



Entsorgung FCKW-haltiger Haushaltskühlgeräte in Nordrhein-Westfalen

LANUV-Fachbericht 21



**Entsorgung FCKW-haltiger
Haushaltskühlgeräte in Nordrhein-Westfalen**

LANUV-Fachbericht 21

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2009

IMPRESSUM

Herausgeber Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Dieser Fachbericht basiert in weiten Teilen auf dem Abschlussbericht "Minimierung von Klimagasemissionen bei der Kühlgeräteentsorgung" des Instituts für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA), der vom LANUV NRW in Auftrag gegeben wurde. Neuere Erkenntnisse und Daten wurden durch das LANUV hinzugefügt.

Redaktion Dipl.-Ing. Heike Holst, Dipl.-Ing. Reiner Hesshaus (LANUV NRW)

Titelbild Kühlgeräte in einer Behandlungsanlage

ISSN 1864-3930 LANUV-Fachberichte

Informationsdienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter

- www.lanuv.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im

- WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Einleitung	11
2 Grundlagen	12
2.1 Gerätebauarten und Zusammensetzung der Kühlgeräte	12
2.2 Kälte- und Treibmittel in Kühlgeräten	13
2.2.1 Umweltrelevanz.....	14
2.2.2 Kältemittelmengen im Kältekreislauf	15
2.2.3 Treibmittelmengen im PUR-Isolierschaum	20
2.3 Zu entsorgende Menge FCKW-haltiger Kühlgeräte	22
2.3.1 Aufkommen an zu entsorgenden Kühlgeräten	22
2.3.2 Anteil der FCKW-haltigen Kühlgeräte	23
3 Stand der Technik für der Behandlung FCKW-haltiger Kühlgeräte	25
3.1 Anlagentechnik und Betriebsführung	26
3.1.1 Anlieferung und manuelle Vorentsorgung	27
3.1.2 Behandlung Stufe 1	28
3.1.3 Behandlung Stufe 2	30
3.1.4 Reinigung der Prozessluft	31
3.1.4.1 Adsorption	32
3.1.4.2 Kryokondensation.....	32
3.1.4.3 Kombination von Adsorption und Kryokondensation.....	34
3.1.4.4 Verflüssigung und Abfüllung.....	34
3.2 Überwachung	35
3.2.1 Rechtlich vorgeschriebene Überwachung	35
3.2.1.1 Überwachung des Abgases	35
3.2.1.2 Überwachung der Anlagentechnik und der Betriebsführung	36
3.2.2 Freiwillige Qualitätsprüfung	37
3.2.2.1 Behandlungsstufe 1	38
3.2.2.2 Behandlungsstufe 2.....	39
3.2.2.3 Fazit.....	41
3.3 Gemeinsame Behandlung FCKW- und KW-haltiger Kühlgeräte	41
4 Status Quo der Anlagen in Nordrhein-Westfalen	44
4.1 Anlagentechnik	45
4.1.1 Anlagentechnik der Stufe 1	45
4.1.2 Anlagentechnik der Stufe 2	46
4.2 Betriebsführung	47
4.2.1 Anlieferung	47
4.2.2 Arbeitsabläufe in der Stufe 1	47
4.2.3 Arbeitsabläufe in der Stufe 2	47

4.2.4	Dokumentation	47
4.3	Umsetzung der Anforderungen der TA Luft	48
4.3.1	Prüfung gemäß Abschnitt d.....	48
4.3.1.1	Prüfung 2007	48
4.3.1.2	Prüfung 2008	49
4.3.2	Prüfung gemäß Abschnitt f.....	51
4.3.3	Prüfung gemäß Abschnitt g.....	52
4.4	Umsetzung der Anforderungen gemäß ElektroG	52
4.5	Auswertung der 1.000-Geräte-Tests	53
4.6	Jahresstoffströme	55
4.6.1	Stoffströme der einzelnen Anlagen für 2007	56
4.6.1.1	Behandlungsstufe 1.....	56
4.6.1.2	Behandlungsstufe 2.....	58
4.6.2	Stoffströme der einzelnen Anlagen für 2008	58
4.6.2.1	Behandlungsstufe 1.....	59
4.6.2.2	Behandlungsstufe 2.....	60
4.6.3	Gesamtstoffströme für 2007 und 2008 in Nordrhein-Westfalen	61
5	Vorschläge zur Optimierung der Behandlung.....	63
5.1	Anlieferung	63
5.2	Anlagentechnik Stufe 1	63
5.3	Anlagentechnik Stufe 2	63
5.4	Betriebsführung	64
5.5	Qualifikation der Mitarbeiter	65
5.6	Eigenüberwachung.....	65
5.7	Überwachung durch externe Sachverständige.....	65
6	Entwicklungen im Jahr 2009	66
7	Fazit.....	68
	Abbildungsverzeichnis	70
	Tabellenverzeichnis	71
	Quellenverzeichnis	72
	Verwendete Begriffe.....	76

Zusammenfassung

Obwohl die Produktion von Haushaltskühlgeräten, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) enthalten, seit dem 01.01.1995 verboten ist, fallen auf Grund der langen Lebensdauer dieser Geräte heute noch erhebliche Mengen zur Entsorgung an. Da FCKW sowohl ein sehr hohes Ozon schädigendes Potenzial haben als auch wesentlich für die globale Erwärmung (Treibhauseffekt) verantwortlich sind, liegt bei der Kühlgeräteentsorgung das oberste Ziel darin, FCKW kontrolliert aus dem Stoffkreislauf zu entfernen, umweltgerecht zu entsorgen und dabei insbesondere die Emission von FCKW in die Atmosphäre zu verhindern.

In Nordrhein-Westfalen wurden im Jahr 2008 fünf Anlagen zur Behandlung FCKW-haltiger Kühlgeräte betrieben. In allen Anlagen werden die Kühlgeräte durch Entnahme des Kältemittel-Öl-Gemisches aus dem Kältekreislauf trockengelegt (Behandlungsstufe 1). In vier Anlagen werden die FCKW-haltigen Treibmittel aus dem Isolierschaum zurückgewonnen (Behandlungsstufe 2).

Im September 2008 hat das *Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen* (LANUV) das *Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.* (IUTA) beauftragt, eine gutachterliche Untersuchung zum Thema „Minimierung von Klimagasemissionen bei der Kühlgeräteentsorgung“ durchzuführen.

Der vorliegende Fachbericht basiert in weiten Teilen auf den Ergebnissen des Abschlussberichts des IUTA vom Februar 2009. Neuere Erkenntnisse und Daten sind durch das LANUV hinzugefügt worden.

Prognose über die zu entsorgende Gerätemenge

In Nordrhein-Westfalen fallen jährlich ca. 550.000 bis 600.000 Haushaltskühlgeräte zur Entsorgung an. Über 80 % dieser Geräte enthalten noch FCKW im Kältekreislauf und im Isolierschaum. Legt man statistische Daten aus Österreich zu Grunde [11], ist damit zu rechnen, dass auch noch in fünf Jahren über 50 % der Geräte FCKW enthalten. Erst um das Jahr 2020 – 25 Jahre nach Inkrafttreten des Produktionsverbots für FCKW-haltige Haushaltskühlgeräte – wird der Anteil dieser Geräte auf unter 10 % sinken.

FCKW in Kühlgeräten

In den FCKW-haltigen Haushaltskühlgeräten wurden in der Regel das FCKW R 12 als Kältemittel im Kältekreislauf und das FCKW R 11 als Treibmittel im Isolierschaum eingesetzt. Der *Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie* (ZVEI) geht für Neugeräte, die vor 1988 hergestellt wurden, von einer R 12-Menge von 140 g und einer R 11-Menge von 500 g aus; bei Geräten der Baujahre 1988-1993 ist von einer durchschnittlichen Menge von 105 g R 12 und 345 g R 11 auszugehen. Im LAGA-Merkblatt-M 31 in Verbindung mit dem „Leitfaden zur Entsorgung von Kühlgeräten“ des Umweltbundesamtes von 1998 [22] werden als Orientierungswerte für die FCKW-Rückgewinnung 115 g R12 aus dem Kältekreislauf und 283 g R 11 aus dem PUR-Schaum angenommen. Unter der Annahme, dass es sich hierbei

um 90 % der in den Kühlgeräten enthaltenen Menge handelt, kann bei zu entsorgenden Haushaltskühlgeräten die Menge an FCKW pro Kühlgerät auf durchschnittlich 128 g R 12 und 315 g R 11 – bei einem durchschnittlichen Gewicht von 40 kg pro Kühlgerät – geschätzt werden.

Die deutsche Entsorgungsindustrie geht hingegen davon aus, dass der FCKW-Gehalt bei den zu entsorgenden Geräten insbesondere im Isolierschaum deutlich geringer ist. Sie hält die Datenbasis für diese Werte für veraltet. Allerdings wurden diese Werte auf europäischer Ebene von der *European Electronics Recyclers Association* (EERA) zusammen mit der *European Association of Electrical and Electronical Waste Take Back Systems* (WEEE-Forum) und dem *European Committee of Domestic Equipment Manufacturers* (CECED) als Grundlage für den gemeinsam entwickelten Leistungstest akzeptiert.

Anforderungen an die Behandlung von FCKW-haltigen Kühlgeräten

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [26] und Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) [27] ist bei der Kühlgerätebehandlung der Stand der Technik einzuhalten. Immissionsschutzrechtlich sind insbesondere die Anforderungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft zu beachten. Der notwendige Umfang der Maßnahmen bei der Überwachung wird in der Vollzugshilfe zur Überwachung von Anlagen zur Entsorgung von Kühlgeräten der *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* (LAI) (LAI-Vollzugshilfe) [16] beschrieben, die in Nordrhein-Westfalen im Juli 2009 per Erlass [29] eingeführt wurde.

Abfallrechtlich sind insbesondere die Anforderungen gemäß § 11 ElektroG i. V. m. Anhang III ElektroG [17] zu erfüllen. Konkretisierte Anforderungen werden im LAGA-Merkblatt 31 [18] vorgegeben, das in der Fassung aus dem Jahr 2004 ebenfalls per Erlass in Nordrhein-Westfalen eingeführt wurde.

Von den für die Entsorgung verantwortlichen Geräteherstellern werden zusätzlich zu den rechtlichen Anforderungen auch weitergehende Qualitätsanforderungen an die Behandlungsanlagen gestellt. Diese werden in Audits überprüft, die mindestens einmal jährlich statt finden. Insbesondere wird verlangt, dass die Anlagenbetreiber die Leistungsfähigkeit ihrer Anlage gemäß den gemeinsamen Vorgaben der europäischen Verbände CECED, WEEE-Forum und EERA nachweisen. Hierzu sind anhand eines so genannten 1.000-Geräte-Tests eine definierte Rückgewinnungsquote für FCKW aus dem Isolierschaum nachzuweisen und eine detaillierte Dokumentation der relevanten Stoffströme vorzulegen.

Status Quo der Anlagen in Nordrhein-Westfalen (Stand November 2008)

Das IUTA überprüfte im Rahmen der Studie im Oktober/November 2008 die Einhaltung der abfallwirtschaftlichen und immissionsrechtlichen Anforderungen. Die Daten für die Stoffströme 2008 wurden 2009 nachträglich vom LANUV erhoben.

Zuverlässigkeit der Trockenlegung gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft

Auf der Basis der Behandlung von 100 FCKW-haltigen Kältegeräten wird die FCKW-Rückgewinnungsquote im so genannten 100-Geräte-Test bestimmt. Diese soll 90 % der FCKW-Kältemittel-Menge gemäß den Angaben auf den Typenschildern der Geräte oder Einrichtungen nicht unterschreiten. Alle Anlagenbetreiber stellten der IUTA entsprechende Prüfberichte zur Verfügung. Gemäß diesen Berichten erreichten alle Anlagen die geforderte Rückgewinnungsquote für FCKW. Jedoch wurde ein Prüfbericht bemängelt, da der erforderliche Probenumfang von 100 Geräten mit intaktem Kältekreislauf unterschritten wurde und die Messdaten nicht plausibel waren.

Überprüfung der Dichtigkeit der Anlagen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft

Im Rahmen der Studie wurde die vorgeschriebene, jährliche Dichtigkeitsprüfung durch das IUTA durchgeführt. Vier der fünf Anlagen wiesen eine ausreichende Dichtigkeit auf. Eine Anlage war jedoch nach den Kriterien der TA Luft nicht ausreichend dicht. Die nach TA Luft vorgeschriebene Dokumentation der Eigenüberwachung war in keiner der untersuchten Anlagen vorhanden.

Anforderungen gemäß ElektroG

Das IUTA stellte keinen Verstoß gegen das ElektroG fest.

Auswertung der 1.000-Geräte-Tests

Laut vorgelegter Prüfberichte gemäß CECD/WEEE-Forum/EERA erreichten alle Anlagenbetreiber die angestrebte FCKW-Rückgewinnungsquote von 90 %. Jedoch haben diese Tests nur eine begrenzte Aussagekraft, da die Prüfvorschriften dem Gutachter große Ermessensspielräume bezüglich der Durchführung der Tests und Bewertung der Ergebnisse einräumen.

Rückgewinnung von FCKW

Insgesamt wurden in den untersuchten Anlagen im Jahr 2007 aus den Geräten 128.743 kg FCKW zurückgewonnen. Dies entspricht einer Menge von 235 g/Gerät. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine Anlage in diesem Zeitraum noch keine Matrixentgasung hatte. Die Rückgewinnungsmenge konnte im Jahr 2008 auf 199.476 kg FCKW gesteigert werden. Dies entspricht einer Rückgewinnungsmenge von 344 g/Gerät. Unter der Annahme, dass die zu entsorgenden Geräte im Mittel 443 g FCKW enthalten, wird für das Jahr 2008 eine durchschnittliche FCKW-Rückgewinnungsquote von 78 % erreicht.

Vorschläge zur Optimierung der Behandlung (Stand Februar 2009)

Die Ergebnisse der IUTA-Studie haben gezeigt, dass die Kühlgerätebehandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen auf einem hohen Niveau betrieben werden, jedoch einige Anlagen in einzelnen Bereichen noch optimiert werden können. Die nachfolgenden Vorschläge können helfen, die Optimierungspotenziale der einzelnen Anlagen zu erkennen.

- Um das Risiko einer Beschädigung des Kältekreislaufs und des Isolierschaums bei der Entladung und beim Transport zu minimieren, sind geeignete Transport-(hilfs)mittel einzusetzen.

- In der Behandlungsstufe 1 sollen alle Absaugplätze so ausgestattet sein, dass defekte Kühlkreisläufe sicher erkannt werden können. Hierfür sollen bei Neuanlagen Drucksensoren eingesetzt werden. Altanlagen können mit Manometern ausgestattet sein, die über einen angemessenen Ablesebereich verfügen.
- Zur Minimierung diffuser Emissionen aus dem Anlagenbereich der Stufe 2 ist insbesondere eine ausreichende Dichtung der Zuführsysteme erforderlich. Generell sollten Revisions- und Wartungsöffnungen mit optischen und/oder akustischen Warnmeldern versehen sein.
- Das Personal sollte ausreichend qualifiziert und in die Anlage eingewiesen sein. Durch die Erstellung klarer Handlungsanweisungen für verschiedene Arbeitsprozesse kann die Qualität der Prozesse verbessert werden
- Ein wesentlicher Bestandteil der Betriebsführung liegt in einer verantwortungsbewussten Eigenüberwachung durch den Anlagenbetreiber. Hierfür sollten die Vorgaben konkretisiert werden. Diese sollten mit der zuständigen Behörde und ggf. mit einem externen Sachverständigen abgestimmt werden. Ein mobiles Lecksuchsystem kann die Eigenüberwachung effizient unterstützen.
- Es sollten konkrete Vorgaben zur Dokumentation – insbesondere der Stoffströme – formuliert werden.
- Die behördliche Überwachung könnte dadurch unterstützt werden, dass die vorgeschriebenen, jährlichen Prüfungen nach TA Luft der zuständigen Behörde im Vorfeld angezeigt werden.
- Die im Rahmen der Fremdüberwachung durch externe Prüfer erstellten Gutachten müssen vollständig und eindeutig sowie für Dritte nachvollziehbar und plausibel sein.

Entwicklungen im Jahr 2009

Bei der Anlage, bei der im November 2008 keine ausreichende Dichtigkeit festgestellt wurde, wurden die entsprechenden Anlagenbereiche in Absprache mit der Überwachungsbehörde verbessert. Im Rahmen einer Nachprüfung konnte an dieser Anlage im Mai 2009 die ausreichende Dichtigkeit gemäß TA Luft festgestellt werden.

Für alle vier zurzeit in Nordrhein-Westfalen betriebenen Kühlgerätebehandlungsanlagen (eine Anlage ist seit Mitte 2009 außer Betrieb) wurden im Jahr 2009 Prüfberichte vorgelegt, mit denen die ausreichende Dichtigkeit und die Dokumentation der im Rahmen der Eigenüberwachung durchgeführten Dichtigkeitsprüfungen belegt wurde.

Im Jahr 2009 wurde durch die *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)* eine Vollzugshilfe verabschiedet und in Nordrhein-Westfalen im Juli mit Erlass [29] eingeführt (siehe Kapitel 3.2). Hierin werden die Anforderungen an die Überwachung konkretisiert (z. B. Prüfintervalle, Umfang). Insbesondere werden auch Vorgaben zum Umfang der Dokumentation der einzelnen Stoffströme gemacht. (siehe Optimierungsvorschläge).

Das LAGA-Merkblatt M 31, in dem u. a. Anforderungen zur Entsorgung von Kühlgeräten formuliert werden, wurde überarbeitet und von der Umweltministerkonferenz verabschiedet. Es wurde im September 2009 veröffentlicht.

Nachdem im Jahr 2008 bereits die Kühlgerätebehandlungsanlagen durch einzelne Hersteller auditiert wurden, wurden die Anforderungen an die Audits auf Grund der Erfahrungen aus dem Jahr 2008 überarbeitet und vereinheitlicht. Im Jahr 2009 wurden koordiniert im Auftrag der Kühlgerätehersteller alle nordrhein-westfälischen Anlagen mindestens einmal durch einen externen Prüfer auditiert.

In den Anlagen wurden Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Zum einen wurde die Anlagentechnik verbessert (z.B. durch die Installation von Manometern). Zum anderen wurden Maßnahmen umgesetzt, um zukünftig FCKW- und KW-haltige Geräte gemeinsam behandeln zu können (Installation von Absauganlagen zur gemeinsamen Absaugung von FCKW-haltigen und FCKW-freien Kältemittel/Öl-Gemischen).

1 Einleitung

Nach Aussage des *Statistischen Bundesamtes* ist jeder nordrhein-westfälische Haushalt mit durchschnittlich 1,2 Kühlschränken und 0,6 Gefriergeräten ausgestattet [36]. In diesen Geräten wurden bis in die 1990er Jahre in der Regel die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) R 12 und R 11 als Treib- bzw. Kältemittel eingesetzt. Obwohl die Produktion von Kühl- und Gefriergeräten (im Folgenden Kühlgeräte genannt) mit diesen Inhaltsstoffen seit dem 01.01.1995 verboten ist, fällt auf Grund der langen Lebensdauer auch heute noch eine erhebliche Menge FCKW-haltiger Kühlgeräte zur Entsorgung an. Da FCKW sowohl ein hohes Ozon schädigendes Potenzial haben als auch wesentlich für die globale Erwärmung (Treibhauseffekt) verantwortlich sind, liegt bei der Kühlgeräteentsorgung das oberste Ziel darin, FCKW kontrolliert aus dem Stoffkreislauf zu entfernen, gezielt zu entsorgen und dabei insbesondere die Emission von FCKW in die Atmosphäre zu verhindern. Um dies zu gewährleisten, sind die ausgedienten Kühlgeräte in Deutschland nach dem Stand der Technik zu entsorgen.

In Nordrhein-Westfalen werden fünf Anlagen zur Behandlung FCKW-haltiger Kühlgeräte betrieben. Angesichts der überragenden Umweltbedeutung war und ist die Behandlung von Kühlgeräten, die FCKW enthalten, wiederholt Gegenstand emissionschutz- und abfallrechtlicher Überprüfungen.

Im September 2008 hat das *Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen* (LANUV) das *Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.* (IUTA) beauftragt, eine Untersuchung zum Thema „Minimierung von Klimagasemissionen bei der Kühlgeräteentsorgung“ mit folgenden Schwerpunkten vorzunehmen. Zunächst wurde der Stand der Technik beschrieben und der Status Quo der Anlagen erhoben. Es folgte eine Prüfung, inwieweit die Anlagen die rechtlichen Vorgaben aus dem Immissions- und Abfallrecht erfüllen. Auf dieser Basis sind Vorschläge zur Optimierung der Anlagentechnik, der Betriebsführung und der Überwachung erarbeitet worden.

Der vorliegende Fachbericht basiert in weiten Teilen auf den Ergebnissen des Abschlussberichts des IUTA vom Februar 2009 [39]. Neuere Erkenntnisse und Daten sind durch das LANUV hinzugefügt worden.

2 Grundlagen

2.1 Gerätebauarten und Zusammensetzung der Kühlgeräte

Kühlgeräte werden auf Grund Ihrer Funktionsweise in Kompressor-, Absorber- und thermoelektrische Kühlgeräte eingeteilt. Im Folgenden beschränken sich die Ausführungen auf Kühlgeräte mit Kompressoren. Diese bilden den überwiegenden Marktanteil aller Kühlgeräte (über 90 %).

In Anlehnung an die gängigen Güte- und Prüfbestimmungen für Kühlgerätebehandlungsanlagen (CECED/WEEE-Forum/EERA [14], RAL [20], SENS [21]) werden die Kühlgeräte im Rahmen dieses Fachberichts wie folgt kategorisiert:

- Typ 1: Haushaltskühlschrank
Kühlschrank haushaltstypischer Bauart bis zu einer Größe von 180 l Nutzinhalt, die Geräte können sowohl mit als auch ohne gesondertes Gefrierfach ausgestattet sein
- Typ 2: Haushaltskühl-/Gefrierkombination
Kühlgerät in haushaltstypischer Bauart mit einem Nutzinhalt zwischen 180 und 350 l, die in der Regel über ein gesondertes Gefrierfach verfügen
- Typ 3: Haushaltsgefriergerät
Gefriertruhen und –schränke in haushaltstypischer Bauart bis zu einer Größe von 500 l Nutzinhalt
- Sonstige Kühlgeräte:
Kühlgeräte nicht haushaltstypischer Bauart, z. B. gewerbliche und industrielle Geräte

Das durchschnittliche Gewicht eines Haushaltskühlgerätes (Oberbegriff für die Gerätetypen 1 bis 3) beträgt 40 kg [33] [15].

In Abbildung 1 sind die Materialfraktionen eines Haushaltskühlgerätes dargestellt.

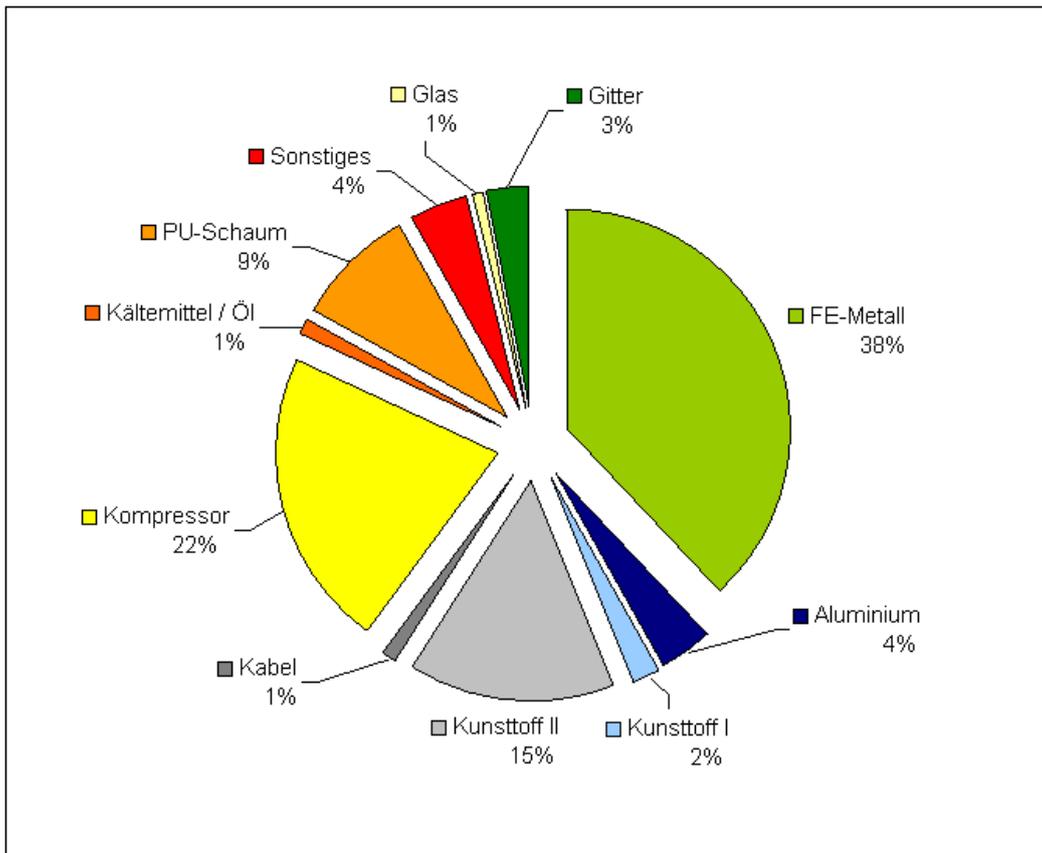


Abbildung 1 Materialfraktionen eines Kühlschranks
Angaben in Gew.-% [39]

Das in den Kühlgeräten enthaltene Metall (Eisenmetall und Aluminium im Gehäuse, Eisen und Kupfer im Kompressor) kann – ggf. nach einer entsprechenden Aufbereitung – stofflich verwertet werden. Ebenso können die Glasbauteile stofflich verwertet werden. Bei den Kunststoffen werden zwei Fraktionen unterschieden: Mit dem Begriff Kunststoff I wird der Kunststoff bezeichnet, der manuell mit einfachsten Mitteln entfernbar ist, z.B. Gemüschalen, Einlegeböden, Butterdosen. Mit Kunststoff II wird die durch die mechanische Behandlung erzeugte Fraktion bezeichnet, z.B. die Innenverkleidung eines Kühlgerätes, die mit Isolationschaum verklebt ist. Der PUR-Schaum kann – wenn er in sauberer, völlig entgaster Form vorliegt – z.B. als Ölbindemittel verwendet werden. Das Kältemittel/Öl-Gemisch aus dem Kältekreislauf wird getrennt entsorgt.

2.2 Kälte- und Treibmittel in Kühlgeräten

Um die Temperatur im Innenraum des Kühlgeräts niedrig zu halten, wird dem Innenraum Wärme entzogen und über den Kältekreislauf nach außen abgegeben. In diesem Kältekreislauf wird zur Wärmeübertragung ein Kältemittel eingesetzt, das bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme aufnimmt und bei höherer Temperatur und höherem Druck Wärme abgibt.

Zur Isolierung der Kühlgerätegehäuse wird PUR-Schaum eingesetzt. Dieser wird mit Hilfe von Treibmitteln hergestellt, die als Zellgase im fertigen PUR-Schaum eingeschlossen sind.

2.2.1 Umweltrelevanz

Der Anteil an Kälte- und Treibmittel am Gesamtgewicht eines Kühlgerätes beträgt ca. 1 Gew.-%. Auf Grund ihres teilweise hohen Schadstoffpotenzials haben sie eine hohe Umweltrelevanz.

