

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

In meiner Masterarbeit mit dem Titel „Technische Herausforderungen bei der Aufbereitung von Kühl- und Gefriergeräten mit Vakuumisolationspaneelen (VIP)“ galt es diese neuen Isolationsmaterialien zu untersuchen, um herausfinden, welche Auswirkungen diese beim Entsorgungsprozess haben. Im Rahmen dieser Zusammenfassung wird erklärt, warum es überhaupt zu dieser Fragestellung gekommen ist und warum man diese neuen Materialien seit 2010 in Kühl- und Gefriergeräten (KGG) verwendet. Außerdem wird der Prozess des Kühlschranksrecyclings erklärt und die Ergebnisse meiner Masterarbeit dargelegt.

A. Hintergrund der Masterarbeit

Meine Masterarbeit geht aus einem Projekt hervor, das vom Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW) der Montanuniversität Leoben gemeinsam mit dem Europäischen Komitee der Haushaltsgerätehersteller (CECED)¹ bereits im Frühling 2012 initiiert wurde. Da ich die beiden Arbeiten parallel verfasst habe, sind Teile aus meiner Masterarbeit übereinstimmend mit Teilen aus jener Projektarbeit, welche in Englisch verfasst wurde und den Titel „Recycling of Cooling and Freezing Appliances Containing Vacuum Insulation Panels (VIPs)“ trägt.

Es wirft sich nun die Frage auf: **Was haben Haushaltsgerätehersteller mit der Entsorgung von Kühlgeräten zu tun?**

Die Antwort ist in der Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, auch WEEE-Richtlinie genannt (vom Englischen für **W**aste **E**lectrical and **E**lectronic **E**quipment Directive), enthalten.

Diese definiert den Begriff der „**Herstellerverantwortung**“. In Absatz 12 der WEEE-Richtlinie wird die Herstellerverantwortung 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 der WEEE-Richtlinie soll „*jeder Hersteller für die Finanzierung der Entsorgung des durch seine eigenen Produkte anfallenden Abfalls verantwortlich sein.*“

B. Fragestellung der Masterarbeit

Die grundlegende Fragestellung meiner Masterarbeit lautete:

Welche Auswirkungen haben VIP-haltige Kühl- und Gefriergeräte auf derzeit in Europa übliche Entsorgungstechnologien?

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 (z.B. BSH, Elektrolux, Indesit, Liebherr, Miele) und 24 nationale Vereinigungen (z.B. in Österreich der Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie FEEL).

Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf die folgenden vier Punkte gelegt:

- Auswirkungen auf **Arbeitssicherheit**?
- Auswirkungen auf **Recyclingquote**?
- (Monetärer/ qualitativer) Einfluss auf die **Output-Fractionen**?
- Potential von Vakuumisolationspaneelen als **Sekundärrohstoff**?

C. Methodik/ Herangehensweise

Die Herangehensweise zu den vorangegangenen Fragestellungen lässt sich prinzipiell in die folgenden drei Punkte unterteilen.

1) Vakuumisolationspaneele

Um überhaupt mit Kühl- und Gefriergeräten, die Vakuumisolationspaneele enthalten, arbeiten zu können, war es in erster Linie wichtig, die Eigenschaften der VIP zu untersuchen. Dabei waren sowohl die chemischen als auch die physikalischen Eigenschaften der Paneele wesentlich.

2) Recyclingtechnologien

Um eine mögliche Auswirkung auf die derzeit in Europa übliche Recyclingtechnologie für KGG feststellen zu können, war es wichtig, sich vorerst genau mit den aktuellen Technologien und den entsprechenden Regelwerken auseinanderzusetzen.

3) Versuchsdurchführung

Um möglichst praxis- und realitätsnahe Aussagen machen zu können, waren von vorn herein großtechnische Versuche angedacht. Als Vorbereitung dazu dienten kleintechnische Versuche.

