

Rohstoffpotenziale weißer Ware am Beispiel des Kühlschrank-Recyclings

Gerhard Jokic und Denise Dortmann

1.	Begriffsbestimmungen	298
1.1.	Rohstoffpotenzial	298
1.2.	Sekundärrohstoff.....	298
1.3.	Basisdefinition: Rohstoffpotenzial	298
2.	Kühlgeräterecycling: Rohstoff- und Gefährdungspotenziale	298
2.1.	Ein möglicher Kühlgeräteaufbereitungsprozess.....	298
2.2.	Allgemeine Herausforderungen des Kühlgeräterecyclings	300
2.3.	Qualitätsanforderungen im Kühlgeräterecycling	304
2.4.	Neue Technologien – Kühlgeräterecycling morgen	305
2.4.1.	Vakuuminisulationspaneele (VIP)	305
2.4.2.	Kompressorenöle.....	306
2.4.3.	Kühlgeräte mit Digitalanzeige	307
2.5.	Zwischenfazit: Alte und neue Kühlgerätetechnologien	307
2.6.	Sekundärrohstoffe und Schadstoffe aus dem Kühlgeräterecyclingprozess.....	307
2.7.	Erzielte Rohstoffpotenziale des Beispielunternehmens	309
3.	Fazit.....	310
4.	Quellen	311

Kühlgeräte sind hinsichtlich der Größe und Form sehr heterogen – von der Minibar im Hotel über den Kühl-/Gefrierschrank für private Haushalte bis hin zur Kühltheke aus dem Einkaufscenter. Eines haben sämtliche Geräte gemeinsam: Sie enthalten Kälte- und Treibmittel, die umweltgerecht entsorgt bzw. beseitigt werden müssen. Darüber hinaus liefern sie werthaltige Fraktionen, die wichtige Rohstoffpotenziale bereithalten. Durch eine fachgerechte und adäquate Aufbereitung können diese Fraktionen als Sekundärrohstoff erneut dem Stoffkreislauf zugeführt werden und somit einen elementaren Beitrag zur Ressourcenschonung leisten.

Die REMONDIS Electrorecycling GmbH sieht sich mit 6 Kühlgeräterecyclinganlagen und insgesamt 7 Standorten in Europa als einer der Qualitäts- und Meinungsführer bei dem Recycling von Kühlgeräten. Als Kühlgeräterecyclingexperte wird die Implementierung und Gestaltung von europäischen Normen zum fachgerechten Kühlgeräterecycling, insbesondere der CENELEC-Norm, stark vorangetrieben. Einen Schwerpunkt der

CENELEC-Norm stellt die umweltgerechte Entsorgung der Kälte- und Treibmittel dar. Hierzu werden in Expertenkreisen Standards entwickelt, die Grenzwerte und Verfahrensweisen festlegen. Die hohe Qualitätsausrichtung und die Zielerreichung der flächendeckend umweltgerechten Entsorgung werden als zentrale Aufgabe betrachtet.

1. Begriffsbestimmungen

1.1. Rohstoffpotenzial

Partielles Naturraumpotenzial, welches das Vermögen eines Naturraumes beschreibt, bergbauliche, agrarwirtschaftliche, forstwirtschaftliche oder meereswirtschaftliche Rohstoffe zu liefern. Das Rohstoffpotenzial ist v. a. von den naturräumlichen Gegebenheiten eines Raumes abhängig. [6]

1.2. Sekundärrohstoff

Sekundärrohstoff, Wertstoff, Werk-, Hilfs- oder Betriebsstoff, der durch Aufbereitungsvorgänge aus stofflichen Rückständen von Produktion oder Konsum gewonnen wird (Recycling). [5]

1.3. Basisdefinition: Rohstoffpotenzial

Den nachstehenden Ausführungen liegt folgendes Begriffsverständnis von *Rohstoffpotenzial* zugrunde, das die Definition von *Rohstoffpotenzial* mit der Begrifflichkeit der *Sekundärrohstoffe* in Verbindung bringt. Die Betrachtungen gehen demnach von einer weiten Definition des Begriffs *Rohstoffpotenzial* und dessen Rahmenbedingungen aus.

Eine Optimierung der Rohstoffpotenziale aus Kühlgeräten kann in diesem Zusammenhang einerseits aus der Gewinnung der werthaltigen Fraktionen, die die Kühlgeräte bereithalten, sowie andererseits aus der Steigerung der generellen Erfassungsmengen resultieren, da hierdurch große Potenziale verschwinden.

2. Kühlgeräte recycling: Rohstoff- und Gefährdungspotenziale

2.1. Ein möglicher Kühlgeräteaufbereitungsprozess

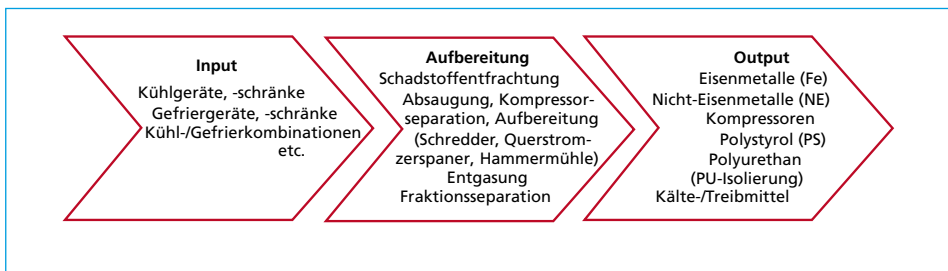


Bild 1: Kühlgeräte recyclingprozess

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an interne Prozesse

Nach der manuellen Entladung der Geräte werden diese bei der Eingangskontrolle nach der Größe und dem verwendeten Treibmittel klassifiziert. Geräte mit fehlendem Kompressor und defektem Kühlkreislauf werden direkt der Vordemontage bzw. der Entölung zugeführt.

Im Rahmen der manuellen Schadstoffentfrachtung werden diverse Bauteile, wie die Sicherheitsglasböden, Gitterroste, Kunststoffinnenteile, Anschlusskabel sowie Kondensatoren und Quecksilberschalter repariert. Kondensatoren und Hg-Schalter sind gem. Anhang III, Nr. 1 a) und 1 m) ElektroG aufgrund der Schadstoffe zu entfernen und werden in adäquaten Behältnissen erfasst, um diese einer fachgerechten Beseitigung durch Spezialaufbereitungsunternehmen zuzuführen.

Anschließend werden die Geräte der Kältemittelabsaugung zugeführt. Die Kühlgeräte werden auf einer ggf. kippbaren Vorlagerungsfläche auf Betriebstemperatur erwärmt, um eine niedrigere Viskosität (d.h. eine höhere Fließfähigkeit) des Öls und damit eine optimierte Absaugung und Separation des Kältemittels zu erzielen. Bei der Absaugung beispielsweise mittels Anstechzange wird diese inklusive Anstechventil mit der Absaugleitung verbunden. Das in den Kühlgeräten befindliche Kältemittel-Ölgemisch strömt in die Hauptabsaugleitung, die unter permanentem Unterdruck steht.

