

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Emissionsminderung
Behandlungsanlagen für Kühlgeräte
und andere Wärmeübertragergeräte

Emission control
Treatment plants for refrigerators and
other temperature exchanger equipment

VDI 2292

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The draft of this standard has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite
Vorbemerkung.....	3
Einleitung.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Begriffe.....	5
3 Abkürzungen.....	12
4 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	13
4.1 Abfallrechtliche Vorschriften.....	14
4.2 Immissionsschutzrechtliche Vorschriften.....	22
4.3 Wasserschutzrechtliche Vorschriften.....	25
4.4 Bodenschutzrechtliche Vorschriften.....	26
4.5 Anlagensicherheitsrechtliche Vorschriften.....	26
4.6 Arbeitsschutzrechtliche Bestimmungen.....	27
4.7 Stoffrechtliche Vorschriften.....	28
5 Grundlagen zu den betrachteten Wärmeübertragergeräten und sonstigen Abfällen.....	29
5.1 Arten der Wärmeübertragergeräte.....	29
5.2 Schadstoffe, Wertstoffe und Bauteile.....	42
5.3 Sonstige Abfälle zur Behandlung.....	48
6 Technologie.....	49
6.1 Überblick über den grundsätzlichen Prozessablauf.....	49
6.2 Anlieferung, Annahme, Abladen, Sortierung und innerbetrieblicher Transport.....	49
6.3 Lagerung der Wärmeübertragergeräte.....	51
6.4 Behandlung in Stufe 1.....	51
6.5 Behandlung in Stufe 2.....	63
6.6 Konditionierung der verflüssigten Kälte- und Treibmittel.....	73
6.7 Behandlung in Stufe 3.....	74
6.8 Lagerung der Outputfraktionen.....	77
7 Relevante Emissionen in die Luft und Maßnahmen zu deren Vermeidung oder Minimierung.....	84
7.1 Allgemeines.....	84
7.2 Erfassung, Anlieferung, Annahme, Abladen, Sortierung und innerbetrieblicher Transport.....	84
7.3 Lagerung des Inputs.....	88
7.4 Behandlung in der Stufe 1.....	90

Contents	Page
Preliminary note.....	3
Introduction.....	3
1 Scope.....	4
2 Terms and definitions.....	5
3 Abbreviations.....	12
4 Legal framework.....	13
4.1 Waste regulations.....	14
4.2 Immission control regulations.....	22
4.3 Water protection regulations.....	25
4.4 Soil protection regulations.....	26
4.5 Plant safety regulations.....	26
4.6 Occupational health and safety regulations.....	27
4.7 Substance regulations.....	28
5 Basics of the temperature exchanger equipment and other waste analysed.....	29
5.1 Types of temperature exchanger equipment.....	29
5.2 Pollutants, recyclable materials, and components.....	42
5.3 Other waste for treatment.....	48
6 Technology.....	49
6.1 Overview of the basic process flow.....	49
6.2 Delivery, acceptance, unloading, sorting, and in-house transport.....	49
6.3 Storage of the temperature exchanger equipment.....	51
6.4 Treatment in step 1.....	51
6.5 Treatment in step 2.....	63
6.6 Conditioning of the liquefied refrigerants and blowing agents.....	73
6.7 Treatment in step 3.....	74
6.8 Storage of the output fractions.....	77
7 Relevant emissions to air and measures to avoid or minimise them.....	84
7.1 General information.....	84
7.2 Collection, delivery, acceptance, unloading, sorting, and in-house transport.....	84
7.3 Storage of the input.....	88
7.4 Treatment in step 1.....	90

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss
Fachbereich Umweltschutztechnik

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3: Emissionsminderung II
VDI-Handbuch Ressourcenmanagement in der Umwelttechnik

Inhalt	Seite
7.5	94
7.6	98
7.7	100
7.8	101
7.9	104
8	
8.1	112
8.2	114
8.3	115
9	
9.1	115
9.2	119
9.3	119
9.4	120
10	
10.1	121
10.2	122
10.3	122
10.4	123
10.5	123
10.6	124
10.7	125
10.8	125
11	
11.1	127
11.2	130
12	
12.1	135
12.2	137
12.3	139
12.4	141
12.5	143
Anhang A	154
Anhang B	160
Schrifttum	180
Benennungsindex englisch–deutsch	187

Contents	Page
7.5	94
7.6	98
7.7	100
7.8	101
7.9	104
8	
8.1	112
8.2	114
8.3	115
9	
9.1	115
9.2	119
9.3	119
9.4	120
10	
10.1	121
10.2	122
10.3	122
10.4	123
10.5	123
10.6	124
10.7	125
10.8	125
11	
11.1	127
11.2	130
12	
12.1	135
12.2	137
12.3	139
12.4	141
12.5	143
Annex A	154
Annex B	160
Bibliography	180
Term index English–German	187

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Weitere aktuelle Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2292.