Bis Anfang der 1990er Jahre wurden in der Regel die FCKW R 12 (als Kältemittel im Kältekreislauf) und R 11 (als Treibmittel im PUR-Schaum) verwendet.

Diese Fluorchlorkohlenwasserstoffe können auf Grund ihrer sehr hohen chemischen Stabilität bis in die Stratosphäre (in 20-30 km Höhe) gelangen. Durch die energiereiche UV-Strahlung der Sonne werden Chlorkradikale abgespalten, die ihrerseits die Spaltung des Ozons bewirken. Jedes Chlorkradikal kann dabei bis zu 100.000 Ozonmoleküle spalten (Abbildung 2) [23].

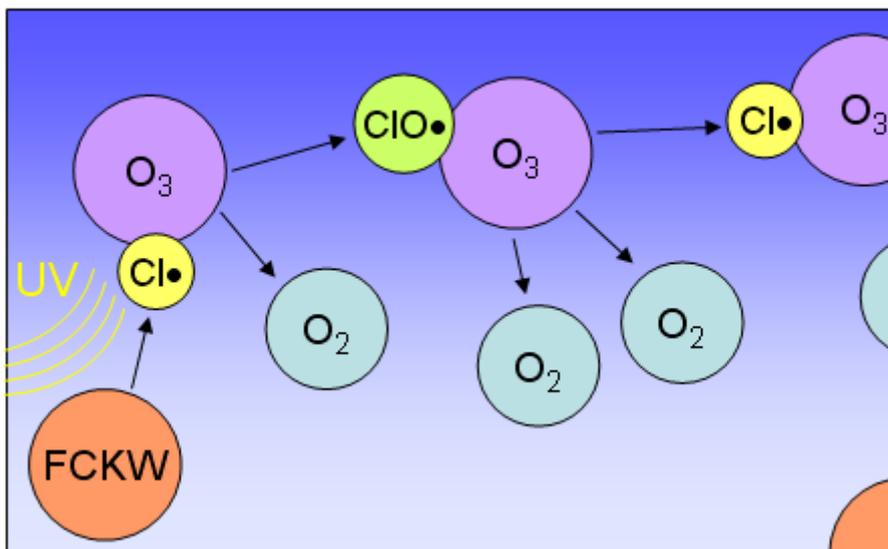


Abbildung 2 Schemadarstellung der Ozonspaltung

Wegen ihrer schädigenden Wirkung auf die Ozonschicht ist die Verwendung der FCKW R 11 und R 12 bei der Herstellung von Kühlgeräten seit dem 01.01.1995 verboten [2]. Zudem besitzen FCKW ein sehr hohes Treibhauspotenzial und tragen somit zum Treibhauseffekt bei.

In Folge des Ausstiegs aus der Verwendung von FCKW mussten Ersatzstoffe gefunden werden. Dabei standen zu Beginn chemisch sehr ähnliche Verbindungen im Fokus. So wurden zuerst teil-halogenisierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKW) verwendet, die im Vergleich zu halogenisiertem FCKW ein geringeres Gefährdungspotenzial aufwiesen. In einer nächsten Stufe kamen chlorfreie, fluorierte bzw. teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW

bzw. H-FKW) zum Einsatz. Diese Stoffe tragen – da chlorfrei – nicht zum Abbau der Ozonschicht bei, wirken aber als Treibhausgas.

Der stufenweise Ausstieg aus der Verwendung von FCKW führte auch bei Kühlgeräten zum Ersatz der FCKW-haltigen Kälte- und Treibmittel durch Ersatzstoffe. Bereits Ende 1993 wurde FCKW in Deutschland nicht mehr verwendet [3]. Nach vorübergehendem Einsatz des chlorfreien H-FKW R 134a wurde bis 1997 fast die gesamte Produktpalette auf kohlenwasserstoffhaltige Treib- und Kältemittel (R 600a, Isopentan) umgestellt [3]. Diese Stoffe schädigen nicht die Ozonschicht und ihr Treibhauspotenzial ist vernachlässigbar. Jedoch sind sie im Gegensatz zu den früher eingesetzten FCKW, H-FCKW und H-FKW brennbar.

Trotz der sukzessiven Vermeidung umweltschädlicher FCKW, H-FCKW und H-FKW bleibt auf Grund der langen Lebensdauer die Umweltrelevanz der Entsorgung von Kühlgeräten hoch. Erst ab 2020 ist davon auszugehen, dass 90 % aller zu entsorgenden Kühlgeräte keine für die Umwelt schädlichen FCKW mehr enthalten [11].

In der Tabelle 1 sind umweltrelevante Daten der hauptsächlich in Kühlgeräten eingesetzten Kälte- und Treibmittel aufgeführt.

Tabelle 1 Umweltrelevante Daten ausgewählter Kälte- und Treibmittel
Quellen: ¹ EPA 2009 [34], ² IPCC 2007 [42]; ³ UNEP 2002 [24], ⁴ Sta BW 2004 [35]

	Technische Bezeichnung	Summenformel	Ozonabbaufaktor ODP [R11 = 1]	Treibhausfaktor GWP _{100a} [CO ₂ = 1]	brennbar
FCKW	R11	CCl ₃ F	1,00 ¹	4.750 ²	nein
	R12	CCl ₂ F ₂	1,00 ¹	10.900 ²	nein
H-FCKW	R141b	CH ₃ CCl ₂ F	0,11 ¹	725 ²	nein
	R22		0,055 ¹	1.810 ²	nein
H-FKW	R134a	CH ₂ FCF ₃	0,00	1.410 ²	nein
KW	R600a (Isobutan)	(CH ₃) ₂ CHCH ₃	0,00	3 ⁴	ja
	Cyclopentan	c-C ₅ H ₁₀	0,00	11 ³	ja

2.2.2 Kältemittelmengen im Kältekreislauf

Bis Mitte 1993 wurde in Haushaltskühlgeräten mit Kompressoren das FCKW-haltige Kältemittel R 12 eingesetzt. Im Rahmen der Umstellung auf FCKW-freie Kältemittel wurde es ab 1993 durch das Kältemittel Tetrafluorethan (R 134a) aus teil-halogenisiertem Fluorkohlenwasserstoff (H-FKW) ersetzt.

Ab 1994 erfolgte die Umstellung auf das chlor- und fluorfreie Kältemittel Isobutan (R 600a) - einen Kohlenwasserstoff - als endgültige Lösung. Auf dieses Kältemittel wurden bis Ende des Jahres 1997 etwa 90-95% der Geräteproduktion umgestellt [3].

Die Tabelle 2 aus dem Jahr 1999 zeigt die in den Kühlgeräten eingesetzten Mengen an Kältemittel und Öl.

Tabelle 2 Kältemittel und Ölmengen pro Durchschnittsgerät in Gramm [3]

* Bei neueren Geräten (ca. 1988 - 1993) konnten die FCKW-Einsatzmengen durch Optimierung der Kreisläufe reduziert werden.

** Der Durchschnittswert entspricht im Allgemeinen wegen der Größen/Stückzahlabhängigkeit nicht dem arithmetischen Mittel aus den Minimal-/Maximalwerten.

	ältere Geräte (vor 1988)	neuere Geräte* (1988-1993)	moderne Geräte (ab 1994)	
Kältemittel:	R 12**	R 12	R 134a	R 600a
Menge Ø	140	105	95	36
Menge (min-max)	(70-350)	(45-260)	(40-235)	(17-100)
Öl:				
Menge Ø	300		280	
Menge (min-max)	(200-500)		(180-450)	

R 12 im Kältekreislauf

Der *Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.* (ZVEI) schätzt die durchschnittlichen Mengen von R 12 in vor 1988 hergestellten Haushaltskühlgeräten auf durchschnittlich 140 g R 12/Gerät und in Geräten, die zwischen 1988 bis 1993 produziert wurden, auf 105 g R 12/Gerät. Im UBA-Leitfaden wird ein Orientierungswert von 115 g/Gerät angegeben. In entsprechenden Prüfbestimmungen (RAL [20], SENS [21]) wird von einer erwarteten Rückgewinnungsmenge (Bezugswert) von 128 g/Gerät und einer Mindestrückgewinnungsmenge von 115 g/Gerät (90% von 128 g/Gerät) ausgegangen.

Bei den zwölf in den vergangenen drei Jahren von IUTA im Rahmen der TA-Luft Abschnitt d durchgeführten Überprüfungen (100-Geräte-Test), konnte die verwendete Kältemittelmenge je Gerätetyp durch Sichtung der Typenschilder erfasst und dokumentiert werden.

Demnach sind in den Geräten durchschnittlich enthalten [39]:

Kühlschrank	93 g R 12,
Kühl-/Gefrierkombination	165 g R 12
Gefriergerät	217 g R 12.

Diese Ergebnisse liegen im Wertebereich, der vom ZVEI angegeben wird. Legt man einen Geräte-Mix aus 65 % Kühlschränken, 25 % Kühl- / Gefrierkombinationen und 15 % Gefriergeräten gemäß UBA-Leitfaden zu Grunde [22], so enthält ein Kühlgerät durchschnittlich 134 g R 12.

Laut Aussagen des ZVEI sind etwa 5-10 Gew.-% der Kältemittelmenge im Öl des Kompressors gebunden [3]. Laut UBA-Leitfaden liegen bis zu 30 % des Kältemittels im Kompressorenöl gelöst vor [22].

IUTA hat für eine stichprobenartige Prüfung der Halogengehalte bei vier ausgewählten Kühlgeräten, deren Kältekreisläufe offensichtlich defekt waren (abgerissene Kältemittelleitungen), Proben des Kompressorenöls zur Analyse auf Restchlor- und Restfluorgehalt genommen. Die in der Tabelle 3 aufgeführten Ergebnisse zeigen Werte für einen Halogenrestgehalt von 3,69 Gew.-% bis 5,16 Gew.-%. Zum Vergleich: Der Grenzwert laut Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft [1] beträgt 2 g Gesamthalogen/kg Öl. Diese Halogen-Mengen befinden sich in den Ölanteilen und werden ohne Wärmeeinwirkung nicht freigesetzt.

Tabelle 3 Halogengehalte unbehandelter Kompressorenöle

Hersteller Kühlgerät	Kompressorenhersteller	Kompressorentyp	Chlorgehalt [Gew.-%]	Fluorgehalt [Gew.-%]	Menge R-12 [g]
AEG Gefrierschrank	Danfoss	TL 5 A 102 U (280 cm ³)	2,26	1,43	140
			Gesamthalogen: [Gew.-%] 3,69		
Eisfink Kühlschrank	Danfoss	PW 3,5 K 7 (350 cm ³)	2,46	1,35	130
			Gesamthalogen: [Gew.-%] 3,81		
AEG Kühlschrank	LP	39,2	3,35	1,81	90
			Gesamthalogen: [Gew.-%] 5,16		
Phillips Gefrierschrank	IRE	10 A 02 AE	2,95	1,6	k.A.
			Gesamthalogen: [Gew.-%] 4,55		

R 134a im Kältekreislauf

Die Umstellung von R 12 auf R 134a in den Kompressoren der inländischen Haushaltskühlgeräteproduzenten hatte keinen langen Bestand, denn R 134a wies ein fast eben so hohes Treibhauspotenzial wie R 12 auf. Mit einer intensiven industriellen Anstrengung wurde die

Produktion in Deutschland schon ab 1994 auf R 600a umgestellt, das nur gering zur Klimaerwärmung beiträgt. Eine solche Umstellung erfolgte im europäischen und im nordamerikanischen Ausland erst später oder gar nicht. Insbesondere bei sehr einfachen Gerätemodellen (nur mit Sternefach) und bei größeren Geräten (Kühl-/Gefrierkombinationsgeräten) wurde R 134a weiter eingesetzt. Das UBA schätzt, dass seit 1995 pro Jahr rund 40.000 Neugeräte mit R 134a importiert wurden [25]. Bei einer durchschnittlichen Kältemittelmenge von 100 g pro Gerät ist die auf diesem Wege importierte H-FKW-Menge jedoch von geringer Bedeutung [4]. Die Einzelbetrachtung dieser Geräte wird aufgrund ihres geringen Aufkommens in der ökobilanziellen Untersuchung des *Öko-Instituts e.V.* aus dem Jahre 2007 nicht mehr vorgenommen [5].

R 600a im Kältekreislauf

Im Rahmen eines Untersuchungsvorhabens wurden von IUTA bei zu entsorgenden Kühlgeräten anhand der Typenschilder stichprobenartig Bruttoinhalte der Kühlgeräte und entsprechende R 600a Mengen in Kältekreisläufen ermittelt [6]. Diese Mengen repräsentieren den gegenwärtig üblichen Input an R 600a-Geräten in Kühlgeräteentsorgungsbetrieben.

Demnach ergeben sich derzeit bei der Entsorgung von Kühlgeräten der verschiedenen Kategorien folgende durchschnittliche Bruttoinhalte und R 600a-Mengen im Kältekreislauf [39]:

	Bruttoinhalt	R 600a
Kühlschränke	168 l	24 g
Kühl-/Gefrierkombinationen	218 l	49 g
Gefrierschränke	149 l	47 g

Daneben wurde eine vergleichbare Erhebung bei den zurzeit auf dem Markt verfügbaren Kühlgeräten durchgeführt. Auffällig ist hierbei der Trend zu einer neuen Geräteart, dem Side-by-Side-Kühlschrank mit in der Regel höherem Nutzinhalt. Diese Tatsache spielt in der Behandlungsstufe 2 aufgrund der größeren Menge PUR-Schaums eine wichtige Rolle. Die in den Kompressoren dieser Bauart eingesetzten Kältemittelmengen unterscheiden sich jedoch nur unwesentlich von den in bisher gebräuchlichen Kühl-/Gefrierkombinationen.

Für die zurzeit auf dem Markt verfügbaren Kühlgeräte der verschiedenen Gerätekategorien ergeben sich die folgenden durchschnittlichen Mengen an eingesetztem R 600a [39]:

	Bruttoinhalt	R 600a
Kühlschränke	156 l	26 g
Kühl-/Gefrierkombinationen mit Side-by-Side	333 l	59 g
Kühl-/Gefrierkombinationen ohne Side-by-Side	298 l	56 g
Gefrierschränke	159 l	51 g

Im Vergleich zu den bei der Entsorgung angefallenen Altgeräten hat der Kältemiteleinsatz nur geringfügig zugenommen. Im Bereich der Kombigeräte hat sich auf Grund der

Markteinführung des neuen Gerätetyps Side-by-Side der Treibmitteleinsatz im Schaum erhöht. Bezogen auf die Masse wird in der gegenwärtigen Gerätegeneration wesentlich weniger Kältemittel R 600a verwendet als früher R 12 (siehe Abbildung 3).

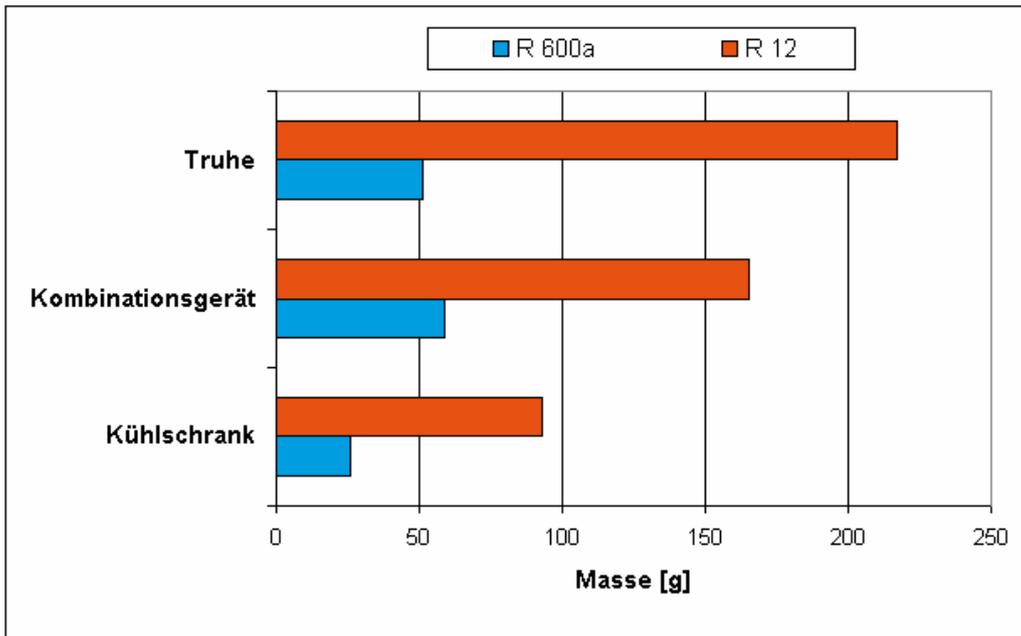


Abbildung 3 Durchschnittliche Kältemittelmassen im Vergleich
Quelle: [39]

Bezogen auf das Volumen sind die Unterschiede jedoch nicht so stark, da R 12 eine viel höhere Dichte als R 600a aufweist (siehe Abbildung 4).

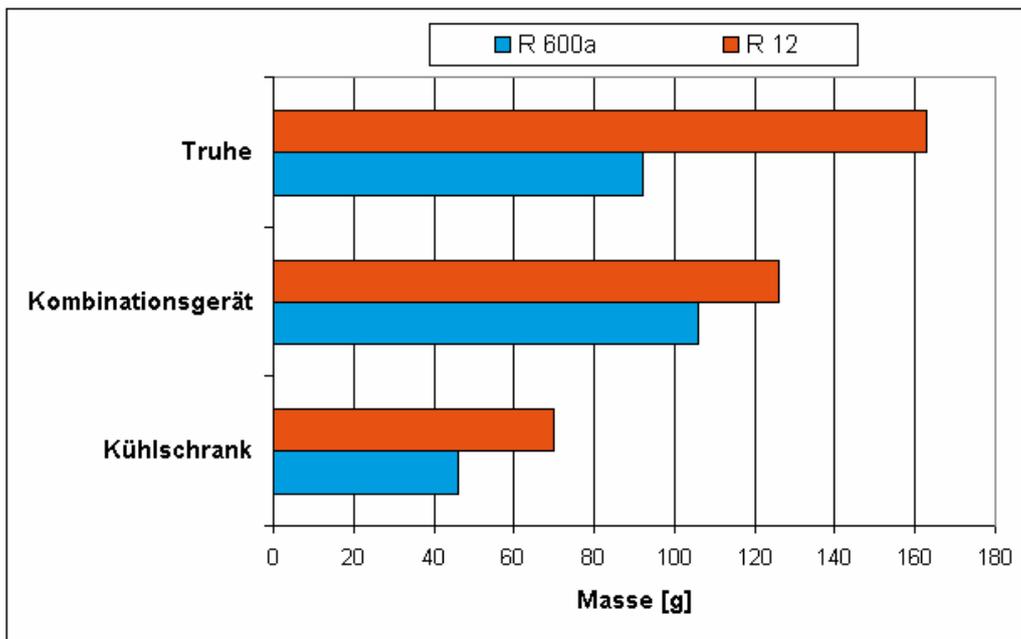


Abbildung 4 Durchschnittliche Kältemittelvolumina im Vergleich
Quelle: [39]

2.2.3 Treibmittelmengen im PUR-Isolierschaum

Bis Mitte 1993 wurden als Treibmittel im PUR-Isolierschaum hauptsächlich R 11 und in geringem Umfang ein Gemisch aus R 11 und R 12 eingesetzt.

Im Jahr 1993 begann die Umstellung auf FCKW-freie Treibmittel, wobei zunächst eine kleinere Anzahl an Geräten mit dem chlorfreien H-FKW R 134a ausgerüstet wurde. Im Jahr 1994 begann die generelle Umstellung auf die chlor- und fluorfreien Kohlenwasserstoffe. In der Regel wird heute Cyclopentan eingesetzt. Kohlenwasserstoffe (KW) tragen - im Gegensatz zu den FCKW oder H-FKW - kaum zum Treibhauseffekt bei. Nachteilig ist die Brennbarkeit der Stoffe, weshalb sowohl bei der Herstellung als auch bei der späteren Entsorgung entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu treffen sind.

Die Tabelle 4 aus dem Jahr 1999 zeigt die durchschnittlichen Isolier- bzw. Treibmittelmengen pro Gerät.

Tabelle 4 Treibmittelmengen pro Durchschnittsgerät
in Gramm [3]

* Bei neueren Geräten konnte die FCKW-Einsatzmenge durch Änderung des Isolierschaums um nahezu 50% verringert werden.

	ältere Geräte (vor 1988)	neuere Geräte * (1988 - 1993)	moderne Geräte (ab 1993 / 1994)	
Isoliergas:	R 11	R 11	R134a	Pentan
Menge Ø	500	345	230	270
Menge (min-max)	entfällt	(90-850)	(100-500)	(80-680)

R 11 Gehalte im PUR-Schaum

Bezüglich der R 11-Gehalte im PUR-Schaum von vor 1995 produzierten Neugeräten wurden Daten vom ZVEI veröffentlicht (Tabelle 4). Auch der Hersteller Elektrolux stellte im Rahmen eines 1000-Geräte-Test in Schweden Daten zur Verfügung.

Unter der Annahme, dass ein durchschnittliches Kühlgerät 3,7 kg PUR-Schaum enthält [22], liegen die R 11-Gehalte laut ZVEI von vor 1988 produzierten Neugeräten bei durchschnittlich 135,1 g/kg PUR-Schaum und von Geräten, die im Zeitraum 1988 -1993 produziert worden, bei durchschnittlich 93,2 g/kg PUR-Schaum.

Im Rahmen des 1.000-Geräte-Tests in Schweden wurden für 924 Kühlgeräte der Firma Elektrolux die R 11 Gehalte für einen Monat alte Neugeräte auf Basis der Herstellerangaben mittels eines nicht veröffentlichten Modells abgeschätzt. Zusätzlich wurde die PUR-Schaum-Menge im Rahmen des Tests bestimmt. Hieraus ergab sich ein mittlerer R 11-Gehalt von 114 g/kg PUR-Schaum (= 11,4 %) [40].

Im Rahmen des oben erwähnten 1.000-Geräte-Tests in Schweden wird für den Zeitpunkt der Entsorgung über ein nicht veröffentlichtes Rechenmodell für die Elektrolux-Geräte ein

verbleibender R 11-Gehalt von durchschnittlich 8,8 Gew.-% ermittelt. [40]. Bezogen auf den mittleren R 11-Gehalt bei einen Monat alten Neugeräten verringerte sich der R 11-Gehalt durchschnittlich um 23 %.

Dass die bei der Entsorgung vorzufindenden R 11-Gehalte in PUR-Schäumen von verschiedenen Parametern der Nutzungs- und Entsorgungsphase abhängig sind, veranschaulicht eine Studie von Roos und Partner aus dem Jahr 2000 [7].

Wenn der PUR-Schaum nicht diffusionsdicht eingekapselt ist, werden die ursprünglich vorhandenen Zellgase über Diffusionsvorgänge nach und nach durch Luft und Wasserdampf ersetzt. Aus diesem Grund kann der FCKW-Gehalt mit zunehmendem Alter des PUR-Schaums sinken.

Auf Grund der weitgehend fehlenden Kenntnisse über die Verluste an R 11 während der Lebensdauer eines Kühlgerätes werden die R 11-Konzentrationen mit Hilfe von Schaumanalysen zum Zeitpunkt der Entsorgung ermittelt. Eine Übersicht über Analysen des IUTA und Anderer liefert Hinweise, stellt jedoch nur Momentaufnahmen dar.

Tabelle 5 R 11-Gehalte in PUR-Schäumen
nach verschiedenen Untersuchungen

Untersuchung	Durchschnitt [Gew.-%]	Wertebereich [Gew.-%]
Roos und Partner 2000 [7]	6,5	1,8 – 12,8
Pollack et al. 1993 [8]	10,2	5,2 – 13,3
IUTA 2006-2007 [39]	6,0	2,6 – 9,5
IUTA 2008 [39]	6,9	0,4 – 12,1
Vehlow et al. 1991 [9].	11,3	

Die Daten aus den Analysen der Schaumproben lassen auf Grund der geringen Probenanzahl keine statistisch abgesicherten Mengenberechnungen hinsichtlich der FCKW-Verluste zu, können aber wichtige Hinweise auf mögliche, sinnvolle Abschätzungen liefern.

Im Rahmen aller heute gebräuchlichen Güte- und Prüfbestimmungen für die Behandlungsstufe 2 der Kühlgerätebehandlungsanlagen wird davon ausgegangen, dass 85 g R 11 pro kg PUR-Schaum (8,5 Gew.-%) in den zu entsorgenden Geräten enthalten sind. Unter der Annahme, dass ein Kühlgerät durchschnittlich 3,7 kg PUR-Schaum enthält, ergibt sich eine FCKW-Menge pro Gerät von ca. 315 g [14].

Diese Werte wurden auf Grund von Untersuchungen aus den 80er Jahren ermittelt und sollten dynamisch angepasst werden, wenn neuere Erkenntnisse dies erforderlich machen. Eine entsprechende Anpassung fand bis heute nicht statt. Dies wird insbesondere von der Entsorgungswirtschaft kritisiert.

Cyclopentan im PUR-Schaum

Belastbares Zahlenmaterial zu Cyclopentan-Gehalten im PUR-Schaum ist nur begrenzt verfügbar. Dies ist zum Teil auch darin begründet, dass einige Jahre lang „Mischgeräte“ mit FCKW-geschäumtem Korpus und KW-geschäumter Tür hergestellt wurden. Eine konkrete Angabe findet sich in einer Studie des IPA aus dem Jahr 2005, der zufolge sich in einem 38 kg schweren Durchschnittskühlgerät 198 g Cyclopentan befinden [10].

Die *Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH*, Wien (FHA) führte 2008 eine Studie an der Anlage der *AVE GmbH* in Timelkam (Österreich) durch, in der die Verwertung von KW-Kühlgeräten untersucht wurde. In Tabelle 6 ist die Rückgewinnungsmenge von Treibmitteln aus der Stufe 2 – insgesamt und pro Gerät – für die Typen 1 bis 3 wiedergegeben [11].

Tabelle 6 Rückgewinnungsmenge an KW in der Stufe 2

	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Zahl der Geräte (gesamt)	990	909	299
Treibmittel (gesamt)	129 kg	207 kg	102 kg
Treibmittel (pro Gerät)	130 g	227 g	341 g

2.3 Zu entsorgende Menge FCKW-haltiger Kühlgeräte

Die in Nordrhein-Westfalen zu entsorgende Menge FCKW-haltiger Kühlgeräte wird vom LANUV anhand des Aufkommens an zu entsorgenden Kühlgeräten und des hierin enthaltenen Anteils FCKW-haltiger Kühlgeräte geschätzt.

2.3.1 Aufkommen an zu entsorgenden Kühlgeräten

Zur Abschätzung des Aufkommens an zu entsorgenden Kühlgeräten in Nordrhein-Westfalen wurden zum einen Daten der *Stiftung Elektro-Altgeräte Register (EAR)*, zum anderen Daten aus dem Abfallnachweisverfahren (§ 43 KrW-/AbfG) ausgewertet. Abfälle, die über die EAR koordiniert entsorgt werden, unterliegen bis zur Annahme in einer Entsorgungsanlage nicht dem Abfallnachweisverfahren, da sie einer verordneten Rücknahme unterliegen (§ 43 KrW-/AbfG). Die Kühlgeräte, die nicht einer verordneten Rücknahme unterliegen, unterliegen weiterhin dem Abfallnachweisverfahren.

Die über die EAR entsorgten Mengen werden anhand der gemäß § 10 Abs. 4 ElektroG an die EAR zur Abholung gemeldeten Behältnisse geschätzt [30]. Laut Angaben des ZVEI enthält ein Container durchschnittlich 2,73 -2,75 t Kühlgeräte [31].