C.1 Vakuumisolationspaneele

Bereits seit dem Jahr 2010 werden VIP in Kühl- und Gefriergeräten der Energieklassen A++ und A+++ verwendet. Diese dienen als Ersatz zu der herkömmlich verwendeten Isolierung in KGG, nämlich dem PU-Schaum (Polyurethan-Schaum). Da die VIP allerdings immer kleine Lücken in der Gerätewand hinterlassen, werden auch die neuen VIP-Geräte in Kombination mit PU-Schaum gefertigt, um diese Lücken restlos auszufüllen und somit das bestmögliche Resultat betreffend Wärmeisolierung zu erhalten. Der Hauptgrund für den Einsatz von VIP in KGG ist die **Steigerung der Energieeffizienz** des Gerätes. Außerdem kann durch deren Einsatz eine Erhöhung des Innenvolumens des Kühlgerätes erzielt werden, da die Wandstärken durch die bessere Isolierleistung der VIP verringert werden können. Vakuumisolationspaneele bestehen grundsätzlich aus drei Hauptbestandteilen:

- Einer mehrschichtigen, hochdichten Hülle, die den Gaseintrag in das Paneel verhindern soll,
- einem Kernmaterial, das das Vakuum stützen soll und
- sogenannte Getter oder Trockner, die eventuell eindringende Gase sofort binden sollen, um so das Vakuum so lange wie möglich zu gewährleisten.

Die in Abbildung 1 dargestellten Vakuumisulationspaneele, welche der AVAW im Rahmen der Arbeit von diversen Herstellern erhielt, wurden in Materialgruppen unterteilt, um eine Anonymisierung der Hersteller gewährleisten zu können. Die Kategorisierung wurde anhand der Kernmaterialien durchgeführt. Die Unterteilung in „faserförmig“ und „pulverförmig“ bezieht sich ebenfalls auf die Eigenschaften der Kernmaterialien. Diese sechs verschiedenen Materialgruppen an VIP dienten als Grundlage aller kleintechnischen, sowie aller großtechnischen Versuche.



Abbildung 1: Untersuchte Vakuumisulationspaneele unterteilt in die Materialgruppen (MG) 1 bis 6

C.2 Recyclingtechnologien in Europa

Die europäische Norm EN 50574 (aktuelle Version: EN 50574:2013) mit dem Titel „Anforderungen an die Sammlung, Logistik und Behandlung von Altgeräten aus dem Haushalt, die flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe oder flüchtige Kohlenwasserstoffe enthalten“ stellt die Grundlage für die Entsorgung von derzeit anfallenden Alt-KGG dar. Eine umfassende Übersicht über die derzeit in Europa üblichen Recyclingtechnologien für KGG konnte allerdings nur durch Rechercharbeit und Kontaktaufnahme mit den jeweiligen Anlagenbetreibern bewerkstelligt werden. Eine Art Zusammenfassung aller erhaltenen Informationen stellt Abbildung 2 dar, in der sowohl die Informationen der Entsorgungsanlagenbetreiber als auch die Forderungen der EN 50574 enthalten sind.

Die Norm EN 50574 enthält konkrete Anweisungen, wie ozonabbauende oder erderwärmende Stoffe aus Geräten umweltschonend zu entfernen sind (im Falle von KGG sind solche Stoffe in der Kühlflüssigkeit und im PU-Schaum enthalten). Diese Behandlung hat laut Norm in drei Schritten zu erfolgen (diese Schritte sind vereinfacht in Abbildung 2 ersichtlich).

- 1) Entfernung von Kältemittel und Öl aus Kühlsystem
- 2) Entfernung von Treibmittel aus Isoliermaterialien
- 3) Zerstörung der Treib- und Kältemittel

Die meisten der kontaktierten Entsorgungsanlagen führen nur Stufe 1 und 2 am eigenen Standort durch, die dritte Stufe wird oft ausgelagert.

