for Scientists and Engineers. Heidelberg Berlin Oxford : Spektrum Akademischer Verlag.
- [29] Nierobis, L.: Wärmedämmstoffe - Dämmstoffe für die Wärmedämmung und Trittschalldämmung. URL <http://www.waermedaemmstoffe.com/>. Stand: 18.08.2013.
- [30] Porextherm Dämmstoffe GmbH: Broschüre: Technische Information - Vacupor Vakuum Isolations Paneele. URL: http://www.porextherm.com/images/pdf_broschueren/vacupor_de.pdf. Stand: 14.08.2013.
- [31] Alam, M.; Singh, H. (2011): Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions. In: Applied Energy, Volume 88, Issue 11. ISSN 0306-2619, S. 3592–3602
- [32] Auer Kunststofftechnik GmbH & Co.KG: Datenblatt zu PA 6.6. URL: <http://www.auer-kunststofftechnik.de/pdf/Datenblatt%20PA%206.6%20natur%2070064.pdf>. Stand: 10.08.2013.
- [33] Wiley Information Services GmbH: Ethylenpolymerisation: Polymertypen und Verfahrensspezifikationen. URL: http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/6/ac/katalyse/_vlu/olefinpolymerisation.vlu/Page/vsc/de/ch/6/ac/katalyse/ziegler/polymertypen.vsc.ml.html. Stand: 10.08.2013.
- [34] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): GESTIS-Stoffdatenbank: Polyethylenterephthalat. URL: [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=templates\\$fn=default.htm\\$vid=gestisdeu:sdbdeu](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=templates$fn=default.htm$vid=gestisdeu:sdbdeu). Stand: 16.08.2013.
- [35] Porextherm Dämmstoffe GmbH: Broschüre: Vacupor NT : Produktdaten. URL: http://www.porextherm.com/images/anhaenge/db_nt_de.pdf. Stand: 14.08.2013.
- [36] Sarc, R.; Adam, J. (2011): Recyclingwege für Vakuumisulationspaneelle – Endbericht (im Auftrag der BSH Bosch und Siemens Haushaltsgeräte GmbH). Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (Hrsg.), Montanuniversität Leoben, Leoben.
- [37] Europäische Union: Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH). In: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 396/1 vom 30.12.2006.
- [38] European Environment Agency: Waste electrical and electronic equipment (waste 003) - Assessment published Jun 2013. URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/waste-electrical-and-electronic-equipment/assessment-1>. Stand: 01.06.2013.
- [39] Europäische Kommission – Eurostat: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/waste/key_waste_streams/waste_electrical_electronic_equipment_weee. Stand: 10.08.2013.
- [40] Scherer, P. (2010): SENS Fachbericht 2010. Stiftung Entsorgung Schweiz (SENS) (Hrsg.). URL: http://www.sens.ch/global/pdf/marktplatz/SENS_FB_2010_e.pdf. Stand: 2013-06-16
- [41] Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt -und Wasserwirtschaft: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011. URL: www.bundesabfallwirtschaftsplan.at. Stand: 16.08.2013.

- [42] Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Ergebnisbericht 2011 : Erhebung über Haushaltsabfälle (bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern). URL: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/ErgebnisberichtHaushaltsabfaelle.pdf?__blob=publicationFile. Stand: 16.08.2013.
- [43] Deutsches Umweltbundesamt: Tabellen betreffend EAG von den Jahren 2006 bis 2010. URL: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeident=2312>. Stand: 17.08.2013.
- [44] Stiftung Elektroaltgeräte Register: Abholung je Sammelgruppe pro Jahr. URL: http://www.stiftung-ear.de/service_und_aktuelles/kennzahlen/abholungen_gesamt_a/index_ger.html. Stand: 14.08.2013.
- [45] SENS, SWICO RECYCLING, SLRS: Fachbericht 2011. Stiftung SENS; SWICO Recycling; Stiftung Licht Recycling Schweiz SLRS (Hrsg.). URL: <http://www.erecycling.ch/publikationen>. Stand: 16.08.2013.
- [46] Europäische Union: Verordnung (EG) Nr. 3093/94 des Rates vom 15. Dezember 1994 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 333/1 vom 22.12.1994.
- [47] Europäische Union: Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 244/1 vom 29.09.2000.
- [48] United Nations Environment Programme (UNEP) (2012): Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. URL: http://ozone.unep.org/Publications/MP_Handbook/MP-Handbook-2012.pdf. Stand: 17.08.2013
- [49] Europäische Union: Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. September 2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (Neufassung). In: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 286/1 vom 31.10.2009
- [50] Huisman, J. (United Nations University) et al. (2007): 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - Final Report. United Nations University, AEA Technology, Gaiker, Regional Environmental Centre for Central and Eastern Europe, Delft University of Technology (Hrsg.).
- [51] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) (2012): EN 50574: Anforderungen an die Sammlung, Logistik und Behandlung von Altgeräten aus dem Haushalt die flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe oder flüchtige Kohlenwasserstoffe enthalten. ICS 13.030.30; 13.030.40; 97.030.
- [52] CECED, WEEE FORUM, EERA (2006): Requirements for the Collection, Transportation, Storage and Treatment of Cooling and Freezing Appliances containing Hydrocarbons (HC). URL: http://www.weee-forum.org/system/files/services/hc_treatment_specs1.pdf. Stand: 20.08.2013.

- [53] CECED, WEEE FORUM, EERA (2007): Requirements for the Collection, Transportation, Storage, Handling and Treatment of Household Cooling and Freezing Appliances containing CFC, HCFC or HFC. URL: http://www.weee-forum.org/system/files/services/cfc_standard_0.pdf. Stand: 20.08.2013.
- [54] Bundeskanzleramt Österreich: BGBl. II Nr. 459/2004 idF BGBl. II Nr. 363/2006: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Behandlungspflichten von Abfällen. Stand: 25.09.2006.
- [55] Tesar, M.; Öhlinger, A. (2009): Elektroaltgerätebehandlung in Österreich - Zustandsbericht 2008. Umweltbundesamt (Hrsg.). Wien. 2009.
- [56] Jäckel, H.G.; Schubert, G. (1997): Zerkleinerung von Abfällen mittels Rotorscheren, Rotorreißern und Schraubenreißern. In: Chemie Ingenieur Technik (69). S. 640–648
- [57] Untha Shredding Technology GmbH: Rotorschere. URL: <http://www.untha.com/content-images/referenzfotos/recycling/rotorschere.jpg>. Stand: 15.08.2013.
- [58] Schäfer, S.; Schäfer A. (2010): Neue Möglichkeiten für die Aufschlusszerkleinerung beim Recycling durch den Universal-Querstromzerspanner. In: Recycling und Rohstoffe Band 3. Karl J. Thomé-Kozmiensky Daniel Goldmann (Hrsg.).
- [59] Mewa Recycling Maschinen und Anlagenbau GmbH: Kette eines Querstromzerspanners. URL: http://www.mewa-recycling.de/uploads/pics/maschinen_qz_01_aussen0.jpg. Stand: 06.01.2014.
- [60] Europäisches Patentamt (2004): Aufschlusseinrichtung. Wabnig, H. (Erfinder). MeWa Recycling Maschinen und Anlagenbau GmbH (Anmelder). Veröffentlichungsnr. EP 1479441 A2.
- [61] LESNI A/S: Informationsbroschüre: Kühlgeräte Recycling : Reinigung von CFC/HCFC/HFC/VOC. erhalten per Email von Hermann, J. am 13.03.2013.
- [62] Laner, D.; Rechberger, H. (2006): Technisch-naturwissenschaftliche Entscheidungsgrundlagen für die zielorientierte Behandlung von Alt-Kühlgeräten (TEZLA) (im Auftrag der Stadt Wien). Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Stiftungsprofessur Ressourcenmanagement des ARA-Systems, Technische Universität Wien (Hrsg.).
- [63] Karlsson, L. (Stena Technoworld Halmstad, Sweden) (2013): An Average Nordic Refrigerator comprises : Email-Schriftverkehr an Magdalena Prommegger am 11.06.2013. Folie 7 der gesendeten Präsentation.
- [64] Österreichischen Normungsinstitut (2005): ÖNORM S 2100: Abfallkatalog. ICS 13.030.01.
- [65] Europäische Union: Entscheidung der Kommission vom 16. Januar 2001 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis (2001/118/EG). In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 47/1 vom 16.02.2001.
- [66] United States Patent and Trademark Office (2001): Vacuum Heat-Insulated Panel and Method for Producing the Same. Nishimoto, Y. (Erfinder). Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha (Anmelder). Veröffentlichungsnr. US 6266941 B1.
- [67] Europäisches Patentamt (2013): Method for recycling treatment of thermal insulating material and recycled article. Yuasa, A. (Erfinder). Panasonic Corporation (Anmelder). Veröffentlichungsnr.: EP 1527863 B1.

- [68] Untha Shredding Technology GmbH: How does a four-shaft shredder work? (Video). URL: <http://www.youtube.com/watch?v=aVkJ9VrH4o&list=UU3XSCCEaZp8yglwpJn-PTpQ&index=7>. Stand: 11.08.2013.
- [69] Försterling, G.(1979): Röntgenfluoreszenzanalyse. In: Handbuch Festkörperanalyse mit Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen. von O. Brümmer et al. (Hrsg.). Deutscher Verlag der Wissenschaften. Berlin.
- [70] Prechtel, T. (2012): Ausarbeitung des Vortrags "Röntgenfluoreszenzanalyse" : Anorganisch-chemisches Fortgeschrittenen-Praktikum. Betreuer: Prof. Dr. Tremel. Mainz.
- [71] Niedermayr, A. (AVE Timelkam) (2013): Telefongespräch mit Magdalena Prommegger am 27.06.2013.
- [72] Bonaldi, E. (Stena Italien) (2013): Email-Schriftverkehr an Magdalena Prommegger am 12.06.2013 und am 26.06.2013.
- [73] Fournier, F. (Veolia Frankreich) (2013): Email-Schriftverkehr an Magdalena Prommegger am 02.07.2013.

9.2 Abkürzungsverzeichnis

§	Paragraph
°C	Grad Celsius; Einheit für Temperatur
Abb.	Abbildung
AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie
AVAW	Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
bar	Bar; Einheit für Druck
BGBI.	Bundesgesetzblatt
CECED	Europäisches Komitee der Haushaltsgerätehersteller; vom Französischen: Conseil Européen de la Construction d'appareils Domestiques
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung
d.h.	das heißt
EAG	Elektro- und Elektronik-Altgerät(e/-s); steht für alle Fälle in Ein- und Mehrzahl
EDRFA	Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse
EERA	European Electronics Recycling Association
ElektroG	Elektrogesetz
EPS	expandiertes Polystyrol
EU	Europäische Union
EWC	Europäischer Abfallkatalog (vom Englischen European Waste Catalogue)
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
g	Gramm; Einheit für Masse
Gew.-%	Gewichtsprozent
GWP	Erderwärmungspotential (vom Englischen Global Warming Potential)
H-FCKW	teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
H-FKW	teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
J	Joule; Einheit für Energie
K	Kelvin; Einheit für Temperatur
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm; Einheit für Masse
KGG	Kühl- und Gefriergerät(e/-s); steht für alle Fälle in Ein- und Mehrzahl
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KW	Kohlenwasserstoffe
m	Meter; Einheit für Länge
MG	Materialgruppe
mm	Millimeter; Einheit für Länge
Nr.	Nummer
Pa	Pascal; Einheit für Druck
PU	Polyurethan
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
RL	Richtlinie
RoHS	vom Englischen für restriction of (the use of certain) hazardous substances; v. a. gemeinsam mit RoHS-Richtlinie verwendet

S.	Seite
s.	siehe
SENS	Stiftung Entsorgung Schweiz
SLRS	Stiftung Licht Recycling Schweiz
StF.	Stammfassung
SWICO	Schweizerischer Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
USG	Umweltschutzgesetz
usw.	und so weiter
v. a.	vor allem
VFC	flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe
VHC	flüchtige Kohlenwasserstoffe
VIP	Vakuuminisationspaneel(e/-s); steht für alle Fälle in Ein- und Mehrzahl
VIPH	VIP-Hersteller
VO	Verordnung
VOC	flüchtige organische Kohlenwasserstoffe
VREG	Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte
W	Watt; Einheit für Leistung
WDRFA	Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse
WEEE	Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Vom Englischen für Waste Electrical and Electronic Equipment); v. a. gemeinsam mit WEEE-Richtlinie verwendet
z.B.	zum Beispiel

9.3 Tabellen

Tabelle 1: Umsetzung der EU Gesetzgebung in Österreich und Deutschland	7
Tabelle 2: Relevante österreichische Gesetze	15
Tabelle 3: Relevante deutsche Gesetze	16
Tabelle 4: Relevante schweizerische Gesetze	17
Tabelle 5: Bestandteile einer mehrlagigen VIP-Hülle laut Angaben von VIPH-4.....	23
Tabelle 6: Aufbau von VIP unterschiedlicher Hersteller (anonymisiert).....	23
Tabelle 7: Auszug aus den Antworten des CECED auf den Fragebogen vom Sommer 2012	27
Tabelle 8: Einfluss der VIP-Position auf die Energieeffizienz des Kühlgeräts	27
Tabelle 9: Gewichtsanteil von VIP in KGG (Informationen vom CECED).....	28
Tabelle 10: Gewichtsanteil von VIP in KGG mit Schwankungsbreite (Information vom CECED)	28
Tabelle 11: Zusammenfassung der Angaben laut CECED zum Gewichtsanteil von VIP in KGG	30
Tabelle 12: Erhaltene Sicherheitsdatenblätter von Unternehmen	31
Tabelle 13: Sammelquoten von EAG in europäischen Ländern sortiert nach kg/Kopf (2010) [39], [40]	33
Tabelle 14: Entwicklung der gesammelten Kühl- und Gefriergeräte in Österreich (2006-2009) [41] ...	35
Tabelle 15: Wichtige Gesetzliche und normative Regelungen für die Kühlgeräteaufbereitung	41
Tabelle 16: Zusammensetzung eines FCKW-haltigen Kühlgeräts.....	49
Tabelle 17: Mittlere Zusammensetzung eines nordischen Kühlschranks [63].....	50
Tabelle 18: Theoretische Potentiale zur stofflichen bzw. thermischen Verwertung eines modernen Kühlschranks mit VIP (Berechnung).....	50
Tabelle 19: Theoretische Potentiale zur stofflichen bzw. thermischen Verwertung eines herkömmlichen Kühlschranks (Berechnung).....	51
Tabelle 20: Abfall-Input in die Aufbereitungsanlagen für Kühl- und Gefriergeräte	52
Tabelle 21: Abfall-Output aus Aufbereitungsanlagen für Kühl- und Gefriergeräte.....	53
Tabelle 22: Vorgeschlagene Schlüsselnummern für Vakuumisulationspaneele	54
Tabelle 23: Klassifizierung der untersuchten VIP Materialgruppen	58
Tabelle 24: Verwendete Geräte für den kleintechnischen Versuch	60
Tabelle 25: Ergebnisse für MG1 – MG5 für Siebanalysen der trockenen Materialien	64
Tabelle 26: Ergebnisse für MG1 – MG5 aus Siebanalysen der befeuchteten Materialien	65
Tabelle 27: Ergebnisse der RFA von MG1	69
Tabelle 28: Ergebnisse der RFA von MG2	71
Tabelle 29: Ergebnisse der RFA von MG3	73
Tabelle 30: Ergebnisse der RFA von MG4	75
Tabelle 31: Ergebnisse der RFA von MG5	77
Tabelle 32: Ergebnisse der RFA von MG6	78
Tabelle 33: Zusammenfassung der Hauptkomponenten der Materialgruppen 1 bis 6.....	79
Tabelle 34: In Frage kommende Anlagen für die großtechnischen Versuche.....	81
Tabelle 35: Berechnungen der nötigen VIP Mengen für AVE in Österreich.....	82
Tabelle 36: Berechnungen der nötigen VIP Mengen für STENA in Italien	83
Tabelle 37: Berechnungen der nötigen VIP Mengen für Veolia in Frankreich	83
Tabelle 38: Benötigte VIP-Mengen für die großtechnischen Versuche (erste Berechnung)	84
Tabelle 39: Benötigte VIP-Mengen für die großtechnischen Versuche (endgültige Berechnung).....	84
Tabelle 40: Eckdaten des großtechnischen Versuches in Timelkam	85