Über eine Auswertung der Begleitscheine mit Hilfe des Abfallüberwachungssystems ASYS wurde die Zahl der in Nordrhein-Westfalen erstmalig zur Entsorgung angefallenen Haushaltskühlgeräte abgeschätzt, die nicht über die EAR registriert wurden. Hierfür wurde das Aufkommen laut Abfallschlüssel (nach AVV) 20 01 23 (gebrauchte Abfälle, die FCKW enthalten, aus dem Bereich der Siedlungsabfälle) ausgewertet.

Zusätzlich wurde der Abfallschlüssel 16 02 11 ausgewertet (gebrauchte Geräte, die teil- und voll-halogenierte FCKW enthalten aus Bereichen, die nicht anderswo im AVV aufgeführt werden). Hier werden die gewerblichen Geräte erfasst. In diesen Daten sind neben den Kühl- und Gefriergeräten auch weitere FCKW-haltige Geräte enthalten (z. B. Klimaanlage).

Die Ergebnisse wurden mit dem Faktor 40 kg/Gerät in Stückzahlen umgerechnet und sind in Abbildung 5 dargestellt.

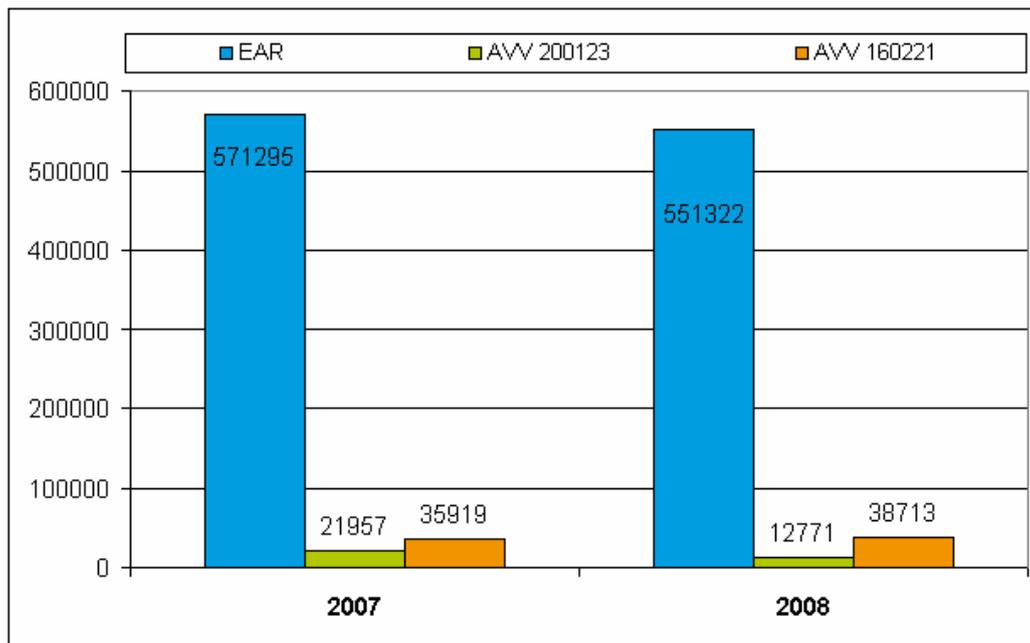


Abbildung 5 In NRW zur Entsorgung anfallende Kühlgeräte

Auf der Basis der Daten der EAR und des Abfallnachweisverfahrens wird die Zahl der in Nordrhein-Westfalen zur Entsorgung angefallenen Haushaltskühlgeräte für das Jahr 2007 auf ca. 593.000 und für das Jahr 2008 auf ca. 564.000 geschätzt. Die Menge aller Kühlgeräte wird für das Jahr 2007 auf ca. 629.000 und für das Jahr 2008 auf ca. 603.000 geschätzt.

2.3.2 Anteil der FCKW-haltigen Kühlgeräte

Die *Qualitätsgemeinschaft zur Verwertung von Kühlgeräten und Elektro-/Elektronikgeräten e.V. (QVKE)* ging 2008 davon aus, dass ca. 15 % der entsorgten Kühlgeräte bereits KW-haltige Geräte waren [13]. Das *Öko-Institut* schätzt für 2008 den Anteil der KW-Geräte an den zur Entsorgung anfallenden Haushaltskühlgeräten auf 10-20 %. Dieser Anteil wird im Laufe der nächsten 5-10 Jahre auf rund 50 % ansteigen [5].

Für das Jahr 2008 gibt die *Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH* einen Anteil von 16,8 % KW-haltiger Geräte in Österreich an. Dieser Anteil soll bis zum Jahr 2020 auf 91,2 % ansteigen [11]. Die Prognose ist in der Abbildung 6 dargestellt.

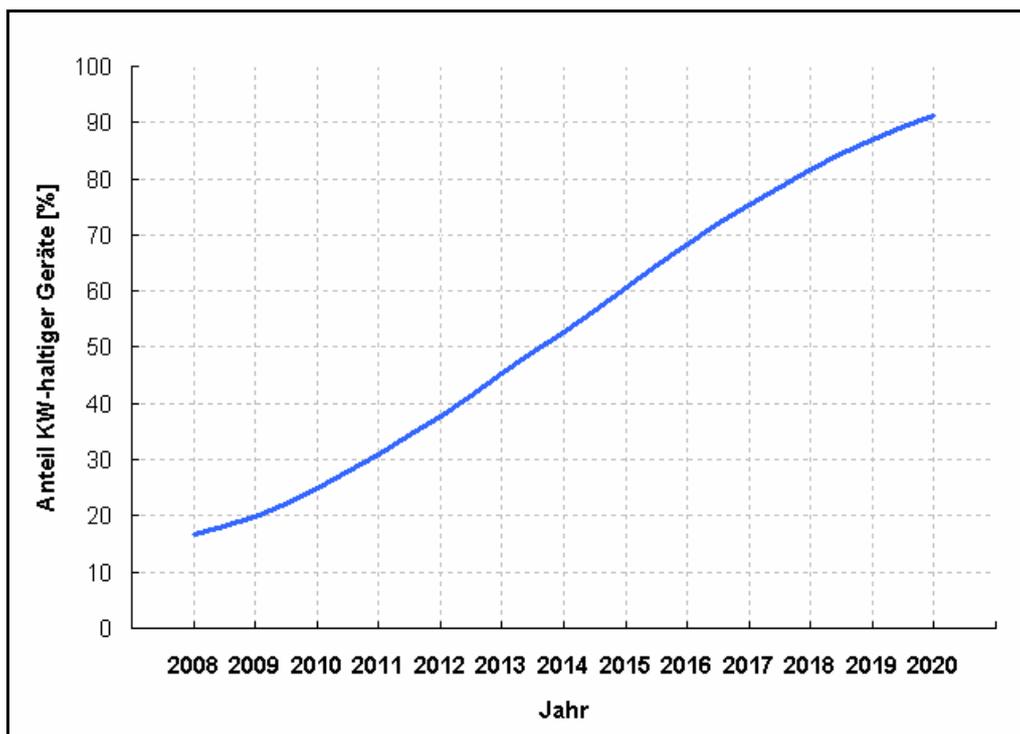


Abbildung 6 Prognose des Anteils KW-haltiger Kühlgeräte in Österreich
Quelle: [11]

Für das Jahr 2009 geht der ZVEI von ca. 75 % FCKW-haltigen Haushaltskühlgeräten aus [31].

3 Stand der Technik für die Behandlung FCKW-haltiger Kühlgeräte

Bei der Errichtung und dem Betrieb von Behandlungsanlagen für FCKW-haltige Haushaltskühlgeräte sind sowohl abfallrechtliche als auch immissionsrechtliche Vorschriften zu beachten. Gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG und § 11 Abs. 2 ElektroG muss bei der Kühlgerätebehandlung der Stand der Technik eingehalten werden.

Stand der Technik im Sinne der oben genannten Gesetze ist der Entwicklungsstand fortgeschrittener Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt (§ 3 Abs. 6 BImSchG bzw. § 3 Abs. 12 KrW-/AbfG).

Besondere immissionsschutzrechtliche Regelungen für diese Abfallbehandlungsanlagen sind in Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft - einer Normen konkretisierenden Verwaltungsvorschrift - formuliert. Im März 2009 wurde von der *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* (LAI) eine Vollzugshilfe zur Überwachung von Anlagen zur Entsorgung von Kühlgeräten i. S. d. Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft verabschiedet. Diese beschreibt den Umfang der Maßnahmen bei der Überwachung, die im Rahmen der TA Luft notwendig sind. Sie geht hierbei auf die Pflichten der Betreiber, auf die Anforderungen an die Prüfung durch Sachverständige und auf die Aufgaben der Messinstitute ein. Mit Erlass vom 06.07.2009 hat das *Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen* (MUNLV) diese Vollzugshilfe bei den Vollzugsbehörden eingeführt [29].

Besondere abfallrechtliche Regelungen sind in § 11 ElektroG und Anhang 3 ElektroG festgelegt.

In der Mitteilung 31 der *Länderarbeitsgemeinschaft Abfall* (LAGA) „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten“ (LAGA M 31) werden Anforderungen konkretisiert. Mit Runderlass vom 24.01.2006 bittet das MUNLV die zuständigen Behörden, dieses Merkblatt (Stand 2004) bei der Zulassung und Überwachung der entsprechenden Anlagen zugrunde zu legen [28]. Es weist darauf hin, dass bei der Anwendung des Merkblatts zu beachten ist, dass im Anhang I unter 2.2.1 Bezug auf den Leitfaden des UBA genommen wird. Dieser Leitfaden benennt FCKW-Rückgewinnungswerte aus den Kältekreisläufen und aus der Behandlung von PUR-Isolierschaum. Bei den Werten handelt es sich nicht um Grenzwerte sondern um Orientierungswerte, die eine ggf. erforderliche Einzelfallbetrachtung nicht ersetzen können. Zwischenzeitlich ist dieses Merkblatt durch die LAGA überarbeitet und in aktualisierter Fassung (Stand 2009) von der Umweltministerkonferenz verabschiedet worden.

Die Einhaltung des Standes der Technik der Kühlgeräteverwertung und – daraus resultierend – die Qualität der erreichbaren Entsorgungs- und Verwertungsleistung hängt neben der Anlagentechnik in sehr hohem Maße von der Betriebsführung und den dort handelnden Personen ab.

3.1 Anlagentechnik und Betriebsführung

Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft sind bei Anlagen, in denen Kühlgeräte oder Kühleinrichtungen entsorgt werden, die FCKW nach Anhang 1 der europäischen Verordnung 2037/2000/EG enthalten (hierzu gehören R 11 und R 12), besondere bauliche und betriebliche Maßnahmen anzuwenden.

- Die Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass die Emissionen der o. g. FCKW weitgehend vermieden oder so weit wie möglich vermindert werden.
- Das Kältemittel und das Kältemaschinenöl aus dem Kältekreislauf sind weitgehend verlustfrei und vollständig dem geschlossenen System zu entnehmen und zurück zu gewinnen (Trockenlegung). FCKW aus dem Kältemaschinenöl sind weitgehend vollständig zu entfernen. Die Kältemittel sind möglichst vollständig zu erfassen und ordnungsgemäß zu entsorgen.
- Bei der Freisetzung von FCKW aus Isoliermaterial sind Emissionen an FCKW so weit wie möglich zu vermeiden, z. B. durch folgende Maßnahmen:
 - Die trockengelegten Geräte oder Einrichtungen sind in einer gekapselten Anlage zu behandeln, die z. B. über Schleusensysteme auf der Eingangs- und Ausgangsseite gegen FCKW-Verluste gesichert ist.
 - Übergabestellen für FCKW-haltige Isoliermaterialfraktionen sollen technisch gasdicht sein.
 - FCKW-haltige Abgase sind an der Entstehungsstelle (z. B. bei der Konfektionierung von Isoliermaterial durch Pressen) zu erfassen und einer Abgasreinigungseinrichtung zuzuführen; zurückgewonnene FCKW sind ordnungsgemäß zu entsorgen.
- In den Anlagenbereichen zur Freisetzung der FCKW aus Isoliermaterial sollen die Isoliermaterialanhaftungen an den ausgetragenen Fraktionen (z. B. Metall, Kunststoffe) soweit technisch möglich vermieden werden; bei den ausgetragenen Material- und Kunststofffraktionen dürfen die Anhaftungen jeweils 0,5 Gew.-% nicht überschreiten. Isoliermaterialfraktionen zur stofflichen Verwertung dürfen einen FCKW-Gehalt von 0,2 Gew.-% nicht überschreiten. Isoliermaterialfraktionen mit einem höheren FCKW-Gehalt sind einer thermischen Abfallbehandlungsanlage oder einer anderen Abfallbehandlungsanlage mit einer gleichwertigen Zerstörungseffizienz für FCKW zuzuführen; im zuletzt genannten Fall ist der zuständigen Fachbehörde die gleichwertige Zerstörungseffizienz nachzuweisen.

Gemäß § 11 Abs. 2 ElektroG sind den Altgeräten alle Flüssigkeiten zu entnehmen. Gemäß Anhang 3 ElektroG sind alle FCKW, H-FCKW, H-FKW und KW aus den Altgeräten zu entfernen. Gemäß § 11 Abs. 2 Satz 4 ElektroG müssen mindestens die technischen Anforderungen gemäß Anhang IV ElektroG erfüllt werden.

Anforderungen an die Abgasreinigung

Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft dürfen die Emissionen an FCKW im Abgas der FCKW-Rückgewinnung den Massenstrom von 10 g/h und die Massenkonzentration von 20 mg/m³ nicht überschreiten; die Möglichkeiten, die Emissionen durch dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen. Bei Altanlagen dürfen die Emissionen an FCKW im Abgas der FCKW-Rückgewinnung den Massenstrom von 25 g/h und die Massenkonzentration 50 mg/m³ nicht überschreiten; die Möglichkeiten, die Emission durch dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, sind auch hier auszuschöpfen.

Die Massenkonzentration an FCKW im Abgas ist kontinuierlich zu ermitteln, oder es ist durch andere fortlaufende Prüfungen der Wirksamkeit der Abgasreinigungseinrichtungen nachzuweisen, dass die festgelegte Emissionsbegrenzung nicht überschritten wird.

Im Folgenden werden mögliche Maßnahmen zur Einhaltung des Standes der Technik für die einzelnen Anlagenbereiche beschrieben:

3.1.1 Anlieferung und manuelle Vorentsorgung

Die zu entsorgenden Geräte werden meistens entweder mit Abrollcontainern oder mit LKW angeliefert. Diese Kühlgeräte werden vom Anlieferer – unabhängig vom eingesetzten Kälte- und Treibmittel – in der Regel mit dem Abfallschlüssel 20 01 23 (gebrauchte Geräte, die FCKW enthalten aus dem Bereich der Siedlungsabfälle) oder 16 02 11 (gebrauchte Geräte, die teil- und vollhalogenierte FCKW enthalten aus Bereichen, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind) deklariert. Somit lässt diese Deklaration nicht direkt auf die tatsächlich angelieferten Mengen an FCKW-haltigen Geräten schließen, da – wie oben beschrieben – z.B. auch FCKW-freie Geräte unter diesen Abfallschlüsseln angeliefert werden.

Zunächst werden die Geräte abgeladen und manuell vorbehandelt; Quecksilberschalter, ggf. Kondensatoren, Glaseinlagen, Gitter, Stromversorgungskabel und sonstige, unbefestigte Teile werden entfernt. Hierbei dürfen die Kältemittelkreisläufe und der Isolationsschaum nicht beschädigt werden. Eine händische Behandlung muss entsprechend vorsichtig, eine maschinenunterstützte Behandlung mit entsprechend schonender Ausrüstung erfolgen. Alle entnommenen Teile müssen separat gesammelt und gelagert werden. Die Schalter der Truhenbeleuchtungen enthalten oftmals flüssiges Quecksilber. Für die Lagerung dieser quecksilberhaltigen Bauteile müssen verschließbare, stoßfeste Behälter bereit stehen. Für eine unbeabsichtigte Freisetzung von metallischem Quecksilber müssen Sofortmaßnahmenpakete in fertig konfektionierter Ausrüstung bereit stehen. Sie enthalten in der Regel

eine Aufnahmepipette für das flüssige Quecksilber, sichere Kleinbehälter sowie ein Quecksilber bindendes Streumittel. Die ausgebauten Kondensatoren können PCB enthalten. Aus diesem Grund müssen sie in zugelassenen Behältern gesammelt werden. Zulässig und verbreitet ist auch die Aufbewahrung in Fässern, die für die Lagerung geeignet sind. Für den Fall einer unbeabsichtigten Freisetzung von PCB-haltigem Öl müssen Ölbindemittel bereit stehen.

Glaseinlagen, Gitter und andere Einbauteile werden nach Wertstoffen getrennt verwertet.

Die weitere Behandlung der Kühlgeräte hängt von der Art des eingesetzten Kältemittels ab.

- Geräte mit Ammoniakfüllung werden aussortiert und gesondert behandelt. Dieses Verfahren ist nicht Gegenstand dieses Fachberichts.
- KW-haltige Geräte sind in hierfür geeigneten Anlagen zu behandeln, die auch für die Behandlung FCKW-haltige Geräte ausgelegt sind. Auf die besonderen Anforderungen einer gemeinsamen Behandlung FCKW-haltiger und KW-haltiger Geräte wird gesondert in Kapitel 3.3 eingegangen.
- Die FCKW-haltigen Geräte werden in der Regel gemeinsam mit H-FCKW und H-FKW-haltigen Geräten weiter behandelt. Deshalb wird im Folgenden FCKW auch als Oberbegriff für FCKW, H-FCKW, H-FKW verwendet. Die Anlagen sind in der Regel für eine Rückgewinnung von R 12 in Stufe 1 und R 11 in Stufe 2 optimiert.

3.1.2 Behandlung Stufe 1

In der Behandlungsstufe 1 wird das Kühlgerät trocken gelegt. Hierfür wird zunächst das Kältemittel-Öl-Gemisch aus dem Kühlkreislauf abgesaugt. Anschließend werden das Kältemittel und das Kompressorenöl über eine spezielle Wärme- und Druckbehandlung voneinander getrennt. Als Kältemittel wurde in der Regel das FCKW R 12 und in einer kurzen Übergangszeit das H-FKW R 134 a verwendet.

Die Kühlgeräte werden über eine Aufgabestation auf Kipptische befördert. Die Auflage- und Kippstationen sind weitgehend gleichartig aufgebaut. Die Kipptische ermöglichen die richtige Positionierung der Geräte, die für eine vollständige Absaugung des Kältemittels und des Öls erforderlich ist. Die Anstichstelle muss sich dabei möglichst an der tiefsten Stelle des Kühlkreises befinden. Der Kühlkreislauf wird durch Anbohren des Kompressors (selten) oder durch Anstechen der Kältemittelleitung mit einer Klemmzange geöffnet. Hierbei kommen verschiedene Zangengrößen und Zangenspitzen zum Einsatz. Für den Einsatz von großen Zangen sprechen Aspekte der Ergonomie und – damit verbunden – der Arbeitssicherheit. Für die kleineren Zangen sprechen die bessere Positionierungsmöglichkeit und die geringere Belastung des Anstichlochs. Der Absaugvorgang mittels Anbohren kann in der Regel schneller erfolgen als durch Zangen, weil ein größeres Loch entsteht. Andererseits ist der anfängliche Positionierungsaufwand höher und damit zeitaufwändiger. Hinsichtlich der Absaugwirkung ist keine eindeutige Überlegenheit einer der beiden Methoden feststellbar, ohne die persönlichen Faktoren des Bedieners einzubeziehen.

Des Weiteren gibt es verschiedene, teilweise redundant eingesetzte Methoden, den Kältemittel/Öl-Fluss zu kontrollieren. Dazu werden Sichtfenstereinsätze oder transparente Schläuche verwendet.

Die Entnahme des Kältemittels muss zu Zwecken der Qualitätssicherung dokumentiert werden. Wichtigster Punkt dabei ist die Feststellung, ob ein Kältekreislauf defekt und deshalb das Kältemittel nicht mehr vollständig enthalten ist. Dies ist durch die Überprüfung des Drucks im Kältekreislauf festzustellen. Dazu sind in der Regel Manometer an den Absaugsträngen montiert. In derartigen Fällen muss an jedem einzelnen Strang ein passendes Manometer so angebracht sein, dass es nach Ausrichten des Tisches und nach Anstich des Kältekreislaufes gut ablesbar ist. Dazu gehört auch ein angepasster Messbereich, der es ermöglicht, den maßgeblichen Druck (0 bis 0,5 bar) zur Erkennung eines defekten Kältekreislaufes genau genug abzulesen. In jüngster Zeit werden Anlagen angeboten, die Drucksensoren in den Absaugsträngen enthalten, die die visuelle Überprüfung der Druckverhältnisse durch den Menschen ersetzen.

Ein Kältekreislauf gilt als defekt, wenn er keinen oder nur einen sehr geringen Überdruck aufweist. Dieser Druck hängt von der Umgebungstemperatur und den gerätespezifischen Besonderheiten ab (z.B. Füllmenge, verwendetes FCKW). Gemäß der Vollzugshilfe zur TA Luft sind im Rahmen einer Prüfung durch einen Sachverständigen bei einem gemessenen Wert unter 0,5 bar für die Entscheidung über einen eventuellen Defekt die oben genannten Faktoren zu berücksichtigen [16]. Bei gemessenen Werten unterhalb von 0,2 bar kann auf einen defekten Kreislauf geschlossen werden. Dieser Wert wird auch in den RAL-Gütekriterien als Entscheidungswert vorgegeben [20]. Ergänzend können die oben genannten Sichtfenster genutzt werden, um den Durchfluss zu beurteilen. Von der Schaumbildung im Öl wird auf das Vorhandensein von FCKW und damit auf einen intakten Kältekreislauf geschlossen. Diese Methode ist in starkem Maße vom subjektiven Urteil des Bedieners abhängig und deshalb nicht als einziges Kriterium geeignet.

Ältere Anlagen können die aus einem defekten Kältekreislauf abgesaugte Luft nicht verarbeiten. Die Arbeitsanweisungen sehen deshalb vor, in einem solchen Fall die Kühlkreisläufe nicht abzusaugen, sondern manuell zu entleeren. Dies führt allerdings stets dazu, dass das im Öl gelöste Kältemittel nicht entgast und damit nicht fachgerecht entsorgt wird. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass der Bediener der Anlage im Zweifelsfall eher dazu neigt, einen Kreislauf als defekt zu melden, als ihn – mit der Gefahr einer Schädigung der Anlage – abzusaugen. In diesen Fällen wird die nicht fachgerecht entsorgte Menge an Kältemittel noch erhöht. Solche Anlagen entsprechen deshalb nicht mehr dem Stand der Technik.

Wie in Kapitel 2.2.2 dargestellt wird in der Regel der Grenzwert der TA Luft von 2 g Gesamthalogen/kg im nicht entgasten Öl überschritten. Deshalb muss auch aus defekten Kältekreisläufen das Öl mit dem gelösten FCKW abgesaugt und in der Trennanlage behandelt werden.

Bei der Absaugung des Öls wird durch den defekten Kältemittelkreislauf auch Luft in die Absauganlage eingesogen. Es muss sichergestellt sein, dass mit dieser Luft kein FCKW die

Absaug- und Trennanlage verlässt. Deshalb entsprechen nur noch diejenigen Anlagen dem Stand der Technik, die geeignet sind, mit angesaugter Luft aus defekten Kältekreisläufen umweltgerecht umzugehen. In der Regel wird diese Luft über einen Aktivkohlefilter geleitet, in dem das enthaltene FCKW adsorbiert wird. Die Regeneration der Aktivkohle vor Ort ist meist nicht vorgesehen, so dass der betreffende Behälter beizeiten (in der Regel nach Erreichen eines vorgegebenen Gewichts) ausgetauscht werden muss. Alternativ kann die Luft auch in die Prozessluft der zweiten Behandlungsstufe geleitet und dort entsprechend gereinigt werden.

Bei den Saug- und Trennaggregaten gibt es technologische Unterschiede in der Art der Öl-FCKW-Trennung. Prinzipiell arbeiten alle zurzeit verfügbaren Systeme mit einer Kombination aus Wärmeeintrag und der Schaffung bzw. dem beständigen Wechsel von Phasengrenzen. Dazu werden entweder Rührsysteme oder Düsen und Pumpsysteme verwendet. Beide Systeme gewährleisten - in Abhängigkeit ihrer Auslegung - eine ausreichende Extraktion der Halogene aus dem Öl. Geeignete Temperaturen zur Entgasung des Öls liegen oberhalb von 80 °C. Einige Hersteller bieten Anlagen mit zwei Ölbehältern an, die im Batch-Betrieb wechselseitig das Öl sammeln, während jeweils im anderen Ölbehälter die Entgasung des zuvor gesammelten Öls stattfindet. Dies sichert insbesondere bei hohem Kühlgerätedurchsatz eine möglichst umfangreiche Absenkung des Halogengehaltes im Öl.

In der Praxis wird keine Unterscheidung zwischen mit R 12 und mit R 134a befüllten Geräten gemacht. Sie werden in den Anlagen gleich behandelt. Aufgrund des geringen Aufkommens wird das R 134a in der Deklaration vernachlässigt und ebenfalls als R 12 erfasst. Im Anschluss an die Entleerung des Kältekreislaufs werden die Kompressoren und - je nach Anlage - die außen liegenden Wärmetausch-Gitter entfernt. Um den Kompressor zu entfernen, wird zuerst das entsprechende Befestigungsblech vom Korpus abgetrennt. Kabel und Stromleitungen werden mit Kneifzangen gekappt. Danach kann der Kompressor entnommen werden. Bei einigen Kühlgeräten ist in der Nähe des Kompressors ein Entstörkondensator eingebaut. Zurzeit finden sich unter diesen aufgrund der langen Lebensdauer der Kühlgeräte auch noch PCB-haltige Folienkondensatoren. Sie sind leicht erkennbar und manuell zu entfernen. Sie müssen in einem gekennzeichneten, speziell ausgerüsteten Behälter gelagert und entsorgt werden.

Die größte Verbreitung haben zurzeit Systeme der Hersteller *EN-PRO Recyclingberatung Umweltplanung GmbH* (EN-PRO), *Herco Kühltechnik Hermanns & Co. GmbH* (HERCO) und *Kühl-System Recycling GmbH* (KSR).

3.1.3 Behandlung Stufe 2

Die Behandlungsstufe 2 zielt auf die möglichst emissionsfreie Rückgewinnung der in den PUR-Isolierschäumen der Kühlgeräte enthaltenen FCKW; dies ist in der Regel R 11. Zunächst werden eine Poren-Entgasung und anschließend eine Matrix-Entgasung vorgenommen. Durch die Porenentgasung werden ca. 70-80 Gew.-% des FCKW aus dem PUR-Schaum entnommen, durch die anschließende Matrixentgasung weitere 20-30 %.

Die Zuführung der Geräte erfolgt in der Regel über Schleusensysteme mit ausreichend dimensionierter Absaugung. Vorhangsysteme allein dichten die Anlageneingänge in der Regel nicht ausreichend ab, so dass sie in dieser Form nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Bei Kombinationen aus Schleusentüren oder Schottwänden mit Vorhangsystemen ist eine Einzelprüfung auf ausreichende Dichtigkeit notwendig. Außerdem muss gewährleistet sein, dass die Luftwechselrate des Schleusenraums auch dann für eine vollständige Absaugung der Raumluft ausreicht, wenn gerade ein Kühlgerät der Zerkleinerung zugeführt wird.