Das Kältemittel-Ölgemisch fließt in eine Separierungseinheit, in der die FCKW-/FKW/KW-Bestandteile aus dem Öl abgeschieden werden. Die dort anfallende Ölmenge wird bei Erreichen einer bestimmten Füllstandsmenge abgesaugt und mehrmals in die Separierungseinheit zurückgeführt bzw. eingedüst, um im Öl gebundene FCKW-/FKW/KW-Partikel mittels Temperaturzufuhr auszugasen. Nach diesem Ausgasungsvorgang wird das gereinigte Altöl abgefüllt und final zur weiteren Aufbereitung an spezialisierte Unternehmen gegeben.

Das zurück gewonnene FCKW/FKW/KW wird in einen Druckgas-Großbehälter gefüllt, der sich zur kontinuierlichen Gewichtserfassung auf einer Plattformwaage befindet. Bei Erreichen des vorgegebenen Füllgewichtes stellt sich die Absauganlage automatisch aus, sodass ein Tausch des Behälters erfolgen kann.

Anschließend werden die Geräte der Kompressordemontage zugeführt. Nach durchgeführter Demontage der Kompressoren werden die Kühlgeräte zur Eingangsschleuse der Schreddermechanik weiterbefördert. Die Kompressoren werden im Rahmen der Entölung angebohrt und restentleert, die dabei gewonnenen Kältemittel-Ölgemische werden ebenfalls in der Separierungseinheit behandelt.

Die Anlagentechnik zur Gesamtkorpuszerkleinerung muss zwingend gasdicht konzipiert sein und wird unter permanentem Unterdruck gehalten, um eine Entweichen der Treibmittel zu unterbinden. Die Bereiche der Eingangsschleuse, des Vorzerkleinerers, der Förderschnecken und des Querstromzerspanners werden mit Stickstoff inertisiert, um eine Gas- bzw. Staubexplosion auszuschließen. Der Wandel von den FCKW- zu den KW-Geräten unterstreicht dies.

Zur Zerkleinerung der Kühlgerätekorpuse können einerseits schneidende Techniken sowie andererseits alternative Zerkleinerungstechnologien, z.B. mittels eines Querstromzerspanners eingesetzt werden. Auch eine Kombination dieser Technologien ist möglich.

In der ersten Zerkleinerungsstufe, die durch einen Vierwellenzerkleinerer (Rotorschere) charakterisiert ist, werden die Kühlgerätekorpuse auf 50 mm Körngröße zerkleinert. Über eine Förderschnecke wird das Material dann zur nächsten Verarbeitungsstufe transportiert.

Bei der Bearbeitung des vorzerkleinerten Materials in einem Querstromzersetzer wird das Material mittels rotierender Ketten beschleunigt und durch ein aneinander Schlagen mit den Ketten in sortenreine Fraktionen Fe-, NE-Metall, PS und Polyurethan-Staub aufgeschlossen. Die Abluft dieses Prozessschrittes wird der Kryokondensationsanlage zugeführt, wobei die beinhaltenen Treibmittel entfernt und in Spezialbehältern zur weiteren Behandlung erfasst werden. Innerhalb dieser Zerkleinerungsstufe erfolgt bereits eine Porenentgasung des Polyurethan-Staubes durch die Temperaturzunahme. Mittels eines Zick-Zack-Sichters wird der Polyurethan-Staub abgesaugt und anschließend einer Matrix-Entgasung zugeführt.

Nach dem Zerkleinerungsvorgang erfolgt eine Siebung der Materialien. Größere Fraktionen, wie Metalle und Kunststoffe werden durch ein Förderband zur weiteren Sortierung transportiert. Der pulverige Polyurethan-Staub (PUR-Isolierschaum) wird in der Matrixentgasung in einer geschlossenen Heizschnecke auf rund 110 °C erhitzt und mit einer fest definierten Verweilzeit entgast, sodass lediglich ein minimaler FCKW-Restgehalt verbleibt. Die CENELEC-Norm fordert einen Restgehalt von maximal 0,2 Prozent FCKW. Auch die Abluft dieses Prozessschrittes wird über die Kryokondensationsanlage geführt. Das damit erhaltene PUR-Mehl lässt sich gut als Ölbindemittel weiterverwenden. Um das Polyurethan als nicht gefährlichen Abfall deklarieren zu können, muss ein Restgehalt von 0,1 Prozent FCKW unterschritten werden.

Die verbleibenden Fraktionen werden einem Überbandmagneten zugeführt, über den die Fe-Metalle ausgehoben werden.

Das eisenfreie Material wird mittels eines Transportbandes nach einer Größentrennung zu zwei parallelen Wirbelstromabscheidern transportiert, an dem, durch den Aufbau eines elektrischen Magnetfeldes, die NE-Metalle (Aluminium und Kupfer) abgestoßen werden. Die verbleibenden Kunststoffe werden zur stofflichen Verwertung aussortiert.

Werthaltige Sekundärrohstoffe werden zur weiteren Verarbeitung an Spezialaufbereitungsunternehmen vermittelt, während verbleibende, teilweise schadstoff-haltige Fraktionen einer fachgerechten Entsorgung bzw. Beseitigung zugeführt werden.

Das im Rahmen der Zerkleinerung und in der Matrixentgasung freigesetzte FCKW bzw. Pentan wird über Rohrsysteme der Prozessluftreinigung zugeführt.

Die Rückgewinnung des R11/Pentan aus der Prozessluft kann alternativ zur Kryokondensation mittels Adsorption an Aktivkohlefilter erfolgen. Diese Aktivkohlefilter werden im Intervall durch Desorption regeneriert. Im Anschluss an die Desorption werden die Gas-Wassergemische in einer Kolonnendestillation behandelt, um den Wasseranteil zu eliminieren. Die Gase werden dann entsprechend zur Beseitigung gegeben.

2.2. Allgemeine Herausforderungen des Kühlgeräterecyclings

Kühlgeräte enthalten einerseits werthaltige Rohstoffe, die nach entsprechender Aufbereitung als Sekundärrohstoff natürliche Rohstoffvorkommen substituieren können, sowie andererseits gefährliche Bestandteile, die einer adäquaten und fachgerechten

Beseitigung zugeführt werden müssen. Insbesondere die schadstoffhaltigen Fraktionen, wie z.B. ozonschädigendes FCKW, bedürfen einer umweltgerechten und gesetzeskonformen Verwertung in zertifizierten Anlagen. Die von den Fluorkohlenwasserstoffen (FCKW) ausgehenden Gefährdungspotenziale, insbesondere in Bezug auf Beschädigung der Ozon-Schicht, betonen die hohe Bedeutung eines fachgerechten Recyclings. Durch das fachgerechte Recycling von einem Kühlgerät werden etwa 2.000 kg CO₂-Äquivalente eingespart, was der Freisetzung von CO₂-Äquivalenten bei einer Flugentfernung von etwa 10.500 km entspricht.¹ Da FCKW durch nicht brennbare und stabile Stoffeigenschaften gekennzeichnet ist und darüber hinaus thermodynamisch einsetzt werden kann, ist dieser Stoff in der Vergangenheit vielfach in Kühlgeräten verbaut worden. Zum Schutz der Ozonschicht ist allerdings im Jahre 1987 mit der Unterzeichnung des Montrealer Protokolls ein Stoffverbot implementiert worden. Die *Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen*, beinhalten relevante Reglementierungen und Stoffbeschränkungen in diesem Zusammenhang. Polyurethan wird vielfach als Isolationsmaterial in Kühlschränken eingesetzt. FCKW befindet sich noch häufig in Kühlkreisläufen und im Isolierschaum des Elektroaltgerätestroms. Das ElektroG als nationale Umsetzung der WEEE-Direktive schreibt in Anhang III 1. h) ElektroG explizite Vorgaben zur Separation von FCKW/FKW und KW aus Kühlgeräten vor, um eine gezielte und fachgerechte Erfassung dieser Kälte- und Treibmittel zu erreichen.