Tabelle 41: Eckdaten zum Versuch von MG1 in Timelkam	86
Tabelle 42: Eckdaten zum Versuch von MG2 in Timelkam	87
Tabelle 43: Eckdaten zum Versuch von MG3 in Timelkam	88
Tabelle 44: Eckdaten zum Versuch von MG4 in Timelkam	90
Tabelle 45: Zusammenfassung des Versuchs in Timelkam	91
Tabelle 46: Eckdaten des großtechnischen Versuches in Angers.....	92
Tabelle 47: Eckdaten zum Versuch von MG1 in Angers.....	93
Tabelle 48: Eckdaten zum Versuch von MG2 in Angers.....	94
Tabelle 49: Eckdaten zum Versuch von MG3 in Angers.....	94
Tabelle 50: Eckdaten zum Versuch von MG4 in Angers.....	95
Tabelle 51: Eckdaten zum Versuch von MG5 in Angers.....	96
Tabelle 52: Eckdaten zum Versuch von MG6 in Angers.....	96
Tabelle 53: Zusammenfassung des Versuchs in Angers.....	98
Tabelle 54: Eckdaten des großtechnischen Versuches in Angiari.....	99
Tabelle 55: Eckdaten zum Versuch von MG1 in Angiari	100
Tabelle 56: Eckdaten zum Versuch von MG3 in Angiari	101
Tabelle 57: Eckdaten zum Versuch von MG4 in Angiari	101
Tabelle 58: Eckdaten zum Versuch von MG5 in Angiari	102
Tabelle 59: Eckdaten zum Versuch von MG6 in Angiari	103
Tabelle 60: Eckdaten zum Versuch von MG2 in Angiari	103
Tabelle 61: Zusammenfassung des Versuchs in Angiari	105
Tabelle 62: Theoretische Verwertungs-/Recyclingquoten eines modernen Kühlschranks mit VIP	107
Tabelle 63: Theoretische Verwertungs-/Recyclingquoten eines herkömmlichen Kühlschranks ohne VIP	107
Tabelle 64: Grundlegende chemische Zusammensetzung der sechs Materialgruppen	109
Tabelle 65: Herausforderungen der Materialgruppen während der kleintechnischen Versuche	110
Tabelle 66: Gegenüberstellung der möglichen Verwertungs- und Recyclingquoten eines Kühlschranks mit und ohne VIP	111
Tabelle 67: Eckdaten des ersten großtechnischen Versuches in Timelkam (Österreich)	112
Tabelle 68: Eckdaten des zweiten großtechnischen Versuches in Angers (Frankreich)	112
Tabelle 69: Eckdaten des dritten großtechnischen Versuches in Angiari (Italien)	112
Tabelle 70: Zusammengefasste Eckdaten der großtechnischen Versuche	113

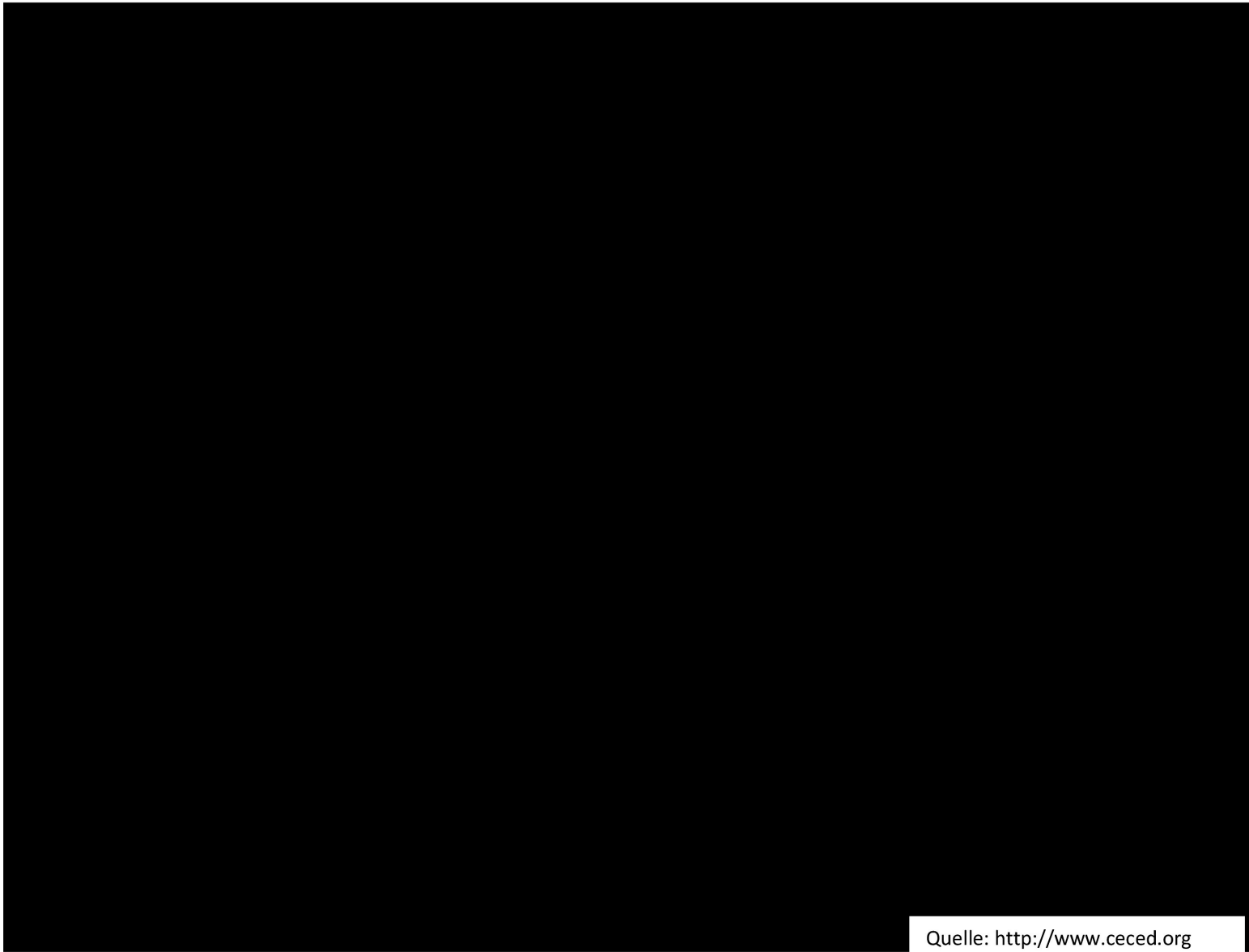
9.4 Abbildungen

Abbildung 1: Ziele der vorliegenden Masterarbeit.....	6
Abbildung 2: Fünfstufige Abfallhierarchie [14]	8
Abbildung 3: Geforderte Verwertungs- und Recyclingquote laut WEEE-RL 2002/96/EG.....	11
Abbildung 4: Symbol zur Kennzeichnung von Elektro- und Elektronikgeräten.....	12
Abbildung 5: Geforderte Verwertungs- und Recyclingquote ab 15.08.2015 laut WEEE-RL 2012/19/EU	13
Abbildung 6: Schema eines VIP von der Bauindustrie [31]	22
Abbildung 7: Grafische Darstellung der Dicke einzelner Komponenten einer VIP-Folie	23
Abbildung 8: Kreisdiagramm der Komponenten einer VIP-Folie bezogen auf den Gewichtsanteil	23
Abbildung 9: Unterschiedliche Materialgruppen von Vakuumisulationspaneelen.....	24
Abbildung 10: Vergleich von Wärmeleitfähigkeiten unterschiedlicher Isoliermaterialien [31].....	25
Abbildung 11: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Innendruck eines VIP [35].....	26
Abbildung 12: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Innendruck vier verschiedener Dämmmaterialien [30]	26
Abbildung 13: Gewichtsanteil von VIP in Kühlgeräten (basierend auf Daten vom CECED)	29
Abbildung 14: Gewichtsanteile von VIP in Kühlgeräten mit Schwankungsbreiten (basierend auf Daten vom CECED)	29
Abbildung 15: Massenbilanz eines A++ Kühlschranks	30
Abbildung 16: Auf den Markt gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte; gesammelte, wiederverwendete/verwertete EAG in Europa in kg/Kopf (2010) [38]	32
Abbildung 17: Sammelquoten von EAG in europäischen Ländern in kg/Kopf (2010) [39]	34
Abbildung 18: Gewichtsprozent der Haushaltsgroßgeräte bezogen auf EAG gesamt in Europa (2010; aus Daten von [39])	35
Abbildung 19: Verlauf des Anteils der gesammelten KGG bezogen auf EAG in Österreich (2006-2009; aus Daten von [41])	36
Abbildung 20: Verlauf des Anteils der Kat.1-Geräte bezogen auf EAG in Deutschland (2006-2010; aus Daten von [43])	37
Abbildung 21: Verlauf des Anteils der Abholungen von EAG in Deutschland (2006-2012; aus Daten von [44])	37
Abbildung 22: Verlauf des Anteils der gesammelten KGG bezogen auf EAG in der Schweiz (2006- 2011; aus Daten von [45])	38
Abbildung 23: Übersicht der Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten in Österreich (2006) [55]	43
Abbildung 24: Darstellung einer Rotorschere [57]	45
Abbildung 25: Kette (1) und schematische Darstellung (2) eines Querstromzerpaners [59], [60]	46
Abbildung 26: Vereinfachtes Fließbild einer derzeit üblichen Kühlgeräteaufbereitungsanlage	48
Abbildung 27: Möglichkeit um VIP zu recyceln [66]	55
Abbildung 28: Methode um Kühlschränke zu recyceln und recyceltes Vakuumisulationsmaterial herzustellen [67]	56
Abbildung 29: Methode um Isolationsmaterial von VIP zu recyceln [67]	57
Abbildung 30: Vierwellen-Zerkleinerer	59
Abbildung 31: Vierwellen-Zerkleinerer von oben.....	59
Abbildung 32: Hauptrotoren (1), Sekundärrotoren (2) und Sieb eines Vierwellen-Zerkleinerers [68] ..	60
Abbildung 33: Input und Output des Materials „papierartig“ (MG1).....	61
Abbildung 34: Staubentwicklung von MG2.....	61

Abbildung 35: Input und Output des Materials „weißes Vlies“ (MG2).....	61
Abbildung 36: Input und Output des Materials „glaswollartig“ (MG3)	62
Abbildung 37: Input und Output des Materials „graues Pulver“ (MG4).....	62
Abbildung 38: Input und Output des Materials „graues Pulver“ (MG5).....	62
Abbildung 39: Input und Output des Materials „schwarzes Pulver“ (MG6)	63
Abbildung 40: Siebturm auf Schüttler.....	64
Abbildung 41: Verwendete Kugelmühle der Firma Retsch (Modell S 1000)	65
Abbildung 42: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG1 (trocken und befeuchtet)	68
Abbildung 43: Siebanalyse von MG1	69
Abbildung 44: Korngrößenverteilung von MG1	69
Abbildung 45: Unbehandelte und gemahlene MG1	69
Abbildung 46: Chemische Zusammensetzung von MG1.....	69
Abbildung 47: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG2 (trocken und befeuchtet)	70
Abbildung 48: Siebanalyse von MG2	71
Abbildung 49: Korngrößenverteilung von MG2	71
Abbildung 50: Unbehandelte und gemahlene MG2	71
Abbildung 51: Chemische Zusammensetzung von MG2.....	71
Abbildung 52: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG3 (trocken und befeuchtet)	72
Abbildung 53: Siebanalyse von MG3	73
Abbildung 54: Korngrößenverteilung von MG3	73
Abbildung 55: Schritte von unbehandelter zu gemahlener MG3.....	73
Abbildung 56: Chemische Zusammensetzung von MG3.....	73
Abbildung 57: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG4 (trocken und befeuchtet)	74
Abbildung 58: Siebanalyse von MG4	75
Abbildung 59: Korngrößenanalyse von MG4	75
Abbildung 60: Unbehandelte und gemahlene MG4.....	75
Abbildung 61: Chemische Zusammensetzung von MG4.....	75
Abbildung 62: Zusammenfassende Ergebnisse der Siebanalysen von MG5 (trocken und befeuchtet)	76
Abbildung 63: Serie der Siebanalyse von MG5.....	77
Abbildung 64: Korngrößenverteilung von MG5	77
Abbildung 65: Kernmaterial von MG5	77
Abbildung 66: Chemische Zusammensetzung von MG5.....	77
Abbildung 67: Kernmaterial von MG6	78
Abbildung 68: Chemische Zusammensetzung von MG6.....	78
Abbildung 69: Paneele der Materialgruppe 1 (Timelkam).....	86
Abbildung 70: Befüllen der Kühlschränke mit Paneelen in Aufgabe-Halle	86
Abbildung 71: Metallische Fraktion	86
Abbildung 72: Kunststofffraktion	86
Abbildung 73: Paneele der Materialgruppe 2 (Timelkam).....	87
Abbildung 74: Paneele der Materialgruppe 3 (Timelkam).....	87
Abbildung 75: Öffnen der Klappe zum Schneckenaus trag (3 Bilder).....	88
Abbildung 76: PU-Fraktion vermischt mit VIP-Material.....	88
Abbildung 77: Paneele der Materialgruppe 4 (Timelkam).....	89
Abbildung 78: Staubentwicklung in Aufgabe-Halle	89