Um das in den Poren des Isolationsschaums enthaltene FCKW freizusetzen (Porenentgasung), werden die Kühlgeräte zerkleinert. Für diese Zerkleinerung kommen Wellenbrecher sowie – oftmals nachgeschaltet – ein weiterer Wellenbrecher oder ein Querstromzerspaner zum Einsatz. Auch der Einsatz eines Querstromzerspaners ohne Kombination mit einem Wellenbrecher ist möglich. Da Querstromzerspaner bei der Zerkleinerung einen sehr hohen Feinkornanteil erzeugen, müssen sie zur Vermeidung von Staubexplosionen inertisiert werden. Den zusätzlichen Kosten der Inertisierung steht ein geringerer Wartungsaufwand gegenüber. Die technische Überlegenheit einer dieser Zerkleinerungsmethoden ist nicht eindeutig feststellbar. Alle Zerkleinerungsaggregate sowie die nachfolgenden Transport- und Separieraggregate sind so dicht wie möglich gehalten. Während der Zerkleinerung werden die in den Kühlgeräten enthaltenen leichtflüchtigen Stoffe (FCKW, H-FCKW, H-FKW) freigesetzt und mit der Prozessluft abgesaugt.

Es folgt eine Matrixentgasung des PUR-Schaums. Hierbei wird, falls dies nicht bereits durch die Erstzerkleinerung erfolgt ist, der Isolationsschaum weiter bis auf eine Korngrößenverteilung unterhalb des mittleren Porendurchmessers zerkleinert und zusätzlich erhitzt, damit adsorptiv gebundene FCKW, H-FCKW oder H-FKW freigesetzt werden. Der genutzte Temperaturbereich sollte so hoch wie möglich sein, wird aber durch die Brennbarkeit des Schaums begrenzt. Die Brandgefahr steigt ab ca. 120 °C stark an. Auch an diesem Anlagenteil muss die Luft abgesaugt werden.

Moderne Anlagen erreichen unabhängig von der eingesetzten Technik eine fast gleiche Qualität der Wertstofffraktionen. Die Qualität der Metallfraktionen eines Querstromzerspannungssystems ist in der Regel minimal geringer als die einer reinen Shreddertechnologie, weil die Metallstücke verkugeln und in ihrem Inneren Fremdmaterialeinschlüsse enthalten können.

Zurzeit werden überwiegend Fabrikate von ADELMANN, ERDWICH, HECKERT, HERCO, MEWA, UNTHA eingesetzt.

3.1.4 Reinigung der Prozessluft

Die Prozessluft wird zunächst durch Zusammenlegung aller Absaugrohre gesammelt und anschließend mit Zyklonen von den gröberen Staubpartikeln und mit Taschenfiltern oder Gewebefiltern von den feineren Staubpartikeln befreit. Darüber hinaus wird der Abluft oftmals mit Kältetrocknern oder Molekularfiltern Feuchtigkeit entzogen.

Für die Reinigung der Luft von FCKW stehen prinzipiell zwei unterschiedliche Technologien zur Verfügung: Zum einen ist es möglich durch eine Tieftemperaturkondensation, die in der Prozessluft enthaltenen Gase zu gefrieren oder zu kondensieren. Zum anderen gibt es die Möglichkeit, den Luftstrom adsorptiv mit Aktivkohle zu reinigen.

3.1.4.1 Adsorption

Eine kontinuierliche, adsorptive Reinigung wird mit einer Drei-Kessel-Aktivkohle-Anlage durchgeführt. Dabei wird die kontinuierliche Betriebsweise durch den regelmäßigen Wechsel der Betriebszustände in den Aktivkohlebetten erreicht. Die Aktivkohle adsorbiert in zwei der drei Aktivkohlebetten die Treibmittel und Wassermoleküle aus dem Prozessgasstrom. Der dritte Adsorber befindet sich während dieser Zeit in Desorption. Da die Adsorptionszeit länger als die anderen Prozesse andauern kann, ist ein rechtzeitiger Wechsel der Behälterbeaufschlagung möglich. Auch Kohlenwasserstoffe können auf den Adsorbentien gebunden und anschließend zurückgewonnen werden.

Die Ad- und Desorptionsparameter sind bei gegenwärtig betriebenen Anlagen auf die Rückgewinnung von R 11 ausgelegt, so dass andere FCKW wie z.B. R 12 oder Kohlenwasserstoffe nur mit geringerem Wirkungsgrad zurückgewonnen werden. In der Praxis werden in den Anlagen z. B. Molekularsiebe nachgeschaltet, um eine wirkungsvolle R 12-Abscheidung zu erreichen.

Aktivkohleanlagen sind in Bezug auf die Einhaltung der geforderten Grenzwerte sehr zuverlässig und reagieren sehr unempfindlich gegenüber Abweichungen des Betriebs vom Auslegungszustand der Anlage. Die realisierbaren Volumenströme der Prozessluft hängen von der Dimensionierung der Aktivkohlebetten ab und liegen bei den auf dem Markt befindlichen Anlagen bei ca. 500-1.000 m³/h.

Hersteller dieser Systeme sind z.B. ADELMANN, HERCO, MARITIM.

3.1.4.2 Kryokondensation

Im Bereich der Kryokondensation (Tieftemperaturkondensation) kommen zwei Techniken zum Einsatz: Kondensation bei geringem Druck und bei hohem Druck. Mit beiden Techniken werden die Stoffe nicht getrennt kondensiert. Wasser sollte deshalb vor der Beaufschlagung der Wärmetauscher möglichst vollständig entfernt werden, da sonst die kondensierbaren Mengen der anderen Stoffe drastisch sinken. Das anfallende Wasser muss in der Regel wegen noch enthaltener FCKW-Anteile gesondert entsorgt werden.

Kryokondensation bei geringem Druck

Bei der Kryokondensation bei niedrigem Druck werden die Stoffe in mit flüssigem Stickstoff gekühlten Wärmetauschern bei geringem Druck (wenige mbar) und sehr tiefen Temperaturen (ca. -160 °C) kondensiert.

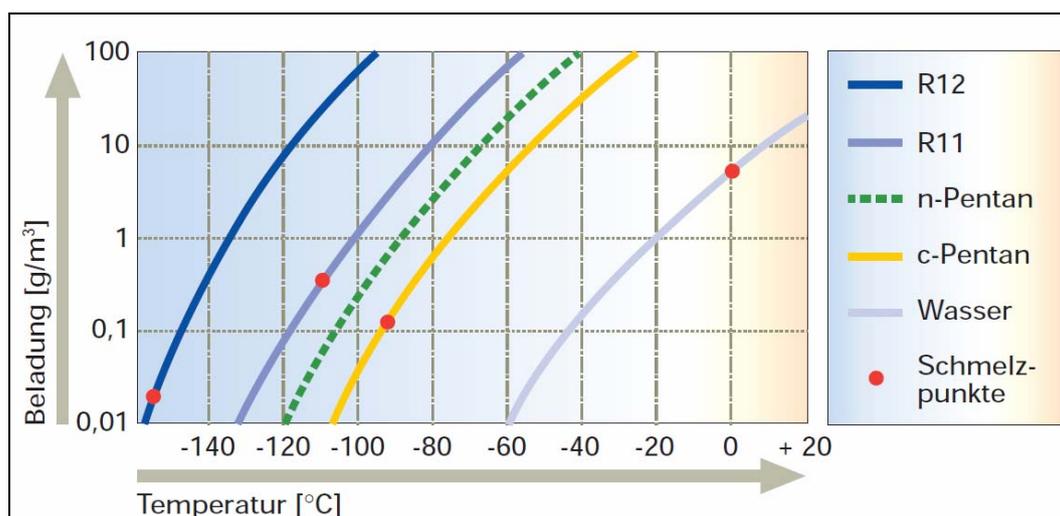


Abbildung 7 Beladungsdiagramm von R 12 und R 11
Zum Vergleich sind auch die Kurven von Pentan, Cyclo-Pentan und Wasser dargestellt [41].

Wie aus der Abbildung 7 zu entnehmen ist, sind für die R 12-Kondensation bei geringem Druck sehr niedrige Temperaturen notwendig, die zu starken Vereisungsproblemen führen können. Um dieses Problem zu lösen, wird der Kondensationsprozess dreistufig ausgelegt. In der ersten Stufe wird das Prozessgas auf ca. 2 °C abgekühlt und dadurch der größte Teil des Wassers entfernt. In der zweiten Stufe erfolgt zur Rückgewinnung von R 11 eine Kühlung auf ca. -120 °C. In der direkt mit flüssigem Stickstoff gekühlten Nachkühlstufe wird R 12 bei einer Temperatur von ca. -160 °C abgeschieden [41].

Die enthaltenen Gase kondensieren und gefrieren an den Rohrwandungen. In Abhängigkeit von der Dimensionierung der Anlage und der Anzahl der durchgesetzten Geräte ergibt sich die maximale Beladungszeit. Nach dieser Beladungszeit muss die Apparatur durch Abtauen regeneriert werden. Die Anlagen müssen an den maximalen Gerätedurchsatz bzw. die maximale Beladung mit kondensierbaren Gasen (Wasserdampf, FCKW, H-FCKW, H-FKW, KW) angepasst sein, da ansonsten Grenzwertüberschreitungen bei FCKW im Reingas auftreten können. Diese möglichen Überschreitungen sind jedoch nicht systembedingt, sondern hängen von den betrieblichen Nutzungsparametern ab.

Kryokondensation bei hohem Druck

Bei der Kryokondensation mit hohem Druck werden die Stoffe in mit flüssigem Stickstoff gekühlten Wärmetauschern bei hohem Druck (ca. 15 bar) und tiefen Temperaturen (ca. -90 °C) kondensiert. Die flüssig zurückgewonnenen Stoffe können kontinuierlich abgezogen werden. Mit diesem Prozess der Kryokondensation können außer R 11 prinzipiell auch R 12 oder Pentan kondensiert werden. In der Praxis werden in diesen Anlagen für eine wirkungsvolle R 12-Abscheidung jedoch eher Adsorbentien und Molekularsiebe eingesetzt, da die Anlagenparameter vorrangig auf die Rückhaltung von R 11 ausgelegt sind und R 12 nur mit einem geringeren Wirkungsgrad zurückhalten können.

Die Kryokondensationsanlagen mit hohem Druck reagieren systembedingt etwas unempfindlicher auf eine hohe Beaufschlagung mit kondensierbaren Gasen als die Kryokondensationsanlagen mit niedrigem Druck.

Die realisierbaren Volumenströme der Prozessluft beider Kryokondensationstechnologien hängen von der Dimensionierung der Wärmetauscherrohre ab und liegen bei den auf dem Markt verfügbaren Anlagen zur Kondensation – unabhängig von der Art – bei ca. 180-500 m³/h.

Hersteller dieser Anlagen sind MESSER AG, AIR-PRODUCTS und HERCO.

3.1.4.3 Kombination von Adsorption und Kryokondensation

Bei der Kombination von Adsorption und Kryokondensation in einer Anlage können die gleichen Prozessluftvolumenströme wie bei Adsorptionsanlagen erreicht werden, da die primäre Reinigung über eine Drei-Kessel-Aktivkohle-Adsorption erfolgt. Eine (kleinere) Tieftemperatureinheit wird nachgeschaltet. Die Feuchtigkeit wird vorher über ein Molekularsieb abgeschieden. Zum Schluss wird die Prozessluft nochmals über ein Molekularsieb geleitet um verbleibende Restgehalte an FCKW (z. B. R 12) abzuscheiden. Mit dieser Technik sind sowohl hohe Luftmengenumsätze als auch eine nichtselektive Rückgewinnung aller FCKW möglich.

Hersteller dieses Systems ist HERCO.

3.1.4.4 Verflüssigung und Abfüllung

Die Verflüssigung und Abfüllung der FCKW, H-FCKW, H-FKW oder KW laufen sowohl bei kryogener als auch bei adsorptiver Rückgewinnung quasi-kontinuierlich ab. Die gegenwärtig üblichen Batch-Prozesse haben Verzugszeiten bis zu vier Stunden, so dass bei einem kontinuierlichen Betrieb eine Beziehung zwischen der Rückgewinnungsmenge und dem Geräteinput in der Praxis nicht herstellbar ist. Bei einigen Anlagen wird das enthaltene Kondenswasser direkt abgetrennt und wasserfreies FCKW, H-FKW oder KW abgeschieden, bei anderen Anlagen wird das Wasser bzw. ein Großteil des Wassers gemeinsam mit dem Kältemittel ausgebracht.

Zur Trennung der Kältemittel vom Kondenswasser kommen Schwerkrafttrenner zum Einsatz. Da R 11 mit Wasser ein Zweiphasengemisch bildet und der Unterschied in den Dichten der beiden Stoffe ausreichend hoch ist, können die Stoffe mit ausreichender Sicherheit voneinander getrennt werden.

3.2 Überwachung

Bei der Überwachung sind die rechtlich vorgeschriebene Überwachung und die freiwillige Qualitätsprüfung zu unterscheiden.

3.2.1 Rechtlich vorgeschriebene Überwachung

Die rechtlich vorgeschriebenen Überwachungen werden insbesondere in Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft und in § 11 ElektroG vorgegeben. Um den Vollzug der Anforderungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft zu vereinheitlichen und zu vereinfachen wurde von der LAI im Jahr 2009 eine Vollzugshilfe veröffentlicht. Diese wurde in Nordrhein-Westfalen vom *Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz* (MUNLV) durch einen Erlass eingeführt. Insbesondere werden in dieser Vollzugshilfe die Anforderungen an die Eigenüberwachung durch den Anlagenbetreiber sowie an die Fremdüberwachungen durch externe Gutachter konkretisiert. Weitere konkretisierte Maßnahmen sind im LAGA-Merkblatt M 31 festgelegt, das ebenfalls in Nordrhein-Westfalen durch einen Erlass eingeführt wurde.

3.2.1.1 Überwachung des Abgases

Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft dürfen die Emissionen an FCKW im Abgas der FCKW-Rückgewinnung den Massenstrom 10 g/h und die Massenkonzentration 20 g/m³ nicht überschreiten. Die Massenkonzentration der Emissionen an FCKW im Abgas ist kontinuierlich zu ermitteln oder es ist durch andere fortlaufende Prüfungen der Wirksamkeit der Abgasreinigungseinrichtung nachzuweisen, dass die festgelegte Emissionsbegrenzung nicht überschritten wird. Bezüglich der kontinuierlichen Messungen ist Nr. 5.3.3 TA Luft anzuwenden. Zurzeit stehen nur nicht-eignungsgeprüfte kontinuierliche Messeinrichtungen zur Verfügung.

In Nr. 5.3.3.6 TA Luft wird gefordert, dass die Einrichtungen zur kontinuierlichen Feststellung der Emissionen durch eine von der nach Landesrecht zuständigen Behörde für Kalibrierungen bekannt gegebene Stelle kalibriert und auf Funktionstüchtigkeit geprüft werden. Die Kalibrierung soll nach Richtlinie VDI 3950 Blatt 1 durchgeführt werden. Diese Richtlinie wurde im Dezember 2006 aktualisiert. Die Kalibrierung ist alle 3 Jahre zu wiederholen. Es ist jährlich eine Funktionsprüfung durchzuführen.

In der Regel werden die beiden Leitsubstanzen R 11 und R 12 kontinuierlich gemessen, um den Gesamt-FCKW-Gehalt in der Abluft zu charakterisieren. Diese werden unabhängig voneinander im Mehrkanal-Verfahren gemessen.

Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft wird jährliche eine Fremdüberwachung durch eine nach § 26 BImSchG bekannt gegebene Stelle durchgeführt. Im Rahmen dieser jährlichen Funktionsprüfung und drei-jährlichen Kalibrierung werden Vergleichsmessungen vorgenommen. Hierbei werden auch die selteneren FCKW erfasst. Das Verhältnis zwischen der Gesamt-FCKW-Konzentration und der gemessenen R 11/R 12-Konzentration wird für

jede Messreihe als Korrekturfaktor ermittelt. Bei schwankenden Werten wird der höchste Korrekturfaktor in das Auswertesystem eingetragen. Die Verwendung von Leitkomponenten setzt voraus, dass deren Anteil mindestens 90 % des Gesamt-FCKW ausmacht (Korrekturfaktor kleiner 1,11). Bei größeren Schwankungen sollte über ein Langzeit-Screening (Probenahmezeit 1 Woche) überprüft werden, inwieweit das Ergebnis der Kalibrierung/Funktionsprüfung repräsentativ ist.

Verbreitete Messsysteme stammen von DIEL, FRESSENIUS oder PPM.

3.2.1.2 Überwachung der Anlagentechnik und der Betriebsführung

Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft ist die Zuverlässigkeit der Trockenlegung (Stufe 1) jährlich durch eine von der zuständigen Landesbehörde zugelassenen Stelle zu prüfen. Aus mindestens 100 Geräten oder Einrichtungen mit intakten Kältekreisläufen sind die FCKW-Kältemittel zu entnehmen und zu sammeln. Die Menge der gesammelten FCKW-Kältemittel soll 90 Gew.-% der Menge der gemäß den Angaben auf den Typenschildern in den Geräten oder Einrichtungen enthaltenen FCKW-Kältemittel nicht unterschreiten. Der FCKW-Gehalt in den entgasten Kältemaschinenölen darf 2 g Gesamthalogen/kg nicht überschreiten. Da die Anzahl der defekten Geräte auf Grund des Restgehalts an FCKW im Öl das Ergebnis des 100-Geräte-Tests beeinflusst, wird eine einheitliche Definition für einen vorliegenden Defekt benötigt. In der LAI-Vollzugshilfe wird konkretisiert, dass nur Geräte mit einem sehr geringen Überdruck (unter 0,5 bar) vom Gutachter (in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und den gerätespezifischen Besonderheiten) als defekt im Sinne der TA Luft klassifiziert werden können. Laut UBA sind bei den defekten Geräten noch bis zu 30 % des ursprünglich vorhandenen FCKWs im Öl der Kältekreisläufe gebunden [22]. Deshalb sollten defekte Geräte im Rahmen des 100-Geräte-Tests angemessen berücksichtigt werden.

Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt g TA Luft ist durch geeignete Überwachungsmaßnahmen regelmäßig zu prüfen und sicher zu stellen, dass die Anlagen keine Undichtigkeit aufweisen; das Ergebnis ist zu dokumentieren. Die Eigenüberwachung der Anlage ist in bestimmten zeitlichen Abständen durch den Betreiber vorzunehmen. Sie dient dazu, Mängel – wie zum Beispiel undichte Stellen – zu erkennen und unverzüglich beheben zu können. Dazu gehören die nach den Vorgaben der Hersteller vorzunehmenden Wartungen. Die Eigenüberwachung ist zu dokumentieren. Die Anforderungen an die Eigenüberwachung – gegliedert in die arbeitstägliche, monatliche, jährliche und anlassbezogene Eigenüberwachung – werden in der LAI-Vollzugshilfe konkretisiert [16]. Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt g TA Luft sind die Dichtigkeit und die Dokumentation der Eigenüberwachung einmal jährlich durch eine von der zuständigen Landesbehörde zugelassenen Stelle zu überprüfen. Entsprechende Anforderungen sind ebenfalls in der LAI Vollzugshilfe konkretisiert [16].

Gemäß LAGA-Merkblatt M 31 (Stand 2004) ist zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Behandlungsstufe 2 ein so genannter 1.000-Geräte-Test gemäß UBA-Leitfaden durchzuführen. Hierbei ist ein fester Geräte-Mix (60 % Typ 1, 25 % Typ 2 und 15 % Typ 3 – siehe

Kapitel 2.1) als Input vorgegeben. Im Ergebnis sollte ein Orientierungswert für das zurückgewonnene FCKW von 283 g R 11/Gerät nicht unterschritten werden.

Laut LAGA Merkblatt-M 31 (Stand 2004) kommt der Nachvollziehbarkeit der Stoffströme eine zentrale Bedeutung zu. Der Weg der Kältegeräte und der einzelnen Stofffraktionen – insbesondere der FCKW – soll durchgängig klar erkennbar sein. Das umfasst auch die deutliche Dokumentation von Schnitt- und Übergabestellen zwischen verschiedenen Behandlungsstufen und an dritte Entsorger [18]. Diese Einschätzung spiegelt auch die LAI-Vollzugshilfe wieder. Hiernach gehört es zur arbeitstäglichen Eigenüberwachung, die Anzahl der behandelten Geräte (differenziert nach Gerätetypen), die Anzahl der defekten Geräte und die Menge des zurückgewonnenen Kältemittels in der Stufe 1 zu dokumentieren. Entsprechendes gilt für die Stufe 2 [16].

Erstbehandlungsanlagen müssen gemäß § 11 Abs. 3 ElektroG jährlich zertifiziert werden. Gefordert werden hier eine geeignete Anlagentechnik und eine Dokumentation mit allen Primärdaten (bis zum Verwerter), die zur Berechnung und zum Nachweis der Verwertungsquoten erforderlich sind. Gemäß § 11 Abs. 4 ElektroG gelten Anlagen in diesem Sinne als zertifiziert, sofern sie Entsorgungsfachbetrieb sind und die Einhaltung der Anforderungen des ElektroG geprüft und im Überwachungszertifikat ausgewiesen ist. Gemäß der *Entsorgungsfachbetriebsverordnung* (EfbV) werden z.B. gefordert:

- die regelmäßige Sichtung der entsprechenden Gesetze und technischen Vorgaben
- die regelmäßige fachspezifische Schulung der fachverantwortlichen Person in anerkannten Ausbildungskursen
- die regelmäßige Unterweisung und Schulung des gesamten Personals sowie
- die regelmäßige Eigenkontrolle der technischen Ausrüstung einschließlich aller Arbeitsergebnisse.

Die Anforderungen an die Entsorgungsfachbetriebe werden in der LAGA-Vollzugshilfe „Entsorgungsfachbetriebe“ (LAGA-M 36) konkretisiert [32].

3.2.2 Freiwillige Qualitätsprüfung

Parallel zu den vorgenannten Anforderungen an Kühlgerätebehandlungsanlagen wurden auch privatwirtschaftliche Güte- und Prüfbestimmungen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Kühlgerätebehandlungsanlagen entwickelt. In diesem Zusammenhang sind insbesondere nachfolgende Dokumente zu erwähnen:

- UBA: Leitfaden zur Entsorgung von Kühlgeräten (Stand: 1998) [22]
- SENS: Methodik zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Kühlgeräte-Entsorgungsanlagen (Stand: 2008) [21]

- RAL: Güte- und Prüfbestimmungen Rückproduktion von Kühlgeräten (Stand 2007) [20]
- der CECED, WEEE- Forum, EERA: Bestimmungen über die Sammlung, den Transport, die Lagerung, die Handhabung und Aufbereitung von FCKW, H-FCKW und FKW-haltigen Kühl- und Tiefkühlgeräten aus privaten Haushalten (Stand 2007) [14]

Insbesondere die für die Entsorgung der Geräte verantwortlichen Gerätehersteller führen in den Entsorgungsanlagen eigene Audits durch. Hierfür werden neben der Einhaltung der gesetzlichen Bestimmung auch weiter gehende Anforderungen gestellt. Es werden z. B. die Stoffstromnachweise geprüft und ein so genannter 1.000-Geräte-Test nach der Richtlinie CECED/WEEE-Forum/EERA sowie eine detaillierte Angabe der In- und Output-Massenströme gefordert.

Zurzeit werden sowohl in Deutschland als auch im europäischen Ausland bevorzugt die Tests nach CECED/WEEE-Forum/EERA durchgeführt. Deshalb werden im Folgenden die Anforderungen der CECED/ WEEE-Forum/EERA zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Stufen 1 und 2 beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass in Deutschland zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Trockenlegung (Stufe 1) die Anforderungen der TA Luft einzuhalten sind.

Mit den „Bestimmungen über die Sammlung, den Transport, die Lagerung, die Handhabung und Aufarbeitung von FCKW, H-FCKW und FKW-haltige Kühl- und Tiefkühlgeräten aus privaten Haushalten“ der CECED/WEEE-Forum/EERA vom Dezember 2007 sind die Bestimmungen dieser Überprüfungen so weit gefasst worden, dass sowohl die Prüfungsdurchführung als auch die Möglichkeiten der Auswertung große Variationsmöglichkeiten bieten.

Es stehen jeweils zwei alternative Vorgehensweisen (Input-Methode, Output-Methode) zur Prüfung der Leistungsfähigkeit der Stufen 1 und 2 zur Verfügung.

3.2.2.1 Behandlungsstufe 1

Input-Methode

Bei der Input-Methode für die Stufe 1 werden 100 Geräte mit intaktem Kältemittelkreislauf gewogen und anschließend in Stufe 1 behandelt. Die Wiegeergebnisse der getrennten FCKW- und Öl-Mengen werden mit den Angaben auf den Typenschildern verglichen. Defekte Kältemittelkreisläufe können durch den Vergleich mit den Ergebnissen einer Rückwiegung des behandelten Kühlgerätes ermittelt werden. Über die Ein- und Ausgangsmassen wird eine Bilanz erstellt. Hierbei sollte das Verhältnis von zurückgewonnenem FCKW und Öl zum Gewichtsverlust der abgesaugten Geräte mindestens 97 % betragen. Die FCKW-Rückgewinnung sollte 90 % nicht unterschreiten.

Output-Methode

Alternativ kann die Output-Methode angewendet werden. Dabei werden mindestens 1.000 FCKW-haltige Geräte behandelt und der FCKW-Behälter vor und nach der Überprüfung gewogen. Die Menge des zurückgewonnenen FCKW wird durch die Anzahl der abgesaugten Kompressoren dividiert. Die FCKW-Rückgewinnung sollte 90 % der zu „erwartenden“ FCKW-Menge nicht unterschreiten. Der zu „erwartende Wert“ ist laut CECED/WEEE-Forum/EERA für jedes Land zu bestimmen, läge aber in den meisten europäischen Ländern bei 115 g R 12 je Kompressor. Ein entsprechender zu „erwartender Wert“ ist für Deutschland in dieser Höhe nicht bekannt. Im UBA-Leitfaden wurde ein Orientierungswert von 115 g/Gerät vorgeschlagen. Dieser wurde z. B. von der RAL als Mindestrückgewinnungsmenge/Gerät interpretiert. Geht man davon aus, dass mindestens 90 Gew.-% FCKW zurückgewonnen werden sollen, ergibt sich hieraus ein 100 %-Bezugswert von 128 g FCKW/Kältekreislauf.

Bewertung

Der freiwillige Leistungstest gemäß CECED/WEEE-Forum/EERA für die Stufe 1 nach der Input-Methode entspricht im wesentlichen den Anforderungen des Nachweises der Zuverlässigkeit der Trockenlegung gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft. Jedoch ist gemäß der im Jahr 2009 verabschiedeten LAI-Vollzugshilfe ein Gerät anhand des eventuell zu geringen Drucks im Kältesystem als defekt einzustufen. Laut CECED/WEEE-Forum/EERA ist jedoch die Gewichtsreduktion jedes Geräts mit der erwarteten Gewichtsreduktion durch die Entnahme des Kältemittel-Öl-Gemisches zu vergleichen, um so geschädigte Kältekreisläufe zu erkennen. Hierzu wird auf die Problematik der Wiegeungenauigkeiten hingewiesen. Ein weiterer Unterschied zur TA Luft liegt darin, dass die Prüfung nach Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft durch eine von der zuständigen Landesbehörde zugelassenen Stelle erfolgen muss.

Die Ergebnisse nach der Outputmethode sind nicht geeignet, die Anforderungen des Nachweises der Zuverlässigkeit der Trockenlegung gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft zu erfüllen, da die Schätzung der enthaltenen FCKW-Menge nach diesem Ansatz nicht mit der in der TA Luft vorgegebenen Mengenermittlung über die Typenschilder übereinstimmt.

