

TEXTE

02/2021

# Inventarermittlung der F-Gase 2017/2018

Daten von HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PFPME für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2017 und 2018



TEXTE 02/2021

Projektnummer 108094

FB000298/ANH

## **Inventarermittlung der F-Gase 2017/2018**

Daten von HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PPFMIE für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2017 und 2018

von

Kristina Warncke, Steffi Osterheld, Barbara Gschrey  
Öko-Recherche, Frankfurt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Durchführung der Studie:

Öko-Recherche  
Münchener Str. 23  
60329 Frankfurt

### Abschlussdatum:

November 2019

### Redaktion:

Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen  
Kerstin Martens

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Inventarermittlung der F-Gase 2017/2018**

Der Bericht präsentiert die Emissionsdaten der fluorierten Treibhausgase HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PPFMIE (F-Gase) für die Jahre 1995-2018 für Deutschland.

Seit 2005 bewegen sich die Emissionen fluorierter Treibhausgase (F-Gase) auf relativ konstantem Niveau. Der seit 2010 stattfindende leichte Anstieg der Emissionen war im Jahr 2018 erstmals rückläufig und sank auf 6.239 t, ausgedrückt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten 15,1 Mio. t. Damit machen sie etwa 2 % an den Gesamtemissionen aller Treibhausgase in Deutschland aus, die 2018 bei etwa 870 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten lagen.

Der Bericht ist seit dem Berichtsjahr 2015 nicht mehr nach Stoffgruppen unterteilt wie in den vorherigen Jahren, sondern richtet sich nach der Strukturierung des Nationalen Inventarberichts (NIR). In diesem alle Treibhausgase umfassenden Bericht werden die fluorierten Treibhausgase in den Sektor-Abschnitten 2.B, 2.C, 2.E, 2.F, 2.G und 2.H behandelt. Sektor 2.B befasst sich unter 2.B.9 mit den Emissionen aus der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub>. Das folgende Kapitel 2.C behandelt die Metallproduktion. Hier werden unter 2.C.3 und 2.C.4 die Emissionen aus der Aluminium- und Magnesiumproduktion aufgeführt. Der Sektor 2.E beinhaltet die Emissionen aus der Elektronik-Industrie, der folgende Sektor 2.F diejenigen aus Anwendungen als ODS-Ersatz und der Sektor 2.G die „Sonstige Produktherstellung und –verwendung“. Unter dem Abschnitt 2.H werden vertrauliche Emissionen verschiedener Sektoren<sup>1</sup> aggregiert berichtet. Außerdem gibt es Informationen zu freiwillig berichteten fluorierten Treibhausgasen.

### **Abstract: Inventory of F-Gases 2017/2018**

This report presents the 1995-2018 data on the German emissions of fluorinated greenhouse gases H(C)FCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE, and PPFMIE (F-gases).

Since 2005, F-gas emissions have been relatively steady. The slight increase in emissions that has occurred since 2010 stopped for the first time in 2018 and fell emissions decreased to 6,239 t, expressed in CO<sub>2</sub> equivalents 15.1 million t. They thus make up around 2% of the total emissions of all greenhouse gases in Germany, which in 2018 were around 870 million t CO<sub>2</sub> equivalents.

Since the reporting year 2015, this report has a different structure which is not divided into groups of elements anymore but follows the structure of the National Inventory Report (NIR). The NIR contains detailed descriptive and numerical information on all greenhouse gas (GHG) emissions. Information about fluorinated greenhouse gases is located in the following sections: 2.B, 2.C, 2.E, 2.F, 2.G and 2.H. Chapter 2.B illustrates under 2.B.9 the emissions of the production of halogenated hydrocarbons and SF<sub>6</sub>. The following chapter 2.C covers the production of metal and is giving detailed information on emissions of the production of aluminium and magnesium in the sub section 2.C.3 and 2.C.4. Chapter 2.E includes emissions of the electronic industry, the following chapter 2.F those from applications used as ODS alternatives and the chapter 2.G “Other product manufacture and use”. Confidential emissions of different sectors are reported in aggregated form in chapter 2.H<sup>2</sup> and also information on voluntarily reported fluorinated greenhouse gases.

---

<sup>1</sup> Darunter fallen die Emissionen aus der Verwendung als Lösemittel (2.F.5), aus der AWACS-Wartung (2.G.2.a), aus Sportschuhen (2.G.2.d), beim Schweißen (2.G.2.e), bei der Herstellung optischer Glasfasern (2.G.2.e) und von Perfluorodecalin in medizinischen und kosmetischen Anwendungen (2.G.2.e).

<sup>2</sup> This includes emissions from the use as solvents (2.F.5), from AWACS maintenance (2.G.2.a), from sport shoes (2.G.2.d), from welding (2.G.2.e), from optical fibre production (2.G.2.e) and of perfluorodecalin in medical and cosmetic applications (2.G.2.e).

## Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildungsverzeichnis .....   | 9  |
| Tabellenverzeichnis .....   | 9  |
| Abkürzungsverzeichnis .....   | 11 |
| Zusammenfassung .....   | 13 |
| Summary .....   | 15 |
| 1 Die F-Gas-Emissionen von 1995 bis 2018 .....  | 17 |
| 1.1 Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2.B.9) 20                            |    |
| 1.1.1 By-Product Emissionen (2.B.9.a) .....   | 20 |
| 1.1.2 Herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b) .....   | 20 |
| 1.2 Metallproduktion (2.C) .....  | 21 |
| 1.2.1 Aluminiumproduktion (2.C.3) .....   | 21 |
| 1.2.2 Magnesiumproduktion (2.C.4) .....   | 22 |
| 1.3 Elektronik-Industrie (2.E) .....  | 23 |
| 1.3.1 Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1) .....  | 24 |
| 1.3.2 Photovoltaik-Industrie (2.E.3) .....  | 25 |
| 1.3.3 Wärmeüberträger (2.E.4) .....   | 26 |
| 1.4 Anwendungen als ODS-Ersatzstoffe (2.F) .....  | 27 |
| 1.4.1 Kälte- und Klimaanlage (2.F.1) .....  | 28 |
| 1.4.1.1 Stationäre Kälteanlagen: Gewerbekälte (2.F.1.a), Haushaltskälte (2.F.1.b), Industriekälte (2.F.1.c) .....                   | 30 |
| 1.4.1.2 Mobile Klima- und Kälteanlagen: Transportkälte (Kühlfahrzeuge und -container) (2.F.1.d), Mobile Klimaanlage (2.F.1.e) ..... | 31 |
| 1.4.1.3 Stationäre Klimaanlage (2.F.1.f) .....  | 33 |
| 1.4.2 Schaumherstellung (2.F.2) .....   | 34 |
| 1.4.2.1 PU Hartschaum .....   | 34 |
| 1.4.2.2 XPS .....   | 35 |
| 1.4.2.3 PU Integralschaum .....   | 35 |
| 1.4.2.4 PU Montageschaum .....  | 36 |
| 1.4.3 Feuerlöschmittel (2.F.3) .....  | 36 |
| 1.4.4 Aerosole (2.F.4) .....  | 36 |
| 1.4.4.1 Dosieraerosole .....  | 36 |
| 1.4.4.2 Sonstige Aerosole .....   | 37 |
| 1.4.5 Lösemittel (2.F.5) .....  | 37 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.5     | Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G).....  | 38 |
| 1.5.1   | Elektrische Betriebsmittel (2.G.1) .....  | 40 |
| 1.5.1.1 | Elektrische Anlagen der Energieübertragung und -verteilung .....  | 40 |
| 1.5.1.2 | Produktion elektrischer Bauteile für die Energieübertragung (T&D Bauteile) .....                              | 41 |
| 1.5.2   | SF <sub>6</sub> und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2) .....   | 41 |
| 1.5.2.1 | Militär - AWACS (2.G.2.a).....  | 41 |
| 1.5.2.2 | Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b) .....   | 41 |
| 1.5.2.3 | Isolierglasfenster (2.G.2.c) .....  | 41 |
| 1.5.2.4 | Adiabatische Anwendungen – Autoreifen und Sportschuhe (2.G.2.d).....  | 41 |
| 1.5.2.5 | Sonstige: Spurengas, Schweißen, optische Glasfasern, medizinische und kosmetische Anwendungen (2.G.2.e) ..... | 42 |
| 1.5.3   | ORC-Anlagen (2.G.4) .....   | 43 |
| 1.6     | Andere Bereiche (2.H.3).....  | 43 |
| 2       | Inventarverbesserung.....   | 45 |
| 2.1     | Emissionsfaktor für HFKW-134a als Schutzgas in Magnesiumgießereien .....                                      | 45 |
| 2.2     | Steckerfertige Geräte und Verflüssigungssätze in der Gewerbekälte .....                                       | 46 |
| 2.3     | uHFKW-1234yf in Klimaanlage kleiner Nutzfahrzeuge (2.F.1.e) .....   | 47 |
| 2.4     | Erfassung des Kältemittels bei der Fahrzeugzulassung.....   | 49 |
| 2.5     | uHFKW-1233zd als mögliches Kältemittel in Kaltwassersätzen.....   | 49 |
| 2.5.1   | uHFKW-1233zd als Treibmittel in Schaum.....   | 50 |
| 2.5.2   | Anwendung von CF <sub>3</sub> I – R131I als Kältemittel .....   | 51 |
| 2.6     | Warmwasserwärmepumpen mit R744 .....  | 51 |
| 2.7     | Selbstverpflichtung zu SF <sub>6</sub> als Isolier- und Löschgas .....  | 52 |
| 2.7.1   | Hintergrund.....  | 52 |
| 2.7.2   | Zukünftige Inventarerhebung der elektrischen Betriebsmittel .....   | 53 |
| 2.7.2.1 | Generelle Datenerhebung .....   | 53 |
| 2.7.2.2 | Alternative Datenquellen.....   | 54 |
| 2.7.2.3 | Emissionen aus „sonstigen“ Anwendungen .....  | 54 |
| 2.7.2.4 | Nachnutzungsphase .....   | 55 |
| 2.7.2.5 | Laufende Forschungsarbeiten .....   | 56 |
| 3       | Fluorierte Treibhausgase für die freiwillige Berichterstattung .....  | 57 |
| 3.1     | Ungesättigte teilfluorierte Kohlenwasserstoffe.....   | 57 |
| 3.2     | Hydrofluorierte Ether (HFE) .....   | 59 |
| 3.2.1   | HFE in der Industrie.....   | 59 |
| 3.2.2   | HFE als Narkosegase in der Medizin .....  | 61 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.3   | Perfluorierte Polyether (PFPE) .....  | 63  |
| 3.3.1 | GWP von PFPEs .....   | 63  |
| 3.3.2 | Verwendung in ORC-Anlagen.....  | 63  |
| 3.3.3 | Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie.....   | 63  |
| 3.3.4 | Dampfphasen-Reflowlötten von Leiterplatten .....  | 64  |
| 3.3.5 | Lösemittel in Schmierstoffen .....  | 64  |
| 3.3.6 | Zusammenfassung der PFPE-Emissionen in Deutschland.....   | 64  |
| 3.4   | Trifluormethylschwefelpentafluorid (SF <sub>5</sub> CF <sub>3</sub> ) .....                       | 65  |
| 3.5   | Weitere fluorierte Treibhausgase .....  | 65  |
| 3.6   | Die zusätzlichen F-Gase für die freiwillige Berichterstattung .....                               | 66  |
| 4     | Quellenverzeichnis .....  | 67  |
| 4.1   | F-Gas-Emissionen .....  | 67  |
| 4.2   | Inventarverbesserungen .....  | 77  |
| 4.3   | Fluorierte Treibhausgase für die freiwillige Berichterstattung.....                               | 79  |
|       | Monografien .....   | 81  |
|       | Tagungsbeiträge .....   | 81  |
|       | Internetadressen .....  | 81  |
| 5     | Emissionstabellen für 2018 im Vergleich mit 1990, 2000, 2005, 2010 und 2015-2018.....             | 82  |
| 5.1   | Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2.B.9) | 82  |
| 5.2   | Metallproduktion (2.C).....   | 83  |
| 5.3   | Elektronikindustrie (2.E).....  | 84  |
| 5.4   | Anwendung als ODS-Ersatzstoff (2.F).....  | 86  |
| 5.5   | Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G).....  | 99  |
| 5.6   | Vertrauliche Daten (2.H.3) .....  | 102 |
| 5.7   | Fluorierte Treibhausgase für die freiwillige Berichterstattung.....                               | 103 |
| 5.8   | Gesamtemissionen.....   | 104 |



## Abbildungsverzeichnis

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1: | Emissionen fluoriertes Treibhausgase in Deutschland [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1995-2018 .....   | 18 |
| Abbildung 2: | Anteile der klimawirksamen Emissionen bezogen auf CO <sub>2</sub> -Äquivalente nach Sektoren in Deutschland 2018 (%).....                                   | 19 |
| Abbildung 3: | Anteile der verschiedenen Sektoren an den HFKW-Emissionen bezogen auf Tonnen in Deutschland 2018 (%).....   | 28 |
| Abbildung 4: | Anteile der Emissionen bezogen auf Tonnen der verschiedenen Subsektoren im Sektor Kälte- und Klimaanlage in Deutschland 2018 (%).....                       | 29 |
| Abbildung 5: | Anteile der Emissionen bezogen auf CO <sub>2</sub> -Äquivalente der verschiedenen Subsektoren im Sektor Kälte- und Klimaanlage in Deutschland 2018 (%)..... | 29 |
| Abbildung 6: | Anteile der klimawirksamen Emissionen bezogen auf CO <sub>2</sub> -Äquivalente des Sektors 2.G und 2.H.3 in Deutschland 2018 (%) .....                      | 40 |

## Tabellenverzeichnis

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabelle 1:  | Emissionen fluoriertes Treibhausgase [t] 1995-2018 .....  | 17 |
| Tabelle 2:  | Emissionen fluoriertes Treibhausgase [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1995-2018 .....  | 17 |
| Tabelle 3:  | Emissionen bei der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> [t] 1995-2018 .....                                   | 20 |
| Tabelle 4:  | Emissionen bei der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1995-2018 ..... | 20 |
| Tabelle 5:  | Emissionen aus der Metallproduktion [t] 1995-2018.....  | 21 |
| Tabelle 6:  | Emissionen aus der Metallproduktion [kt CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1995-2018 .....   | 21 |
| Tabelle 7:  | Emissionen in der Elektronik-Industrie [t] 1995-2018.....   | 23 |
| Tabelle 8:  | Emissionen in der Elektronik-Industrie [kt CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1995-2018 .....  | 24 |
| Tabelle 9:  | HFKW-Emissionen [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1995-2018.....  | 27 |
| Tabelle 10: | SF <sub>6</sub> -Emissionen und vertrauliche Emissionen (2.H.3) [t] 1995-2018 .....   | 38 |
| Tabelle 11: | SF <sub>6</sub> -Emissionen und vertrauliche Emissionen (2.H.3) [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1995-2018 .....                         | 39 |
| Tabelle 12: | Emissionen durch den Einsatz des Kältemittels R1234yf .....   | 48 |
| Tabelle 13: | Emissionen ungesättigter HFKW in Tonnen und kt CO <sub>2</sub> -Äquivalenten 2012-2018.....   | 58 |
| Tabelle 14: | Emissionen von HFE (-7100, -7200, -7300, -7500) aus offenen industriellen Anwendungen [kt CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 2000-2018 .....       | 60 |
| Tabelle 15: | Wärmeübertragung: HFE-Emissionen in der Halbleiter- und sonstigen Industrie [kt CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 2000-2018 .....                 | 60 |
| Tabelle 16: | Chemische und ökologische Kenndaten der fünf halogenierten Narkosegase.....   | 61 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabelle 17: | Emissionen der halogenierten Narkosegase in Deutschland 1990-2018 unter Einbeziehung ihrer Metabolisierungsraten (Schätzung in t) .....   | 62 |
| Tabelle 18: | Emissionen der halogenierten Narkosegase in Deutschland 1990-2018 (Schätzung in t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten) – ohne Halothan.....   | 62 |
| Tabelle 19: | PFPE-Emissionen aus Wärmeübertragung, Dampfphasen-Reflowlötten, Schmierstoffen und ORC-Anlagen 1990-2018 in Tonnen und kt CO <sub>2</sub> -Äquivalenten .....   | 64 |
| Tabelle 20: | Emissionen der drei stickstoffhaltigen fluorierten Treibhausgase C <sub>9</sub> F <sub>21</sub> N, C <sub>5</sub> F <sub>11</sub> NO und C <sub>12</sub> F <sub>27</sub> N [kt CO <sub>2</sub> -Äquivalente] 1990-2018..... | 65 |
| Tabelle 21: | Emissionen der vom Umweltbundesamt freiwillig berichteten zusätzlichen F-Gase nach Stoffen im Jahr 2018 in kt CO <sub>2</sub> -Äquivalenten .....   | 66 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| a                             | Jahr   |
| AC                            | Air Conditioning (Klimatisierung)  |
| AR4                           | Fourth IPCC Assessment Report (4. IPCC Sachstandsbericht)                |
| ATA                           | Air Transport Association  |
| AWACS                         | Airborne Early Warning and Control System                                |
| BImSchV                       | Bundes-Immissionsschutzverordnung  |
| BMU                           | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit        |
| CF <sub>4</sub>               | Tetrafluormethan   |
| C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> | Hexafluorethan   |
| ChemKlimaschutzV              | Chemikalien-Klimaschutzverordnung  |
| CVD                           | Chemical Vapour Deposition   |
| ECS                           | Environmental Control System   |
| EF                            | Emissionsfaktor  |
| F-Gase                        | Fluorierte Treibhausgase   |
| F-Gase-Verordnung             | Verordnung (EU) Nr. 517/2015 über fluorierte Treibhausgase               |
| FKW                           | Vollhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe                                 |
| FCKW                          | Vollhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe                            |
| GIL                           | Gasisolierte Leitungen   |
| GWP                           | Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)                            |
| HFCKW                         | Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe                            |
| HFE                           | Hydrofluorether  |
| HFKW                          | Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe                                 |
| HFO                           | Hydrofluor-Olefine (ungesättigte HFKW)                                   |
| IPCC                          | Intergovernmental Panel on Climate Change                                |
| IPCC-GL                       | Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines (IPCC-Richtlinien)  |
| kt                            | Kilotonne  |
| MAC                           | Mobile Air Conditioning  |
| MAC-Richtlinie                | Richtlinie 2006/40/EG über Emissionen aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen |
| Mio.                          | Millionen  |
| NF <sub>3</sub>               | Stickstofftrifluorid   |
| ODP                           | Ozone Depleting Potential (Ozonzerstörungspotenzial)                     |
| ODS                           | Ozone Depleting Substances (ozonzerstörende Substanzen)                  |
| ORC                           | Organic Rankine Cycle (Organischer Rankine-Zyklus)                       |
| PFPE                          | Perfluorpolyether  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| PFPME           | Perfluorpolymethylisopropylether                                 |
| PFTBA           | Perfluortributylamin   |
| PU              | Polyurethan  |
| PV-Industrie    | Photovoltaik-Industrie   |
| RAC             | Refrigeration and Air Conditioning                               |
| SAR             | Second IPCC Assessment Report (2. IPCC Sachstandsbericht)        |
| SF <sub>6</sub> | Schwefelhexafluorid  |
| SV              | Selbstverpflichtung  |
| t               | Tonne  |
| T&D             | Transmission and Distribution (of electric power)                |
| TEAP            | Technology and Economic Assessment Panel                         |
| UBA             | Umweltbundesamt  |
| uHFKW           | Ungesättigte teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe            |
| UNFCCC          | United Nations Framework Convention on Climate Change            |
| UNEP            | United Nations Environment Programme                             |
| UStatG          | Umweltstatistikgesetz  |
| VRF             | Variable Refrigerant Flow (variabel geregelter Kältemittelfluss) |
| WP              | Wärmepumpe   |
| XPS             | Extrudiertes Polystyrol  |
| ZVEI            | Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.      |

## Zusammenfassung

Als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate and Climate Change (UNFCCC)) ist die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, jährlich Emissionsdaten von Treibhausgasen und die zu ihrer Berechnung verwendeten Basisdaten und Methoden zu übermitteln.

Die Anforderungen an die Berichterstattung von Annex I-Ländern, zu denen die Bundesrepublik Deutschland gehört, sind in den UNFCCC Annex I Reporting Guidelines festgelegt. Für die Ermittlung der Daten und datenbezogenen Informationen sind durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines mit Methoden festgelegt worden. Die Emissionsberichterstattung muss Qualitätskriterien erfüllen, die den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories entnommen werden können. Die Anforderungen an die Berichterstattung sind: Transparenz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit.

Im Zusammenhang mit den internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz muss Deutschland gemäß der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (Monitoring Mechanism Regulation) auch jährlich Treibhausgasemissionen an die Europäische Kommission berichten. Die Berichterstattung fluorierter Treibhausgase (F-Gase) ist ebenfalls in der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-Gas-Verordnung) vorgeschrieben.

Der Bericht präsentiert die Emissionsdaten der fluorierten Treibhausgase HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PFPME (F-Gase) für die Jahre 1995-2018 für Deutschland. Ziel ist es, eine qualifizierte Datenlage für die Emissionsberichterstattung der Berichtsjahre 2017 und 2018 für diese Gase zu liefern.

Seit 2005 bewegen sich die Emissionen fluorierter Treibhausgase (F-Gase) auf relativ konstantem Niveau. Der seit 2010 stattfindende leichte Anstieg der Emissionen war im Jahr 2018 erstmals rückläufig und sank auf 6.239 t, ausgedrückt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten 15,1 Mio. t. Damit machen sie etwa 2 % an den Gesamtemissionen aller Treibhausgase in Deutschland aus, die 2018 bei etwa 870 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten lagen.

Der Bericht ist seit dem Berichtsjahr 2015 nicht mehr nach Stoffgruppen unterteilt wie in den vorherigen Jahren, sondern richtet sich nach der Strukturierung des Nationalen Inventarberichts (NIR). In diesem alle Treibhausgase umfassenden Bericht werden die fluorierten Treibhausgase in den Sektor-Abschnitten 2.B, 2.C, 2.E, 2.F, 2.G und 2.H behandelt. Sektor 2.B befasst sich unter 2.B.9 mit den Emissionen aus der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub>. Das folgende Kapitel 2.C behandelt die Metallproduktion. Hier werden unter 2.C.3 und 2.C.4 die Emissionen aus der Aluminium- und Magnesiumproduktion aufgeführt. Der Sektor 2.E beinhaltet die Emissionen aus der Elektronik-Industrie, der folgende Sektor 2.F diejenigen aus Anwendungen als ODS-Ersatz und der Sektor 2.G die „Sonstige Produktherstellung und –verwendung“. Unter dem Abschnitt 2.H werden vertrauliche Emissionen verschiedener Sektoren<sup>3</sup> aggregiert berichtet. Außerdem gibt es Informationen zu freiwillig berichteten fluorierten Treibhausgasen. Die einzelnen Kapitel sind wiederum in Untersektoren aufgeteilt.

Im Nationalen Inventarbericht ist der erste Abschnitt zu den Emissionen von fluorierten Treibhausgasen das Kapitel 2.B.9. „Chemische Industrie, Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub>“. Die Emissionen von HFKW und SF<sub>6</sub> in diesem Bereich lagen 2018 bei

---

<sup>3</sup> Darunter fallen die Emissionen aus der Verwendung als Lösemittel (2.F.5), der AWACS-Wartung (2.G.2.a), aus Sportschuhen (2.G.2.d), beim Schweißen (2.G.2.e), bei der Herstellung optischer Glasfasern (2.G.2.e) und von Perfluordecalin in medizinischen und kosmetischen Anwendungen (2.G.2.e).

20 (metrischen) Tonnen, was etwa 58 kt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten entspricht und damit einen geringen Anteil an den Gesamtemissionen fluorierter Treibhausgase haben.

Die Emissionen aus der Metallproduktion (2.C.3; 2.C.4) umfassten im Jahr 2018 ca. 32 Tonnen.

Der Bereich der Elektronik-Industrie (2.E) beinhaltet die Halbleiter- und Platinenproduktion, die Photovoltaik sowie die Anwendung von fluorierten Substanzen als Wärmeüberträger. Aus diesen Sektoren emittierten 20 Tonnen im Jahr 2018, vorwiegend FKWs, aber auch NF<sub>3</sub>.

Die Anwendungen von fluorierten Gasen als ODS-Ersatzstoffe (2.F) bilden den größten Bereich und verursachten 2018 mit 6.011 metrischen Tonnen ca. 95 % aller F-Gas-Emissionen (70% bezogen auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Der Bereich umfasst die Gesamtheit der Kältemittelanwendungen in stationären und mobilen Kälte-Klimaanlagen sowie Treibmittel für Schäume und Aerosole und außerdem Feuerlösch- und Lösemittel.

Die „Sonstige Produktherstellung und –verwendung“ (2.G) ist nach metrischen Tonnen zwar nur für etwa 2 % der Emissionen in metrischen Tonnen, aber wegen des hohen Treibhauspotenzials von SF<sub>6</sub> für 20 % der Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten verantwortlich. Unter diesen Bereich fallen der größte Anwendungsbereich von SF<sub>6</sub>, die elektrischen Betriebsmittel, und auch fluorierte Gase in ORC-Anlagen, sowie Sportschuhen und Medizinprodukten.

Zusätzlich zu den unter UNFCCC verpflichtend zu berichtenden Stoffen werden in dieser Studie Verwendungsmengen und Emissionen weiterer F-Gase für die freiwillige Berichterstattung des Umweltbundesamtes abgeschätzt. Dabei handelt es sich um uHFKW und uHFCKW, um Hydrofluorether (HFE) bzw. Hydrochlorfluorether (HCFE), um Perfluorpolyether (PPFE), um Trifluormethylschwefelpentafluorid (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>) und die drei stickstoffhaltigen perfluorierten Substanzen C<sub>9</sub>F<sub>21</sub>N (Fluorinert FC-3283), C<sub>5</sub>F<sub>11</sub>NO (Fluorinert FC-3284) und C<sub>12</sub>F<sub>27</sub>N (Fluorinert FC-43, Perfluortributylamin (PFTBA)).

## Summary

As a signatory to the United Nations Framework Convention on Climate and Climate Change (UNFCCC), the Federal Republic of Germany is obliged to submit data on greenhouse gas emissions including underlying data and methods.

The reporting requirements of Annex I countries, to which the Federal Republic of Germany belongs, are set out in the UNFCCC Annex I Reporting Guidelines. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has established guidelines that include methods to determine the data and data-related information. Emissions' reporting is bound to quality criteria, which can be found in the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The reporting requirements are: transparency, consistency, comparability, completeness and accuracy.

With regards to international agreements on climate protection, Germany is also obligated to annually report greenhouse gas emissions to the European Commission in accordance with Regulation (EU) No. 525/2013 (Monitoring Mechanism Regulation). The reporting of fluorinated greenhouse gases (F-gases) is also prescribed in Regulation (EU) No. 517/2014 (F-Gas Regulation).

This report presents the 1995-2018 data on the German emissions of fluorinated greenhouse gases H(C)FCs, PFCs, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE, and PPFMIE (F-gases). The aim is to provide qualified data for emissions reporting for the reporting years 2017 and 2018 for these gases.

Since 2005, F-gas emissions have been relatively steady. The slight increase in emissions that has occurred since 2010 stopped for the first time in 2018 and fell emissions decreased to 6,239 t, expressed in CO<sub>2</sub> equivalents 15.1million t. They thus make up around 2% of the total emissions of all greenhouse gases in Germany, which in 2018 were around 870 million t CO<sub>2</sub> equivalents.

Since the reporting year 2015, this report has a different structure which is not divided into groups of elements anymore but follows the structure of the National Inventory Report (NIR). The NIR contains detailed descriptive and numerical information on all greenhouse gas (GHG) emissions. Information about fluorinated greenhouse gases is located in the following sections: 2.B, 2.C, 2.E, 2.F, 2.G and 2.H. Chapter 2.B illustrates under 2.B.9 the emissions of the production of halogenated hydrocarbons and SF<sub>6</sub>. The following chapter 2.C covers the production of metal and is giving detailed information on emissions of the production of aluminium and magnesium in the sub section 2.C.3 and 2.C.4. Chapter 2.E includes emissions of the electronic industry, the following chapter 2.F those from applications used as ODS alternatives and the chapter 2.G "Other product manufacture and use". Confidential emissions of different sectors are reported in aggregated form in chapter 2.H<sup>4</sup> and also information on voluntarily reported fluorinated greenhouse gases. Most of these chapters are again partitioned into subchapters.

The first chapter about emissions of fluorinated greenhouse gases in the NIR is Chapter 2.B.9, which includes the sector "Chemical industry, production of halogenated hydrocarbons and SF<sub>6</sub>". Emissions of HFCs and SF<sub>6</sub> were 20 metric tons in 2016, which corresponds to around 58 kt CO<sub>2</sub> equivalents, and hence have a small share regarding the overall emissions.

The emissions of the production of metal (2.C.3; 2.C.4) compromised 32 tons in 2018.

The chapter of electronic industry (2.E) comprises the semiconductor- and board production, manufacturing of photovoltaic and the application of fluorinated substances as heat transfer fluids. The emissions of these categories were 20 tons in 2018, mainly PFCs but also NF<sub>3</sub>.

---

<sup>4</sup> This includes emissions from the use as solvents (2.F.5), from AWACS maintenance (2.G.2.a), from sport shoes (2.G.2.d), from welding (2.G.2.e), from optical fibre production (2.G.2.e) and of perfluorodecalin in medical and cosmetic applications (2.G.2.e).

The applications of fluorinated greenhouse gases as ODS alternatives (2.F) form the largest area in 2018, with 6,011 metric tons they are responsible for 95 % of all F-gas emissions (70% in terms of CO<sub>2</sub> equivalents). The sector covers all refrigerant applications in stationary and mobile refrigeration and air conditioning systems as well as foaming agents and aerosols, fire extinguishing agents and solvents.

Although the sector “Other product manufacture and use” is only responsible for about 2 % of the overall F-gas emissions in metric tons, it is equal to about 20 % of the emissions measured in CO<sub>2</sub> equivalents because of the high global warming potential of SF<sub>6</sub>. It comprises the major application area of SF<sub>6</sub>, electrical equipment, and also fluorinated gases used in ORC systems as well as sport shoes and medical applications.

In addition to those substances that are subject to obligatory national reporting under UNFCCC, use and emissions of further F-gases are estimated for voluntary reporting by the Umweltbundesamt. These fluorinated substances are unsaturated hydro(chloro)fluorocarbons (unsat. H(C)FCs), hydrofluoroethers (HFEs) and hydrochlorofluoroethers (HCFEs), perfluoropolyethers (PFPE), trifluoromethyl sulphur pentafluoride (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>) and the three nitrogen-containing perfluorinated substances C<sub>9</sub>F<sub>21</sub>N (Fluorinert FC-3283), C<sub>5</sub>F<sub>11</sub>NO (Fluorinert FC-3284) and C<sub>12</sub>F<sub>27</sub>N (Fluorinert FC-43, Perfluortributylamin (PFTBA)).



## 1 Die F-Gas-Emissionen von 1995 bis 2018

Seit 2005 bewegen sich die Emissionen fluoriertes Treibhausgase (F-Gase), die der UNFCCC-Berichtspflicht unterliegen, auf relativ konstantem Niveau; allerdings sind sie zwischen 2010 und 2015 um 6 % angestiegen. Im Jahr 2017 sanken sie gegenüber dem Vorjahr nur minimal auf 6.625 t bzw. - ausgedrückt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten - auf 15,6 Mio. t. Im Jahr 2018 fand ein deutlicher Rückgang der Emissionen auf 6.239 t (15,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente) statt (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Seit 2013 wurden einige Substanzen neu in die Emissionsabschätzung aufgenommen, u.a. Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) und Perfluordecalin (C<sub>10</sub>F<sub>18</sub>). Die ebenfalls gemäß den IPCC Guidelines von 2006 berichtspflichtigen HFKW-245fa und HFKW-365mfc sind in der deutschen Berichterstattung seit dem Anfang enthalten gewesen und wurden bereits in der Vergangenheit freiwillig berichtet.

**Tabelle 1: Emissionen fluoriertes Treibhausgase [t] 1995-2018**

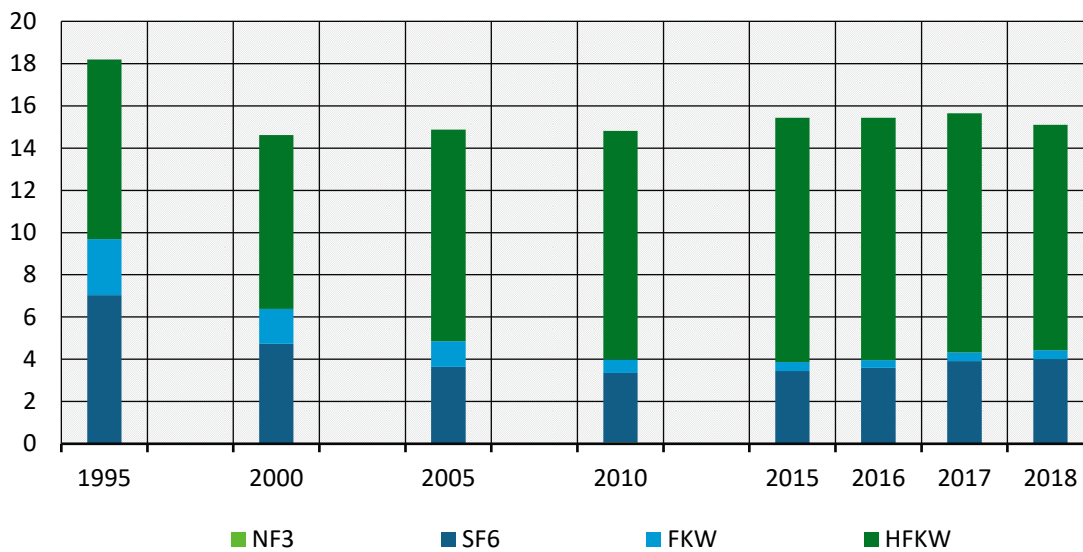
|                  | 1995         | 2000         | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| HFKW             | 2.739        | 4.129        | 5.667        | 5.864        | 6.419        | 6.453        | 6.422        | 6.027        |
| FKW              | 262          | 115          | 102          | 42           | 32           | 32           | 33           | 37           |
| SF <sub>6</sub>  | 308          | 208          | 159          | 144          | 149          | 156          | 170          | 175          |
| NF <sub>3</sub>  | 0,31         | 0,52         | 2,01         | 3,57         | 0,69         | 0,65         | 0,67         | 0,68         |
| <b>Insgesamt</b> | <b>3.309</b> | <b>4.452</b> | <b>5.930</b> | <b>6.053</b> | <b>6.601</b> | <b>6.642</b> | <b>6.625</b> | <b>6.239</b> |

**Tabelle 2: Emissionen fluoriertes Treibhausgase [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018**

|                  | 1995        | 2000         | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018        |
|------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| HFKW             | 8,51        | 8,22         | 10,02        | 10,83        | 11,56        | 11,48        | 11,33        | 10,67       |
| FKW              | 2,66        | 1,65         | 1,22         | 0,64         | 0,43         | 0,37         | 0,40         | 0,42        |
| SF <sub>6</sub>  | 7,03        | 4,74         | 3,62         | 3,29         | 3,43         | 3,58         | 3,91         | 4,00        |
| NF <sub>3</sub>  | 0,00        | 0,00         | 0,02         | 0,06         | 0,01         | 0,01         | 0,01         | 0,01        |
| <b>Insgesamt</b> | <b>18,2</b> | <b>14,61</b> | <b>14,88</b> | <b>14,82</b> | <b>15,43</b> | <b>15,44</b> | <b>15,65</b> | <b>15,1</b> |

Wie Tabelle 2 und Abbildung 1 zeigen, bewegen sich die klimawirksamen Emissionen von F-Gasen seit 2000 auf relativ konstantem Niveau (ca. 13 Mio. – 15 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente). In der zweiten Hälfte der 1990er Jahre waren die Emissionen um über 2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente bzw. um 15 % höher. Das lag vor allem an den hohen Emissionen aus SF<sub>6</sub>-befüllten Autoreifen. Seit dem Rückgang bzw. dem Verbot dieser Anwendung sind HFKW die größte Stoffgruppe der Emissionen von F-Gasen.

**Abbildung 1: Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018**



Die zu knapp 70 % an allen klimawirksamen F-Gas-Emissionen beteiligten **HFKW** sind 2018 relativ deutlich um 0,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente gesunken. Dieser Effekt lässt sich durch zunehmende Anteile natürlicher Kältemittel in der Supermarktkälte sowie der Abnahme der Emissionen aus Pkw-Klimaanlagen erklären. Letztere betragen 0,18 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente weniger als im Vorjahr, was durch den Anstieg des Einsatzes von R1234yf als Ersatz für HFKW-134a bedingt ist. Auch HFKW-Emissionen von Treibmitteln bei der Produktion von Dämmschaum sind gesunken - im Gegensatz zu denen von Feuerlöschmitteln.

Im Jahr 2016 war zum ersten Mal ein Rückgang der HFKW-Emissionen in metrischen Tonnen zu verzeichnen. 2017 hingegen gab es erneut einen Anstieg, gefolgt allerdings von einem starken Rückgang im Jahr 2018. Die Regelungen der EU F-Gase-Verordnung<sup>5</sup>, die neben einem HFKW-Phase-down und Verboten von bestimmten Stoffen auch regelmäßige Dichtheitskontrollen sowie Rückgewinnung durch zertifiziertes Personal vorschreiben, zeigen deutliche Auswirkungen.

Die Emissionen von **FKW**, die seit 1995 stark gesunken sind, stiegen in der Elektronikindustrie im Jahr 2018 deutlich von 33 t auf 37 t (von 0,28 auf 0,31 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Der erstmals 2013 berichtete Stoff Perfluorodecalin ist mengenmäßig von geringer Bedeutung. Er findet überwiegend in medizinischen Produkten Anwendung.

Die Emissionen von **SF<sub>6</sub>** steigen seit der globalen Wirtschaftskrise im Jahr 2009 wieder kontinuierlich an, im Jahr 2018 um 8 Tonnen gegenüber dem Vorjahr. Die Krise im Jahr 2009 hatte zu einem deutlichen Einbruch in der Magnesiumproduktion und der Herstellung photovoltaischer Zellen geführt und damit zu einem Minderverbrauch von SF<sub>6</sub> als Schutzgas bzw. als Reinigungsgas für siliziumbeschichtete Dünnschicht-Solarzellen. Der Anstieg der SF<sub>6</sub>-Emissionen der letzten Jahre ist vor allem durch die Entsorgung alter Schallschutzscheiben (Kapitel 1.5.2.3) zu erklären.