Abbildung 79: Staubentwicklung in der Halle der Output-Materialien	89
Abbildung 80: Anhaftungen am Papierfilter	90
Abbildung 81: Ablagerungen im Zulaufschlauch	90
Abbildung 82: Paneele der Materialgruppe 5 (Timelkam)	90
Abbildung 83: Paneele der Materialgruppe 6 (Timelkam)	90
Abbildung 84: Schematische Darstellung zum Gewebefilter (Filter 1) direkt nach dem QZ	93
Abbildung 85: Paneele der Materialgruppe 1 (Angers)	93
Abbildung 86: Paneele der Materialgruppe 2 (Angers)	94
Abbildung 87: Paneele der Materialgruppe 3 (Angers)	94
Abbildung 88: Paneele der materialgruppe 4 (Angers)	95
Abbildung 89: Paneele der Materialgruppe 5 (Angers)	95
Abbildung 90: Paneele der Materialgruppe 6 (Angers)	96
Abbildung 91: Differenzdruckmessung bei Filter 1 während des Versuches in Angers (rote Linien: Mittelwerte).....	97
Abbildung 92: Nichteisen-Fraktion (Angers)	97
Abbildung 93: Paneele der Materialgruppe 1 (Angiari)	100
Abbildung 94: Befüllte Geräte mit MG1-Paneelen (Angiari).....	100
Abbildung 95: Paneele von Materialgruppe 3 (Angiari).....	100
Abbildung 96: Befüllte Geräte mit MG3-Paneelen (Angiari).....	100
Abbildung 97: Paneele der Materialgruppe 4 (Angiari)	101
Abbildung 98: Paneele der Materialgruppe 5 (Angiari)	102
Abbildung 99: Paneele der Materialgruppe 6 (Angiari)	102
Abbildung 100: Staubentwicklung in Anlage während Zerkleinerung von MG4, MG5, MG6 (3 Bilder)	104
Abbildung 101: Staub im Anlagengebäude (Aufnahme mit Blitz)	104
Abbildung 102: Beladung des Filters direkt nach dem Zerkleinerer.....	104
Abbildung 103: PU-Fraktion gemischt mit VIP-Materialien (1: Schichtprofil, 2: Inneres des PU-Silos)	105

I. Anhang – Struktur des CECED



Quelle: <http://www.ceed.org>

II. Anhang – Fragebogen an CECED vom 29.06.2012

List of needed information from the household appliance producers:

1. VIPs already installed in cooling and freezing appliances?
2. list of appliances containing VIPs ordered by energy efficiency classes
3. amount of sold appliances containing VIPs
4. estimated effective life time of these appliances
5. mass balance of cooling and freezing appliances containing VIPs
6. company's supplier(s) of VIPs and VIPs' product names
7. technical characteristics of VIPs compared to the conventional PU-foams
8. health & safety data sheets of VIPs and the material composition (mass percentage) of VIPs
9. investigations in new "eco-designs" concerning the specific recycling rates by EU
10. recycling companies and contact person
11. reports on recycling of cooling and freezing appliances

Fully formulated questions according to the list above:

1. Does your company already work with VIPs (vacuum insulation panels) concerning cooling and freezing appliances?
2. In which types of cooling and freezing appliances (energy efficiency class) are the VIPs installed?
3. How many cooling and freezing appliances containing VIPs do you sell per year?
4. What is the estimated effective life time of these appliances?
5. What is the composition of your cooling and freezing appliances regarding their mass balance?
6. Who are your VIPs supplier(s) and what are the product names?
7. What are the technical characteristics of VIPs compared to the conventional PU-foams?
8. According to the VIPs, are there any health & safety data sheets and documents on material composition available?
9. Does your company make investigations in new "eco-designs" concerning the specific recycling rates by EU?
10. Which recycling companies does your company work with? Who is the contact person for further information?
11. Do you have some reports /studies on recycling of cooling and freezing appliances in different countries in Europe?

III. Anhang – Vereinheitlichtes Sicherheitsdatenblatt

1. Identification of the substance/preparation and company

1.1 Name of substance/preparation

Commercial product name: Vacuum Insulation Panels

1.2 Use of substance / preparation

Industrial

Thermal insulation

1.3 Company name/Manufacturer(s)

1.4 Emergency telephone number

Emergency Information (Austria):
Office for Emergency Measures +43/(0) 1/4000-75222

Emergency Information (German):
plant fire brigade +49/(0) 8677/83-2222

Emergency Information (internat.):
National Response Center +49/(0) 621/60-43333

2. Hazards identification

2.1 Classification

This product is a non-combustible, non-reactive solid material. Exposure to glass powder or dust released as a consequence of damage to the core materials of Vacuum Insulation Panels (VIPs) may cause mechanical irritation to eyes, skin or upper respiratory tract. Purely mechanical irritation, however, in Europe is not considered a health hazard in accordance with the European Directives 67/548/EEC. This is confirmed by the fact that EC Directive 97/69/EC for fibres does not stipulate the need to use an Xi (irritant) label nor a classification.

There are no known hazards associated with the handling or use of this insulation. Amorphous silica has a drying action on skin.

Dust produced from core insulation may, like any other dust, aggravate pre-existing upper respiratory and lung diseases.

Exposure of the panels to high temperatures, however, will result in the emission of smoke, and decomposition/combustion products.

2.2 Further Information

Owing to the length: diameter ratio, the fibres cannot enter the lungs (drawn continuous filament with diameter >6 µm according to Directive 67/548/EWG Note R & Directive 97/69/EC Note Q).

3. Composition/information on ingredients

3.1 Chemical characterization (substance)

Chemical Name	CAS-Number	EC Number	%
Amorphous silica	112945-52-5	31-545-4	50 to 100%
Calcium silicate	1344-95-2	235-336-9	

4. First-aid measures

4.1 General information:

In case of accident or if you feel unwell seek medical advice (show label or SDS where possible).

4.2 After inhalation

Provide fresh air.

4.3 After contact with the skin

Rinse affected areas with water, taking care not to scratch or rub. Seek medical attention if irritation persists.

4.4 After contact with the eyes

Flush immediately with copious amounts of water. Do not rub eyes. Seek medical attention if irritation persists.

4.5 After swallowing

In the event of suspected problems, seek medical attention.

5. Fire-fighting measures

Product does not burn. Use extinguishing measures appropriate to the source of the fire.

5.1 Suitable extinguishing media

not applicable

5.2 Extinguishing media which must not be used for safety reasons

not applicable

5.3 Special exposure hazards arising from the substance or preparation itself, combustion products, resulting gases

not applicable

5.4 Special protective equipment for fire fighting

not applicable

6. Accidental release measures

6.1 Personal precautions

Avoid dust formation. Do not breathe dust. Wear personal protection equipment

6.2 Environmental precautions

Cover any spilled material in accordance with regulations to prevent dispersal by wind.

6.3 Methods for cleaning up

Damp down dust and fill into containers.

7. Handling and storage

7.1 Handling

Avoid dust formation.

Electrostatic discharge is possible during transport and processing. Take precautionary measures against electrostatic charging. Ensure all parts of equipment are well earthed. Use inert gas when working with combustible and explosive liquids. Avoid dust deposit, remove dust regularly.

7.2 Storage

Should be stored in dry conditions. Store in a cool, dry, ventilated area away from sources of heat, moisture and incompatibilities. Protect product from physical damage.

Protect from weather and prevent exposure to sustained moisture.

8. Exposure controls and personal protection equipment

8.1 Exposure limits

UK “EH 40/02 Occupational Exposure Limits 2002”

Published by the Health and Safety Executive

TOTAL INHALABLE DUST		RESPIRABLE DUST	
(8-hour time weighted average reference period)			
Amorphous silica	6 mg/m ³ [OES]	Amorphous silica	2.4 mg/m ³ [OES]
Silicon carbide	10 mg/m ³ [OES]	Silicon carbide	4 mg/m ³ [OES]

[OES]...Occupational Exposure Standard

GERMANY: “List of MAK Values” for maximum concentrations at the Workplace.

TOTAL INHALABLE DUST		RESPIRABLE DUST	
(8-hour time weighted average reference period)			
Amorphous silica	4 mg/m ³	Silicon carbide	1.5 mg/m ³
General dust limit	10 mg/m ³	General dust limit	3 mg/m ³

CAS-Nr. (Amorphous silica) 7631-86-9 and 112945-52-5

EG-Nr. (Amorphous silica) 231-545-4

8.2 Exposure limited and controlled

8.3 Exposure in the work place limited and controlled

General protection and hygiene

Measures: Do not breathe dust. Do not eat, drink or smoke when handling. Application of skin cream recommended to ensure optimum protection of skin.

Personal protection equipment Respiratory

Protection: In case of dust formation: fine dust mask without protection rating.

Hand protection Recommendation: rubber gloves

Eye protection Recommendation: protective goggles

Skin protection antistatic working shoes

9. Physical and chemical properties

9.1 General Information

Physical state / form: solid – powder /
white cloth covered panels /
silvery film

Colour: white /
black powder (inside) /
grey powder

Odour: odourless /
neutral

9.2 Important information about the protection of health, safety and the environment Method

Melting point / melting range:	core: 1700 °C / > 1200°C film: 150°C
Boiling point / boiling range:	not applicable
Flash point:	not applicable (on core) film: building material B3
Ignition temperature:	not applicable/ 350°C / > 150°C
Lower explosion limit (LEL):	not applicable
Vapour pressure:	not applicable
Density:	approx. 2,2 g/cm ³ at 20 °C (DIN 51757)
Bulk density:	20 - 130 kg/m ³ / 140 – 210 kg/m ³
Water solubility/miscibility:	virtually insoluble at 20 °C
pH-Value:	3,6 - 4,5 (DIN EN ISO 787-9) / 4,2 – 4,3 at 20°C
Viscosity (dynamic):	not applicable

10. Stability and reactivity

10.1 General Information

If stored and handled in accordance with standard industrial practices no hazardous reactions are known.

10.2 Conditions to avoid

None known

10.3 Materials to avoid

None known

10.4 Hazardous decomposition products

If stored and handled in accordance with standard industrial practices and local regulations where applicable: none known.

The Barrier film used to encapsulate VIPs 'core material will begin to decompose at approximately 150. The thermal decomposition products will vary with temperature and oxygen availability, but could include carbon monoxide.

11. Toxicological information

11.1 General information

According to our present state of knowledge no damaging effect expected when treated in accordance with standard industrial practices and local regulations where applicable.

11.2 Toxicological tests

EXPOSITION	VALUE/VALUE RANGE	SPECIES	SOURCE
oral	5000 mg/kg rat	rat (Limit Test)	literature
dermal	> 5000	rabbit (Limit Test)	literature
by inhalation	> 0,139 mg/l/4h	rat (Limit Test)	literature

EXPOSITION	EFFECT	SPECIES/TESTSYSTEM	SOURCE
To skin	Not irritating	Rabbit	literature
To eyes	Not irritating	Rabbit	literature

11.3 Experience with man

By handling the product for many years no damage to health was observed.

12. Ecological information**12.1 Eco toxicity**

SPECIES	TEST METHOD	EXP. TIME	RESULT	SOURCE
Daphnia magna	acute	24 h	> 10000 mg/l (EC50)	literature
zebra fish (Brachydanio rerio)	acute	96 h	> 10000 mg/l (LC50)	literature

No expected damaging effects to aquatic organisms.

According to current knowledge adverse effects on water purification plants are not expected.

It can remove mechanically from waste water.

12.2 Mobility

-

12.3 Persistence and degradability

Biodegradation / further information: Not applicable

Further information: Insoluble in water

12.4 Bio-accumulation potential

No adverse effects expected

12.5 Other harmful effects

-

12.6 Additional information

General information: Insoluble in water

13. Disposal considerations

13.1 Material

Can be disposed of with domestic waste, observe local/state/federal regulations

13.2 Uncleaned packing

Completely discharge containers (no tear drops, no powder rest, scraped carefully). Containers may be recycled or re-used. Observe local/state/federal regulations.

14. Transport information

14.1 Land transport ADR and RID

Road ADR: Not regulated for transport

Railway RID: Not regulated for transport

14.2 Transport by sea IMDG-Code

Not regulated for transport

14.3 Air transport ICAO-TI/IATA-DGR

Not regulated for transport

15. Regulatory information

15.1 Warning Label (EC)

The product is not dangerous, defined by the Chemical law or Hazardous Substances Ordinance.

15.2 National regulations

National and local regulations must be observed.