Einleitung

Bei der Produktion von Kühlgeräten wurden bis in die 1990er-Jahre in der Regel die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) R12 als Kältemittel für den Kältemittelkreislauf und R11 (in geringen Mengen auch R12) als Treibmittel für das Isolationsmaterial (meist PUR-Schaum) verwendet. Diese Kälte- und Treibmittel haben aufgrund ihrer Chlorbestandteile ein hohes ozonschichtschädigendes Potenzial (ODP). Deshalb wurde der Einsatz dieser Stoffe für die Produktion von Kühlgeräten in Deutschland zum 01. Januar 1995 durch die FCKWHalonVerbV¹⁾ verboten. Während einer Übergangszeit wurden zunächst teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (H-FKW, z.B. R134a oder R141b) eingesetzt. Diese chlorfreien Kälte- und Treibmittel verfügen allerdings, wie die chlorhaltigen Kälte- und Treibmittel, über sehr hohe Treibhauspotenziale (GWP).

Die heute bei der Produktion von Kühlgeräten eingesetzten halogenfreien Kohlenwasserstoffe (z.B. R600a als Kältemittel im Kältemittelkreislauf und Pentane im Isolationsmaterial) tragen nicht mehr zum Abbau der Ozonschicht bei und haben auch ein geringes Treibhauspotenzial. Jedoch sind diese Kohlenwasserstoffe Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon. Zudem geht von ihnen eine Brand- und Explosionsgefahr aus.

Außer in Kühlgeräten wurden auch in anderen Wärmeübertragergeräten (siehe Abschnitt 5.1) halogenhaltige Kälte- und Treibmittel eingesetzt.

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Further current information is available on the Internet at www.vdi.de/2292.

Introduction

Until the 1990s, chlorofluorocarbons (CFCs) were generally used in the production of refrigerators, R12 as refrigerants for the refrigerant circuit and R11 (in small quantities also R12) as blowing agents for the insulation material (usually PUR foam). These refrigerants and blowing agents have a high ozone depleting potential (ODP) due to their chlorine components. For this reason, the use of these substances for the production of refrigerators was banned in Germany on 01 January 1995 by the FCKWHalonVerbV¹⁾. During a transitional period, partially fluorinated hydrocarbons (HFCs, e.g., R134a or R141b) were initially used. However, like chlorinated refrigerants and blowing agents, these chlorine-free refrigerants and blowing agents have very high global warming potentials (GWP).

The halogen-free hydrocarbons used today in the production of refrigerators (e.g., R600a as a refrigerant in the refrigerant circuit and pentanes in the insulation material) no longer contribute to the depletion of the ozone layer and also have a low global warming potential. However, these hydrocarbons are precursors for the formation of ground-level ozone. They also pose a fire and explosion hazard.

In addition to refrigerators, halogenated refrigerants and blowing agents were also used in other temperature exchanger equipment (see Section 5.1).

¹⁾ Die FCKWHalonVerbV wurde im Jahr 2006 durch die Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 ersetzt, die im Jahr 2024 wiederum durch die Verordnung (EU) 2024/590 ersetzt wurde. National wurde die FCKWHalonVerbV durch die ChemOzonSchichtV ersetzt. / The FCKWHalonVerbV (German CFC and Halon Prohibition Ordinance) was replaced in 2006 by Regulation (EC) No. 1005/2009, which in turn was replaced by Regulation (EU) 2024/590 in 2024. Nationally, the CFCHalonVerbV has been replaced by the ChemOzonSchichtV.

Aufgrund der langen Gebrauchsdauer der Kühlgeräte und anderer Wärmeübertragergeräte fallen noch erhebliche Mengen an Wärmeübertragergeräten mit halogenhaltigen Kälte- und Treibmitteln zur Entsorgung an. Außerdem werden auch heute noch Wärmeübertragergeräte (z.B. Wärmepumpentrockner, Klimageräte, Wärmepumpen) hergestellt, die H-FKWs (z.B. R32, R134a, R407c) enthalten.