3.2.2.2 Behandlungsstufe 2

Auch für die Stufe 2 wird gemäß CECED/WEEE-Forum/EERA die Leistungsfähigkeit der Anlage anhand der FCKW-Rückgewinnungsquote alternativ mit einer In- oder einer Output-Methode bestimmt. Hierfür werden 1.000 FCKW-haltige Geräte behandelt. Die Outputmengen des PUR-Schaums und des FCKW (ohne Wasser) werden gewogen. Während des Tests sind mehrere Proben der PUR-Output-Fraktion zu nehmen und manuell von Fremdstoffen zu reinigen. Die Proben sind in einem Labor auf ihren FCKW-Anteil zu analysieren.

Input-Methode

Zunächst werden 1.000 FCKW-haltige Geräte in die Typen 1 bis 3 (siehe Kapitel 2.1) eingeteilt. Abhängig von der Kategorie wird eine FCKW-Mindestrückgewinnungsmenge pro Gerät festgelegt (Typ 1: 240 g, Typ 2: 320 g, Typ 3: 400 g). Legt man den Geräte-Mix laut UBA-Leitfaden (60-25-15 %) zugrunde, ergibt sich eine Mindestrückgewinnungsmenge von 283 g FCKW/Gerät. Diese gründet auf der Annahme, dass ein Durchschnittsgerät 3,7 kg PUR-Schaum enthält und der PUR-Schaum 8,5 Gew.-% FCKW enthält (315 g FCKW/Gerät). Hiervon sollten mindestens 90 % (= 283 g) FCKW zurückgewonnen werden.

Output-Methode

Bei der Output-Bestimmung wird ebenfalls angenommen, dass der Schaum einen FCKW-Gehalt von 8,5 Gew.-% aufweist. Jedoch wird die PUR Menge nicht mit 3,7 kg/Gerät abgeschätzt, sondern anhand der im Rahmen des Tests zurückgewonnenen PUR-Menge bestimmt. Dazu wird neben der direkt gewogenen PUR-Output-Fraktion die Menge des in den anderen Fraktionen enthaltenen PUR möglichst genau ermittelt. Außerdem werden die Fremdanteile im PUR-Output und der enthaltene Rest-FCKW-Anteil festgestellt. Aus diesen Werten wird die „Originalmenge“ an FCKW in der PUR-Input-Fraktion errechnet. Die Menge an zurückgewonnenem FCKW muss mindestens 90 Gew.-% der kalkulierten, erwarteten FCKW-Menge betragen.

Bewertung

Gesetzliche Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Stufe 2, die über eine FCKW-Mindestrückgewinnungsquote definiert wäre, gibt es nicht. In der früher bevorzugten Prüfmethode nach UBA-Leitfaden wird die Leistungsfähigkeit auf der Basis eines definierten Geräte-Mix (60-25-15 %) ermittelt. Hierdurch wurde die Vergleichbarkeit der Testergebnisse verschiedener Anlagen erleichtert. Gemäß der Vorgaben der CECED/WEEE-Forum/EERA kann die Gerätezusammensetzung nach Typ 1 bis 3 frei gewählt werden. Dies erleichtert die Durchführung der Prüfung, erschwert jedoch die Vergleichbarkeit der Anlagen untereinander.

Ein Vorteil des frei wählbaren Geräte-Mix liegt in der eventuell besseren Übertragbarkeit des Prüfergebnisses auf den Routinebetrieb der Anlage. Dies gilt allerdings nicht uneingeschränkt, da erstens auch bei der neueren Prüfmethode keine gewerblichen oder industriellen Kühlaggregate zugelassen sind und zweitens auch ohne festgeschriebenen Geräte-Mix während des Tests nicht zwingend die tagesübliche Typenzusammensetzung behandelt wird.

Bei der Outputmethode wird die FCKW-Rückgewinnungsquote auf Basis der tatsächlich in den Geräten enthaltenen PUR-Schaum-Menge ermittelt. Hierdurch kann die Bezugsgröße „FCKW Menge in den zu entsorgende Kühlgeräten“ genauer abgeschätzt werden. Voraussetzung hierfür ist eine möglichst genaue Bestimmung der PUR-Schaummenge. Hierfür werden zur Bestimmung des Fremdstoffanteils im PUR-Schaum Proben manuell in ihre PUR- und Nicht-PUR-Anteile getrennt. Dieses Verfahren ist sehr fehleranfällig.

Die zwei verschiedenen Auswertungsmethoden – beide wiederum auf der Basis von Mittelwerten und Annahmen des Materialinputs – bieten eine subjektive Auswahlmöglichkeit. Die FCKW-Rückgewinnungsquoten von unterschiedlichen Anlagen sind auf Grund der unterschiedlichen Gerätezusammensetzung und der nicht einheitlichen Testmethoden bei den Tests nach CECED/WEEE-Forum/EERA nicht direkt vergleichbar.

Die zweifache Überprüfung der Stufe 2 einer schwedischen Anlage innerhalb von acht Monaten durch zwei verschiedene Prüfinstitute führte zu deutlich voneinander abweichenden Ergebnissen. Bei der ersten Prüfung wurde eine Rückgewinnungsquote von 92 Gew.-% für Geräte unterschiedlicher Hersteller (mit Annahmewerten für den FCKW-Eintrag) ermittelt. Bei der zweiten Prüfung wurde lediglich eine Rückgewinnungsquote von 48 Gew.-% ermittelt. Für diesen Test wurden definierte Geräte eines einzigen Herstellers eingesetzt, deren FCKW-Eintrag anhand der Herstellerangaben besser abzuschätzen war [40].

Das Beispiel zeigt deutlich, dass die Prüfungen gemäß CECED/WEEE-Forum/EERA keine generell gültigen Qualitätsaussagen liefern.

3.2.2.3 Fazit

Die FCKW-Rückgewinnungsquoten von unterschiedlichen Anlagen sind auf Grund der nicht einheitlichen Testmethoden bei den Tests nach CECED/WEEE-Forum/EERA nicht direkt vergleichbar. Als Mittel der Eigenüberwachung können diese Überprüfungen den Betreibern aber äußerst wichtige Eckdaten zur eigenen aktuellen Situation liefern. Auch Außenstehende können diesen Tests Informationen zur Leistungsfähigkeit der Anlage entnehmen, müssen jedoch stets die spezifischen Bedingungen vor Ort sowie die speziellen Vorgaben zu den Untersuchungsabläufen berücksichtigen.

3.3 Gemeinsame Behandlung FCKW- und KW-haltiger Kühlgeräte

An Anlagen, in denen außer FCKW auch KW-haltige Kühlgeräte behandelt werden, sind zusätzliche Anforderungen zu stellen.

Gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt c TA Luft sind bei der Behandlung von Geräten und Einrichtungen mit nicht FCKW-haltigen Kältemitteln (z.B. Kohlenwasserstoffen wie Butan und Pentan) oder von mit derartigen Kohlenwasserstoffen geschäumtem Isoliermaterial geeignete Maßnahmen gegen Verpuffung zu treffen, z.B. durch die Inertisierung der Zerkleinerungsstufe. Gemäß § 11 Absatz 2 ElektroG i. V. m. Anhang 3 ElektroG sind neben allen Flüssigkeiten auch alle Kohlenwasserstoffe, die ggf. gasförmig vorliegen, aus den KW-haltigen Geräten zu entfernen.

Gemäß Nr. 5.2.5 TA Luft dürfen organische Stoffe im Abgas den Massenstrom von 0,50 kg/h oder die Massenkonzentration von 50 mg/m³ – jeweils angegeben als Gesamtkohlenstoff – insgesamt nicht überschreiten

Nach dem gegenwärtigen Stand ist die Sortierung von FCKW-haltigen und FCKW-freien Kühlgeräten im Abfallstrom nicht möglich. Daher ist der FCKW-Erfassung Vorrang einzuräumen, und alle Geräte sind in Anlagen zu behandeln, die den Anforderungen der Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft entsprechen [19], [38]. Diese Aussage wird durch die Erkenntnisse der Studien des *Fraunhofer Instituts Produktionstechnik und Automatisierung* [15] und des *Öko-Instituts e.V.* [5] bestärkt.

Ob diese Verwertung gemeinsam oder in getrennten Chargen in den Anlagen erfolgen soll, ist nicht geregelt. Erste Studien z.B. von der *FHA Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH* untersuchten die Vor- und Nachteile beider Varianten [11].

Prinzipiell müssen die wesentlichen Auswirkungen auf den Verwertungsprozess anhand der physikalischen und chemischen Stoffeigenschaften hinterfragt werden, wenn die KW-haltigen Geräte ebenfalls in den vorhandenen Anlagen verwertet werden sollen.

Tabelle 7 Stoffdaten Kältemittel

Stoffe	Dichte [kg/l]	Siedepunkt [°C]	Brennbarkeit	Mischbarkeit
R 12	1,33	-29,8	Nein	Alle FCKW, und KW
R 600a	0,56	-11,9	Ja	Alle FCKW, und KW
R 11	1,49	23,7	Nein	Alle FCKW, und KW
c-Pentan	0,74	49	Ja	Alle FCKW, und KW
Wasser	1	100	Nein	keine

Der auffälligste Unterschied zwischen KW und FCKW liegt in der Brennbarkeit. Die Anlagenmodule müssen deshalb hinsichtlich der Brand- und Explosionsgefahr vollständig gesichert werden. Das umfasst nicht nur die Inertisierung mit Stickstoff und die Überwachung der Behandlungsmodule (Absaug- und Trennanlage in der Stufe 1 und Zerkleinerer in Stufe 2), sondern auch alle anderen in Zusammenhang mit den Stoffen stehenden Module. Abfüll- und Lagerplätze, anschließende Transporte und weiterführende Entsorgungstechnologien – sowohl für die zurückgewonnenen Flüssigphasen als auch für die PUR-Fraktionen mit Restgehalten – müssen kritisch überprüft werden. Auf den ersten Blick sollten die höheren Siedepunkte der Kohlenwasserstoffe gegenüber den Stoffen, die sie substituieren, keine negativen Auswirkungen auf den Rückgewinnungsprozess haben. Trotzdem ist der Einfluss der veränderten Siedetemperaturen und der Dampfdrücke der Stoffe auf die Verfahren sorgfältig zu prüfen.

Insbesondere bei den eingesetzten Flüssigphasentrennern zur Abscheidung von Wasser sind die Auswirkungen der variablen Gesamtdichte des FCKW/KW-Gemisches zu berücksichtigen. Hier sind technische Anpassungskonstruktionen notwendig, da Flüssigphasentrenner nur dann mit hohem Wirkungsgrad arbeiten, wenn sich eine klare Phasengrenze (d.h. eine deutliche Dichtedifferenz der beiden Phasen) ausbildet. Bisher sind die Phasentrenner so ausgelegt, dass sich die Wasserphase über der FCKW-Phase sammelt. Mit steigendem Pentananteil bildet sich die notwendige Phasengrenze langsamer. Bei zu hohem Pentananteil ist die Dichte des FCKW/KW-Gemisches sogar geringer als die des Wassers und schwimmt auf. In diesem Fall arbeitet der Trenner nicht mehr bestimmungsgemäß. Zur vorläufigen Abhilfe können organisatorische Maßnahmen wie die Begrenzung des Durchsatzes für KW-geschäumte Geräte getroffen werden.

Des Weiteren können bei den Aktivkohleanlagen Veränderungen in der absoluten Beladungskapazität sowie in der Ausbildung und dem zeitlich-räumlichen Verlauf der Durchbruchkurve durch konkurrierende Adsorption verursacht werden. Ebenso müssen für Aktivkohle- und Tieftemperaturrückgewinnungsanlagen die Be- und Entladezyklen überprüft und angepasst werden.

4 Status Quo der Anlagen in Nordrhein-Westfalen

Das IUTA hat im Rahmen der Studie im Oktober/November 2008 den Status Quo der Kühlgerätebehandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen beschrieben. Die Daten bezüglich der Stoffströme 2008 wurden vom LANUV 2009 erhoben.

Das IUTA den fünf Betrieben Fragebögen zugesandt, in denen die folgenden Informationen abgefragt wurden:

- Stammdaten der Behandlungsanlage, Anlagenbeschreibung
- Anlagenkapazität
- Zertifizierungen/Prüfungen, Einhaltung der Maßnahmen nach TA Luft bzw. zusätzliche Auflagen entsprechend der Genehmigungen, sonstige freiwillige Management- oder Qualitätssysteme
- Gesamteingangsmengen aller Kühlgeräte kategorisiert nach Kältemitteln in Tonnen und Stück
- Anzahl der in Stufe 1 behandelten Kühlgeräte, kategorisiert nach Kältemitteln und Gerätetypen
- Anzahl der defekten Kühlgeräte in Stufe 1, kategorisiert nach Kältemitteln und Gerätetypen
- Anzahl der in Stufe 2 behandelten Kühlgeräte, kategorisiert nach Kältemitteln und Gerätetypen
- Outputdaten der Fraktionen aus der Behandlung in Stufe 1 mit AVV-Nomenklatur in Tonnen
- Outputdaten der Fraktionen aus der Behandlung in Stufe 2 mit AVV-Nomenklatur in Tonnen

Alle Tabellen und Fragebögen boten die Möglichkeit der Eintragung zusätzlicher Anmerkungen oder zusätzlicher Daten. Des Weiteren wurden alle fünf Anlagen besichtigt. Dabei wurde die Einsichtnahme in die Betriebsführung, Anlagenwartung, Anlagen-genehmigungen, Anlagentechnik, Übersicht der Mitarbeiterqualifikationen und Betriebs-dokumentation teilweise gewährt.

Die Ergebnisse der Recherchen wurden für die folgenden Darstellungen anonymisiert. Die Zuordnung der Bezeichnungen „Anlage 1“ bis „Anlage 5“ zu den tatsächlichen fünf Anlagen wechselt von Diagramm zu Diagramm, so dass sich aus diesen Darstellungen kein geschlossenes Bild von einer einzelnen Anlage gewinnen lässt.

In Nordrhein-Westfalen wurden 2008 fünf Anlagen zur Behandlung von Kühlgeräten betrieben. In vier Anlagen wurde eine Behandlung der Stufen 1 und 2 betrieben, in einer Anlage nur eine Behandlung der Stufe 1.

Die *EN-PRO Entsorgungsgesellschaft mbH* betreibt in der Rudolf-Diesel-Str. 15, 53859 Niederkassel-Mondorf eine Aufbereitungsanlage der Stufe 1. Die genehmigte Kapazität beträgt 4.000 t/a.

Die *RECOOL Kühlgeräterecycling GmbH*, Auf der Schrottninsel 2-10, 47138 Duisburg, verfügt bei einer zugelassenen Kapazität von 300.000 Geräten pro Jahr über die Behandlungsstufen 1 und 2.

Die *REMONDIS Elektrorecycling GmbH*, Brunnenstr. 138, 44536 Lünen, betreibt eine Anlage zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten mit angeschlossenem Zwischenlager bei einer maximal zugelassenen Jahreskapazität von 100.000 t. Teil dieser Anlage ist die Kühlgerätebehandlungsanlage mit den Behandlungsstufen 1 und 2 bei einer Kapazität von ca. 16.800 t/a.

In der Benzstr. 1, 41515 Grevenbroich, betreibt die *NOEX AG* mit einer maximalen Kapazität von 18.720 t/a die Verwertungsstufen 1 und 2.

Die *Enviprotect Schadstoffverwertung GmbH* betreibt in der Röntgenstr. 12,48599 Gronau, eine Anlage mit den Behandlungsstufen 1 und 2. Die zugelassene Kapazität dieser Anlage beträgt 14.144 t/a.

Geht man von einem Umrechnungsfaktor von 40 kg/Haushaltskühlgerät aus [5], [12], [15], ergibt sich hieraus für Nordrhein-Westfalen eine zugelassene Behandlungskapazität für die Stufe 1 von ca. 65.664 t/a bzw. 1.641.600 Kühlgeräten und für die Stufe 2 von ca. 61.664 t/a bzw. 1.541.600 Kühlgeräten. Die entspricht in etwa der Hälfte der jährlich 3 Mio. in Deutschland entsorgten Kühlgeräte [25].

4.1 Anlagentechnik

4.1.1 Anlagentechnik der Stufe 1

Alle fünf Anlagen bestehen im Eingangsbereich aus zweibahnigen Auflagestationen mit Absaugtischen. Alle Absaugtische können gekippt werden. Drei der Anlagen verfügen über kleine Anstichzangen für die Entnahme der Kältemittel, in zwei Anlagen werden große Anstichzangen benutzt. Vier der installierten Absaug- und Trennanlagen für die Öl-FCKW-Trennung verfügen über Manometer zur Druckkontrolle. Alle Anlagen haben entweder transparente Schläuche für die Absaugung oder Sichtfenstereinsätze in den Schläuchen. Nach der Entleerung der Kühlkreisläufe werden in allen fünf Anlagen die Kompressoren manuell mit Hilfe von mechanischen Kleinwerkzeugen oder Hydraulischeren entfernt. Eine Anlage verfügt über eine halbautomatische Vorrichtung zur Öffnung der Kompressoren. Auf

einem langsam laufenden Förderband mit Ölauffangwannen werden die Kompressoren restentleert.

4.1.2 Anlagentechnik der Stufe 2

Zwei der vier Anlagen zur Behandlung der Stufe 2 transportieren die Kühlgeräte über schräge Transportbänder in die notwendige Höhe, um sie den anschließenden Zerkleinerungsmodulen zuzuführen. Eine dieser Anlagen verfügt über zwei redundante Transportbänder und Zerkleinerungsmodule. Alle drei Transportbänder sind jeweils mit einer Schottwand bzw. einer Luftabschlussklappe ausgerüstet. Die beiden anderen Anlagen nutzen Aufzüge mit unten abschließenden Dichtungen als Eingangsschleuse. Sowohl an den Transportbändern als auch an den Aufzugschächten wird die Abluft kontinuierlich abgesaugt. Eine Anlage verfügt über eine einstufige Zerkleinerung mit einem Querstromzerspaner. Eine Anlage verfügt über eine zweistufige Zerkleinerungseinheit, bestehend aus einem Wellenbrecher und einem nachgeschalteten Querstromzerspaner. Die anderen zwei Anlagen verfügen über einstufige Zerkleinerungseinheiten mit Wellenbrecher, wobei ein Betrieb über zwei parallele, redundante Anlagenmodule verfügt. An allen Zerkleinerungsmodulen wird die Abluft abgesaugt. Die Querstromzerspaner werden gegen Staubexplosionen mit Stickstoff inertisiert. Die Stickstoffzufuhr wird über die gemessene Sauerstoffkonzentration im Querstromzerspaner gesteuert.

Alle Anlagen nutzen Förderschnecken, um das zerkleinerte Material weiter zu transportieren. Die Materialtrennung erfolgt mittels Windsichtern, Überbandmagneten und Wirbelstromabscheidern.

Alle vier Anlagen verfügen über separate Baugruppen zur Matrixentgasung. Es werden ein Kollergang, zwei Matrizenpressen und eine Temperier-Entgasungs-Schnecke eingesetzt. Bei allen Anlagen wird die Abluft in den Aggregaten abgesaugt, in denen FCKW freigesetzt oder transportiert wird.

Die Metalle, die Kunststofffraktion und die PUR-Fraktion werden in verschiedenen Behältern aufgefangen. Die Größe und Art der Auffangbehälter variieren.

Drei Anlagen verfügen über Ad- und Desorptionsanlagen mit Aktivkohlefilter zur Prozessluftaufarbeitung. Die abgesaugten Luftmengen liegen zwischen 800 und 1.000 m³/h. In einer Anlage wird eine Tieftemperaturbehandlung mit einer Norm-Luftmenge von ca. 235 m³/h zur Prozessluftreinigung eingesetzt. Alle Anlagen verfügen über eine kontinuierliche IR-Reingasmessung. Drei Messgeräte erfassen kanal-getrennt die Parameter für R 11 und R 12. Ein Messgerät erfasst R 11. Bei allen Anlagen werden im Rahmen der jährlichen Funktionstests bzw. der dreijährigen Kalibrierung Daten zu weiteren FCKW ermittelt. Sie werden über Korrekturfaktoren beim gemessenen Emissionswert für FCKW berücksichtigt.

4.2 Betriebsführung

4.2.1 Anlieferung

Die Anlieferung der zu behandelnden Geräte erfolgt bei allen fünf Entsorgungsanlagen überwiegend durch Abrollcontainer oder durch LKW mit Ladefläche. In der Regel werden die Geräte sofort abgeladen und manuell vorbereitet (Entfernung der Quecksilberschalter, Glaseinlagen, Kabel, Einlegegitter, sonstigen unbefestigten Teile). Anschließend werden die Geräte entweder zwischengelagert oder direkt auf einem der Vortragsbänder positioniert. Geräte mit R 12 oder R 134a werden in allen Anlagen gemeinsam behandelt. Bei der Zwischenlagerung werden die Geräte nach den enthaltenen Kältemitteln und den verwendeten Treibmitteln im Schaum sortiert. Diese Arbeitsschritte werden bei allen Betrieben von mehreren Beschäftigten durchgeführt. In der Regel sind es angeleitete Personen.

4.2.2 Arbeitsabläufe in der Stufe 1

Einer der fünf Betriebe arbeitet in der Regel einschichtig, alle anderen vier Betriebe arbeiten regelmäßig mehrschichtig.

Die Kältemittelkreisläufe werden bei allen Betrieben durch fest zugewiesene Beschäftigte abgesaugt. Die Kipptische ermöglichen es, dass der Beschäftigte die Kältemittelkreisläufe an der tiefsten Stelle anstecken kann. Bei vier Betrieben werden die defekten Kältemittelkreisläufe durch die Beurteilung des Anstichdrucks identifiziert. Bei einem Betrieb werden die Schaugläser als Indikator genutzt. In der Regel werden angeleitete Personen eingesetzt. Es wird auf eine umfangreichere Unterweisung geachtet. Es werden hier nur Beschäftigte mit Erfahrung eingesetzt. Diese Beschäftigten beheben auch kleinere Betriebsstörungen und erledigen die Standardwartungsarbeiten. In einem der fünf Betriebe werden in Zusammenhang mit der Entfernung der Kompressoren zusätzlich auch alle außen liegenden Wärmetauschergitter entfernt. Dies erledigt die Person, die auch die Kompressoren entnimmt. In der Regel werden angeleitete Personen eingesetzt.

4.2.3 Arbeitsabläufe in der Stufe 2

Alle vier Betriebe arbeiten regelmäßig mehrschichtig.

Alle vier Betriebe haben für die Überwachung und die regelmäßige Standardwartung der Anlagentechnik entsprechend zugewiesenes Personal. Es wird auf eine umfangreiche Unterweisung geachtet. Es werden hier nur Beschäftigte mit Erfahrung eingesetzt. Die Ausgangsbehälter müssen regelmäßig ausgetauscht und gewogen werden.

4.2.4 Dokumentation

Die in den Betrieben übliche Dokumentation umfasst auch Protokolle für jede Lieferung, bei der die Eingangsmengen in kg erfasst werden. Alle fünf Betriebe dokumentieren ihren Ausgang über den Massenstrom. Die Art der zurückgewonnenen FCKW-Kältemittel der

Stufe 1 wird im Ausgang nicht unterschieden. Alle Betriebe kennzeichnen diese Fraktion als AVV 14 06 01 (FCKW, H-FCKW, H-FKW). Die Treibmittel-Ausgangsmengen der Stufe 2 werden ebenfalls nicht spezifiziert und als AVV 14 06 01 (FCKW, H-FCKW, H-FKW) gekennzeichnet.

In der internen Dokumentation von vier Betrieben wird der Durchsatz für die Behandlung in der Stufe 1 und bei drei Betrieben für die Behandlung in der Stufe 2 schichtweise notiert. Die Dokumentation der Anzahl der Geräte mit defektem Kältekreislauf oder ohne Kompressor wird nicht einheitlich geführt. Ein Betrieb dokumentiert zusätzlich sechs verschiedene Gerätekategorien. Ein Betrieb unterscheidet vier Kategorien.

Alle Betriebe dokumentieren die Unterweisungen des Personals und die Mitarbeiterqualifikation mit Person, Datum der Unterweisung und grober Inhaltsangabe. Alle relevanten Betriebsanweisungen hängen gut erkennbar im Betrieb aus. Eine Dokumentation der Eigenüberwachung ist bei keinem Betrieb vorhanden. Zwei der Betriebe verfügen jedoch über Lecksuchgeräte, welche nach eigenen Angaben für die Eigenprüfungen genutzt werden.

4.3 Umsetzung der Anforderungen der TA Luft

Für Anlagen zur Entsorgung von Kühlgeräten oder -einrichtungen, die FCKW enthalten, sind in Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft besondere Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen formuliert (siehe Kapitel 3).

4.3.1 Prüfung gemäß Abschnitt d

Um auszuwerten, inwieweit die Vorgaben des Abschnitts d umgesetzt wurden, wurden von den fünf Betreibern die entsprechenden Prüfberichte für die Jahre 2007 und 2008 zur Verfügung gestellt.

4.3.1.1 Prüfung 2007

Es wurde Prüfberichte von drei Anlagen zu Verfügung gestellt.

Die Prüfberichte von zwei Anlagen sind gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft Abschnitt d erstellt worden. Bei einem Betrieb wurde im Juni 2007 eine Rückgewinnungsquote von 97 Gew.-% festgestellt. Beim zweiten Betrieb musste eine Nachprüfung durchgeführt werden. Diese wurde mit einer Rückgewinnungsquote von 94 Gew.-% abgeschlossen.

Die Ergebnisse der Prüfungen gemäß TA Luft für das Jahr 2007 sind in Abbildung 8 dargestellt.

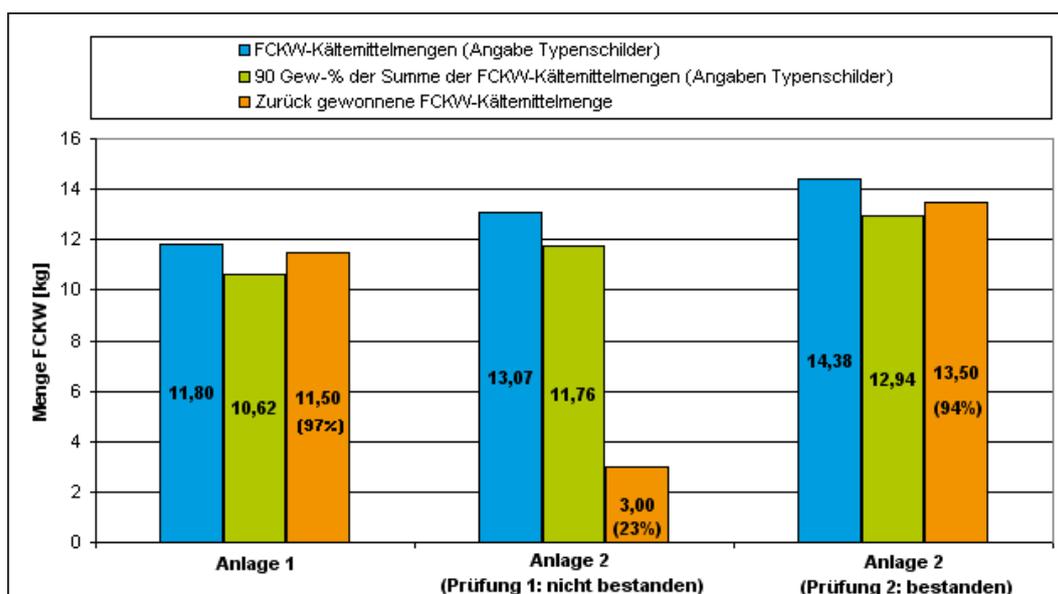


Abbildung 8 Prüfung der Zuverlässigkeit der Trockenlegung (2007) gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft Abschnitt d. Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

Ein weiterer Betreiber stellte für das Jahr 2007 den Bericht einer alternativen Überprüfung nach den Vorgaben des UBA-Leitfadens zur Verfügung. Es wurden 1.000 intakte, FCKW-haltige Kühlgeräte behandelt. Hierbei wurden durchschnittlich 119 g R 12 pro intaktem Kühlgerät zurückgewonnen. Unter der Annahme, dass die Geräte durchschnittlich 128 g R 12 in Kältekreislauf enthalten, ergibt sich eine Rückgewinnungsquote von 93 Gew.-%.