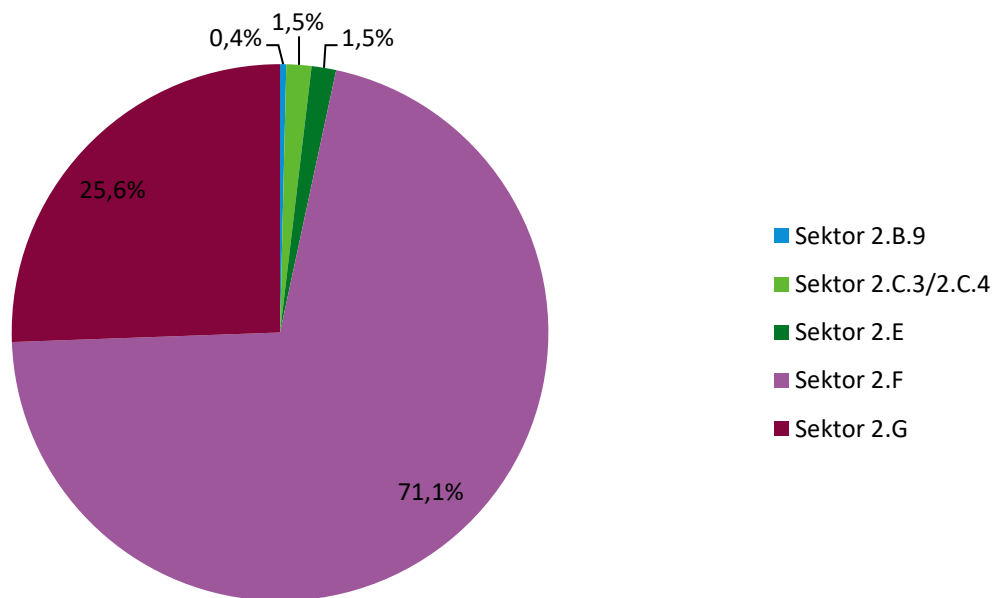
Emissionen von **NF<sub>3</sub>** bilden 0,1 % der gesamten klimawirksamen Emissionen. Sie stammen aus der Halbleiterindustrie und der Photovoltaikindustrie. Seit 1995 schwanken sie zwischen 1 t und 4 t. Ihren Höchststand von fast 4 t bzw. 0,061 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erreichten sie im Jahr 2010. Seit 2011 sinken sie wieder und lagen 2014 bei knapp über 1 t bzw. 0,020 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Jahr 2018 lagen die Emissionen bei 0,12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

<sup>5</sup> Verordnung (EU) Nr. 517/2015 vom 16. April 2015 über fluoridierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 (F-Gase-Verordnung, F-GaseV).

Abbildung 2 zeigt die Anteile der klimawirksamen Emissionen basierend auf der Strukturierung des Nationalen Inventarberichts (NIR). Wie in der Zusammenfassung bereits erläutert, werden in diesem alle Treibhausgase umfassenden Bericht die fluorierten Treibhausgase in den Sektor-Abschnitten 2.B, 2.C, 2.E, 2.F, 2.G und 2.H behandelt. Dabei enthalten die Abschnitte Informationen zu den folgenden Anwendungsbereichen von F-Gasen:

- ▶ Sektor 2.B (2.B.9): Chemische Industrie - Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub>
- ▶ Sektor 2.C (2.C.3 und 2.C.4): Metallproduktion - Aluminium- und Magnesiumproduktion
- ▶ Sektor 2.E: Elektronik-Industrie
- ▶ Sektor 2.F: Anwendungen als ODS-Ersatzstoff
- ▶ Sektor 2.G: Sonstige Produktherstellung und -verwendung
- ▶ Sektor 2.H: (2.H.3): Andere Produktionen – Andere Bereiche (In Abbildung 2 in den jeweiligen Kategorien subsumiert)

**Abbildung 2: Anteile der klimawirksamen Emissionen bezogen auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach Sektoren in Deutschland 2018 (%)**



Diese Abbildung zeigt deutlich, dass die Emissionen der F-Gase, welche als ODS-Ersatz eingesetzt werden und somit Sektor 2.F zuzuordnen sind, mit fast 71% bei weitem den größten Anteil an den Gesamtemissionen haben. Für etwa ein Drittel aller Emissionen sind die Anwendungsbereiche aus Sektor 2.G verantwortlich. Alle Sektoren und Subsektoren werden im Folgenden ausführlich erläutert.

## 1.1 Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub> (2.B.9)

In der Chemischen Industrie werden Emissionen fluorierter Treibhausgase bei der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub> freigesetzt.

**Tabelle 3: Emissionen bei der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub> [t] 1995-2018**

|                           | 1995         | 2000         | 2005        | 2010        | 2015        | 2016        | 2017        | 2018        |
|---------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HFKW<br>(134a, 227ea, 23) | 365,0        | 127,6        | 75,4        | 29,6        | 22,8        | 23,9        | 25,8        | 20,8        |
| SF <sub>6</sub>           | 7,0          | 9,0          | 10,0        | 3,8         | 0,057       | 0,051       | 0,046       | 0,044       |
| <b>Insgesamt</b>          | <b>372,0</b> | <b>136,6</b> | <b>85,4</b> | <b>33,4</b> | <b>22,6</b> | <b>23,7</b> | <b>25,5</b> | <b>20,6</b> |

**Tabelle 4: Emissionen bei der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub> [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018**

|                           | 1995           | 2000           | 2005         | 2010         | 2015        | 2016        | 2017        | 2018        |
|---------------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HFKW<br>(134a, 227ea, 23) | 5.335,2        | 1.521,5        | 630,0        | 203,7        | 58,4        | 61,8        | 65,2        | 52,9        |
| SF <sub>6</sub>           | 159,6          | 205,2          | 228,0        | 86,3         | 1,3         | 1,2         | 1,1         | 1,0         |
| <b>Insgesamt</b>          | <b>5.494,8</b> | <b>1.725,7</b> | <b>858,0</b> | <b>290,0</b> | <b>59,7</b> | <b>63,0</b> | <b>66,3</b> | <b>53,9</b> |

### 1.1.1 By-Product Emissionen (2.B.9.a)

#### HFKW-23

Seit der Stilllegung einer der beiden Produktionsanlagen für den HFCKW-22 im Jahr 2010 sind nur noch geringe Nebenprodukteemissionen des HFKW-23 zu berichten. Die noch in Betrieb befindliche zweite Anlage ist direkt mit einer thermischen Spaltanlage verrohrt, welche einen hohen Wirkungsgrad aufweist. Im Jahr 2019 wurden die für diesen Sektor getroffenen Annahmen unter Einbeziehung von Industrievertretern überprüft. Seit 2011 wird ein Zwangsanfall von 0,03kg HFKW-23 je produziertem kg HFCKW-22 angenommen, womit der Emissionsfaktor bei 0,015kg je kg HFCKW-22 liegt. Zwar ist die Menge des Zwangsanfalls von HFKW-23 mittlerweile niedriger, da aber ein Anstieg für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden kann, erfolgt keine Änderung des Emissionsfaktors.

### 1.1.2 Herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b)

#### HFKW

Die Emissionen aus der Herstellung von HFKW-134a und HFKW-227ea haben sich gegenüber 2016 unwesentlich verändert – beide haben etwas zugenommen.

#### SF<sub>6</sub>

Bei SF<sub>6</sub> hat aufgrund von Gesprächen mit Industrievertretern eine Rekalkulation bis 2014 stattgefunden. Die entstehenden Emissionen sind durch die Installation eines Plasmabrenners zur Reinigung der Abluft stark gesunken.

## 1.2 Metallproduktion (2.C)

In der Metallproduktion treten F-Gas-Emissionen beim Aluminiumguss, bei der Herstellung von Primäraluminium (2.C.3) und beim Magnesiumguss (2.C.4) auf.

**Tabelle 5: Emissionen aus der Metallproduktion [t] 1995-2018**

|   | 1995         | 2000        | 2005        | 2010        | 2015        | 2016        | 2017        | 2018        |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Aluminiumproduktion                                     |              |             |             |             |             |             |             |             |
| FKW:<br>CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> | 230,0        | 52,8        | 50,0        | 19,8        | 12,0        | 12,1        | 10,6        | 15,9        |
| Magnesiumproduktion                                     |              |             |             |             |             |             |             |             |
| HFKW-<br>134a   | -            | -           | 0,6         | 8,3         | 16,8        | 21,3        | 18,0        | 12,8        |
| Magnesium- und Aluminiumproduktion                      |              |             |             |             |             |             |             |             |
| SF <sub>6</sub>   | 7,7          | 13,8        | 30,5        | 6,5         | 1,2         | 1,9         | 4,3         | 3,8         |
| <b>Insgesamt</b>  | <b>237,8</b> | <b>66,6</b> | <b>81,1</b> | <b>34,6</b> | <b>29,9</b> | <b>35,3</b> | <b>32,8</b> | <b>32,5</b> |

**Tabelle 6: Emissionen aus der Metallproduktion [kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018**

|   | 1995           | 2000         | 2005           | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|---|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Aluminiumproduktion                                     |                |              |                |              |              |              |              |              |
| FKW:<br>CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> | 1.800,7        | 413,3        | 391,9          | 156,8        | 94,9         | 95,4         | 84,2         | 126,0        |
| Magnesiumproduktion                                     |                |              |                |              |              |              |              |              |
| HFKW-<br>134a   | -              | -            | 0,9            | 11,8         | 24,0         | 30,5         | 25,8         | 18,3         |
| Magnesium- und Aluminiumproduktion                      |                |              |                |              |              |              |              |              |
| SF <sub>6</sub>   | 176,9          | 315,0        | 694,7          | 101,6        | 26,3         | 44,2         | 96,8         | 86,9         |
| <b>Insgesamt</b>  | <b>1.977,6</b> | <b>728,3</b> | <b>1.087,3</b> | <b>270,2</b> | <b>145,2</b> | <b>170,1</b> | <b>206,8</b> | <b>231,2</b> |

### 1.2.1 Aluminiumproduktion (2.C.3)

#### FKW

Die Hersteller von Primäraluminium hatten 1997 eine Selbstverpflichtung abgeschlossen, welche die Senkung der Emissionen unter die des Ausgangsjahrs 1995 vorsah. Das Ziel war bald erreicht, weil in den fünf deutschen Hütten durch Modernisierung der Ofendosierung (Zufuhr von Tonerde in die Schmelze) die spezifischen FKW-Emissionen pro Tonne Aluminium gesenkt werden konnten. Obwohl die Produktionskapazität bis 2005 konstant gehalten wurde, gingen die FKW-Emissionen in diesem Zeitraum von 230 t (1995) auf 50 t im Jahr 2005 zurück.

Seit 2007 sind noch vier Hütten in Betrieb, die 2007 ca. 550.000 t Primäraluminium erzeugten. Die FKW-Emissionen erreichten damals einen Tiefstand von 29 t. Seitdem gingen die Emissionen von CF<sub>4</sub>

und C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> noch weiter zurück. Im Jahr 2018 fand allerdings ein Anstieg statt und die Emissionen betrugen 15,9 t.

### **SF<sub>6</sub>**

Ein Großverbraucher von SF<sub>6</sub> ist die Aluminiumindustrie, und zwar nicht für die Herstellung von Primäraluminium, sondern in der Produktion einer bestimmten Aluminiumlegierung für die Automobilindustrie. SF<sub>6</sub> wird hier nicht als Schutzgas eingesetzt, sondern wird als Entgasungsmittel unverdünnt durch die heiße Schmelze geleitet, um Verunreinigungen, insbesondere Wasserstoff, daraus zu entfernen. Seit 1998 wurden zur Produktion von Aluminiumlegierungen wachsende SF<sub>6</sub>-Mengen eingesetzt, obwohl dieses Gas zugunsten von Inertgasen wie Argon aus der Anwendung in Deutschland bereits verschwunden war. Die Einsatzmenge sank seit dem Jahr 2008 und ist auch im Jahr 2018 weiter gesunken.

Da die IPCC-Richtlinien keinen Emissionsfaktor für diese Anwendung enthalten, wurden bis vor einigen Jahren Einsatzmengen und Emissionen gleichgesetzt. Abgasmessungen zeigten allerdings eine 97- bis 99-prozentige chemische Zersetzung von SF<sub>6</sub> in der ca. 700 °C heißen Schmelze, so dass der Emissionsfaktor von 100 % auf 3 % (bis 2008) und, nach Verbesserung des Verfahrens, ab 2009 auf 1,5 % gesenkt werden konnte. Im Jahr 2010 hatten wir daher rückwirkend für alle Einsatzjahre seit 1998 die Emissionen neu berechnet.

### **1.2.2 Magnesiumproduktion (2.C.4)**

#### **HFKW**

Eine Abnahme der Verwendung des HFKW-134a war in der Magnesiumindustrie zu verzeichnen (von 36 t auf 25 t). Der Einsatz von HFKW-134a in dieser Branche ist politisch gewollt, weil er das extrem klimaschädigende Schutzgas SF<sub>6</sub> (GWP 22.800) ersetzt, das in Druckguss-Betrieben mit jährlichem Schutzgasverbrauch > 850 kg seit 1.1.2008 bereits durch die alte EU F-Gase-Verordnung (842/2006) verboten worden war. Die aktuelle EU F-Gase-Verordnung schreibt den Ausstieg aus SF<sub>6</sub> ab 2018 auch für alle anderen Druckgießereien vor.

Die 2006 IPCC Guidelines enthalten keine Aussagen zum Emissionsfaktor für die Verwendung des HFKW-134a. Daher wurde bisher ein Emissionsfaktor von 100 % angenommen. Ab dem Berichtsjahr 2018 wurde der Emissionsfaktor rückwirkend für die gesamte Zeitreihe auf 50 % gesetzt. Genauere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 2.1.

#### **SF<sub>6</sub>**

Die EU F-Gase-Verordnung von 2006 hatte ab dem 1.1.2008 die Anwendung von SF<sub>6</sub> als Schutzgas in Magnesium-Druckgießereien mit mehr als 850 kg SF<sub>6</sub>-Jahresverbrauch verboten. Die vom Verbot betroffenen fünf deutschen Betriebe haben auf den HFKW-134a umgestellt, der, gemessen an SF<sub>6</sub>, als klimaschonendere Alternative gilt. Ab März 2008 setzten nur noch kleinere Druckgießereien mit jährlichem Schutzgasverbrauch unter 850 kg SF<sub>6</sub> ein; außerdem eine Sandgießerei und eine Recyclinganlage, die beide nicht unter das Verbot fallen. Der Gesamtverbrauch von SF<sub>6</sub> ist gesunken. Für die Druckgießereien gilt gemäß der aktuellen EU F-Gase-Verordnung ein allgemeines SF<sub>6</sub>-Verbot ab 1.1.2018. SF<sub>6</sub> findet daher nur noch in Sandgießereien Verwendung. Genauere Informationen zum Umstieg befinden sich im letzten Inventarbericht (2016)<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Warncke, K.; Gschrey, B.; Schwarz, W. (2017): Emissionen fluoriertes Treibhausgas in Deutschland 2016. Daten von HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PFPME für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2016. Kapitel 2.2.

### 1.3 Elektronik-Industrie (2.E)

Die Elektronik-Industrie umfasst innerhalb der nationalen Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) die Bereiche Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1), TFT (2.E.2), Photovoltaik (2.E.3) und Wärmeüberträger (2.E.4). In Deutschland gibt es – wie in ganz Europa – keine Produktion von Flachbildschirmen (TFT). Auch der Bereich der auf Silizium-Dünnschichttechnologie beruhenden Photovoltaik (PV) ist mittlerweile in Deutschland bedeutungslos, da dieser Industriezweig ab 2010 in eine Krise geriet, die im Jahr 2014 zur Einstellung der gesamten Produktion in Deutschland führte. 2018 gab es erneut einen sehr geringen Verbrauch von SF<sub>6</sub> (siehe Tabelle 7).

In der Elektronik-Industrie werden nicht nur HFKW und FKW, sondern auch SF<sub>6</sub> und NF<sub>3</sub> verwendet.

**Tabelle 7: Emissionen in der Elektronik-Industrie [t] 1995-2018**

|  | 1995         | 2000         | 2005         | 2010        | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|--|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Halbleiter- und Platinenproduktion   |              |              |              |             |              |              |              |              |
| HFKW-23  | 0,8          | 1,1          | 1,1          | 0,8         | 0,96         | 1,04         | 0,96         | 1,03         |
| FKW:<br>CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ,<br>C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> , c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> | 20,4         | 37,3         | 27,2         | 16,2        | 15,6         | 17,2         | 18,1         | 17,5         |
| SF <sub>6</sub>  | 0,8          | 1,1          | 1,1          | 0,8         | 0,9          | 1,1          | 1,1          | 1,2          |
| NF <sub>3</sub>  | 0,1          | 0,2          | 0,9          | 0,5         | 0,7          | 0,6          | 0,67         | 0,68         |
| Photovoltaik   |              |              |              |             |              |              |              |              |
| FKW: CF <sub>4</sub>   | -            | -            | 0,31         | 0,03        | -            | -            | -            | -            |
| SF <sub>6</sub>  | -            | -            | 0,9          | 2,3         | -            | -            | -            | 0,002        |
| NF <sub>3</sub>  | -            | -            | -            | 3,1         | -            | -            | -            | -            |
| <b>Insgesamt</b>   | <b>23,48</b> | <b>41,13</b> | <b>33,61</b> | <b>23,6</b> | <b>18,13</b> | <b>19,17</b> | <b>20,83</b> | <b>20,43</b> |

**Tabelle 8: Emissionen in der Elektronik-Industrie [kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018**

|  | 1995          | 2000          | 2005          | 2010          | 2015          | 2016          | 2017          | 2018          |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Halbleiter- und Platinenproduktion   |               |               |               |               |               |               |               |               |
| HFKW-23  | 12,4          | 16,9          | 15,8          | 11,8          | 14,2          | 15,3          | 14,1          | 15,2          |
| FKW: CF <sub>4</sub> ,<br>C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> ,<br>c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> | 191,56        | 347,46        | 250,46        | 148,36        | 141,16        | 157,60        | 167,45        | 158,47        |
| SF <sub>6</sub>  | 19,1          | 26,0          | 24,3          | 18,2          | 21,9          | 23,7          | 24,9          | 27,2          |
| NF <sub>3</sub>  | 2,5           | 4,1           | 16,0          | 7,8           | 11,9          | 11,1          | 11,5          | 11,7          |
| Photovoltaik   |               |               |               |               |               |               |               |               |
| FKW: CF <sub>4</sub>   | -             | -             | 2,3           | 0,2           | -             | -             | -             | -             |
| SF <sub>6</sub>  | -             | -             | 19,5          | 52,3          | -             | -             | -             | 0,046         |
| NF <sub>3</sub>  | -             | -             | -             | 53,7          | -             | -             | -             | -             |
| <b>Insgesamt</b>   | <b>297,60</b> | <b>424,81</b> | <b>378,71</b> | <b>291,24</b> | <b>183,86</b> | <b>200,99</b> | <b>217,76</b> | <b>212,64</b> |

### 1.3.1 Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1)

In der Halbleiterproduktion müssen nach der plasmaunterstützten Beschichtung von Silizium auf ein Substrat (Wafer) in sogenannten CVD-Kammern („chemical vapour deposition“) diese sowie die Warenträger von überschüssigem Silizium befreit werden. Diesen Zweck erfüllt das hochreaktive Fluor, das sich von fluorierten Gasen wie NF<sub>3</sub>, SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub> oder C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> abspaltet und mit Silizium verbindet. Zurzeit werden dafür außer NF<sub>3</sub> mindestens sechs weitere fluorierte Gase benutzt. Zudem wird mit diesen fluorierten Stoffen das sogenannte Strukturätzen durchgeführt, welches aber eine kleinere Rolle spielt.

Im Rahmen der Selbstverpflichtung der Halbleiterhersteller mit Produktionsstätten in der Bundesrepublik Deutschland von 2001 und in der nachfolgenden Vereinbarung mit dem Umweltbundesamt über Berichterstattung werden vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (ZVEI) jährlich die Emissionen aller berichtspflichtigen F-Gase bei seinen Mitgliedsfirmen erhoben (Repräsentationsgrad nach Auskunft des Fachverbands Electronic Components and Systems im ZVEI: 95 %) und in absolute Emissionen umgerechnet. Deren Zeitreihe liegt ab 1995 vor. Die Jahre 1990 bis 1994 sind in einer Öko-Recherche-Studie für das Umweltbundesamt aus dem Jahr 1996<sup>7</sup> enthalten.

In der Platinenfertigung gibt es Anlagen zur Bohrlochreinigung, die mit CF<sub>4</sub> arbeiten. Dieser Anwendungsbereich unterliegt kaum Veränderungen, wie eine wiederholte Befragung im Jahr 2019 ergab.

#### HFKW

Die Zahlen für HFKW-23 wurden für die gesamte Zeitreihe korrigiert, da ein Fehler in der Grunddatei vorlag.

<sup>7</sup> Winfried Schwarz, André Leisewitz (1996): Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland, Im Auftrag des Umweltbundesamts, Forschungsbericht 106 01 074/1.



## FKW

Der Selbstverpflichtung der Halbleiterhersteller zufolge konnten trotz erheblicher Produktionssteigerung die Emissionen bis 2010 um 8 % unter das Niveau des Bezugsjahres 1995 gesenkt werden. Bis 2000 stiegen die Emissionen von FKW zwar weiter an und wiesen zeitweise eine fallende Tendenz auf. Der Produktionsrückgang im Krisenjahr 2009 führte zu einer weiteren, wenn auch unfreiwilligen, Senkung der Emissionen auf nur noch 13 t. Danach nahmen die Emissionen wieder zu. Im Jahr 2018 gab es allerdings eine Abnahme der Emissionen im Vergleich zum Vorjahr (2017: 18 t; 2018: 17 t).

In die obige Tabelle ist neben der Halbleiterherstellung auch die Leiterplatten-Reinigung mit  $\text{CF}_4$  eingeschlossen. In diesem speziellen Verfahren wird  $\text{CF}_4$  zur Bohrlochreinigung eingesetzt. Die Emissionen bewegen sich seit Jahren auf einem konstanten Niveau von 2 t.

Als FKW werden nur die Stoffe  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  und  $\text{c-C}_4\text{F}_8$  berichtet. Dazu kommt  $\text{C}_6\text{F}_{14}$  (Handelsname FC-72) der nicht als Ätzwasser, sondern als Wärmeüberträgerflüssigkeit in der Produktion eingesetzt wird (siehe übernächster Abschnitt).

## $\text{SF}_6$

Die Halbleiterindustrie meldete relativ konstante Emissionen in diesem Bereich.

## $\text{NF}_3$

$\text{NF}_3$ -Emissionen bilden gegenwärtig nur 0,003 % der Emissionen fluoriertes Treibhausgas. Ihren Höchststand von 4 t bzw. 61 t  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten erreichten sie im Jahr 2010. Seit 2011 sanken sie wieder und lagen 2013 bei weniger als 1 t bzw. 0,016 Mio. t  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten. Im Jahr 2018 gab es wieder einen leichten Rückgang auf 0,021 Mio. t  $\text{CO}_2$ -Äquivalente.

### 1.3.2 Photovoltaik-Industrie (2.E.3)

Bei der Herstellung von Wafern werden fluorhaltige Substanzen zum Strukturätzen und zur Reinigung von Reaktionskammern im Fertigungsprozess eingesetzt.

## FKW

$\text{CF}_4$  wurde auch in bestimmten Verfahren der Produktion kristalliner Solarzellen zum Isolieren der Kanten verwendet. Dieses Verfahren wurde Ende 2012 eingestellt.

## $\text{SF}_6$

Bei der sogenannten Silizium-Dünnschichttechnologie in der Herstellung photovoltaischer Zellen werden entweder  $\text{SF}_6$  oder  $\text{NF}_3$  zur Reinigung der Reaktionskammern von überschüssigem Silizium eingesetzt. Dieses - kostengünstige - Verfahren wurde viele Jahre lang nur für kleine Serien angewendet, dann aber seit 2007 in großem Maßstab betrieben. Folglich stieg der  $\text{SF}_6$ -Verbrauch, der bis 2006 pro Jahr rund 2 t betrug, im Jahr 2007 sprunghaft auf 25 t und 2008 auf 58 t an. Im Krisenjahr 2009 hat er sich auf etwa 24 t halbiert. Der Verbrauch ist nach vorübergehendem Wiederanstieg 2010 im Jahr 2011 auf 16 t gesunken und hat sich dann 2012 erneut halbiert. 2013 brach der Verbrauch auf 1,8 t ein, als die letzte Anlage stillgelegt wurde. In den Jahren 2014 bis 2017 gab es laut Erhebungen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG) keinen Verbrauch. Dies änderte sich im Jahr 2018, in dem laut UStatG erneut eine sehr geringe Menge  $\text{SF}_6$  verbraucht wurde.

## $\text{NF}_3$

Sowohl in der Fertigung von Halbleitern als auch von photovoltaischen Zellen wurde das Gas Stickstofftrifluorid zur Kammerreinigung genutzt. Der Unterschied zwischen Halbleiter- und PV-Industrie liegt vor allem in den Dimensionen der Kammern. Während die Wafer in der Halbleiterindustrie Durchmesser von ca. 30 cm aufweisen, sind die Wafer in der PV-Industrie viel größer - mit Durchmessern bis zu 2,5 Metern und mehr.

NF<sub>3</sub> kam in der deutschen Photovoltaik-Industrie erst seit 2006 zum Einsatz. Öko-Recherche hat im Auftrag des UBA 2009 zur Solarindustrie eine Studie mit Abschätzungen zu Verbrauchsmengen und der Emissionen von NF<sub>3</sub> (und SF<sub>6</sub>) erstellt<sup>8</sup>. Mit dem raschen Wachstum der Si-Dünnschicht-Technologie ab 2006 nahm der Verbrauch von NF<sub>3</sub> sprunghaft zu, zumal NF<sub>3</sub> seit 2008 SF<sub>6</sub> in allen neu gebauten Produktionslinien ersetzt hatte. Der NF<sub>3</sub>-Jahresverbrauch stieg von 2006 bis 2008 von 2,7 t auf 30 t. Nach dem Krisenjahr 2009 ging der Anstieg zunächst weiter bis auf 78 t im Jahr 2010.

Danach wurde die deutsche PV-Industrie von einer tiefen Krise erfasst. Die Produktion von Si-Dünnschicht-Solarzellen wurde in Deutschland schrittweise eingestellt. Von den im Jahre 2009 in Deutschland aktiven sechs Herstellern mussten zwei im Jahr 2010 schließen. 2013 gaben zwei weitere Hersteller auf. Der NF<sub>3</sub>-Jahresverbrauch betrug 2012 nur noch 37 t. Im Jahr 2015 schlossen auch die verbliebenen zwei Unternehmen.

### 1.3.3 Wärmeüberträger (2.E.4)

Flüssige fluorierte Wärmeüberträger zur Kühlung von Prozessen und Geräten spielen in der Industrie, besonders der Halbleiterfertigung, eine wichtige Rolle. Die durchschnittliche Lebenszeit der Anlagen mit Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie beträgt 12 Jahre.

#### FKW

In der Halbleiterfertigung müssen die verschiedenen Prozessschritte bei klar definierten und kontrollierten Temperaturen erfolgen.

Es ist zu beachten, dass es sich bei diesen Anwendungen von fluorierten Stoffen um geschlossene Systeme handelt, deren Leckageraten nach unserer Einschätzung bei ca. 5 % liegen.

In der Halbleiterindustrie gibt es verschiedene Typen fluorierte Wärmeüberträger, von denen nur vollfluorierte Kohlenwasserstoffe im engeren Sinn an das Klimasekretariat berichtspflichtig sind. Dabei handelt es sich praktisch nur um C<sub>6</sub>F<sub>14</sub> (Fluorinert TM FC-72). Die Verwendung von C<sub>6</sub>F<sub>14</sub> als Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie war in den 1990er Jahren weit verbreitet, ist aber bis 2016 komplett eingestellt worden. Gegenwärtig dominieren unter den fluorierten Wärmeüberträgern in der Halbleiterindustrie hydrofluorierte Ether (HFE), die die perfluorierten Substanzen seit 2001 ablösen. (Die fluorierten Ether werden bei den freiwillig zu berichtenden Treibhausgasen in Kapitel 3.2 behandelt.)

Bei der Deutschen Bahn wurde C<sub>6</sub>F<sub>14</sub> (Perfluorhexan) bis vor einigen Jahren auch in Hochgeschwindigkeitszügen eingesetzt, und zwar zur Kühlung in ICE-Triebköpfen – genauer von Traktionsstromrichtern im ICE-1 und ICE-2. Dieser Stoff wurde (im Unterschied zum französischen TGV) bis 2009 vollständig gegen C<sub>5</sub>F<sub>11</sub>NO (Fluorinert FC-3284, Perfluor-N-Methylmorpholin; GWP: 9.500) ausgetauscht. Diese stickstoffhaltige vollfluorierte Substanz unterliegt weder der nationalen Berichtspflicht unter UNFCCC noch der Unternehmensberichterstattung nach Artikel 19 der F-Gase-Verordnung. Keiner Berichtspflicht unterliegt auch der in der Halbleiterindustrie verwendete Stoff C<sub>9</sub>F<sub>21</sub>N (Fluorinert FC-3283, Perfluor-Tri-N-Butylamin; GWP: 8.690). Diese beiden als Wärmeüberträger eingesetzten Stoffe zählen zu den vom Umweltbundesamt freiwillig in das F-Gas-Inventar aufgenommenen "weiteren" fluorierten Treibhausgasen (siehe Kapitel 3.5).

<sup>8</sup> Winfried Schwarz (2009): SF<sub>6</sub> und NF<sub>3</sub> in der deutschen Photovoltaik-Industrie. Im Auftrag des Umweltbundesamts, Förderkennzeichen 360 16 027.

## 1.4 Anwendungen als ODS-Ersatzstoffe (2.F)

Die Verwendung ozonschichtschädigender Substanzen (Ozone Depleting Substances, ODS), ist in Deutschland abgesehen von geregelten Ausnahmen nicht mehr erlaubt. Als Alternativen wurden bereits vor Jahren F-Gase eingeführt und stellen deren wichtigstes Anwendungsgebiet dar. Allerdings sind auch diese, vor allem durch die EU F-Gase-Verordnung Nr. 517/2014, gesetzlichen Regelungen unterworfen, die ihre Verwendung einschränken und verbieten.

### HFKW

Grundsätzlich, aber nicht nur, sind HFKW Ersatzstoffe für HFCKW und schädigen nicht die Ozonschicht, wohl aber das Klima. Sie wurden von der Chemischen Industrie als Nachfolgestoffe für ODS entwickelt und in den Markt eingeführt. Die wichtigsten Anwendungsbereiche sind Kälte- und Klimaanlageanlagen, Schaumherstellung, Feuerlöschmittel und als Treibgas in Asthmasprays.

In Tabelle 9: HFKW-Emissionen [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018 sind die HFKW-Emissionen aus unterschiedlichen Anwendungen in Deutschland im Zeitraum 1995 – 2018 zusammengefasst. Die HFKW-Emissionen sind 2018 gegenüber dem Vorjahr in fast allen Bereichen gesunken. Die Reduktionen aus mobilen Anwendungen, insbes. aus Pkw-Klimaanlagen, betragen 0,19 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente, diejenigen aus stationären Kälte- und Klimaanlageanlagen beliefen sich auf 0,39 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Abgesehen von den konstant gebliebenen Emissionen von Dosieraerosolen sind in den meisten kleineren HFKW-Sektoren, wie beispielsweise in den Sektoren Aerosole und Lösemittel, die Zahlen rückläufig. Im Bereich der XPS-Schäume steigen die Emissionen allerdings seit 2013 kontinuierlich an. Durch eine Veränderung der Datenquellen im Bereich der PU-Schäume sind die Emissionen in diesem Sektor seit 2007 nun deutlich höher. Eine genauere Beschreibung findet sich in Kapitel 1.4.2.1.

**Tabelle 9: HFKW-Emissionen [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018**

|   | 1995         | 2000         | 2005         | 2010          | 2015          | 2016          | 2017         | 2018          |
|---|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Gesamt Stationäre Kälte/Klima             | 0,270        | 2,411        | 3,757        | 4,758         | 5,110         | 5,056         | 5,031        | 4,896         |
| <i>Gewerbe, Industrie, Haushaltskälte</i> | 0,256        | 2,293        | 3,444        | 4,070         | 3,930         | 3,795         | 3,727        | 3,581         |
| <i>Zentral-AC, Raumklima, Wärmepumpen</i> | 0,014        | 0,119        | 0,313        | 0,688         | 1,180         | 1,261         | 1,304        | 1,315         |
| Gesamt Mobile Kälte/Klima                 | 0,339        | 1,868        | 3,318        | 4,064         | 4,645         | 4,611         | 4,446        | 4,257         |
| <i>Mobilklima Pkw</i>                     | 0,250        | 1,504        | 2,671        | 3,191         | 3,554         | 3,473         | 3,284        | 3,087         |
| XPS-Schäume                               | 0,000        | 0,000        | 0,589        | 0,525         | 0,439         | 0,446         | 0,479        | 0,480         |
| PU-Schäume                                | 0,000        | 0,036        | 0,084        | 0,063         | 0,055         | 0,055         | 0,058        | 0,053         |
| PU-Montageschaum                          | 1,666        | 1,171        | 0,570        | 0,135         | 0,062         | 0,043         | 0,022        | 0,020         |
| Dosieraerosole                            | 0,000        | 0,185        | 0,336        | 0,336         | 0,334         | 0,333         | 0,333        | 0,334         |
| Andere Aerosole                           | 0,218        | 0,233        | 0,342        | 0,205         | 0,250         | 0,290         | 0,270        | 0,127         |
| Feuerlöschmittel                          | 0,000        | 0,002        | 0,009        | 0,033         | 0,039         | 0,050         | 0,041        | 0,046         |
| <b>Insgesamt</b>                          | <b>2,493</b> | <b>5,906</b> | <b>9,005</b> | <b>10,119</b> | <b>10,934</b> | <b>10,884</b> | <b>10,68</b> | <b>10,213</b> |

**Abbildung 3: Anteile der verschiedenen Sektoren an den HFKW-Emissionen bezogen auf Tonnen in Deutschland 2018 (%)**

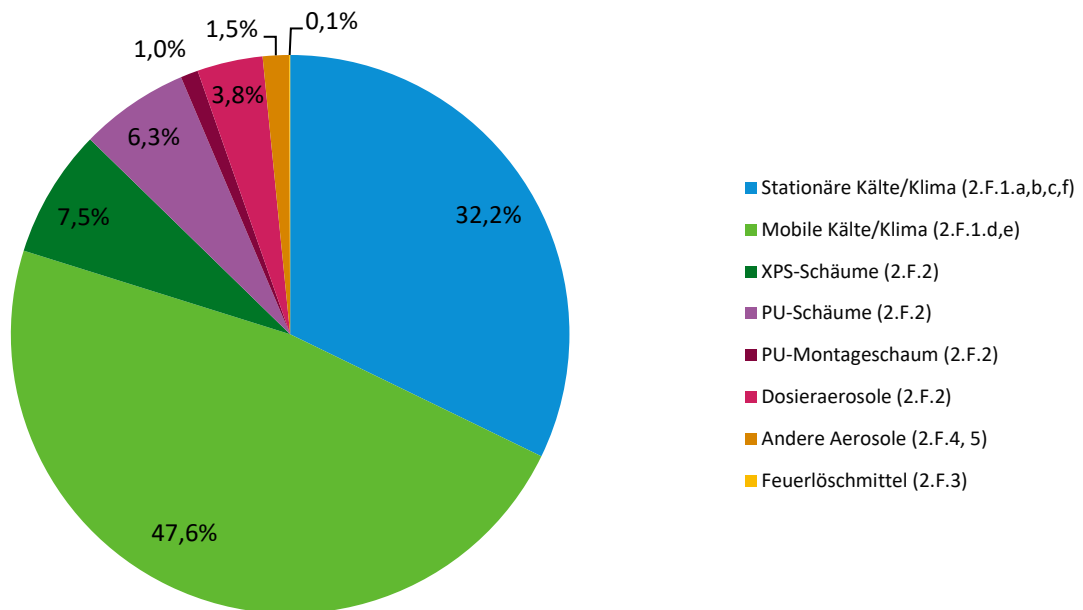


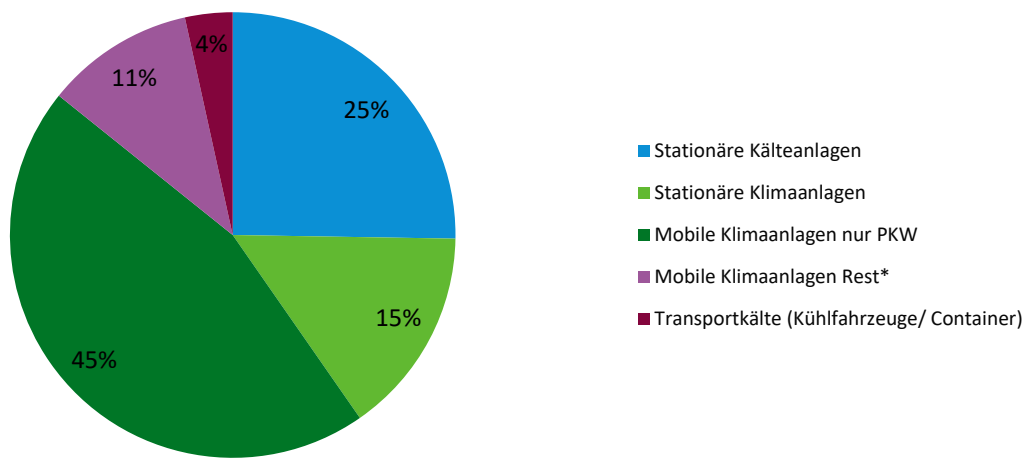
Abbildung 3 zeigt die Anteile der verschiedenen Sektoren an den HFKW-Emissionen in Tonnen und verdeutlicht nicht nur grafisch den hohen Anteil der Klima- und Kälteanwendungen an allen HFKW-Emissionen, sondern im Vergleich mit den Daten der Emissionen in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Tabelle 9 auch, dass die Emissionen aus der stationären Kälte in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten einen deutlich höheren Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen, als in Tonnen. Dies lässt sich durch die verbreitete Anwendung von R404A mit seinem hohen GWP von 3922 in der Gewerbekälte erklären.

