



Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall

**Bericht über die Rückgewinnung von Kälte-
und Treibmitteln bei der Behandlung von
FCKW-, HFCKW-, HFKW- und KW-haltigen
Kühlgeräten und anderen Wärmeüberträger-
Geräten**

Bericht an die UMK

vom

27.02.2023

Herausgeber: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall

erarbeitet von einer Arbeitsgruppe unter der Leitung des UBA

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Hintergrund des Berichts	3
1.2	Anforderungen an die Behandlung von kälte- und treibmittelhaltigen Elektro- und Elektronikaltgeräten.....	4
2	Datenabfrage	5
3	Ergebnis	6
3.1	Allgemeine Angaben	6
3.1.1	Anlagen/ Behandlungsstufen	6
3.1.2	Vollständigkeit der Daten	6
3.2	Auswertung von Daten zur Stufe-1-Behandlung.....	7
3.2.1	Anzahl und Masse der behandelten Kühlgeräte und anderer Wärmeübertrager-Geräte	7
3.2.2	Anteil intakter Geräte	8
3.2.3	Anteil halogenhaltiger Geräte.....	8
3.2.4	Größenklassen der Geräte.....	9
3.2.5	Rückgewonnene Kältemittel.....	10
3.2.6	Ermittlung der Zielwerte und Abgleich mit den Rückgewinnungsquoten.....	10
3.2.7	100-Geräte-Test.....	12
3.3	Auswertung von Daten zur Stufe-2-Behandlung.....	13
3.3.1	Anzahl und Masse der behandelten Kühlgeräte und anderer Wärmeübertrager-Geräte	13
3.3.2	Anteil halogenhaltiger Geräte.....	14
3.3.3	Rückgewonnene Treibmittel.....	15
3.3.4	Rückgewinnungsquote/ Abgleich mit den Zielwerten	16
3.3.5	1.000-Geräte-Test.....	16
3.4	Auswertung von Daten zur Dichtigkeitsprüfung	16
4	Fazit	17

1 Einleitung

1.1 Hintergrund des Berichts

Nach wie vor gelangen Wärmeübertrager-Geräte, insbesondere Kühl- und Gefriergeräte sowie Klimaanlage, in die Entsorgung, die halogenhaltige Stoffe (Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW)) oder Kohlenwasserstoffe (KW), als Kälte- oder Treibmittel enthalten. Die möglichst vollständige Erfassung der halogenhaltigen Kälte- und Treibmittel ist wichtig, da sie stark zum Treibhauseffekt beitragen sowie bei chlorierten Kälte- und Treibmitteln die Ozonschicht schädigen. Auch die halogenfreien Kälte- und Treibmittel sind entsprechend zu erfassen, da eine unkontrollierte Freisetzung zur Bildung von bodennahem Ozon führt und damit die menschliche Gesundheit gefährdet.

Die Überwachung der Anlagen obliegt den Ländern. Eine bundesweite Erhebung von Daten, die die Rückgewinnung von FCKW-, HFCKW-, HFKW- und KW-haltigen Kälte- und Treibmitteln erfassen, gab es in der Vergangenheit nicht. In ihrer Sitzung am 23.04.2021 stellte die Umweltministerkonferenz (UMK) jedoch fest, dass solche Daten für die Überprüfung der Umsetzung der Vorgaben und die Weiterentwicklung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG) sowie der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) unerlässlich sind. Die UMK hat die Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) deshalb gebeten, eine entsprechende Datenerhebung zu initiieren. Diese bezieht sich auf die Stufe 1, in der u. a. das Kältemittel aus dem Kältemittelkreislauf erfasst wird (Trockenlegung), und auf die Stufe 2, in der u. a. das Treibmittel aus dem Isolationsmaterial erfasst wird.

Die Datenerfassung sollte beinhalten:

- A) die Anzahl der behandelten Kühlgeräte und anderer Wärmeüberträger in (Entsorgungs)Stufe 1 und 2,
- B) zurückgewonnenes FCKW, HFCKW, HFKW und KW im Rahmen von (Entsorgungs)Stufe 1 (in Gew.-% pro Kühlgerät/anderer Wärmeüberträger) und
- C) zurückgewonnenes FCKW, HFCKW, HFKW und KW im Rahmen von (Entsorgungs)Stufe 2;

für B und C jeweils entsprechend den Vorgaben der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft).

Die Erhebung der Daten erfolgte im Rahmen der Überwachungsaufgaben der Länder durch die jeweilig zuständige Überwachungsbehörde. Die Datenabfrage erfolgte durch mehrere Excel-basierte Tabellen (Erhebungsbogen), die unter der Federführung des Umweltbundesamts sowie unter Beteiligung mehrerer Bundesländer erarbeitet wurden. Um eine ausreichende Datenbasis für die Beurteilung der Umsetzung des Stands der Technik zu erhalten, wurden von den Behörden Daten für die Bezugsjahre 2019, 2020 und 2021 abgefragt.

Als Beurteilungsmaßstab für die abgefragten Daten werden die im Erhebungszeitraum 2019-2021 gültigen Anforderungen an die Behandlung von kälte- und treibmittelhaltigen Elektro- und Elektronikaltgeräten zu Grunde gelegt.

1.2 Anforderungen an die Behandlung von kälte- und treibmittelhaltigen Elektro- und Elektronikaltgeräten

Anlagen zur Entsorgung von Kühlgeräten oder -einrichtungen oder anderen Wärmeübertrager-Geräten, die FCKW, HFCKW, HFKW oder KW enthalten, hatten zum Zeitraum der Bezugsjahre (2019 bis 2021) insbesondere die Anforderungen aus ElektroG 2015¹ und aus Nr. 5.4.8.10.3 / 5.4.8.11.3 TA Luft 2002^{2,3} zu erfüllen. Demnach sind insbesondere Kältemittel aus dem Kältemittelkreislauf weitgehend verlustfrei und vollständig zurückzugewinnen (Stufe-1-Behandlung, auch Trockenlegung genannt). Ebenso ist bei Geräten, in welchen mit FCKW, HFCKW, HFKW oder KW als Treibmittel aufgeschäumtes Isolationsmaterial verbaut wurde, das Isolationsmaterial vollständig von den anderen Materialien zu trennen und das Treibmittel aus dem Isolationsmaterial zu entfernen (Stufe-2-Behandlung).