4.3.1.2 Prüfung 2008

Für 2008 haben alle fünf Betreiber Prüfberichte vorgelegt.

Drei der Prüfberichte sind gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft erstellt worden. Mittels Absolutdruckmessung – nach Anstich des Kreislaufs, vor Anlegen des Unterdrucks – wurden defekte Geräte identifiziert. In den Prüfberichten werden jedoch keine Angaben darüber gemacht, ab welchem Druck die Geräte als defekt deklariert werden.

Bei den Anlagen 4 und 5 wurden die Prüfungen gemäß der „Bestimmung über die Sammlung, den Transport, die Lagerung, die Handhabung und Aufarbeitung von FCKW, H-FKW und KW-haltigen Kühl- und Gefriergeräten aus privaten Haushaltungen“ der ECED, WEEE-Forum, EERA vorgenommen (siehe hierzu Kapitel 3.2.2.1).

Bei der vierten Anlage wurde sowohl der Test mittels Input-Methode (vergleichbar mit den Anforderungen des 100-Geräte-Test der TA Luft) als auch der Test mittels Output-Methode durchgeführt. Beim Test nach der Input-Methode wurden Geräte als defekt eingestuft, bei denen der Restdruck auf dem System unter 0,3 bar lag und kein Schäumen im Schauglas der Absaugzange zu sehen war. Insbesondere ist zu begrüßen, dass eine eindeutig nachvollziehbare Definition für defekte Geräte angewendet wurde. Abgesehen davon, dass dieser Test durch eine nicht von der zuständigen Landesbehörde zugelassenen Stelle

durchgeführt wurde, entsprach dieser Test den Vorgaben der TA Luft. Zudem wurde der Prüfer einvernehmlich mit der Überwachungsbehörde ausgewählt. Die FCKW-Rückgewinnungsquote lag in dieser Anlage bei 94 Gew.-%.

Die Ergebnisse dieser Prüfungen im Sinne der TA Luft sind in Abbildung 9 dargestellt.

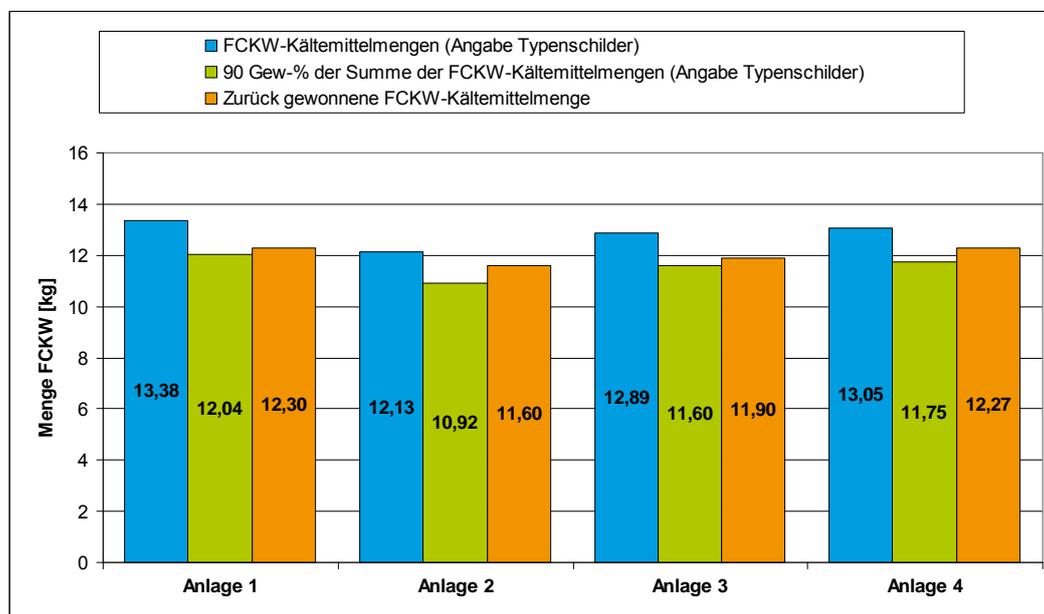


Abbildung 9 Prüfung der Zuverlässigkeit der Trockenlegung (2008)
im Sinne der Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft.
Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

Beim zusätzlich durchgeführten Test mittels Output-Methode wurden Geräte, die im Verhältnis zum Gesamtgewicht keine oder eine zu geringe Gewichtsabnahme aufwiesen, vom Prüfer als defekt deklariert. Dem Prüfbericht ist nicht zu entnehmen, was der Prüfer unter einer geringen Gewichtsabnahme versteht. Es wurden durchschnittlich 118 g FCKW je intaktem Kühlkreislauf zurückgewonnen. Eine Mindestrückgewinnungsmenge ist für Deutschland gemäß der ECED/WEEE-Forum/EERA Vorgaben nicht festgesetzt worden. Der gemessene Wert liegt über dem Orientierungswert des UBA-Leitfadens [22].

Der Prüfbericht zur fünften Anlage weicht erheblich von den Vorgaben der TA Luft ab. Deshalb wurde das Ergebnis nicht in Abbildung 9 aufgenommen. Bei diesem Test wurde die vorgeschriebene Mindestuntersuchungsmenge von 100 Kühlgeräten mit intakten Kühlkreisläufen unterschritten, da über die Plausibilitätsprüfung mittels der Verwiegedaten nachträglich zusätzliche Geräte als defekt eingestuft wurden. Es werden keine näheren Angaben zum Entscheidungskriterium gemacht. Die zur Plausibilitätsprüfung der Messdaten erstellte Input-Output-Bilanz war unplausibel. Die zurückgewonnene Flüssigkeitsmenge (FCKW und Öl) betrug 121 % der gesamten gemessenen Gewichtsreduktion. Diese Unplausibilität wurde nicht zufriedenstellend geklärt. Die FCKW-Rückgewinnungsquote lag laut Prüfbericht in diesem Betrieb bei 94 Gew.-%.

4.3.2 Prüfung gemäß Abschnitt f

Für die Einhaltung der Vorgaben nach Abschnitt e sind regelmäßige Dichtigkeitsprüfungen und deren Dokumentation in Abschnitt f gefordert. Alle fünf Anlagen wurden von Oktober bis November 2008 im Rahmen der Studie durch die IUTA überprüft. Die Prüfungen erfolgten in einem zweistufigen Prozess.

Bei einem ersten Ortstermin wurden zunächst alle Anlagenteile einer gründlichen Sichtprüfung unterzogen. Klappen, Türen, Revisionsöffnungen, Siebeinsätze, Materialzu- und -abführungen sowie alle Anlagenteile, die FCKW-haltige Luft enthalten, wurden besonders intensiv betrachtet. Auffällige Schäden und offensichtliche Mängel wurden den Betreibern aufgezeigt und erläutert.

Bei einem zweiten Ortstermin wurde der Zustand der Anlage in der Betriebshalle und in der näheren Umgebung detailliert ermittelt sowie die Dichtigkeit der Anlage messtechnisch überprüft. Die Anlagen der Behandlungsstufe 1 wurden mit Lecksuchsystemen aus der Kälte- und Klimatechnik mit einer Genauigkeit von 7 g/a (FCKW) überprüft. Die Anlagen der Behandlungsstufe 2 sind so voluminös, dass sie nicht oder nicht ausreichend mit diesen Geräten überprüft werden konnten. Aus diesem Grund wurden Messungen mit einem quantitativ arbeitenden System vorgeschaltet, um die Suche nach eventuellen Leckagen zunächst räumlich einzugrenzen. Diese eingrenzenden Messungen sind an allen einzelnen Anlagenkomponenten bzw. an den einzelnen Aggregaten der Behandlungsstufe 2 erfolgt. Die Messergebnisse wurden unter Berücksichtigung der örtlichen Raum- und Belüftungsgegebenheiten beurteilt. Sie ergaben Hinweise auf die Anlagenteile, bei denen eine anschließende detaillierte Lecksuche in der unmittelbaren Anlagenumgebung mittels Lecksuchgeräten erfolgen musste. Die Messgenauigkeit des an der Anlage eingesetzten quantitativ messenden Apparates beträgt 1 mg/m³ (R 11) Umgebungsluft. Parallel wurde die allgemeine Raumluft mittels eines zweiten quantitativ arbeitenden Messgerätes mit einer Messgenauigkeit von 5 mg/m³ (R 11) überprüft. Des Weiteren wurden Proben der PUR-Ausgangsfraction gezogen und analysiert, um den dortigen entsprechenden FCKW-Verlust zu bestimmen.

Es wurden im Rahmen der IUTA-Studie fünf Anlagen der Stufe 1 geprüft.

Bei vier Anlagen wurde die Dichtigkeit unmittelbar festgestellt, bei einer Anlage wurde eine Undichtigkeit am Zuführschlauch des R 12-Druckbehälters erkannt. Der Betreiber stellte diese Undichtigkeit noch während des Prüfzeitraums ab. Anschließend wurden keine weiteren Mängel festgestellt. Alle fünf Anlagen wiesen in der Stufe 1 abschließend eine ausreichende Dichtigkeit im Sinne der Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA Luft auf.

Die Dichtigkeit der Anlagen der Stufe 2 wurde bei vier Unternehmen überprüft.

Bei zwei Anlagen wurden keine signifikanten Undichtigkeiten festgestellt. In der Hallenluft wurden nur geringe FCKW-Gehalte ermittelt. Bei einer Anlage wurden diverse, kleine Lecks festgestellt, die der Betreiber unmittelbar (noch während des Prüfzeitraums) abstellte. Anschließend wurden keine signifikanten Undichtigkeiten an der Anlage und in der Hallenluft nur geringe FCKW-Gehalte festgestellt. In einer Anlage wurden erhebliche Undichtigkeiten

an mehreren Stellen der Anlage festgestellt. In der Hallenluft wurden sehr hohe FCKW-Gehalte gemessen. Die ausreichende Dichtigkeit gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA Luft konnte hier nicht festgestellt werden.

Keiner der Betriebe konnte eine Dokumentation der im Rahmen der Eigenüberwachung durchführenden Dichtigkeitsprüfungen vorlegen. Zwei Betriebe verfügen jedoch über Lecksuchgeräte, die für Dichtigkeitsüberprüfungen geeignet sind und die nach Angaben der Betriebe auch regelmäßig eingesetzt werden. Die Einsätze, die gefundenen Mängel und deren Beseitigung wurden aber auch hier nicht dokumentiert.

4.3.3 Prüfung gemäß Abschnitt g

Die in Abschnitt g geforderten Vorgaben zu den maximal zugelassenen Anhaftungen wurden von der IUTA den aktuellen Prüfberichten der Betriebe entnommen. Bei allen vier Anlagen weisen die Prüfberichte die Einhaltung der Grenzwerte aus. Alle vier Anlagen verfügen über eine so genannte Matrixentgasung. Die FCKW-Verluste durch Restgehalte im PUR-Output-Material sind im Rahmen der Studie im Oktober/November durch Beprobung und Analyse ermittelt worden: Zwei Proben enthielten einen R 11-Restgehalt von < 0,1 Gew.-%, eine Probe wies einen R 11-Restgehalt von 0,17 Gew.-% und die vierte Probe einen R 11-Restgehalt von 0,5 Gew.-% auf. D.h. drei PUR-Output-Fractionen wären für eine stoffliche Verwertung zugelassen, eine Fraktion muss in einer thermischen Abfallbehandlungsanlage oder einer anderen Abfallbehandlungsanlage mit einer gleichwertigen Zerstörungseffizienz für FCKW entsorgt werden.

4.4 Umsetzung der Anforderungen gemäß ElektroG

Das ElektroG ist als Gesetz für alle Betriebe verpflichtend. Die Präzisierungen der Anforderungen im LAGA-Merkblatt M 31 sind als Bestandteil des Genehmigungsbescheids für die Anlagenbetreiber verbindlich. Da die Genehmigungsbescheide im Rahmen der Studie der IUTA nicht zur Verfügung gestellt wurden, ist die Umsetzung der Anforderungen nach dem LAGA-Merkblatt M 31 nicht geprüft worden. Alle Kühlgerätebehandlungsanlagen sind Erstbehandler im Sinne des ElektroG.

Die konkretisierten Anforderungen des § 11 ElektroG lauten:

- Die Behandlung hat nach dem Stand der Technik zu erfolgen.
- Es sind mindestens alle Flüssigkeiten zu entfernen.
- Die selektive Behandlung nach Anhang III ist zu erfüllen.
- Es sind mindestens die technischen Anforderung nach Anhang IV zu erfüllen.
- Anlagen, in der die Erstbehandlung erfolgt, sind jährlich durch einen Sachverständigen zu zertifizieren.
- Der Betreiber einer Anlage, in der die Erstbehandlung erfolgt, hat die erfassten Daten zu den Mengenströmen den Herstellern mitzuteilen.

Sowohl die Entfernung aller Flüssigkeiten (§ 11 Abs. 2 ElektroG) als auch die selektive Behandlung von FCKW-haltigen Geräten nach Anhang III ElektroG sind expliziter Zweck der Anlagen; diese erfüllen somit die oben aufgeführten Anforderungen.

Anhang IV ElektroG schreibt undurchlässige Betriebsoberflächen, geeignete Lagerflächen und ausreichende wetterbeständige Abdeckungen vor. Alle Betriebe erfüllen diese Anforderungen. Für die Behandlung werden Waagen sowie geeignete Behälter für gefährliche Abfälle gefordert. Auch diese Anforderungen werden von allen fünf Betrieben erfüllt.

Die Anlagen sind im Sinne des § 11 Abs. 4 ElektroG zertifiziert, da sie als Entsorgungsfachbetriebe zertifiziert sind und die Einhaltung der Anforderungen des ElektroG wurde durch Gutachter geprüft und in den Überwachungszertifikaten ausgewiesen ist. Für die Erfassung der Mengenströme werden Meldungen an die EAR abgegeben.

Es wurden durch das IUTA keine Verstöße gegen das ElektroG festgestellt. Welche Nebenbestimmungen für die einzelnen Betriebe in den Bescheid aufgenommen wurden, ist nicht bekannt. Im Rahmen der Befragungen durch die IUTA haben alle Betriebe erklärt, dass die gesetzlichen Bestimmungen und die im Bescheid verfügten Auflagen eingehalten werden.

4.5 Auswertung der 1.000-Geräte-Tests

Für eine Beurteilung der Anlagen der Stufe 2 anhand von „1.000-Geräte-Tests“ kann auf Prüfungen zurückgegriffen werden, die in den Anlagen im Jahr 2008 durchgeführt wurden. Alle angegebenen Daten, Mengen und Aussagen sind den einzelnen Gutachten entnommen. Diese Betrachtung betrifft die vier Anlagen in Nordrhein-Westfalen, die über eine Stufe 2 verfügen (siehe Abbildung 10).

Alle 1.000-Geräte-Tests wurden nach den „Bestimmungen über die Sammlung, den Transport, die Lagerung, die Handhabung und Aufbereitung von FCKW, H-FCKW und FKW-haltigen Kühl- und Tiefkühlgeräten aus privaten Haushalten“ der CECED/WEEE-Forum/EERA durchgeführt. Zwei der Untersuchungen wurden zusätzlich nach den engeren Vorgaben des UBA-Leitfadens ausgerichtet. Darin werden die Gerätezusammensetzung und der erwartete Wert für die Rückgewinnung von FCKW aus der Stufe 2 vorgegeben (siehe Kapitel 2.3).

Bei der Überprüfung von zwei Anlagen wurden die entsprechenden erwarteten Werte von jeweils 283 g/Gerät erreicht. Bei einer dieser Anlagen trat während des Tests eine kurzzeitige Überschreitung der maximalen FCKW-Abgaskonzentration auf. Ansonsten sind keine Auffälligkeiten festgestellt worden. Bei den beiden anderen Anlagen ist von den Prüfern hinsichtlich der Gerätezusammensetzung die freie Durchführungsbestimmung gemäß den „Bestimmungen über die Sammlung, den Transport, die Lagerung, die Handhabung und Aufbereitung von FCKW, H-FCKW und FKW-haltigen Kühl- und Tiefkühlgeräten aus privaten Haushalten“ der CECED/WEEE-Forums/EERA gewählt worden.

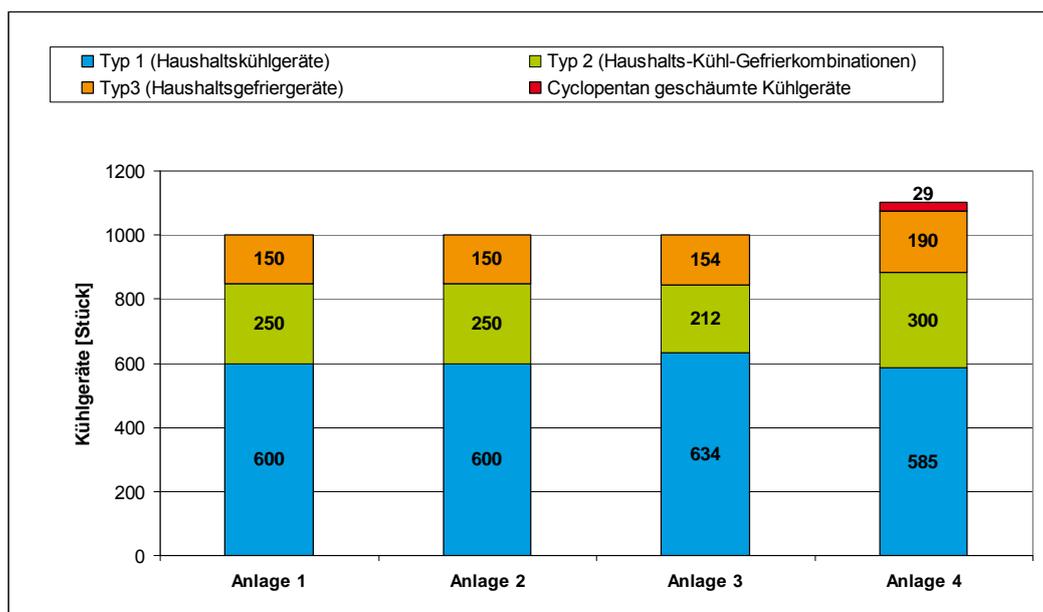


Abbildung 10 Inputmengen 1.000-Geräte-Test (2008) differenziert nach Gerätekategorien. Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

Die Leistungsfähigkeit der dritten Anlage wurde sowohl gemäß der Input- als auch gemäß der Output-Methode der CECED/WEEE-Forums/EERA Prüfbestimmungen überprüft. Bei der Überprüfung dieser Anlage wurde eine Gerätezusammensetzung gewählt, die der Typenvorgabe des UBA-Leitfadens nahe kommt. Die Prüfung ergab, dass die Anlage sowohl die Vorgaben der Input- als auch der Output-Methode erfüllt. Während der Untersuchungen wurde eine Grenzwertüberschreitung der Emissionswerte festgestellt.

Der Test der vierten Anlage weicht in der Gerätezusammensetzung und –anzahl vom Typen-Mix des UBA-Leitfadens ab. Kühlgeräte des Typs 1 sind unterrepräsentiert, dagegen sind Geräte der Typen 2 und 3 überrepräsentiert. Die Auswertungsoption gemäß der Input-Methode in Bezug auf die Schaummenge wird vom Tester als ungeeignet angesehen. Mit ihr ergäbe sich eine Rückgewinnungsquote von 64 %.

Die zweite Auswertungsoption der Output-Methode basiert auf der tatsächlich zurückgewonnenen PUR-Menge. Dazu sind die Fremdanteile festzustellen. Am ersten Prüfungstag wurde durch Handsortierung und Wiegen ein Fremdstoffanteil in der PUR-Ausgangsfraction von 42,5 % Fremdanteil festgestellt. Zwischen dem ersten und zweiten Prüfungstag wurde die Trenneinheit und damit die Trennleistung von PUR und Kunststoff erheblich verändert. Im weiteren Prüfverlauf wurde ein deutlich niedrigerer Fremdstoffanteil von 25 % festgestellt. Trotz der Änderung der Randbedingungen wurde der Test nicht abgebrochen. Des Weiteren wurden laut Gutachten 29 Pentan-Peaks in der Prozessgasüberwachung festgestellt. Deshalb wurde angenommen, dass unbeabsichtigt 29 Geräte mit Pentanschäumung behandelt wurden; diese Geräte wurden bei der Auswertung abgezogen. Das Gutachten weist nunmehr eine Rückgewinnungsquote gemäß der Output-Methode in Höhe von 91 % aus.

Die Rückgewinnungsmengen aller vier Anlagen für das Jahr 2008 sind in Abbildung 11 dargestellt.

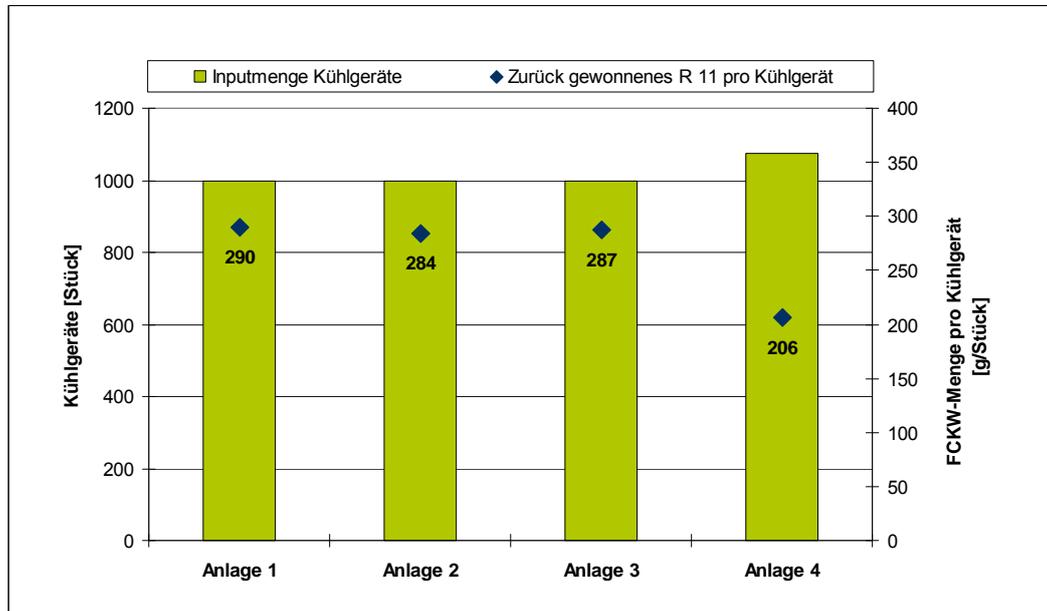


Abbildung 11 FCKW Rückgewinnung in der Stufe 2 (2008) nach CECED/WEEE-Forums/EERA mittels Input-Bestimmung. Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

Bewertung

Alle Gutachten weisen die Einhaltung der erwarteten Werte aus. Die freie Wahl der Gerätezusammensetzung und die freie Wahl der Auswertungsmethoden gemäß CECED/WEEE-Forum/EERA erschweren die Nachvollziehbarkeit, die Transparenz und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Unter Bezug auf die in diesem Fachbericht dargestellten Dichtigkeitsprüfungen und Stoffstrombilanzen wird deutlich, dass die gemäß CECED/WEEE-Forum/EERA durchgeführten 1.000-Geräte-Tests eine begrenzte Aussagekraft haben. Die Rückgewinnungsquoten lassen sich nicht auf den Normalbetrieb oder auf die Emissionssituation der Anlagen übertragen.

4.6 Jahresstoffströme

Es werden im Folgenden die Stoffströme „behandelte FCKW-haltige Kühlgeräte“ und „zurückgewonnenes FCKW“ der Jahre 2007 und 2008 der fünf im Rahmen der IUTA-Studie untersuchten Kühlgerätebehandlungsanlagen ausgewertet. Die Daten für das Jahr 2007 wurden durch das IUTA im Rahmen der Studie erhoben, die Daten für das Jahr 2008 wurden dem LANUV von den Betreibern mit der Maßgabe der entsprechenden Anonymisierung zur Verfügung gestellt. Die Datensätze wurden in den Abbildungen jeweils der Größe nach geordnet. Somit können z.B. hinter der Bezeichnung „Anlage 1“ je nach Abbildung verschiedene Anlagen stehen.

Alle fünf untersuchten Anlagen verfügten über eine Behandlungsstufe 1, zusätzlich wurde in vier der Anlagen eine Behandlungsstufe 2 betrieben.

Es wird darauf hingewiesen, dass bis Ende 2007 eine weitere Kühlgerätebehandlungsanlage in Nordrhein-Westfalen betrieben wurde (Firma Tönsmeier). Da diese Anlage zum Zeitpunkt der IUTA-Studie bereits ihren Betrieb eingestellt hatte, wurde diese Anlage in der Studie und somit auch im Folgenden bei der Datenerhebung für 2007 und 2008 nicht berücksichtigt.

Da die Betriebe bei der Dokumentation der behandelten Kühlgerätemengen zum Teil nicht zwischen Haushaltskühlgeräten und gewerblichen/industriellen Kühlgeräten (inklusive z. B. Klimaanlageanlagen) unterschieden sowie innerhalb der Haushaltsgeräte eine Unterteilung in Gerätetypen 1 bis 3 (siehe Kapitel 2.1) nicht durchgängig oder nicht einheitlich erfolgte, beziehen sich die Daten im Folgenden auf die Gesamtmenge aller behandelten Kompressor-Kühlgeräte.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass bei der Kühlgerätebehandlung in den Stufen 1 und 2 sämtliche zurückgewonnenen Kälte- und Treibmittel unabhängig von ihrer Zusammensetzung in jeweils einem Druckbehälter erfasst werden. Somit sind gegebenenfalls auch anstelle der FCKW eingesetzte Ersatzstoffe wie z. B. R 134a mit der Fraktion zurückgewonnener FCKW erfasst. Angaben über die Höhe der nicht FCKW-haltigen Anteile im zurückgewonnenen FCKW wurden von den Betrieben nicht zur Verfügung gestellt; sie sind auch nicht zuverlässig abzuschätzen. Eventuelle FCKW-Anhaftungen an anderen Fraktionen wurden rechnerisch nicht erfasst.

4.6.1 Stoffströme der einzelnen Anlagen für 2007

Im Folgenden sind die Stoffströme für die behandelten Kühlgeräte und die hieraus zurückgewonnenen FCKW für das Jahr 2007 dargestellt. Zwei Betriebe stellten die Datensätze zu den Kühlgerätemengen nur in Tonnen zur Verfügung. Diese Mengenangaben wurden mit dem Faktor 40 kg/Gerät in Stückzahlen umgerechnet [15], [12], [33].¹

4.6.1.1 Behandlungsstufe 1

Gemäß den Angaben der Anlagenbetreiber wurden in Nordrhein-Westfalen im Jahre 2007 in den Behandlungsstufen 1 der fünf untersuchten Kühlgerätebehandlungsanlagen insgesamt ca. 525.400 FCKW-haltige Kühlgeräte behandelt. Geräte ohne Kompressor (vor-entsorgt oder beraubt) wurden in der Statistik für die Stufe 1 nicht erfasst.