Bisherige Projektionen zur langfristigen Entwicklung der Emissionen fluoriertes Treibhausgas in Deutschland, die von einem steigenden Anstieg der HFKW-Emissionen ausgehen, sehen von politischen Maßnahmen wie der EU F-Gase-Verordnung aus dem Jahr 2014 ab. Diese Gesetzgebung zeigt mittlerweile beträchtliche Wirkung; es sind sinkende HFKW-Emissionen vor allem für den Betrieb von stationären Kälte- und Klimaanlage zu verzeichnen. Grund dafür ist, dass HFKW dem sogenannten Phase-down unterliegen, der stufenweisen Verknappung ihres Angebots zugunsten umfassender Einführung von HFKW-freien Substanzen und Verfahren. Aus diesem Grund, aber auch wegen der Verwendungsverbote in der F-Gase-Verordnung und der Richtlinie 2006/40/EG (MAC-Richtlinie), sind verringerte Emissionen für das Jahr 2018 festzustellen – ein Trend, der sich in Anbetracht der jetzigen Marktlage voraussichtlich fortsetzen wird.

#### 1.4.1 Kälte- und Klimaanlage (2.F.1)

Kälte- und Klimaanlage bilden mit Abstand den größten Sektor als Emissionsquelle von fluorierten Treibhausgasen.

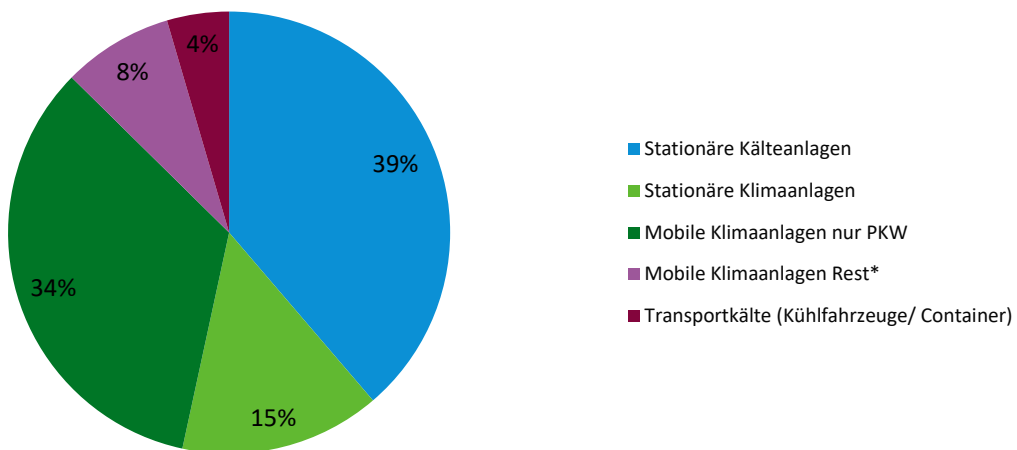
**Abbildung 4: Anteile der Emissionen bezogen auf Tonnen der verschiedenen Subsektoren im Sektor Kälte- und Klimaanlage in Deutschland 2018 (%)**



\* LKW, Busse, Landmaschinen, Züge, Schiffe und Flugzeuge

Abbildung 4 zeigt deutlich, dass die Emissionen in metrischen Tonnen aus PKW Klimaanlage fast die Hälfte aller Emissionen im Bereich Kälte- und Klimaanlage ausmachen. Allerdings ergibt sich hier, wie bereits zu Abbildung 3 erläutert, ein klarer Unterschied bei der Betrachtung der Emissionen in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Wie in Abbildung 5 zu erkennen ist, sind die klimawirksamen Emissionen aus dem PKW-Sektor geringer, wohingegen diejenigen aus stationären Kälteanlagen höher sind. Vor allem im Bereich PKW-Klimaanlagen wird sich der Anteil der klimawirksamen Emissionen in den kommenden Jahren deutlich verringern, da hier in neuen PKW-Modellen ausschließlich R1234yf eingesetzt wird, der nur noch einen GWP von 4 aufweist und somit deutlich unter dem von R134a (GWP 1430) liegt. Aber auch in allen anderen Sektoren werden, bedingt durch die Maßnahmen der F-Gase-Verordnung, Kältemittel mit niedrigerem oder keinem GWP eingesetzt, weshalb auch hier eine Verringerung der klimawirksamen Emissionen stattfindet.

**Abbildung 5: Anteile der Emissionen bezogen auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente der verschiedenen Subsektoren im Sektor Kälte- und Klimaanlage in Deutschland 2018 (%)**



\* LKW, Busse, Landmaschinen, Züge, Schiffe und Flugzeuge

#### 1.4.1.1 Stationäre Kälteanlagen: Gewerbekälte (2.F.1.a), Haushaltskälte (2.F.1.b), Industriekälte (2.F.1.c)

##### HFKW

Im Bereich der stationären Kältetechnik gibt es zwei große Sektoren (in Klammern die Anteile an den klimawirksamen Emissionen des Bereichs), nämlich Gewerbekälte (ca. 70 %) sowie Industriekälte (ca. 29 %). Das restliche 1 % ist dem Haushaltssektor zuzuschreiben (Haushaltskühlschränke und Speiseeismaschinen).

Der große Sektor der Gewerbekälte wird in Zentralanlagen in Supermärkten und Discountern und in die sonstige Gewerbekälte (z.B. Fleischereien, Gastronomie), die überwiegend mit Verflüssigungssätzen kühlt, untergliedert. Ferner werden steckerfertige Geräte in gewerblichen Bereichen einbezogen.

Im Jahr 2018 fand im Bereich der Gewerbekälte eine Modellumstellung statt. Bei steckerfertigen Geräten und Verflüssigungssätzen wurden die Stückzahlen der Einzelhandelsgeschäfte mit Nahrungsmitteln basierend auf Zahlen des Statistischen Bundesamtes (Serie 45341-0001) für die Jahre 2005, 2006, 2009, 2010, 2015 und 2016 korrigiert. Zudem wurden die Anteile der Kältemittel an die aktuellen Entwicklungen angepasst. Eine genaue Erläuterung zu den angepassten Anteilen findet sich in Kapitel 2.2.

Die Haushaltskälte als kleinster Posten im Bereich der stationären Kälteanlagen beinhaltet Haushaltskühlschränke, in denen allerdings seit 1994 Kohlenwasserstoffe eingesetzt werden und somit nur noch geringe Emissionen entweder aus der Nutzung von alten Geräten oder der Entsorgung auftreten, sowie Speiseeismaschinen.

Der Anwendungsbereich der Speiseeismaschinen wurde im Zuge einer Inventarverbesserung im Jahr 2017<sup>9</sup> in das Inventar übernommen. Eine Vielzahl von Unternehmen bietet diese seit Ende der 1990er Jahre für den Heimbedarf an. Kompressorbetriebene Speiseeismaschinen arbeiten wie eine klassische Kälteanlage mit Kältemittel. Zum Einsatz kommen seit 1997 der HFKW-134a und das Kältemittelgemisch R404A, seit 2015 auch Geräte mit R600a, dessen Anteil stetig steigt und 2018 bereits bei über 16% lag. Genauere Informationen finden sich in o.g. Bericht.

Die Industriekälte umfasst auf der einen Seite die Kühlung in der Lebensmittelproduktion, worunter unter anderem Kühlhäuser, Molkereien sowie Bier- und Weinproduktion fallen. Auf der anderen Seite werden in diesem Sektor vor allem Kühlprozesse in industriellen Bereichen wie der Chemieindustrie erfasst.

Eine 2011 erschienene Studie der Europäischen Kommission zu den F-Gas-Emissionen in den 27 Mitgliedsstaaten für 1995 bis 2008 (historische Werte) und 2009 bis 2050 (Projektionen: mehrere Szenarien) ging unter den Bedingungen der F-Gase-Gesetzgebung von 2006 für Deutschland von keinem Rückgang von Bestand und Emissionen aus. Die Hochrechnungen stützten sich auf die Annahme zunehmenden Kältebedarfs in Lebensmittelhandel und Raumklimatisierung einschließlich Wärmepumpen sowie gleichbleibenden Bedarfs für Industriekälte und „sonstige“ Gewerbekälte. Ohne sinkende Emissionsraten würden diese Bestandszunahmen sogar zu höheren Emissionen führen. Anders sehen diese Projektionen unter der Berücksichtigung der neuen F-Gase-Verordnung aus. Diese impliziert aufgrund des eingebauten „Phase-down“-Mechanismus<sup>9</sup> eine stark reduzierte Verbrauchsmenge von HFKW auf dem EU-Markt und somit, auf lange Sicht, auch entsprechende Emissionsminderungen. Lag das Durchschnitts-GWP für alle HFKW-Verbräuche im Jahr 2015 noch bei etwa 2000, ist für das Jahr 2030 ein Durchschnitts-GWP von 400 notwendig, um bei unveränderter Verbrauchsmenge von Kältemitteln den „Phase-down“ zu erfüllen. Das bedeutet wiederum, dass der

<sup>9</sup> Warncke, K.; Gschrey, B.; Schwarz, W. (2017): Emissionen fluoriertes Treibhausgase in Deutschland 2016. Daten von HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PFPME für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2016. Kapitel 2.3.



Einsatz von Niedrig-GWP-Stoffen und natürlichen Kältemitteln stark zunehmen muss. In einigen Bereichen, wie der Gewerbekälte, hat diese Entwicklung schon begonnen und zeigt, in Verbindung mit der steil ansteigenden Nutzung des ungesättigten teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffes uHFKW-1234yf in der Automobilklimatisierung, eine weitere Verminderung der HFKW-Emissionen im Jahr 2018.

## **FKW**

Emissionen von FKW-Kältemitteln sind weiter rückläufig und lagen im Jahr 2018 bei 0,6 t. Sie stammen überwiegend aus Altanlagen der Gewerbekälte, die im Zuge des FCKW-12-Ersatzes in bestehenden Anlagen in den 1990er Jahren mit sogenannten Service-Kältemitteln befüllt wurden. Letztere enthielten als chlorfreie Komponente häufig FKW-218 ( $C_3F_8$ ). Emissionen entstehen heute bei Außerbetriebnahme jener alten Anlagen. FKW-218 ist aber auch Bestandteil zweier Service-Kältemittel (R413A und Isceon MO 89), die noch gegenwärtig als Ersatz für den HFKW R22 verwendet werden. Sie werden auch künftig Bestandsemissionen erzeugen, ebenso wie der FKW-116 ( $C_2F_6$ ), der zusammen mit HFKW-23 Bestandteil der in kleinen Mengen verwendeten Tieftemperatur-Kältemittelgemische R508A und R508B ist.

### **1.4.1.2 Mobile Klima- und Kälteanlagen: Transportkälte (Kühlfahrzeuge und -container) (2.F.1.d), Mobile Klimaanlage (2.F.1.e)**

#### *Mobile Klimaanlage*

Die Emissionen von HFKW aus mobilen Klimaanlage werden zu fast 80 % durch Pkw verursacht. Nachdem im Jahr 2009 infolge der Abwrackprämie die Neuzulassungen von Pkw (mit und ohne Klimaanlage) um 23 % auf 3,8 Mio. Stück gestiegen waren, sanken sie 2010 auf 2,9 Mio. Stück, den niedrigsten Wert seit 20 Jahren. Während die Pkw-Neuzulassungen 2011 wieder leicht gestiegen sind, war 2012 und 2013 ein Rückgang auf 3,08 Mio. Stück und auf 2,95 Mio. Stück zu beobachten. Im Jahr 2018 ist dieser Wert, wie auch im Jahr 2017, wieder angestiegen und zwar auf 3,43 Mio. neu zugelassene Fahrzeuge. Die Klimaquote, die wegen des hohen Anteils kleiner Fahrzeuge ohne Klimaanlage-Serienausstattung 2009 auf 92 % gesunken war, steigt seitdem an und lag im Jahr 2018 bei 98 % (für R134a und R1234yf zusammen). Die durchschnittliche Kältemittelfüllmenge aller klimatisierten Neufahrzeuge ging seit 2009 kontinuierlich zurück und lag 2015 bei 547 Gramm. In den letzten Jahren war allerdings wieder ein leichter Anstieg dieser Menge zu beobachten (2018: 561 Gramm). Grund hierfür ist der Trend zu den sogenannten SUV, die aufgrund ihrer Größe auch eine höhere Füllmenge an Kältemittel benötigen.

Die HFKW-134a-Emissionen aus dem Pkw-Kältemittelbestand sanken 2018 auf 2.163 t, eine sehr deutliche Reduktion. Die bezogen auf die Anzahl der inländisch demontierten Altfahrzeuge berechneten Entsorgungsmissionen nahmen von 43 auf 50 t R134a zu.

Auch der Emissionsverlauf wird weiter von der Einhaltung der EU-Richtlinie 2006/40/EG über den Ausstieg von HFKW-134a aus Autoklimaanlagen bestimmt. Seit 2017 dürfen neue Pkw für die EU nicht mehr mit R134a klimatisiert werden. Die deutsche Autoindustrie hatte sich nach jahrelanger Befürwortung von  $CO_2$  als alternativem Kältemittel 2011 zunächst für den Einsatz des neu entwickelten ungesättigten uHFKW-1234yf entschieden. Das Treibhauspotenzial (GWP) von uHFKW-1234yf wird mit 4 angegeben und liegt damit deutlich unter den erlaubten 150 der MAC-Richtlinie.

Der Ausstieg aus dem Kältemittel R134a aus Pkw-Autoklimaanlagen, der gemäß EU-Richtlinie 2011 beginnen sollte, hat sich allerdings deutlich verzögert. In den letzten beiden Jahren hat sich der Umstieg auf R1234yf aber nahezu vollzogen und so wurden im Jahr 2017 93 % aller Pkw mit dem Kältemittel R1234yf neu zugelassen und 2018 95 %.

Wegen anhaltender Vorbehalte gegenüber R1234yf, hat als erste die Firma Daimler, welche seit einigen Jahren intensiv an  $CO_2$ -Anlagen forscht, ihre Ankündigung umgesetzt und bietet  $CO_2$ -Anlagen an. Audi bietet ebenfalls seit Mitte 2017 in seinem Modell A8  $CO_2$  als Kältemittel an. Außerdem plant

auch der größte deutsche Autobauer VW, in Zukunft umstellen zu wollen. Genaue Zahlen liegen hierzu aber noch nicht vor.

Insofern ist auch absehbar, dass die EU-Richtlinie zum R134a-Ausstieg in den kommenden Jahren umfassend umgesetzt werden wird. Bereits jetzt sinken die HFKW-134a-Betriebsemissionen aus Pkw-Klimaanlagen.

Bei anderen mobilen Klimaanlagen (Busse, Lkw, Landmaschinen, Schiffe, Schienenfahrzeuge, mittelgroße Flugzeuge und Hubschrauber) ist ein Ausstieg aus HFKW-134a bisher gesetzlich nicht vorgeschrieben, wird aber durch den HFKW-Phase-down gefördert.

Lkw werden gewerblich betrieben und sind stärker als die konsumnahen Pkw dem konjunkturellen Zyklus unterworfen. Die Neuzulassungen von Lkw aller Gewichtsklassen (N1, N2 und N3) waren 2009 im Zuge der Krise deutlich, teilweise um über 50 %, zurückgegangen. Auch ihre Klimaquote war – über alle Klassen – gesunken (auf 51 %). In den Jahren 2010 und 2011 nahmen die Neuzulassungen in allen Gewichtsklassen wieder zu und sanken in den Jahren 2012 und 2013 geringfügig. Im Jahr 2018 sind die Neuzulassungen in allen drei Klassen wieder deutlich gestiegen. Die Klimaquote aller drei Lkw-Kategorien stieg gegenüber dem Vorjahr auf 84 % an.

Im Jahr 2017 wurde die Anzahl der entsorgten kleinen Nutzfahrzeuge für die Jahre 2013-2016 entsprechend der in der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes veröffentlichten Zahl korrigiert. Aufgrund der späten Veröffentlichung der Statistik wird der Vorjahreswert zunächst jährlich fortgeschrieben und dann im nächsten Jahr angepasst.

Weiter wurde 2018 die Anzahl der inländisch produzierten Nutzfahrzeuge, die mit Klimaanlage ausgestattet sind, sowie die Klimaquote der Neuzulassungen für die Jahre 2013 bis 2016 korrigiert. Diese Anpassungen führten zu Änderungen sowohl der Bestands- als auch Produktionsemissionen von HFKW-134a in den Jahren 2013 bis 2016.

Der Kältemittelbestand in der Lkw-Flotte nahm deshalb weiter zu. Damit stiegen auch die Betriebsemissionen deutlich von 210 t (2016) auf 240 t (2018). Inländische Entsorgungsemissionen spielen eine untergeordnete Rolle, weil nahezu alle Lkw vor ihrer Demontage als Gebrauchtfahrzeuge exportiert werden.

Bei Bussen, Landmaschinen und Schienenfahrzeugen gab es leichte Zunahmen der Bestandsemissionen im einstelligen Prozentbereich.

Der Bestand von R134a zur Klimatisierung von mittelgroßen mehrmotorigen Flugzeugen und Hubschraubern liegt seit 1993 relativ konstant bei etwa 2,9 t. Daraus ergeben sich errechnete jährliche Emissionen von rund 140 kg. Auch in der Bordkühlung von Passagierflugzeugen wird R134a eingesetzt. Der Bestand stieg von 1 t in 1993 auf 1,5 t in 2014 an. Im Jahr 2018 gab es einen leichten Abgang; die Emissionen werden auf etwa 75 kg geschätzt.

### **Transportkälte**

Erstmals nach dem Einbruch der Neuzulassungen von Kühlfahrzeugen im Jahr 2009 von 12.300 auf 8.700 Stück haben die Neuzulassungen den früheren Wert wieder erreicht; 2018 waren es 12.558 Stück. Die Bestandsemissionen von HFKW (R404A, R134a und R410A) sanken von 70 t im Jahr 2017 auf 68 t im Jahr 2018. Seit 2015 wird in neuen Kälteaggregaten eines namhaften Herstellers auch die HFKW-uHFKW-Mischung R452A als Ersatz für R404A verwendet. Auch die anderen Hersteller setzten spätestens 2018 voll auf dieses Kältemittel.

Im Jahr 2018 wurde das Modell für Kühlfahrzeuge aufgrund neuer Erkenntnisse umfassend überarbeitet. Sowohl die Einteilung der Größenklassen, die entsprechenden Füllmengen als auch die Kältemittelanteile wurden aktualisiert. In Folge kam es zu Änderungen der Emissionen von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 der Produktion und Anwendung in den Jahren 1993 bis 2016 und der Entsorgung in den Jahren 2003 bis 2016.



Die der Bundesrepublik Deutschland zugerechneten Bestandsemissionen aus Kühlcontainern betragen 2018 etwa 65 t – hauptsächlich R134a.

#### 1.4.1.3 Stationäre Klimaanlage (2.F.1.f)

Besonders bei Gebäude-Klimaanlagen (Flüssigkeitskühlsätze), Raumklimageräten und Wärmepumpen ist das Wachstum des HFKW-Kältemittel-Bestands noch nicht ausgeschöpft und auch im Jahr 2018 weitergegangen.

#### Raumklimageräte

Der Markt für Raumklimageräte aller Kategorien, der 2009 eingebrochen war, hatte sich 2010 und 2011 wieder erholt und ist auch 2018 angestiegen. Im Gegensatz zu 2013, als der Markt in einigen Unterkategorien gegenüber 2011 um 15 % (einfache Splitgeräte) und um 6 % (Multisplitgeräte der VRF-Technologie) gesunken war, hat er sich im Jahr 2018 wieder erholt und das alte Niveau erreicht. In allen europäischen Ländern wird der Raumklimatisierung ein langfristiges Wachstum bis 2030 vorausgesagt. Der Kältemittelbestand der insgesamt in Deutschland in Betrieb befindlichen mobilen Kleingeräte und einfachen Split- und Multisplit-Geräte war 2018 fast 3 Mal so hoch wie 2004 (2290 t / 962 t). Der Einsatzbereich von Raumklimageräten hat sich stetig nach oben erweitert - auf bis zu 60 kW und mehr Kälteleistung. Dies ist auf die zunehmende Verwendung von Multisplit-Geräten, insbesondere solchen mit individuell einstellbaren Kältemittelströmen (VRF-Technologie), zurückzuführen, bei denen mehrere (meist drei bis sieben) Innengeräte mit einem einzigen Außengerät verbunden sind.

Das um das Jahr 2000 eingeführte Kältemittel R410A hat bei neuen Geräten das traditionelle R407C noch nicht in dem Maße ersetzt wie zunächst angenommen, weswegen wir in diesem Bereich im Jahr 2016 rückwirkend Änderungen in den Anteilen von R410A und R407C vorgenommen hatten. Geräte mit Kohlenwasserstoff-Kältemitteln spielen bisher nur bei mobilen Systemen eine Rolle. Bei einfachen Splitgeräten stehen Sicherheitsbedenken und unvorteilhafte Normen noch einer Ausweitung des Marktes entgegen, obwohl diese Geräte in Asien, vor allem in China und Indien, bereits in beträchtlichem Umfang hergestellt und genutzt werden<sup>10</sup>.

In der EU wird momentan an einer Überarbeitung der relevanten Normen sowie einem Rahmen für die Ausbildung von Kältetechnikern im Umgang mit Kohlenwasserstoffen gearbeitet, um den Klimaanlage-Markt für diese Technologie zu öffnen. Dies soll die künftige Einhaltung des HFKW-Phase-down und des Verbots von Split-Klimageräten, die mit F-Gas-Kältemitteln mit einem GWP>750 befüllt sind, ab 2025 (F-Gase-Verordnung, Annex III, Nr.15) ermöglichen. In diesem Zuge findet auch das Kältemittel R32, welches bereits seit Jahren Bestandteil von Gemischen ist, seinen Weg in diese Anwendung und hat seinen Anteil an allen Neugeräten im Jahr 2018 auf bereits 20 % ausbauen können, was eine Vervierfachung innerhalb eines Jahres darstellt (2017: 5 %).

#### Kaltwassersätze

Große Klimaanlage im Leistungsbereich von oberhalb ca. 20 kW Kälteleistung werden in der Regel als Flüssigkeitskühlsatz (Chiller) ausgelegt. Dieser Markt (Stückzahlen) ist relativ stabil, weil Rückgänge im unteren Leistungsbereich durch Zuwächse im mittleren Leistungsbereich ausgeglichen werden. Die Zahl der Neuinstallationen konnte aufgrund neuer Quellen wieder genauer erhoben werden. Seit 2005 nimmt die Bedeutung des Kältemittels R410A stetig und ungebrochen zu, sowohl im Leistungsbereich < 100 kW als auch im Leistungsbereich > 100 kW. Es ist mittlerweile in Neuanlagen

---

<sup>10</sup> Folgende Zahlen wurden in letzter Zeit für den Markt in China veröffentlicht:

160.000 Raumklimageräte, die vor allem in öffentlichen Einrichtungen installiert wurden (Artikel: Devin Yoshimoto: Chinese companies report production of nearly 160,000 propane room ACs, 29.08.2019.

<http://hydrocarbons21.com/articles/9129/chinese-companies-report-sales-of-nearly-160-000-propane-room-ac>.

180.000 Raumklimageräte, genannt in einem Side Event der Vertragsstaatenkonferenz des Montrealer Protokolls. Eine Produktionskapazität von 6 Millionen Geräten pro Jahr wurde ebenfalls aufgeführt. (Präsentation UNIDO: The Italian HVACR Experience. An international overview of alternative and climate friendly solutions in the A/C Sector, 06.11.2019).

wichtiger als R407C und R134a. Letzteres war fast ausschließliches Kältemittel in Turboverdichter-Anlagen. Auch in diesem Sektor wurde in früheren Berichten die Bedeutung von R410A überschätzt, weswegen sein Anteil auch hier zugunsten von R407C nach unten korrigiert wurde.

Seit 2013 und zunehmend ab 2015 bieten einige europäische Hersteller Chiller mit dem uHFKW-1234ze an. Im Gegensatz zu bisherigen Angaben aus den vorherigen Inventarberichten wird R1234ze nicht in Turbochillern eingesetzt. Da sich ein Turbochiller durch eine Zentrifugalverdichtung auszeichnet, darf es keinen Druckunterschied in der Anlage geben. Aus diesem Grund kann kein R1234ze in diesen Anlagen verwendet werden, sondern nur das Niederdruck-Kältemittel R1233zd. Diese Anlagen stehen gerade am Beginn der Markteinführung.

R1234ze ist allerdings trotzdem in großem Maßstab auf den Markt gebracht worden und zwar fast ausschließlich in sehr großen Chillern im Leistungsbereich von über 900 kW und entsprechend großen Füllmengen. Außerdem hat sich im vergangenen Jahr R513A etabliert, jedoch eher in kleineren Anlagen. Ersetzt wird in beiden Fällen R134a, nicht R410A.

Genauere Informationen zu den neuen Stoffen finden sich in Kapitel 2.5.

### **Wärmepumpenanlagen**

Die Zahl neu installierter Wärmepumpen hat nach dem Rückgang von 2009 und 2010 vor allem in den letzten zwei Jahren sehr stark zugenommen, was u.a. auf die anhaltenden Diskussionen zum Thema Klimaschutz und energieeffizientes Heizen zurück zu führen ist. Anhaltendes Wachstum in allen europäischen Ländern, außer denen des Südens, ist zu erwarten. Denn Wärmepumpen, die Boden und Grundwasser („Erdreich“) als Wärmequelle nutzen, sind energetisch vorteilhaft. Allerdings ist ein verstärkter Trend zu Wärmepumpen mit Luft als Wärmequelle zu beobachten, die bodengebundenen Wärmepumpen energetisch nicht gleichwertig sind.

### **Wärmepumpen-Wäschetrockner**

Dieser Bereich hat mit unter 1 % einen sehr kleinen Anteil an allen HFKW-Emissionen im Bereich der ODS-Ersatzstoffe. Seit 2015 sind auch Geräte mit R290 auf dem deutschen Markt verfügbar. Der Anteil an allen im Inland verkauften Geräten beim bisher einzigen Hersteller mit diesem natürlichen Kältemittel, dessen Marktanteil ca. 60 % beträgt, hat sich seit der Einführung im Jahr 2015 bereits verzehnfacht und liegt nun bei 34 %. Das entspricht in etwa 655.000 Geräten.

### **Gewerbliche Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion**

Im Jahr 2018 wurde dieser Bereich neu in das Inventar aufgenommen. Um in Großküchen die Abwärme von gewerblichen Geschirrspülmaschinen zu nutzen, sind seit dem Jahr 2005 einzelne Modelle mit Wärmepumpenfunktion auf dem deutschen Markt erhältlich. Die Anzahl der Hersteller in Deutschland ist nicht nur sehr klein, sondern deckt auch fast den kompletten Markt ab. Zudem sind die Produktionszahlen sehr stabil. Als Kältemittel kommt bisher ausschließlich der HFKW-134a zum Einsatz. Allerdings hat ein Hersteller bereits angekündigt, im Jahr 2020 auf R513A umzustellen.

Die Emissionen aus diesem Bereich sind sehr gering und bewegten sich im Jahr 2018 bei 0,075t, was 0,11 t CO<sub>2</sub>-Äq. entspricht.

## **1.4.2 Schaumherstellung (2.F.2)**

Im Schaumsektor werden fluorierte Substanzen als ODS-Ersatzstoffe als Treibmittel eingesetzt.

### **1.4.2.1 PU Hartschaum**

Für PU-Hartschaum werden seit 2002 die flüssigen HFKW-365mfc und HFKW-245fa als physikalische Treibmittel eingesetzt und berichtet. Die verwendeten Mengen werden von den Herstellern der Vorprodukte (sogenannten Systemhäusern) erfragt, welche die Treibmittel in die Polyolkomponente einmischen, die sie zusammen mit der Isocyanat-Komponente an die Schaumhersteller liefern. Bereits

1996 kam HFKW-134a zum Einsatz. Gemessen an den 1990er Jahren ist der Verbrauch fluorierter Treibmittel gering, weil die potenziellen Anwender nach sukzessiven Verboten von FCKW und HFCKW nur in wenigen Teilbereichen bei halogenierten Treibmitteln geblieben sind, sondern auf Kohlenwasserstoffe umgestellt haben. HFKW werden vor allem dort benutzt, wo schwere Entflammbarkeit der Treibmittel gefordert wird, wie bei der Anwendung Spritzschaum und teilweise bei Blockschaum (beides geschlossenzellige Hartschaumtypen) sowie bei Integralschaum, der offenzellig ist. Aufgrund neuer Erkenntnisse wurden die Inlandsverbräuche von HFKW-365mfc, HFKW-227ea und HFKW-245fa für die Produktion von PU-Hartschäumen (und PU Integralschäumen) für die Jahre 2007 bis 2016 korrigiert. Die Rückrechnungen bei den PU-Hartschäumen erfolgten auf Basis von UStatG-Daten, die Werte werden basierend auf Zahlen von Industrievertretern und UStatG-Anteilen berechnet.

Die langfristigen Emissionen aus dem Bestand von Hartschaum (Emissionsrate 0,5 – 1 %) stiegen weiterhin an, weil aufgrund der langen Lebensdauer von Dämmschaum noch keine Entsorgung aus dem Bestand stattfindet.

#### **1.4.2.2 XPS**

Seit Ablösung der HFCKW-Treibmittel durch HFKW seit dem Jahr 2001 ist die Herstellung von Dämmplatten aus extrudiertem Polystyrol (XPS) der Schaumsektor mit den höchsten Emissionen. Die Menge des HFKW-134a, der bei der Herstellung zu ca. 30 % in die Atmosphäre entweicht, war seit 2009 stetig zurückgegangen. Seit 2013 ist allerdings wieder ein Aufwärtstrend zu beobachten. Auch der Einsatz von HFKW-152a, der bei der Herstellung des Schaumes vollständig emittiert, und seit 2001 rückläufig war, hat seit 2015 einen Anstieg zu verzeichnen.

Ein deutscher Hersteller setzt seit 2012 für einen Großteil seiner Produktpalette statt des HFKW-152a den ungesättigten uHFKW-1234ze als Treibmittel ein. Die verwendeten Mengen sind bereits beträchtlich. Der Stoff könnte in naher Zukunft auch den HFKW-134a ersetzen, dessen Verwendung für Schäume ab 1.1.2020 nicht mehr erlaubt ist.

Der Wert des Inlandsverbrauchs von HFKW-152a für die Produktion von XPS-Hartschaum wurde basierend auf den Daten aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (2005) für die Jahre 2007 bis 2011 korrigiert. Ebenfalls auf Basis der Erhebung nach UStatG wurde der Wert des Inlandsverbrauchs von HFKW-134a für die Produktion von XPS-Hartschaum für die Jahre 2009 bis 2011 und 2013 bis 2016 korrigiert

#### **1.4.2.3 PU Integralschaum**

Der Einsatz von HFKW-Treibmitteln für Integralschaum für Schuhsohlen, Lenkradummantelungen, Schreibtischstuhl-Lehnen u. dgl. spielt in Deutschland nur noch eine untergeordnete Rolle, da die Produktion entweder ausgelagert worden ist oder die Herstellung halogenfrei bewerkstelligt wird (etwa Lenkräder). Bei Integralschaumprodukten nimmt die Dichte des Schaums von innen nach außen zu, bis eine feste Haut an der Oberfläche gebildet ist. Anders als beim Hartschaum, wo hohes Dämmvermögen gefordert ist und dafür die Treibmittel in den Schaumzellen eingeschlossen bleiben sollen, emittieren die Treibmittel unmittelbar nach dem Produktionsprozess und haben sich innerhalb eines Jahres in die Atmosphäre verflüchtigt. Die halogenierten Treibmittel sind die gleichen wie für Hartschaum, nämlich HFKW-134a, HFKW-245fa und HFKW-365mfc (letzterer mit Zusatz von HFKW-227ea).

Aufgrund neuer Erkenntnisse wurden die Inlandsverbräuche von HFKW-365mfc, HFKW-227ea und HFKW-245fa für die Produktion von PU Integralschäumen (und PU-Hartschäumen) für die Jahre 2007 bis 2016 korrigiert.

#### 1.4.2.4 PU Montageschaum

Die Emissionen aus der Anwendung von PU-Montageschaum, der bis zum Jahr 2000 größten einzelnen Emissionsquelle von HFKW in Deutschland überhaupt, haben sich auch 2018 weiter vermindert.

Die EU F-Gase-Verordnung von 2014 enthält – genau wie schon ihre Vorgängerin – das Verkaufsverbot für Montageschaum mit fluorierten Treibmitteln ab Juli 2008 bis auf einen geringen Rest, der zur Einhaltung nationaler Sicherheitsnormen erforderlich ist (Bergbau). Aus dem Verordnungstext ergibt sich allerdings nur ein Verbot für Treibmittelgemische (Zubereitungen) mit einem GWP über 150. Damit ist die Verwendung von HFKW-134a als Gemisch-Komponente weiterhin gestattet, unter der Voraussetzung, dass durch die Zugabe der GWP-Grenzwert von 150 nicht überschritten wird. Dadurch sind bis zu 10 % HFKW-134a im Gasgemisch zulässig, welches weiter aus Kohlenwasserstoffen besteht. Sowohl im Jahr 2017 als auch im Jahr 2018 betragen die Konzentrationen im Treibmittelgemisch aller im Inland angewendeten Dosen bei HFKW-134a 0,5 % und bei HFKW-152a 2,2 %.

#### 1.4.3 Feuerlöschmittel (2.F.3)

Bei Feuerlöschmitteln, der ehemals großen Emissionsquelle der Ozonschicht zerstörenden Halone, spielen HFKW wie HFKW-227ea, HFKW-236fa und der seit 2005 eingesetzte HFKW-23 eine untergeordnete Rolle. In kleineren Räumen für EDV, Telekommunikation usw. werden zwar fluoridierte Gase eingesetzt, aber für Raumvolumina über 400 m<sup>3</sup> werden meistens andere Löschmittel, vor allem Inertgase, verwendet.

Nachdem im Jahr 2009 etwa 10 t des HFKW-227ea zum Neueinsatz kamen und 2010 der Verbrauch auf 29 t gestiegen ist, gab es 2012 einen Rückgang auf 11 t. 2018 hat sich der Trend fortgesetzt, und der Verbrauch sank mit etwa 3 t auf den niedrigsten Stand seit 2006.

Das Löschmittel HFKW-236fa in mobilen Systemen der Bundeswehr wird seit Jahren in leicht steigendem Maße eingesetzt.

Der als Löschmittel wegen seines hohen GWP umstrittene HFKW-23 wurde nach einer Schätzung des Umweltbundesamtes nur in geringem Umfang für Neuanlagen genutzt. Der Bestand wird auf ca. 5 t geschätzt. Bereits im Vorfeld des Verbots ab 1. Januar 2016 (EU F-Gase-Verordnung, Annex III, Nr. 3), fanden keine Neu-Befüllungen mehr statt, so dass der Bestand in den nächsten Jahren abnehmen wird.

Für alle HFKW beträgt der Emissionsfaktor der Entsorgung 1 %. Dieser Wert weicht von den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines ((IPCC, 2006): Vol. 3, Kapitel 7.6.2.2) ab, da in der Praxis Gasflaschen von der Anlage getrennt werden und in die Wiederverwendung gehen.

#### 1.4.4 Aerosole (2.F.4)

In diesem Abschnitt werden die Dosieraerosole (Metered Dose Inhalers, MDI), welche in der Medizin verwendet werden, sowie die allgemeinen Aerosole und Novelty-Aerosole beschrieben.

##### 1.4.4.1 Dosieraerosole

HFKW-Emissionen (HFKW-134a und HFKW-227ea) aus der Anwendung medizinischer Sprays für die Asthmabehandlung liegen relativ konstant bei etwa 200 t/a - trotz Anstiegs des Arzneimittelverbrauchs für die Atemwegstherapie. Dies deutet darauf hin, dass treibgasfreie Applikationsformen stetig an Marktanteil gewinnen. Der HFKW-227ea verliert weiter an Bedeutung als Folge des Verschreibungsrückgangs für die beiden einzigen Medikamente mit diesem Treibmittel.<sup>11</sup> Der bedeutende inländische Abfüller von medizinischen Dosieraerosolen verwendet HFKW-134a als

---

<sup>11</sup> Es handelt sich um Allergospasmin und Aarane mit den Bestandteilen Cromoglicinsäure und Reproterol.

Treibmittel. Es gibt noch weitere medizinische Aerosole (etwa für antibakterielle Therapie); die verwendeten Treibmittelmengen sind gegenüber den Asthma-Dosieraerosolen allerdings niedrig.

#### 1.4.4.2 Sonstige Aerosole

Die Emissionen aus nichtmedizinischen Aerosolen waren bereits 1995 niedrig, gemessen an den historischen Mengen Ende der siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts. Mit HFKW-haltigen Aerosolen sind heute nur einige technische Sprays (Kälte-, Druckluft- und Reinigungssprays) befüllt, die überwiegend bei Reparaturen an unter Spannung stehenden elektrischen und elektronischen Bauteilen verwendet werden, wo Unbrennbarkeit erforderlich ist. Dazu kommen sogenannte "Novelties". Diese umfassen Dekorationssprays und reine Spaßprodukte, wie z.B. Signalhörner oder Sprays für Luftschlangen oder künstlichen Schnee.

Das Inverkehrbringen von HFKW-haltigen Novelties ist bereits seit dem 4. Juli 2009 durch die EU F-Gase-Verordnung verboten (Annex III, Nr. 9). Technische Aerosole mit HFKW waren nach der aktuellen F-GaseV noch bis Ende 2017 erlaubt (Annex III, Nr. 17). Allerdings gilt sowohl für die Novelties als auch die technischen Aerosole dieselbe Regelung wie bei Montageschaum: Den Treibgasmischungen können HFKW zugesetzt werden, solange das GWP kleiner als 150 bleibt.