Neben den FCKW-haltigen Kühlgerätetypen gibt es darüber hinaus Pentankühlgeräte und NH₃-Kühlgeräte, die entsprechend differenzierte Recyclinganforderungen stellen. Fluor- und chlorfreie Kohlenwasserstoffe, wie beispielsweise Iso-Butan als Kältemittel oder Cyclopentan als Treibgas substituieren FCKW in neueren Kühlgeräten. Diese Ersatzstoffe haben eine deutlich geringere Negativwirkung auf die Ozonschicht, jedoch können potenzielle andere Umweltgefährdungen nicht ausgeschlossen werden. Nichthalogenierte Kohlenwasserstoffe haben überwiegend kein Ozonabbaupotenzial und das Treibhauspotenzial ist erheblich geringer als das von FCKW.

Um die hohen Energieeffizienzklassen A++ und A+++ zu erreichen, werden allerdings neue Technologien wie Vakuumisulationspaneele als Isoliermaterial und hocheffiziente Kompressoren eingesetzt, die ebenfalls, insbesondere aufgrund der möglichen Gesundheit gefährdenden Eigenschaften, eine Anpassung des Kühlgeräterecyclings erfordern.

Das Resultat der Werthaltigkeit einiger Fraktionen des Stoffstroms ist, dass in der Praxis verschiedenste Akteure großes Interesse an diesen Fraktionen zeigen. Somit sind Beraubungen, wie z.B. die illegale Separation des Kompressors vom Kühlkreislauf, alltäglich. Diese Trennung führt dazu, dass einerseits werthaltige Fraktionen dem Stoffstrom entnommen werden und andererseits volatile Schadstoffe, z.B. FCKW

¹ Verschiedene Treibhausgase haben unterschiedliche Wirkungen. Methan ist z.B. 23 mal so klimaschädlich wie CO₂, FCKW 14.000 mal. Um eine Vergleichbarkeit der der Emissionen herzustellen, werden alle anderen Treibhausgase auf CO₂ umgerechnet, sodass dann von CO₂-Äquivalenten gesprochen wird. Beispielrechnung: ein recyceltes Kühlgerät entspricht etwa 2.000 CO₂-Äquivalenten, bei einer Flugentfernung von einem Kilometer werden 0,19 CO₂-Äquivalente verursacht. Demnach entspricht die Einsparung durch das Recycling eines Kühlgeräts (2.000 kg CO₂-Äquivalente) dem CO₂-Ausstoß bei einem Flug von 10.526,3 km (2.000 kg/0,19 kg). (Berechnung gem. UNTHA CO₂ calculator*).

mit hohem Ozonabbaupotenzial austreten. Diese Geräte werden dem adäquaten und gesetzeskonformen Recycling vorab entzogen, sodass Rückgewinnungsquoten von Kälte- und Treibmitteln nicht mehr eingehalten werden können, die Ozonschicht beschädigt wird und den Kühlgeräterecyclern die werthaltigen Fraktionen fehlen, die bei der Preiskalkulation einbezogen werden.

Neben den Beraubungen stellt der illegale Abgriff ganzer Geräte eine große Herausforderung dar. Bei dem Vergleich der Zahlen in Verkehr gebrachter Geräte und zurück genommener Geräte entsteht eine große Lücke, die es zu schließen gilt:

Tabelle 1: Darstellung des Gaps zwischen in Verkehr gebrachten und zurückgenommenen Kühlgeräten, ohne Berücksichtigung von Produktlebenszyklen

Angabe/Kennzahl	2009	2010	2011	2012	2013
	t				
Input Kühlgeräte	186.665	193.459	218.393	226.566	242.198
Rücknahme Kühlgeräte	135.998	121.056	118.618	115.074	117.896
GAP/Differenz	-50.667	-72.403	-99.775	-111.492	-124.302

Darstellung berücksichtigt keine durchschnittlichen Produktlebenszyklen von Kühlgeräten/jahresbezogene Darstellung

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an http://www.stiftung-ear.de/service_und_aktuelles/kennzahlen/inputmengen_je_geraeart_a; http://www.stiftung-ear.de/service_und_aktuelles/kennzahlen/ruecknahmemengen_je_sammelgruppe)

Tabelle 1 berücksichtigt keine durchschnittlichen Produktlebenszyklen von Kühlgeräten, sondern setzt die in einem Jahr in Verkehr gebrachten Geräte ins Verhältnis zu den dokumentiert zurückgenommenen Kühlgeräten des gleichen Jahres. Es wird demnach angenommen, dass bei der Neuanschaffung eines Gerätes, das Vorherige entsorgt wird. Es werden folglich z.B. keine regional verschiedenen Aufbewahrungsverhaltensmuster berücksichtigt.

Die hohen Diskrepanzen resultieren insbesondere aus dem illegalen Abgriff und Export der Kühlgeräte in Entwicklungsländer, in denen auch nach einem potenziellen Re-Use kein adäquates Recycling der Geräte gewährleistet ist.

In diesen Zielexportländern existiert in der Regel keine gefestigte Recyclinginfrastruktur, sodass giftige Stoffe, durch nicht fachgerechte Verarbeitung von Elektrogeräten und -bauteilen, ausgestoßen werden und in das Grundwasser gelangen. Die Schadstoffe im Boden in Afrika übersteigen teilweise bis zu 50-mal den in europäischen Ländern zulässigen Grenzwert.

Neben dem illegalen Export stellt auch der legale Export von Kühlgeräten ein Problem dar.

Die Abfalldefinition gem. § 3 Abs. 1 KrWG lautet *Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung.*

Sofern ein Gerät demnach noch funktionsfähig ist und kein Entledigungswille eingetreten ist, kann dieses legal, deklariert als Gebrauchtgerät, in die Entwicklungsstaaten exportiert werden. Dennoch stellen sich diese Geräte zum Großteil – teilweise auch

aufgrund mangelhafter Transportverpackungen – nach Ankunft im Entwicklungsland als Abfall heraus. Sämtliche Geräte, die entweder nicht mehr verwendbar sind oder am Ende des Produktlebenszyklus noch für einen kurzen Zeitraum genutzt werden, können in diesen Ländern aufgrund unzureichender Recyclinginfrastruktur keiner fachgerechten Verwertung zugeführt werden, sodass sämtliche Rohstoffpotenziale – neben gravierenden Gesundheits- und Umweltgefährdungen – verloren gehen. Auf Basis dessen muss der erhebliche Mengenschwund minimiert werden, indem die Kühlgeräte in Deutschland den gesetzlich vorgesehenen Wegen, d.h. den kommunalen Sammelstellen oder Rücknahmesystemen der Hersteller, zugeführt werden.