15.3 Other international regulations

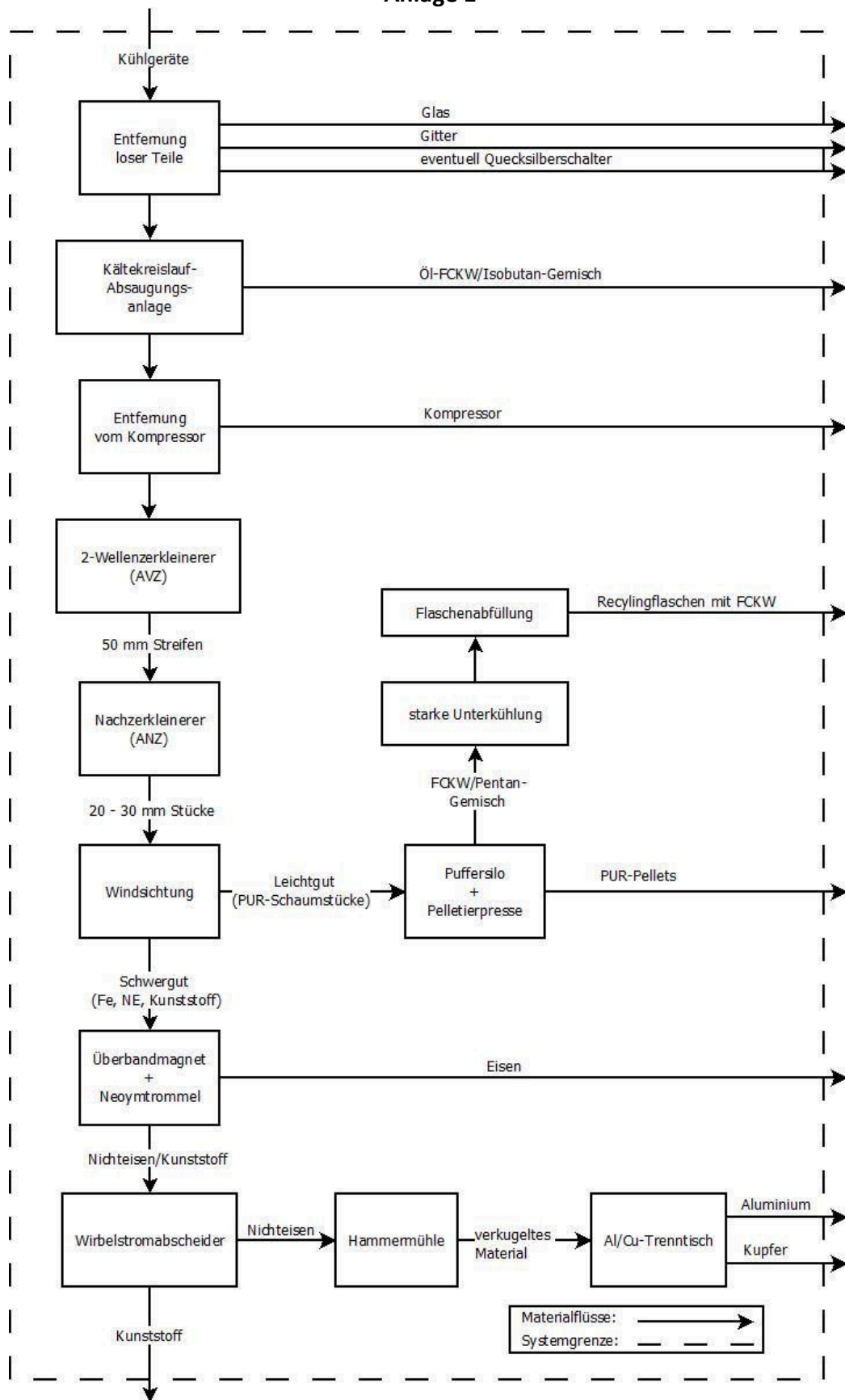
16. Other information

16.1 Material

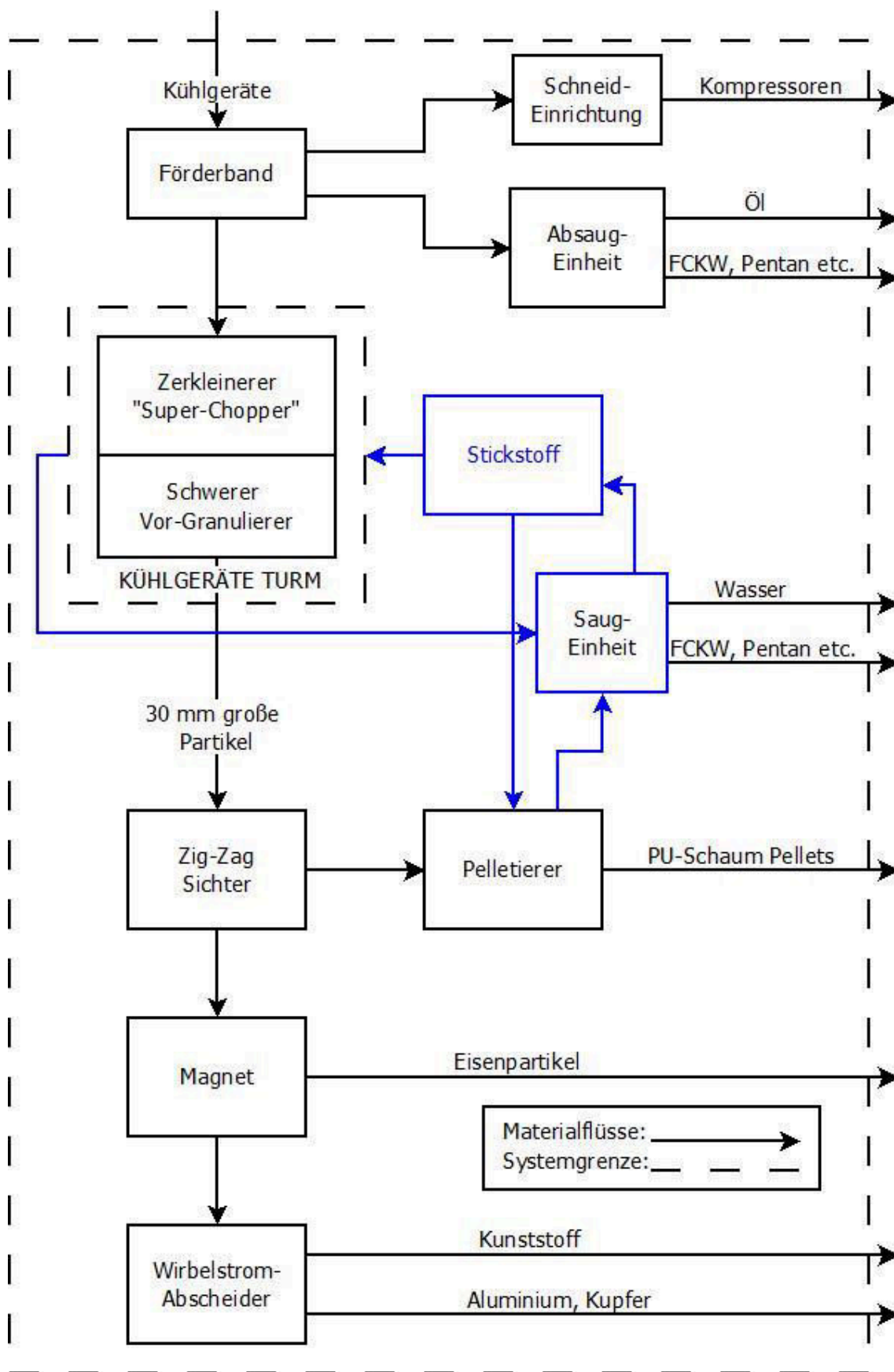
16.2 Further information

IV. Anhang – Anlagenfließbilder

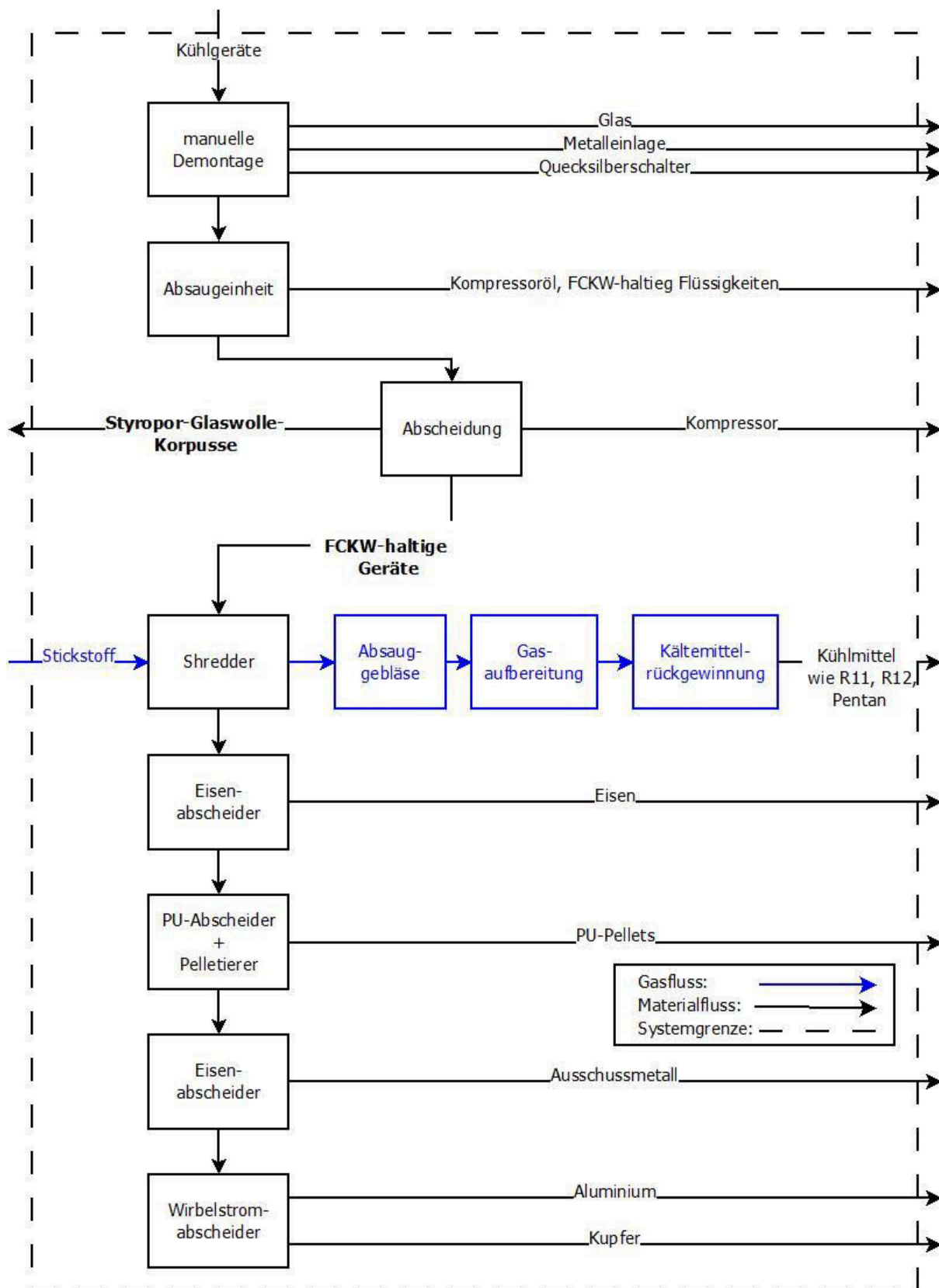
Anlage 1



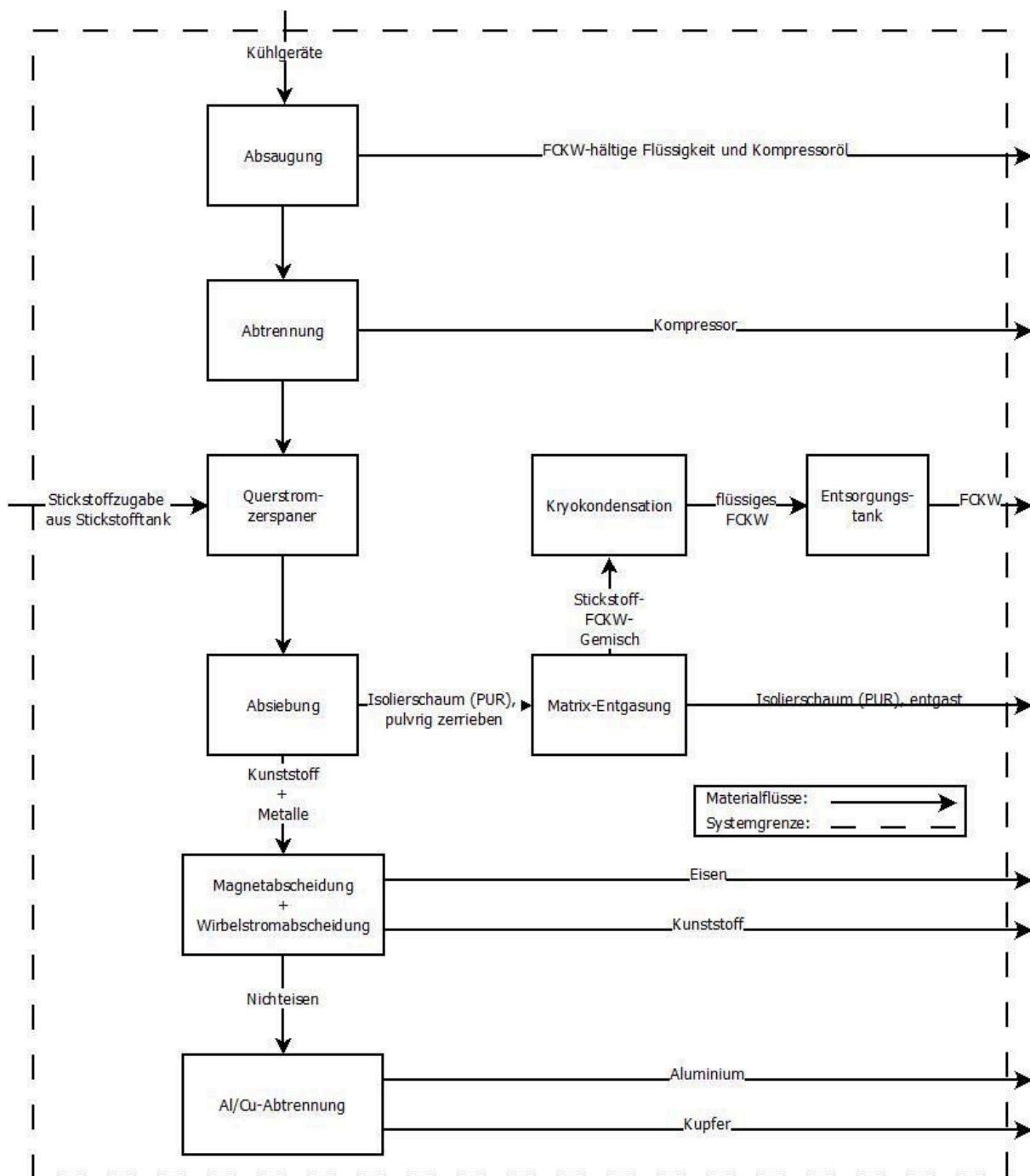