Die Zuverlässigkeit der Trockenlegung wird gemäß Nr. 5.4.8.10.3 / 5.4.8.11.3 lit. d TA Luft 2002 jährlich durch eine von der zuständigen Landesbehörde zugelassenen Stelle geprüft. Dies erfolgt durch die Trockenlegung von mindestens 100 FCKW-haltigen (sowie HFKW-

-
- 1 Das ElektroG 2015 wurde 2021 novelliert und durch die EAG-BehandV ergänzt. Die Anforderungen an die Behandlung wurde von Anlage 4 ElektroG 2015 in die BehandV 2021 übertragen und hierbei konkretisiert.
 - 2 Die Anforderungen aus Nummer 5.4.8.10.3 / 5.4.8.11.3 TA Luft 2002 wurden in der Vollzugshilfe zur Entsorgung von Kühlgeräten oder -einrichtungen der Bund-Länder-AG "Immissionsschutz" verabschiedete Fassung (25. März 2009) konkretisiert.
 - 3 Die TA Luft wurde 2021 novelliert. Die Anforderungen gemäß der BVT-Schlussfolgerungen Abfallbehandlung wurden durch die ABA-VwV 2022 umgesetzt. Diese sektorielle Verwaltungsvorschrift ergänzt bzw. ersetzt entsprechende Vorschriften in der TA Luft 2021. Die Anforderungen der Nr. 5.4.8.10.3 / 5.4.8.11.3 TA Luft 2002 wurde zwischenzeitlich durch Nr. 5.4.8.10.c / 5.4.8.11.c ABA-VwV i. V. m. TA Luft 2021 ersetzt. Die Anforderungen an die Behandlung entsprechender Wärmeübertrager-Geräte wurden in diesem Zuge erweitert und weiter konkretisiert. Insbesondere sind der 1.000-Geräte-Test für die Stufe-2-Behandlung und die Wochenbilanzen sowie die Jahresbilanz der zurückgewonnenen Massen an FCKW, HFCKW, HFKW und KW aufgenommen worden. Der 100 Geräte-Test, 1.000-Geräte-Test und die Bilanzen sind unter Anwendung der Vorgaben der DIN EN 50625-2-3 (Ausgabe Juli 2018) und CLC/TS 50625-3-4 (Ausgabe Juli 2018) zu erstellen.

haltigen⁴) Geräten mit augenscheinlich intaktem Kältekreislauf (100-Geräte-Test). Hierbei muss die Menge an erfasstem Kältemittel mindestens 90 Gewichtsprozent der in den Geräten laut Typenschild befindlichen Kältemittelmengen entsprechen.

Ein vergleichbarer Leistungstest für die Stufe 2 (1000-Geräte-Test) war in der TA Luft 2002 nicht gefordert.⁵

Für die Bewertung der Abfrageergebnisse bezüglich der Dichtigkeitsprüfung sind die Anforderungen der Nr. 5.4.8.10.3 / 5.4.8.11.3 lit. f TA Luft 2002 relevant. Danach ist durch geeignete Überwachungsmaßnahmen des Anlagenbetreibers regelmäßig zu prüfen und sicherzustellen, dass die gesamte Anlage keine Undichtigkeiten aufweist. Das Ergebnis ist zu dokumentieren. Die Dichtigkeit und die Dokumentation der Eigenüberwachung⁶ sind einmal jährlich durch eine von der zuständigen Landesbehörde zugelassene Stelle zu prüfen.

2 Datenabfrage

Die Ausführungen in diesem Bericht basieren auf einer Datenabfrage bei den Betreibern von Behandlungsanlagen zum Input und Output der Stufe-1-Behandlung, der Stufe-2-Behandlung und zur Durchführung der 100-Geräte-, der 1.000-Geräte- und der Dichtigkeitstests. Die Datenabfrage erfolgte im Zeitraum Mai bis Juli 2022 durch die zuständigen Behörden in den Ländern bei den Betreibern von Behandlungsanlagen für Wärmeübertrager-Geräte, die entsprechende Kälte- und/ oder Treibmittel enthalten. Die Abfrage umfasste sowohl Anlagen, die die Stufe-1- und die Stufe-2-Behandlung durchführen, als auch Anlagen, die nur eine der beiden Stufen betreiben.

4 Die entsprechende Nr. der TA Luft 2002 befasst sich nur mit FCKW-haltigen Geräten. In der DIN EN Normenreihe, der TA Luft 2021 und der ABA-VwV kann der Test mit FCKW-haltigen (R12) oder HFKW-haltigen (R134a) Geräten durchgeführt werden; die befragten Anlagen haben auch HFKW-haltige Kühlgeräte in den Tests berücksichtigt (vgl. hierzu Ausführungen unter 3.2 zum 100-Geräte-Test).

5 Mit der Neufassung der TA Luft 2021 wurde für die Stufe-2-Behandlung der 1.000-Geräte-Test ergänzt. Auf Basis von 1.000 Geräten ist nachzuweisen, dass die Gesamtmenge der zurückgewonnenen Treibmittel 90 Massenprozent der zu erwartenden Menge beträgt. Der Test wurde vor über 20 Jahren entwickelt, um die Leistungsfähigkeit der Stufe 2 über eine Massenbilanz zu bewerten. Über die Jahre wurde der Test durch verschiedene Organisationen weiterentwickelt. Zuletzt wurde der Test 2018 in der DIN EN 50625-2-3 i. V. m. DIN CLC/TS 50625-3-4 konkretisiert. Die Anforderungen wurden 2021 in die TA Luft (Nr. 5.4.8.10c / 5.4.8.11c lit. k) und 2022 in die Allgemeine Verwaltungsvorschrift Abfallbehandlungsanlagen (ABA-VwV) vom 20. Januar 2022 (GMBI 2022 Nr. 4, S. 78) in Nr. 5.4.8.10c / 5.4.8.11c Abschnitt „Messung und Überwachung“ Buchstabe d) aufgenommen.