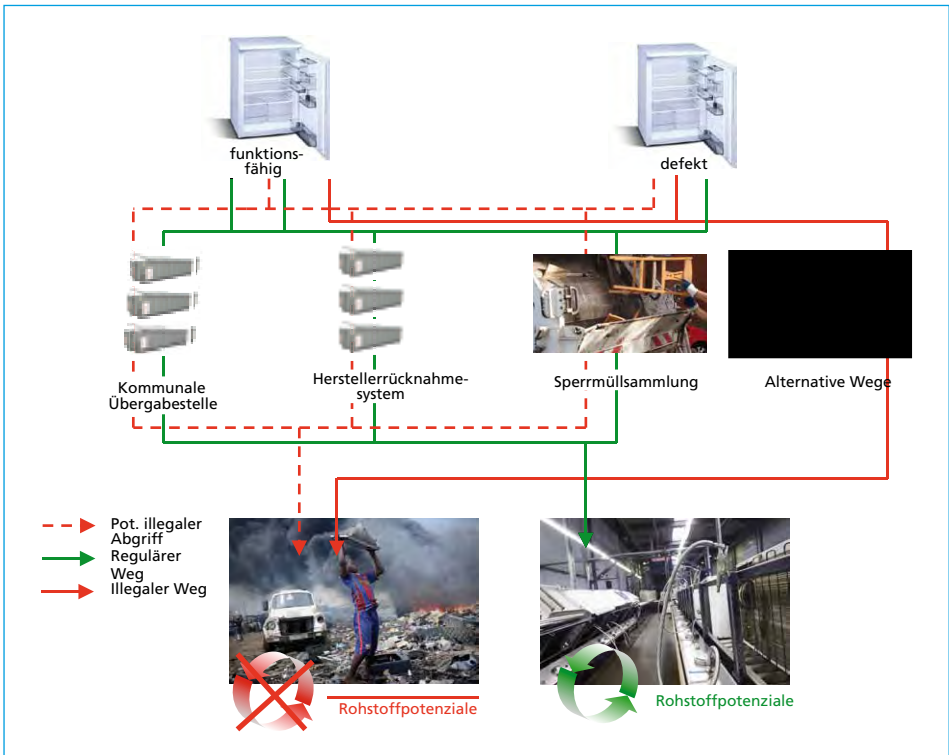


Bild 2: Erfassungsarten und zu generierendes Rohstoffpotenzial // Gründe für die Entstehung des Gaps

Quelle: eigene Darstellung

Die Bild 2 zeigt die potenziellen Erfassungs- und Rückgabemöglichkeiten defekter sowie funktionsfähiger Geräte in Deutschland. Geräte müssen zwingend den gesetzlich vorgegebenen Sammelstellen oder Rücknahmesystemen der Hersteller übergeben werden, um fach- und umweltgerechtes Recycling sicherzustellen. Hierbei ist zu beachten, dass insbesondere vor und an den vorgesehenen Sammelstellen illegaler Abgriff von Geräten stattfindet. Dieser sollte vermieden werden, indem einerseits die Bürger informiert werden, dass die Geräte vor den Sammelstellen nicht an Fremde übergeben werden dürfen

und andererseits indem entsprechende Sicherheitsmaßnahmen auf dem Wertstoffhof getroffen werden. Dazu gehören z.B. der Einsatz geschlossener Behältersysteme und das Verschließen der Container und des Geländes über Nacht. Die Wahrscheinlichkeit der Beraubung von Geräten bei der Entledigung über die kommunale Sperrmüllsammlung ist relativ hoch, da die Geräte häufig über einen gewissen Zeitraum frei zugänglich an der Straße zur Abholung bereitstehen. Die gewöhnlichen Abfuhrtermine sind diesen illegal tätigen Akteuren bekannt, sodass gesetzeswidriger Abgriff einfach stattfinden kann. Darüber hinaus fahren einerseits Interessenten umher, die durch das laute Abspielen von Melodien seitens der Bürger erkannt werden und andererseits wird in Zeitungen die kostenlose – aber verbotene – Abholung von Altgeräten annonciert. Bei der illegalen Überlassung der Elektroaltgeräte an diese Akteure, ist ein adäquates Recycling nicht mehr gewährleistet, da der wirtschaftliche Aspekt, d.h. die Gewinnerzielungsabsicht – nicht die Qualität des Recyclings und der Umweltschutz – im Vordergrund steht. Im Bereich der Kühlgeräte gehen insbesondere bereits genannte Gefahrenpotenziale von dem FCKW aus, wenn die Kühlkreisläufe nicht fachgerecht entleert und somit die Kompressoren nicht korrekt vom Kühlkreislauf separiert werden.

Ziel ist es, die Erfassungsquoten zu maximieren und somit die große Diskrepanz zwischen den in Verkehr gebrachten und den zurück genommenen Geräte kontinuierlich zu verringern. Dadurch kann das Rohstoffpotenzial der aktuell noch nicht erfassten Geräte zusätzlich generiert werden. Dazu ist erforderlich, dass die Geräte ausschließlich zertifizierten Anlagen mit Kühlgeräterecyclingkompetenz zugeführt werden.

2.3. Qualitätsanforderungen im Kühlgeräterecycling

Hohe normative Standards regulieren die Rahmenbedingungen des Kühlgeräterecyclings, die von europäischer Ebene vorgegeben, länderspezifisch in nationales Recht umgesetzt werden. Deren Einhaltung wird im Rahmen umfassender externer sowie interner Audits regelmäßig geprüft. Die langjährig etablierten Kühlgeräteprozesse werden auf Basis dessen kontinuierlich kontrolliert und optimiert.

Die Recyclingtechnik wird stetig den sich verändernden Rahmenbedingungen und Anforderungen durch neue Kühlgerätearten angepasst. Dieser Standard bzw. das Recyclingniveau kann nicht weltweit flächendeckend gewährleistet werden, sodass es von höchster Relevanz ist, dass die Geräte fachgerecht erfasst und den richtigen, zertifizierten Recyclingprozessen zugeführt werden. Mit den inzwischen etablierten Standards des Kühlgeräterecyclings in Europa ist bereits ein hohes Niveau erreicht worden, sodass Rohstoffpotenziale durch implementierte Aufbereitungstechnologien bereits in großem Maße ausgeschöpft werden können.