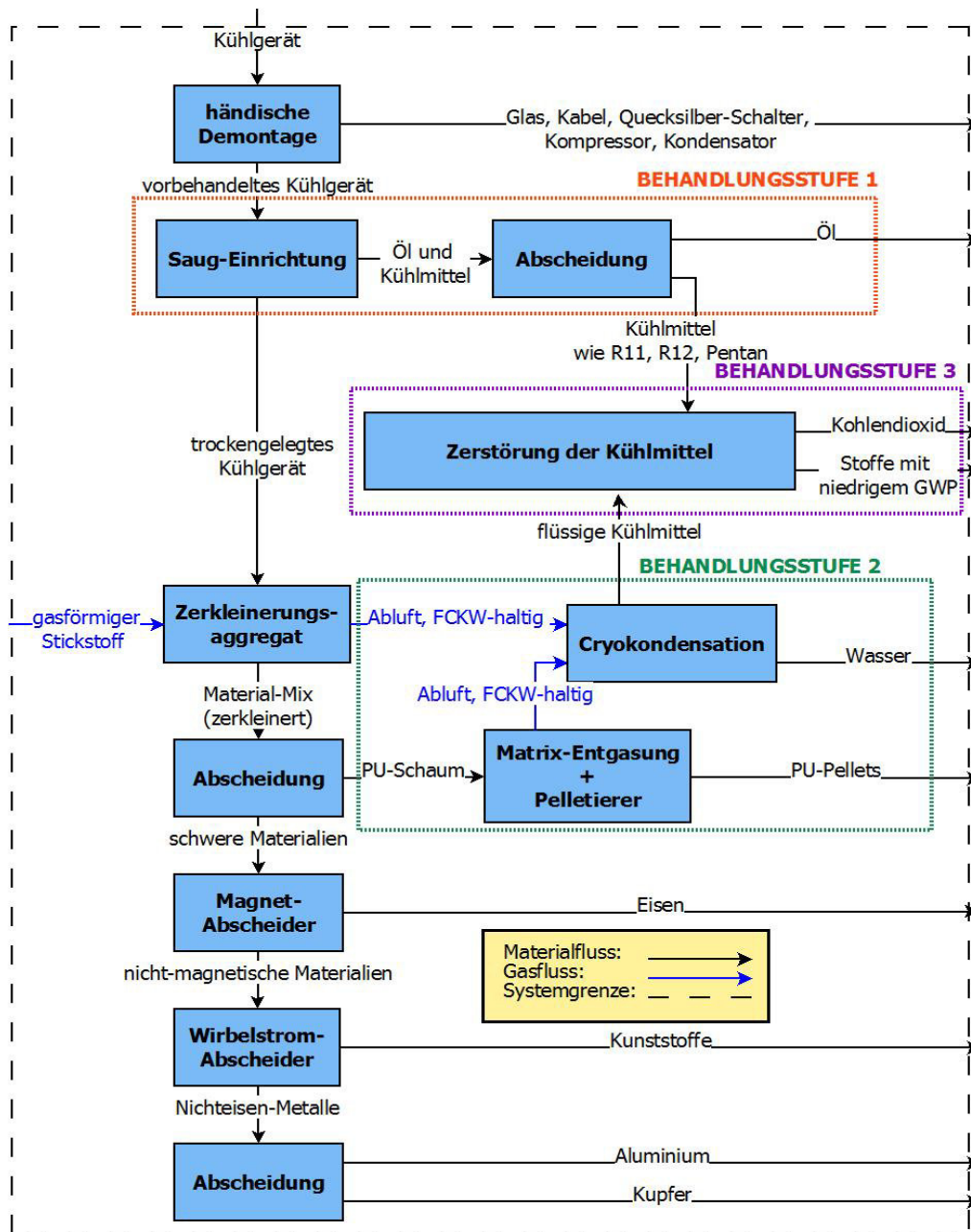


Abbildung 2: Zusammenfassendes Fließschema des Entsorgungsprozesses für Kühl- und Gefriergeräte in Europa nach dem Stand der Technik

C.3 Versuchsdurchführung

Im Rahmen meiner Masterarbeit wurden folgende **kleintechnische Versuche** durchgeführt:

- Zerkleinerungsversuche, um herauszufinden, ob und wie sich die Paneele in einem 4-Wellen-Zerkleinerer mit einem 25 mm Sieb zerkleinern lassen.
- Siebanalysen, um eine eventuelle Abtrennung von der mehrschichtigen Hülle, die auch Aluminium enthält, vom Kernmaterial zu untersuchen.
- Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) der Kernmaterialien, um die chemische Zusammensetzung der Kernmaterialien zu erhalten.