6 Im Rahmen der Novelle der TA Luft 2021 und der Verabschiedung der ABA VwV 2022 sind die Anforderungen an die Eigen- und Fremdüberwachung der Dichtigkeit der Anlagen konkretisiert worden.

3 Ergebnis

3.1 Allgemeine Angaben

3.1.1 Anlagen/ Behandlungsstufen

Mit der Abfrage wurden deutschlandweit insgesamt 19 Anlagen erfasst. Alle Behandlungsanlagen weisen eine Stufe-1-Behandlung auf, davon haben 15 Anlagen auch eine Stufe-2-Behandlung, wobei eine dieser Anlagen lediglich die Stufe-1-Behandlung im Zeitraum der Datenabfrage betrieben hat.

3.1.2 Vollständigkeit der Daten

Mit den Erhebungsbögen wurden umfangreiche Informationen von den Betreibern abgefragt, um eine möglichst umfassende Betrachtung der behandelten Kühlgeräte und anderer Wärmeübertrager-Geräte, die Rückgewinnung von Kältemitteln in der Stufe-1-Behandlung und von Treibmitteln in der Stufe-2-Behandlung durchführen zu können. Nicht alle dieser Daten waren im Betrachtungszeitraum von den Betreibern bereits verpflichtend zu ermitteln (z. B. 1.000-Geräte-Test). Teilweise bestand für die zuständigen Überwachungsbehörden keine Rechtsgrundlage, diese Daten auf Verlangen vorgelegt zu bekommen. Unabhängig davon, blieben mehrere Einzelfelder der Erhebungsbögen unausgefüllt.

Die dieser Auswertung zugrundeliegenden Antworten der Betreiber sind daher lückenhaft. Um dennoch eine Teilauswertung zu ermöglichen, mussten entsprechende Annahmen getroffen werden. Deshalb sind die Ergebnisse dieses Berichts als grobe Abschätzung zu verstehen.

Die getroffenen Annahmen wurden in der Regel aus den Angaben anderer Anlagen abgeleitet. Beispielhaft ist hier die Umrechnung zwischen Stückzahl und Masse zu nennen, wo sowohl für die Auswertung der Stufe 1 als auch der Stufe 2 ein Mittelwert aus den vorliegenden Meldedaten gebildet wurde. In anderen Fällen wurden Angaben derselben Anlage plausibilisiert (Bsp.: keine Angabe zu intakten Geräten, dafür über Anzahl der Geräte mit defektem Kältekreislauf benannt). Für einzelne Berechnungsschritte war jedoch eine Plausibilisierung bzw. Ergänzung fehlender Daten nicht möglich (z. B. keine Angaben zu defekten und intakten Geräten). Soweit fachlich gerechtfertigt, wurden die betreffenden Anlagen bei der Berechnung außen vorgelassen (Bsp.: Berechnung des Anteils halogenhaltiger Geräte nur aus einer Teilmenge der Anlagen: 13 aus 19 Anlagen).

Die getroffenen Annahmen werden bei der Darstellung der Ergebnisse gesondert erläutert.

3.2 Auswertung von Daten zur Stufe-1-Behandlung

In allen 19 Behandlungsanlagen erfolgt mindestens die Stufe-1-Behandlung, d. h. die Entfernung von Kältemittel aus dem Kältemittelkreislauf. In allen Anlagen wurde bei dem jährlich durch einen Sachverständigen durchzuführenden 100-Geräte-Test die Zielvorgabe eingehalten (siehe Ausführungen in Kapitel 3.2.7).

Im Folgenden ist dargestellt, inwieweit sich diese unter Testbedingungen ermittelten Ergebnisse auch auf Basis einer Gesamtbetrachtung über alle im Jahr bundesweit in der Stufe-1-Behandlung trockengelegten Geräten verifizieren lassen. Hierfür wurden die Gesamtmengen an erfasstem halogenhaltigem und halogenfreiem Kältemittel ins Verhältnis zur erwarteten Menge laut DIN EN 50625-2-3 in Verbindung mit DIN CLC/TS 50625-3-4 gesetzt.

3.2.1 Anzahl und Masse der behandelten Kühlgeräte und anderer Wärmeübertrager-Geräte

Die Meldung der Betreiber zum Anlageninput erfolgte teilweise lediglich in Form der Anzahl an Geräten oder nach tatsächlichem Gewicht. Die Auswertung der Jahre 2019 bis 2021 zeigt, dass jährlich etwa 160.000 bis 180.000 t Wärmeübertrager-Geräte behandelt wurden. In den 19 Anlagen wurden jährlich etwa 3,5 bis 3,7 Millionen Geräte behandelt.

Die Spannweite des mittleren Gewichts schwankt je nach Anlage und Berichtsjahr zwischen 37 bis 55 kg/Gerät, im Mittel liegt das Gewicht bei 46 kg/Gerät im Jahr 2019 bzw. 47 kg/Gerät in den Jahren 2020 und 2021. Diese, als gewichtete Mittelwerte über 13 Anlagen, ermittelten Werte wurde als Gerätegewicht angenommen und den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt.

Auswertungen des Umweltbundesamtes (hier: Berichtspflicht gemäß Art. 16 Absatz 4 der Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie)) gehen von 190.428 t in Deutschland gesammelten Wärmeübertrager-Geräten für das Berichtsjahr 2020⁷ aus (2019: 151.266 t)⁸. Damit erscheinen die aus der Befragung erhobenen Gesamtmengen (behandelte Wärmeübertrager-Geräte) grundsätzlich plausibel.