Das oberste Ziel bei der Entsorgung von Wärmeübertragergeräten ist die kontrollierte Ausschleusung und ordnungsgemäße Entsorgung dieser umweltschädlichen Stoffe (Ozonschichtzerstörung, Treibhauseffekt) und somit die Vermeidung von deren Freisetzung.

Gemäß den Angaben des Statistischen Bundesamts aus dem Jahr 2025 (siehe [1]) wurden im Jahr 2023 ca. 165 000 Tonnen Geräte der Kategorie 1 gemäß ElektroG gesammelt und behandelt. Davon wurden ca. 137 000 Tonnen recycelt, was einer Recyclingquote von über 82 % entspricht.

Anmerkung: Neben den in dieser Richtlinie behandelten Wärmeübertragergeräten (siehe Abschnitt 5.1) beinhaltet die Kategorie 1 gemäß ElektroG weitere Geräte (z.B. auch Ölradiatoren).

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie beschreibt den Stand der Technik von Anlagen zur Behandlung von Wärmeübertragergeräten einschließlich der zugehörigen Nebeneinrichtungen zum Umschlag und zur zeitweiligen Lagerung. Sie beschreibt insbesondere Maßnahmen und Einrichtungen zur Minderung von Emissionen bei Behandlung, Lagerung und Umschlag.

Anmerkung 1: Zu den hier betrachteten Wärmeübertragergeräten gehören u.a. Kühlgeräte, Gefriergeräte, Geräte zur automatischen Abgabe von Kaltprodukten, Klimageräte, Entfeuchter, Wärmepumpen, Wärmepumpentrockner und sonstige Wärmeübertragergeräte, bei denen andere Flüssigkeiten als Wasser für die Wärmeübertragung verwendet werden, sowie Kühl-/Gefriergeräte mit thermoelektrischer Kältemaschine, bei denen für die Isolation halogenhaltige und/oder KW-haltige Treibmittel eingesetzt werden. Sie können aus privaten Haushalten oder von anderen Nutzern als privaten Haushalte (im Sinne des ElektroG) stammen.

Nicht in den Anwendungsbereich dieser Richtlinie fallen:

- Behandlung, Lagerung und Umschlag von Wärmeübertragergeräten, die Wasser, wasserfreies Ammoniak oder CO₂ als Kältemittel und zusätzlich keine Isolationsmaterialien, die mit halogenhaltigem und/oder KW-haltigem Treibmittel geschäumt wurden, enthalten
- ölgefüllte Radiatoren

Due to the long service life of refrigerators and other temperature exchanger equipment, considerable quantities of temperature exchanger equipment containing halogenated refrigerants and blowing agents still accumulate for disposal. In addition, temperature exchanger equipment (e.g., heat pump dryers, air-conditioning appliances, heat pumps) containing HFCs (e.g., R32, R134a, R407c) are still being manufactured today.

The primary goal in the disposal of temperature exchanger equipment is to ensure the controlled removal and proper disposal of these environmentally critical substances (ozone layer destruction, greenhouse effect) and thus avoid their release.

According to the Federal Statistical Office of Germany from 2025 (see [1]), around 165 000 tonnes of category 1 equipment according to ElektroG (German Electrical and Electronic Equipment Act) were collected and treated in 2023. Of this, around 137 000 tonnes were recycled, which corresponds to a recycling rate of over 82 %.

Note: In addition to the temperature exchanger equipment dealt with in this standard (see Section 5.1), category 1 according to ElektroG includes other devices (e.g., also oil radiators).

1 Scope

The standard describes the state of the art of systems for the treatment of temperature exchanger equipment, including the associated ancillary equipment for handling and temporary storage. In particular, it describes measures and equipment for reducing emissions during treatment, storage, and handling.

Note 1: The temperature exchanger equipment considered here include refrigerators, freezers, devices for the automatic dispensing of cold products, air-conditioning appliances, dehumidifiers, heat pumps, heat pump dryers, and other temperature exchanger equipment in which liquids other than water are used for heat transfer, as well as cooling/freezing appliances with thermoelectric refrigeration machines in which halogenated and/or hydrocarbon-containing blowing agents are used for insulation. They may originate from private households or from users other than private households (within the meaning of the ElektroG).