Auf dem deutschen Markt werden seit 2013 auch technische Aerosole angeboten, die als Treibmittel den ungesättigten uHFKW-1234ze enthalten. Alle uns bekannten Unternehmen haben bis Ende 2018 fast vollständig auf diesen Stoff umgestellt. Ein Unternehmen bleibt allerdings teilweise bei dem HFKW-134a und verwendet diesen in Mischung mit uHFKW-1234ze (10% HFKW-134a, 90% uHFKW-1234ze).

Die Verwendungsmengen zu dem uHFKW-1234ze finden sich im Kapitel 3.1.

Die HFKW-134a-Einsatzmenge in technischen Aerosolen für die inländische Anwendung im Jahr 2018 wird daher von den befragten Branchenexperten auf nur noch ca. 10 t geschätzt.

Die HFKW-134a Verwendungsmengen zur Produktion von allgemeinen Aerosolen, die mit den in Deutschland in den Verkehr gebrachten Mengen übereinstimmen, wurden für die Jahre 2010 bis 2016 aufgrund von neuen Daten korrigiert.

#### 1.4.5 Lösemittel (2.F.5)

HFKW-Lösemittel in industriellen Oberflächenreinigungsanlagen sind von marginaler Bedeutung, weil die Gesetzgebung gegenüber halogenierten Vorläufersubstanzen bereits vor der HFKW-Markteinführung zu einer breiten Palette von Alternativen geführt hatte. Der weltweit wichtigste als Lösemittel verwendete HFKW-43-10mee hat daher in Deutschland keine große Verbreitung gefunden und wird nicht einmal zur Oberflächenreinigung eingesetzt, sondern zum Lösen von Gummiteilen. Jedoch gewinnen in der Oberflächenreinigung in jüngerer Zeit teilfluorierte Ether (HFEs) an Bedeutung. Diese unterliegen nicht der nationalen UNFCCC-Berichtspflicht, so dass sie an dieser Stelle nicht berücksichtigt werden, sondern in Kapitel 3.2. Erstmals berichteten wir 2016 (rückwirkend bis 2008) über die beiden flüssigen HFKW-365mfc und HFKW-245fa, soweit sie als Lösemittel eingesetzt wurden. Jedoch handelt/e es sich dabei um nur geringe Mengen.

Ein weiteres fluoriertes Treibhausgas, das auch als Lösemittel eingesetzt wird, ist Perfluorhexan (C<sub>6</sub>F<sub>14</sub>), und zwar in geringem Umfang in der Kunststoffindustrie. Diese Mengen werden unter Lösemitteln mitberichtet.



## 1.5 Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G)

Da es sich in diesem Abschnitt hauptsächlich um SF<sub>6</sub> handelt, wird hier zu Anfang eine Gesamtübersicht über dessen Emissionen gegeben. Außerdem finden sich in diesem Abschnitt auch die vertraulichen Daten, welche unter 2.H.3. berichtet werden (siehe kurze Beschreibung in Kapitel „Andere Bereiche (2.H.3)“).

SF<sub>6</sub>-Emissionen sind im Zeitraum 1995 bis 2018 von 283 auf 168 t gesunken, was in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten einen Rückgang von 6,9 auf 3,9 Mio. t ausmacht (siehe Tabelle 10: SF<sub>6</sub>-Emissionen und vertrauliche Emissionen (2.H.3) [t] 1995-2018 und Tabelle 11: SF<sub>6</sub>-Emissionen und vertrauliche Emissionen (2.H.3) [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018). Dieser Rückgang um 150 t ist zu 60 % durch das Verbot der SF<sub>6</sub>-Befüllung von Autoreifen verursacht. Allerdings trugen auch andere Sektoren zur Emissionssenkung bei. Seit 2008 ist kein weiterer Rückgang der SF<sub>6</sub>-Emissionen mehr feststellbar. Die Emissionen schwanken seitdem in einem Bereich von 129 t bis 168 t. Hierbei verzeichnet das Jahr 2018 die höchsten Emissionen.

Für die Emissionsabschätzung kann seit dem Berichtsjahr 2006 das Umweltstatistikgesetz (UStatG) genutzt werden. Seit 2007 führt das Statistische Bundesamt jährlich die "Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe: Schwefelhexafluorid" bei den inländischen Gasehndlern nach deren Abnehmergruppen durch. Die Verbrauchsmengen der Gruppen Schallschutzscheiben, Autoreifen (Kfz-Werkstätten), Flugbetrieb (Radar), Magnesiumguss, Sekundäraluminium, Solartechnik und optische Glasfasern werden so mit hoher Datensicherheit erfasst.

**Tabelle 10: SF<sub>6</sub>-Emissionen und vertrauliche Emissionen (2.H.3) [t] 1995-2018**

|   | 1995          | 2000          | 2005          | 2010          | 2015          | 2016          | 2017          | 2018          |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Aluminium- und Magnesiumguss  | 7,7           | 13,8          | 30,5          | 6,5           | 1,2           | 1,9           | 4,3           | 3,8           |
| Autoreifen  | 110,0         | 50,0          | 2,7           | 0,6           | 0,1           | -             | -             | -             |
| Elektr. Schaltanlagen   | 27,0          | 16,8          | 15,0          | 12,5          | 10,6          | 9,0           | 8,4           | 8,5           |
| Halbleiter  | 2,1           | 2,5           | 3,3           | 0,7           | 0,9           | 1,1           | 1,1           | 1,2           |
| Schallschutzscheiben  | 107,8         | 54,5          | 62,8          | 93,0          | 114,7         | 126,7         | 138,6         | 144,4         |
| SF <sub>6</sub> -Produktion   | 7,0           | 9,0           | 10,0          | 3,8           | 0,06          | 0,05          | 0,05          | 0,04          |
| Solartechnik  | -             | -             | 0,86          | 2,29          | -             | -             | -             | 0,002         |
| Spurengas   | 0,5           | 0,5           | 0,5           | 4,0           | 4,0           | 4,0           | 4,0           | 4,0           |
| T&D Bauteile  | 16,6          | 26,6          | 12,0          | 6,2           | 6,9           | 4,7           | 4,3           | 3,6           |
| Teilchenbeschleuniger   | 4,9           | 5,0           | 4,9           | 4,1           | 4,1           | 4,1           | 4,1           | 4,2           |
| <b>Insgesamt</b>  | <b>283,60</b> | <b>178,70</b> | <b>142,56</b> | <b>133,69</b> | <b>142,56</b> | <b>151,55</b> | <b>164,85</b> | <b>169,74</b> |
| <b>Vertrauliche Emissionen 2.H.3:</b>   |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Radar, Schweißen, Optische Glasfasern, Sohlen, Medizin- und Kosmetikprodukte, Wärmeüberträger, Lösemittel |               |               |               |               |               |               |               |               |
| HFKW, FKW, SF <sub>6</sub>  | 21,23         | 27,97         | 15,67         | 11,59         | 9,34          | 6,81          | 8,00          | 7,51          |
| <b>Insgesamt SF<sub>6</sub> inkl. 2.H.3</b>   | <b>304,83</b> | <b>206,67</b> | <b>158,23</b> | <b>145,28</b> | <b>151,90</b> | <b>158,36</b> | <b>172,85</b> | <b>177,25</b> |

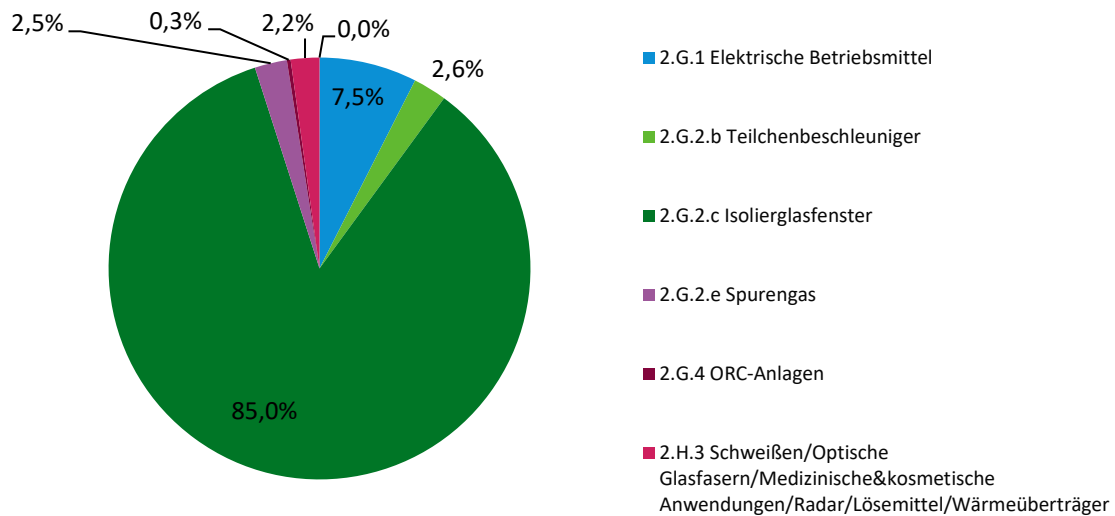
Trotz des in den Jahren 2010 bis 2018 erfolgten Wiederanstiegs der Emissionen gegenüber dem Krisenjahr 2009 (um 34 t), gehen wir für die kommenden Jahrzehnte von einem Rückgang der SF<sub>6</sub>-Emissionen aus, wenn die gesetzlichen Maßnahmen zur Emissionsminderung fortgeführt werden. Eine Ausnahme stellen die SF<sub>6</sub>-Emissionen aus Schallschutzscheiben dar, die bis etwa 2020 einem starken Anstieg unterliegen und voraussichtlich erst ca. 2034 komplett wegfallen werden. Zu beachten ist, dass die hohen Emissionen aus Schallschutzscheiben nicht auf einen gegenwärtigen Neuverbrauch zurückgehen, sondern bei der Entsorgung alter Scheiben entstehen, die im Durchschnitt 25 Jahre vorher befüllt wurden.

**Tabelle 11: SF<sub>6</sub>-Emissionen und vertrauliche Emissionen (2.H.3) [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1995-2018**

|   | 1995         | 2000         | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Aluminium- und Magnesiumguss  | 0,177        | 0,315        | 0,695        | 0,102        | 0,026        | 0,044        | 0,097        | 0,087        |
| Autoreifen  | 2,508        | 1,140        | 0,062        | 0,013        | 0,001        | -            | -            | -            |
| Elektr. Schaltanlagen   | 0,616        | 0,383        | 0,343        | 0,285        | 0,241        | 0,206        | 0,192        | 0,193        |
| Halbleiter  | 0,049        | 0,056        | 0,075        | 0,017        | 0,020        | 0,026        | 0,025        | 0,027        |
| Schallschutzscheiben  | 2,457        | 1,243        | 1,432        | 2,120        | 2,615        | 2,889        | 3,160        | 3,292        |
| SF <sub>6</sub> -Produktion   | 0,160        | 0,205        | 0,228        | 0,086        | 0,001        | 0,001        | 0,001        | 0,001        |
| Solartechnik  | -            | -            | 0,019        | 0,052        | -            | -            | -            | 0,00005      |
| Spurengas   | 0,0114       | 0,0114       | 0,0114       | 0,0912       | 0,0912       | 0,0912       | 0,0912       | 0,0912       |
| T&D Bauteile  | 0,378        | 0,607        | 0,274        | 0,142        | 0,157        | 0,106        | 0,099        | 0,083        |
| Teilchenbeschleuniger   | 0,103        | 0,114        | 0,112        | 0,094        | 0,094        | 0,095        | 0,095        | 0,095        |
| <b>Insgesamt</b>  | <b>6,459</b> | <b>4,074</b> | <b>3,251</b> | <b>3,002</b> | <b>3,246</b> | <b>3,458</b> | <b>3,760</b> | <b>3,869</b> |
| <b>Vertrauliche Emissionen 2.H.3:</b>   |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Radar, Schweißen, Optische Glasfasern, Sohlen, Medizin- und Kosmetikprodukte, Wärmeüberträger, Lösemittel |              |              |              |              |              |              |              |              |
| HFKW, FKW, SF <sub>6</sub>  | 0,447        | 0,566        | 0,277        | 0,176        | 0,117        | 0,077        | 0,092        | 0,081        |
| <b>Insgesamt SF<sub>6</sub> inkl. 2.H.3</b>   | <b>6,906</b> | <b>4,640</b> | <b>3,528</b> | <b>3,178</b> | <b>3,363</b> | <b>3,535</b> | <b>3,852</b> | <b>3,950</b> |

Abbildung 6 stellt die Anteile der verschiedenen Subsektoren der klimawirksamen Emissionen des Sektors 2.G. sowie alle vertraulich zu berichtenden Daten unter 2.H.3 dar (bis auf 2.G.2.d: Autoreifen und Sportschuhe, da hier im Jahr 2018 keine Emissionen angefallen sind).

**Abbildung 6: Anteile der klimawirksamen Emissionen bezogen auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente des Sektors 2.G und 2.H.3 in Deutschland 2018 (%)**



Auch inklusive aller anderen in Sektor 2.G genutzten F-Gase machen die SF<sub>6</sub>-Emissionen aus dem Bereich Isolierglasfenster, wie beschrieben, zurzeit noch den größten Anteil an allen klimawirksamen Emissionen aus.

### 1.5.1 Elektrische Betriebsmittel (2.G.1)

#### 1.5.1.1 Elektrische Anlagen der Energieübertragung und -verteilung

Weltweit ist die SF<sub>6</sub>-Anwendung in Schaltgeräten und Schaltanlagen bei weitem die größte, und auch in Deutschland bildet sie den Sektor mit dem höchsten SF<sub>6</sub>-Verbrauch. Dieser ging im Krisenjahr 2009 gegenüber dem Vorjahr nicht zurück und stieg 2010 auf 943 t. Im Jahr 2013 fiel der SF<sub>6</sub>-Verbrauch allerdings stark ab, auf nur 802 t, den geringsten Wert seit 2008. Dieser Abwärtstrend hatte sich im Jahr 2016 nicht fortgesetzt, im Gegenteil, es wurde der höchste Verbrauch seit Beginn der Datenmeldung im Jahr 1995 gemeldet: knapp über 1.000 t. Seitdem ist allerdings ein deutlicher Abwärtstrend zu beobachten und so sank der Verbrauch im Jahr 2018 auf etwa 666 t. Die große Mehrheit der produzierten Anlagen wird exportiert. Inländische Emissionen entstehen vor allem bei der Herstellung (Forschung und Tests) und im Betrieb, nur zu geringem Teil bei Außerbetriebnahme. Die Gesamtemissionen gingen seit 1995 zurück und sanken bis 2014 auf 9,5 t, 2018 sind Emissionen von 8,4 t zu verzeichnen.

Das Ziel der Hersteller und Betreiber aus der Selbstverpflichtung von 2005, die Gesamtemissionen bis 2020 auf jährlich 17 t zu begrenzen, wurde bereits im Jahr dieser Selbstverpflichtung eingehalten, und das bei deutlich steigender Produktionsmenge. Schaltanlagen unterliegen der im Jahr 2014 revidierten EU F-Gase-Verordnung, die u.a. die Rückgewinnung durch zertifiziertes Personal vorschreibt.

Die Netzbetreiber, bei denen die Bestandsemissionen entstehen, haben seit 2008 (ab Berichtsjahr 2007) ein neues System der Datenerfassung für den Bereich der Hochspannung etabliert. Anstelle einer Vollerhebung bei etwa neunzig Netzbetreibern (Hoch- und Mittelspannung), werden die Emissionen anhand ausgewählter Referenzanlagen, an denen sie gemessen werden können, hochgerechnet<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Winfried Schwarz (2007): Effizientere Datenerhebung für das SF<sub>6</sub>-Monitoring der Netzbetreiber in der Hochspannung. Gutachten für den Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW und den VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.



Die Emissionsgrenzwerte der Selbstverpflichtung laufen im Jahr 2020 aus. Ob es neue Zielsetzungen mit den Herstellern und Betreibern geben wird, ist gerade in der Diskussion und hängt von den Entwicklungen auf EU-Ebene ab. Genauere Informationen hierzu finden sich in Kapitel 2.7.

#### **1.5.1.2 Produktion elektrischer Bauteile für die Energieübertragung (T&D Bauteile)**

Hier handelt es sich um Zu- und Anbauten für Schaltanlagen wie Messwandler und Durchführungen, aber auch um Kondensatoren für Umrichter. Diese Bauteile werden seit 2005 getrennt von Schaltanlagen ("elektrische Betriebsmittel") berichtet, um den Stand der im vorigen Abschnitt genannten Selbstverpflichtung, die sich nur auf Schaltanlagen im engeren Sinn bezieht, sichtbar zu machen. Im Jahr 2001 betragen die Emissionen bei der Herstellung elektrischer Bauteile 27 t und damit mehr als aus Schaltanlagen selbst. Die Industrie hat durch Wiederverwendung und Kreislaufführung des Gases den Verbrauch pro Produkt erheblich verringert, so dass im Jahr 2009 nur noch 8 t Emissionen entstanden. Im Jahr 2018 beliefen sie sich auf 3,6 t.

#### **1.5.2 SF<sub>6</sub> und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2)**

##### **1.5.2.1 Militär - AWACS (2.G.2.a)**

Die SF<sub>6</sub>-Emissionen aus Radarsystemen sind seit 2010 rückläufig. Ihr Umfang ist vertraulich.

##### **1.5.2.2 Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b)**

Die anhand der Nachfüllungen abgeschätzten SF<sub>6</sub>-Emissionen aus der Gesamtheit aller Teilchenbeschleuniger betragen 2018 etwa 4,1 t (Gesamtbestand: 73,7 t).

Es ist anzunehmen, dass der Anlagen- und SF<sub>6</sub>-Bestand im Hochspannungs-Bereich nicht wesentlich zunehmen wird. Im Forschungs- und Entwicklungsbereich ist dagegen eine leichte weitere Zunahme ebenso denkbar wie im industriellen Sektor (insbesondere bei Niederspannungsgeräten – hier wird von Herstellern ein Bestandszuwachs von 2-4 Geräten/Jahr erwartet). Bei Strahlentherapiegeräten ist ebenfalls von einer zunehmenden Ausstattung der medizinischen Einrichtungen mit entsprechenden Geräten zu rechnen.

Halten die bisher beobachteten Trends bei Füllmengen und Emissionen an, so ist mit keiner wesentlichen Emissionsminderung aus diesem Sektor zu rechnen.

##### **1.5.2.3 Isolierglasfenster (2.G.2.c)**

Ab Juli 2007 war das Inverkehrbringen von SF<sub>6</sub>-haltigen Schallschutzscheiben für Wohnhäuser verboten, ein Jahr später auch für "sonstige Fenster". Der jährliche Neuverbrauch von SF<sub>6</sub> (in den Tabellen dieses Berichts nicht gesondert ausgewiesen) sank dadurch von ehemals 275 t (1995) auf 7 t im Jahr 2008.

Die heutigen und künftigen Emissionen aus dieser Anwendung stammen vorwiegend aus der offenen Entsorgung alter Fenster, 25 Jahre nach der Befüllung des Scheibenzwischenraums. Dieser Vorgang ist die Ursache des Anstiegs der Emissionen um jährlich etwa 5 – 6 t seit dem Jahr 2000. Diese Entsorgungsemissionen werden noch bis 2020 zunehmen, und zwar bis auf etwa 140 t im Jahr. Dieser Anstieg ist vom heutigen Stand der Technik aus gesehen kaum zu verhindern, da entsprechende Entsorgungstechnologien nicht zur Verfügung stehen.

##### **1.5.2.4 Adiabatische Anwendungen – Autoreifen und Sportschuhe (2.G.2.d)**

#### **FKW**

In diversen Sportschuhen, die früher SF<sub>6</sub> in den Sohlen enthielten, wurde zwischen 2004 und 2006 der FKW-218 als Ersatzgas eingesetzt. Die ersten Emissionen aus der Entsorgung solcher Schuhe traten 2007 auf, da eine durchschnittliche (emissionsfreie) Nutzungsdauer von drei Jahren angenommen wird. 2009 war rechnerisch das letzte Jahr mit Emissionen aus dieser Quelle.

## **SF<sub>6</sub>**

Emissionen aus der Anwendung Sportschuhsohlen spielen seit 2007 keine Rolle mehr. Der Sportartikelhersteller setzte in neuen Schuhen seit 2004 kein SF<sub>6</sub> mehr ein, sondern den oben genannten FKW-218 (beide Gase sind durch die EU F-Gase-Verordnung in neuen Schuhen seit Juli 2006 verboten).

Seit Mitte der 1990er Jahre ist die Anwendung von SF<sub>6</sub> zur Befüllung von Autoreifen rückläufig. Als Folge erfolgreicher Umweltaufklärung war der Verbrauch von über 100 t am Ende der 1990er Jahre bis auf 1 t im Jahr 2008 zurückgegangen. Offenbar wegen des Verbots dieser Anwendung durch die EU F-Gase-Verordnung ab 4. Juli 2007 haben Kfz-Werkstätten im Jahr 2006 noch einmal über 3 t auf Kundenwunsch in Reifen gefüllt. Da Emissionen etwa drei Jahre nach der Befüllung bei der Demontage der Reifen entstehen, war daher im Jahr 2009 noch einmal ein erheblicher Anstieg zu verzeichnen. Im Jahr 2014 beliefen sich die Emissionen auf noch ca. 50 kg, welche sich aus dem letzten Jahr mit Befüllung (2012) erklären lassen. Im Jahr 2015 sind keine Emissionen aus diesem Sektor mehr vorhanden, da es ein Verbot in der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 gibt.

### **1.5.2.5 Sonstige: Spurengas, Schweißen, optische Glasfasern, medizinische und kosmetische Anwendungen (2.G.2.e)**

#### **Spurengas**

##### **SF<sub>6</sub>**

Im Jahr 2015 wurden die Anwendungsgebiete von SF<sub>6</sub> als Spurengas neu überprüft. Als Hauptemissionsquelle stellten sich Funktionstests von Laborabzügen heraus. Die ehemals angenommen 200 kg/Jahr haben sich als deutlich zu niedrig erwiesen, denn die verwendeten Mengen von SF<sub>6</sub> sind in dieser Anwendung relativ groß und liegen bei etwa 4 t pro Jahr. Dieser Wert wird, wie ehemals die 200 kg, nun seit 2007 rückwirkend angenommen und fortgeschrieben.

#### **Schweißen**

##### **SF<sub>6</sub>**

Bei der Anwendung Schweißtechnik kommt es zu Schwankungen im Verbrauch, die mit der Automobilkonjunktur zusammenhängen, weil die Anwender Zulieferer der Autoindustrie sind. Im Jahr 2018 haben wir erstmalig die Meldung bekommen, dass in diesem Bereich kein SF<sub>6</sub> mehr eingesetzt wurde.

#### **Optische Glasfasern**

##### **SF<sub>6</sub>**

Die Verwendung von SF<sub>6</sub> bei der Produktion optischer Glasfasern ist in Deutschland relativ neu. Das Gas wird zur Fluordotierung eingesetzt. Mangels Angabe in den IPCC-Richtlinien hatten wir, gestützt auf Aussagen von Branchenexperten, den Emissionsfaktor vorläufig mit 70 % angesetzt. Der Verbrauch betrug 2008 etwa 7,6 t und sank im Krisenjahr 2009 auf 4,5 t. Im Jahr 2013 erreichte die Einsatzmenge ihren bisherigen Höchststand von 14,4 t. Dieser wurde 2015 mit einer Einsatzmenge von 20,5 t noch deutlich überboten.

Um für die Inventarverbesserung einen soliden Emissionsfaktor zu gewinnen, wurde im Herbst 2016 im Umweltbundesamt ein Fachgespräch mit Experten aus Produktion und Wissenschaft durchgeführt. Dort wurden die bei der Herstellung entstehenden Emissionen abgeschätzt; außerdem hatte einer der deutschen Hersteller angekündigt, Messungen durchzuführen, deren Ergebnisse Ende 2016 vorlagen. Die Ergebnisse dieser Messungen bestätigen die im Fachgespräch geäußerten Einschätzungen der nahezu vollständigen Zerstörung des SF<sub>6</sub> im Prozess der Dotierung. Folglich nehmen wir für das F-Gas-Inventar einen sehr kleinen Emissionsfaktor an, der aber der Vertraulichkeit unterliegt.

Einzelheiten zu der Anwendung von SF<sub>6</sub> für die Herstellung von optischen Glasfasern finden sich im Bericht „Emissionen fluoriertes Treibhausgas in Deutschland 2015“.

## Medizinische und kosmetische Anwendungen

### FKW

Der seit 2013 neu zu berichtende Stoff Perfluordecalin (PFD; C<sub>10</sub>F<sub>18</sub>) wird in kosmetischen und medizinischen Anwendungen eingesetzt, was durch das ursprüngliche Einsatzgebiet als FKW-basiertes Blutersatzmittel erklärt werden kann. Perfluordecalin wird unter der Produktbezeichnung „Flutec PP6“ vom britischen Hersteller F2 Chemicals vermarktet. C<sub>10</sub>F<sub>18</sub> wird seit dem Jahr 2000 nach Deutschland eingeführt. Die jährlichen Importe von C<sub>10</sub>F<sub>18</sub> als Bulkware wurden uns vom Hersteller F2 Chemicals, UK, vertraulich zur Verfügung gestellt. Sie sind dem Umweltbundesamt bekannt, können aber hier nicht wiedergegeben werden.

Die Einsatzkonzentration von Perfluordecalin liegt bei 0,1 % pro Artikel. Bei allen beschriebenen Anwendungen von Perfluordecalin ist von vollständigen Emissionen aufgrund der raschen Verdampfung dieses Stoffes auszugehen.

### 1.5.3 ORC-Anlagen (2.G.4)

In Anlagen zur Elektrizitätsgewinnung, die auf dem Organic Rankine Cycle (ORC) basieren, kommen anstelle von Wasser verschiedene Substanzen als Arbeitsmittel in Frage, die bei niedrigeren Temperaturen verdampfen. Für Geothermieranlagen wurden oft Kohlenwasserstoffe wie Isobutan verwendet. Seit 2011 werden in neuen geothermischen ORC-Anlagen auch HFKW eingesetzt – wie der HFKW-365mfc (in Mischung mit dem perfluorierten Polyether Galden® HT-55) oder der HFKW-245fa. Zuvor wurde auch der HFKW-134a verwendet; sogar ein FKW (C<sub>5</sub>F<sub>12</sub>) war vorübergehend zum Einsatz gekommen.

Die ORC-Arbeitsmittel haben wir erstmals 2012 berichtet, als nach etwa acht Jahren ohne nennenswerte Einsatzmengen ein sprunghafter Anstieg auf über 170 t HFKW-Bestand zu verzeichnen gewesen war. Seit 2016 hat sich der Zuwachs des Bestands spürbar verlangsamt. Nachdem für den HFKW-365mfc für das Jahr 2016 keine Mengen berichtet wurden, d.h. ein Nullverbrauch, gab es 2017 wieder einen sehr geringen Verbrauch. Im Jahr 2018 allerdings wieder ein Nullverbrauch. Neue geothermische Großanlagen wurden nicht gebaut. Die von den Herstellern Solvay und Honeywell vertraulich mitgeteilten Verkaufsmengen (ohne die Mischungskomponente Galden) lagen signifikant unter denen der Jahre 2011 und 2012.

Die Emissionen des Jahres 2018 aus Befüllung und Betrieb schätzen wir auf knapp über 10 t (nur HFKW).

### FKW

Der Stoff C<sub>5</sub>F<sub>12</sub> (GWP 9.160) unterliegt ebenfalls der UNFCCC-Berichterstattung. In Gschrey et al 2015 wurden seine potenziellen Einsatzgebiete beschrieben: Lösemittel zur Präzisionsreinigung, Kontrastmittel, Wärmeüberträger. In Deutschland spielten diese Anwendungen nach unseren Recherchen aber keine Rolle.

Dieser FKW wurde dagegen ab 2003 als Arbeitsfluid in einer ORC-Anlage verwendet (Füllmenge 450 kg), die im Jahr 2010 wieder außer Betrieb genommen wurde. Die Emissionen aus dem Betrieb beliefen sich in der aktiven Zeit auf knapp 20 kg pro Jahr.

## 1.6 Andere Bereiche (2.H.3)

In diesem Abschnitt werden alle Anwendungen berichtet, welche der Vertraulichkeit unterliegen. Dazu gehören die Wärmeüberträger (2.E.4), Lösemittelanwendungen (2.F.5) sowie aus der Quellgruppe 2.G.2 AWACS, Verwendung für Schuhsohlen, Schweißen, optische Glasfasern und die Anwendung als

Medizinprodukte. Die Anwendungsbereiche wurden, soweit möglich, bereits in den vorherigen Kapiteln beschrieben.

## 2 Inventarverbesserung

### 2.1 Emissionsfaktor für HFKW-134a als Schutzgas in Magnesiumgießereien

In Magnesiumgießereien (Quellgruppe 2.C.4) ist die Verwendung von SF<sub>6</sub> gemäß Artikel 13 der F-Gase-Verordnung ab dem 01. Januar 2018 auch in kleinen Produktionsanlagen verboten. Bereits seit dem 01.01.2008 ist SF<sub>6</sub> als Schutzgas in großen Magnesium-Druckgießereien, das heißt mit mehr als 850 kg SF<sub>6</sub>-Jahresverbrauch, untersagt. Die vom Verbot betroffenen deutschen Betriebe haben seitdem auf den HFKW-134a (GWP: 1.430) umgestellt. Nach unseren Erkenntnissen gab es Ende 2017 außer einem (nicht vom Verbot betroffenen) Sandgießer noch vier Druckgießereien mit Verwendung von SF<sub>6</sub>, die aber die Umstellung auf HFKW-134a planten.

Die IPCC-Guidelines (GL) 2006 halten einen Emissionsfaktor nur für SF<sub>6</sub> bereit; dies deshalb, weil für HFKW-134a zum Zeitpunkt der Fertigstellung der GL nur kommerzielle Angaben des Patentinhabers (AM-Cover™), aber noch keine unabhängigen Schätzungen oder Messungen über den Zersetzungsgrad über der Schmelze (Temperatur > 650°C) vorlagen. Aus diesem Grunde wurde sowohl in Deutschland als auch in anderen Ländern die SF<sub>6</sub>-Emissionsrate von 100 % auch auf den HFKW-134a angewendet, auch dann noch, als u.a. deutsche industrielle Anwender von relativ hoher Zersetzung berichteten und Messungen in den USA hohe Zersetzungsraten (= niedrigere Emissionsraten) ergaben. Bei diesen Messungen, die von der United States Environmental Protection Agency (US-EPA) veranlasst und von Scott Bartos 2007 durchgeführt wurden, wurden Zersetzungsraten von 71 % bis 77 % festgestellt [Bartos (2007)].

Bartos hat den Abbau von HFKW-134a in zwei gängigen Einsatzkonzentrationen (3600 und 4200 parts per million by volume (ppmv)) gemessen. Die Abbaurate zeigt sich dabei von verschiedenen Rahmenbedingungen abhängig wie Trägergas, Schutzgasgemisch-Durchsatz, HFKW-134a-Konzentration und dergleichen und kann daher nicht unmittelbar für alle Anwendungen, die in Deutschland vorkommen, verwendet werden. Gleichwohl ist sie als Richtgröße für eine allgemeine Emissionsrate aufzufassen, die auf jeden Fall signifikant weniger als 100 % beträgt.

Die IPCC Emission Factor Data Base (EFDB) hat – auf unsere Initiative hin - jüngst (2017) jene beiden "Destruction rates of cover gas HFC-134a" in Höhe von 71 % und 77 % aufgenommen (entsprechende Emissionsraten: 29 % und 21 %) als nicht-verbindliche Anhaltspunkte für die nationalen Emissionsinventare<sup>13</sup>.

In weiteren von uns durchgeführten Befragungen von Experten stellte sich heraus, dass diese ebenfalls mit den Ergebnissen der Messungen der US-EPA rechnen. Bis dato sind keine neueren Studien bzw. neueren Messungen der Zersetzungsraten bekannt. Pavel Shermanau<sup>14</sup> (Experte am *Institute for Global Environmental Strategies* (IGES)) stimmt darin überein, die von Scott Bartos gemessenen Zersetzungsraten als Grundlage für die Emissionsfaktoren heranzuziehen.

Im Prozess des Magnesiumgießens entstehen mehrere fluorierte Nebenprodukte mit teilweise hohem GWP (höher als 1.430). Außerdem ist davon auszugehen, dass die Emissionsraten in der tagtäglichen Praxis höher liegen, als die unter kontrollierten Praxisbedingungen gewonnenen US-Werte: die Zersetzungsrate ist abhängig von verschiedenen Rahmenbedingungen wie Schmelztemperatur, Trägergas, Schutzgasgemischfluss pro Minute und HFKW-134a-Konzentration. Vor diesem Hintergrund ist ein präziser Standard-Emissionsfaktor nicht zu bestimmen. Es ist zu erwarten, dass die Austrittskonzentration zwischen 10 und 50 % variieren wird. Legt man also einen Emissionsfaktor von 50 % für die Anwendung von HFKW-134a als Schutzgas bei Magnesiumgießereien zugrunde, kann

---

<sup>13</sup> Siehe: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find\\_ef.php?ipcc\\_code=2.C.4&ipcc\\_level=2](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?ipcc_code=2.C.4&ipcc_level=2).

<sup>14</sup> Mitglied der Technical Support Unit for IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TSU TFI).

man davon ausgehen, dass alle auftretenden Emissionen im Inventar Berücksichtigung finden. So unsere Empfehlung.

## 2.2 Steckerfertige Geräte und Verflüssigungssätze in der Gewerbekälte

Die Auswahl von Kältemitteln für steckerfertige Geräte und Verflüssigungssätze in der Gewerbekälte wird von unterschiedlichen Einflussfaktoren bestimmt:

Für **hermetisch geschlossene steckerfertige Geräte für die kommerzielle Nutzung** sieht die EU F-Gase-Verordnung (Anhang III, Nr. 11) ab 2020 Inverkehrbringungsverbote vor, wenn das enthaltene Kältemittel ein höheres Treibhauspotenzial als 2500 aufweist bzw. ab 2022, wenn ein Treibhauspotenzial von 150 überschritten wird. Dadurch wurden bereits frühzeitig die Forschung und Entwicklung von Alternativen in diesen Produktgruppen angeregt. Kauffeld beschreibt in seinem 2014 erschienenen Gutachten für das Umweltbundesamt zu dezentralen steckerfertigen Geräten: „Insgesamt zeigt die Recherche, dass im LEH und in der Gastronomie insbesondere im Bereich kleiner Kälteleistungen vermehrt Geräte ohne halogenierte Kältemittel eingesetzt werden und die Zahl der steckerfertigen Geräte, die heute nur mit halogenierten Kältemitteln am Markt verfügbar sind, abnimmt.“ [Umweltbundesamt (2014)]

Dieser Trend setzte sich in den Folgejahren fort [z.B. Mörs (2016), Cooling Post (2017a)]. Geräte mit natürlichen Kältemitteln bzw. Niedrig-GWP-Alternativen werden von den meisten europäischen Herstellern angeboten [z.B. AHT, Carrier, Epta] und sind in Supermärkten und Discountern in Deutschland weit verbreitet [z.B. Aldi]. Für steckerfertige Geräte werden daher auch steigende Anteile an natürlichen Kältemitteln in Neuanlagen angenommen. Die im November 2018 durchgeführte Expertenbefragung führte zu folgenden Schätzungen für Neugeräte in Deutschland im Jahr 2018: 10 % R404A, 40 % R134a, 50 % R290. Bedingt durch das 2020 in Kraft tretende EU-Verbot von Hoch-GWP-Kältemitteln wird in künftigen Jahren mit hoher Marktdurchdringung von R290-Anlagen gerechnet, aber auch HFKW-uHFKW-Gemische (z.B. R455A mit GWP 146 oder R454C mit GWP 146 als Alternativen zu R404A) könnten sich in kleineren Marktanteilen etablieren (Schätzung für 2020: 25 % R134a, 15 % R455A/R454C, 60 % R290; ab 2022: 15 % R455A/R454C, 85 % R290).

In diesem Zusammenhang sind auch die jüngsten Anpassungen in internationalen Standards von Interesse: Nach langjährigen Beratungen wurden die Füllmengengrenzen im Standard EN bzw. IEC „60335-2-89: Besondere Anforderungen für gewerbliche Kühl-/Gefriergeräte mit eingebautem oder getrenntem Verflüssigersatz oder Motorverdichter“ angehoben, nämlich von 150 g auf 1200 g für Kältemittel der Sicherheitsklassen A2 und A2L (R455A und R454C sind in Sicherheitsklasse A2L eingeordnet) sowie von 150 g auf 500 g für Kältemittel der Sicherheitsklassen A3 (z.B. R290, R600a). Dadurch werden die Einsatzmöglichkeiten von brennbaren Kältemitteln in seriengefertigten kommerziellen Kühlmöbeln im Vergleich zu vergangenen Jahren erweitert, denn es können zusätzliche kleinere und mittlere Leistungsbereiche abgedeckt werden.

Für **Verflüssigungssätze** ist entsprechend der EU F-Gase-Verordnung der EU HFKW-Phase-down ausschlaggebend. In den Jahren 2017 und 2018 kam es infolge der vorgesehenen Mengenbeschränkungen in der EU zu deutlichen Preissteigerungen für Kältemittel mit hohen Treibhauspotenzialen [Öko-Recherche (2019)]. Aufgrund dessen wurden zunehmend weniger Neuanlagen mit dem Kältemittel R404A (GWP 3922) installiert, sondern vermehrt Anlagen mit R134a (GWP 1430) oder R407C (GWP 1774) sowie HFKW-uHFKW-Gemischen wie R452A (GWP 2105; nur Tiefkühlung), R448A/R449A (GWP 1387/1397) oder R513A (GWP 613) [Bachmann (2015); Cooling Post (2017b); Cooling Post (2017c)].

Von verschiedenen Herstellern werden seit Kurzem auch Verflüssigungssätze für die Verwendung mit R744 (CO<sub>2</sub>) angeboten (z.B. Carrier, Panasonic, Mitsubishi Heavy Industries, Daikin (Zanotti), Sanden) [Webseiten der Hersteller; Cooling Post (2018)]. Bislang sind jedoch Neuanlagen mit CO<sub>2</sub> in



Deutschland nur wenig verbreitet. Verflüssigungssätze für den Einsatz mit R290 als Kältemittel wurden von Emerson vorgestellt [Garry (2018)].