Im Entwurf der VDI 2292 „Emissionsminderung - Behandlungsanlagen für Kühlgeräte und andere Wärmeübertrager-Geräte“ (Stand Mai 2022) finden sich im Kapitel 5 „Grundlagen zu den betrachteten Wärmeübertrager-Geräten und sonstigen Abfällen“ durchschnittliche

7 Berichtspflicht gemäß Art. 16 Absatz 4 der Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie) – Berichtsjahr 2020 (bmuv.de); URL: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/elektronikgeraete_daten_2020_bf.pdf

8 Berichtspflicht gemäß Art. 16 Absatz 4 der Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie) – Berichtsjahr 2019; URL: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/elektronikgeraete_daten_2020_bf.pdf

Massen für Geräte der Klassen 1 – 4 (vgl. Tabelle 1; Erläuterungen zu den Geräteklassen folgen in Kapitel 3.2.4).

Tabelle 1: Durchschnittliche Masse von Geräten in Abhängigkeit vom verwendeten Kältemittel und der Klasseneinteilung (Quelle: nach VDI 2292 - Entwurf)⁹

Gerätekategorie gemäß DIN EN 50625-2-3	1		2		3		4	
	FCKW	KW	FCKW	KW	FCKW	KW	FCKW	KW
durchschnittliche Masse des Geräts (a)	32 kg	30 kg	49 kg	47 kg	59 kg	57 kg	–	–
a) ermittelt aus den Daten von Tests gemäß DIN EN 50625-2-3								

Somit erscheint auch das aus den Meldedaten ermittelte und für die weiteren Berechnungen zu Grunde gelegte mittlere Gewicht pro Gerät vor dem Hintergrund der Literaturwerte plausibel.

3.2.2 Anteil intakter Geräte

Als Abfall anfallende Kühlgeräte weisen vielfach einen beschädigten Kältemittelkreislauf auf (Geräte, bei denen der Kompressor fehlt sowie Geräte mit sonstigem Defekt im Kältemittelkreislauf). Insgesamt zeigen die Angaben zum Anteil intakter Geräte in Zusammenschau der Anlagen große Schwankungsbreiten auf. Der Anteil an Geräten mit intaktem Kältemittelkreislauf wird von den Betreibern in den abgefragten Jahren im Median zwischen 50 % bis 60 % angegeben.

Aus den den Behörden vorliegenden Informationen ist nicht ersichtlich, ob es sich überwiegend um einen Defekt während des Gebrauchs oder eine Beschädigung im Rahmen der Erfassung und Entsorgung handelt.

3.2.3 Anteil halogenhaltiger Geräte

Bei 13 Anlagen wird die Anzahl bzw. Menge behandelter Geräte mit halogenhaltigen und halogenfreien Kältemitteln getrennt dokumentiert. In Auswertung der gemeldeten Daten liegt der Anteil halogenhaltiger Geräte für das Jahr 2019 bei 40 %, 2020 bei 36 % und 2021 bei 33 % (vgl. Tabelle 2).

⁹ VDI, VDI 2292 – Entwurf, Emissionsminderung - Behandlungsanlagen für Kühlgeräte und andere Wärmeübertrager-Geräte, Juni 2022

Legt man diesen Anteil auf sämtliche Anlagen um, so ergibt sich für 2021, dass von etwa 3,6 Mio. erfassten Geräten, noch ca. 1,2 Mio. Geräte mit halogenhaltigen Kältemitteln ausgestattet waren. Der zu erwartende abnehmende Trend wird auch in diesem kurzen Erhebungsraum bestätigt und stimmt mit anderen Erhebungen überein (siehe Abb. 1)

3.2.4 Größenklassen der Geräte

Die Geräteklassen sind gemäß Abschnitt 3 „Begriffe“ DIN EN 50625-2-3 „Sammlung, Logistik und Behandlung von Elektro- und Elektronik- Altgeräten (WEEE) – Teil 2-3: Anforderungen an die Behandlung von Wärmeüberträgern und anderen Elektro- und Elektronik-Altgeräten, die VFC und/oder VHC enthalten“ wie folgt definiert:

- Gerät der Klasse 1: Kühlschrank mit einer Netto-Gesamtkapazität von weniger als 0,18 m³
- Gerät der Klasse 2: Kühlschrank oder eine Kühl-/Gefrier-Kombination mit einer Netto-Gesamtkapazität zwischen 0,18 m³ und 0,35 m³
- Gerät der Klasse 3: Gefriergerät mit einer Netto-Gesamtkapazität bis einschließlich 0,50 m³ und Kühlschrank oder Kühl-/Gefrier-Kombination mit einer Netto-Gesamtkapazität von mehr als 0,35 m³ und bis einschließlich 0,50 m³
- Gerät der Klasse 4: Kühlschrank oder Gefriergerät oder Kühl-/Gefrier-Kombination mit einer Netto-Gesamtkapazität von mehr als 0,50 m³ und Außenmaßen bis zu 2,20 m
- Gerät der Klasse 5: Kühlschrank oder Gefriergerät oder Kühl-/Gefrier-Kombination mit mindestens einem Außenmaß von mehr als 2,20 m
- Gerät der Klasse 6: Klimageräte, Geräte, die automatisch Kaltprodukte liefern, Luftentfeuchter, Wärmepumpen, Wärmepumpen-Wäschetrockner, ölhaltige Heizkörper, andere Wärmeüberträger, die andere Fluide als Wasser für die Wärmeübertragung verwenden, sowie andere Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die flüchtige Fluorkohlenwasserstoffe oder flüchtige Kohlenwasserstoffe im Isolierschaum enthalten

Der Fragebogen sah eine Abfrage getrennt nach den Geräteklassen 1-4, 5 und 6 vor. Lediglich 6 der 19 Anlagen machten getrennte Angaben. Da für die Größenklassen 5 und 6 von diesen 6 Anlagen keine behandelten Geräte benannt wurden, wird für die folgenden Betrachtungen die erwartete Masse des Kältemittels für Geräte der Klasse 1 bis Klasse 4 als Maßstab herangezogen. Diese Feststellung ist zum einen für die Plausibilität des mittleren Gewichts pro Gerät relevant (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), zum anderen mit Blick auf die erreichbare Rückgewinnungsmenge an Kältemitteln. Die Menge an enthaltenen halogenhaltigen/-freien Kältemitteln schwankt je nach Gerätegröße bzw. -klasse.