Insbesondere hinsichtlich des Kühlgeräterecyclings in Deutschland ist ein Ampel-Ranking-System implementiert, das die Behandlungsqualität und die Einhaltung der Rückgewinnungsvorgaben aufzeigt. Grün geschaltete Anlagen erfüllen die gesetzlichen Anforderungen an das Recycling, die Rückgewinnung sowie die Dokumentation und Organisation vollständig. Gelb geschaltete Anlagen weichen geringfügig von einer vollständigen Erfüllung der Anforderungen ab. Diese Anlagen dürfen weiterhin beliefert werden und die Verarbeitung darf fortgeführt werden. Allerdings muss nach Feststellung

von Abweichungen ein Verbesserungsprozess aufgezeigt werden. Erfolgt keine Abstellung der Mängel, kann dies zu einer Rotschaltung führen. Dies hat zur Konsequenz, dass die Anlage bis zum vollständigen Beheben des Mangels keine Kühlgeräte der Hersteller, die dem Qualitätssicherungssystem angeschlossen sind, mehr annehmen und verarbeiten darf. Nach Beheben des Defizits wird eine erneute Prüfung durch den entsprechenden Auditor durchgeführt und eine Aufhebung oder Verlängerung der Rotschaltung erklärt. Eine Grundvoraussetzung, dass das hohe etablierte Niveau genutzt wird und damit Rohstoffpotenziale generiert werden können, ist, dass die Geräte den richtigen Recyclingwegen, d.h. zertifizierten Anlagen mit Kühlgeräterecyclingkompetenz, zugeführt werden und die Qualitätsstandards flächendeckend Anwendung finden.

2.4. Neue Technologien – Kühlgeräterecycling morgen

Da die Anforderungen an die Energieeffizienz von Haushaltsgeräten steigen, müssen kontinuierlich auch die eingesetzten Technologien angepasst werden, um marktübliche und wettbewerbsfähige Energieeffizienzklassen A++ und A+++ zu erreichen. Dazu ist der Einsatz veränderter Isoliermaterialien (Vakuumisolationspaneele) und hocheffizienter Kompressoren erforderlich. Auf Basis sich ständig entwickelnder und modifizierender Technologien in der Elektro- und Elektronikbranche ändert sich die Zusammensetzung des Stoffstroms im Zeitverlauf stetig. Die Kühlgeräterecyclinganlagen müssen infolgedessen regelmäßig den neuen Technologien der ausgedienten Geräte angepasst werden und zeitgleich den Recyclerfordernissen der alten Kühlgeräte entsprechen. Aufgrund der stark variierenden Längen der Produktlebenszyklen von Kühlgeräten, die insbesondere auch regional sehr unterschiedlich sind, müssen Kühlgeräterecyclinganlagen sehr anpassungsfähig an unterschiedliche Kühlgerätetypen sein. So sind die Produktlebenszyklen von Kühlgeräten, bspw. bedingt durch das unterschiedliche Aufbewahrungsverhalten, in Großstädten in der Regel erheblich kürzer als auf dem Land. In ländlichen Gegenden werden Kühlgeräte aufgrund des zur Verfügung stehenden Platzes tendenziell länger aufbewahrt, als in großen Städten, wo die Wohnflächen begrenzt sind. Demnach werden regional unterschiedlich sehr heterogene Gerätetypen mit verschiedenen Zusammensetzungen entsorgt, die eine hohe Anpassungsfähigkeit erfordern. Folgeschluss ist, dass eventuelle Kompromisse eingegangen werden müssen, die sich in dem Rahmen der gesetzlichen Anforderungen bewegen. Eine Aufbereitung der Kühlgeräte im Rahmen von Batches (in dem beispielsweise verschiedene Technologien zusammen behandelt werden) ist zum einen aufgrund des höheren Handlungsaufwandes und zum anderen aufgrund der begrenzten gesetzlich erlaubten Lagerkapazitäten nur bedingt realisierbar. Zudem sind verschiedene Technologien nicht immer für die Recycler ersichtlich bzw. erkennbar, wie dies insbesondere beim Einsatz der Vakuumisolationspaneele der Fall ist.

2.4.1. Vakuumisolationspaneele (VIP)

Vakuumisolationspaneele haben im Vergleich zu Polyurethan (PUR-Schaum) eine außerordentlich gute Dämmeigenschaft und werden zur Erreichung der hohen Energieeffizienzklassen A++ und A+++ inzwischen verstärkt eingesetzt. Das Recycling der VIPs erfordert eine Anpassung des Recyclingprozesses, um Gefährdungspotenziale, insbesondere gesundheitliche Gefahren, zu minimieren. VIPs bestehen beispielsweise

aus pyrogenem Kieselsäure-Pulver und einem Trübungsmittel in einem Vakuum, das von einem Polyestervlies umgeben und in eine Hochbarrierefolie aus metallisiertem Folienlaminat eingeschweißt ist. Die Vakuumisolationspaneele werden direkt am Korpus angebracht und mit einer herkömmlichen Pentanschäumung umschlossen, so dass eine eindeutige Klassifizierung der Geräte nicht möglich ist. Zudem gibt es auch keine Kennzeichnung der VIPs durch die Hersteller.

Beim Schreddern von Vakuumisolationspaneelen mit amorpher Kieselsäure entsteht Feinststaub². Feinststaub ist der alveolen-, d.h. lungengängige Staubanteil. Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) in Deutschland geben die Arbeitsplatzgrenzwerte von 1,25 mg/m³ (Feinststaub) bzw. 4 mg/m³ für Kieselsäure vor.

Die im Rahmen des Schredderprozesses entstehenden Stäube stellen besondere Anforderungen an das Recycling. Die Dichtigkeit der Recyclinganlagen ist von höchster Relevanz für die Qualität der Raumluft. Die Sicherstellung eines hohen Luftdurchsatzes innerhalb der Recyclinganlage und ein adäquates Filtersystem sind ebenfalls unbedingt erforderlich. Filtersysteme, wie z.B. Nassfilter, die in der Lage sind, Feinststaub zu filtern, müssen implementiert werden, um das Gefahrenpotenzial auf ein Minimum zu reduzieren. Die Anforderungen hinsichtlich der Dichtigkeit der Anlage werden durch die Einhaltung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) bereits erfüllt, da dadurch auch die Rückgewinnung von FCKW rechtlich reglementiert wird.

Die Vakuumisolationspaneele verursachen darüber hinaus eine Verunreinigung der Polyurethan-Fraktion, da im Rahmen der mechanischen Separation Fraktionen mit hohem Gewicht von Fraktionen mit geringem Gewicht getrennt werden. So werden zunächst Fe-, NE-Metalle und Polystyrol abgeschieden, woraufhin abschließend die Polyurethan-Staubfraktion verbleibt. Aufgrund des geringen Gewichts und den Einsatz eines Zick-Zack-Sichters bleibt final eine Leichtfraktion zurück. Diese besteht insbesondere aus Polyurethan und darüber hinaus sind leichte Bestandteile der VIPs enthalten, wie Folie etc. sowie Kettenabriebe, die bei der Nutzung eines Querstromzerspaners durch die mechanische Beanspruchung entstehen. Die zuletzt genannten Leichtfraktionen verunreinigen die Polyurethan-Fraktion und stellen damit eine Herausforderung, insbesondere hinsichtlich der Vermarktung, dar.