Die im November 2018 durchgeführte Expertenbefragung führte zu folgenden Schätzungen für Neugeräte in Deutschland im Jahr 2018: 8 % R404A, 10 % R407C, 50 % R134a, 10 % R513A, 10 % R452A, 10 % R448A/449A, 2 % R744. Im weiteren Verlauf des HFKW-Phase-down ist mit einer weiteren Verlagerung der eingesetzten Kältemittel hin zu Niedrig-GWP-Alternativen und besonders natürlichen Kältemitteln zu rechnen. Wir empfehlen daher, diese mit in das deutsche Inventar aufzunehmen.

Daneben zeigt sich, dass in der Gewerbekälte zunehmend integrierte Systeme zur Anwendung kommen, welche neben der Kälteerzeugung auch zur Klimatisierung, Beheizung und Energiespeicherung genutzt werden können.

Ein Beispiel hierfür sind sogenannte „Waterloop“ oder auch Hybrid- oder Semi-Plug-In-Kälteerzeugungssysteme. Sie bestehen aus dezentral aufgestellten, mit Wasser rückgekühlten Mini-Kompakt-Kälteerzeugern (wassergekühlte Verflüssigungssätze), die an jeder Kühlstelle angeordnet sind. Dadurch kann entstehende Wärme effizient abgeführt oder anderweitig genutzt werden. Sogar der Einsatz natürlicher Kältemittel (vor allem R744) für kleine Kältekreisläufe bzw. Kälteleistungen, wurde durch Fortschritte in der Kompressor- und Controller-Technologie in den letzten Jahren für diesen Einsatzbereich möglich. Die dezentrale Anlagenstruktur ermöglicht minimale Gesamfüllmengen für Kältemittel und im Gegensatz zu Verbundkälteanlagen benötigen Waterloop-Systeme grundsätzlich keinen Maschinenraum [Mayer (2019)].

Auch das „ESyCool green-System“ des Herstellers Viessmann, das 2018 mit dem Deutschen Kältepreis ausgezeichnet wurde [Rogatty (2018)] stellt ein weiteres Beispiel innovativer integrierter Systeme dar. Dieses Energiesystem kann nicht nur zur Kälteerzeugung, sondern durch Koppelung mit einer Wärmepumpe auch zur Beheizung des Ladeninnenraums und darüber hinaus zur Energiespeicherung genutzt werden. Als Kältemittel für die Tiefkühlung wird R744 verwendet, die Sole/Sole-Wärmepumpe(n) zur Heizung bzw. Klimatisierung werden mit R290 betrieben.

### **2.3 uHFKW-1234yf in Klimaanlage kleiner Nutzfahrzeuge (2.F.1.e)**

Für die Erhebung der seit 2011 in Deutschland neu zugelassenen kleinen Nutzfahrzeuge, die das Kältemittel R1234yf verwenden, wurde sowohl mit dem Kraftfahrtbundesamt (KBA) als auch mit unseren Kontakten bei den Herstellern direkt korrespondiert.

Gemäß Artikel 2 betreffen die Regelungen in der Richtlinie 2006/40/EG nur die Fahrzeuge der Klasse N1, Gruppe 1, also alle Fahrzeuge mit einer Bezugsmasse < 1.305 kg [Europäische Union (2006)]. Die Bezugsmasse wird errechnet anhand des Leergewichts des Fahrzeugs unter Abzug einer Pauschale für den Fahrer von 75 kg zuzüglich einer Pauschalmasse von 100 kg [Kraftfahrtbundesamt (2018)].

Das Kraftfahrtbundesamt wurde befragt, inwiefern die Bereitschaft besteht, die im Jahr 2017 durchgeführte umfangreiche Analyse weiterhin durchzuführen. Leider handelt es sich dabei um eine sehr umfangreiche Arbeit, die einmalig im Sinne der Amtshilfe dem Umweltbundesamt (UBA) gewährt wurde. Sollte diese Art Abfrage weiterhin gewünscht sein, wäre dies im Rahmen einer kostenpflichtigen Individualauswertung möglich. Die Kosten hierfür bewegen sich zwischen 1000 und 5000 €. Für eine Beauftragung der Erstellung eines Angebotes seitens des Kraftfahrtbundesamtes wird die Zustimmung von Seiten des Umweltbundesamtes zur generellen Machbarkeit benötigt [Kraftfahrtbundesamt (08.07.2019)].

Es hat sich gezeigt, dass die Abfrage bei den Herstellern den bislang praktikabelsten Weg darstellt. Auf Grundlage der vom KBA 2017 durchgeführten Analyse können wir für 92 % der zugelassenen Fahrzeuge die Informationen über das verwendete Kältemittel in den relevanten Modellen über unsere Kontakte zu den Herstellern abdecken. Dabei handelt es sich um die Firmen Volkswagen,

Mercedes, Renault und Dacia. Sicher variieren die Zulassungszahlen jährlich etwas, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die Marktanteile für 2018 etwa gleichgeblieben sind. Das KBA veröffentlicht keine Zulassungsstatistik, in der nach den Fahrzeugklassen mit Bezugsmasse unterschieden wird [Kraftfahrtbundesamt (2019)]. Ob ein Modell in die Gruppe 1 der N1-Fahrzeuge fällt, ist abhängig von der Ausstattung. Diese Information kann lediglich bei den Herstellern erfragt oder gegen Gebühr beim KBA beauftragt werden.

Renault und Dacia haben als einzige der oben genannten Hersteller bislang Fahrzeuge mit dem Kältemittel R1234yf in der Fahrzeugklasse N1 produziert. Seit 2016 werden sukzessive weitere Modelle auf dieses Kältemittel umgestellt: Angefangen mit zwei Modellen wurden bis 2018 insgesamt 5 Modelle umgestellt. Diese machen von der gesamten in Deutschland zugelassenen Flotte in der Klasse N1 ca. 0,2 % im Jahr 2016 und ca. 0,7 % im Jahr 2018 aus<sup>15</sup>. Volkswagen, der mit Abstand größte Hersteller von N1 Fahrzeugen, die in Deutschland zugelassen werden, produziert keine Fahrzeuge, die in die Gruppe 1 der Klasse N1 fallen: Selbst der verhältnismäßig kleine Caddy ist in allen Ausstattungsvarianten schwerer gebaut [Volkswagen (2019)]. Es wurden dementsprechend auch noch keine N1-Fahrzeuge auf das Kältemittel R1234yf umgestellt. Bei Mercedes zeichnet sich das Bild für N1-Fahrzeuge ähnlich: keines der eigenen Modelle wurden bislang auf R1234yf als Kältemittel für die Klimaanlage umgestellt.

Insgesamt wurden im Jahr 2017 für 0,42 % der Gesamtmenge an Emissionen (in metrischen Tonnen) der gesamten Nutzfahrzeugflotte durch den Ersatz mit R1234yf weniger Emissionen verursacht. In CO<sub>2</sub> Äquivalenten sind das 78,6 t CO<sub>2</sub>-Äq. weniger als mit R134a, was 0,00006 % der Emissionen in CO<sub>2</sub> Äquivalenten entspricht.

2018 zeichnet sich ein beachtlicher Zuwachs ab: 0,48 % der Gesamtmenge an Emissionen (in metrischen Tonnen) der Gesamtflotte Nutzfahrzeuge stammt von R1234yf-Fahrzeugen. In CO<sub>2</sub> Äquivalenten sind das 254,5 t CO<sub>2</sub>-Äq. weniger als mit R134a, was 0,0002 % der Emissionen in CO<sub>2</sub> Äquivalenten entspricht. Es kann davon ausgegangen werden, dass in den kommenden Jahren dieser Anteil weiter steil anwachsen wird.

**Tabelle 12: Emissionen durch den Einsatz des Kältemittels R1234yf**

|   | 2017   | 2018    |
|---|--------|---------|
| Bestandsemissionen R1234yf in t   | 0,056  | 0,179   |
| Bestandsemissionen R1234yf in t CO <sub>2</sub> -Äq.                            | 0,220  | 0,714   |
| Einsparung Emissionen in t CO <sub>2</sub> -Äq. gegenüber der Nutzung von R134a | 78,555 | 254,541 |

Bezüglich der Fahrzeuge in den Klassen N2 und N3 ist die Umstellung auf das alternative Kältemittel R1234yf für die nahe Zukunft avisiert: bei Renault und Dacia ist die Umstellung ab 2020 geplant. Auch Mercedes plant die Umstellung auf R1234yf bei N2 und N3 Fahrzeugen (anstelle von R134a), zumindest auf dem europäischen Markt. Zu welchem Zeitpunkt die Umstellung erfolgt, ist noch offen, allerdings frühestens 2020 [Mercedes (2018)].

Entsprechend der aktuell vorliegenden Informationen schlagen wir folgendes Vorgehen zur Anpassung des Modells vor. Die in Deutschland auf die Straße gebrachten Fahrzeuge mit R1234yf werden weiterhin bei den Herstellern erfragt und die dadurch emittierte klimaschädliche Menge an Kältemittel entsprechend der im Modell genutzten Parameter wie Füllmenge, Lebensdauer usw.

<sup>15</sup> Berechnung anhand der Zulassungszahlen unserer Kontakte bei den Herstellerfirmen.



berechnet. Entsprechend wird jeweils der Anteil der Emissionen verursacht durch die beiden Kältemittel R134a und R1234yf für die Meldung an das ZSE ermittelt.

## 2.4 Erfassung des Kältemittels bei der Fahrzeugzulassung

Für die genauere Erfassung des Kältemittels wurden Recherchen in verschiedener Richtung durchgeführt. Wie bereits oben ausgeführt, wird das Kältemittel nicht im Zentralen Fahrzeugregister des KBA erfasst.

Nach Angaben von Zulassungsstellen in Deutschland ist die Angabe des Kältemittels weder Inhalt der EG-Übereinstimmungsbescheinigung noch der Zulassungsbescheinigungen Teil 1 und 2<sup>16</sup>. Allerdings wird in der Zulassungsbescheinigung Teil 1 unter Code „K“ die Nummer der EG-Typgenehmigung bzw. Allgemeinen Betriebserlaubnis erfasst und darunter das entsprechende Datum der EG-Typgenehmigung. Gemäß der europäischen Richtlinie 2006/40/EG darf ab dem 01.01.2011 für neue EG-Typgenehmigungen nur noch ein Kältemittel für Klimaanlage in Pkw (M1) eingesetzt werden, das einen GWP-Wert kleiner als 150 aufweist. Bei EG-Typgenehmigungen, die vor dem 01.01.2011 erteilt wurden, darf das bisherige Kältemittel R134a noch bis zum Ende des Jahres 2016 zum Einsatz kommen. Somit könnten grundsätzlich die EG-Typgenehmigung und das Datum der Erstzulassung eines Fahrzeugs, welches ebenfalls in der Zulassungsbescheinigung vermerkt ist (Code „B“), einen Hinweis auf das in der Pkw-Klimaanlage enthaltene Kältemittel liefern. Eine solche Auswertung wird von Zulassungsstellen nicht durchgeführt und könnte wohl höchstens auf Ebene einzelner Städte stichprobenartig erfolgen. Darüber hinaus könnte grundsätzlich eine Befragung von Fahrzeughaltern diese Informationen liefern, die jedoch ebenfalls nur als Stichprobe einmalig durchgeführt werden könnte.

Vor diesem Hintergrund ist unser Vorschlag zum weiteren Vorgehen die Kältemittelverwendung wie bisher jährlich bei den Herstellern zu erfragen.

## 2.5 uHFKW-1233zd als mögliches Kältemittel in Kaltwassersätzen

Aktuell werden Kaltwassersätze (Chiller) mit R1233zd in Europa von Johnson Controls (York YZ), Carrier (AquaEdge 19DV), Trane (Typ Serie EarthWise (E) CenTraVac) und Engie hergestellt. Produziert werden diese in Frankreich (Trane, Johnson Controls und Carrier) und Deutschland (Engie).

R1233zd ist ein Ersatz für R123 in Niederdruck-Zentrifugal-Kaltwassersätzen. Allgemein für Kaltwassersätze, und damit auch für Turboanlagen, gilt, dass luftgekühlte Geräte, die außen aufgestellt werden, kompakt sind, also vorgefüllt installiert werden. Auch innen aufgestellte wassergekühlte Kaltwassersätze, die die Kondensatorwärme über einen (zweiten) Wasserkreislauf zur Rückkühlung nach außen abführen, werden vorgefüllt installiert. Es gibt für die Innenaufstellung aber nicht nur die Wasserkühlung, sondern auch luftgekühlte Kaltwassersätze in Splitausführung. Diese führen die Wärme nicht indirekt über einen Wasserkreislauf nach außen ab, sondern verflüssigen „direkt“ an der Außenluft, nämlich durch kältemittelführende Leitungen zu einem Kondensator (z.B. auf dem Dach) und zurück. Diese Kältemittelleitungen müssen vor Ort verlegt werden; die Anlage wird daher leer angeliefert und erst bei Installation mit Kältemittel befüllt. Splitanlagen scheinen insgesamt einen eher kleinen Anteil am Markt zu haben. Gespräche mit Herstellern bestätigen die Annahme der geringen Verbreitung.

<sup>16</sup> In diesem Zusammenhang verweisen wir auch auf die Antwort des BMWI auf eine Kleine Anfrage im Bundestag: Kleine Anfrage der Abgeordneten Ralph Lenkert, Dr. Gesine Löttsch, Lorenz Gösta Beutin, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. betr.: „Markteingriffe bei der Bereitstellung des Kältemittels R134a“. BT-Drucksache: 19/8405; 03.04.2019. Link: <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Parlamentarische-Anfragen/2019/19-8405.pdf?blob=publicationFile&v=1>.

Emissionen, die bei der Befüllung entstehen, ergeben sich ausschließlich aus den vor Ort befüllten Anlagen und möglichen Unfälle während des Betriebs, in denen Kältemittel freigesetzt werden kann.

Aufgrund der Eigenschaften als Niederdruck-Kaltwassersatz, konnten die Leckageraten im Vergleich zu anderen Anlagen mit hohen Drücken erheblich verringert werden: Gemäß Herstellerangaben der großen Hersteller Trane und Johnson Controls bewegt sich diese im Betrieb im sehr niedrigen Bereich zwischen 0,1 % und 0,5 %.

Das Unternehmen Carrier kündigte an, den uHFKW-1233zd (GWP= 4,5; Klasse A1) ab Ende 2017 in seinen Kaltwassersätzen anbieten zu wollen [Carrier United Technologies (2016)]. Der Hersteller Johnson Controls hat 2016 angefangen, Kaltwassersätze in großen Leistungsklassen mit dem HFKW-uHFKW-Gemisch R513A auf den Markt zu bringen. Auch die Hersteller Smart OPK und Trane setzen auf dieses Kältemittel. Es setzt sich aus R1234yf (56 %) und R134a (44 %) zusammen, hat ein GWP von 631 und ist nicht brennbar. Außerdem weist es kaum spürbare Leistungseinbußen gegenüber reinem R134a auf, da es ähnliche thermodynamische Eigenschaften hat. Das ermöglicht nach Herstellerinformation die Umrüstung ohne Umbauten an der Anlage, also einen 1 zu 1 Austausch, ohne Erneuerung von Öl und Dichtungen. Die Investitionskosten umfassen somit nur das bis heute noch deutlich teurere Kältemittel. Aufgrund der Preisentwicklung zeichnet sich laut Herstellern ein Trend hin zu diesem Kältemittel im Jahr 2018 ab.

Johnson Controls hat in seinem R1233zd wassergekühlten Flüssigkeitskühler mit magnetgelagertem Turboverdichter eine spezielle Technik im Einsatz, um die Kältemittelfüllmenge verringern zu können: ein Fallstromverdampfer, der die Leistung des Wärmetauschers verbessert. Laut Herstellerangaben können durch die Art der Konzeption des Kaltwassersatzes auch bis zu 35 % Energie eingespart werden.

Einsatz:

- ▶ Trane baute sechs Chiller im Eurotunnel (Einweihung in Juli/August 2018) mit R1233zd [1] [2][Cooling Post (2016); Cooling Post (2014)]
- ▶ Verwendung auch bei Eurocontrol im Data Center<sup>17</sup>
- ▶ Carrier hat ersten R1233zd Chiller 2017 auf den Markt gebracht („AquaEdge 19DV centrifugal chiller“) [Cooling Post (2018/1); Cooling Post (2017)] [3] [4]

Da vor allem der Verkauf von Anlagen mit R513A in den Jahren 2017 und 2018 stark zugenommen hat und voraussichtlich weiter ansteigen wird, sollte dieser Stoff in das Inventar mit aufgenommen werden.

Die Zahlen der Neuanlagen mit R1233zd bewegen sich allerdings noch im sehr niedrigen Bereich und es ist nicht absehbar, ob sich dieses Kältemittel am Markt durchsetzen wird. Daher schlagen wir vor, die Entwicklung im Jahr 2020 zu beobachten und danach abermals über die Aufnahme in das Inventar zu beraten.

### 2.5.1 uHFKW-1233zd als Treibmittel in Schaum

Als „Liquid Blowing Agent“ (LBA) vom Hersteller Honeywell vertrieben, ersetzt uHFKW-1233zd seit seiner Markteinführung 2014 die ansonsten in Polyurethan-Schaum (Hartschaum und Integralschaum) verwendeten Treibmittel HFKW-245fa, HFKW-365mfc, HFKW-227ea und Cyclopentan [Honeywell (2018)]<sup>18</sup>. Allerdings ist der Stoff aufgrund seiner Doppelbindung nicht so

---

<sup>17</sup> Information von Dr. Achaichia (Honeywell) im Gespräch auf der Chillventa 2018.

<sup>18</sup> Gespräch mit Dr. Achaichia (Honeywell) auf der Chillventa 2018.

stabil wie die bisher verwendeten Treibmittel, weshalb noch nicht von einem Durchbruch am Markt die Rede sein kann<sup>19</sup>. Die Verwendungsmengen werden von uns für den nächsten Bericht ermittelt.

### 2.5.2 Anwendung von CF<sub>3</sub>I – R1311 als Kältemittel

Als Solstice N41 stellte Honeywell das neue Kältemittel R466A auf der Chillventa 2018 vor, welches aufgrund der Einstufung als „nicht entflammbar“ (A1) von vielen Marktakteuren mit hohen Erwartungen verbunden ist. Insbesondere für den Bereich der stationären Klimaanlage könnte es von großer Bedeutung sein, da es als Ersatz für R410A (GWP 2088) insbesondere für größere stationäre Anlagen relevant werden könnte (GWP 733). Das bezieht sich im Besonderen auf VRF-Anlagen, für die es bislang keine Alternative zu R410A gab. Im Spätherbst 2018 kamen jedoch von mehreren Herstellern Mini-VRF-Systeme mit R32 auf den Markt.

Trifluorjodmethan (CF<sub>3</sub>I, R1311) ist als Löschmittel zu 39,5 % Bestandteil von R466A und erlaubt dem Kältemittel eine ASHRAE A1-Klassifizierung trotz Verwendung von R32 (49 %) und R125 (11,5 %). CF<sub>3</sub>I hat ein ozonschädigendes Potenzial (ODP) von 0,01 – 0,02 [Cooling Post (2018/2)].

Für das von Honeywell vorgestellte Kältemittel R466A gibt es bislang keine Erfahrungen auf dem Markt. Ein Wärmepumpen-Hersteller hat kleinere Mengen zu Versuchszwecken gekauft<sup>20</sup>. Aktuell durchläuft das Mittel noch Genehmigungsverfahren und es wird erwartet, dass es Ende 2019 auf dem Markt erhältlich sein wird. Laut Hersteller handelt es sich zwar nicht um eine echte Drop-in Lösung, allerdings soll es mit wenigen Änderungen an den Systemen als Retrofit verwendet werden können [Cooling Post (2019)]. Um die einfache Anwendung in der Umrüstung zu verifizieren, müssen Hersteller allerdings zunächst das Kältemittel in ihren Anlagen testen können. Erfahrungsgemäß dauert es unter normalen Umständen einige Jahre bis Hersteller Anlagen und Komponenten für ein neues Kältemittel auf den Markt bringen. Aufgrund seines Treibhauspotenzials kann es nur als Interimslösung eingesetzt werden. Auch Hersteller wie Daikin (R32) sehen die Notwendigkeit, bis 2030 Kältemittel mit wesentlich geringeren GWP zu verwenden [ECACool (2108)]. Daher ist es fraglich, in wie weit R466A wirklich im Markt relevant werden kann. Auch von einigen Branchenexperten wird die Markteinführung als zu spät definiert, um wirklich eine Rolle zu spielen.

## 2.6 Warmwasserwärmepumpen mit R744

Zur Erfassung von Warmwasser-Wärmepumpen haben wir uns einen Überblick bei verschiedenen Fachtagungen und Messen (Chillventa 2018, Effizienzforum Frankfurt 2019, ISH Frankfurt 2019) erarbeitet, sowie mit Branchenexperten im Detail gesprochen.

Das Unternehmen ITOMIC begann 2002 mit der Markteinführung von R744-Warmwasserwärmepumpen in Japan und baute bald danach das Exportgeschäft auf. Sogenannte „EcoCute“-Wärmepumpen werden seitdem von mehreren Unternehmen in Europa angeboten. Die Firma Denso brachte ab 2009 erste EcoCute-Geräte in Deutschland auf den Markt, wobei eine Erweiterung der Wärmepumpe um die Heizfunktion in Zusammenarbeit mit Stiebel-Eltron geleistet wurde.

In Deutschland gibt es aktuell im Wesentlichen zwei Anbieter, die das Kältemittel R744 (CO<sub>2</sub>) speziell für Brauch-/Trinkwasseranwendungen einsetzen: Mitsubishi Electric und Mitsubishi Heavy Industries (MHI). Letztere haben sich mit der Stulz GmbH zu „S-Klima“ für die Vermarktung der Warmwasser-Wärmepumpe „Q-ton“ zusammengeschlossen. Beim Konkurrenten Mitsubishi Electric heißt die Wärmepumpe QAHV. Beide stellen auch Wärmepumpen mit Heizfunktion her.

Insgesamt gibt es in Deutschland erst seit 2018 installierte Anlagen mit R744. Zwar ist die Q-ton von MHI schon seit 2014 in Europa erhältlich, allerdings wurde sie bislang nur in Spanien und England

---

<sup>19</sup> Gespräch mit Dr. Ünveren (Solvay) am 20.03.2020.

<sup>20</sup> Experten-Gespräch mit Gasehändler (TEGA) auf Chillventa 2018.

installiert. Die Wärmepumpe ist mit einem 4HTC Hubkolbenverdichter von BITZER ausgestattet und hat eine Leistung von 30 kW bei 8,97 l/Minute Wassermenge mit einer Kältemittelfüllmenge von 8,5 kg. Bis Ende 2018 gab es in Deutschland nur zwei Installationen im eigenen Werk in Hamburg. Der Vertrieb begann im März 2019 in Deutschland.

Mitsubishi Electric (ME) konnte 2018 ein größeres Projekt in Hotelanlagen umsetzen: dort wurden 50 Anlagen installiert, die durch teilweise Installation mehrerer Wärmepumpen hintereinander eine Leistung von bis zu 200 kW erbringen. Im Programm hat ME zwei Anlagen mit einer Leistung von a) 4 kW für Einfamilienhäuser und b) 40 kW für Mehrparteienwohnhäuser und Gewerbegebäude. Die Kältemittelfüllmenge orientiert sich an der Leistung: 0,2 kg / kW Leistung. Nach aktueller Recherche werden die beiden Anlagentypen gleich stark nachgefragt.

Der gesamte Markt an Warmwasser-Wärmepumpen wird von Branchenexperten relativ stabil auf 100 Neuinstallationen pro Jahr geschätzt, inklusive Importen. Dementsprechend entstehen nur für ca. die Hälfte der neuen Anlagen Emissionen bei der Befüllung. Hergestellt werden die Wärmepumpen als Monoblock, die in den Fabriken für die Installation vorbefüllt werden. Damit ergeben sich sehr geringe Emissionen bei der Befüllung.

Wichtige technische Parameter der Warmwasser-Wärmepumpen sind:

- ▶ Durchschnittliche Füllmenge (gewichteter Mittelwert): 4,6 kg
- ▶ Kältemittel: R744
- ▶ Emissionsfaktor Bestand: 2 %
- ▶ Emissionsfaktor Befüllung: 0,5 %
- ▶ Lebensdauer: 15 Jahre

Die Anpassungen im Modell werden in Absprache mit dem Umweltbundesamt vollzogen.

## 2.7 Selbstverpflichtung zu SF<sub>6</sub> als Isolier- und Löschgas

Ziel dieser Inventarverbesserung ist es Möglichkeiten einer differenzierteren Berichterstattung von SF<sub>6</sub>-Emissionen über den Gesamtlebenszyklus elektrischer Schaltanlagen zu ermitteln.

### 2.7.1 Hintergrund

Die Selbstverpflichtung (SV) zu SF<sub>6</sub> als Isolier- und Löschgas in elektrischen Betriebsmitteln zur Energieübertragung und -verteilung > 1kV vom Mai 2005 (Quellgruppe 2.G.1) formuliert Ziele bis zum Jahr 2020. Sie stellt eine Fortentwicklung der Erklärung des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft e. V. (VDEW) und des Zentralverbandes Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI) zu SF<sub>6</sub> in elektrischen Schaltgeräten und -anlagen von 1997 dar, die in Zusammenarbeit mit dem Bundesumweltministerium und dem Umweltbundesamt entstanden war.

Die Selbstverpflichtung gilt insbesondere für folgende elektrische Betriebsmittel mit einer Bemessungsspannung > 1000 Volt:

- ▶ Schaltanlagen und -geräte
- ▶ Messwandler
- ▶ Gasisolierte Leitungen (GIL)
- ▶ Hochspannungsdurchführungen
- ▶ Kondensatoren

► Transformatoren<sup>21</sup>.

Die an der Selbstverpflichtung beteiligten Verbände repräsentieren sowohl unter den Herstellern, als auch den Betreibern fast den gesamten Markt.

Der Grundsatz der Selbstverpflichtung ist für alle Beteiligten folgender: „SF<sub>6</sub>-Emissionen sollen - wo immer möglich - vermieden werden. Eingesetzte spezifische SF<sub>6</sub>-Mengen zur Funktionserfüllung werden minimiert“. Zur Einhaltung dieser Leitlinie werden Maßnahmen im gesamten Lebenszyklus, von der Entwicklung bis zum Recycling, ergriffen. Des Weiteren werden u.a. auch Erkenntnisse zum SF<sub>6</sub>-Ersatz diskutiert und der Umgang mit exportierten Produkten kontrolliert.

Weitere Kernpunkte sind die Verpflichtungen zur Reduktion der Emissionen sowie das Monitoringsystem. Letzteres kann wegen seines hohen Detaillierungsgrads unmittelbar für die deutsche F-Gas-Berichterstattung verwendet werden und diene außerdem den IPCC-GL-2006 als Modell der Datenerhebung nach dem Tier 3-Ansatz.

Rückblickend gesehen sind die Emissionsreduktionsziele der Selbstverpflichtung eingeschränkt ambitioniert verfasst worden: Die Vereinbarung gilt zwar für alle Arten von T&D-Betriebsmitteln, aber der Zielwert für Emissionen von maximal 17 t/a bis 2020 bezieht sich bei den Herstellern (nicht Betreibern) nur auf Schaltanlagen und -geräte im engeren Sinn und klammert Wandler, GIL, Durchführungen als „Sonstige“ aus. Dieser Zielwert von 17 t/a war bei den Schaltanlagen schon von Anbeginn übererfüllt (2005: 15 t/a bei Schaltanlagen; 12 t/a bei „Sonstigen“), wenn man ihre absolute Größe betrachtet. Nur im Zusammenhang mit dem Anstieg des SF<sub>6</sub>-Verbrauchs von 460 t/a (2005) auf 850 t/a (2015) kann die weitere Einhaltung des Zielwerts als Erfolg gerechtfertigt werden. Die nicht im Zielwert berücksichtigten „sonstigen“ Emissionen betragen 2015 immer noch 7 t/a.

## 2.7.2 Zukünftige Inventarerhebung der elektrischen Betriebsmittel

Entgegen der Formulierung der Leistungsbeschreibung des Vorhabens dieser Inventarermittlung läuft die Selbstverpflichtung im Jahr 2020 nicht aus; einzig ihre Zielformulierungen enden. Diese Inventarverbesserung dient daher dem Zweck, Möglichkeiten einer differenzierteren Berichterstattung von SF<sub>6</sub>-Emissionen über den Gesamtlebenszyklus elektrischer Schaltanlagen darzustellen. Es sei vorweggenommen, dass einige der im Folgenden genannten Vorschläge zwar bereits mit den jeweiligen Branchenvertretern vereinbart sind, Ergebnisse jedoch noch ausstehen.

### 2.7.2.1 Generelle Datenerhebung

Da die SV nicht ausläuft, ist die weitere Datenerhebung nach bisherigem Vorgehen für das deutsche F-Gas-Inventar nicht gefährdet, sondern kann wie gewohnt fortgeführt werden. Auch die verantwortlichen Industrievertreter bestätigen in persönlichen Gesprächen diese Auffassung<sup>22</sup>. Zudem bestätigte auch der „AK SF<sub>6</sub>“ im Fachgespräch in Berlin<sup>23</sup>, dass die SV aus Sicht der Mitglieder im Jahr 2020 keinesfalls ausläuft, sondern lediglich die Reduktionsziele in diesem Jahr enden.

<sup>21</sup> Für frühere Einsatzfälle bezogen auf deren heutigen Betrieb (Geräte wurden bis 1999 im geringen Umfang installiert; seither keine Neuinstallation und Herstellung in Deutschland). Neue SF<sub>6</sub>-Anwendungen für Transformatoren sind in Deutschland nicht geplant.

<sup>22</sup> Gespräch mit Thoralf Bohn; Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) am 29.01.2019.

<sup>23</sup> Am 28. Oktober 2019 fand in Berlin ein Treffen mit BMU, UBA, Öko-Recherche sowie dem „Arbeitskreis SF<sub>6</sub>“ („AK SF<sub>6</sub>“) des ZVEI statt. Anlass hierfür waren nicht nur die auslaufenden Zielvorgaben der SV, sondern auch die Präsentation von Zukunftsszenarien seitens des „AK SF<sub>6</sub>“ sowie der weitere Fahrplan hinsichtlich der Nutzung von SF<sub>6</sub> in elektrischen Betriebsmitteln durch BMU/ UBA, vor allem im Hinblick auf eine europäische Neuregelung innerhalb der EU F-Gase-Verordnung Nr. 517/2014 bzw. im Zuge von deren Überarbeitung.



### 2.7.2.2 Alternative Datenquellen

Das Monitoring-System der Selbstverpflichtung ist sehr differenziert und berücksichtigt den SF<sub>6</sub>-Lebensweg von der Produktion des Gases bis zum sogenannten „Re-use“ aus der Altanlagenentsorgung.

Es stellte sich in der Vergangenheit die Frage, ob es sinnvoll wäre, für die Abschätzung der Emissionen aus dem Betrieb von Hochspannungsanlagen statt wie bisher die Emissionen aus den jährlichen Nachfüllungen ausgewählter Referenzanlagen hochzurechnen (was statistisch aufgrund der relativ geringen Zahl an betrachteten Anlagen möglicherweise fehlerhaft sein könnte), besser die vom Statistischen Bundesamt erhobenen SF<sub>6</sub>-Lieferungen des Gasehandels an die Energieversorger heranzuziehen. Allerdings gibt es seit einigen Jahren Diskrepanzen zwischen den gemeldeten Emissionen aus der SV-Datenlieferung an das UBA und den SF<sub>6</sub>-Lieferungen des Gasehandels an die Energieversorger die über Destatis festgestellt wurden.<sup>24</sup>

Ein Vertreter der Energieversorger erklärte im Fachgespräch<sup>25</sup> sowohl die schwankenden Datenmeldungen der Energieversorger an Destatis, als auch deren Differenz zu den „Gesamtemissionen aus dem Betrieb“ damit, dass Energieversorger SF<sub>6</sub> auch einkaufen, um es auf Vorrat einzulagern. Damit werden bestimmte Mengen nicht zum unmittelbaren Emissionsersatz genutzt. Weiterhin könnten die Spitzenwerte in den Jahren 2011 und 2012 vor allem durch die Unterteilung von Unternehmen in kleinere Einheiten begründet werden, von denen einige eigene Lagerbestände aufbauten und daher SF<sub>6</sub> ankaufen mussten.

Sowohl die Referenzanlagen selbst als auch deren Emissionen im Jahr 2014 wurden vom „AK SF<sub>6</sub>“ überprüft und weiterhin als geeignet betrachtet, um die Emissionen für diesen Bereich ordentlich abzuschätzen. Da die letzte Erhebung allerdings bereits 5 Jahre zurückliegt, wird der „AK SF<sub>6</sub>“ bis zu seinem nächsten Treffen Anfang des Jahres 2020 eine erneute Überprüfung durchführen.

Die Daten des Statistischen Bundesamtes sind derzeit nicht nutzbar, da sie nicht nach Hoch- und Mittelspannung unterscheiden, was für die Emissionsermittlung wichtig wäre. Auch ist nicht gesichert, dass die verwendeten Mengen der „Energieversorger“ (35.1) mit Emissionen aus elektrischen Betriebsmitteln gleichzusetzen sind.

Um die Diskrepanz zwischen den Daten aus der SV und den Destatis-Daten erklären sowie die weitere Verwendung der Destatis-Daten prüfen zu können, sollte eine Befragung einiger großer Energieversorger stattfinden. Diese Befragung könnte 2020 in Kooperation mit dem „AK SF<sub>6</sub>“ und ggf. unter Einbindung des Statistischen Bundesamtes erfolgen.

### 2.7.2.3 Emissionen aus „sonstigen“ Anwendungen

Der Verbrauch und die Emissionen der „Sonstigen“ sind kritisch zu betrachten, da selbst Vertreter der Industrie keine genauen Angaben darüber machen (können), welche Arten von Anlagen bzw. Geräten unter diesem Punkt zusammengefasst wird. Im genannten Fachgespräch wurde deutlich, dass die jeweiligen Hersteller im AK untereinander keine genauen Angaben preisgeben, ohne dabei die Vertraulichkeit von Firmendaten zu gefährden. Generell sind die Hersteller aber zu Gesprächen hinsichtlich dieser Anwendungsbereiche bereit, weshalb bilaterale Gespräche angestrebt werden. Die Weitergabe der Kontakte erfolgt hierbei über den „AK SF<sub>6</sub>“ an das UBA. In den Gesprächen sollten die folgenden Punkte geklärt werden:

---

<sup>24</sup> Diese sind wie folgt definiert: DESTATIS: „Energieversorger“ (35.1). Diese Gruppe umfasst die Erzeugung von elektrischem Strom, deren Übertragung von den Erzeugungsanlagen an Verteilerstationen und die Verteilung an Endverbraucher. Es melden drei Unternehmen, dass sie SF<sub>6</sub> an Energieversorger abgeben.

<sup>25</sup> A.a.O.

- ▶ Um welche Anwendungen handelt es sich? Ziel der Gespräche sollte eine abschließende Liste aller Anwendungen sein, welche nicht unter „elektrische Schaltanlagen“ fallen, um eine genaue Abgrenzung der Emissionsquellen ermöglichen.
- ▶ Wie kommen die Emissionen in diesen Bereichen zustande und sind Verringerungen des SF<sub>6</sub>-Verbrauchs und/oder Emissionsminderungen möglich? Wie hoch könnten diese ausfallen?

Die Ergebnisse dieser Gespräche können einerseits wertvolle Informationen hinsichtlich der Apparatestruktur liefern. Diese könnten auch auf EU-Ebene bzw. eventuell sogar für künftige Arbeiten des IPCC genutzt werden, da Deutschland das einzige Mitgliedsland ist, welches die sog. „Sonstigen“ separat berichtet. Durch genaue Definitionen wäre es möglich, Abgrenzungen in Bezug auf die Höhe verschiedener Emissionen zu treffen und Einordnungen vorzunehmen. Andererseits könnten die gewonnenen Informationen mögliche Reduktionspotenziale von Emissionen aufzeigen, welche dann ggf. in Zukunft zur Diskussion von neuen politischen Maßnahmen zur Emissionsvermeidung führen könnten. Die Erfassung der Daten könnte ebenfalls 2020 erfolgen.

#### 2.7.2.4 Nachnutzungsphase

Die Nachnutzungsphase von SF<sub>6</sub> in elektrischen Betriebsmitteln ist der Bereich der SV, in dem die meisten Unklarheiten nicht nur bezüglich des Verbrauchs, sondern auch der Emissionen bestehen. Dabei gestaltet sich vor allem die Gasentnahme durch die sog. „Beauftragen“ (Begriff aus der SV) als „schwarzer Fleck“, da nur einzelne Entsorger freiwillig berichten. Zudem ist die Erreichbarkeit von Entsorgungsunternehmen schwierig, da sie nicht über Verbände organisiert sind.

Durch Gespräche mit dem „AK SF<sub>6</sub>“ wurde deutlich, dass sich auch die Experten aus diesem Kreis der Unsicherheiten in Bezug auf den Umgang mit SF<sub>6</sub> in dieser Phase bewusst sind. Erst seit etwa 10-15 Jahren sind Geräte in Benutzung, welche die Absaugung und die Aufbereitung vor Ort ermöglichen und somit eine Weiterverwendung ohne Einbeziehung der Gase- oder Anlagenhersteller ermöglichen. Vorher wurde das zurückgewonnene Gas in allen Fällen zur Spaltung bzw. Wiederaufbereitung an die Firma Solvay geliefert, was heute nur noch zum Teil erfolgt. Allerdings müssen die jeweiligen Entsorgungsbetriebe gemäß Artikel 10 der EU F-Gase-Verordnung bzw. § 6 der Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung für den Umgang mit SF<sub>6</sub> zertifiziert sein<sup>26</sup>. Diese Zertifizierungen sind allerdings nur an ungefähr 6-8 Stellen in Deutschland möglich, u.a. bei den Herstellern von Schaltanlagen. Durch die Einbeziehung dieser Stellen müsste es grundsätzlich möglich sein, die Anzahl der zertifizierten Personen zu ermitteln.