Anlage 2



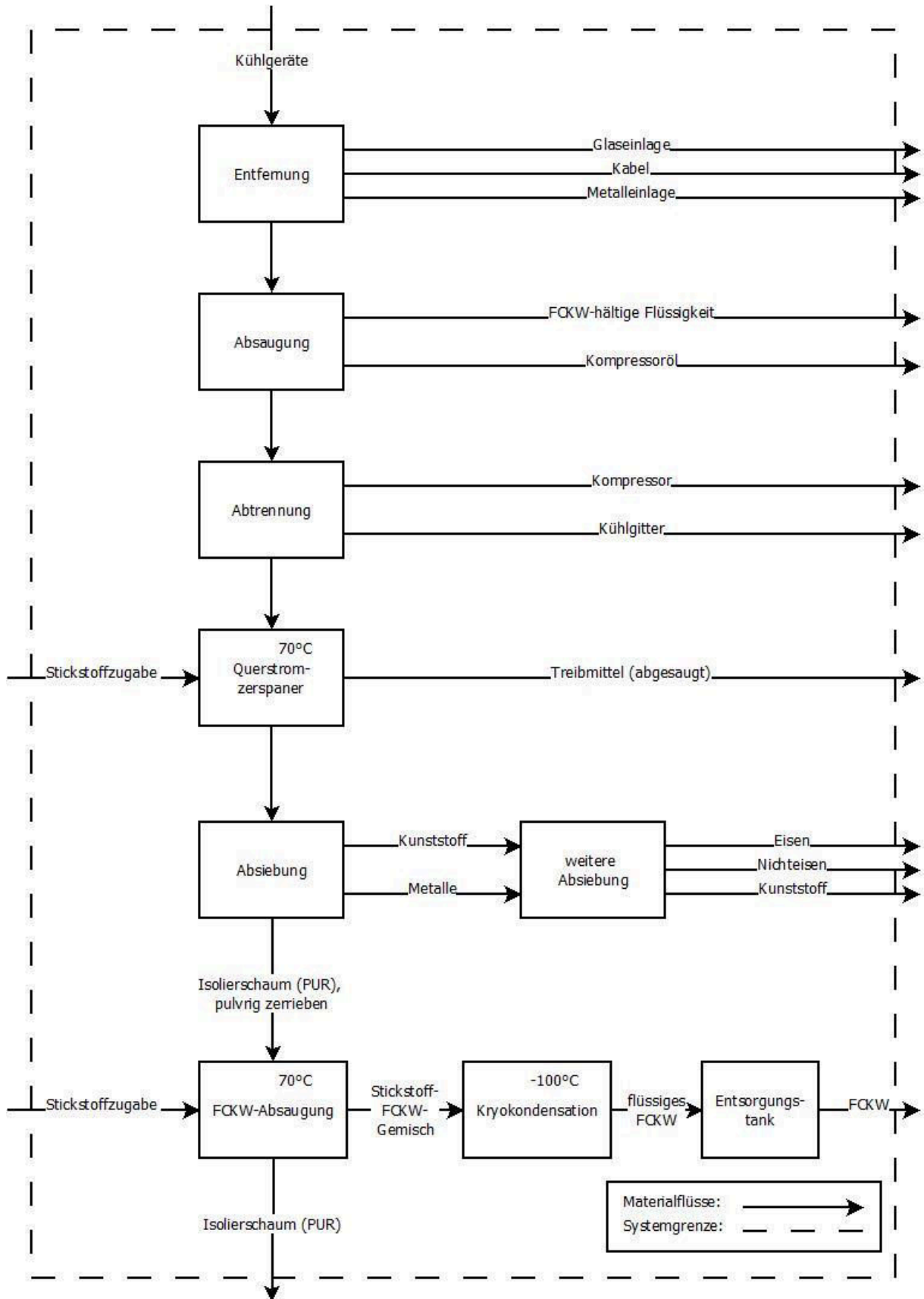
Anlage 3



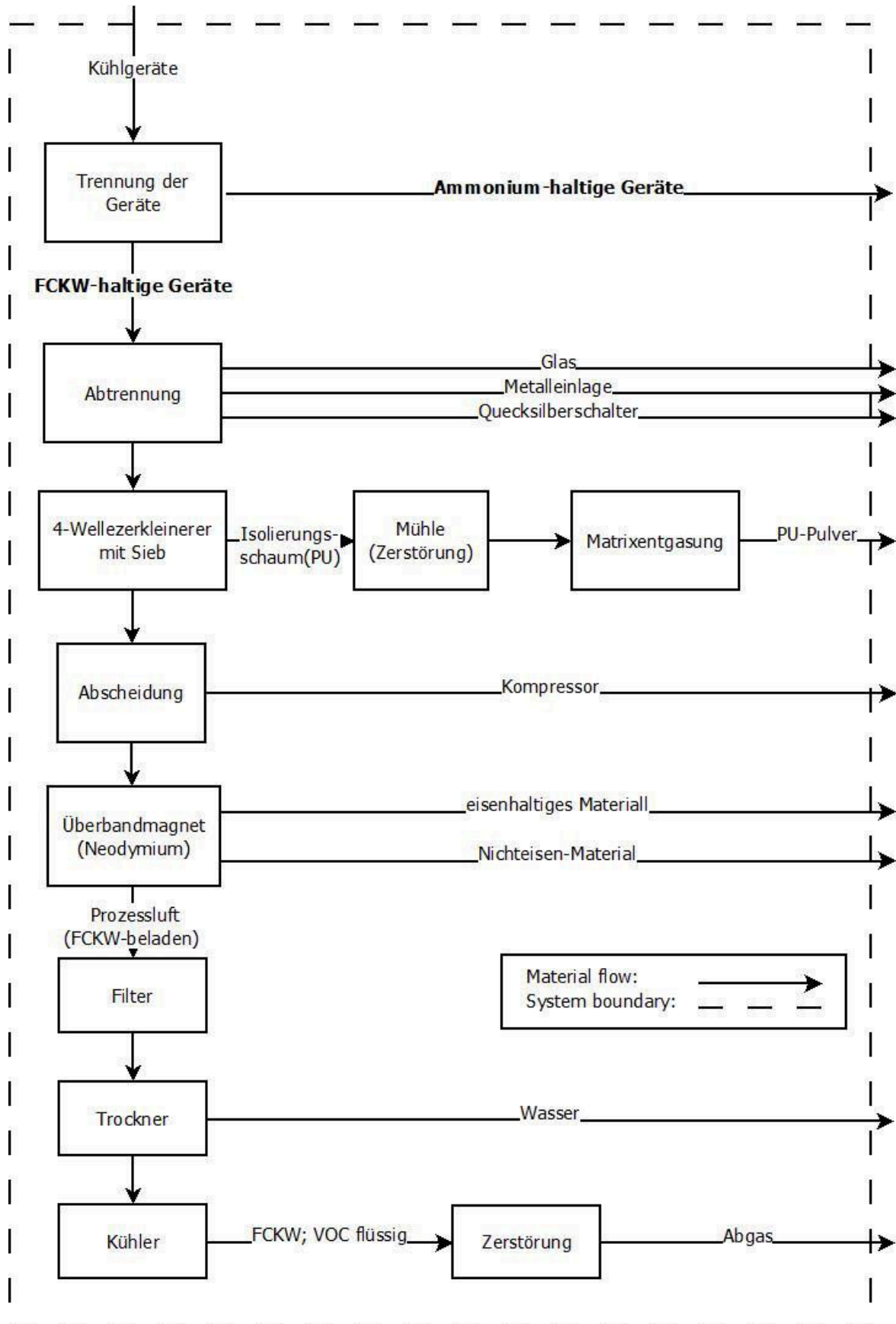
Anlage 4



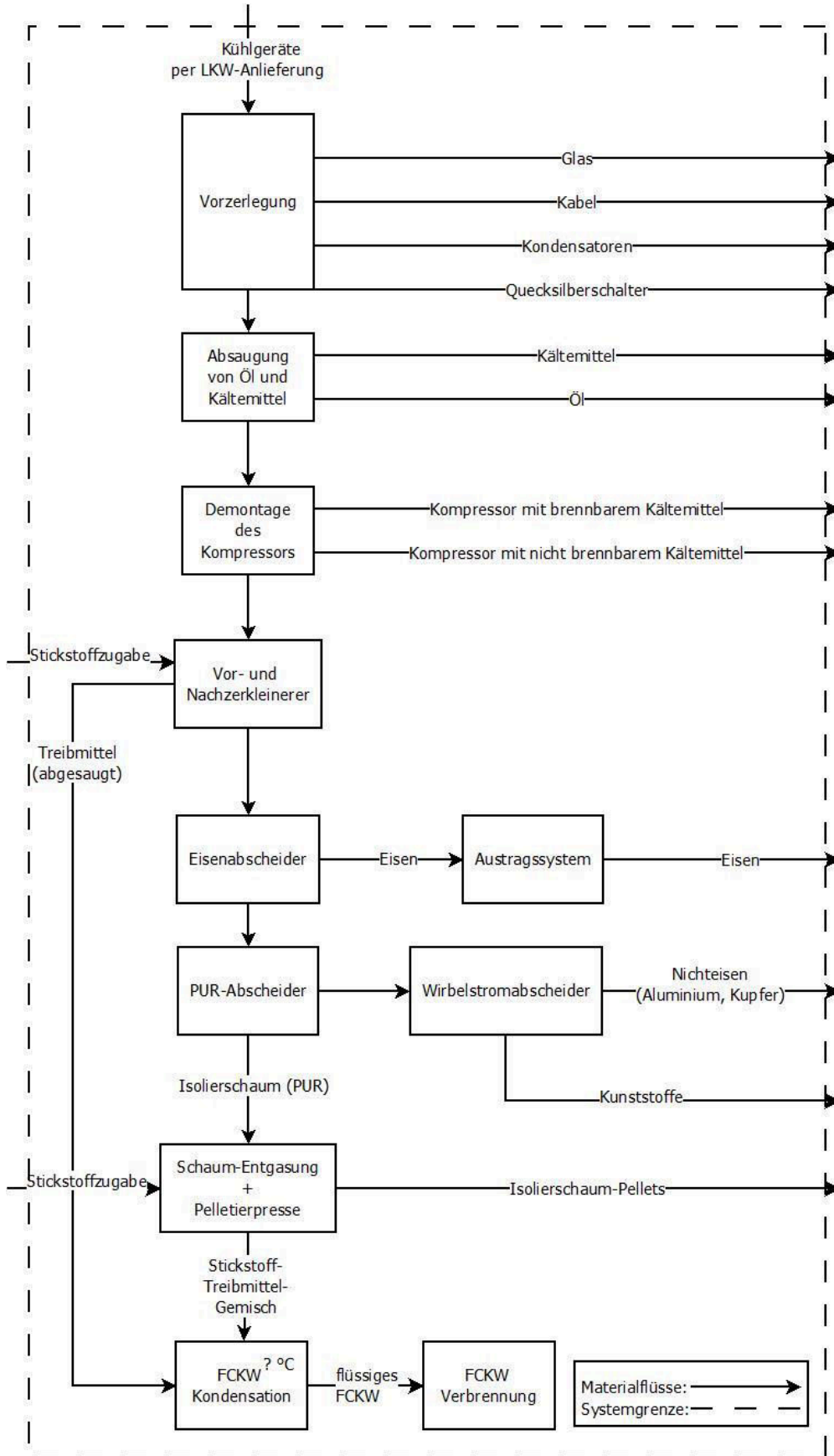
Anlage 5



Anlage 6



Anlage 7

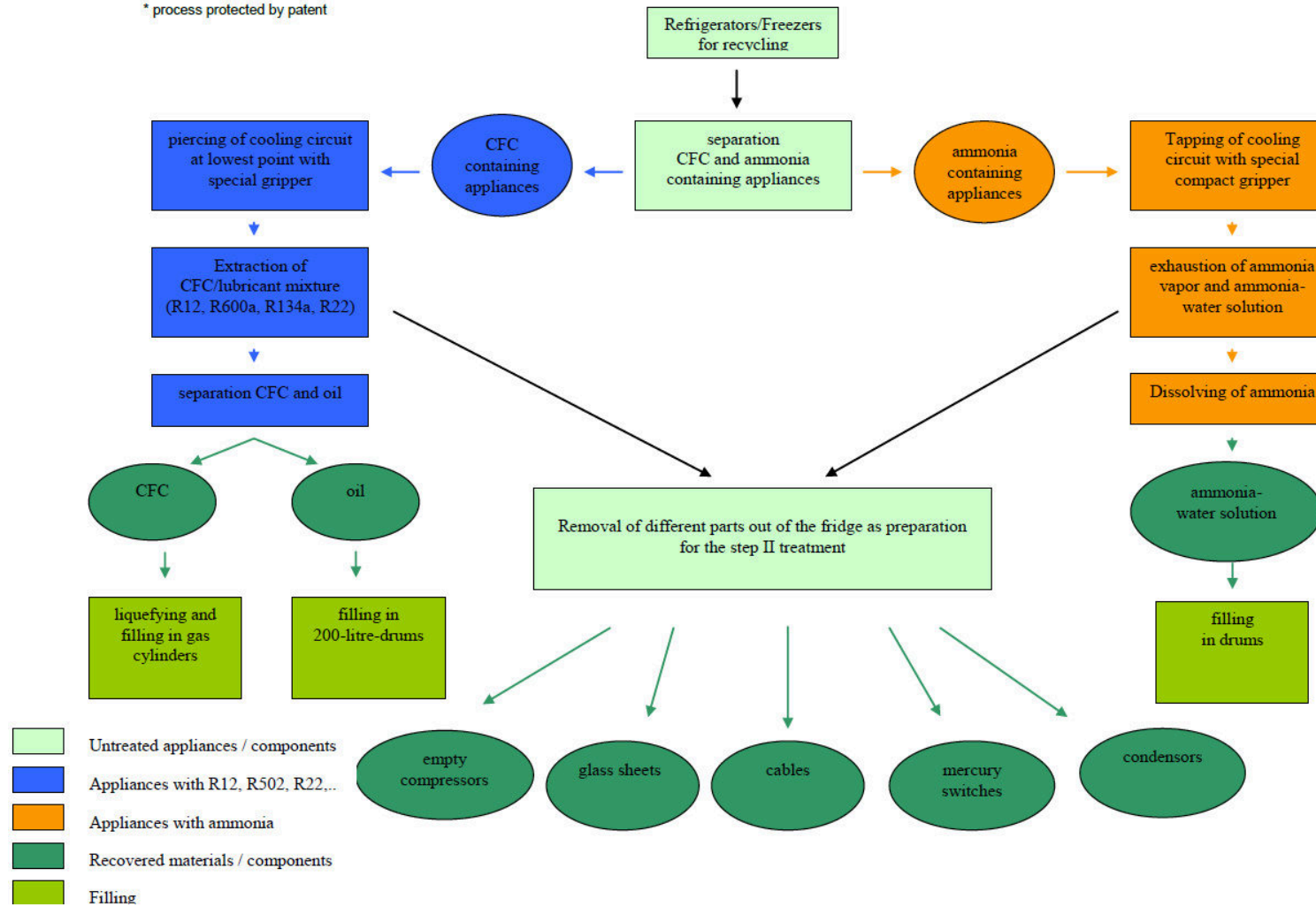


Fließbild von AVE Österreich GmbH in Timelkam (SEG Technologie, Teil 1)