Dieses Vorgehen - Außerachtlassung der Geräte der Geräteklassen 5 und 6 - wird auch durch die Auswertungen des UBA¹⁰ gestützt. Hiernach ist der Anteil der gesammelten gewerblich genutzten Wärmeübertrager-Geräte im Verhältnis zu den insgesamt erfassten Wärmeübertrager-Geräten in 2020 etwa 5,0 % (2019: 6,6 %).

3.2.5 Rückgewonnene Kältemittel

Über den Erfassungszeitraum wurden in 2019 insgesamt ca. 152.400 kg, in 2020 ca. 155.800 kg und in 2021 ca. 147.400 kg Kältemittel erfasst und entsorgt. Eine getrennte Dokumentation nach Art des Kältemittels erfolgt nur bei drei der 19 Anlagen. Daher ist eine detaillierte und belastbare Auswertung nach Art des Kältemittels (halogenhaltig und halogenfrei) nicht möglich.

3.2.6 Ermittlung der Zielwerte und Abgleich mit den Rückgewinnungsquoten

Gemäß der DIN EN 50625-2-3 und DIN CLC/TS 50625-3-4 beträgt die erwartete Masse des entfernten und erfassten halogenhaltigen Kältemittels für Geräte der Klasse 1 bis Klasse 4 je intaktem Kältemittelkreislauf 0,113 kg, bei Geräten mit halogenfreien Kältemitteln liegt dieser Wert bei 0,054 kg. Zur Ermittlung der erwarteten Masse je intaktem Gerät (siehe Zeile 2 in Tabelle 2) ist der jeweilige Anteil halogenhaltiger und halogenfreier Geräte (siehe Zeile 1 in Tabelle 2) zu berücksichtigen. Die Ableitung des Anteiles halogenhaltiger Geräte wurde bereits oben erläutert. Gemäß v. g. Normen ist für die Rückgewinnung der Kältemittel ein Zielwert in Höhe von 90 % der erwarteten Masse vorgegeben. Der zu erreichende Zielwert an Kältemittelgemisch beträgt somit zwischen 66 g und 70 g je Gerät. (siehe Zeile 3 in Tabelle 2). Wie sich die Werte im Einzelnen darstellen, ergibt sich aus der folgenden Tabelle 2. Die Angaben unterscheiden sich in den verschiedenen Jahren des Erfassungszeitraumes, da der Anteil halogenhaltiger Geräte abnahm.

10 Berichtspflicht gemäß Art. 16 Absatz 4 der Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie) – Berichtsjahr 2019; URL: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/elektronikgeraete_daten_2020_bf.pdf

Tabelle 2: Ermittlung der Zielwerte für das rückgewonnene Kältemittelgemisch aus halogenhaltigen und halogenfreien Kältemitteln

Lfd. Nr.		2019	2020	2021
1	Verhältnis halogenhaltiger/halogenfreier Geräte (berechnet aus Erhebungsdaten)	40/60	36/64	33/67
2	erwartete Masse Kältemittelgemisch je intaktem Gerät (erwartete Masse unter Beachtung des Verhältnisses halogenhaltiger/ halogenfreier Geräte)	78 g	75 g	74 g
3	Zielwerte (90 % der erwarteten Masse aus Zeile 2)	70 g	68 g	66 g

Die nachfolgenden Berechnungen setzen die gemeldeten tatsächlich zurückgewonnenen Kältemittelmengen in Bezug zu den Zielwerten aus Tabelle 2.

Die Rückgewinnungsmenge pro intaktem Gerät ergibt sich aus dem Quotient der Masse rückgewonnenes Kältemittel und der Anzahl der behandelten intakten Geräte.

Da einige Anlagen keine bzw. keine schlüssigen Daten zu den intakten Geräten übermittelt haben, führt eine Gesamtbetrachtung zu unplausiblen Ergebnissen.

Deshalb wird in Tabelle 3 eine Berechnung mit lediglich einer Teilmenge der Anlagen durchgeführt. Unter Einbezug von 13 Anlagen, für welche die erforderlichen Daten zu intakten Geräten weitgehend plausibel sind, ergibt sich für den Quotienten aus der Masse rückgewonnenes Kältemittel und der Anzahl der behandelten intakten Geräte eine Spanne von 66 g bis 72 g (siehe Tabelle 3, Zeile 3).

Tabelle 3: erreichte Rückgewinnungsquoten (berechnet aus 13 Anlagen)

Lfd. Nr.		2019	2020	2021
Tabelle 2, Zeile 2	Erwartungswert	78 g (100 %)	75 g (100 %)	74 g (100 %)
Tabelle 2, Zeile 3	Zielwerte (90 % der erwarteten Masse aus Zeile 2)	70 g (90%)	68 g (90%)	66 g (90%)
1	Anzahl behandelter intakter Geräte	1.380.200	1.86.900	1.514.400
2	Menge erfasstes Kältemittel in t	98,9	106,0	99,9
3	Kältemittel in g pro erfassten intakten Gerät (Mittelwert aus 13 Anlagen berechnet)	72 g	71 g	66 g
4	erreichte Rückgewinnungsquote (Quotient aus Zeile 4 und 1)	92 %	95 %	89 %

Für diese 13 Anlagen kann auf Basis der Berechnung festgestellt werden, dass der Zielwert der Rückgewinnungsquote unter Berücksichtigung der Datenunsicherheiten erreicht wurde.

3.2.7 100-Geräte-Test

Die Fragen zum 100-Geräte-Test wurden von allen Anlagenbetreibern weitestgehend vollständig beantwortet. Im Jahr 2019 verwendeten 17 Anlagen für den Test nur Kühlgeräte mit dem Kältemittel R12, eine Anlage verwendete hierfür auch Kühlgeräte mit dem Kältemittel R134a, eine weitere Anlage mit den Kältemitteln R134a und R22. In den Jahren 2020 und 2021 verwendeten 16 Anlagen für den 100-Geräte-Test nur Kühlgeräte mit dem Kältemittel R12, 2 Anlagen verwendeten auch Kühlgeräte mit R134a und eine Anlage auch Kühlgeräte mit R22 und R134a.