Wir schlagen vor, in Zusammenarbeit mit dem AK und ggf. über das UBA eine einmalige Befragung einiger ausgewählter zertifizierter Personen durchzuführen, um einen genaueren Einblick in die Phase der Entsorgung zu bekommen. Nach Rücksprache mit dem Umweltbundesamt könnten auf Basis der Befragungsergebnisse verschiedene Methoden für die künftige Emissionsabschätzung abgeleitet werden. Zur Integration der Entsorgungsbetriebe könnte man deren Angaben zur Rückgewinnungsrate bzw. Emissionsrate in ein Rechenmodell einfügen, welches die anderen Werte des Monitorings ergänzt. Alternativ wäre auch ein Ansatz denkbar, der die Werte von einigen befragten Referenzbetrieben hochrechnet.

Ergänzend wurde im Gespräch mit dem „AK SF<sub>6</sub>“ vereinbart, die an das UBA übermittelten Daten nochmals genauer schriftlich zu erläutern, da die Datentabellen selbst nicht aussagekräftig genug sind.

<sup>26</sup> Hierfür sind auch die Vorgaben der Durchführungsverordnung (EU) 2015/2066 zu beachten: Festlegung - gemäß der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates - der Mindestanforderungen und der Bedingungen für die gegenseitige Anerkennung im Hinblick auf die Zertifizierung von natürlichen Personen, die fluorierte Treibhausgase enthaltende elektrische Schaltanlagen installieren, warten, instand halten, reparieren oder stilllegen oder fluorierte Treibhausgase aus ortsfesten elektrischen Schaltanlagen zurückgewinnen.

#### **2.7.2.5 Laufende Forschungsarbeiten**

Die derzeit laufende Studie der EU Kommission „Report on the use of SF<sub>6</sub> in switchgear and related electrical equipment“, die von Öko-Recherche in Zusammenarbeit mit RE-xpertise (Dr. Karsten Burges) durchgeführt wird, stellt Hintergrundinformationen und mögliche politische Optionen auf europäischer Ebene zusammen und wird Mitte 2020 vorliegen. Zwischenergebnisse dieser Studie sind den entsprechenden Stakeholdern Ende März 2020 vonseiten der Europäischen Kommission zugesandt worden, die Gelegenheit zur Rückmeldung besteht für einen begrenzten Zeitraum. Somit stehen diese Ergebnisse auch für folgende Abstimmungen mit dem „AK SF<sub>6</sub>“ zur Verfügung.



### 3 Fluorierte Treibhausgase für die freiwillige Berichterstattung

Die verpflichtende F-Gase-Berichterstattung unter UNFCCC umfasst die in den vorausgehenden Kapiteln behandelten Substanzgruppen HFKW und FKW sowie die Einzelsubstanzen SF<sub>6</sub> und NF<sub>3</sub>.

Der Artikel 19 der EU F-Gase-Verordnung fordert ab 2015 eine Berichterstattung zusätzlicher fluorierte Verbindungen, soweit sie im Anhang II der Verordnung aufgelistet sind, nämlich

- ▶ ungesättigte teilchlor(fluorierte) Kohlenwasserstoffe,
- ▶ fluorierte Ether inklusive hydrofluorierter Ether (HFE) und perfluorierter Polyether (PFPMIE),
- ▶ weitere fluorierte Verbindungen wie SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>.

Berichtspflichtig gegenüber der EU-Kommission sind allerdings nicht einzelne EU-Mitgliedsländer, sondern die Unternehmen, die in der EU solche Stoffe herstellen, ein- oder ausführen. Die berichteten Mengen werden nicht nach Ländern aufgliedert, sondern beziehen sich auf die EU insgesamt.

Das Umweltbundesamt hat sich dafür entschieden, für Deutschland auch diese Stoffe im nationalen Rahmen zu erfassen und im Zentralen System Emissionen (ZSE) zu sammeln, um sie auf freiwilliger Basis zu berichten. Wie für die unter UNFCCC berichtspflichtigen F-Gase sollen auch für die zusätzlichen Substanzen die Aktivitätsraten Neuverbrauch, Bestand und Entsorgungsmengen sowie die dazu gehörigen Emissionen abgeschätzt werden, und zwar ab dem ersten Einsatzjahr bis zur Gegenwart.

Öko-Recherche hat im November 2015 eine Studie für das Umweltbundesamt vorgelegt, worin die Anwendungsgebiete fast aller zusätzlichen Substanzen und die Zeitreihen ihrer Aktivitätsdaten und Emissionen dargestellt werden (Gschrey et al. 2015). Auf dieser umfassenden Studie aufbauend haben wir 2016 erstmals die entsprechenden Daten berichtsmäßig implementiert. Im vorliegenden Bericht liefern wir darauf aufbauend die Daten für die Jahre 2017 und 2018. Dabei nehmen wir an mehreren Stellen Rekalkulationen und Korrekturen für vorausgehende Jahre vor.

Aus Vertraulichkeitsgründen werden die Emissionen häufig nur aggregiert und in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben.

#### 3.1 Ungesättigte teilfluorierte Kohlenwasserstoffe

In den letzten Jahren wurden uHFKW von den amerikanischen Herstellern Chemours und Honeywell entwickelt und werden seit 2011 in den Markt eingeführt. Mengenrelevante Reinstoffe sind bisher in Deutschland vor allem der uHFKW-1234yf (GWP 4) und der uHFKW-1234ze(E) (GWP 7). In kommerziellem Maßstab wird der uHFKW-1234yf bisher ausschließlich als Kältemittel eingesetzt, der uHFKW-1234ze(E) als Treibmittel für XPS-Dämmstoffe, technische Aerosole und als Kältemittel in Chillern.

Als Kältemittel wird der Reinstoff uHFKW-1234yf seit 2012 zügig in Klimaanlage neuer Pkw-Modelle als Alternative zu R134a eingesetzt, bisher überwiegend in Importfahrzeugen. Im Jahr 2018 waren in Deutschland fast alle neu zugelassenen klimatisierten Fahrzeuge mit R1234yf ausgestattet (95 % aller Neuzulassungen). Der inländische Bestand von R1234yf in Fahrzeugklimaanlagen stieg dadurch auf 4,715 t (zum Vergleich R134a: 21.080 t).

Aufgrund der vorrangigen Verwendung für mobile Klimaanlage als Folge des Verbotstermins durch die MAC-Richtlinie und wegen seines hohen Preises blieben stationäre Anwendungen bisher im Hintergrund – auch wegen der Brennbarkeit des Gases und der noch nicht umfassend geklärten Einsatznormen.

Seit 2013 kommt ein ungesättigter HFKW als Reinstoff-Kältemittel auch in stationärer Anwendung vor. Erstmals wurden in Deutschland Kaltwassersätze produziert, die als Kältemittel nicht R134a, sondern R1234ze verwenden. Außerdem wurde der Stoff R1233zd in Turbochillern eingeführt. Letztere Entwicklung ist allerdings erst sehr langsam im letzten Jahr angelaufen.

Nicht als Reinstoff, sondern als Mischungskomponente wird R1234yf bisher in drei kommerziell verfügbaren Kältemitteln eingesetzt, nämlich in R448A (Anteil von R1234yf: 20 %), R449A (Anteil: 25 %) und R452A (Anteil: 30 %). R1234ze ist nur in einem der drei genannten Gemische enthalten, nämlich mit 7 % in R448A. Mengenmäßig ist R449A (GWP 1397) am wichtigsten: Insgesamt knapp über 1.000 t dieser Mischung kamen in bestehenden Kälteanlagen von Supermärkten zum Einsatz, und zwar als Ersatz für R404A. Auch R448A (GWP 1387) hat in dieser Anwendung deutlich an Bedeutung gewonnen und kommt auf einen Bestand von etwa 270 t. Der Ersatz von R404A in Altanlagen ist durch die F-GaseV nicht vorgeschrieben. Ab 2020 ist lediglich die Nachfüllung mit Frischware verboten. Der Einsatz der beiden Gemische ist somit noch freiwillig. Allerdings zwingt die bereits eintretende Verknappung von R404A in vielen Fällen dazu, bereits jetzt umzusteigen.

Im Jahr 2015 wurde erstmalig R452A (GWP 2140) eingesetzt, nämlich von einem großen Hersteller von Kälteaggregaten für große Kühlfahrzeuge. Auch hier ist der Zweck der Ersatz von R404A. Allerdings werden nicht Altanlagen umgerüstet, sondern es handelt sich um Neubefüllungen. Mittlerweile haben alle in diesem Segment tätigen Unternehmen fast ihre gesamten Neuanlagen auf R452A umgestellt. Die Einsatzmenge von R452A wird für 2018 auf bereits 55 t geschätzt (9 t in 2016), darin 16 t R1234yf. Bei einer Emissionsrate von 15 % betragen die Bestandsemissionen von R1234yf rechnerisch 1,9 t.

uHFKW werden auch als Treibmittel für die Herstellung von XPS-Dämmstoffen und in bestimmten technischen Aerosolen eingesetzt. Dabei handelt es sich bisher ausschließlich um uHFKW-1234ze, und zwar als Reinstoff. Die verwendeten Mengen sind nicht unbeträchtlich und liegen für beide Anwendungen zusammen bei ca. 250 t (getrennte Angaben aus Vertraulichkeitsgründen nicht möglich).

**Tabelle 13: Emissionen ungesättigter HFKW in Tonnen und kt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten 2012-2018**

| Substanz            | Sektor   | 2012         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|---------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| uHFKW-1234yf        | Pkw-Klima-Anlagen                                | 0,9          | 33,99        | 131,44       | 311,00       | 482,29       |
| uHFKW-1234yf        | R448A, 449A Supermärkte                          | -            | 1,08         | 4,46         | 15,93        | 30,1         |
| uHFKW-1234yf        | R452A Kühlfahrzeuge                              | -            | 0,06         | 0,35         | 0,88         | 1,96         |
| uHFKW-1234ze        | R448A Supermärkte                                | -            | 0,02         | 0,22         | 0,9          | 1,75         |
| uHFKW-1234ze        | Große Chiller                                    | -            | 0,15         | 0,39         | 1,02         | 3,16         |
| uHFKW-1234ze        | XPS und techn. Aerosole                          | -            | 34,33        | 38,28        | 34,71        | 42,17        |
| <b>uHFKW-1234yf</b> | <b>Summe Emissionen in kt CO<sub>2</sub>-Äq.</b> | <b>0,001</b> | <b>0,039</b> | <b>0,151</b> | <b>0,378</b> | <b>0,611</b> |
| <b>uHFKW-1234ze</b> | <b>Summe Emissionen in kt CO<sub>2</sub>-Äq.</b> | <b>-</b>     | <b>0,016</b> | <b>0,017</b> | <b>0,128</b> | <b>0,180</b> |

GWP uHFKW-1234yf: 4; GWP uHFKW1234ze(E): 7 (nach 4. IPCC Assessment Report)

## 3.2 Hydrofluorierte Ether (HFE)

Die Anwendung von hydrofluorierten Ethern (HFE) wurde in Gschrey et al. 2015 beschrieben. Dort werden Mengendaten für den Zeitraum 2000 bis 2012 präsentiert. In diesem Bericht werden die Emissionen in t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für die Jahre 2017 und 2018 hinzugefügt. Die Haupteinsatzgebiete von HFEs sind erstens offene und geschlossene Anwendungen in der Industrie und zweitens die medizinische Anästhesie.

### 3.2.1 HFE in der Industrie

HFE für industrielle Anwendungen werden in Deutschland von der Firma 3M geliefert, die nach unserer Kenntnis diese Substanzen in den USA herstellt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um vier Produkte der "7000er"-Reihe, nämlich um HFE-7100, HFE-7200, HFE-7300 und HFE-7500. Das Treibhauspotenzial dieser HFEs ist deutlich niedriger als das der meisten gesättigten HFKW. Die GWP-Werte reichen von 59 (HFE-7200) bis 310 (HFE-7300). Der HFE-7100 liegt mit einem GWP von 297 dazwischen. In den meisten Anwendungen kommen die HFE-Typen nicht einzeln vor, sondern mehrere HFE-Typen gleichzeitig, die außerdem innerhalb einer Anwendung in ihrer Zusammensetzung wechseln können. Die Fa. 3M meldet uns auf freiwilliger Basis die Summe der Verkäufe der HFE zwar getrennt nach offenen und geschlossenen Anwendungen, aber nicht nach den einzelnen Substanzen der Reihe.

Von 2002 bis 2011 produzierte auch Solvay Solexis (seit 2013 Solvay Specialty Polymers Italy S.p.A.) in Italien einen HFE, der auf den deutschen Markt gelangte. Bei diesem H-Galden genannten HFE handelt es sich um eine Gruppe mehrerer Einzelsubstanzen, die sich durch ihre Siedepunkte voneinander unterscheiden. H-Galden hat ein relativ hohes GWP (1870) und war konzipiert, um die Gruppe perfluorierter Polyether (PFPE) aus der Reihe "Galden" abzulösen, die ein extrem hohes GWP um 10.000 aufweisen. H-Galden konnte sich allerdings nicht am Markt behaupten; seine Produktion wurde 2011 eingestellt. Aktuelle Restverkäufe dienen der Nachfüllung. H-Galden wird nicht in offenen Anwendungen eingesetzt, sondern in geschlossenen Systemen der Halbleiterindustrie als Wärmeüberträger-Flüssigkeit.

### Offene Anwendungen in der Industrie

HFEs der "7000er"-Reihe kommen u.a. in Schmierstoffen, in der Präzisionsreinigung und in der Oberflächenbeschichtung von Elektronikbauteilen zum Einsatz. Diese offenen Anwendungen sind in der deutschen Industrie relativ weit verbreitet. Besonders die Entwicklung in der Automobilindustrie trägt zu wachsendem Absatz dieser HFEs bei.

#### *Lösemittel für Polymere zur Oberflächenbeschichtung in der Elektronik*

In der elektronischen Fertigung werden oft bestückte Leiterplatten, elektronische Bauelemente oder diverse Festplattenkomponenten mit einem Schutzfilm überzogen, der gegen Feuchtigkeit aus der Luft oder bestimmte Lösemittel abweisend wirken soll. Es handelt sich nicht um üblichen Schutzlack, sondern um sogenannte Oberflächen-Modifiziermittel (englisch: "surface modifier"). Der Lack besteht aus 2 bis 15 Prozent Feststoff (fluorhaltiges Acrylatpolymer), der in 85 bis 98 Prozent HFE-7100 oder HFE-7200 gelöst ist. Das Lösemittel verdunstet bei der Anwendung. Daher sind Verbrauch und Emissionen größengleich (Emissionsfaktor 100 %). Wir schätzen Verbrauch/Emission von HFEs in dieser Anwendung auf Basis eigener Berechnungen für 2017 auf ca. 4,2 kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente und für 2018 auf 4,3 kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

#### *Trägerflüssigkeit für Schmierstoffe*

Die Verwendung als Trägermittel bzw. Lösemittel für Schmierstoffe bildet mit 6,4 kt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Jahr 2017 (2018: 6,6 kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente) den größten Einzelposten des HFE-Absatzes von 3M Deutschland. Es handelt sich überwiegend um HFE-7100, HFE-7200 und HFE-7300.

*Lösemittel in der Oberflächenreinigung*

International werden Lösemittel in der Präzisionsreinigung und generell in der Elektronik als Hauptanwendung flüssiger HFE genannt. Anders als etwa in den USA, Japan oder auch in Frankreich spielen in Deutschland fluorierte Medien in der Präzisionsreinigung aber nur eine marginale Rolle. Erst seit 2005 gibt es in Deutschland in nennenswertem Umfang Reinigungsanlagen mit HFE, und zwar meistens mit HFE-7100. Diesem wird zur Verbesserung der Reinigungsleistung oft Isopropanol (IPA) zugesetzt. Die jährlichen Einsatzmengen in Deutschland sind 2017 und vor allem 2018 deutlich angestiegen und liegen bei etwa 1,2 kt bzw. 1,4 kt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

**Tabelle 14: Emissionen von HFE (-7100, -7200, -7300, -7500) aus offenen industriellen Anwendungen [kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 2000-2018**

| Offene HFE-Anwendungen          | 2000  | 2005  | 2010  | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   |
|---------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Summe [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 1,081 | 6,600 | 8,787 | 11,684 | 11,023 | 11,761 | 12,498 |

**Geschlossene Anwendung in der Halbleiter- und sonstigen Industrie**

In der Halbleiterindustrie wird eine Reihe von fluorierten Wärmeüberträgern zur Kühlung von Prozessschritten als Wärmeüberträger (Heat-Transfer-Fluid; HTF) eingesetzt (siehe Abschnitt 1.3.3). HFEs sind als Alternativen zu vollfluorierten Substanzen konzipiert, da sie aufgrund ihres Gehalts von Sauerstoff und Wasserstoff ein niedrigeres GWP aufweisen. Auch Solvay Specialty Polymers hat 2002 entsprechende Produkte ins Programm aufgenommen, und zwar HFEs aus der H-Galden-Reihe. Wie bereits erwähnt, konnte sich diese HFE-Reihe am Markt nicht behaupten.

Die Hauptanwendung der HFEs ist die Halbleiterindustrie, wo fluorierte Wärmeüberträger in zahlreichen Abschnitten der Waferproduktion eingesetzt werden, weil klar definierte Prozesstemperaturen erforderlich sind. Zusätzlich zur Halbleiterindustrie kommen, allerdings in geringerem Umfang, HFEs in diversen sonstigen Industrieanwendungen vor, wo Prozesse und Geräte mit konstanten Temperaturen gekühlt werden müssen. Nach Auskunft der Firma 3M nimmt die deutsche Halbleiterindustrie über die Hälfte der HFE in geschlossenen Anwendungen ab, die allgemeine Industrie den restlichen Anteil. Die – auslaufende - Anwendung der HFEs der H-Galden-Reihe ist dagegen auf die Halbleiterindustrie beschränkt.

Unsere Emissionsabschätzung für HFEs als Wärmeüberträger ist in der folgenden Tabelle 15:

Wärmeübertragung: HFE-Emissionen in der Halbleiter- und sonstigen Industrie [kt CO<sub>2</sub>-Äq wiedergegeben. Inkludiert sind aufgrund der Vertraulichkeit der Werte nicht nur die HFE-7000er-Reihe (Durchschnitts-GWP: 222), sondern auch H-Galden (GWP: 1870). Es sei angemerkt, dass wir im Unterschied zu Gschrey et al. 2015 nicht mehr von einer Bestands-Emissionsrate von 10 % ausgehen, sondern aufgrund von Gesprächen mit Anwendern und Herstellern von Kühlanlagen für die Waferbearbeitung von 5 %.

**Tabelle 15: Wärmeübertragung: HFE-Emissionen in der Halbleiter- und sonstigen Industrie [kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 2000-2018**

| Geschlossene HFE-Anwendungen    | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Summe [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 0,36 | 1,19 | 1,72 | 1,59 | 1,55 | 1,45 | 1,25 |

Emissionsfaktoren: Befüllung: 1 %; Bestand: 5 %; Entsorgung: 10 %.

### 3.2.2 HFE als Narkosegase in der Medizin

#### Überblick über die halogenierten Narkosegase in Deutschland seit 1990

Die drei heute in Deutschland genutzten fluorierten Narkosemittel für inhalative Vollnarkosen (geschätzte Anteile nach Anwendungsfällen in Klammern) sind Sevofluran (>65 % der Fälle), Desfluran (> 32%) und Isofluran (<3 %). Die Schätzungen dieser Werte aus der Studie Gschrey et al. 2015 haben sich in den Expertengesprächen für diesen Bericht erhärtet. Diese drei Substanzen haben die in der Vergangenheit genutzten Mittel Halothan und Enfluran abgelöst. Bei Messungen auf dem Schweizer Jungfrauoch im Jahr 2015 zeigten sie bereits relevante Konzentrationen in der Atmosphäre.

Isofluran enthält als einzige der heute noch verwendeten Substanzen außer Fluor auch Chlor, ist also kein HFE, sondern ein HCFE, der auch zur Schädigung der Ozonschicht beiträgt.

**Tabelle 16: Chemische und ökologische Kenndaten der fünf halogenierten Narkosegase**

| Name       | Chemische Formel                                    | Industrielle Bezeichnung | ODP               | GWP-Werte* | Atmosphärische Lebensdauer (Jahre) |
|------------|---|--------------------------|-------------------|------------|------------------------------------|
| Halothan   | C <sub>2</sub> HBrClF <sub>3</sub>                  | (kein Ether)             | 1,56              | 41         | 1,0 <sup>a</sup>                   |
| Enfluran   | C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> ClF <sub>5</sub> O    | HCFE-235ca2              | 0,04              | 583        | 8,2 <sup>b</sup>                   |
| Isofluran  | CHF <sub>2</sub> OCHClCF <sub>3</sub>               | HCFE-235da2              | 0,03 <sup>b</sup> | 350        | 3,2 <sup>c</sup>                   |
| Desfluran  | CHF <sub>2</sub> OCHFClF <sub>3</sub>               | HFE-236ea2               | -                 | 989        | 14 <sup>d</sup>                    |
| Sevofluran | CH <sub>2</sub> FOCH(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | HFE-347mcc3              | -                 | 216        | 1,1 <sup>d</sup>                   |

\* GWP-Werte von Halothan und Enfluran nach EPA, Federal Register/Vol. 79, No. 238, December 2014 (p.44338);

GWP-Werte von Isofluran und Desfluran nach 4. IPCC Sachstandsbericht; Sevofluran nach 5. IPCC-Sachstandsbericht.

a Carpenter et al. (2014).

b Langbein et al. (1999).

c Sulbaek Andersen et al. (2010).

d Sulbaek Andersen et al. (2012b).

#### Emissionen der Narkosegase 1990-2018

Genaue Erläuterung zur Ermittlung der Emissionen inklusive Quellen und Eingabewerten finden sich in „Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 2013“. Die Werte der letzten beiden Berichtsjahre sind identisch, da für die Anzahl der Operationen auf Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen wird<sup>27</sup>, die zeitversetzt erscheinen. Die Werte werden entsprechend im Folgejahr angepasst.

Ausgehend vom jährlichen Verbrauch ergeben sich aus den Emissionsraten der einzelnen Gase folgende Emissionen für den Berechnungszeitraum, die in der Tabelle 17: Emissionen der halogenierten Narkosegase in Deutschland 1990-2018 unter Einbeziehung ihrer Metabolisierungsraten (Schätzung in t) dargestellt sind.

<sup>27</sup> Statistisches Bundesamt: Gesundheit. Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik). Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern. Erscheint jährlich.

**Tabelle 17: Emissionen der halogenierten Narkosegase in Deutschland 1990-2018 unter Einbeziehung ihrer Metabolisierungsraten (Schätzung in t)**

| Substanz         | 1990        | 1995        | 2000        | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Desfluran        | 0,0         | 0,0         | 31,6        | 65,0         | 103,0        | 102,7        | 104,7        | 105,4        | 105,4        |
| Sevofluran       | 0,0         | 0,0         | 15,2        | 31,8         | 50,8         | 69,36        | 70,77        | 71,24        | 71,24        |
| Isofluran        | 8,7         | 21,4        | 19,9        | 15,6         | 9,1          | 2,41         | 2,46         | 2,47         | 2,47         |
| Enfluran         | 20,4        | 19,1        | 13,9        | 4,7          | -            | -            | -            | -            | -            |
| Halothan         | 6,2         | 4,1         | -           | -            | -            | -            | -            | -            | -            |
| <b>Summe [t]</b> | <b>35,3</b> | <b>44,6</b> | <b>80,5</b> | <b>117,1</b> | <b>162,9</b> | <b>174,4</b> | <b>178,0</b> | <b>179,2</b> | <b>179,2</b> |

Es zeigt sich, dass die Emissionen von Halothan, welches die höchste Metabolisierungsrate aufweist, deutlich niedriger sind als der Verbrauch. In geringerem Maße zeigt sich diese Entwicklung bei Sevofluran, welches zu etwa 5 % metabolisiert wird.

In Tabelle 18: Emissionen der halogenierten Narkosegase in Deutschland 1990-2018 (Schätzung in t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) – ohne Halothan sind die klimawirksamen Emissionen der vier Narkosegase auf Ether-Basis, d.h. ohne Halothan, enthalten.

Die Emissionen von HCFE und HFE als Narkosegase betragen im Jahr 2018 ca. 120 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente (0,120 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente).

**Tabelle 18: Emissionen der halogenierten Narkosegase in Deutschland 1990-2018 (Schätzung in t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) – ohne Halothan**

| Substanz                             | 1990        | 1995        | 2000        | 2005        | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Desfluran                            | 0,0         | 0,0         | 31,2        | 64,3        | 101,8        | 101,5        | 103,6        | 104,3        | 104,3        |
| Sevofluran                           | 0,0         | 0,0         | 3,3         | 6,9         | 11,0         | 15,0         | 15,3         | 15,4         | 15,4         |
| Isofluran                            | 3,0         | 7,5         | 7,0         | 5,5         | 3,2          | 0,8          | 0,9          | 0,9          | 0,9          |
| Enfluran                             | 11,9        | 11,1        | 8,1         | 2,8         | -            | -            | -            | -            | -            |
| <b>Summe [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | <b>14,9</b> | <b>18,8</b> | <b>49,5</b> | <b>79,4</b> | <b>116,0</b> | <b>117,4</b> | <b>119,7</b> | <b>120,5</b> | <b>120,5</b> |



### 3.3 Perfluorierte Polyether (PFPE)

Perfluorierte Polyether (PFPE) sind eine umfangreiche Gruppe vollfluorierter Polymere, die im Unterschied zu vollfluorierten Kohlenwasserstoffen außer Kohlenstoff (C) und Fluor (F) auch Sauerstoff (O) enthalten, aber anders als HFKW oder HFE (Hydrofluorether) keinen Wasserstoff (H). Selbst bei hoher Molekularmasse sind sie noch flüssig. Ihr GWP ist sehr hoch (~ 10.000). Die EU F-Gase-Verordnung enthält nur für einen PFPE – den sogenannten PPFMIE oder Galden® HT-70 - ein GWP, nämlich 10.300. Dieser Wert stammt aus dem vierten IPCC-Sachstandbericht (AR4). In Gschrey et al 2015 wurde dieses GWP auf alle Galden-Produkte angewandt. Der Stoff PPFMIE ist im Anhang II der F-Gase-Verordnung aufgeführt und damit berichtspflichtig nach Artikel 19.

PFPE werden (1) beim Dampf-Löten von Leiterplatten, (2) als Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie, (3) als Arbeitsmittel-Komponente in ORC-Anlagen sowie (4) als Träger- bzw. Lösemittel für Schmierstoffe für extreme Temperaturbelastungen eingesetzt. Bei ORC-Anlagen und bei Wärmeüberträgern handelt es sich um geschlossene Anwendungen, beim Löten und bei Schmierstoffen um offene. In Gschrey et al 2015 werden diese Anwendungen im Detail beschrieben.

Weltweit einziger Hersteller von PFPE des hier in Frage kommenden niederen und mittleren Molekularmasse-Bereichs ist die Firma Solvay Specialty Polymers (früher Solvay Solexis) in Italien, die die Produktgruppe unter dem Handelsnamen Galden vermarktet.

#### 3.3.1 GWP von PFPEs

In Gesprächen mit Öko-Recherche erklärte das Unternehmen, dass es den PFPE mit der Bezeichnung PPFMIE nicht mehr herstellt, sondern nur andere PFPE, die definitionsgemäß der Berichtspflicht nicht unterlägen. Das Unternehmen erklärte sich zwar nicht bereit, für uns die Lieferungen der PFPE der Galden-Reihe nach Deutschland zusammenzustellen, hat aber die von uns im Jahr 2015 vorgelegten Eigenschätzungen in allgemeiner Form bestätigt. Die nachfolgenden Emissionsdaten sind daher deutlich unsicherer als die sonstigen Schätzungen und Berechnungen in diesem Bericht. Dies gilt besonders für die offenen Anwendungen in Schmierstoffen und beim Dampfphasen-Löten. Bei der Berechnung der Klimawirksamkeit folgen wir der F-Gase Verordnung und wenden auf PFPEs generell ein GWP von 10.300 an.

#### 3.3.2 Verwendung in ORC-Anlagen

Das Kapitel 1.5.3 im vorliegenden Bericht geht bereits auf die Anwendung ORC (Organic Rankine Cycle) ein, weil der PFPE Galden, genauer Galden® HT-55, als 35 %-Komponente im ORC-Arbeitsmittel „Solkatherm SES 36“ verwendet wird - zusammen mit 65 % HFKW-365mfc. Solkatherm SES 36 wird seit 2011 in Deutschland eingesetzt. Die Daten wurden nicht von Solvay Solexis Italien, sondern von Solvay Fluor Deutschland, jetzt Daikin Chemicals, vertraulich bereitgestellt. In dieser Anwendung ist die Verwendung des PFPEs in den letzten Jahren nicht nur stark zurückgegangen, sondern lag im Jahr 2016 bei 0. Im Jahr 2017 gab es einen sehr geringen Verbrauch, der allerdings 2018 wieder auf null gesunken ist. Dies spiegelt sich auch in den gesunkenen Gesamtemissionen in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. wider.

#### 3.3.3 Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie

Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie gelten als geschlossene Anwendungen und wurden, soweit sie berichtspflichtig sind, im Abschnitt 1.3.3 behandelt. Außer diesen Substanzen und den freiwillig berichteten HFE werden auch Galden-PFPE, insbesondere Galden® HT-135, eingesetzt. Die Einsatzmenge ist nicht mehr so hoch wie noch vor wenigen Jahren.

### 3.3.4 Dampfphasen-Reflowlötten von Leiterplatten

Solvay Solexis hat die in Gschrey et al. 2015 entwickelten Schätzwerte des Galden-Verbrauchs für das Dampfphasen-Reflow-Löten (Vapour-Phase-Reflow-Soldering) grundsätzlich bestätigt. Aus Vertraulichkeitsgründen geben wir die daraus resultierenden Emissionsdaten nur aggregiert wieder, zusammen mit den Mengen für ORC-Arbeitsmittel, Lösemittel und Wärmeüberträger. In diesem Bereich findet eine Datenfortschreibung statt.

### 3.3.5 Lösemittel in Schmierstoffen

Die niedrig siedenden PFPE der Galden®-Serie werden in beträchtlichem Umfang als Lösemittel zur Viskositätseinstellung der von Solvay Specialty Polymers auf PFPE-Basis produzierten hochmolekularen Schmierstoffe verwendet, die unter dem Handelsnamen Fomblin® verkauft werden. Solche Schmierstoffe werden u.a. in der Halbleiterherstellung für Vakuumpumpen eingesetzt, aber auch in Bereichen wie der Luftfahrt, Feinwerktechnik, Textilmaschinen, Kfz-Industrie, Druckbehältern usw. Bei der Anwendung emittieren die Lösemittel vollständig (Emissionsfaktor 100 %). Auch hier findet eine Fortschreibung statt.

### 3.3.6 Zusammenfassung der PFPE-Emissionen in Deutschland

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** stellen wir die PFPE-Emissionen in der Summe dar. Dampfphasen-Reflowlötten stellt bei weitem den größten Einzelbeitrag von PFPE zum Treibhauseffekt dar. Insgesamt machen Perfluorpolyether im Jahr 2018 Emissionen in Höhe von etwa 595 kt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aus.

**Tabelle 19: PFPE-Emissionen aus Wärmeübertragung, Dampfphasen-Reflowlötten, Schmierstoffen und ORC-Anlagen 1990-2018 in Tonnen und kt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten**

| Substanz                       | 1990   | 1995   | 2000   | 2005   | 2010   | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| PFPE [t]                       | 22,52  | 27,20  | 31,82  | 35,65  | 39,22  | 50,48 | 53,45 | 56,71 | 59,96 |
| PFPE [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 225,20 | 272,02 | 318,18 | 356,51 | 392,17 | 504,8 | 534,5 | 567,1 | 599,6 |



### 3.4 Trifluormethylschwefelpentafluorid (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>)

Wegen seines hohen GWP von 17.700 wird SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub> als „Super-Treibhausgas“ bezeichnet. Die chemische Struktur weist Ähnlichkeiten zu SF<sub>6</sub> auf. Daher gab es zunächst die Annahme, dass SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub> aus SF<sub>6</sub> bei Entladungen und Schaltvorgängen in Hochspannungsanlagen generiert wird. Diese Annahme wurde inzwischen widerlegt.

Auf Grund seiner Eigenschaften kann SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub> als Ersatz von SF<sub>6</sub> in der chemischen Ozeanographie als Tracergas für Langzeitmessungen der Durchmischung des Meeres eingesetzt werden. Sogenannte Tracer-Release-Experimente werden vom Helmholtz-Zentrum in Kiel (Geomare) weltweit durchgeführt, allerdings auf hoher See und nicht in deutschen Gewässern.

SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub> muss gemäß Artikel 19 der F-Gase-Verordnung von herstellenden oder importierenden Unternehmen seit 2015 berichtet werden. Bis einschließlich des Berichtsjahres 2018 gab es allerdings in Deutschland keine SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>-Emissionen.

### 3.5 Weitere fluorierte Treibhausgase

Zu den weiteren fluorierten Treibhausgasen für das deutsche F-Gas-Inventar, die freiwillig berichtet werden können, zählen die beiden - in dieser Studie in Kapitel 1.3.3 über Wärmeüberträger bereits behandelten - Stoffe C<sub>9</sub>F<sub>21</sub>N (Fluorinert FC-3283, Perfluor-Tri-N-Butylamin; GWP 8.690) und C<sub>5</sub>F<sub>11</sub>NO (Fluorinert FC-3284, Perfluor-N-Methylmorpholin; GWP 9.500).

Eine dritte stickstoffhaltige vollfluorierte Substanz für die freiwillige Berichterstattung ist Perfluortributylamin (PFTBA, C<sub>12</sub>F<sub>27</sub>N) mit dem 3M-Handelsnamen Fluorinert FC-43. Ihr GWP ist 7.100.

Aufsehen erregte PFTBA Ende 2013 durch eine kanadische Studie der Universität Toronto. Ein Forscherteam fand heraus, dass zwar die Konzentration von PFTBA in der Atmosphäre sehr gering ist, dass es aber ein sehr starkes Treibhausgas darstellt. Mögliche Anwendungsgebiete von PFTBA sind u.a. Elektroindustrie, Kalibrierung in der Massenspektroskopie, Partikelzähler für Kraftstoff in Flugzeugen und Augenmedizin.

Die genannten Anwendungsgebiete konnten durch einen Mitarbeiter des Herstellers von PFTBA, der Firma 3M, bestätigt werden. In Deutschland wird Fluorinert FC-43 allerdings vor allem in der Medizin-Technik und als Test-Flüssigkeit in der Elektronik- und Halbleiterindustrie genutzt. Die verkauften Mengen werden uns vertraulich mitgeteilt. Aus den Anwendungsfeldern ergibt sich eine geschätzte Emissionsrate von nahezu 100 %.

In der folgenden Tabelle 20: Emissionen der drei stickstoffhaltigen fluorierten Treibhausgase C<sub>9</sub>F<sub>21</sub>N, C<sub>5</sub>F<sub>11</sub>NO und C<sub>12</sub>F<sub>27</sub>N [kt CO<sub>2</sub>-Äq ist die Emissionsentwicklung der drei Substanzen aggregiert dargestellt.

**Tabelle 20: Emissionen der drei stickstoffhaltigen fluorierten Treibhausgase C<sub>9</sub>F<sub>21</sub>N, C<sub>5</sub>F<sub>11</sub>NO und C<sub>12</sub>F<sub>27</sub>N [kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente] 1990-2018**

| Substanz   | 1990 | 1995 | 2000 | 2005  | 2010  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|--|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C <sub>9</sub> F <sub>21</sub> N, C <sub>5</sub> F <sub>11</sub> NO, C <sub>12</sub> F <sub>27</sub> N [t]                       | -    | -    | 0,33 | 1,46  | 3,33  | 5,386 | 5,612 | 5,848 | 6,074 |
| C <sub>9</sub> F <sub>21</sub> N, C <sub>5</sub> F <sub>11</sub> NO, C <sub>12</sub> F <sub>27</sub> N [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | -    | 2,87 | 13,00 | 30,15 | 46,63 | 48,42 | 50,30 | 52,10 |

### 3.6 Die zusätzlichen F-Gase für die freiwillige Berichterstattung

Der abschließende Gesamtblick auf die zusätzlichen F-Gase, deren Emissionen das Umweltbundesamt für die freiwillige Berichterstattung ermittelt, zeigt den hohen Emissionsbeitrag der PFPE, auf die alleine 89 % der insgesamt 666 kt CO<sub>2</sub>-Äq. entfallen. Dies hängt mit dem hohen GWP von 10.300 für diese Substanzgruppe zusammen. Es besteht allerdings eine große Unsicherheit für die PFPE-Emissionen, insbesondere für ihren größten Einzelposten, das Dampfphasen-Reflowlöten.

Auf der anderen Seite mögen die relativ geringen Emissionen der industriell in offenen und geschlossenen Anwendungen genutzten Hydrofluorether (HFE) überraschen, die etwa 13 kt CO<sub>2</sub>-Äq. ausmachen.

Die Emissionen der stickstoffhaltigen F-Gase C<sub>9</sub>F<sub>21</sub>N (GWP 8.690), C<sub>5</sub>F<sub>11</sub>NO (GWP 9.500) und C<sub>12</sub>F<sub>27</sub>N (GWP 7.100) betragen insgesamt 52,1 kt CO<sub>2</sub>-Äq.

**Tabelle 21: Emissionen der vom Umweltbundesamt freiwillig berichteten zusätzlichen F-Gase nach Stoffen im Jahr 2018 in kt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten**

| Anwendung                                | 2018  |
|--|-------|
| uHFKW (1234yf, 1234ze)                   | 0,791 |
| Industrielle HFE (offen und geschlossen) | 13,7  |
| HFE für Anästhesie                       | 0,120 |
| PFPE                                     | 599   |
| Weitere (N-haltige) FKW                  | 52,1  |
| Summe [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]          | 666,4 |

Es bleibt festzustellen, dass die freiwillig berichteten Stoffe einen immer größeren Anteil der Emissionen ausmachen, was auch bedeutet, dass die tatsächlichen Gesamtemissionen der F-Gase weitaus höher sind als berichtet.

## 4 Quellenverzeichnis

In diesem Teil des Berichts werden die Erhebungsnachweise für die Berichtsjahre 2017 und 2018 wiedergegeben. Persönliche Telefon-Durchwahlnummern und E-Mail-Adressen werden in dieser internen Fassung genannt.