Pretreatment step I according to the SEG system: process flow sheet*

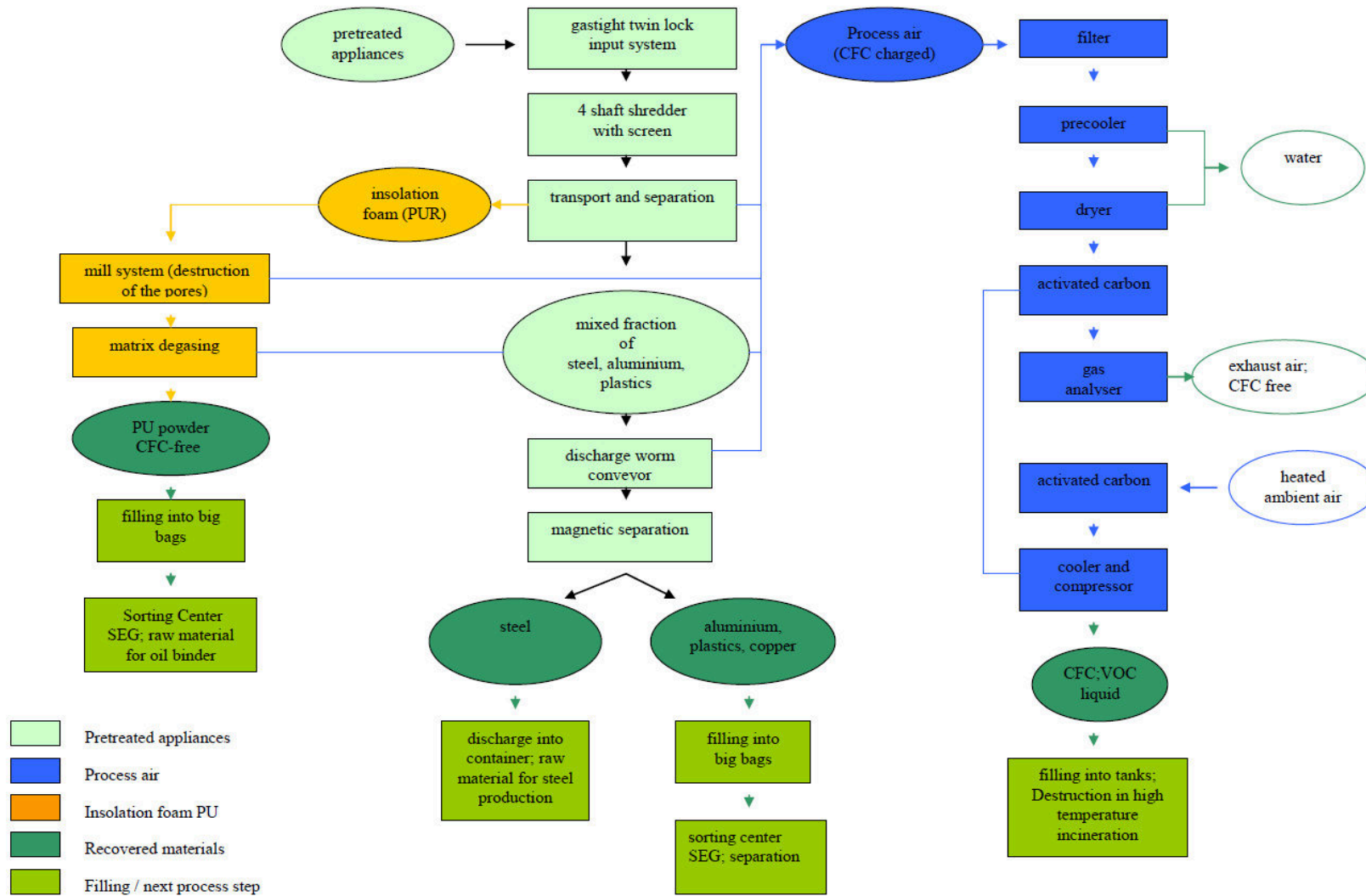
* process protected by patent



Fließbild von AVE Österreich GmbH in Timelkam (SEG Technologie, Teil 2)

Final treatment step II according to the SEG system: process flow sheet*

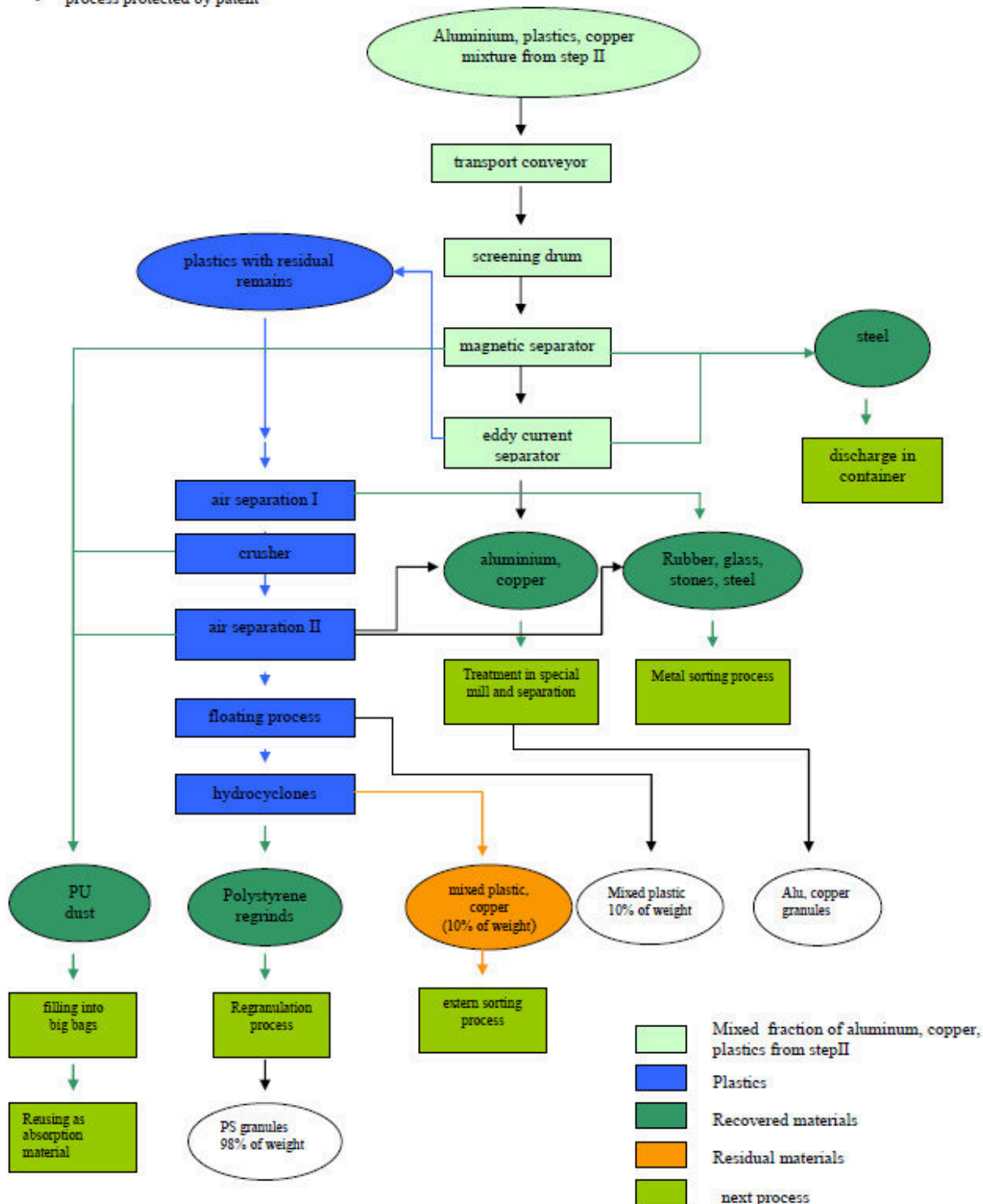
* process protected by patent



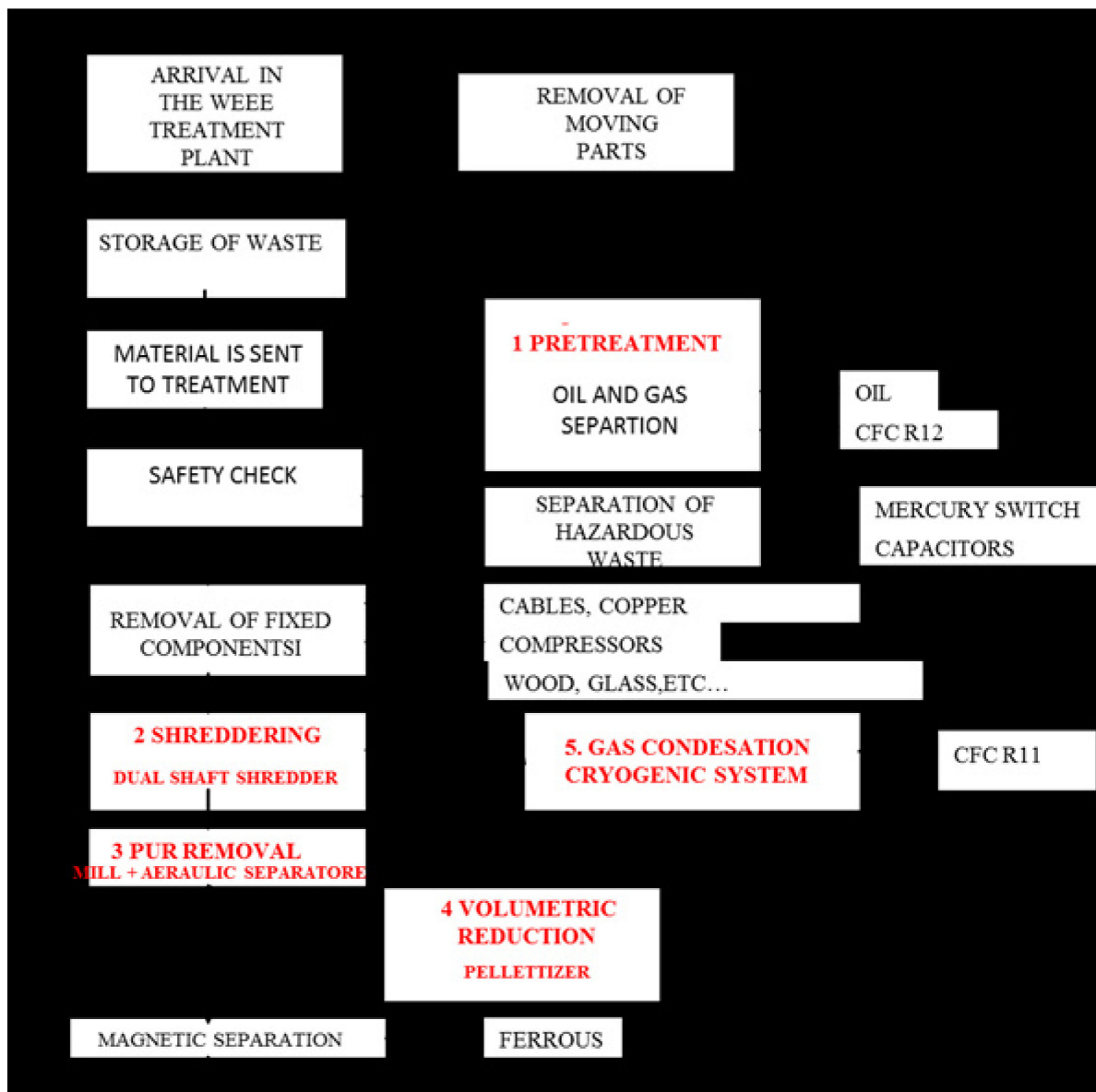
Fließbild von AVE Österreich GmbH in Timelkam (SEG Technologie, Teil 3)

Sorting plant according to the SEG system (step III): Prozess flow sheet*

* process protected by patent



Fließbild von STENA in Angiari



Fließbild von Veolia in Angers (Teil 1)

Treatment of Cooling and Freezing equipment (Fridges, AC...)

1 2 3 Phase I : « pretreatment »

- ✓ Allows to extract cooling fluid from the cooling circuit:
 - Extraction easy removable components (crisprs, glass shelves ...);
 - Draining of coolant with vacuum pump (recovery of oil and gas R12, R22, R502, R134 and R600 A);
 - Separation of cooling (gas and oil) by ultrasound;
 - Storage of oil and gas pressurization in tank for reprocessing;
 - Dismantling of the fully depolluted compressor.

4 to 9 Phase II : « treatment »

- ✓ The automated unit is under inert nitrogen:
 - Dissociates foams, plastics and metals using a disintegrator chain;
 - Releases of most of the CFCs in foams through an initial rise in temperature (up to 70 °);
 - Separates the foam from other residues;
 - Extract residues CFCs in foams by a second temperature elevation (up to 140 °).

VEOLIA made the choice to invest in cutting-edge technologies

CFC recycling rate **99,4 %**

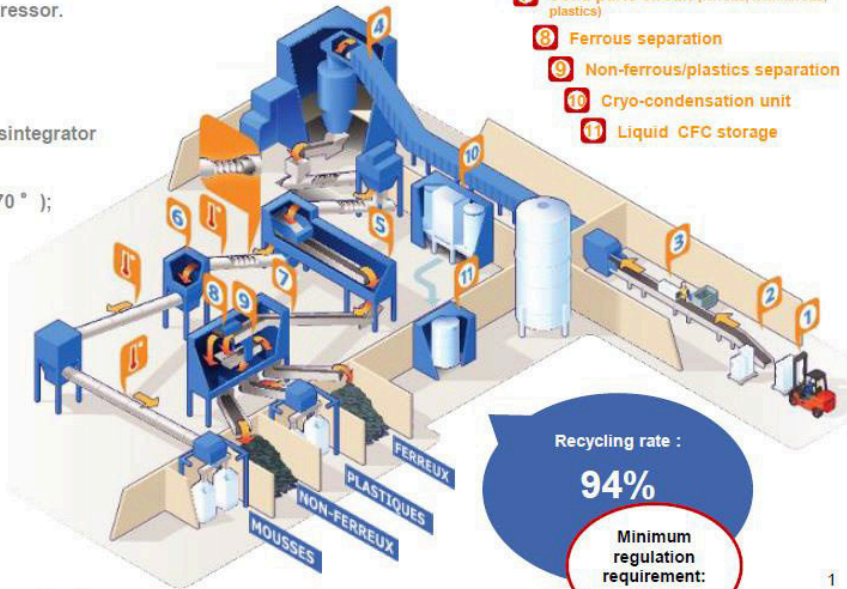
Note

70 to 80% of the total amount of CFCs in Cooling and Freezing equipments are contained in the polyurethane foam used for insulation of the structure

10 11 Phase III : « Packaging »

- ✓ The automated unit:
 - Cool down foams with nitrogen and store it in big bags;
 - Sort reusable materials according to their category;
 - Store CFCs in pressurized tanks after cryo-condensation at -160 °

- 1 Reception / weight /unloading
- 2 Feeding
- 3 Dismantling / manual depollution
- 4 Crusher (inerted zone)
- 5 Foam/solid parts separator
- 6 Foam circuit (CFC gas capture)
- 7 Solid parts circuit (ferrous, non-ferrous, plastics)
- 8 Ferrous separation
- 9 Non-ferrous/plastics separation
- 10 Cryo-condensation unit
- 11 Liquid CFC storage