Die Anzahl der für den Test bereitgestellten Geräte lag zwischen 145 und 104, wovon bis auf wenige Ausnahmen exakt 100 Geräte für die Berechnung der Rückgewinnungsquote berücksichtigt wurden. Die Betreiber gaben an, Geräte bei dem Test nicht zu berücksichtigen, wenn der Kältekreislauf als „drucklos“ zu bezeichnen ist. Eine Anlage gab an, dass bei einem Eigendruck unter 0,5 bar das Gerät nicht berücksichtigt wird, eine weitere bei einem Druck unter 0,2 bar. Als weitere Kriterien wurde z. B. „defekter Kältemittelkreislauf“

angegeben oder auf die Vollzugshilfe zur Entsorgung von Kühlgeräten oder -einrichtungen verwiesen. Eine Anlage machte hierzu keine Angabe.

Die Rückgewinnungsquoten laut Sachverständigenbericht lagen zwischen 99,8 % und 90,9 %. Im Mittel lag die Rückgewinnungsquote nach Sachverständigenbericht in 2019 bei 95,3%, in 2020 bei 95,4 % und in 2021 bei 95,3 %.

3.3 Auswertung von Daten zur Stufe-2-Behandlung

Laut Datenerhebung verfügen 15 von 19 Anlagen über eine Stufe-2-Behandlung, davon wurden aber im Erhebungszeitraum lediglich 14 Stufe-2-Behandlungen betrieben.

3.3.1 Anzahl und Masse der behandelten Kühlgeräte und anderer Wärmeübertrager-Geräte

In der Stufe 2 werden die Gehäuse von Kühl-/Gefriergeräten der Größenklassen¹¹ 1 bis 5, andere Wärmeübertrager-Geräte und andere Elektro- und Elektronik-Altgeräte der Größenklasse 6 sowie sonstige Abfälle, die FCKW, HFCKW, HFKW oder KW als Treibmittel im Isolationsmaterial enthalten (z. B. Isolationspaneele aus Kühlräumen), behandelt.

Die Auswertung der Jahre 2019 bis 2021 zeigt, dass jährlich etwa 130.000 bis 150.000 t Wärmeübertrager-Geräte behandelt wurden. Die Masse an behandelten sonstigen Elektro- und Elektronikaltgeräten und sonstigen Abfällen ist (unter Berücksichtigung der vorhandenen Datenlage) im Verhältnis hierzu mit 2.400 bis 4.300 t/a gering. In den 14 Anlagen wurden jährlich etwa 3,5 bis 3,9 Millionen Geräte behandelt.

Wenn nur Angaben zu Mengen einer bestimmten Gerätekategorie / sonstige Abfälle gemacht wurden und keine abweichende Gesamtmenge angegeben wurde, wurde angenommen, dass kein anderer Input behandelt wurde. Die Datenangabe des Inputs der Stufe 2 erfolgte teilweise lediglich entweder in Anzahl an Geräten oder als Masse. Nur vier Anlagen gaben für den Input sowohl Masse als auch Stückzahl an, wobei bei zwei der Anlagen vermutlich ein fester Umrechnungsfaktor von 32 kg/Stk bzw. 42 kg/Stk verwendet wird. Die Spannweite der mittleren Masse schwankt je nach Anlage und Berichtsjahr zwischen 32 bis 47 kg/Gerät, Hieraus errechnete sich eine mittlere Masse von 39 kg pro Gerät. Dieser Wert wurde zur Berechnung der fehlenden Daten verwendet.

Da der ermittelte Umrechnungsfaktor auf einer sehr gering belastbaren Datenbasis ermittelt wurde, sind die daraus folgenden Daten nur als Schätzwerte zu verstehen.

¹¹ Zur Größenklasse vgl. Kap. 3.2.4.

Die abweichenden Ergebnisse bezüglich der mittleren Masse pro Gerät, der behandelten Masse pro Jahr und der Anzahl der behandelten Geräte sind im Vergleich zur Stufe 1 jedoch grundsätzlich plausibel,

- da der Kompressor und ggf. weitere Bauteile bereits in der Stufe 1 entfernt wurden und somit die mittlere Masse pro Gerät in der Stufe 2 geringer ist,
- da bei Geräten ohne Kompressor der Kältemittelkreislauf nicht entleert und der Kompressor nicht mehr entfernt wird, und diese Geräte ggf. nicht als Input in der Stufe 1 berücksichtigt werden.

3.3.2 Anteil halogenhaltiger Geräte

Basierend auf einem Datensatz von sechs Anlagen (die jedoch weniger als die Hälfte der Menge behandeln) wurde das Verhältnis der Geräte mit halogenhaltigen bzw. halogenfreien Treibmitteln errechnet.

Tabelle 4: Anteil der behandelten Geräte mit halogenhaltigen und halogenhaltigen Triebmittel