Bei den Zerkleinerungsversuchen stellte sich heraus, dass die pulverförmigen Materialgruppen viel Staub bei der Zerkleinerung verursachen. Bei den Siebanalysen konnte kein klares Ergebnis erlangt werden. Die RFA hat ergeben, dass Siliziumdioxid, Calciumdioxid und Eisen(III)oxid die drei Hauptbestandteile der VIP-Kernmaterialien sind.

Diese Ergebnisse dienten als Grundlage für die drei darauf folgenden **größtechnischen Versuche**, die in drei europäischen Entsorgungsanlagen durchgeführt wurden. Bei diesen Versuchen wurden Alt-Kühlschränke, die ohnehin entsorgt werden mussten, gemeinsam mit VIP der sechs Materialgruppen, in die jeweilige Entsorgungsanlage eingeschleust. Die drei ausgewählten Entsorgungsanlagen (1. AVE Timelkam in Österreich, 2. VEOLIA Angers in Frankreich, 3. STENA Angiari in Italien) unterschieden sich in deren Technologien, v.a. hinsichtlich der Zerkleinerungsaggregate. Bei den drei Versuchen galt es herauszufinden, welche Auswirkungen die Vakuumisolationspaneele auf den Entsorgungsprozess haben und auf die Qualität der Output-Fraktionen (z.B. Metall, Kunststoff, PU). In der Praxis konnte dies nur gemeinsam mit den Anlagenbetreibern festgestellt werden. Die Ergebnisse der drei großtechnischen Versuche sind in Tabelle 1 zusammengefasst und werden in den nachfolgenden Absätzen genauer beschrieben.

Tabelle 1: Ergebnisse der großtechnischen Versuche

	1. AVE Timelkam (AUT)	2. VEOLIA Angers (FRA)	3. STENA Angiari (ITA)
Zerkleinerung	4-Wellen-Zerkleinerer	Querstromzerspaner (QZ)	2- & 4-Wellen-Zerkleinerer
Anzahl KG	28 KG (84 Paneele)	38 KG (184 Paneele)	24 KG (99 Paneele)
Herausforderungen	starke Staubentwicklung durch pulverförmige VIP → Versuchsstopp	kein technisches Problem für Anlage	starke Staubentwicklung durch pulverförmige VIP
Qualität der Output-Materialien	keine signifikanten Änderungen (alle VIP-Bestandteile in PU Fraktion zu finden)		

Beim **ersten Versuch** in Österreich gab es mehrere Herausforderungen. Die Materialgruppe 3, als glaswollartig kategorisiert, brachte aufgrund ihrer starken Haftreibung innerhalb des faserförmigen Kernmaterials die Austragsschnecke für das Isoliermaterial zum Stillstand. Erst als dieser Fehler behoben wurde, konnte weiter gearbeitet werden. Doch gleich die nächste Materialgruppe (die erste pulverförmige) hatte eine so enorme Staubentwicklung zur Folge, dass der gesamte Versuch abgebrochen werden musste. Der extra für unseren Versuch neu eingebaute Staubfilter wies enorme Anhaftungen auf, die – laut Aussage des Anlagenbetreibers – normalerweise nicht einmal nach einem Monat in Normalbetrieb zu erwarten wären.

Der **zweite Versuch** fand in Frankreich in einer Anlage mit einem Querstromzerspaner statt. Diese spezielle Form von Zerkleinerungsaggregaten wird chargenweise mit fünf bis sieben Kühlschränken pro Charge betrieben, wobei ein Zyklus rund 15 Minuten dauert. Erstaunlicherweise war im gesamten Versuch keine signifikante Änderung der

Betriebszustände festzustellen. Die Anlage konnte die VIP-haltige Geräte problemlos verarbeiten.