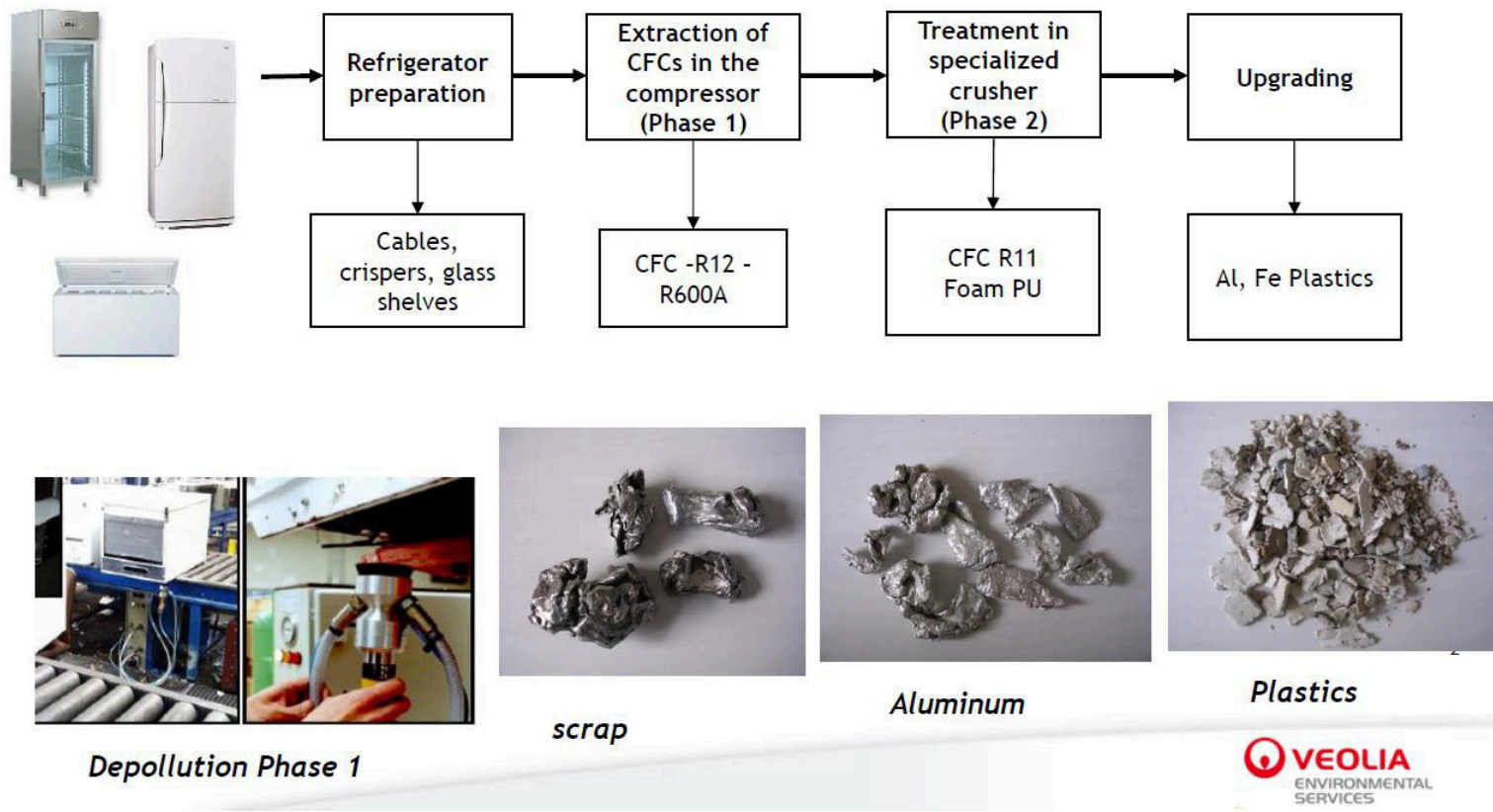


Recycling rate : **94%**
Minimum regulation requirement: 80 %



Fließbild von Veolia in Angers (Teil 2)

Treatment of Cooling and Freezing equipment : block flow



V. Anhang – Prüfberichte der chemischen Analysen



DEPARTMENT FÜR UMWELT- UND ENERGIEVERFAHRENSTECHNIK
 Montanuniversität Leoben <http://iae.unileoben.ac.at/>
 Franz-Josef-Straße 18 A-8700 Leoben
 Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft / Lehrstuhl für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Akkreditiertes Labor nach ISO 17025



Prüfbericht

Probennummer: 0126-13-00 **Probendatum:** 20.03.2013
Auftraggeber: Montanuniversität Leoben
 LS für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Franz-Josef-Straße 18
 8700 Leoben **Probenkonservierung:** keine
Probennahme: durch Kunden
Kundenbezeichnung: Probe1/ graues Pulver **Probenvorbereitung:** keine
Eingegangen von: DI Sarc **Probenaufbereitung:** durch Kunden
Probenzustand: Pulver <0,5 mm in der Kunststoffflasche **Beurteilung nach:** keine

Bemerkung:

Parameter	Kurzbez.	Messwert	Einheit	Analysendatum	Best. Grenze	Norm	
Röntgenfluoreszenzanalyse	RFA	siehe Anhang	-	21.03.2013	-	-	nicht akkreditiertes Verfahren, Unterauftrag
Aschegehalt von festen Brennstoffen (815 °C)	AG	98,81	% TS	21.03.2013	0,1 %	DIN 51719:1997	akkreditiertes Verfahren


 Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl E. Lorber
 Laborleiter


 Carina Tauterer
 Qualitätsleiter und Laborleiterstellvertreter

Der Prüfbericht darf ohne schriftliche Genehmigung des IAE nicht auszugsweise vervielfältigt, weitergegeben oder veröffentlicht werden.

Die im Prüfbericht angeführten Meßwerte beziehen sich ausschließlich auf das übergebene Prüfgut zum Zeitpunkt der Übergabe an das Labor, die Probenahme ist ausgeschlossen.

0126-13-00
 22.03.2013

Seite 1 / 1

Customer name:
address:

Visit our website at:
<http://www.uniquant.com>

C:\UQ5\USER\2404Rh\Job\JOB.789
ProbenIdent = 1619/6617 0126-13
IAE, Tauterer
Mess Program : UniQuant

Compound	wt%	StdErr	EI	Weight%	StdErr
SiO2	99.19	0.05	Si	46.37	0.02
ZrO2	0.330	0.016	Zr	0.244	0.012
Al2O3	0.210	0.014	Al	0.111	0.008
Fe2O3	0.129	0.006	Fe	0.0900	0.0045
CaO	0.0543	0.0027	Ca	0.0388	0.0019
TiO2	0.0357	0.0040	Ti	0.0214	0.0024
V2O5	0.0165	0.0014	V	0.0092	0.0008
P2O5	0.0132	0.0013	Px	0.0058	0.0006

KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0.250wachs
Sum Conc's before normalisation to 100% : 89.7%

Not significant:

F	0.038	0.031	F	0.038	0.031
Sm2O3	0.0044	0.0028	Sm	0.0038	0.0024
Tb4O7	0.0029	0.0020	Tb	0.0025	0.0017
MnO	0.0028	0.0010	Mn	0.0022	0.0008
WO3	0.0025	0.0015	W	0.0020	0.0012
Gd2O3	0.0021	0.0019	Gd	0.0018	0.0017
Pr6O11	0.0017	0.0031	Pr	0.0014	0.0025
RuO4	0.0015	0.0008	Ru	0.0011	0.0006
Y2O3	0.0015	0.0007	Y	0.0012	0.0006
Tl2O3	0.0015	0.0015	Tl	0.0013	0.0013
Ag2O	0.0012	0.0006	Ag	0.0011	0.0006
IrO2	0.0011	0.0012	Ir	0.00094	0.00100
In2O3	0.0011	0.0007	In	0.00091	0.00059
ZnO	0.0011	0.0007	Zn	0.00088	0.00052
Eu2O3	0.0008	0.0019	Eu	0.0006	0.0016
La2O3	0.0008	0.0016	La	0.0006	0.0014
Rh2O3	0.00077	0.00074	Rh	0.00062	0.00060
SO3	0.0007	0.0017	Sx	0.00028	0.00066
Tm2O3	0.0005	0.0015	Tm	0.0004	0.0013
Am2O3	0.00047	0.00085	Am	0.00043	0.00078
PtO2	0.0003	0.0012	Pt	0.0003	0.0010
CeO2	0.0003	0.0028	Ce	0.0002	0.0023
HgO	0.0002	0.0011	Hg	0.00016	0.00099
U3O8	0.00015	0.00091	U	0.00013	0.00078
SrO	0.00004	0.00062	Sr	0.00003	0.00052

=



DEPARTMENT FÜR UMWELT- UND ENERGIEVERFAHRENSTECHNIK
 Montanuniversität Leoben
 Franz-Josef-Straße 18
 A-8700 Leoben
 http://iae.unileoben.ac.at/
 Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft / Lehrstuhl für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Akkreditiertes Labor nach ISO 17025




Prüfbericht

Probennummer: 0127-13-00
Auftraggeber: Montanuniversität Leoben
 LS für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Franz-Josef-Straße 18
 8700 Leoben
Kundenbezeichnung: Probe2/ papierähnlich
Eingegangen von: DI Sarc
Probenzustand: papierähnliches Pulver <0,5 mm in der Kunststoffflasche
Bemerkung:

Probendatum: 20.03.2013
Probekonservierung: keine
Probennahme: durch Kunden
Probenvorbereitung: keine
Probenaufbereitung: durch Kunden
Beurteilung nach: keine

Parameter	Kurzbez.	Messwert	Einheit	Analysedatum	Best. Grenze	Norm	
Röntgenfluoreszenzanalyse	RFA	siehe Anhang	-	21.03.2013	-	-	nicht akkreditiertes Verfahren, Unterauftrag
Aschegehalt von festen Brennstoffen (815 °C)	AG	99,73	% TS	21.03.2013	0,1 %	DIN 51719:1997	akkreditiertes Verfahren


 Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl E. Lorber
 Laborleiter


 Carina Tauterer
 Qualitätsleiter und Laborleiterstellvertreter

Der Prüfbericht darf ohne schriftliche Genehmigung des IAE nicht auszugsweise vervielfältigt, weitergegeben oder veröffentlicht werden.

Die im Prüfbericht angeführten Meßwerte beziehen sich ausschließlich auf das übergebene Prüfgut zum Zeitpunkt der Übergabe an das Labor, die Probenahme ist ausgeschlossen.

0127-13-00
 22.03.2013

Seite 1 / 1

Customer name:
address:

Visit our website at:
<http://www.uniquant.com>

C:\UQ5\USER\2404Rh\Job\JOB.790
ProbenIdent = 1619/6618 0127-13
IAE, Tauterer
Mess Program : UniQuant

Compound	wt%	StdErr	EI	Weight%	StdErr
SiO2	69.27	0.23	Si	32.38	0.11
Na2O	14.13	0.26	Na	10.49	0.20
CaO	8.83	0.14	Ca	6.32	0.10
MgO	3.80	0.17	Mg	2.29	0.10
Al2O3	1.70	0.06	Al	0.902	0.034
K2O	0.617	0.031	K	0.512	0.026
Fe2O3	0.361	0.037	Fe	0.253	0.026
ZrO2	0.339	0.017	Zr	0.251	0.013
MnO	0.338	0.017	Mn	0.262	0.013
SO3	0.278	0.014	Sx	0.111	0.006
TiO2	0.152	0.008	Ti	0.0910	0.0045
CeO2	0.0902	0.0045	Ce	0.0734	0.0037
BaO	0.0203	0.0050	Ba	0.0182	0.0045
Cl	0.0137	0.0014	Cl	0.0137	0.0014
P2O5	0.0128	0.0011	Px	0.0056	0.0005

KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0.250wachs
Sum Conc's before normalisation to 100% : 93.7%

Not significant:

Tb4O7	0.0047	0.0023	Tb	0.0040	0.0020
MoO3	0.0046	0.0016	Mo	0.0031	0.0010
As2O3	0.0033	0.0033	As	0.0025	0.0025
Rb2O	0.0016	0.0006	Rb	0.0015	0.0006
Co3O4	0.0011	0.0011	Co	0.00081	0.00084
PbO	0.0011	0.0015	Pb	0.0010	0.0014
I	0.0011	0.0020	I	0.0011	0.0020
CuO	0.00098	0.00080	Cu	0.00078	0.00064
Gd2O3	0.0006	0.0023	Gd	0.0005	0.0020
SeO2	0.00048	0.00070	Se	0.00034	0.00050
PdO	0.00047	0.00089	Pd	0.00041	0.00077
HgO	0.0004	0.0011	Hg	0.0004	0.0011
Nb2O5	0.0004	0.0011	Nb	0.00027	0.00074
WO3	0.0003	0.0016	W	0.0002	0.0013
Lu2O3	0.0003	0.0016	Lu	0.0003	0.0014
Br	0.00026	0.00052	Br	0.00026	0.00052
Rh2O3	0.00026	0.00095	Rh	0.00021	0.00077
CdO	0.00023	0.00080	Cd	0.00020	0.00070
Cs2O	0.0002	0.0035	Cs	0.0002	0.0033
Ga2O3	0.00011	0.00061	Ga	0.00008	0.00046
Tm2O3	0.0001	0.0018	Tm	0.0001	0.0016

=



DEPARTMENT FÜR UMWELT- UND ENERGIEVERFAHRENSTECHNIK
 Montanuniversität Leoben
 Franz-Josef-Straße 18
 A-8700 Leoben
 http://iae.unileoben.ac.at/
 Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft / Lehrstuhl für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Akkreditiertes Labor nach ISO 17025



Prüfbericht

Probennummer: 0128-13-00
Auftraggeber: Montanuniversität Leoben
 LS für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Franz-Josef-Straße 18
 8700 Leoben
Kundenbezeichnung: Probe3/ Vlies
Eingegangen von: DI Sarc
Probenzustand: pulvriges Vlies <0,5 mm in der Kunststoffflasche

Probendatum: 20.03.2013
Probenkonservierung: keine
Probennahme: durch Kunden
Probenvorbereitung: keine
Probenaufbereitung: durch Kunden
Beurteilung nach: keine

Bemerkung:

Parameter	Kurzbez.	Messwert	Einheit	Analysendatum	Best. Grenze	Norm	
Röntgenfluoreszenzanalyse	RFA	siehe Anhang	-	21.03.2013	-	-	nicht akkreditiertes Verfahren, Unterauftrag
Aschegehalt von festen Brennstoffen (815 °C)	AG	97,24	% TS	21.03.2013	0,1 %	DIN 51719:1997	akkreditiertes Verfahren

Univ. Prof. Dr.-Ing. Karl E. Lorber
 Laborleiter

Carina Tauterer
 Qualitätsleiter und Laborleiterstellvertreter

Der Prüfbericht darf ohne schriftliche Genehmigung des IAE nicht auszugsweise vervielfältigt, weitergegeben oder veröffentlicht werden.