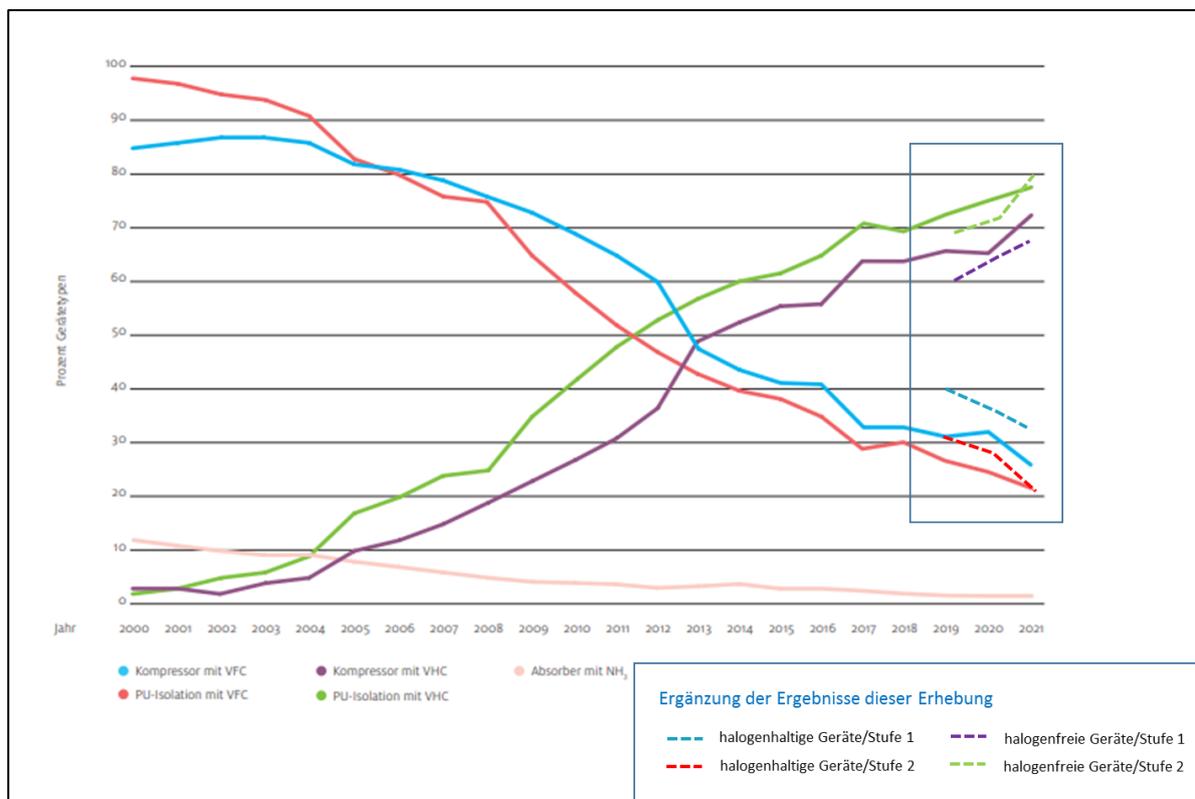
Jahr	Geräte mit halogenhaltigen Treibmittel			Geräte mit halogenfreien Treibmittel		
	Min.	Max.	Mittelwert	Min.	Max.	Mittelwert
2019	19 %	34 %	31 %	66 %	81 %	69 %
2020	14 %	30 %	28 %	70 %	84 %	72 %
2021	14 %	24 %	20 %	76 %	86 %	80 %

Die Daten zeigen, wie erwartet, einen abnehmenden Trend für Geräte mit halogenhaltigem Treibmittel.

Diese Daten sind in ihrer Größenordnung vergleichbar mit den in der folgenden Grafik dargestellten Daten, die in der Schweiz von der SENS / Swico im Fachbericht 2022¹² veröffentlicht wurden (siehe Abb. 1). Die Grafik wurde ergänzt um die Ergebnisse der vorliegenden Erhebung.

12 <https://www.erecycling.ch/wissenswertes/medien-pressematerial.html> (download 30.11.2022)

Abbildung 1: Entwicklung der auf Stufe 1 (VFC- bzw. VHC-haltige Kompressoren, ammoniak-haltige Absorbersysteme) und Stufe 2 behandelten Gerätetypen (VFC- bzw. VHC-haltige PU-Isolationsschaum) (Quelle SENS / Swico im Fachbericht 2022³), ergänzt um die Ergebnisse der vorliegenden Erhebung



3.3.3 Rückgewonnene Treibmittel

Das rückgewonnene Treibmittelgemisch setzt sich aus halogenhaltigen und halogenfreien Treibmitteln sowie ggf. Wasser zusammen. Alle 14 Anlagen haben Angaben zur zurückgewonnenen Masse an Treibmittelgemisch gemacht. Bei allen 14 Anlagen werden die halogenhaltigen und halogenfreien Treibmittel gemeinsam abgefüllt. Eine getrennte Entsorgung ist in der Praxis nicht etabliert. 13 Anlagen entsorgen das erfasste Treibmittelgemisch unter dem Abfallschlüssel 14 06 01^{*13}. Eine Anlage entsorgt die Treibmittel unter dem Abfallschlüssel 14 06 02^{*14}.

In den 14 Anlagen wurden im Zeitraum 2019 bis 2021 insgesamt jährlich zwischen 668,7 t und 723,8 t und durchschnittlich 687,1 t/a Treibmittelgemisch rückgewonnen. Alle 14 Anlagen geben an, dass die Treibmittelgemische auf ihre Zusammensetzung hinsichtlich des Anteils halogenhaltiger und halogenfreier Treibmittel analysiert werden.

Der Wassergehalt im Treibmittelgemisch wird für vier Anlagen angegeben. Er liegt zwischen 0 % und 11 %.

13 AS 14 06 01* Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW

14 AS 14 06 02* andere halogenierte Lösemittel und Lösemittelgemische

3.3.4 Rückgewinnungsquote/ Abgleich mit den Zielwerten

Der errechnete Anteil zurückgewonnener Menge Treibmittelgemisch pro Gerät sowie pro Menge Input variiert bezogen auf die Anlagen und die betrachteten Jahre sehr stark. Ein Rückschluss auf die Rückgewinnungsquote ist auf dieser Datenbasis nicht möglich. Die zurückgewonnene Menge Treibmittelgemisch hängt insbesondere entscheidend vom unterschiedlichen Input (Anteil halogenhaltiger/ halogenfreier Geräte, Verteilung auf die Geräteklassen, Anteil weiterer Abfälle) und Output (Anteil Wasser) der jeweiligen Anlage ab.