The following are not covered by the scope of this standard:

- handling, storage, and transshipment of temperature exchanger equipment containing water, anhydrous ammonia, or CO₂ as refrigerant and additionally no insulation materials foamed with halogenated and/or hydrocarbon-containing blowing agents
- oil-filled radiators

- in Transportkälte- und Tiefkühlfahrzeugen festinstallierte Kälteanlagen (sogenannte „mobile Kälteanlagen“)

Anmerkung 2: Wärmeübertragergeräte, wie Kühl-/Gefriergeräte, Klimaanlage, gelten in der Regel als „ortsfest“, da sie während des Betriebs im Normalfall nicht in Bewegung sind (siehe Artikel 3 Absatz 20 der Verordnung (EU) 2024/573). Kälteanlagen in Tiefkühlfahrzeugen gelten dagegen als „mobile Anlagen“, auch wenn sie in dem Fahrzeug fest installiert sind, da sie während des Betriebs im Normalfall in Bewegung sind (siehe Artikel 3 Absatz 21 der Verordnung (EU) 2024/573).

- ortsfeste Großanlagen

Anmerkung 3: Die VDI-Richtlinie gilt jedoch für Geräte, die nicht speziell als Teil einer ortsfesten Großanlage konzipiert und darin eingebaut sind.

Bei der Behandlung dieser Geräte und Anlagen sollten die grundsätzlichen Anforderungen dieser VDI-Richtlinie trotzdem berücksichtigt werden.

Die Erfassung der Wärmeübertragergeräte ist grundsätzlich nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Die ordnungsgemäße Erfassung (also Sammlung und Rücknahme) ist jedoch eine Grundvoraussetzung für die ordnungsgemäße Behandlung von Wärmeübertragergeräten. In Tabelle 8 in Abschnitt 7.2 werden deshalb auch bezüglich der Erfassung wesentliche Ursachen für mögliche Emissionen sowie allgemeine, präventive und akute Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung dieser Emissionen aufgeführt.

Es wird empfohlen, auch andere Abfälle (siehe Abschnitt 5.3), die halogenhaltige Treibmittel enthalten können (z.B. Isolationspaneele, Kühlboxen, Warmwasserspeicher), in den betrachteten Anlagen zu behandeln.

Anmerkung: Dabei sind die Vorgaben bezüglich bromierter Flammschutzmittel gemäß Verordnung (EU) 2019/1021 (POP-Verordnung) und POP-Abfall-ÜberwV zu beachten.

Die Richtlinie wendet sich insbesondere an Planer, Hersteller und Betreiber solcher Anlagen sowie Sachverständige, Prüfinstitute und Behörden.

Anmerkung: Zur besseren Lesbarkeit wird für alle im Sinne des Anwendungsbereichs zu behandelnde Abfälle der Sammelbegriff „Input“ verwendet. Als Sammelbegriff für alle betrachteten Gerätetypen wird der Begriff „Wärmeübertragergerät“ verwendet.

- refrigeration systems permanently installed in transport refrigeration and deep-freeze vehicles (so-called “mobile refrigeration systems”)

Note 2: Temperature exchanger equipment such as cooling/freezing appliances, air-conditioning systems are generally considered to be “stationary” as they are not normally in motion during operation (see Article 3. Para. 20 of Regulation (EU) 2024/573). In contrast, refrigeration systems in refrigerated vehicles are considered “mobile systems”, even if they are permanently installed in the vehicle, as they are normally in motion during operation (see Article 3 Para. 21 of Regulation (EU) 2024/573).

- large-scale fixed installations

Note 3: However, the VDI Standard applies to equipment that are not specifically designed and installed as part of a large fixed installation.

Nevertheless, the basic requirements of this VDI Standard should be taken into account when handling these installations and equipment.

The collection of temperature exchanger equipment is not covered by this standard. Proper collection (i.e., collection and return) is, however, a basic prerequisite for the proper treatment of temperature exchanger equipment. Table 8 in Section 7.2 therefore lists the main causes of possible emissions as well as general, preventive, and acute measures to avoid or minimise these emissions.

It is recommended that other wastes (see Section 5.3) that may contain halogenated blowing agents (e.g., insulation panels, cool boxes, hot water boilers) are also treated in the facilities under consideration.

Note: The requirements regarding brominated flame retardants in accordance with Regulation (EU) 2019/1021 (POP Regulation) and the German POP Waste Monitoring Regulation (POP-Abfall-ÜberwV) shall be observed.

The standard is aimed in particular at planners, manufacturers, and operators of such systems as well as experts, testing institutes, and authorities.

Note: For better readability, the collective term “input” is used for all waste to be treated within the meaning of the scope. The term “temperature exchanger equipment” is used as a collective term for all device types considered.