Die im Prüfbericht angeführten Meßwerte beziehen sich ausschließlich auf das übergebene Prüfgut zum Zeitpunkt der Übergabe an das Labor, die Probenahme ist ausgeschlossen.

0128-13-00
 22.03.2013

Seite 1 / 1

Customer name:
address:

Visit our website at:
<http://www.uniquant.com>

C:\UQ5\USER\2404Rh\Job\JOB.791
ProbenIdent = 1619/6619 0128-13
IAE, Tauterer
Mess Program : UniQuant

Compound	wt%	StdErr	EI	Weight%	StdErr
SiO2	55.62	0.25	Si	26.00	0.12
CaO	25.68	0.22	Ca	18.36	0.16
Al2O3	13.96	0.17	Al	7.39	0.09
ZrO2	1.95	0.07	Zr	1.44	0.05
MgO	0.692	0.061	Mg	0.417	0.037
Na2O	0.442	0.034	Na	0.328	0.025
F	0.435	0.059	F	0.435	0.059
TiO2	0.354	0.018	Ti	0.212	0.011
Fe2O3	0.338	0.034	Fe	0.236	0.024
SrO	0.226	0.011	Sr	0.191	0.010
K2O	0.180	0.009	K	0.149	0.007
P2O5	0.0388	0.0019	Px	0.0169	0.0008
HfO2	0.0385	0.0022	Hf	0.0326	0.0019
SO3	0.0240	0.0024	Sx	0.0096	0.0010
Cr2O3	0.0111	0.0020	Cr	0.0076	0.0014

KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0.250wachs
Sum Conc's before normalisation to 100% : 93.8%

Not significant:

PuO2	0.0060	0.0021	Pu	0.0053	0.0019
WO3	0.0038	0.0019	W	0.0030	0.0015
V2O5	0.0032	0.0017	V	0.0018	0.0010
CeO2	0.0030	0.0041	Ce	0.0024	0.0034
MnO	0.0030	0.0015	Mn	0.0023	0.0012
NiO	0.0026	0.0012	Ni	0.0020	0.0009
CuO	0.0023	0.0010	Cu	0.0018	0.0008
Dy2O3	0.0022	0.0032	Dy	0.0019	0.0028
CdO	0.0021	0.0010	Cd	0.0018	0.0009
Gd2O3	0.0016	0.0027	Gd	0.0014	0.0023
Ho2O3	0.0016	0.0031	Ho	0.0014	0.0027
Rb2O	0.0016	0.0008	Rb	0.0015	0.0007
In2O3	0.0015	0.0010	In	0.0012	0.0009
Rh2O3	0.0013	0.0013	Rh	0.0011	0.0011
Er2O3	0.0013	0.0024	Er	0.0011	0.0021
HgO	0.0006	0.0012	Hg	0.0006	0.0012
PbO	0.0005	0.0018	Pb	0.0005	0.0017
U3O8	0.0005	0.0014	U	0.0005	0.0011
Yb2O3	0.0004	0.0020	Yb	0.0003	0.0017
Br	0.00030	0.00060	Br	0.00030	0.00060
IrO2	0.0002	0.0015	Ir	0.0002	0.0013

=



DEPARTMENT FÜR UMWELT- UND ENERGIEVERFAHRENSTECHNIK
 Montanuniversität Leoben
 Franz-Josef-Straße 18
<http://iaa.unileoben.ac.at/>
 A-8700 Leoben
 Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft / Lehrstuhl für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Akkreditiertes Labor nach ISO 17025



Prüfbericht

Probennummer: 0129-13-00
Auftraggeber: Montanuniversität Leoben
 LS für Entsorgungs- und Deponietechnik
 Franz-Josef-Straße 18
 8700 Leoben
Kundenbezeichnung: Probe4/ Glaswolle
Eingegangen von: DI Sarc
Probenzustand: Glaswolle <1cm in der Kunststoffflasche
Bemerkung:

Probendatum: 20.03.2013
Probenkonservierung: keine
Probenahme: durch Kunden
Probenvorbereitung: keine
Probenaufbereitung: durch Kunden
Beurteilung nach: keine

Parameter	Kurzbez.	Messwert	Einheit	Analysendatum	Best. Grenze	Norm	
Röntgenfluoreszenzanalyse	RFA	siehe Anhang	-	21.03.2013	-	-	nicht akkreditiertes Verfahren, Unterauftrag
Aschegehalt von festen Brennstoffen (815 °C)	AG	98,78	% TS	21.03.2013	0,1 %	DIN 51719:1997	akkreditiertes Verfahren

Univ.Prof.Dr.-Ing. Karl E. Lorber
 Laborleiter

Carina Tauterer
 Qualitätsleiter und Laborleiterstellvertreter

Der Prüfbericht darf ohne schriftliche Genehmigung des IAE nicht auszugsweise vervielfältigt, weitergegeben oder veröffentlicht werden.

Die im Prüfbericht angeführten Meßwerte beziehen sich ausschließlich auf das übergebene Prüfgut zum Zeitpunkt der Übergabe an das Labor, die Probenahme ist ausgeschlossen.

0129-13-00
 22.03.2013

Seite 1 / 1

Customer name:
address:

Visit our website at:
<http://www.uniquant.com>

C:\UQ5\USER\2404Rh\Job\JOB.792
ProbenIdent = 1619/6620 0129-13
IAE, Tauterer
Mess Program : UniQuant

Compound	wt%	StdErr	El	Weight%	StdErr
SiO2	51.66	0.25	Si	24.15	0.12
CaO	30.50	0.23	Ca	21.81	0.17
Al2O3	14.27	0.17	Al	7.55	0.09
Na2O	0.861	0.042	Na	0.639	0.031
TiO2	0.810	0.090	Ti	0.486	0.054
MgO	0.523	0.026	Mg	0.316	0.016
ZrO2	0.438	0.039	Zr	0.324	0.029
Fe2O3	0.423	0.024	Fe	0.296	0.017
SrO	0.151	0.013	Sr	0.127	0.011
K2O	0.135	0.007	K	0.112	0.006
SO3	0.131	0.006	Sx	0.0526	0.0026
P2O5	0.0329	0.0022	Px	0.0144	0.0009
V2O5	0.0153	0.0030	V	0.0086	0.0017
Cr2O3	0.0138	0.0028	Cr	0.0094	0.0019
MnO	0.0121	0.0024	Mn	0.0094	0.0018

KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0
Sum Conc's before normalisation to 100% : 51.3%

Not significant:

F	2.01	5.28	F	2.01	5.28
HfO2	0.0079	0.0031	Hf	0.0067	0.0026
Sm2O3	0.0069	0.0062	Sm	0.0059	0.0054
La2O3	0.0060	0.0040	La	0.0051	0.0034
NiO	0.0047	0.0019	Ni	0.0037	0.0015
Ho2O3	0.0045	0.0047	Ho	0.0039	0.0041
PuO2	0.0044	0.0023	Pu	0.0039	0.0020
CuO	0.0040	0.0017	Cu	0.0032	0.0013
Ga2O3	0.0036	0.0013	Ga	0.0027	0.0010
Yb2O3	0.0026	0.0031	Yb	0.0023	0.0028
WO3	0.0021	0.0030	W	0.0017	0.0024
In2O3	0.0016	0.0012	In	0.0013	0.0010
Y2O3	0.0015	0.0014	Y	0.0012	0.0011
HgO	0.0014	0.0017	Hg	0.0013	0.0016
Cl	0.0012	0.0024	Cl	0.0012	0.0024
TeO2	0.0010	0.0015	Te	0.0008	0.0012
Sb2O3	0.0010	0.0013	Sb	0.0008	0.0011
MoO3	0.0010	0.0024	Mo	0.0007	0.0016
Pr6O11	0.0006	0.0071	Pr	0.0005	0.0059
Bi2O3	0.0004	0.0017	Bi	0.0004	0.0015
SeO2	0.0004	0.0012	Se	0.00027	0.00086
Br	0.00034	0.00091	Br	0.00034	0.00091
Co3O4	0.0003	0.0021	Co	0.0002	0.0015
GeO2	0.0001	0.0012	Ge	0.00010	0.00086

VI. Anhang – Informationsblatt für Entsorgungsanlagen



RECYCLING OF COOLING AND FREEZING APPLIANCES CONTAINING VACUUM INSULATION PANELS (VIPs)



VIPs : high performance thermal insulations (high specific thermal resistivity)
new solutions for slim but still energy efficient insulations **used in A++ and A+++ appliances**

Scope of the Project:

- 1) Phase 1: Identification of VIPs used by household appliance producers (done)
- 2) Phase 2: Realization of small technical tests (done)
- 3) Phase 3: **Large-scale tests in recycling plants** and evaluation (being planned)

Agents:

CECED - European Committee of Domestic Equipment Manufacturers

Bldv Brand Whitlock 114, 1200 Brussels contact person: **Kamila Slupek** (kamila.slupek@ceced.eu)

Montanuniversitaet Leoben, Department of Environmental and Energy Process Engineering,
Chair of Waste Processing Technology and Waste Management

Franz-Josef-Straße 18, 8700 Leoben contact person: **Renato Sarc** (Renato.sarc@unileoben.ac.at)

Chemical Analyses of the Core Materials in Laboratory of Montanuniversitaet Leoben							
Compound/ Chemical Formula		Weight [%]					
		MG1 paperlike	MG2 white fleece	MG3 glass woollike	MG4 grey powder	MG5 brown powder	MG6 black powder
silicon dioxide	SiO ₂	69.08	54.08	51.03	98.01	93.66	73.47
calcium oxide	CaO	8.81	24.97	30.13	-	-	-
aluminium oxide	Al ₂ O ₃	-	13.57	14.10	-	-	-
iron(III) oxide	Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	23.15
sodium oxide	Na ₂ O	14.09	-	-	-	-	-
sum of organic material		0.27	2.76	1.22	1.19	5.98	3.15

Within the framework of the first two phases, six different VIP types could be identified (material groups 1 - 6), which differ from each other in the core materials (see table). The mass percentage of VIPs is about 5% in an appliance.

NECESSARY INFORMATION FOR LARGE SCALE TESTS (FROM YOU):

Description of technology (cutting units etc.; if possible a flow sheet of your plant);

Infrastructure (delivery by trucks, train,...);

Possible date for test;

Input and output materials;

Throughput (appliances per hour or tonnes per hour);

Working time of shift operation;

Additionally technical details, which are important for the test

VII. Anhang – Fotodokumentation der durchgeführten Versuche

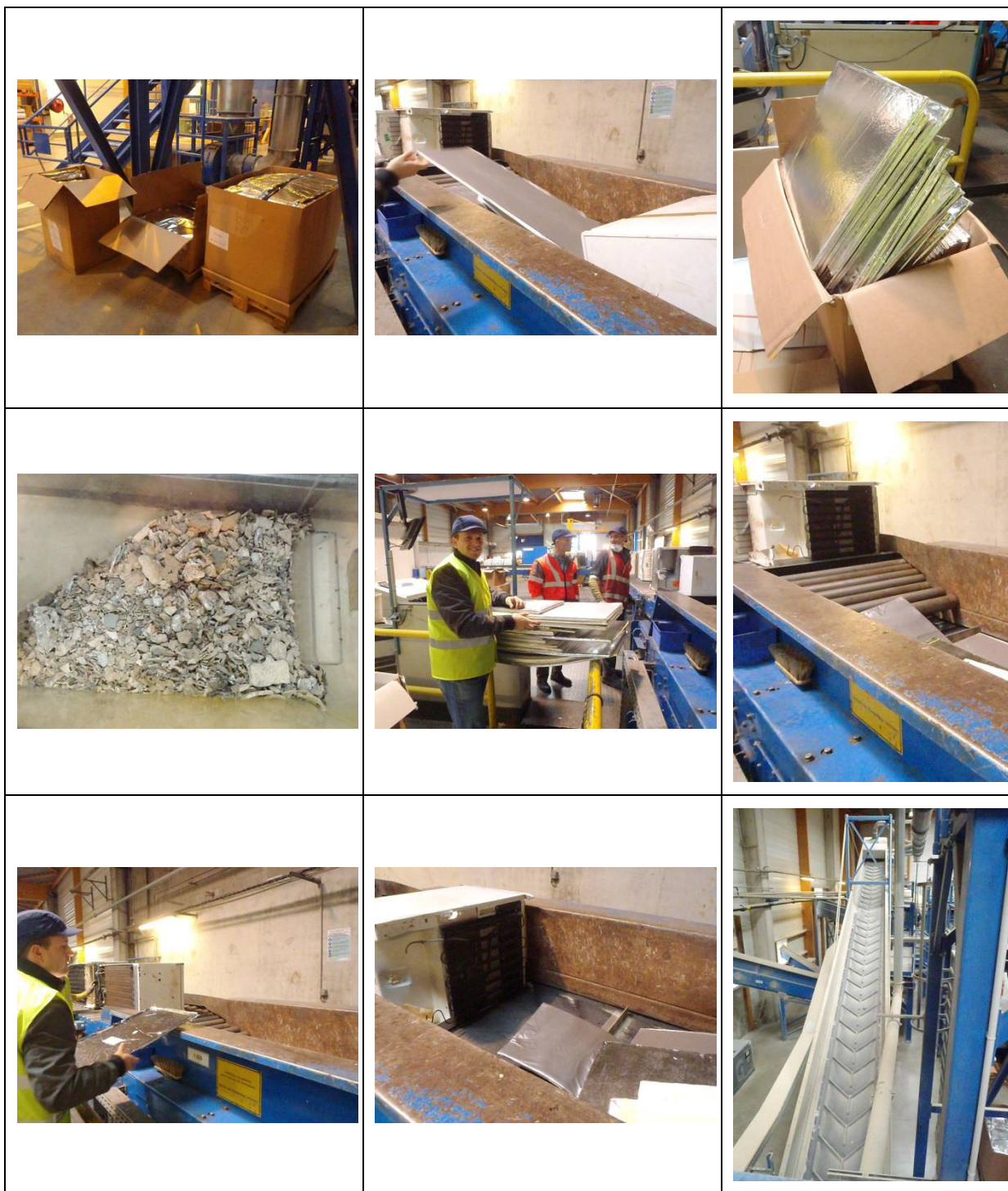
Fotos vom Zerkleinerungsversuch in Graz (kleintechnischer Versuch)



Fotos vom Versuch in Timelkam (erster großtechnischer Versuch)



Fotos vom Versuch in Angers (zweiter großtechnischer Versuch)



Fotos vom Versuch in Angiari (dritter großtechnischer Versuch)