Damit die Gliederung der Datenquellen mit derjenigen nach CRF-Quellgruppen vergleichbar ist, wird deren Bezeichnung in Klammern hinter den Überschriften der einzelnen Sektoren angegeben. Die Nummerierung erfolgt nach den neuen UNFCCC reporting formats (CRF) bzw. den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

### 4.1 F-Gas-Emissionen

#### Produktion von HFKW-134a, HFKW-227ea, SF<sub>6</sub> (2.B.9)

Daikin Chemical Europe GmbH, Hannover, 0511-857-0, Felix Flohr, Vertrauliche Mitteilungen an Öko-Recherche, 16.04.2018 und 27.06.2019.

Solvay Special Chem, Hannover, Andreas Busse, Vertrauliche Mitteilungen an Öko-Recherche, 27.04.2018 und 10.05.2019.

Solvay Special Chem, Hannover, Thomas Schwarze, Vertrauliche Mitteilung an Öko-Recherche, 28.08.2019.

#### Sekundäraluminium (2.C.3)

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>). Ergebnisberichte 2017 und 2018. Erschienen im Juni 2018 und Mai 2019.

Öko-Recherche (Winfried Schwarz/Barbara Gschrey): Final Report: Service contract to assess the feasibility of options to reduce emissions of SF<sub>6</sub> from the EU non-ferrous metal industry and analyse their potential impacts, Prepared for European Commission, DG Environment, ENV.C.4/SER/2008/0059rl, Frankfurt/Main, October 2009.

#### Aluminiumproduktion (2.C.3)

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>), Berichtsjahre 2017 und 2018.

Datenmeldung an Umweltbundesamt. Berichtsjahre 2017 und 2018.

#### Magnesium-Guss (2.C.4)

Schweizer & Weichand GmbH, Murrhardt, 07192-212-0. Klaus Horny (Leitung Gießerei), Mitteilungen an Öko-Recherche, 24.05.2019 und 09.07.2019.

ZF Gusstechnologie (ehemals Honsel GmbH & Co. KG, Druckgusswerk Nürnberg) Nopitschstraße 71, Nürnberg, 0911 4150-0. Sina Placzek und Thorsten Gradzielski, Mitteilung an Öko-Recherche, 01.07.2019.

Takata-Petri AG, Aschaffenburg, 06021-65-0. Marcus Ubrig (Safety & Environment), Mitteilung an Öko-Recherche, 9.5.2018.

Volkswagen AG, Werk Kassel, Baunatal, 0561-490-0. Djamila Groch, Mitteilungen an Öko-Recherche zum Verbrauch an Schwefelhexafluorid und HFKW-134a, 22.5.2018 und 1.7.2019.

Der Verbrauch von SF<sub>6</sub>, der nur noch in Druckgussbetrieben mit Jahresverbrauch unter 850 kg und generell im Sandguss erlaubt ist, wird nicht mehr von einzelnen Betrieben abgefragt, sondern ist der Erhebung des Statistischen Bundesamtes beim Gasehandel entnommen. Es finden lediglich ausgewählte Rückfragen zur Kontrolle statt.

Statistisches Bundesamt, Bonn: Mitteilungen an Öko-Recherche, 18.06.2018 und 15.05.2019.

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>). Ergebnisberichte 2017 und 2018. Erschienen im Juni 2018 und Mai 2019.

Linde AG, Höllriegelskreuth, 089-7446-0. Hans-Jürgen Diehl (Zentraler Vertrieb Spezialgase), schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche, 9.5.2018 und 6.8.2019.

Druckguss Heidenau, Dohna, 03529-588365, Ulrich Kimmel, schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche 28.6.2018 und 1.7.2019.

Öko-Recherche (Winfried Schwarz/Barbara Gschrey): Final Report: Service contract to assess the feasibility of options to reduce emissions of SF<sub>6</sub> from the EU non-ferrous metal industry and analyse their potential impacts, Prepared for European Commission, DG Environment, ENV.C.4/SER/2008/0059rl, Frankfurt/Main, October 2009.

#### **Halbleiterindustrie (2.E.1)**

ZVEI, Fachverband Bauelemente der Elektronik (Dr. Marcus Dietrich, Technischer Referent Fachverband Electronic Components and Systems): PFC-Emissionsdaten der deutschen Halbleiterindustrie. Freiwillige Meldung der PFC-Emissionen der Deutschen Halbleiterindustrie an BMU, UBA und BMWi, 24.06.2019.

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>). Ergebnisberichte 2017 und 2018. Erschienen im Juni 2018 und Mai 2019.

Winfried Schwarz, Barbara Gschrey, Thomas Kimmel, Sven Stöbener, Sabrina Reitz (Öko-Recherche GmbH): Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 in die Inventarerhebung fluoriierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>), im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 3712 41 103 1, November 2015.

#### **Photovoltaik-Industrie (2.E.3)**

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>). Ergebnisbericht 2017 und 2018. Erschienen im Juni 2018 und Mai 2019.

Öko-Recherche (Winfried Schwarz): SF<sub>6</sub> und NF<sub>3</sub> in der deutschen Photovoltaik-Industrie. Inventarverbesserung 2008 – Verbesserung und Ergänzung der Daten für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention in der Quellgruppe Photovoltaik, Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 360 16 027, Dezember 2009 (unveröffentlicht).

Winfried Schwarz, Barbara Gschrey, Thomas Kimmel, Sven Stöbener, Sabrina Reitz (Öko-Recherche GmbH): Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 in die Inventarerhebung fluoriierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>), im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 3712 41 103 1, November 2015.

#### **Wärmeüberträger (C<sub>6</sub>F<sub>14</sub>) (2.E.4)**

ZVEI, Fachverband Bauelemente der Elektronik (Dr. Marcus Dietrich, Technischer Referent Fachverband Electronic Components and Systems), Mitteilung an das Umweltbundesamt, 24.06.2019.

Tuma & Tousignant 2001: Reduktion von Emissionen aus Perfluorkohlenwasserstoffen (PFKW) in Wärmeträgerflüssigkeiten, Vortrag beim SEMI Technical Symposium: Innovations in Semiconductor Manufacturing im Rahmen der SEMICON West, 16. Juli 2001, S. 3. Dieser ins Deutsche übersetzte Fachartikel wird auf der Website von 3M Deutschland GmbH verbreitet.

Burton, C.S. 2004: Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector. EPA Document # EPA-430-R-06-901.

#### **Gewerbekälte (2.F.1a)**

##### *A. Zentralanlagen*

Lebensmitteleinzelhandel > 400 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche:

Schriftliche Mitteilungen Gisela Mies/ Birgit Arndt, Nielsen (Trade Dimensions), 1.6.2018 und 25.08.2019.

Discountmärkte:

Schriftliche Mitteilungen Gisela Mies/ Birgit Arndt, Nielsen (Trade Dimensions), 1.6.2018 und 25.08.2019.

*B. Verflüssigungssätze und steckerfertige Geräte*

Discountmärkte:

Schriftliche Mitteilungen Gisela Mies/ Birgit Arndt, Nielsen (Trade Dimensions), 1.6.2018 und 25.08.2019.

Statista [Henrich, Philipp] (2018): Anzahl der Filialen im Lebensmittelhandel in Deutschland nach Betriebsformen in den Jahren 2013 bis 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157293/umfrage/anzahl-der-geschaefte-im-deutschen-einzelhandel-nach-geschaefstypen/> (01.07.2019)

Kleine Lebensmittel-Einzelhandelsgeschäfte < 400 m<sup>2</sup>:

Schriftliche Mitteilungen Gisela Mies/ Birgit Arndt, Nielsen (Trade Dimensions), 1.6.2018 und 25.08.2019.

Bäckerhandwerk (einschl. Filialen):

Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks e. V. (2018): Wirtschaftsfaktor Bäckerhandwerk.

<https://www.baeckerhandwerk.de/baeckerhandwerk/zahlen-fakten/> (01.07.2019)

Getränkeabholmärkte:

Statista [Henrich, Philipp] (2018): Anzahl der Getränkefachmärkte in Deutschland in den Jahren 2004 bis 2018.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157244/umfrage/anzahl-der-getraenkeabholmaerkte-in-deutschland/> (01.07.2019)

Tankstellenshops:

Statista [Ahlswede, Andreas] (2019): Anzahl der Tankstellen in Deutschland von 1950 bis 2019.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2621/umfrage/anzahl-der-tankstellen-in-deutschland-zeitreihe/> (01.07.2019)

Gastgewerbe (15 Untersektoren):

Dehoga Bundesverband (2019): Wirtschaftsfaktor Gastgewerbe. <https://www.dehoga-bundesverband.de/zahlen-fakten/> (01.07.2019)

Krankenhäuser:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Krankenhaus>.

Fleischerfachbetriebe:

Deutscher Fleischer-Verband (2018): Jahrbuch 2018. S. 70.

[https://www.fleischerhandwerk.de/fileadmin/content/03\\_Presse/Geschaeftsbericht/Jahrbuch\\_2018.pdf](https://www.fleischerhandwerk.de/fileadmin/content/03_Presse/Geschaeftsbericht/Jahrbuch_2018.pdf) (01.07.2019).

Fleischerfilialen:

Siehe Fleischerfachbetriebe.

Die Daten zum Facheinzelhandel für Nahrungsmittel (Delikatessen, Fisch, Obst und Gemüse usw.), Kühlzentrifugen, Verkaufsautomaten wurden auf Basis des Jahres 2010 linear für 2017 und 2018 fortgeschrieben, da keine neuen Daten verfügbar waren.

Pflegeheime:

[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Pflege/PflegeDeutschlandergebnisse5224001159004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Pflege/PflegeDeutschlandergebnisse5224001159004.pdf?__blob=publicationFile).

Die Daten zum Zierpflanzenanbau wurden auf Basis des Jahres 2011 linear für 2017 und 2018 fortgeschrieben, da keine neuen Daten verfügbar waren.

R116 und R218:

R116 (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) ist Bestandteil der Tiefkühlgemische R508A und R508B – mit 61 % R116 in R508A und 54 % R116 in R508B (Rest R23), für die ab 2006 Werte nach UStatG zur Verfügung stehen. Der 2018er Wert ist die Fortschreibung des gerundeten UStatG-Vorjahreswerts.

R218 (C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>) ist in diversen Kältemittelmischungen enthalten: zu 20 % in R403 A/B (Isceon 69), zu jeweils 9 % in R413 A (Isceon 49) und Isceon 89. Auch hier wurde für 2018 der Vorjahreswert der UStatG-Erhebung fortgeschrieben.

### **Haushaltskühlgeräte (2.F.1b)**

Greenpeace Deutschland, Hamburg, Wolfgang Lohbeck (Atmosphärenschtz), persönliche Mitteilung an Öko-Recherche lfd.

### **Industriekälte (2.F.1c)**

*Fleischanfall von geschlachteten Tieren in- und ausländischer Herkunft 2018:*

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Tabellen zur Ernährung und Fischerei. <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/tabellen-zur-ernaehrung-und-fischerei/#c6776> (01.07.2019)

- Monatsbericht: MBT-0203230-0000 (Fleisch ohne Geflügel)

- Monatsbericht: MBT-0203290-0000 (Geflügel, Nettoerzeugung)

*Milch- und Rahmanlieferung der Erzeuger an milchwirtschaftliche Unternehmen 2018:*

<http://berichte.bmelv-statistik.de/>; Datei MBT-0204035-0000

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2019): Kuhmilchlieferung nach Erzeuger- und Molkereistandort. <https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/Mengen.html?nn=8906974> (01.07.2019)

*Weinerzeugung 2018:*

Deutsches Weininstitut (2019): Pressemitteilung, Endgültige Zahlen: 10,4 Millionen Hektoliter Weinmost 2018.

<https://www.deutsche-weine.de/presse/presse-meldungen/details/news/detail/News/endgueltige-zahlen-104-millionen-hektoliter-weinmost-2018/> (01.07.2019)

*Bierherzeugung 2018:*

Statistisches Bundesamt (2019): Bierproduktion 2018: Brauereien erzeugten 2,2 % mehr als im Vorjahr.

[https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/04/PD19\\_156\\_799.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/04/PD19_156_799.html) (01.07.2019)

Für alkoholfreies Bier:

Statista [Henrich, Philipp] (2019): Produktion von alkoholfreiem Bier in Deutschland in den Jahren 2005 bis 2018 (in 1.000 Hektoliter). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/425881/umfrage/produktion-von-alkoholfreiem-bier-in-deutschland/> (01.07.2019)

*Fruchtsaft 2018:*

Verband der Deutschen Fruchtsaft-Industrie e.V. (VdF) (2019): Orangensaft übernimmt wieder die Poleposition beim Verbraucher. <https://www.fruchtsaft.de/presse/meldungen/orangensaft-uebernimmt-wieder-die-poleposition-beim-verbraucher/> (01.07.2019)

*Schokoladenproduktion 2018:*

BDSI (2019): Produktion von Süßwaren gesamt 2018.

[https://www.bdsi.de/fileadmin/redaktion/Grafik\\_Statistik/Produktion\\_S%C3%BC%C3%9Fwaren\\_gesamt\\_2018\\_vorl-c.jpg](https://www.bdsi.de/fileadmin/redaktion/Grafik_Statistik/Produktion_S%C3%BC%C3%9Fwaren_gesamt_2018_vorl-c.jpg) (01.07.2019)

*Tiefkühlkost 2018:*

Deutsches Tiefkühlinstitut (2019): Die Deutschen sind wahre Tiefkühlfans. [https://www.tiefkuehlkost.de/tk-fuer-alle/aktuelles/presse/pressemitteilungen/\\_y2019/\\_p2](https://www.tiefkuehlkost.de/tk-fuer-alle/aktuelles/presse/pressemitteilungen/_y2019/_p2) (01.07.2019)

*Eisbahnen (Eisstadion in Deutschland) 2018:*

Hockeyarenas.net Verzeichnis der Stadien in Deutschland nach Baujahren. <http://www.hockeyarenas.net>.

*Sonstige Industrie:*

Verlässliche Kältemitteldaten, vergleichbar der Nahrungsmittelindustrie, sind für diesen Restbereich der Industriekälte kaum verfügbar. Unsere Annahme ist, dass der Hauptanwender (zu etwa 80 % der sonstigen Industriekälte) die Chemische Industrie ist, insbesondere in der Produktion von organischen und anorganischen Basischemikalien, Kunststoffen in primärer Form, Düngemitteln u. dergleichen. Für die installierte Kälteleistung in der sonstigen Industriekälte verwenden wir einen Pauschalwert von 500 MW. Diese Abschätzung stützt sich auf eine Auswertung des Abschnitts über die Chemieindustrie in DKV 2002 (Seiten 69-88). Darin wird die installierte Kälteleistung auf 335 MW beziffert. Die VDMA-Studie zum „Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland“ vom April 2011 führt zahlreiche Anwendungen und Sektoren der Industriekälte an und sieht gleichfalls in der Chemie, vor allem der Grundstoffchemie, den hauptsächlich industriellen Verbraucher von Endenergie für Kältetechnik. Aus dem Energieverbrauch ist jedoch kein Rückschluss auf die Kälteleistung möglich. Anzumerken ist noch, dass ein großer Teil der Kälteleistung in der Chemie auf die Gasverflüssigung entfällt, für die halogenierte Kältemittel eine untergeordnete Rolle spielen.

Für die Umrechnung der von uns auf 500 MW geschätzten Kälteleistung in Kältemittelmengen verwenden wir spezifische technische Kennziffern.

Flüssigkeitskühlsätze, die in der Industrie in großem Umfang eingesetzt werden, sind in der „sonstigen Industriekälte“ nicht enthalten. Sie werden bei stationären Klimaanlageanlagen (Chiller) behandelt, mit denen sie baugleich sind.

*Steckerfertige Geräte (Rückkühler und Schaltschrankkühler):*

Die Stückzahlen von Schaltschrankkühlern (313.000) und Öl- und Wasserrückkühler (< 200.000) sind entnommen aus der Studie VDMA (2011): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland – Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten. Frankfurt am Main; S.60 und 61. Die Zahlenwerte wurden für 2017 und 2018 beibehalten.

Als durchschnittliche Füllmenge wurde 0,95 kg angegeben. Als dominierendes Kältemittel R134a. Die Geräte werden vorwiegend vorgefüllt importiert (Italien); Schaltschrankkühler werden auch in Deutschland hergestellt.

*R227ea und R23:*

Die Mengenangabe des Neuzugangs von R227ea für Klimatisierungs-Anwendungen bei hoher Außentemperatur wie in Arbeitskränen von Stahlwerken u. dgl. entspricht dem gerundeten Vorjahreswert nach UStatG-Erhebung.

Für das Tieftemperatur-Kältemittel R23, sofern es rein (nicht in Mischungen) eingesetzt wird, wurden ab 2006 die Werte nach UStatG verwendet. Für den Neuzugang des Jahres 2018 wurde der gerundete Vorjahreswert herangezogen, da zum Zeitpunkt der Inventarerhebung noch keine neuen Daten des Statistischen Bundesamtes vorlagen.

**Kühlfahrzeuge (2.F.1d)**

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8 (2017): Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2017 nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Dezember 2017 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8 (2018): Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2018 nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Dezember 2018 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).



Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes (2017): Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2018, (FZ 23).

Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes (2018): Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2019, (FZ 23).

#### **Kühlcontainer (2.F.1d)**

Port Technology:

[https://www.porttechnology.org/news/dynamar\\_reefer\\_box\\_production\\_collapses](https://www.porttechnology.org/news/dynamar_reefer_box_production_collapses). Im Artikel genannte Reduzierung der Produktion auf Zahl des letzten Jahres angewandt.

#### **Pkw-Klimaanlagen (2.F.1e)**

Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes (2017): Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2018, (FZ 23).

Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes (2018): Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2019, (FZ 23).

Statistisches Bundesamt (2019): Fachserie 19, Reihe 1 - Abfallentsorgung 2017.

VDA (Verband der Automobilindustrie), Daten zur Automobilwirtschaft, Ausgabe 2017 und 2018, Berlin o.J.

VDA Verband der Automobilindustrie), Analysen zur Automobilkonjunktur 2017 und 2018, Berlin, Juni 2018 und Juni 2019.

Adam Opel AG, Rüsselsheim, 06142-7-0. Ulrich Schulz (Manager EU Affairs – Environment), Mitteilung an Öko-Recherche, 30.5.2018.

Suzuki International Europe GmbH, Bensheim, 06251-5700-0. René Rosenberger (Productmanager Automobile), Mitteilungen an Öko-Recherche, 26.7.2018 und 6.8.2019.

Renault Deutschland AG, 50321 Brühl, 02232-73-0. Katharina Niessner (Koordinatorin Kommunikation), Mitteilungen an Öko-Recherche, 28.8.2018 und 22.7.2019.

Volkswagen Deutschland, Frank Thoms, Mitteilungen an Öko-Recherche, 28.6.2018 und 20.5.2019.

Die Modellreihen von Audi, BMW, Daimler (Mercedes), Kia, Mitsubishi, Porsche, SEAT, Volvo, Saab, Honda, Nissan, Skoda, Toyota, Ford und Mazda wurden nicht erfragt, da sie fast zu 100 % mit Klimaanlagen ausgestattet sind.

#### **Lkw-Klimaanlagen (2.F.1e)**

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2017. Gegliedert nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Januar 2018 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2018. Gegliedert nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Januar 2019 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).

Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes: Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2018, (FZ 15).

Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes: Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2019, (FZ 15).

Statistisches Bundesamt (2019): Fachserie 19, Reihe 1 - Abfallentsorgung 2017.

Daimler AG, Stuttgart, 0711-17-0. Eberle Arwed für die Modelle Sprinter und Vito, Mitteilungen an Öko-Recherche, 24.4.2018 und 18.7.2019.



Volkswagen AG, Werk Hannover, 0511-798-0. Frank Thoms für die Modelle Transporter/Caravelle, Crafter, Caddy, Mitteilungen an Öko-Recherche, 28.6.2018 und 20.5.2019.

Renault Deutschland AG, 50321 Brühl, 02232-73-0. Katharina Niessner (Kordinatorin Kommunikation), Mitteilungen an Öko-Recherche, 28.8.2018 und 22.7.2019.

Öko-Recherche: Establishing the leakage rates of mobile air conditioners in heavy duty vehicles (070501/2005/422963/MAR/C1). Part I trucks, For the European Commission (DG Environment), February 2007.

#### **Busklimaanlagen (2.F.1e)**

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2017. Gegliedert nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Januar 2018 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2018. Gegliedert nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Januar 2019 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).

Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes: Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2018, (FZ 15).

Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes: Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2019, (FZ 15).

VDA (Verband der Automobilindustrie), The Economic Situation of the Automotive Industry in the Year 2017, Berlin, März 2018 (Tabellenteil).

MAN Truck & Bus AG, Robert Staimer, Mitteilung an Öko-Recherche, 10.8.2018.

Öko-Recherche: Establishing the leakage rates of mobile air conditioners in heavy duty vehicles (070501/2005/422963/MAR/C1). Part II buses, For the European Commission (DG Environment), February 2007.

#### **Landmaschinen-Klimaanlagen (2.F.1e)**

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2017. Gegliedert nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Januar 2018 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).

Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen FZ 8: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse Dezember 2018. Gegliedert nach zulässiger Gesamtmasse. Veröffentlicht im Januar 2019 (enthält Zahlen für das ganze Jahr).

VDMA Landtechnik, Dagmar Häser-Hördt, (Anzahl in Deutschland produzierter Mähdrescher und Feldhäcksler), Mitteilungen an Öko-Recherche, 12.6.2018 und 2.7.2019.

#### **Schiffsklimaanlagen (2.F.1e)**

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Zentralstelle SUK/SEA, Zentrale Binnenschiffs-Bestandsdatei bei der WSV: Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte für die Jahre 2017 und 2018. Schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche durch Dietmar Försch, WSV, Abteilung Schifffahrt, 07.08.2018 und 13.8.2019

Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V. (VSM), Hamburg, Jahresberichte 2017/2018 und 2018/2019. <http://www.vsm.de/de/service/publikation-und-medien/jahresberichte>.

Christian De Bilde (Verband Deutscher Reeder VDR), 20354 Hamburg, Übersicht der Schiffe unter deutscher Flagge nach Typen und Baujahr ab 1997, Mitteilungen an Öko-Recherche, 11.5.2018 und 21.6.2019.

Öko-Recherche: The analysis of the emissions of fluorinated greenhouse gases from refrigeration and air conditioning equipment used in the transport sector other than road transport and options for reducing these emissions (07010401/2006/445124/MAR/C4). For the European Commission (DG Environment), Brussels 2007.

Winfried Schwarz, Measures to reduce the climate impact of refrigerant emissions from ships, in: CE Delft & partners: Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international transport, Delft, December 2009, p. 306-331.

#### **Schienefahrzeugklimaanlagen (2.F.1e)**

The Railfaneurope.net Stock Lists: Railway Operators in Germany, Stand Juni 2018 und Juni 2019.

<http://www.railfaneurope.net>.

Öko-Recherche: The analysis of the emissions of fluorinated greenhouse gases from refrigeration and air conditioning equipment used in the transport sector other than road transport and options for reducing these emissions (07010401/2006/445124/MAR/C4). For the European Commission (DG Environment), Brussels 2007.

#### **Wärmepumpen (2.F.1f)**

Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V., Berlin, Presseinformation: Wärmepumpen-Absatz 2017 und 2018 leicht rückläufig. Berlin, 2018 und 2019. <http://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/absatzzahlen/>.

#### **Wärmepumpen-Wäschetrockner (2.F.1f)**

BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH (Dr. Jörg Lindemann, BSH CTE-ES), München: Schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche am 2.8.2018 und 25.7.2019.

Miele & Cie. KG, Gütersloh (Bernd Rohde, GTZ/UR), schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche am 26.7.2018 und 24.7.2019.

#### **Raumklimageräte (2.F.1f) einschließlich Multi-Split-Geräte mit und ohne VRF-Technologie**

JARN – Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News (Für mobile Geräte Fortschreibung, da keine neuen Daten bei JARN).

DAIKIN Airconditioning Germany GmbH, Oliver Blab, Mitteilungen an Öko-Recherche, 22.5.2018 und 5.9.2019.

#### **Flüssigkeitskühlsätze (2.F.1f)**

Johnson Controls, Alexander Cohr Pachaj, Mitteilung an Öko-Recherche, 06.09.2016; Daten inklusive Projektionen.

Johnson Controls, Rainer Brinkmann; Mitteilung an Öko-Recherche, 09.08.2019.

Trane, Bastian Sauermann; Mitteilung an Öko-Recherche 23.08.2019.

Smardt OPK, Martin Huth; Mitteilung an Öko-Recherche 07.09.2019.

ENGIE, Daniel Keller; Mitteilung an Öko-Recherche 03.09.2019.

#### **PU-Hartschaum und Integralschaum (2.F.2a,b)**

Solvay Fluor & Derivate GmbH, Hannover, Andreas Busse, Mengenabschätzung für Solkane 365mfc. Vertrauliche Mitteilungen an Öko-Recherche, 27.4.2018 und 10.5.2019.

Honeywell Fluorine Products Europe BV. Tim Vink: Absatz HFKW-245fa 2018, vertrauliches Schreiben an Öko-Recherche, 27.09.2018.

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe, Berichtsjahre 2017 und 2018.

#### **Montageschaum (2.F.2b)**

HAGO Dr. Schirm Chemotechnik, München, Jörn Meier-Wichmann, Mitteilungen an Öko-Recherche, 05.07.2018 und 26.06.2019.

PDR Recycling GmbH + Co. Betriebs KG, Thurnau. Rebecca Schobert/ Christopher Hartmann (Laborleiterin), Mitteilungen an Öko-Recherche, 14.5.2018 und 02.07.2019.

DEBRATEC (vorm. Büka) Schwepnitz, Thomas Reihls (REACH-Verantwortlicher & Störfallbeauftragter), Mündliche Mitteilungen an Öko-Recherche am 6.7.2018 und 8.7.2019.

Autra Den Braven Aerosol GmbH + Co KG, Reichenberg-Albertshausen, 09366-9071-26, Jan Söder, schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche, 9.5.2018 und 01.07.2019.

Öko-Recherche: HFKW-haltige Treibgase in PU-Montageschaum. Bewertung der Emissionsreduktionspotenziale von Montageschäumen im Hinblick auf eine Konkretisierung der Regelungen nach §9(1) der Verordnung (EG) 842/2006. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 363 01 196, Dessau Januar 2009.

#### **XPS-Dämmschaum (2.F.2a,b)**

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe, Berichtsjahre 2017 und 2018.

#### **Feuerlöschmittel (2.F.3)**

Kidde Brand- und Explosionsschutz GmbH, Ratingen, Übersicht der installierten und emittierten FM-200-Mengen im Geschäftsbereich der Kidde Brand- und Explosionsschutz GmbH, Schreiben von Oliver Köhler (Buchhaltung), Ratingen, 27.07.2018 und 6.8.2019.

#### **Allgemeine Aerosole (2.F.4b)**

Debratec GmbH, Schwepnitz, Thomas Reihls, schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche GmbH, 6.7.2018 und 8.7.2019.

Den Braven Aerosols GmbH + Co KG, Reichenberg-Albertshausen, Jan Söder, schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche 9.5.2018 und 01.07.2019.

Tunap Industrie Chemie GmbH & Co Produktions KG, Lichtenau (Sachsen), Sandy Oltorf (ehem. Wetzel), mündliche Mitteilungen an Öko-Recherche, 05.07.2018 und 26.06.2019.

HAGO Dr. Schirm Chemotechnik, München, Jörn Meier-Wichmann, Mitteilungen an Öko-Recherche, 05.07.18 und 26.06.2019.

#### **Novelties (2.F.4c)**

Fédération Européenne des Aérosols (FEA), Brussels, [www.aerosol.org](http://www.aerosol.org), Alain D'haese, Mitteilungen an Öko-Recherche, 20.05.2011. Fortschreibung.

#### **Lösemittel (2.F.5)**

Honeywell Fluorine Products Europe BV. Tim Vink: Absatz HFKW-245fa, vertrauliches Schreiben an Öko-Recherche, 27.09.2018.

Winfried Schwarz, Barbara Gschrey, Thomas Kimmel, Sven Stöbener, Sabrina Reitz (Öko-Recherche GmbH): Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 in die Inventarerhebung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>), im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 3712 41 103 1, November 2014.

#### **Betriebsmittel zur Elektrizitätsübertragung (2.G.1)**

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>). Ergebnisbericht 2017 und 2018. Erschienen im Juni 2018 und Mai 2019.

FNN, VIK, ZVEI und Solvay (Monitoring): SF<sub>6</sub>-Daten 2017 für die Energieübertragung und -verteilung > 1 kV, Stand 08.08.2018.

FNN, VIK, ZVEI und Solvay (Monitoring): SF<sub>6</sub>-Daten 2018 für die Energieübertragung und -verteilung > 1 kV, Stand 04.07.2019.

Die Monitoring-Daten schließen außer Schaltanlagen im engeren Sinn auch die sogenannten Bauteile sowie Starkstromkondensatoren mit ein.

#### **Schallschutzscheiben und Autoreifen (2.G.2)**

Statistisches Bundesamt, Bonn: Mitteilungen an Öko-Recherche, 18.06.2018 und 15.05.2019.

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>).  
Ergebnisbericht 2017 und 2018. Erschienen im Juni 2018 und Mai 2019.

#### **Spurengas (2.G.2)**

Neuerhebung im Jahr 2015, Fortschreibung für 2017 und 2018.

#### **Flugzeug-Radar (2.G.2)**

Statistisches Bundesamt, Bonn: Mitteilung an Öko-Recherche, 18.06.2018 und 15.05.2019.

#### **Teilchenbeschleuniger (2.G.2)**

Öko-Recherche-Vollerhebung "SF<sub>6</sub>-Bestand und -Emissionen aus Teilchenbeschleunigern", in: Schwarz, W.; Gschrey, B.; Kimmel, T.; Leisewitz, A.; Sauer, J. (Öko-Recherche GmbH): Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen – Modelle zur Ermittlung der Inventardaten für die Emissionsberichterstattung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF<sub>6</sub>) in ausgewählten Quellgruppen. Im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 363 01 351, Februar 2012, S. 163-175 (Kapitel 9). Lineare Fortschreibung für 2017 und 2018.

#### **Sportschuhsohlen, Glasfasern, Schweißtechnik, (2.G.2)**

Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Erhebung des klimawirksamen Stoffes „Schwefelhexafluorid“ (SF<sub>6</sub>).  
Ergebnisbericht 2017 und 2018. Erschienen im Juni 2018 und Mai 2019.

Statistisches Bundesamt, Bonn: Mitteilungen an Öko-Recherche, 18.06.2018 und 15.05.2019.

Linde AG, Höllriegelskreuth. Hans-Jürgen Diehl (Zentraler Vertrieb Spezialgase), Mitteilungen an Öko-Recherche, 9.5.2018 und 6.8.2019.

Öko-Recherche, Inventarverbesserung 2008 – Verbesserung und Ergänzung der Daten für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention in der Quellgruppe Photovoltaik (2.F.8.h). FKZ 360 16 027.

Warncke, K.; Gschrey, B.; Schwarz, W. (2016): Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 2015. Daten von HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PFPME für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2015.

#### **Medizinische Produkte: Perfluorodecalin (2.G.2)**

Hadassah Winkley/ Helen McNamee, Sales & Marketing Manager, F2 Chemicals Ltd.; schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche 5.6.2018 und 23.7.2019.

Tsai, W.T. Environmental Property Modeling of Perfluorodecalin and its Implications for Environmental Fate and Hazards, Aerosol and Air Quality Research, 11: 903–907, 2011.

Hardung, H. 2008: Semifluorierte und perfluorierte Verbindungen zur topischen und parentalen Anwendung, Dissertation.

#### **ORC (2.G.4)**

Barbara Gschrey, Winfried Schwarz, Thomas Kimmel, Bastian Zeiger, Sabrina Reitz (Öko-Recherche GmbH): Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 in die Inventarerhebung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>), im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 3712 41 103 1, November 2015.

## 4.2 Inventarverbesserungen

### Emissionsfaktor für HFKW-134a als Schutzgas in Magnesiumgießereien

Bartos, S. (2007): Characterization of Emissions and Occupational Exposure Associated with Five Cover Gas Technologies for Magnesium Die Casting, U.S. Environmental Protection Agency Climate Protection Partnership Division, [EPA 430-R-07-008] Washington DC. Online: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-02/documents/lunt\\_measurement\\_study\\_report.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-02/documents/lunt_measurement_study_report.pdf).

### Steckerfertige Geräte und Verflüssigungssätze in der Gewerbekälte

AHT <https://www.aht.at/kuehl-tiefkuehltruhen/macao/> (08.10.2019)

Aldi Süd nutzt zu 100 % Propan in Kühltruhen: <https://unternehmen.aldi-sued.de/de/verantwortung/umwelt/kaeltetechnik/> (Marktanteil von ca. 6 %: <https://www.lebensmittelzeitung.net/handel/Ranking-Top-30-Lebensmittelhandel-Deutschland-2018-134606>)

Bachmann, S. (2015): Von R404A zu R407F/R407A – der praktikable Weg. Optionen für ortsfeste, gewerbliche Kälteanlagen. In: Kälte Klima Aktuell 05/2015. [https://www.kka-online.info/artikel/kka\\_Von\\_R404A\\_zu\\_R407F\\_R407A\\_der\\_praktikable\\_Weg\\_2430301.html](https://www.kka-online.info/artikel/kka_Von_R404A_zu_R407F_R407A_der_praktikable_Weg_2430301.html) (08.10.2019)

Carrier: <https://www.carrier.com/commercial-refrigeration/en/cz/products/> (08.10.2019)

Carrier: MICROCO2OL – Efficient natural refrigeration. <https://www.carrier.com/commercial-refrigeration/en/eu/products/systems/microco2ol/> (08.10.2019)

Cooling Post (2017a): Commercial cabinets are natural winners; 01.02.2017; <https://www.coolingpost.com/world-news/commercial-cabinets-are-natural-winners/> (08.10.2019)

Cooling Post (2017b): Fischer adds R452A units; 13.08.2017; <https://www.coolingpost.com/world-news/fischer-adds-r452a-units/> (08.10.2019)

Cooling Post (2017c): Embraco sees R513A as R134a transitional, 17.04.2017; <https://www.coolingpost.com/world-news/embraco-sees-r513a-as-r134a-transitional/>

Cooling Post (2018): Panasonic launches 15kW CO<sub>2</sub> unit, 24.07.2018; <https://www.coolingpost.com/products/panasonic-launches-15kw-co2-unit/> (08.10.2019)

Daikin (Zanotti): Zanotti Condensing Unit with CO<sub>2</sub> refrigerant; In: Daikin Refrigeration Product Catalogue 2018; [https://www.daikin.eu/content/dam/internet-denv/catalogues\\_brochures/industrial/800\\_1%20-%20Refrigeration%20Product%20Catalogue%20with%20Zanotti.pdf](https://www.daikin.eu/content/dam/internet-denv/catalogues_brochures/industrial/800_1%20-%20Refrigeration%20Product%20Catalogue%20with%20Zanotti.pdf) (08.10.2019)

Epta: EptaBlue CO<sub>2</sub> <https://www.eptarefrigeration.com/de/node/740> (08.10.2019);

Garry, M. (2018). Emerson unveils first propane condensing units, hydrocarbons21.com. [http://hydrocarbons21.com/articles/8122/emerson\\_unveils\\_first\\_propane\\_condensing\\_units](http://hydrocarbons21.com/articles/8122/emerson_unveils_first_propane_condensing_units) (08.10.2019)

Mayer, C.R. (2019): Achtung: Waterloop! In: Kälte Klima aktuell 02/2019. [https://www.kka-online.info/artikel/kka\\_Achtung\\_Waterloop\\_3345417.html](https://www.kka-online.info/artikel/kka_Achtung_Waterloop_3345417.html) (08.10.2019)

Mörs, N. (2016): Kühlmöbel im Einzelhandel – Was der Markt zu bieten hat; iXtenso – Magazin für den Einzelhandel, Trends im Kühl-Design, 25.10.2016; <https://ixtenso.de/store-design/kuehlmoebel-im-einzelhandel-was-der-markt-zu-bieten-hat.html> (08.10.2019)

Öko-Recherche (2019): Price monitoring: Development of refrigerant prices - Webinar for participating companies. Präsentation der Ergebnisse einer vierteljährlich stattfindenden Erhebung im Auftrag der EU Kommission, GD CLIMA, 06.02.2019

Rogatty, W. (2018): Heizen, Kühlen, Kosten sparen; Viessmann aktuell. <https://www.viessmann-aktuell.de/kuehlen-heizen-kosten-sparen> (08.10.2019)

Umweltbundesamt (2014): M. Kauffeld: Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte: Vergleich von Energieeffizienz, Sicherheit, Kosten und Zuverlässigkeit sowie Bewertung der Marktverfügbarkeit von Geräten ohne fluoridierte Kältemittel als Basis für die Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006.

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate-change\\_17\\_2014\\_komplett.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate-change_17_2014_komplett.pdf)

#### **R1234yf in Klimaanlage kleiner Nutzfahrzeuge**

Kraftfahrtbundesamt (2018): WG Neuzulassungen N1 Gruppe 1 AZ 321-130-5738-18, Mitteilung an Öko-Recherche GmbH am 18.07.2018.

Kraftfahrtbundesamt (2019): 321-130/5738-18, Mitteilung an Öko-Recherche GmbH am 23.05.2019.

Volkswagen (2019): Der Caddy. Technische Daten für das Modelljahr 2019; [https://www.vw-nutzfahrzeuge.at/media/Kwc\\_Basic\\_DownloadTag\\_Component/77\\_brochures-1032-child-download-downloadTag/default/f4533141/1551272090/technische-daten-vw-caddy.pdf](https://www.vw-nutzfahrzeuge.at/media/Kwc_Basic_DownloadTag_Component/77_brochures-1032-child-download-downloadTag/default/f4533141/1551272090/technische-daten-vw-caddy.pdf) (01.07.2019)

Kraftfahrtbundesamt (08.07.2019): mündliche Mitteilung an Öko-Recherche GmbH am 08.07.2019 per Telefon (Frau Frankenbusch).

Mercedes (2018): mündliche Mitteilung an Öko-Recherche GmbH am 25.09.2018, IAA Nutzfahrzeuge Hannover.

Europäische Union (2006): RICHTLINIE 2006/40/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Mai 2006 über Emissionen aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates. In: Amtsblatt der Europäischen Union, 2006, L161, 12-18.