Beim **dritten Versuch** hatten wir ähnliche Zustände wie beim ersten, allerdings wurde in diesem Fall von einem Versuchsabbruch abgesehen. Alle sechs Materialgruppen, auch die drei faserförmigen, wurden wie geplant eingeschleust; dadurch wurde aber – wie schon beim ersten Versuch in Österreich – viel Staub erzeugt, welcher in der Anlagenhalle deutlich zu sehen war.

D. Ergebnisse der Arbeit

In Anlehnung an die eingangs erwähnten Fragestellungen werden hier die dazugehörigen Ergebnisse kurz erläutert.

Welche Auswirkungen haben VIP-haltige Kühl- und Gefriergeräte auf derzeit in Europa übliche Entsorgungstechnologien?

Der Einfluss von VIP auf Entsorgungsanlagen hängt einerseits von der Technologie der Anlage ab (Stand der Technik eingehalten, Zerkleinerungsaggregat, Filtersysteme etc.) und andererseits auch wesentlich von der Beschaffenheit der Kernmaterialien (faserförmig oder pulverförmig).

Auswirkungen auf Arbeitssicherheit?

Wenn der Stand der Technik (gemäß EN 50574) eingehalten wird, gibt es weder technische Probleme noch negative Auswirkungen auf Arbeitssicherheit.

Auswirkungen auf Recyclingquote?

Es gibt aufgrund der Materialzusammensetzung der neuen Kühl- und Gefriergeräte einen leicht negativen Einfluss auf die Rezyklierbarkeit.

(Monetärer/ qualitativer) Einfluss auf Output-Fraktionen?

Es gibt zwar kleine Qualitätsveränderungen bei den Output-Materialien (z.B. Anhaftungen von Kernmaterialien an Metallfraktion), jedoch hätten diese, laut Auskunft der Entsorgungsanlagenbetreiber, keinen monetären Einfluss auf Output-Materialien.

Potential von Vakuuminisationspaneelen als Sekundärrohstoff?

Das Kernmaterial der VIP wäre grundsätzlich als Sekundärrohstoff in Zementindustrie einsetzbar, da deren Zusammensetzung der von Zement-Rohstoffen entspricht.

E. Ausblick und Empfehlungen

Da bereits seit 2010 Kühl- und Gefriergeräte mit Vakuuminisationspaneelen ausgestattet werden, kommen diese Geräte spätestens in zehn bis 15 Jahren in die Entsorgungsanlagen, um dort als Alt-Gerät entsorgt zu werden. Deshalb wäre es für **Entsorgungsanlagenbetreiber** empfehlenswert, rechtzeitig auf die geänderte Materialzusammensetzung zu reagieren und unbedingt den Stand der Technik einzuhalten (gemäß EN 50574). Dadurch können

eventuelle Staubemissionen verhindert werden (z.B. durch eine Einhausung). Eventuelle Adaptierungen an Filtersystemen (z.B. höhere Abluftrate) wären ebenfalls sinnvoll, um den Arbeits- und Gesundheitsschutz zu gewährleisten. Für die **Haushaltsgerätehersteller** wäre eine Kennzeichnung von VIP-haltigen Geräten eventuell ratsam, da sie im Sinne der Herstellerverantwortung die Entsorgung der von ihnen in Verkehr gebrachten Geräte gewährleisten sollen. Besonders ratsam wäre, auf Grundlage der Ergebnisse meiner Arbeit, eine gesonderte Kennzeichnung der pulverförmigen Materialgruppen.

F. Weiterführende Links

Link zu meiner Masterarbeit

https://online.unileoben.ac.at/mu_online/wbAbs.showThesis?pThesisNr=42509&pOrgNr=1

Videos zum Thema Kühlschrankrecycling

AVE Anlage in Timelkam: <http://www.youtube.com/watch?v=HkYPv-Rp28g>

Querstromzerspaner: <http://www.youtube.com/watch?v=QQnymR49go>