2.4.2. Kompressorenöle

Kompressoren, die hocheffizient arbeiten, enthalten niedrig viskose, d.h. dünnflüssige, Öle. Die Kennzeichnung dieser Kompressorenöle wird entsprechend der neuen CLP-Einstufung novelliert. Das bisherige Symbol mit der Beschreibung *Gesundheitsschädlich. Kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen* wird durch die neue CLP-Einstufung durch ein neues Piktogramm ersetzt, welches folgende Bedeutung hat: *Gefahr: Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein*. Um sämtliche gesundheitliche Gefahrenpotenziale zu minimieren, muss im Rahmen der Entölung eine Ölnebelbildung vermieden werden.

² Feinststaub: Durchmesser < 2,5 µm.

2.4.3. Kühlgeräte mit Digitalanzeige

Die heute in Küchen verbauten hochwertigen Kühlgeräte, die teilweise integrierte Digitalanzeigen bzw. Displays haben, stellen eine weitere Herausforderung an das Kühlgeräterecycling von morgen dar. Entsprechend der aktuell etablierten Recyclingprozesse für Kühlgeräte und aufgrund der individuellen Platzierung der Digitalanzeigen ist eine standardisierte und automatisierte Separation der integrierten Displays in der Recyclingpraxis schwer darstellbar. Darüber hinaus ist nur ein geringer Anteil moderner Kühlgeräte mit diesen Digitalanzeigen ausgestattet, die vor Zuführung in die Schredderautomatik entnommen werden müssen. Gemäß Anhang III Nr. 1 j) ElektroG sind *Flüssigkristallanzeigen (ggf. zusammen mit dem Gehäuse) mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm² und hintergrundbeleuchtete Anzeigen mit Gasentladungslampen* vorab zu entnehmen. Im Rahmen der Schadstoffentfrachtung muss somit eine manuelle Separation der Digitalanzeigen erfolgen, die anschließend einer fachgerechten Aufbereitung zugeführt werden. Diese Gerätebauteile fließen daraufhin dem Stoffstrom und dem Aufbereitungsprozess der Bildschirmgeräte zu.

2.5. Zwischenfazit: Alte und neue Kühlgerätetechnologien

Die sich ändernden Anforderungen an die Kühlgerätetechnologien (Energieeffizienzklassen) und das unterschiedliche Aufbewahrungsverhalten führen dazu, dass verschiedenste Kühlgerätetypen gleichzeitig im Abfallstoffstrom zurückfließen und die Recyclingtechnik anpassungsfähig hinsichtlich der stark variierenden Gerätespezifika sein muss. In diesem Zusammenhang stellen die unzureichenden und bisweilen zu einem geringen Prozentsatz auch fehlerhaften Kennzeichnungen der Kühlgeräte eine besondere Herausforderung dar. Die entsprechende Kennzeichnung der verschiedenen Gerätetypen, z.B. FCKW-, Pentan (KW)-Geräte etc., ist für den Recyclingprozess von höchster Relevanz, um insbesondere Rückgewinnungsquoten korrekt zu dokumentieren und Zielrückgewinnungsquoten zu erreichen. Darüber hinaus muss eine Verlässlichkeit der Kennzeichnungen gewährleistet sein, d.h. Geräte und insbesondere auch Geräteteile müssen korrekt, z.B. als FCKW- oder Pentan-Gerät, gekennzeichnet sein. Der Korpus, die Tür sowie die innen liegende Tür eines Kühlgerätes haben in der Praxis nicht immer die gleiche Zusammensetzung, sodass demnach eine eindeutige Klassifizierung und Sortierung in der Praxis schwierig darstellbar ist. Um diesbezüglich Rohstoffpotenziale in bestmöglichem Maße zu generieren, ist eine eindeutige Kennzeichnungspflicht zu implementieren.

2.6. Sekundärrohstoffe und Schadstoffe aus dem Kühlgeräterecyclingprozess

Der Stoffstrom der Kühlgeräte hält einerseits hochwertige Fraktionen, wie z.B. Fe-Schredder, Kompressoren und Kunststoffe, bereit, die als Sekundärrohstoff erneut dem Stoffkreislauf zugeführt werden können und beinhaltet andererseits gefährliche Stoffe, z.B. Polyurethan, Kälte- sowie Treibmittel, die eine adäquate, aufwendige und kostenintensive Beseitigung erfordern.

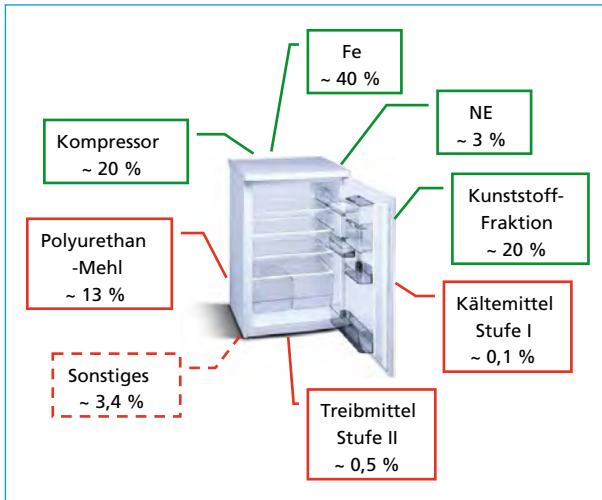


Bild 3:

Die (grobe) Zusammensetzung eines Kühlgerätes

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an interne Erhebungen

Bild 3 zeigt eine näherungsweise Materialbilanz, die beispielhaft die Zusammensetzung der aktuell ausgedienten und damit derzeit zu verwertenden Kühlgeräte zeigt. Die rot gekennzeichneten Fraktionen sind die Schadstoffe des Stoffstroms, die im Rahmen aufwendiger Recyclingprozesse zurück gewonnen werden müssen und anschließend einer kostenintensiven Beseitigung zuzuführen sind. Die grün markierten Fraktionen sind Outputfraktionen, die im Rückgewinnungsprozess des Kühlgeräterecyclings gewonnen werden. Partiiell können diese im Anschluss direkt als Sekundärrohstoff erneut dem Stoffkreislauf zugeführt werden, teilweise ist eine Folgeaufbereitung und Bereinigung durch spezialisierte Aufbereitungsunternehmen erforderlich, woraufhin die behandelten Sekundärrohstoffe ebenfalls erneut in der Produktion eingesetzt werden können. In der gestrichelt gekennzeichneten Kategorisierung *Sonstiges* sind werthaltige sowie schadstoffhaltige Bauteile mit geringem Gewichtsanteil zusammengefasst. Hierzu gehören z.B. Kabel, PCB-haltige Bauteile, Leiterkarten, Glas usw.

Die Rückgewinnung wert- sowie schadstoffhaltiger ist von zentraler Bedeutung, insbesondere hinsichtlich der Generierung von Rohstoffpotenzialen.