Es wurden insgesamt 188.841 Geräte (36 %) als defekt eingestuft. Hierbei ist festzustellen, dass der Anteil der defekten Geräte abhängig von den Anlagen stark schwankt (siehe Abbildung 12).

¹Die Daten weichen von den Ergebnissen der IUTA-Studie ab, da ein Betreiber seine Daten auf Grund einer Plausibilitätsprüfung des LANUV im Jahr 2009 nachträglich korrigiert hat.

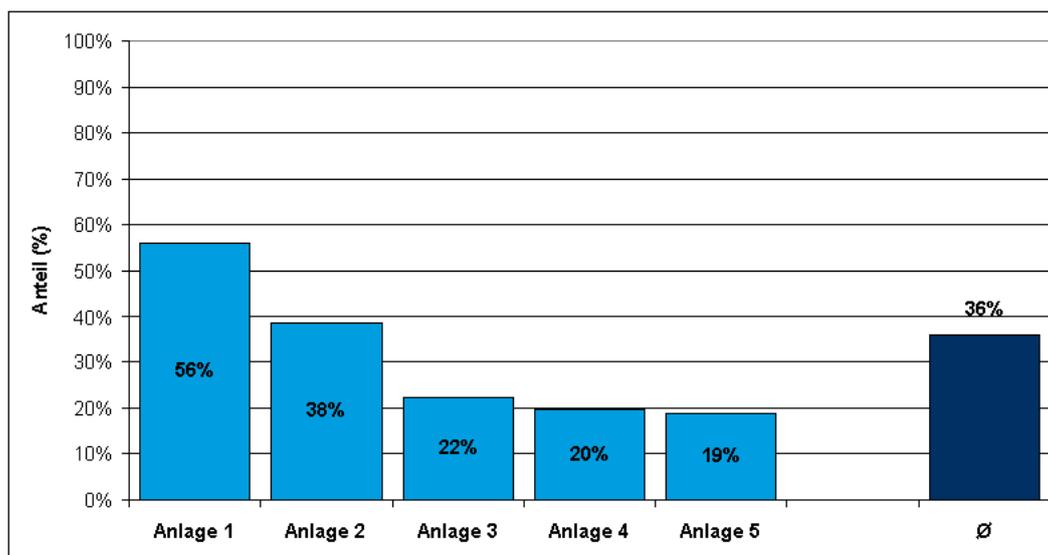


Abbildung 12 Anteil defekter Geräte in der Stufe 1 (2007).
Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

In der Behandlungsstufe 1 wurden insgesamt 27.868 kg FCKW zurückgewonnen. Bezieht man die zurückgewonnene FCKW-Menge auf die behandelten, intakten Geräte (336.556 Stück), ergibt sich hieraus eine durchschnittliche Rückgewinnungsmenge von 83 g FCKW/Kühlgerät. Die durchschnittlichen Rückgewinnungsmengen der einzelnen Anlagen sind in der Abbildung 13 dargestellt.

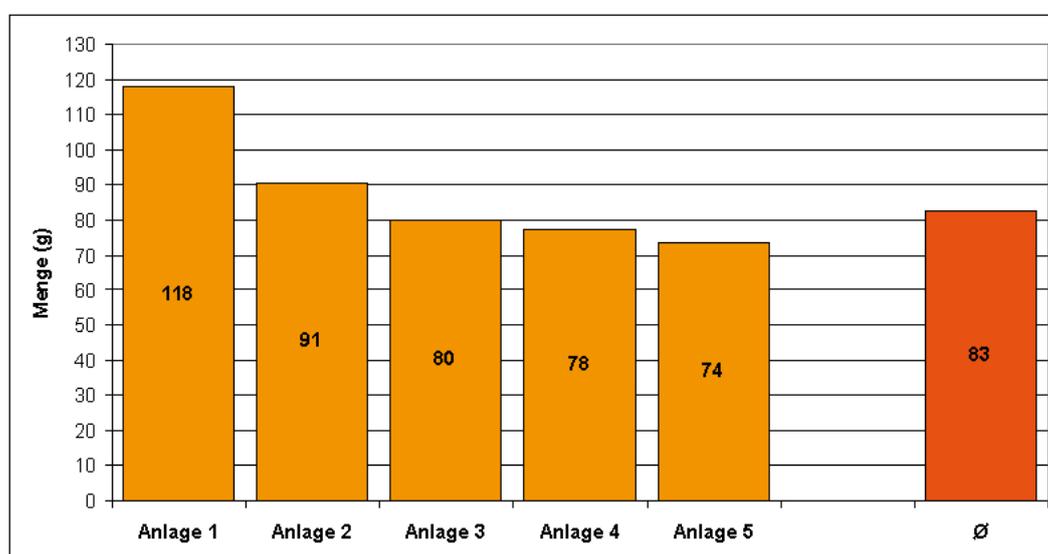


Abbildung 13 Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 1 (2007),
durchschnittliche Menge pro Gerät.
Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

4.6.1.2 Behandlungsstufe 2

In Nordrhein-Westfalen verfügten im Jahr 2007 vier der untersuchten Kühlgerätebehandlungsanlagen über eine Behandlungsstufe 2. Nach den Betreiberangaben wurden 514.106 FCKW-haltige Kühlgeräte in der Stufe 2 behandelt. Dabei wurden 100.875 kg FCKW zurückgewonnen. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Rückgewinnungsmenge von 196 g FCKW / Kühlgerät.

Eine der Anlagen der Stufe 2 verfügte im Jahr 2007 noch nicht über ein Matrixentgasungsmodul. Dieses wurde erst 2008 installiert. Der in dieser Anlage nur porenentgaste PUR-Schaum enthielt verfahrensbedingt noch größere Mengen FCKW (siehe Kapitel 2.2.3), deshalb wurde der PUR-Schaum einer Hochtemperaturverbrennung zugeführt. Im Rahmen der Auswertung wurde hierfür keine FCKW-Gutschrift, sondern nur das tatsächlich in der Anlage zurückgewonnene FCKW berücksichtigt.

In der Abbildung 14 sind die durchschnittlichen FCKW-Rückgewinnungsmengen der vier Anlagen dargestellt.

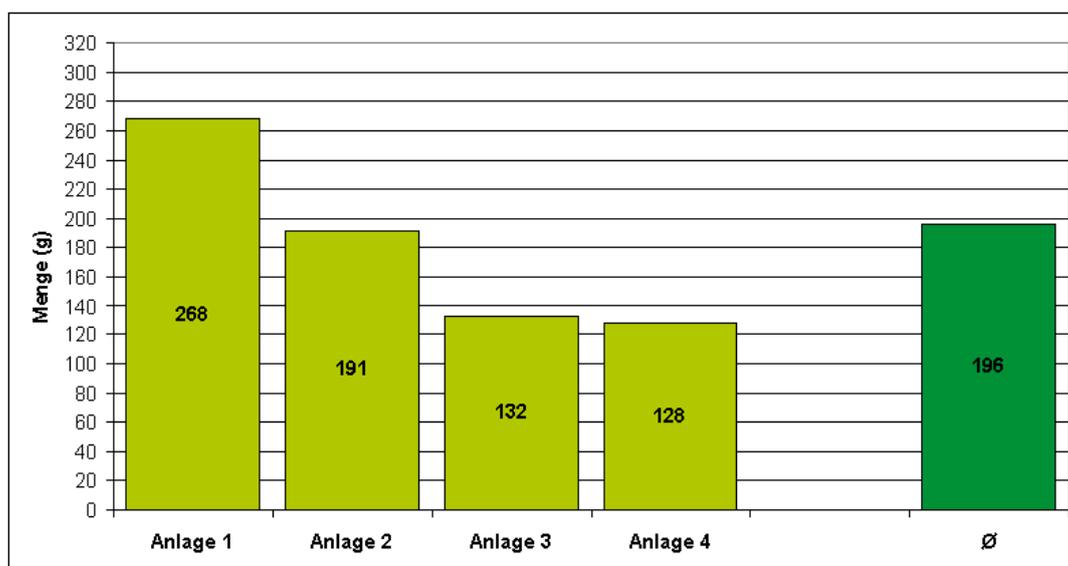


Abbildung 14 Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 2 (2007), durchschnittliche Menge pro Gerät.
Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

4.6.2 Stoffströme der einzelnen Anlagen für 2008

2008 verfügten in Nordrhein-Westfalen fünf Anlagen über eine Behandlungsstufe 1 und vier Anlagen über eine Behandlungsstufe 2. Alle Anlagenbetreiber gaben den Geräteinput in Stück an.

4.6.2.1 Behandlungsstufe 1

Laut Angaben der Anlagenbetreiber wurden bei den fünf Anlagen in den Behandlungsstufen 1 insgesamt 510.027 FCKW-haltige Kühlgeräte behandelt. Von den behandelten Geräten wurden insgesamt 147.882 Geräte als defekt eingestuft. Dies entspricht einer Quote von 29 %. Die Quote der defekten Geräte schwankte je nach Anlage zwischen 23 bis 40 %. Abbildung 15 zeigt eine detaillierte Auswertung.

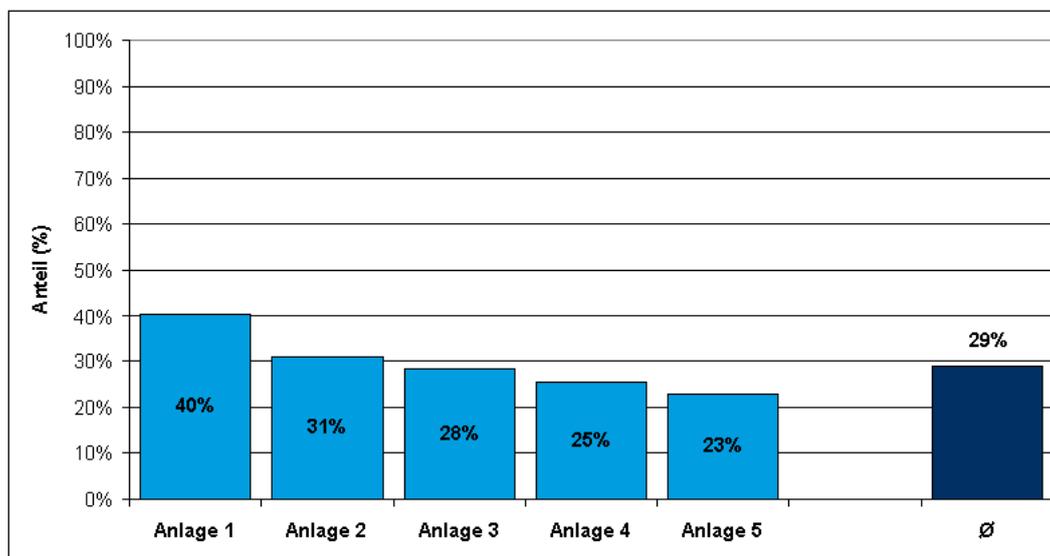


Abbildung 15 Anteil defekter Geräte in der Stufe 1 (2008).
Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

In der Behandlungsstufe 1 wurden insgesamt 39.501 kg FCKW zurückgewonnen. Bezieht man die zurückgewonnene FCKW-Menge auf die behandelten, intakten Geräte (362.145 Stück), ergibt sich hieraus eine durchschnittliche Rückgewinnungsmenge von 109 g FCKW/Kühlgerät. Die durchschnittlichen Rückgewinnungsmengen der Anlagen sind in Abbildung 16 dargestellt.

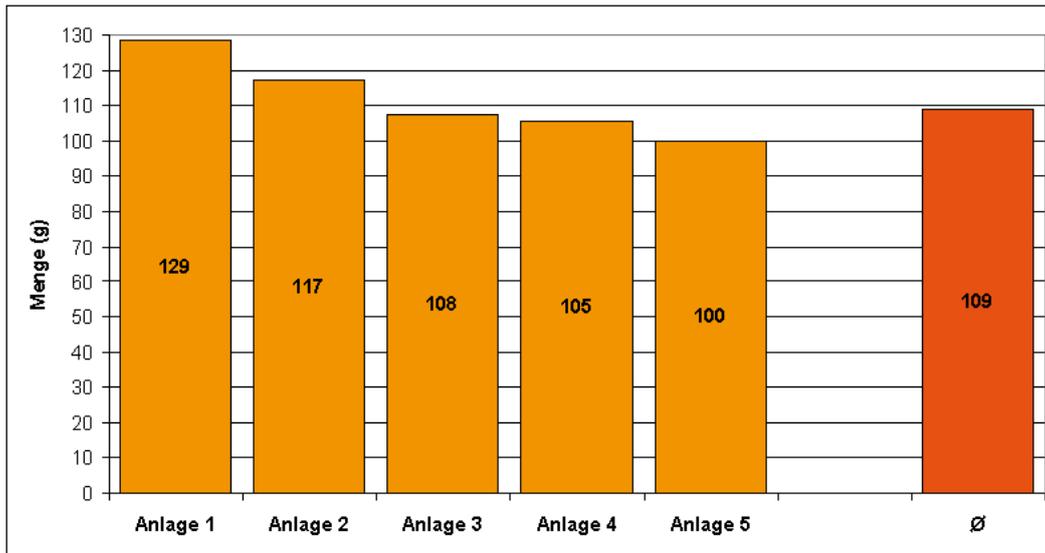


Abbildung 16 Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 1 (2008), durchschnittliche Menge pro Gerät.
Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

4.6.2.2 Behandlungsstufe 2

In Nordrhein-Westfalen weisen vier Kühlgerätebehandlungsanlagen eine Behandlungsstufe 2 auf. Im Jahr 2008 wurden nach den Betreiberangaben 680.633 FCKW-haltige Kühlgeräte in der Stufe 2 behandelt. Dabei wurden 159.975 kg FCKW zurückgewonnen. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Rückgewinnungsmenge von 235 g FCKW/Kühlgerät (Abbildung 17). Angaben über die Höhe des nicht FCKW-haltigen Anteils im zurückgewonnenen Treibmittel sind nicht verfügbar.

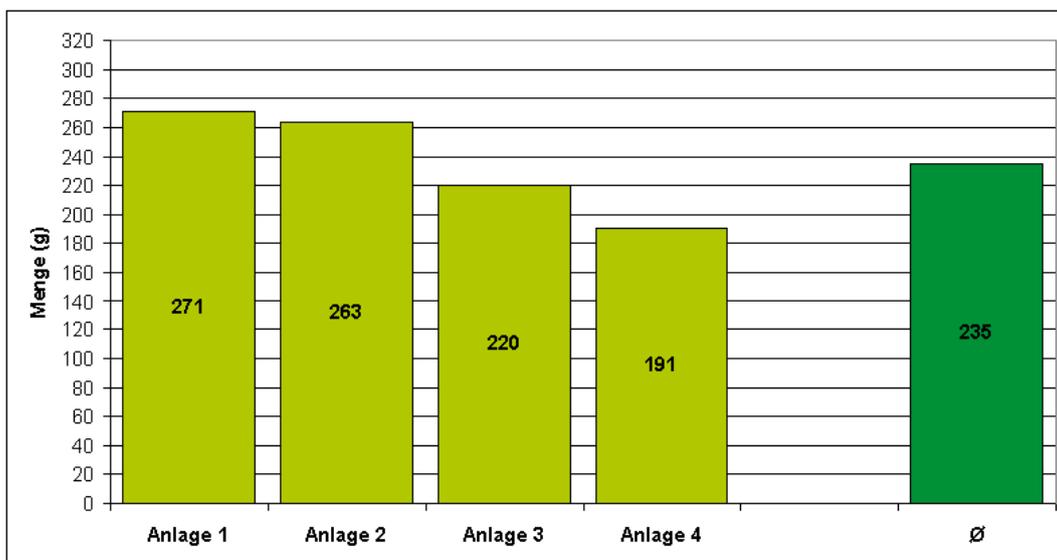


Abbildung 17 Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 2 (2008), durchschnittliche Menge pro Gerät.
Die Darstellung wurde in Bezug auf die Anlagen anonymisiert.

4.6.3 Gesamtstoffströme für 2007 und 2008 in Nordrhein-Westfalen

In Abbildung 18 werden der Gesamt-Input an Kühlgeräten sowie die gesamten FCKW-Rückgewinnungsmengen für die Jahre 2007 und 2008 dargestellt.

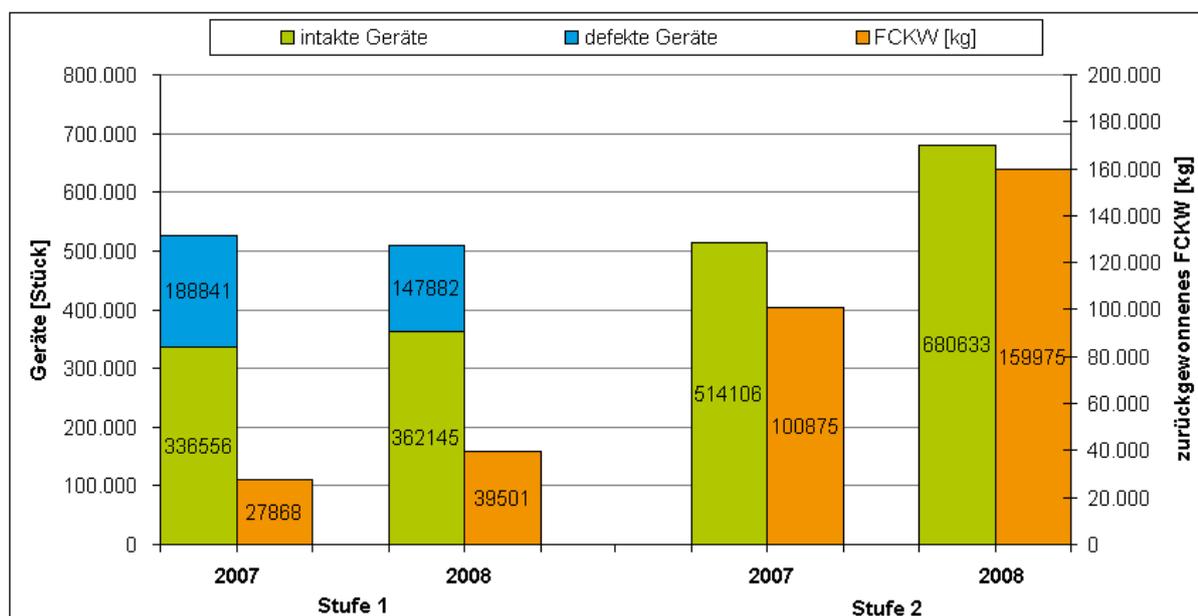


Abbildung 18 Geräte-Input und FCKW-Rückgewinnungsmengen.
Die Mengen der Firma Tönsmeier wurden nicht erhoben, da diese zum Zeitpunkt der Datenerhebung bereits stillgelegt war.

Aus den Gesamt-Inputmengen an Kühlgeräten sowie den gesamten FCKW-Rückgewinnungsmengen (Abbildung 18) werden die durchschnittlich pro Kühlgerät zurückgewonnenen FCKW-Mengen ermittelt. Diese Daten sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8 Zurückgewonnene FCKW-Menge in 2007 und 2008.
Die Mengen der Firma Tönsmeier wurden nicht erhoben, da diese zum Zeitpunkt der Datenerhebung bereits stillgelegt war.

			2007*	2008
Stufe 1	Intakte Geräte	Stück	336.556	362.145
	FCKW-Menge	kg	27.868	39.501
	FCKW Menge pro Gerät	g/Gerät	83	109
Stufe 2	Geräte	Stück	514.106	680.633
	FCKW-Menge	kg	100.875	159.975
	FCKW-Menge pro Gerät	g/Gerät	196	235
gesamt	FCKW-Menge pro Gerät	g/Gerät	279	344

Bei der Interpretation der Mengen ist zu beachten, dass alle fünf untersuchten Betriebe in Nordrhein-Westfalen über eine Stufe 1 verfügen, aber nur vier auch über eine Stufe 2.

Aus den durch die Betreiber erhobenen Daten errechnet sich für diese Behandlungsanlagen für das Jahr 2007 eine durchschnittliche Rückgewinnungsmenge von 279 g FCKW/Kühlgerät, für das Jahr 2008 eine Menge von 344 g FCKW/Kühlgerät.

Unter der Annahme, dass die zu entsorgenden Geräte im Mittel 443 g FCKW enthalten (128 g im Kältekreislauf und 315 g im PUR-Schaum), ergeben sich für Nordrhein-Westfalen die in Tabelle 9 dargestellten FCKW-Rückgewinnungsquoten.

Tabelle 9 FCKW-Rückgewinnungsquoten für NRW

	Stufe 1	Stufe2	Gesamt
2007	65 %	62 %	63 %
2008	85 %	75 %	78 %

Bezüglich der FCKW-Rückgewinnungsquoten für 2007 ist zu beachten, dass eine Behandlungsanlage in diesem Jahr in der Behandlungsstufe 2 lediglich über eine Porenentgasung verfügte. Das im PUR-Schaum verbleibende, matrixgebundene FCKW wurde somit nicht zurückgewonnen, wurde aber anschließend in einer Hochtemperaturverbrennung entsorgt und gelangte somit nicht in die Umwelt.

Ferner ist zu beachten, dass der Bezugswert von 443 g/Gerät auf Grund von Annahmen festgelegt worden ist. So wird z. B. angenommen, dass nur Haushaltskühlgeräte behandelt werden und sich diese aus 60 % Kühlschränken, 25 % Kühl-/Gefrierkombinationen und 15 % Gefriergeräten zusammensetzen. Für die Stufe 2 wird bei diesem Geräte-Mix davon ausgegangen, dass die Geräte im Mittel 3,7 kg PUR-Schaum enthalten und dieser wiederum 85 g FCKW/kg PUR-Schaum enthält. Sollte der Input von diesen Annahmen abweichen, müssten neue Bezugswerte ermittelt werden. Inwieweit die Annahmen zutreffend sind, kann auf Grund mangelnder Daten nicht beurteilt werden.

5 Vorschläge zur Optimierung der Behandlung

Die Optimierungsvorschläge beruhen im Wesentlichen auf dem Abschlussbericht der IUTA Studie vom Februar 2009 unter Berücksichtigung des Status Quo der nordrhein-westfälischen Anlagen von November 2008. Die Entwicklungen in 2009 sind hier noch nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der IUTA-Studie haben gezeigt, dass die Kühlgerätebehandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen auf einem hohen Niveau betrieben werden, jedoch in einzelnen Bereichen noch optimiert werden können.

Grundsätzlich sind technische Prozesse möglichst weitgehend in der Hierarchie TOP (Technisch, Organisatorisch, Personenbezogen) zu optimieren. Die am Markt verfügbaren Anlagentechnologien und ihre betriebsspezifischen Parameter sind so vielfältig, dass es keine allgemeingültigen Maßnahmen zur Optimierung der Abläufe geben kann. Prinzipiell müssen für jede einzelne Anlage Technik und Betriebsführung betrachtet werden, um zu Optimierungsansätzen zu gelangen. Die nachfolgenden Vorschläge können jedoch helfen, die Optimierungspotenziale der einzelnen Anlagen zu erkennen.

5.1 Anlieferung

Die Abläufe des Entladens und des innerbetrieblichen Verbringens der Geräte sollten so optimiert werden, dass alle verwendeten Transportmittel so aus- oder nachgerüstet werden, dass eine Beschädigung der Kältekreisläufe und der Gehäuse ausgeschlossen wird. Dazu zählt insbesondere die Ausrüstung der Flurförderzeuge mit senkrecht verbreiterten Klammern.

5.2 Anlagentechnik Stufe 1

Die Ausrüstung der Stufe 1 kann dahingehend verbessert werden, dass das Personal besser in die Lage versetzt wird, defekte Kühlkreisläufe zu erkennen. Dies ist bei Neuanlagen mit Drucksensoren, bei Altanlagen durch angepasste und gut platzierte Manometer an den Absaugstationen möglich.

5.3 Anlagentechnik Stufe 2

Das größte Optimierungspotenzial der Anlagen liegt in der Vermeidung diffuser Emissionen durch Undichtigkeiten der Anlage. In dieser Problematik überlagern sich technische, organisatorische und personelle Aspekte in besonderer Weise. In allen Anlagen existieren Stellen und Betriebsteile, die aus technischen Gründen nicht vollständig geschlossen sein können oder an denen Materialverschleiß auftritt sowie Wartungs- und Revisionsöffnungen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass die Zuführungssysteme für die Kühlschränke in den Zerkleinerer ausreichend dicht sind. Die Abdichtungen dieser Zuführungssysteme sind stets in Abhängigkeit vom Gesamtgeräteeintrag sowie vom Geräteeintrag pro Zeiteinheit zu beurteilen, da das Absaugvolumen des Schleuseninnenraums auf die Menge der mit dem

Kühlgerät eingetragenen Luft abgestimmt sein muss. Es muss gewährleistet sein, dass nach Schließen der Schottwand/Luftklappe o. ä. der Schleuseninnenraum so weit von FCKW abgereichert wird, dass bei der Beschickung des Zerkleinerers keine FCKW-Emissionen auftreten können. Ansonsten sind sowohl Klappen- oder Schottsysteme als auch die zugehörigen Änderungen der Steuerungsprogrammierung und der Absaugstellen und -mengen nachzurüsten.

Insbesondere in den wartungsintensiven Bereichen sind die Anlagen oftmals vorrangig nach den Kriterien der schnellen und bequemen Wartung und Reparatur konstruiert. An Wartungs- und Revisionsöffnungen sollten Überwachungsschalter installiert sein, die optische oder akustische Signale geben, um unmittelbar an das Verschließen der Klappen oder Türen zu erinnern. Diese Nachrüstungen sind zu empfehlen, um die Emissionen durch unbeabsichtigtes Offenstehen von Türen und Klappen zu minimieren.

5.4 Betriebsführung

Die in der Kühlgeräteentsorgung anfallenden Aufgaben werden oftmals in einfache und komplexe Tätigkeitsprofile aufgeteilt. Das Abladen und der Ausbau der Kompressoren werden zum Beispiel als einfachere Aufgabe eingeschätzt als zum Beispiel das Absaugen der Kühlkreisläufe oder die Überwachung der Maschinen in der Stufe 2. Im Rahmen eines ganzheitlich hochwertigen Verwertungsprozesses ist jedoch das Abladen und Zwischenlagern der Geräte von erheblicher Bedeutung, da durch unsachgemäße Handhabung die Kältekreisläufe oder der PUR-Schaum von Geräten ohne Metallaußenschutz (Einbaugeräte) beschädigt werden können. Dies wirkt sich negativ auf die Rückgewinnung der FCKW aus. Ebenso müssen beim Ausbau der Kompressoren unbedingt die potenziell PCB-belasteten Kondensatoren erkannt und zerstörungsfrei ausgebaut werden. Diese Aspekte müssen sich in der Personalauswahl und insbesondere in den spezifisch anzupassenden Unterweisungen widerspiegeln.

Auch an den Auflage- und Ansticharbeitsplätzen muss ausreichend ausgebildetes Personal eingesetzt werden. Insbesondere ist hier festzustellen, dass in Einzelfällen falsche Kompressorenzugänge angestochen werden, die Kriterien für die Unterscheidung von defekten oder intakten Kältekreisläufen unklar sind oder allgemein unsystematisch vorgegangen wird. Hier könnte eine klare, allgemein verbindliche Handlungsanweisung den Wirkungsgrad der Behandlung erhöhen. Beispielsweise sollten defekte Kühlkreisläufe anhand von Druckmessungen nach dem Anstich bzw. dem Anbohren in Verbindung mit einer expliziten Druckangabe identifiziert werden. Die Regeln der Anlagenprüfung gemäß RAL Gütesicherung GZ 728 geben hier zum Beispiel einen Wert von 0,2 bar an.