Ein Abgleich mit den Zielwerten gemäß DIN CLC-TS 50625-3-4 Nr. 4.102.3.2 für das Monitoring der zurückgewonnenen Treibmittel (90 % der erwarteten Treibmittelmasse, erwartete Treibmittelmasse: 82 g halogenhaltige Treibmittel / kg PU bzw. 38 g halogenfreie Treibmittel / kg PU) ist nicht möglich. Die erwartete Treibmittelmasse ist individuell für jede Anlage zu bestimmen und hängt neben der Anzahl der behandelten Geräte (die im Rahmen des Berichts nur grob abgeschätzt werden konnte und wenig belastbar ist, siehe Kapitel 3.3.1) insbesondere von den oben genannten Faktoren ab. Die hierfür benötigten sehr detaillierten Daten müssen in Gänze erst mit Umsetzung der TA Luft 2021 bei den Anlagen erhoben werden.

3.3.5 1.000-Geräte-Test

Im Rahmen der Datenerhebung gaben Anlagenbetreiber mehrheitlich an, einen 1.000-Geräte-Test durchgeführt zu haben (12 Anlagen für 2019, 11 Anlagen für 2020 und 10 Anlagen für 2021).

Alle Anlagen geben an, den Test bestanden zu haben. Die jeweilige Rückgewinnungsquote gemäß Sachverständigenbericht liegt zwischen 90 % und 118 %. Der Mittelwert der Rückgewinnungsquoten für Treibmittel bezogen auf 33 Tests liegt bei 96,7 %.

3.4 Auswertung von Daten zur Dichtigkeitsprüfung

Von den 19 Anlagen gaben 16 an, grundsätzlich die Vorgaben der LAI-Vollzugshilfe zur Entsorgung von Kühlgeräten oder -einrichtungen¹⁵ umzusetzen. Bei der Häufigkeit der Dichtigkeitsprüfung war festzustellen, dass

- 3 Anlagen täglich bzw. mit Inbetriebnahme,
- 8 Anlagen wöchentlich,
- 2 Anlagen 2-mal im Monat
- 6 Anlagen 1-mal im Monat

¹⁵ Vollzugshilfe zur Entsorgung von Kühlgeräten oder -einrichtungen der Bund-Länder-AG "Immissions-schutz" verabschiedete Fassung (25. März 2009)

eine Dichtigkeitsprüfung im Rahmen der Eigenüberwachung durchführen. Als hierbei üblicherweise verwandte Messmethode wurde bei 18 Anlagen ein Lecksuchgerät unterschiedlichen Typs und bei einer Anlage ein Lecksuchspray angegeben. Als mögliche Leckagestellen wurden insbesondere Schnittstellen von Aggregaten bzw. Dichtungen benannt. Die Häufigkeit von aufgetretenen Undichtigkeiten, die im Rahmen der regelmäßigen Wartung und Instandhaltung (Abdichtarbeiten/ Teiletausch) erkannt wurden, streute stark. Bei Feststellung wurden diese Mängel sofort behoben. Bei zwei Anlagen wurde bei 50 % der Prüfungen eine Undichtigkeit festgestellt, bei drei Anlagen bei 10 bis 20 %, bei vier Anlagen nur in Einzelfällen. Für zehn Anlagen liegen keine Angaben vor. Bei 17 Anlagen wurden alle betriebenen Stufen jährlich einer Dichtigkeitsprüfung durch eine zugelassene Stelle unterzogen. Bei einer Anlage erfolgte lediglich für die Stufe-2-Behandlung eine Dichtigkeitsprüfung.

4 Fazit

Emissionen von Kälte- und Treibmittel sind bei der Behandlung von FCKW-, HFCKW-, HFKW- und KW-haltigen Kühlgeräten und anderen Wärmeübertrager-Geräten zu vermeiden. Hierfür werden zum einen die Dichtigkeit der Anlagen und zum anderen die Rückgewinnung der Kälte- und Treibmittel überprüft. Hierfür ist bei der Behandlung von FCKW-, HFCKW-, HFKW- und KW-haltigen Kühlgeräten und anderen Wärmeübertrager-Geräten eine ordnungsgemäße Betriebsweise der Anlage von besonderer Bedeutung. Alle Anlagen werden im Rahmen der Eigenüberwachung regelmäßig auf Dichtigkeit überprüft werden, soweit dabei Undichtigkeiten festgestellt werden, werden diese umgehend behoben.

Hinsichtlich der Rückgewinnung der Kälte- und Treibmittel kann Folgendes festgehalten werden:

- Für eine genaue Ermittlung der im Rahmen der Behandlung von Wärmeübertrager-Geräten erfassten und entsorgten Kälte- und Treibmittel sind sehr umfangreiche Daten und Informationen erforderlich, die derzeit so nicht bei allen Anlagen vorliegen und/ oder nicht übermittelt wurden. Aus diesem Grund wird in diesem Bericht keine Auswertung der Rückgewinnung von Kälte- und Treibmittel für die verschiedenen Anlagen im Einzelnen dargestellt. Vielmehr wurde eine Gesamtbetrachtung der Behandlungsanlagen in Deutschland durchgeführt.
- Belastbare Ergebnisse über die Rückgewinnung von Kältemittel in der Stufe-1-Behandlung bei ordnungsgemäßen Betrieb liefert der 100-Geräte-Test, da dieser Test unter definierten Randbedingungen durchgeführt wird. Die Auswertung der Angaben zum 100-Geräte-Test zeigt, dass alle Anlagen eine Rückgewinnungsquote von mehr als 90 % erreichten.
- Sowohl die Angaben zum 100-Geräte-Test als auch die Betrachtung des gesamtbilanziellen Ansatzes für die Stufe-1-Behandlung lassen erkennen, dass die Erfassung

von Kältemitteln im Rahmen der Behandlung von Kühlgeräten nach dem Stand der Technik erfolgte.

- Für die Behandlung von Isolationsmaterialien aus Wärmeübertrager-Geräten (Stufe-2-Behandlung) ist zu erkennen, dass alle Anlagen über entsprechende Einrichtungen zur Erfassung von klimaschädlichen Treibmitteln verfügen und dadurch nennenswerte Mengen an Treibmitteln erfasst und rückgewonnen werden.