Je sortenreiner und detaillierter die Wertstofftiefe, desto höher ist das Rohstoffpotenzial aus den werthaltigen Fraktionen. Demnach stellt die Prozessoptimierung zur Verbesserung des Rohstoffpotenzials werthaltiger Bestandteile eine zentrale Aufgabe des Kühlgeräterecyclings dar. Die Werthaltigkeit und das damit verbundene Rohstoffpotenzial der Kühlgeräte ist abhängig von mehreren Faktoren, da die Zusammensetzung der Geräte sehr stark variiert. Die in den Geräten verbauten Fraktionen verändern sich insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Anforderungen an die Kühlgerätektechnologien hinsichtlich der Energieeffizienzklassen. Des Weiteren ist die Werthaltigkeit von dem Gerätetyp, dem Alter des Gerätes und der Gerätequalität abhängig. Der Gewichtsanteil der Fe-Fraktion ist beispielsweise bei freistehenden Kühlgeräten im Vergleich zu integrierten Kühlschränken höher, da die freistehenden Geräte vollständig verkleidet sind. Hinsichtlich der oben genannten Kriterien Gerätetyp, Alter und Qualität gibt es auch regionale Differenzen, z.B. Großstadt vs. ländliche Gegend und West- vs. Nord-, Ost- und Süddeutschland, usw.

Auch die in Kühlgeräten verbauten Kunststoffe, die je nach Alter, Technologie, etc. unterschiedlich sind, haben unterschiedliche Qualitäten und Recyclinganforderungen. Eine Anpassung der Recyclingtechnik zur optimalen Abschöpfung des Rohstoffpotenzials ist demnach unbedingt erforderlich.

Um eine möglichst optimale Ausschöpfung der Rohstoffpotenziale aus Kühlgeräten zu erzielen, sollten die Geräte mit einer möglichst hohen Wertstofftiefe zerlegt werden. Dies bedeutet, dass die Geräte möglichst feingliedrig mit einer hohen Sortenreinheit zu zerlegen bzw. zu verarbeiten sind. Das Ziel ist es, eine hohe und konstante Rohstoffqualität zu generieren, die gut vermarktbar ist. Wenn die Recyclingtechnik eine gute Wertstofftiefe ermöglicht und die gewonnenen Fraktionen als Sekundärrohstoffe erneut dem Stoffkreislauf zugeführt werden können, wird ein erheblicher Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet. Daraus resultierend hängt die Ausschöpfung von Rohstoffpotenzialen eng mit der Wertstofftiefe zusammen. Je reiner die Fraktion, desto höher das Potenzial, dass die Fraktion ohne Qualitätsverluste in der Produktion als Sekundärrohstoff erneut eingesetzt werden.

Hinsichtlich der schadstoffhaltigen Fraktionen aus Kühlgeräten gilt die Rückgewinnung ebenfalls als höchstrelevante Herausforderung. Es gibt allgemeingültig bindende Vorgaben in Bezug auf die Rückgewinnung schadstoffhaltiger Fraktionen, die zur Aufrechterhaltung des Betriebs von Kühlgeräterecyclinganlagen zwingend einzuhalten sind. Die zu generierenden Rückgewinnungsmengen schadstoffhaltiger Bestandteile sind in der Regel durch die Anzahl der intakten/defekten determiniert. Im Rahmen von Bilanzierungen innerhalb der Stufe I wird auf Basis dessen die Anzahl intakter und defekter Geräte dokumentiert, woraus die Rückgewinnungsvorgaben resultieren. Die Unterscheidung zwischen intakten und defekten Geräten ist anhand des Systemdrucks meistens eindeutig. Im Rahmen der offiziellen 100-Geräte-Tests für die Behandlungsstufe 1 wird die zurück gewonnene Menge an Kältemittel dem Erwartungswert an Kältemittel gemäß den Typenschildern der intakten Geräte gegenübergestellt. Daraus kann die Rückgewinnungsrate an Kältemitteln aus dem Kühlkreislauf berechnet werden, die einen vorgegebenen Zielwert mindestens erreichen muss.

Darüber hinaus stellt sich die Vermarktung des Polystyrols aktuell schwierig dar, da aufgrund des gesunkenen Rohölpreinsniveaus die Nutzung natürlicher Ressourcen in der Produktion erheblich angestiegen ist. Bedingt dadurch, dass der Ölpreis stark gefallen ist bzw. fällt, werden natürliche Rohölvorkommen wieder verstärkt bezogen, sodass die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen zur Substitution natürlicher Ressourcen stark rückläufig ist. Demnach stellt sich die Rückführungsmöglichkeit von Polystyrol in Form eines Sekundärrohstoffes in den Stoffkreislauf aktuell schwierig dar.

2.7. Erzielte Rohstoffpotenziale des Beispielunternehmens

Exemplarisch sollen die im Jahr 2014 generierten Rohstoffpotenziale des Beispielunternehmens mit europaweit sechs Kühlgeräterecyclinganlagen dargestellt werden, um den Umfang des vorhandenen Rohstoffpotenzials durch das Recycling von Kühlgeräten aufzuzeigen.

Ein Mittelklasse-PKW mit einem Gesamtgewicht von etwa 1,5 Tonnen besteht zu etwa 900 kg aus Eisen (etwa 60 Prozent) und hat einen Aluminiumanteil von etwa 140 bis 150 kg (etwa 10 Prozent). Europaweit recycelt das Unternehmen jährlich etwa 1,5 Mio. Kühlgeräte, was einer Tonnage von etwa 65.000 Tonnen entspricht. Durch die Gewichtung der in Bild 3 visualisierten Materialbilanz mit der generierten Gesamttonnage von über 65.000 Tonnen Kühlgeräte errechnen sich die im Jahr 2014 erzielten Rohstoffpotenziale je Fraktion:

Fraktion	Mengenanteil %	Menge t
Fe-Fraktion	40,0	26.000
NE-Fraktion	3,0	1.950
Kompressor	20,0	13.000
Kunststoff-Fraktion	20,0	13.000
Polyurethan-Mehl	13,0	8.450
Treibmittel Stufe II	0,5	325
Kältemittel Stufe I	0,1	65
Sonstiges	3,4	2.210
Gesamt	100,0	65.000

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an interne Erhebungen

Tabelle 2:

Erzielte Rohstoffpotenziale des Jahres 2014

Durch die von dem Beispielunternehmen in einem Jahr generierten Sekundärrohstoffe kann der Eisenbedarf für die Produktion von fast 29.000 Mittelklasse-PKW gedeckt werden. Des Weiteren werden jährlich 1.950 Tonnen Nichteisenmetalle im Rahmen des Kühlgeräterecyclings zurück gewonnen, die, insbesondere in Form von Aluminium, bei der Produktion von 13.000 Mittelklasse-PKW als Sekundärrohstoffe natürliche Rohstoffe substituieren können. Damit beinhalten insbesondere die sortenreinen Fraktionen Fe und NE bereits ein hohes Rohstoffpotenzial. Darüber hinaus enthalten Fraktionen, wie Kompressoren, Kunststoffe und sonstige Bestandteile eine bedeutende Werthaltigkeit, die im Rahmen weiterer Schritte durch Spezialunternehmen aufbereitet werden müssen, damit diese als Sekundärrohstoff dem Stoffkreislauf zugeführt werden können.