Die Betriebszeiten müssen zwingend an die verwendete Anlagentechnologie angepasst sein. Zum Beispiel sind die Nachlaufzeiten des Trennprozesses für Öl und FCKW in Stufe 1 sowie die An- und Abfahrvorgänge der Absaugung in Stufe 2 und die Ab- und Anfahrvorgänge der FCKW-Rückhaltung (Aktivkohle/Kondensation) verfahrenstechnisch mit den Betriebszeiten abzustimmen. Hier sind sowohl technische Lösungen zur Einhaltung der oben genannten Nachlaufzeiten als auch organisatorische Anpassungen möglich, z.B. die Festlegung von versetzten Pausenzeiten des Betriebspersonals.

5.5 Qualifikation der Mitarbeiter

Alle Beschäftigten sollten eine ausreichende Einweisung in die Anlage erhalten, die bei Änderungen der Anlagentechnik zu erneuern ist. Darüber hinaus sind regelmäßig aktualisierte Schulungen bzw. Unterweisungen in allgemeiner und spezieller Anlagentechnik, im Umgang mit Kälte- und Treibmitteln und deren Umwelteinwirkung notwendig, um die Fachkenntnis und die Sensibilität für die Relevanz der Tätigkeiten zu erhöhen.

5.6 Eigenüberwachung

Die Eigenüberwachung der Betriebe sollte integraler Bestandteil des Betriebsablaufs sein. Sie soll in bestimmten zeitlichen Abständen durch den Betreiber bzw. dessen Personal vorgenommen werden. Sie dient dazu, Mängel zu erkennen und unverzüglich zu beheben. Insbesondere ist die Dichtigkeit der Anlage regelmäßig zu überprüfen. Als Hilfsmittel hierfür hat sich ein wartungsfreies mobiles Lecksuchsystem (< 500 €) bewährt.

Es wird empfohlen (eventuell in Zusammenhang mit einer Begehung der Anlage) gemeinsam mit der Überwachungsbehörde und ggf. mit dem mit der Fremdüberwachung beauftragten externen Sachverständigen, die wichtigsten Vorgaben für die Eigenüberwachung (Prüfpunkte/Prüfabchnitte, Prüftiefe, Prüfintervalle, Prüfer, Sachkenntnis, Dokumentationsumfang) festzulegen.

Insbesondere sollten für die Stufen 1 und 2 die zu behandelnden Geräte einzeln erfasst werden. Neben den Gerätetypen sollten auch die Art des verwendeten Kältemittels und die Anzahl der defekten Geräte sowie die zurückgewonnenen Mengen der Kältemittel pro Arbeitsschicht dokumentiert werden. Entsprechende Anforderungen gemäß § 42 KrW-/AbfG (Registerpflichten) sind zu beachten

5.7 Überwachung durch externe Sachverständige

Die behördliche Überwachung könnte unterstützt werden, indem die vorgeschriebenen jährlichen Prüfungen nach Nr.5.4.8.10.3 / 5.4.8.11.3 Abschnitte d und f TA Luft durch den externen Gutachter sowie die Sachverständigenprüfung gemäß § 11 Abs. 3 ElektroG bei der Aufsichtsbehörde rechtzeitig angekündigt würden und die Aufsichtsbehörde damit die Möglichkeit erhielte, bei der Prüfung anwesend zu sein. Dies ist bei behördlich angeordneten Emissionsmessungen nach §§ 26,28 BImSchG bereits geübte Praxis. Alternativ könnte der Termin für die oben genannten Prüfungen mit der Überwachungsbehörde abgestimmt und die entsprechenden Ergebnisberichte der Behörde zeitnah zugestellt werden.

Die Prüfberichte der Sachverständigen müssen vollständig und eindeutig sein. Sie müssen für Dritte nachvollziehbar und plausibel sein. Hierzu gehört z. B. bei Prüfungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft eine Angabe darüber, wie defekte Kühlgeräte ermittelt wurden, welche Geräte dies sind und wie diese im Rahmen der weiteren Auswertung berücksichtigt werden. Der Prüfbericht gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA Luft sollte in Anlehnung an den „bundeseinheitlichen Messbericht für Emissionsmessungen“ [37] erstellt werden.

6 Entwicklungen im Jahr 2009

Im Jahr 2009 wurden in Nordrhein-Westfalen Maßnahmen zur Optimierung der Kühlgerätebehandlung umgesetzt.

Bei einer Kühlgerätebehandlungsanlage wurde im Rahmen des Dichtigkeits-tests gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA Luft im November 2008 durch das IUTA keine ausreichende Dichtigkeit festgestellt. Daraufhin wurden in Absprache mit der zuständigen Überwachungsbehörde die entsprechenden Anlagenbereiche durch den Betreiber optimiert und somit die diffusen FCKW-Emissionen entsprechend minimiert. Im Rahmen einer Nachprüfung, die im Mai 2009 abgeschlossen war, wurde für die Anlage nunmehr durch das IUTA eine ausreichende Dichtigkeit gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA Luft festgestellt.

In allen vier zurzeit betriebenen Behandlungsanlagen (eine der fünf Anlagen ist seit Mitte 2009 außer Betrieb) wurden nach Abschluss der Studie im Jahr 2009 erneute Prüfungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA Luft (Dichtigkeitsprüfung) durch eine nach TA Luft zugelassene Stelle vorgenommen. Laut der Prüfberichte erfüllen alle Anlagen die entsprechenden Anforderungen (teilweise im Rahmen einer Nachprüfung). Insbesondere wurde im Gegensatz zu 2008 festgestellt, dass im Rahmen der Eigenüberwachung auch die Dokumentation der Dichtigkeitsprüfungen erfolgt ist.

In drei der vier zurzeit betriebenen Behandlungsanlagen wurden bis Oktober 2009 zusätzlich Prüfungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft (Trockenlegung Stufe 1) durch eine nach TA Luft zugelassene Stelle durchgeführt. Laut der Prüfberichte erfüllen alle Anlagen die entsprechenden Anforderungen.

2009 wurde die LAI -Vollzugshilfe verabschiedet und in Nordrhein-Westfalen im Juli 2009 mit Erlass eingeführt (siehe Kapitel 3.2). Hierin werden die Anforderungen an die Überwachung konkretisiert. Dies betrifft insbesondere die Anforderungen an die Eigenüberwachung (konkrete Vorgaben zur Art und Häufigkeit der Eigenüberwachung), sowie die Anforderungen an die jährlichen Überprüfungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft. So ist bezüglich der Prüfung der Zuverlässigkeit der Trockenlegung (100-Geräte-Test) nunmehr vorgegeben, dass lediglich Geräte mit einem Druck < 0,5 bar unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse als defekt eingestuft werden dürfen.

Das LAGA Merkblatt M 31, indem u. a. Anforderungen an die Entsorgung von Kühlgeräten formuliert werden, wurde überarbeitet und von der Umweltministerkonferenz verabschiedet. Es wurde im September 2009 veröffentlicht.

Nachdem im Jahr 2008 bereits die Kühlgerätebehandlungsanlagen durch einzelne Hersteller auditiert wurden, wurden die Anforderungen an die Audits auf Grund der Erfahrungen aus 2008 überarbeitet und vereinheitlicht. Die Audits werden jetzt mindestens einmal jährlich koordiniert durch einen externen Gutachter durchgeführt.

In den Anlagen wurden, wie in den Vorjahren, Optimierungsmaßnahmen getroffen. Hierzu gehören zum Einen Maßnahmen zur Verbesserung der Anlagentechnik (z. B. Installation von Manometern, um den Druck auf den Kältesystemen kontrollieren zu können; Installation von Zeitrelais, um die festgelegte Mindestabsaugzeit überwachen zu können). Zum Anderen wurden Maßnahmen umgesetzt, um zukünftig FCKW- und KW-haltige Geräte gemeinsam behandeln zu können (z. B. Installation von Absauganlagen zur gemeinsamen Absaugung von FCKW-haltigen und FCKW-freien Kältemittel/Öl-Gemischen).

7 Fazit

In Nordrhein-Westfalen wurden im Jahr 2008 fünf Anlagen zur Behandlung von FCKW-haltigen Kühlgeräten betrieben. Alle Anlagen verfügten über eine so genannte Stufe 1 (Trockenlegung der Kühlgeräte durch Entnahme des Kältemittel/öl Gemisches), vier der fünf Anlagen umfassten auch eine Stufe 2 (Aufbereitung der Kühlgerätegehäuse und Rückgewinnung der im PUR-Schaum enthaltenen FCKW). Insgesamt wurden ca. 510.000 FCKW-haltige Kühlgeräte in Stufe 1 und ca. 681.000 FCKW-haltige Kühlgeräte in Stufe 2 behandelt.

Alle fünf Entsorgungsanlagen wurden 2008 überprüft, ob sie den abfallwirtschaftlichen und emissionsrechtlichen Anforderungen entsprechen. Insbesondere wurde überprüft, ob die Anforderungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d und f TA Luft eingehalten wurden.

Alle Betreiber legten Berichte über die Überprüfung der Zuverlässigkeit der Trockenlegung (Stufe 1) in ihren Anlagen vor. Danach erreichten alle Anlagen die geforderte Rückgewinnungsquote von mindestens 90 % der im Kältekreislauf enthaltenen FCKW-Mengen. Drei Prüfungen wurden gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft vorgenommen. Zwei der Prüfungen wurden gemäß den Anforderungen der Inputmethode der CECED/WEEE-Forum/EERA (siehe Kapitel 3.2.2.1) durchgeführt. Diese entspricht in etwa den Anforderungen der TA Luft. Ein Test entsprach nicht den Prüfanforderungen, da die vorgeschriebene zu testende Anzahl von 100 intakten Geräten unterschritten wurde.

Alle fünf Anlagen wurden im Oktober/November 2008 von IUTA im Auftrag des LANUV gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA Luft auf Dichtigkeit überprüft. Diese Prüfungen haben vier der fünf Anlagen bestanden. Nach Optimierungsmaßnahmen wurde auch bei der fünften Anlage im Zuge einer Nachprüfung im Mai 2009 eine ausreichende Dichtigkeit festgestellt. Die nach der TA Luft geforderte Dokumentation der im Rahmen der Eigenüberwachung regelmäßig durchzuführenden Dichtigkeitsprüfungen konnte 2008 bei keiner Anlage nachgewiesen werden.

Alle vier Anlagen, in denen eine Stufe 2 betrieben wurde, haben 2008 einen so genannten 1.000-Geräte-Test zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Stufe 2 gemäß CECED/EEE-Forum/EERA bestanden. Nach einer Auswertung der durch die Betreiber erhobenen Daten errechnet sich für das Jahr 2008 eine durchschnittliche Rückgewinnungsmenge von 344 g FCKW/Kühlgerät. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem in verschiedenen Publikationen formulierten Bezugswert von 443 g FCKW/Gerät (3,7 kg PUR-Schaum/Geräte mit 85 g FCKW/kg PUR-Schaum), ergibt sich eine FCKW-Rückgewinnungsquote von durchschnittlich 78 %.

Zur Vereinfachung des Vollzugs der TA Luft wurde die im März 2009 verabschiedete LAI-Vollzugshilfe [16] in Nordrhein-Westfalen mit Erlass eingeführt. Sie beschreibt den Umfang der nach TA Luft erforderlichen Überwachungsmaßnahmen.

In allen vier zurzeit betriebenen Behandlungsanlagen (eine der fünf Anlagen ist seit Mitte 2009 außer Betrieb) wurden nach Abschluss der gutachterlichen Untersuchung des IUTA im Jahr 2009 erneut Dichtigkeitsprüfungen gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt f TA-Luft vorgenommen. Bis Oktober 2009 wurde außerdem in drei Anlagen die Zuverlässigkeit der der Trockenlegung gemäß Nr. 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 Abschnitt d TA Luft überprüft. Laut der Prüfberichte erfüllten alle Anlagen die entsprechenden Anforderungen (teilweise im Rahmen einer Nachprüfung). Insbesondere wurden in den Anlagen – im Gegensatz zu 2008 – die Dichtigkeitsprüfungen im Rahmen der Eigenüberwachung dokumentiert.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Materialfraktionen eines Kühlschranks.....	13
Abbildung 2	Schemadarstellung der Ozonspaltung	14
Abbildung 3	Durchschnittliche Kältemittelmassen im Vergleich	19
Abbildung 4	Durchschnittliche Kältemittelvolumina im Vergleich	19
Abbildung 5	In NRW zur Entsorgung anfallende Kühlgeräte.....	23
Abbildung 6	Prognose des Anteils KW-haltiger Kühlgeräte in Österreich	24
Abbildung 7	Beladungsdiagramm von R 12 und R 11.....	33
Abbildung 8	Prüfung der Zuverlässigkeit der Trockenlegung (2007)	49
Abbildung 9	Prüfung der Zuverlässigkeit der Trockenlegung (2008)	50
Abbildung 10	Inputmengen 1.000-Geräte-Test (2008).....	54
Abbildung 11	FCKW Rückgewinnung in der Stufe 2 (2008).....	55
Abbildung 12	Anteil defekter Geräte in der Stufe 1 (2007).....	57
Abbildung 13	Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 1 (2007).....	57
Abbildung 14	Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 2 (2007).....	58
Abbildung 15	Anteil defekter Geräte in der Stufe 1 (2008).....	59
Abbildung 16	Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 1 (2008).....	60
Abbildung 17	Zurückgewonnene FCKW in der Stufe 2 (2008).....	60
Abbildung 18	Geräte-Input und FCKW-Rückgewinnungsmengen	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Umweltrelevante Daten ausgewählter Kälte- und Treibmittel.....	15
Tabelle 2	Kältemittel und Ölmengen pro Durchschnittsgerät	16
Tabelle 3	Halogengehalte unbehandelter Kompressorenöle	17
Tabelle 4	Treibmittelmengen pro Durchschnittsgerät.....	20
Tabelle 5	R 11-Gehalte in PUR-Schäumen	21
Tabelle 6	Rückgewinnungsmenge an KW in der Stufe 2	22
Tabelle 7	Stoffdaten Kältemittel	42
Tabelle 8	Zurückgewonnene FCKW-Menge in 2007 und 2008	61
Tabelle 9	FCKW-Rückgewinnungsquoten für NRW.....	62

Quellenverzeichnis

- [1] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.07.2002, GMBI. S. 511
- [2] Verordnung zum Verbot von Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen ([FCKWHalonverbV](#)), BGBI. I 1991, S. 1090, aufgehoben durch die Verordnung über Stoffe, die die Ozonschicht schädigen (Chemikalien-Ozonschichtverordnung – ChemOzonSchichtV), BGBI. I S. 2638
- [3] Fachverband Elektro-Haushalt-Großgeräte im ZVEI: Entsorgung von Haushalt-Kältegeräten in Deutschland, Frankfurt 1999
- [4] Schwarz, W.: Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002; UBA Texte 14/05, Berlin 2005
download: <http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2007/1097/pdf/Emissionen.pdf>
- [5] Institut für angewandte Ökologie – Öko-Institut e.V.: „Ökobilanzielle Untersuchung zur Verwertung von FCKW- und KW-haltigen Kühlgeräten“, im Auftrag der RAL Gütegemeinschaft Rückproduktion von FCKW-haltigen Kühlgeräten e.V., Freiburg 2007
- [6] Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA): Entwicklung von geeigneten Sicherheitstechniken für die EntnahmeprozEDUREN, die Technologieanpassung und das Scale-Up von Verwertungs- und Entsorgungsanlagen für Kühlgeräte mit Brenngasen; Duisburg 2007
- [7] Roos + Partner AG: Haushaltskühlgeräteentsorgung in Deutschland, im Auftrag des QVKE, Luzern 2000
- [8] Pollack, Albert J.; Holdren, Michael W.; Keigley, G. William; Severance, Richard A.: A thermal desorption procedure for determining residual blowing agent (CFC-11) in rigid foam; Air and Waste 8/1993
- [9] Vehlow, J.; Geisert, H.; Rittmeyer, K. Jay; Siegel, R.; Stieglitz, L.; Vilöhr, W.: Untersuchungen zur Zerstörbarkeit von Fluorchlorkohlenwasserstoffen in Müllverbrennungsanlagen; ZVEI; Frankfurt 1991
- [10] Hornberger, M; Janusz, G (Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung –IPA-): Analyse der Verwertungswerte von Kohlenwasserstoffgeschäumten Kühlgeräten, Abschlußbericht vom 17.05.2005, Download: http://zvei.net/fileadmin/user_upload/Fachverbaende/Elektro-Haus-Grossgeraete/Brancheninformatioen/1_Bericht_2005_05_17_de.pdf
- [11] Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH (FHA): Endbericht zur Durchführung einer Studie über die Verwertung von KW-Kühlgeräten bei der AVE Österreich GmbH in Timelkam, Wien 2008
download: www.umwelt.net.at/filemanager/download/35945

- [12] Deutsche Umwelthilfe (DUH): DUH-Hintergrund - Immer noch erhebliche Defizite beim Kühlgeräterecycling in Deutschland, Presseerklärung 18.05.2008
download: http://www.duh.de/uploads/media/DUH-Hintergrundpapier_FCKW-Berechnungen_2004-2006_180508.pdf
- [13] Klinkosch (QVKE): Was bleibt über? Recycling Magazin 18/2008
- [14] European Committee of Domestic Equipment Manufacturers (ceced); European Association of Electrical and Electronical Waste Take Back Systems (WEEE Forum), European Electronics Recyclers Association (EERA): Requirements for the Collection, Transportation, Storage, Handling and Treatment of Household Cooling and Freezing Appliance containing CFC, HCFC or HFC, Stand Dezember 2007
- [15] Hornberger, M.; Janz, D. (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung –IPA-): Empfehlung zur Dokumentation und zum Nachweis der Erfüllung der WEEE-Quoten, Stuttgart 2004
- [16] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI): Vollzughilfe zur Entsorgung von Kühlgeräten oder –einrichtungen gemäß Ziffer 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 TA Luft , Verabschiedete Fassung vom 25.03.2009
- [17] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG), BGBl. I S. 762, idF BGBl. I S. 1462
- [18] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft (LAGA) 31, Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (Elektro-Altgeräte-Merkblatt – EAG-Merkblatt), Überarbeitung, Endfassung vom 24.03.2004
- [19] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft (LAGA) 31, Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (Altgeräte-Merkblatt), Stand September 2009;
download: http://www.laga-online.de/laganeu/images/stories/pdfdoc/veroeffentlichungen/M31%2030092009_2.pdf
- [20] Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (RAL): RAL Gütezeichen Rückproduktion von Kühlgeräten, Gütesicherung RAL-GZ 728, Stand September 2007
- [21] Stiftung Entsorgung Schweiz (SENS): Richtlinie R04 Methodik zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Kühlgeräte-Entsorgungsanlagen, Stand 2008,
download: http://www.sens.ch/global/pdf/recycler/080101_04_methodik_kuehl_d_v3.pdf
- [22] Umweltbundesamt: Leitfaden zur Entsorgung von Kühlgeräten, Berlin 1998
- [23] Umweltbundesamt: 20 Jahre Montrealer Protokoll über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen – Eine globale Erfolgsgeschichte,
download: http://www.umweltbundesamt.de/produkte/dokumente/flyer_montreal.pdf

- [24] Montreal Protocol on Substances that deplete the ozone layer, Technical Options Committee: Report of the rigid and flexible foams, 2002 Assessment, Nairobi 2003
download: <http://www.unep.org/ozone/pdf/ftoc2002.pdf>
- [25] Schnepel, C. Umweltbundesamt (Hrg.): Kühlgeräte mit FCKW immer ein Problem, Dessau-Roßlau 2009
download: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3828.htm>
- [26] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz – BImSchG) idF. der Bek. vom 26.09.2002
- [27] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und der Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/ABfG vom 27.09.1994
- [28] Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz – IV-3-912.03 -: Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten, vom 24.01.2006, Ministerialblatt NRW 2006 S. 211
- [29] Erlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz an die Bezirksregierungen Arnsberg, Detmold, Düsseldorf, Köln, Münster: Immissionsschutz, Entsorgung von Kühlgeräten – Umsetzung Ziffern 5.4.8.10.3/5.4.8.11.3 der TA Luft, E-Mail vom 06.07.2009 Aktenzeichen V 4 Kh-88851.8.11
- [30] Stiftung Elektro-Altgeräte-Register (EAR): Abholungen Hersteller,
Download: http://www.stiftung-ear.de/aktuell/aktuelle_mitteilungen/kennzahlen/abholungen_hersteller
- [31] Scholz, W. (ZVEI): persönliche Auskunft am 10.11.2009
- [32] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft (LAGA) 36, Vollzugshilfe Entsorgungsfachbetriebe, Endfassung vom 19.05.2005
download: http://laga-online.de/laganeu/images/stories/pdfdoc/veroeffentlichungen/m36_vollzugshilfe_entsorg_betr.pdf
- [33] Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH (IFEU): Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland, Fallbeispiel Elektro- und Elektronikaltgeräte, Endbericht Juni 2005
download: http://www.bmu.de/files/abfallwirtschaft/downloads/application/pdf/ifeu_abfallw_elektro.pdf
- [34] EPA: List of Class I Ozone-depleting Substances,
download: <http://www.epa.gov/ozone/science/ods/index.html>
- [35] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: Erhebung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe 2004 (§ 11 UStG), Stand 2004

- [36] Statistisches Bundesamt: Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) 2008, Fachserie 15 Heft 1 "Ausstattung mit ausgewählten Gebrauchsgütern", Wiesbaden 2009
- [37] Bundeseinheitlicher Messbericht für Emissionsmessungen, download: http://www.lanuv.nrw.de/luft/emissionen/beka_09.htm
- [38] Schreiben des BMU an die DUH vom 28.10.2008 bezüglich der WEEE-Richtlinie 2002/96/EG sowie ElektroG Kühlgeräte-Behandlung
- [39] Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V (IUTA): Minimierung von Klimagasemissionen bei der Kühlgeräteentsorgung, im Auftrag des LANUV, Abschlussbericht Februar 2009
- [40] RDE: Performance Test Step 2 Skrotfrag in Järna (Schweden) Testreport vom 05.11.2008
- [41] Dell, T.; Herzog, F.; Schulte, M.: Kühlschranks-Recycling verbessert: Jetzt auch mit R 12-Rückgewinnung, Gas aktuell 64
download: http://www.laboplus.de/pdf/LABOplus_Anwendungen_Kuehlgeraete.pdf
- [42] Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) Working Group I: Fourth Assessment Report "The Physical Science Basis", Bern (Schweiz), Februar 2007
download: <http://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/ar4-wg1-ts.pdf>

Verwendete Begriffe

Innerhalb der Studie werden folgende, in der spezifischen Industriebranche üblichen, Begriffe verwendet:

ADELMANN	Adelmann GmbH
AMANDUS KAHL	Amandus Kahl GmbH & Co. KG
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BImSchG	Gesetz zum Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.
BVSE	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.
EAR	Die Stiftung Elektro-Altgeräte Register (EAR) mit Sitz in Fürth, Bayern, ist die gemäß § 6 Abs. 1 ElektroG von den Herstellern eingerichtete Gemeinsame Stelle und nimmt deren Aufgaben nach § 14 ElektroG wahr.
ElektroG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten
ENPRO	Unternehmensverbund, bestehend aus der EN-PRO Entsorgungsgesellschaft mbH (Entsorgung) und EN-PRO Recyclingberatung Umweltplanung GmbH (Anlagenbau)
ENVIPROTECT	Enviprotect Schadstoffverwertung GmbH
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe (z.B. R 11, R 12); in diesem Bericht wird der Begriff FCKW auch als Oberbegriff für alle (teilweise) fluorierten und / oder chlorierten Kohlenwasserstoffe verwendet.
FHA	Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH
FRESENIUS	SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Gefriergerät	Gefrierschrank oder -truhe, kühlt mit einer Innentemperatur von min -18°C
Haushaltskühlschrank	Kühlschrank haushaltstypischer Bauart bis zu einer Größe von 180 l Nutzinhalt, die Geräte können sowohl mit als auch ohne gesondertem Gefrierfach ausgestattet sein

Haushaltskühl-/Gefrierkombination	Kühlgerät in haushaltstypischer Bauart mit einem Nutzinhalt zwischen 180 und 350 l, die in der Regel über ein gesondertes Gefrierfach verfügen
Haushaltsgefriergerät	Gefriertruhen und –schränke in haushaltstypischer Bauart bis zu einer Größe von 500 l Nutzinhalt
H-FCKW	teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (z. B. 141b)
H-FKW	teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (ohne Chlor, z.B. R 134 a)
HERCO	Herco Kühltechnik GmbH
IUTA	Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.
KW	Kohlenwasserstoffe (z.B. Pentan, Butan)
Kühlgerät	Oberbegriff für Kühlschrank, Kühl- / Gefrierkombination und Gefriergerät
Kältemittel:	Arbeitsstoffe, die in Kältemaschinen zum Zwecke der Kälteerzeugung in der Regel einen geschlossenen Kreisprozess durchlaufen.
Kompressor	Verdichter
Kühl- / Gefrierkombination	Festverbundene Einheit aus einem Kühlschrank und einem Gefrierschrank mit getrennten Türen für Kühl- und Gefrierfach. Sie können mit einem oder zwei Kältekreisläufen ausgestattet sein.
Kryo	Tieftemperatur
KSR	Kühl System Recycling GmbH
Kühlschrank	Der Innenraum wird auf 2°C – 8°C mittels eines geregelten Kühlaggregates abgekühlt
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)
MESSER	Messer Group GmbH
MEWA	MeWa Recycling Maschinen und Anlagenbau GmbH
NOEX	NOEX AG, Tochtergesellschaft der Entsorgungsgesellschaft Niederrhein mbH (EGN)
PPM	ppm Messtechnik GmbH

PUR	Polyurethan, hier grundsätzlich als expandierter Hartschaum vorliegend. PUR wird als Isolationsmaterial in Kühlgeräten eingesetzt und ist entweder mit FCKW, FKW oder KW aufgeschäumt.
R 134a	Tetrafluorethan
R 141b	Dichlorfluorethan
R 11, F 11	Trichlorfluormethan
R 12, F 12	Dichlordifluormethan
R 22	Chlordifluormethan
R 290	Propan
R 502	Gemisch aus R 22 (48,8%) und R 115 (51,2%)
R 600	Butan
R 600a	Isobutan
R 601	Pentan
R 717	Ammoniak
R 1270	Propylen
RAL	Gütesicherung RAL-GZ 728 – Rückproduktion von Kühlgeräten
RECOOL	Recool Kühlgeräterecycling GmbH
REMONDIS	Remondis Elektrorecycling GmbH
SEG	SEG Umwelt-Service GmbH
Side by Side-Kühlgerät	Kühl-/Gefrierkombination bei der die Kühl- und Gefriereinheit nebeneinander liegen. Er verfügt meist über einen integrierten Eiswürfelbereiter und optional über eine zusätzliche Getränkeklappe in der großen Tür des Kühlsegments.
Stufe 1	Arbeitsschritt bzw. Anlage zur Entnahme von Kältemitteln, in der Regel Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Öl aus dem Flüssigkeitskreislauf von Kühl- oder Gefriergeräten.
Stufe 2	Arbeitsschritt bzw. Anlage zur Rückgewinnung des Treibmittels, in der Regel FCKW aus den Isolationsschäumen von Kühlgeräten oder Isolationshartschäumen.
Treibmittel,	Substanz zum Aufschäumen von Kunststoffen
TRENNSO	TRENNSO-TECHNIK Trenn- und Sortiertechnik GmbH

Typ 1	Haushaltskühlgeräte
Typ 2	Haushaltskühl- / Gefrierkombination
Typ 3	Haushaltsgefriergeräte
UNTHA	Untha Recyclingtechnik GmbH
VOC	Volatile Organic Compounds = flüchtige organische Verbindungen
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.