3. Fazit

Die neben den bereits aufgeführten Gefährdungspotenzialen vorhandenen Rohstoffpotenziale beim Kühlgeräterecycling resultieren primär aus den verbauten Materialien, die einer adäquaten Aufbereitung bedürfen, um als Sekundärrohstoff zurück in den Stoffkreislauf geführt werden zu können. Die Höhe des Rohstoffpotenzials ist von verschiedenen Faktoren abhängig. So ist insbesondere die Zusammensetzung der Geräte relevant. Da es sich bei dem homogenen Kühlgerätestrom um einen Stoffstrom mit verschiedenen Technologien handelt, können einzelne Geräte wiederum sehr individuell und heterogen aufgebaut sein. Die Produktlebenszyklen von Kühlgeräten variieren

insbesondere aufgrund regionaler Besonderheiten sehr stark, sodass Kühlgeräte mit unterschiedlichen Eigenschaften in einem Stoffstrom gleichzeitig dem Recycling zugeführt werden. Dieses erfordert eine kontinuierliche Anpassung der Recyclingtechnik an neue Kühlgerätekategorien und Kühlgerätezusammensetzungen. Um den stark variierenden Anforderungen der verschiedenen Kühlgerädetypen richtig zu begegnen, müssen möglichst modulare Prozesse implementiert werden, die die Individualität der Geräte berücksichtigen. Auf Basis dessen können neue Kühlgerätekategorien, wie z.B. Vakuuminisulationspaneele, einem fachgerechten Recycling zugeführt werden.

Damit bisher nicht generierte Rohstoffpotenziale ebenfalls ausgeschöpft werden, ist ferner die Steigerung der Erfassungsmengen und damit die Schließung der großen Lücke, resultierend aus dem hohen Mengenschwund, von höchster Relevanz. Um das Gap zu minimieren, sind Bürger zu sensibilisieren und über die korrekten Recyclingwege und mögliche Konsequenzen falscher Entledigungswege zu unterrichten. Aufgrund der erheblichen Diskrepanz zwischen in Verkehr gebrachten Mengen und zurück genommenen Mengen beinhalten die Geräte, die keinem fachgerechten Recycling zugeführt werden, ein erhebliches Rohstoffpotenzial. Durch die Schließung dieses Gaps könnte in Deutschland ungefähr eine Verdopplung der generierten Rohstoffpotenziale erzielt werden, sofern eine Zuführung sämtlicher Kühlgeräte in zertifizierte Kühlgeräteaufbereitungsanlagen sichergestellt wäre (Bild 2).

Um Rohstoffpotenziale umfassend zu generieren und Gefahrenpotenziale zu minimieren, ist es unbedingt erforderlich, dass sämtliche Kühlgerätekategorien und -typen in geschlossenen Schredderprozessen verarbeitet werden. Gemäß WEEELABEX und CENELEC ist die Aufbereitung von Kühlgeräten in offenen Schreddern ausdrücklich untersagt. Dieses Verbot muss ganzheitlich implementiert und ausdrücklich formuliert werden, sodass keine Rechtslücke gefunden werden kann, die die Verarbeitung in offenen Schreddern legitimiert. Die hohe Wichtigkeit der Verarbeitung dieser Geräte in geschlossenen Schreddern resultiert insbesondere aus den in 2.5. erläuterten Kennzeichnungsproblematiken und individuellen Sortierschwierigkeiten, auch verursacht durch menschliche Fehler. Darüber hinaus ist die Verarbeitung von Vakuuminisulationspaneelen in offenen Schreddern vollkommen unfachgerecht, da dies durch die lungengängigen Feinststäube Gesundheitsgefährdungen zur Folge haben kann. Des Weiteren wird die Erreichung gesetzlich vorgegebener Recyclingquoten bei dem Recycling von Kühlgeräten in offenen Schreddersystemen bedingt durch größere Sortiertechniken deutlich erschwert.

4. Quellen

- [1] Behlendorf, N.: Von Hamburg nach Afrika (online). Verfügbar unter: <http://blog.zdf.de/zdf-zoom/2011/06/08/von-hamburg-nach-afrika/>, 2011
- [2] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (AGS-Geschäftsführung): Technische Regeln für Gefahrstoffe – Arbeitsplatzgrenzwerte – TRGS 900 [online]. 2006. Verfügbar unter: <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/666762/publicationFile/55588/TRGS-900.pdf>
- [3] FHA GmbH: Leistungstest 2013 und Stoffstrombilanz 2012 – Durchführung einer Leistungsbewertung über die Verwertung von Kühlgeräten bei der UFH-Anlage in Kematen im Auftrag der UFH RE-cycling GmbH, Wien, 2013

- [4] Finanzen.net: Ölpreis in Dollar. Verfügbar unter: <http://www.finanzen.net/rohstoffe/oelpreis>, 2015
- [5] Günther, E. (k.A.): Sekundärrohstoff. Verfügbar unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55443/sekundaerstoff-v7.html>
- [6] Haas, H.-D.; Neumair, S.-M. (k.A.): Rohstoffpotenzial. Verfügbar unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/rohstoffpotenzial.html>
- [7] Kreft, J.; Staffhorst, C.: Elektrorecycling – Eine ethische Risikoanalyse, Hamburg, 2012
- [8] KrWG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG). 2012 Verfügbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/krwg/_3.html
- [9] Löffelbein, K.: Unicef-Foto des Jahres. 2011 Verfügbar unter: <http://www.geo.de/GEO/fotografie/fotogalerien/fotogalerie-das-unicef-foto-des-jahres-2011-70492.html>
- [10] Oebbeke, A.: Neues RAL Gütezeichen Vakuum-Isolations-Paneele. 2009. Verfügbar unter: <http://www.baulinks.de/webplugin/2009/0490.php4>
- [11] Oebbeke, A.: Vakuumdämmung in Dämmstoffe-Magazin. Verfügbar unter: <http://www.baulinks.de/baumaterial/vakuumdammung-vakuumisolationspaneele-vip.php>
- [12] REMONDIS Electrorecycling GmbH: Zerlegelinien für Kühlgeräte. 2015 Verfügbar unter: <http://www.remondiselectrorecycling.de/er/technologie/zerlegelinien/kuehlgeraete/>
- [13] Schmid, J.; Hornberger, M.; Janusz-Renault, G.: Untersuchung Gefährdungspotenzial durch Cyclopentan aus der Behandlung von VOC-Kühlgeräten. 2006. Verfügbar unter: http://abag-itm.de/fileadmin/Dateien/ABAG/Dokumente/VOC_Kuehlgeraet_final.pdf
- [14] Umweltbundesamt: Export von Elektroaltgeräten – Fakten und Maßnahmen. 2010. Verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4000.pdf>
- [15] Umweltbundesamt: Umsetzung des Montrealer Protokolls – Europäische Umsetzung des Montrealer Protokolls. 2014. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierete-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/regelungen-zu-ozonabbauenden-stoffen>
- [16] URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH (k. A.): UNTHA CO₂ calculator, Karlstadt
- [17] Verordnung (EG) über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen: Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen [online]. Verfügbar unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ozon_eg_vo.pdf

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 8

ISBN 978-3-944310-20-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2015
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Carolin Bienert, Janin Burbott,
Max Müller, Cordula Müller
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.