#### **Erfassung des Kältemittels bei der Fahrzeugzulassung**

Kleine Anfrage der Abgeordneten Ralph Lenkert, Dr. Gesine Lötzsch, Lorenz Gösta Beutin, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. betr.: „Markteingriffe bei der Bereitstellung des Kältemittels R134a“. BT-Drucksache: 19/8405; 03.04.2019. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Parlamentarische-Anfragen/2019/19-8405.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Parlamentarische-Anfragen/2019/19-8405.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

#### **uHFKW-1233zd als mögliches Kältemittel in Kaltwassersätzen**

Carrier United Technologies (o.J.): Product Data. AquaEdge® High-Efficiency Semi-Hermetic Centrifugal Liquid Chillers.

Carrier United Technologies (2016): Carrier Officially Launches AquaEdge™ 19DV Centrifugal Chiller with Environmentally Sustainable Refrigerant. <https://utc.com/en/news/CCS/2016/12/16/carrier-officially-launches-aquaedge-19dv-centrifugal-chiller-with-environmental> (31.07.2019).

Cooling Post (2014): Trane first with 1233zd chiller. <https://www.coolingpost.com/world-news/trane-first-with-1233zd-chiller/> (22.10.2018).

Cooling Post (2016): HFO chillers to cool the Channel Tunnel. <https://www.coolingpost.com/world-news/hfo-chillers-to-cool-the-channel-tunnel/> (09.10.2018).

Cooling Post (2017): Carrier launches R1233zd(E) Chiller. <https://www.coolingpost.com/world-news/carrier-launches-r1233zde-chiller/> (15.10.2018).

Cooling Post (2018): Carrier 1233zd chiller wins enviro award. <https://www.coolingpost.com/world-news/carrier-1233zd-chiller-wins-enviro-award/> (15.10.2018). [Zitiert als: Cooling Post (2018/1)].

Cooling Post (2018): Secret of Honeywell's new refrigerant. <https://www.coolingpost.com/world-news/secret-of-honeywells-new-refrigerant/> (26.09.2019). [Zitiert als: Cooling Post (2018/2)].

Cooling Post (2019): Midea opts for Honeywell's A1 aircon refrigerant R466A. <https://www.coolingpost.com/world-news/midea-opts-for-honeywells-a1-aircon-refrigerant-r466a/> (05.08.2019).

ECACool (2018): Solstice N41 – a blessing or a curse? [https://www.ecacool.com/en/news/solstice\\_n41/](https://www.ecacool.com/en/news/solstice_n41/) (05.08.2019).

Honeywell (2018): Solstice® Liquid Blowing Agent. <https://www.fluorineproducts-honeywell.com/blowingagents/product/solstice-liquid-blowing-agent/> (22.10.2018).

Johnson Controls (2017): Die Zukunft. Heute. YZ - Wassergekühlter Flüssigkeitskühler mit magnetgelagertem Turboverdichter, Milwaukee, USA.

#### **Warmwasserwärmepumpen mit R744**

Denso: <https://www.denso-am.eu/products/life-energy/co2-heat-pump/>

Mitsubishi Electric Europe B.V., Marcel Förster (Product Manager Air to Water Living Environment Systems), Mitteilungen an Öko-Recherche GmbH am 05. April 2019 per E-Mail, telefonisch 23. April und 30. Juli 2019.

Mitsubishi Electric Europe B.V. (2017): Heißwasser-Wärmepumpe QAHV-N560YA-HPB. Produktinformation für Fachhandwerker, Fachplaner und Entscheider.

Mitsubishi Heavy Industries Air Conditioning Europe (2018): Air to Water Q-TON. A new generation, energy-efficient, sanitary hot water solution for commercial applications. Uxbridge Middlesex, United Kingdom.

Stulz GmbH Geschäftsbereich S-Klima GmbH, Ulf Cartilleri (Produktmanagement): R744 Wärmepumpe. Mitteilungen an Öko-Recherche GmbH am 01.11.2018 per E-Mail und mündlich Oktober / November 2018.

Stiebel Eltron GmbH, Hamburg. Matthias Schmidt, Mitteilung an Öko-Recherche GmbH am 13.03.2019.

Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Falk Dornsch, Egbert Tippelt, Mitteilung an Öko-Recherche GmbH am 14.03.2019.

### **4.3 Fluorierte Treibhausgase für die freiwillige Berichterstattung**

#### **Ungesättigte teilfluorierte Kohlenwasserstoffe**

Chemours, Laurent Zielezinski, mündliche Mitteilung an Öko-Recherche GmbH, 30.8.2018.

TEGA, Jörg Blachutzik, mündliche Mitteilung an Öko-Recherche GmbH, 7.8.2018 und 5.8.2019.

#### **Hydrofluorierte Ether (HFE)**

##### **HFE in der Industrie**

3M, Neuss, Norbert Socha, schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche GmbH, 28.8.2018 und 6.8.2019.

##### **HFE als Narkosegase**

Statistisches Bundesamt: Gesundheit. Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik). Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern. Erscheint jährlich.

Gschrey, Barbara; Schwarz, Winfried; Zeiger, Bastian; Warncke, Kristina; Volmer, Rebekka (2015): Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 2013. Daten von HF(C)KW, FKW, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, H(C)FE und PFPME für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2013.

Sulbaek Andersen, M P; Nielsen, O J; Wallington, T J; Karpichev, B; Sander, S P (2012a) Assessing the impact on global climate from general anesthetic gases, *Anesthesia & Analgesia*, 114 (5), 1081–1085.

Sulbaek Andersen M; Nielsen OJ; Karpichev B; Wallington TJ; Sander SP (2012b) Atmospheric chemistry of isoflurane, desflurane, and sevoflurane: Kinetics and mechanisms of reaction with chlorine atoms and OH radicals and global warming potentials. *J. Phys. Chem.*, 116, 5806–5820.

Vollmer, M K; Rhee, T S; Rigby, M; Hofstetter, D; Hill, M; Schoenenberger, F; Reimann, S (2015) Modern inhalation anesthetics: Potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophysical Research Letters*, 42, 1606-1611.

##### **Perfluorierte Polyether (PFPE)**

Solvay Fluor und Solvay Solexis, Helena Lindgren (Solvay Solexis), Felix Flohr (Solvay Fluor), mündliche Mitteilung an Öko-Recherche GmbH, 14.6.2013.



ASSCON Systemtechnik GmbH und IBL Löttechnik GmbH, mündliche Mitteilungen an Öko-Recherche GmbH, Juni 2013 und 23.03.2020.

Solvay Specialty Polymers Italy, Franco Di Renzo, Grazielle Chiodini, Grazia Meroni, Antonio Russo, Telefonkonferenz mit Öko-Recherche GmbH, 16.12.2014.

#### **Stickstoffhaltige Substanzen**

3M, Neuss, Norbert Socha, schriftliche Mitteilungen an Öko-Recherche GmbH, 23.3.2020.

3M, Norbert Socha und Kurt Werner, persönliches Gespräch mit Öko-Recherche am 16.12.2014.

Klaus-Peter Kretschmann, DB Systemtechnik, schriftliche Mitteilung, an Öko-Recherche am 11.12.2014.

## Monografien

Bartos, S. (2007): Characterization of Emissions and Occupational Exposure Associated with Five Gas Technologies for Magnesium Die Casting. United States Environmental Protection Agency Climate Protection Partnerships Division, Washington

Honeywell International Inc (2018): Solstice® N41 (R-466A - provisional) - Technical Information. Honeywell Refrigerants, Morris Plains

## Tagungsbeiträge

Flohr F. (2019), Regulatory Specialist Refrigerants, Daikin Chemical Europe GmbH: Expertengespräch

Mitglied der Technical Support Unit for IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TSU TFI)

Dr. Achaichia N. (2018), Expertengespräch. Chillventa, 16.10.2018, Nürnberg, <https://www.fluorineproducts-honeywell.com/blowingagents/product/solstice-liquid-blowing-agent/> (20.05.2019)

Gasehändler TEGA (2018), Expertengespräch. Chillventa 2018, 16.10.2018, Nürnberg

## Internetadressen

Cooling Post (2016): HFO chillers to cool the Channel Tunnel. <https://www.coolingpost.com/world-news/hfo-chillers-to-cool-the-channel-tunnel/> (20.05.2019)

Cooling Post (2014): Trane first with 1233zd chiller. <https://www.coolingpost.com/world-news/trane-first-with-1233zd-chiller/> (20.05.2019).

Cooling Post (2018): Carrier 1233zd chiller wins enviro award. <https://www.coolingpost.com/world-news/carrier-1233zd-chiller-wins-enviro-award/> (20.05.2019)

Cooling Post (2018): Secret of Honeywell's new refrigerant. <https://www.coolingpost.com/world-news/secret-of-honeywells-new-refrigerant/> (20.05.2019)

## 5 Emissionstabellen für 2018 im Vergleich mit 1990, 2000, 2005, 2010 und 2015-2018

### 5.1 Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF<sub>6</sub> (2.B.9)

|  | 1990           | 2000           | 2005         | 2010         | 2015        | 2016        | 2017        | 2018        |
|--|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>By-Product Emissionen (2.B.9.a) und herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b)</b> |                |                |              |              |             |             |             |             |
| Emissionen HFKW, FKW [t]   | 382,3          | 127,6          | 75,4         | 29,6         | 22,6        | 23,7        | 25,5        | 20,6        |
| Emissionen HFKW, FKW [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                                       | 5.567,1        | 1.520,5        | 630,0        | 203,7        | 58          | 61,8        | 65,2        | 52,9        |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]   | 5,0            | 9,0            | 10,0         | 3,8          | 0,057       | 0,051       | 0,046       | 0,044       |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                                 | 114,0          | 205,2          | 228,0        | 86,3         | 1,3         | 1,2         | 1,1         | 1,0         |
| <b>Summe Emissionen Produktion F-Gase [t]</b>  | <b>387,3</b>   | <b>136,6</b>   | <b>85,4</b>  | <b>33,4</b>  | <b>22,7</b> | <b>23,7</b> | <b>25,5</b> | <b>20,6</b> |
| <b>Summe Emissionen Produktion F-Gase [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>                    | <b>5.681,1</b> | <b>1.725,7</b> | <b>858,0</b> | <b>290,0</b> | <b>59,7</b> | <b>63,0</b> | <b>66,3</b> | <b>53,9</b> |

## 5.2 Metallproduktion (2.C)

|  | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|

### Aluminiumproduktion (2.C.3)

|  |         |       |       |       |      |      |      |       |
|--|---------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| CF <sub>4</sub> [t]                      | 335,5   | 48,0  | 45,3  | 17,7  | 10,7 | 10,8 | 9,5  | 14,2  |
| C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> [t]        | 33,6    | 4,8   | 4,7   | 2,1   | 1,3  | 1,3  | 1,2  | 1,7   |
| Emissionen FKW [t]                       | 369,1   | 52,8  | 50,0  | 19,8  | 12,0 | 12,1 | 10,7 | 15,9  |
| Emissionen FKW [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 2.888,7 | 413,3 | 391,9 | 156,8 | 94,9 | 95,4 | 84,2 | 126,0 |
|  |         |       |       |       |      |      |      |       |

### Magnesiumproduktion (2.C.4)

|   |   |   |     |      |      |      |      |      |
|---|---|---|-----|------|------|------|------|------|
| HFKW-134a [t]                             | - | - | 0,6 | 8,3  | 16,8 | 21,3 | 18,0 | 12,8 |
| Emissionen HFKW [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | - | - | 0,9 | 11,8 | 24,0 | 30,5 | 25,8 | 18,3 |
|   |   |   |     |      |      |      |      |      |

### Aluminium- und Magnesiumproduktion (2.C.3, 2.C.4)

|  |                |              |                |              |              |              |              |              |
|--|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]                                   | 7,4            | 13,8         | 30,5           | 6,5          | 1,2          | 1,9          | 4,3          | 3,8          |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]             | 169,1          | 315,0        | 694,7          | 101,6        | 26,3         | 44,2         | 96,8         | 86,9         |
|  |                |              |                |              |              |              |              |              |
| <b>Summe Emissionen Metallproduktion [t]</b>                     | <b>376,5</b>   | <b>66,6</b>  | <b>81,1</b>    | <b>34,6</b>  | <b>31,7</b>  | <b>37,6</b>  | <b>32,8</b>  | <b>31,9</b>  |
| <b>Summe Emissionen Metallproduktion [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | <b>3.057,7</b> | <b>728,3</b> | <b>1.087,3</b> | <b>315,7</b> | <b>182,1</b> | <b>217,9</b> | <b>202,1</b> | <b>215,6</b> |

### 5.3 Elektronikindustrie (2.E)

|  | 1990   | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1)</b>    |        |        |        |        |        |        |        |        |
| HFKW-23 [t]  | 3,4    | 1,1    | 1,1    | 0,8    | 0,96   | 1,04   | 0,96   | 1,03   |
| Emissionen HFKW [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]            | 50,3   | 16,9   | 15,8   | 11,8   | 14,2   | 15,4   | 14,1   | 15,2   |
| C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> [t]                    | 8,40   | 14,0   | 8,85   | 5,17   | 4,46   | 4,98   | 6,16   | 5,16   |
| CF <sub>4</sub> [t]                                  | 9,35   | 20,0   | 13,54  | 8,35   | 8,76   | 9,15   | 9,95   | 10,06  |
| C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> [t]                    | -      | 3,2    | 4,64   | 2,40   | 1,83   | 1,65   | 1,47   | 1,74   |
| c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> [t]                  | -      | 0,1    | 0,15   | 0,23   | 0,56   | 1,42   | 0,54   | 0,57   |
| Emissionen FKW [t]                                   | 17,75  | 37,27  | 27,17  | 16,15  | 15,62  | 17,202 | 18,12  | 17,53  |
| Emissionen FKW [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]             | 171,58 | 347,5  | 250,47 | 148,39 | 141,16 | 157,60 | 167,16 | 158,47 |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]                       | 3,7    | 2,5    | 3,27   | 0,75   | 0,86   | 1,121  | 1,093  | 1,191  |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 84,36  | 56,3   | 74,60  | 17,06  | 19,61  | 25,56  | 24,92  | 27,15  |
| Emissionen NF <sub>3</sub> [t]                       | 0,4    | 0,2    | 0,9    | 0,5    | 0,7    | 0,65   | 0,67   | 0,68   |
| Emissionen NF <sub>3</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 6,88   | 4,1    | 16,0   | 7,8    | 11,9   | 11,1   | 11,5   | 11,7   |
| Emissionen [t]                                       | 25,25  | 41,13  | 32,44  | 18,15  | 18,13  | 20,01  | 20,83  | 20,43  |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                 | 313,14 | 424,82 | 356,89 | 185,01 | 186,65 | 200,99 | 217,76 | 212,60 |
| <b>Photovoltaik (2.E.3)</b>                          |        |        |        |        |        |        |        |        |
| CF <sub>4</sub> [t]                                  | -      | -      | 0,31   | 0,03   | -      | -      | -      | -      |
| Emissionen FKW [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]             | -      | -      | 2,28   | 0,23   | -      | -      | -      | -      |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]                       | -      | -      | 0,9    | 2,3    | -      | -      | -      | 0,0002 |

|   | 1990          | 2000          | 2005          | 2010          | 2015          | 2016         | 2017          | 2018          |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                        | -             | -             | 19,5          | 52,3          | -             | -            | -             | 0,0456        |
| Emissionen NF <sub>3</sub> [t]  | -             | -             | -             | 3,1           | -             | -            | -             | -             |
| Emissionen NF <sub>3</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                        | -             | -             | -             | 53,7          | -             | -            | -             | -             |
| Emissionen [t]  | -             | -             | 1,2           | 5,4           | -             | -            | -             | 0,0002        |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]  | -             | -             | 21,8          | 106,2         | -             | -            | -             | 0,0456        |
| <b>Summe Emissionen<br/>Elektronikindustrie [t]</b>                         | <b>25,23</b>  | <b>41,13</b>  | <b>33,61</b>  | <b>23,6</b>   | <b>18,13</b>  | <b>19,17</b> | <b>20,83</b>  | <b>20,43</b>  |
| <b>Summe Emissionen<br/>Elektronikindustrie [kt<br/>CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | <b>313,14</b> | <b>424,82</b> | <b>378,67</b> | <b>291,22</b> | <b>186,86</b> | <b>209,7</b> | <b>217,76</b> | <b>212,64</b> |

## 5.4 Anwendung als ODS-Ersatzstoff (2.F)

|                                       | 1990 | 2000  | 2005  | 2010  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Kälte- und Klimaanlage (2.F.1)</b> |      |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Gewerbekälte (2.F.1.a)</b>         |      |       |       |       |       |       |       |       |
| Bestandsemissionen [t]                |      |       |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                 | -    | 176,8 | 173,0 | 180,8 | 168,6 | 168,9 | 167,2 | 163,7 |
| R404A                                 | -    | 229,7 | 419,5 | 583,7 | 496,3 | 434,7 | 338,3 | 231,9 |
| R407C                                 | -    | 34,0  | 28,2  | 28,1  | 14,6  | 14,1  | 13,6  | 13,4  |
| R23                                   | -    | 1,6   | 2,4   | 2,0   | 1,8   | 1,8   | 1,6   | 1,5   |
| R116                                  | -    | 0,3   | 0,4   | 0,2   | 0,3   | 0,3   | 0,2   | 0,2   |
| R-218                                 | -    | 12,0  | 10,5  | 1,5   | 0,4   | 0,3   | 0,2   | 0,2   |
| R422D                                 | -    | -     | -     | 28,5  | -     | -     | -     | -     |
| R152a                                 | -    | 10,3  | 8,5   | -     | -     | -     | -     | -     |
| R125                                  | -    | 70,9  | 42,4  | 0,6   | 0,7   | 0,7   | 0,5   | 0,4   |
| R449A                                 |      |       |       |       | 3,8   | 14,1  | 48,9  | 93,9  |
| R448A                                 |      |       |       |       | 0,2   | 2,8   | 11,8  | 23,7  |
| Entsorgungsemissionen [t]             |      |       |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                 | -    | 43,1  | 51,5  | 55,2  | 51,1  | 49,5  | 47,6  | 45,9  |
| R404A                                 | -    | 46,3  | 34,9  | 30,4  | 93,9  | 112,3 | 178,3 | 211,3 |
| R407C                                 | -    | 6,5   | 6,9   | 8,9   | 7,3   | 6,8   | 6,3   | 5,9   |
| R23                                   | -    | -     | 0,3   | 0,9   | 0,8   | 0,8   | 0,9   | 0,6   |
| R116                                  | -    | -     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,1   | 0,1   |
| R218                                  | -    | -     | 3,9   | 2,6   | 0,3   | 0,3   | 0,2   | 0,2   |
| R422D                                 | -    | -     | -     | -     | -     | 0,2   | 0,6   | 1,0   |
| R152a                                 | -    | -     | 3,3   | -     | -     | -     | -     | -     |
| R125                                  | -    | -     | 42,6  | 2,6   | -     | -     | 0,2   | 0,3   |
| R449A                                 |      |       |       |       | -     | -     | -     | -     |
| R448A                                 |      |       |       |       | -     | -     | -     | -     |
| Herstellungsemissionen [t]            |      |       |       |       |       |       |       |       |



|                                      | 1990 | 2000    | 2005    | 2010    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    |
|--------------------------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| R134a                                | -    | 1,7     | 1,6     | 1,8     | 2,3     | 2,2     | 2,1     | 1,8     |
| R404A                                | -    | 3,1     | 3,9     | 4,0     | 2,0     | 1,4     | 0,8     | 0,7     |
| R407C                                | -    | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,2     |
| R23                                  | -    | -       | -       | -       | 0,1     | 0,1     | -       | -       |
| R116                                 | -    | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| R218                                 | -    | 0,1     | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| R422D                                | -    | -       | -       | 1,2     | -       | -       | -       | -       |
| R152a                                | -    | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| R125                                 | -    | 0,1     | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| R449A                                |      |         |         |         | 0,3     | 1,1     | 3,9     | 5,3     |
| R448A                                |      |         |         |         | 0,0     | 0,3     | 1,0     | 1,4     |
| Emissionen [t]                       | -    | 624,2   | 819,4   | 929,0   | 843,9   | 812,0   | 824,0   | 803,0   |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 1.756,8 | 2.523,6 | 2.962,2 | 2.726,4 | 2.571,8 | 2.508,4 | 2.288,3 |

**Haushaltskälte (2.F.1.b)**

Haushaltskühl- und gefriergeräte und Speiseeismaschinen

*Haushaltskühl- und gefriergeräte*

|                                      |   |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Bestandsemissionen R134a [t]         | - | 1,27 | 1,33 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,14 |
| Entsorgungsemissionen R134a [t]      | - | -    | -    | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| Emissionen [t]                       | - | 1,27 | 1,33 | 1,38 | 1,37 | 1,36 | 1,35 | 1,34 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | - | 1,82 | 1,90 | 1,97 | 1,96 | 1,95 | 1,9  | 1,9  |

*Speiseeismaschinen*

|                           |   |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Bestandsemissionen [t]    |   |      |      |      |      |      |      |      |
| R134a                     | - | 0,02 | 0,05 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| R404A                     | - | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Entsorgungsemissionen [t] |   |      |      |      |      |      |      |      |

|                                       | 1990 | 2000 | 2005  | 2010  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|---------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R134a                                 | -    | -    | -     | -     | 0,75  | 0,72  | 0,70  | 0,67  |
| R404A                                 | -    | -    | -     | -     | 0,19  | 0,18  | 0,17  | 0,17  |
| Emissionen [t]                        | -    | 0,03 | 0,06  | 0,10  | 1,04  | 1,01  | 0,97  | 0,94  |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]  | -    | 0,05 | 0,12  | 0,19  | 2,00  | 1,94  | 1,87  | 1,81  |
| <b>Summe Haushaltskälte (2.F.1.b)</b> |      |      |       |       |       |       |       |       |
| Emissionen [t]                        | -    | 1,3  | 1,4   | 1,5   | 2,4   | 2,4   | 2,3   | 2,3   |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]  | -    | 1,9  | 2,0   | 2,2   | 4,0   | 3,9   | 3,8   | 3,7   |
| <b>Industriekälte (2.F.1.c)</b>       |      |      |       |       |       |       |       |       |
| <b>Bestandsemissionen [t]</b>         |      |      |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                 | -    | 45,0 | 49,5  | 42,2  | 36,6  | 35,4  | 34,3  | 33,2  |
| R404A                                 | -    | 77,5 | 127,6 | 160,5 | 176,1 | 178,2 | 179,7 | 148,0 |
| R407C                                 | -    | 19,4 | 31,9  | 40,1  | 44,0  | 44,6  | 44,9  | 37,0  |
| R23                                   | -    | 2,9  | 3,7   | 3,1   | 2,3   | 2,0   | 1,7   | 1,2   |
| R227ea                                | -    | 2,3  | 3,2   | 1,5   | 1,0   | 0,8   | 0,8   | 0,8   |
| R116                                  | -    | 0,1  | 0,1   | -     | -     | -     | -     | -     |
| R422D                                 | -    | -    | -     | 34,8  | 67,6  | 68,3  | 67,8  | 40,9  |
| <b>Entsorgungsemissionen [t]</b>      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                 | -    | -    | 18,7  | 29,6  | 25,0  | 24,0  | 23,1  | 22,2  |
| R404A                                 | -    | -    | 6,1   | 6,6   | 6,0   | 7,0   | 6,7   | 12,3  |
| R407C                                 | -    | -    | 1,5   | 1,7   | 1,5   | 1,8   | 1,7   | 3,1   |
| R23                                   | -    | -    | 1,8   | 1,0   | 0,9   | 0,8   | 0,8   | 1,4   |
| R227ea                                | -    | -    | 0,7   | 0,9   | 0,6   | 0,5   | 0,2   | 0,3   |
| R116                                  | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| R422D                                 | -    | -    | -     | -     | -     | 5,1   | 5,0   | 22,0  |
| <b>Herstellungsemissionen [t]</b>     |      |      |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                 | -    | 1,4  | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| R404A                                 | -    | 2,7  | 1,5   | 2,3   | 1,8   | 1,8   | 1,7   | 1,4   |

|                                      | 1990 | 2000  | 2005  | 2010   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018  |
|--------------------------------------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| R407C                                | -    | 0,7   | 0,4   | 0,6    | 0,5    | 0,4    | 0,4    | 0,4   |
| R23                                  | -    | -     | -     | -      | -      | -      | -      | -     |
| R227ea                               | -    | -     | -     | -      | -      | -      | -      | -     |
| R116                                 | -    | -     | -     | -      | -      | -      | -      | -     |
| R422D                                | -    | -     | -     | 2,8    | 0,9    | 0,7    | 0,5    | 0,1   |
| Emissionen[t]                        | -    | 151,9 | 247,3 | 328,2  | 365,0  | 372,0  | 369,9  | 324,5 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 467,4 | 783,9 | 1010,3 | 1123,2 | 1143,4 | 1136,7 | 993,3 |

**Transportkälte (2.F.1.d)**

Kühlfahrzeuge und Kühlcontainer

*Kühlfahrzeuge*

Bestandsemissionen [t]

|                |   |    |      |      |      |      |      |      |
|----------------|---|----|------|------|------|------|------|------|
| R134a          | - | 14 | 20,5 | 18,1 | 13,2 | 12,5 | 12,0 | 11,5 |
| R404A          | - | 30 | 44,9 | 54,2 | 53,7 | 51,8 | 48,4 | 43,2 |
| R410A          | - | 4  | 7,1  | 8,0  | 7,2  | 7,0  | 6,7  | 6,5  |
| R134a Retrofit | - | -  | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| R152a v. 401B  | - | -  | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| R218 v. 413A   | - | -  | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| R452A          |   |    |      |      | 0,2  | 1,2  | 3,0  | 6,7  |

Entsorgungsemissionen [t]

|                |   |   |     |     |     |      |      |      |
|----------------|---|---|-----|-----|-----|------|------|------|
| R134a          | - | - | 1,8 | 3,4 | 2,8 | 2,2  | 1,8  | 1,8  |
| R404A          | - | - | 5,5 | 7,3 | 9,6 | 12,2 | 11,5 | 12,2 |
| R410A          | - | - | 0,8 | 1,0 | 1,4 | 1,7  | 1,8  | 2,0  |
| R134a Retrofit | - | - | 0,8 | -   | 0,5 | -    | -    | -    |
| R152a v. 401B  | - | - | 0,1 | -   | -   | -    | -    | -    |
| R218 v. 413A   | - | - | 0,1 | -   | -   | -    | -    | -    |
| R452A          |   |   |     |     | -   | -    | -    | -    |

Herstellungsemissionen [t]

|                                      | 1990 | 2000 | 2005  | 2010  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|--------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R134a                                | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| R404A                                | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| R410A                                | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| R134a Retrofit                       | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| R152a v. 401B                        | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| R218 v. 413A                         | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| R452A                                |      |      |       |       | -     | -     | -     | -     |
| Emissionen [t]                       | -    | 47   | 80,8  | 93,2  | 87,44 | 87,41 | 85,35 | 84,03 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 145  | 246,9 | 297,0 | 287,3 | 289,1 | 279,2 | 269,0 |

*Kühlcontainer*

| Bestandsemissionen [t]               |   |       |       |       |        |        |        |        |
|--------------------------------------|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| R134a                                | - | 17    | 33,1  | 49,6  | 59,1   | 59,3   | 57,7   | 55,9   |
| R404A                                | - | 1     | 3,6   | 7,3   | 9,8    | 9,9    | 9,6    | 9,3    |
| Entsorgungsemissionen [t]            |   |       |       |       |        |        |        |        |
| R134a                                | - | -     | -     | 8,1   | 7,8    | 9,4    | 10,2   | 11,5   |
| R404A                                | - | -     | -     | -     | 1,1    | 1,6    | 1,7    | 1,9    |
| Emissionen [t]                       | - | 17,5  | 36,6  | 64,9  | 77,9   | 80,0   | 79,3   | 78,7   |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | - | 27,2  | 61,2  | 110,9 | 138,7  | 143,0  | 141,6  | 140,5  |
| Summe Transportkälte (2.F.1.d)       |   |       |       |       |        |        |        |        |
| Emissionen [t]                       | - | 64,8  | 117,4 | 158,2 | 165,33 | 167,46 | 164,66 | 162,72 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | - | 172,4 | 308,1 | 407,9 | 426,0  | 432,1  | 420,8  | 409,5  |

**Mobile Klimaanlage (2.F.1.e)**

Pkw, Nutzfahrzeuge, Busse, Landmaschinen, Schienenfahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge

*PKW*

| Bestandsemissionen [t] |   |         |         |         |         |         |         |         |
|------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| R134a                  | - | 1.037,1 | 1.850,2 | 2.196,8 | 2.424,9 | 2.375,5 | 2.248,0 | 2.111,3 |

|   | 1990 | 2000    | 2005    | 2010    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    |
|---|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Entsorgungsemissionen [t]</b>                |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | -    | 0,9     | 2,0     | 18,1    | 42,5    | 36,9    | 43,4    | 42,7    |
| <b>Herstellungsemissionen [t]</b>               |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | 0,0  | 14,1    | 15,9    | 16,4    | 18,0    | 17,1    | 4,6     | 4,5     |
| Emissionen [t]                                  | -    | 1.052,0 | 1.868,1 | 2.231,2 | 2.484,5 | 2.422,8 | 2.293,0 | 2.162,6 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]            | -    | 1.504,4 | 2.671,4 | 3.190,6 | 3.552,9 | 3.464,6 | 3.279,0 | 3.092,5 |
| <b>Nutzfahrzeuge</b>                            |      |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>Bestandsemissionen [t]</b>                   |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | -    | 41,2    | 85,4    | 133,3   | 203,2   | 223,1   | 234,9   | 231,7   |
| <b>Entsorgungsemissionen [t]</b>                |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | -    | -       | -       | 0,1     | 0,4     | 0,4     | 0,5     | 0,6     |
| <b>Herstellungsemissionen [t]</b>               |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | -    | 0,6     | 1,0     | 1,0     | 1,9     | 2,0     | 2,1     | 2,2     |
| Emissionen [t]                                  | -    | 41,8    | 86,4    | 134,4   | 205,6   | 225,7   | 237,6   | 266,8   |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]            | -    | 59,8    | 123,5   | 192,2   | 294,0   | 322,7   | 339,7   | 381,5   |
| <b>Busse</b>                                    |      |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>Bestands- und Herstellungsemissionen [t]</b> |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | -    | 45,1    | 69,8    | 84,5    | 100,2   | 103,4   | 106,6   | 110,5   |
| <b>Entsorgungsemissionen [t]</b>                |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | -    | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Emissionen [t]                                  | -    | 45,1    | 69,9    | 84,5    | 100,2   | 103,5   | 106,6   | 110,5   |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]            | -    | 64,5    | 99,9    | 120,9   | 143,3   | 148,0   | 152,4   | 158,0   |
| <b>Landmaschinen</b>                            |      |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>Bestandsemissionen [t]</b>                   |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a   | -    | 20,2    | 42,1    | 59,8    | 75,9    | 76,6    | 77,4    | 77,5    |

|                                      | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|--------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Entsorgungsemissionen [t]</b>     |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | -    | 0,1  | 0,1  | 0,1   | 0,1   | 12,2  | 14,4  |
| <b>Herstellungsemissionen [t]</b>    |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | -    | 0,3  | 0,3  | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   |
| Emissionen [t]                       | -    | 20,2 | 42,5 | 60,3 | 76,4  | 77,0  | 89,8  | 92,2  |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 28,9 | 60,8 | 86,2 | 109,2 | 110,2 | 128,4 | 131,9 |
| <b>Schienefahrzeuge</b>              |      |      |      |      |       |       |       |       |
| <b>Bestandsemissionen [t]</b>        |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | 6,4  | 11,6 | 14,4 | 18,0  | 18,7  | 19,6  | 20,7  |
| <b>Entsorgungsemissionen [t]</b>     |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| <b>Herstellungsemissionen [t]</b>    |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | 0,1  | 0,1  | -    | 0,1   | -     | 0,1   | 0,1   |
| Emissionen [t]                       | -    | 6,5  | 11,6 | 14,5 | 18,0  | 18,7  | 19,7  | 20,8  |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 9,3  | 16,6 | 20,7 | 25,8  | 26,8  | 28,1  | 29,8  |
| <b>Schiffe</b>                       |      |      |      |      |       |       |       |       |
| <b>Bestandsemissionen [t]</b>        |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | 4,3  | 12,2 | 20,8 | 17,5  | 17,3  | 17,4  | 19,4  |
| <b>Entsorgungsemissionen [t]</b>     |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -     |
| <b>Herstellungsemissionen [t]</b>    |      |      |      |      |       |       |       |       |
| R134a                                | -    | 0,1  | 0,2  | 0,2  | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   |
| Emissionen [t]                       | -    | 4,4  | 12,3 | 21,0 | 17,6  | 17,4  | 17,5  | 19,5  |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 6,4  | 17,7 | 30,1 | 25,1  | 24,8  | 25,1  | 27,9  |
| <b>Flugzeuge</b>                     |      |      |      |      |       |       |       |       |

|                                      | 1990 | 2000    | 2005    | 2010    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    |
|--------------------------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Bestandsemissionen [t]               |      |         |         |         |         |         |         |         |
| R134a                                | -    | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,21    | 0,21    | 0,21    | 0,21    |
| Emissionen [t]                       | -    | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,21    | 0,21    | 0,21    | 0,21    |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 0,3     | 0,3     | 0,3     | 0,29    | 0,30    | 0,30    | 0,29    |
| Summe Mobile Klimaanlage (2.F.1.e)   |      |         |         |         |         |         |         |         |
| Emissionen [t]                       | -    | 1.170,5 | 2.094,9 | 2.553,2 | 2.914,4 | 2.877,6 | 2.764,3 | 2.672,6 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 1.673,7 | 2.995,7 | 3.651,0 | 4.167,6 | 4.115,0 | 3.953,0 | 3.821,9 |

**Stationäre Klimaanlage (2.F.1.f)**

Kaltwassersätze, Raumklimageräte, Wärmepumpen, WP-Wäschetrockner, Spülmaschinen

*Kaltwassersätze*

|                                      |   |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Bestandsemissionen [t]               |   |       |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                | - | 62,4  | 72,0  | 88,2  | 73,2  | 69,0  | 65,3  | 62,8  |
| R407C                                | - | 9,4   | 46,0  | 77,9  | 83,8  | 79,8  | 76,1  | 72,7  |
| R410A                                | - | 0,0   | 1,9   | 19,1  | 42,5  | 46,6  | 50,0  | 54,0  |
| Entsorgungsemissionen [t]            |   |       |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                | - | -     | 3,9   | 7,5   | 30,0  | 26,4  | 21,1  | 18,5  |
| R407C                                | - | -     | -     | -     | 21,9  | 33,8  | 32,0  | 30,1  |
| R410A                                | - | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Herstellungsemissionen [t]           |   |       |       |       |       |       |       |       |
| R134a                                | - | 0,2   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   |
| R407C                                | - | 0,2   | 0,3   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   |
| R410A                                | - | -     | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   |
| Emissionen [t]                       | - | 72,2  | 124,3 | 193,3 | 251,9 | 256,2 | 245,6 | 238,8 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | - | 106,5 | 195,1 | 316,0 | 424,8 | 436,3 | 421,9 | 412,6 |

*Raumklimageräte*

Bestandsemissionen [t]



|                                      | 1990 | 2000 | 2005  | 2010  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|--------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R407C                                | -    | 35,9 | 45,9  | 63,7  | 57,4  | 51,5  | 90,3  | 76,3  |
| R410A                                | -    | 1,0  | 31,2  | 84,3  | 130,3 | 135,5 | 150,8 | 167,4 |
| R32                                  |      |      |       |       | -     | 0,2   | 0,7   | 2,7   |
| Entsorgungsemissionen [t]            |      |      |       |       |       |       |       |       |
| R407C                                | -    | -    | -     | 7,4   | 86,4  | 103,3 | 107,8 | 96,4  |
| R410A                                | -    | -    | -     | -     | 8,9   | 15,4  | 28,1  | 34,5  |
| R32                                  |      |      |       |       | -     | -     | -     | -     |
| Herstellungsemissionen [t]           |      |      |       |       |       |       |       |       |
| R407C                                | -    | 0,1  | 0,6   | 0,6   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | -     |
| R410A                                | -    | -    | 0,2   | 0,6   | 1,2   | 1,3   | 1,3   | 1,7   |
| R32                                  |      |      |       |       | -     | -     | -     | 0,1   |
| Emissionen [t]                       | -    | 1,9  | 55,1  | 165,1 | 328,4 | 359,0 | 379,2 | 379,2 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | -    | 3,4  | 100,3 | 307,0 | 623,2 | 684,8 | 728,5 | 733,3 |

*WP-Wäschetrockner*

| Bestands- und Herstellungsemissionen [t] |   |   |   |     |     |     |     |     |
|--|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| R134a                                    | - | - | - | 0,5 | 2,8 | 3,5 | 4,3 | 5,1 |
| R407C                                    | - | - | - | 0,1 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| Entsorgungsemissionen [t]                |   |   |   |     |     |     |     |     |
| R134a                                    | - | - | - | -   | -   | -   | -   | -   |
| R407C                                    | - | - | - | -   | -   | -   | -   | -   |
| Emissionen [t]                           | - | - | - | 0,7 | 3,6 | 4,5 | 5,4 | 6,1 |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]     | - | - | - | 1,0 | 5,4 | 6,8 | 8,1 | 9,2 |

*Wärmepumpen*

| Bestandsemissionen [t] |   |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R134a                  | - | 0,8 | 1,6 | 3,6 | 5,1 | 5,3 | 5,7 | 6,1 |
| R404A                  | - | 0,2 | 0,8 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,0 | 2,9 |

|  | 1990     | 2000         | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|--|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| R407C  | -        | 1,0          | 4,1          | 17,3         | 32,0         | 34,5         | 37,4         | 40,3         |
| R410A  | -        | -            | 0,3          | 4,1          | 12,9         | 15,6         | 19,0         | 22,7         |
| Entsorgungsemissionen [t]                    |          |              |              |              |              |              |              |              |
| R134a  | -        | -            | -            | 0,9          | 2,6          | 2,7          | 2,4          | 2,2          |
| R404A  | -        | -            | -            | 0,3          | 0,8          | 1,1          | 1,0          | 1,3          |
| R407C  | -        | -            | -            | 0,3          | 4,5          | 6,1          | 5,9          | 6,7          |
| R410A  | -        | -            | -            | -            | -            | -            | 0,2          | 0,4          |
| Herstellungsemissionen [t]                   |          |              |              |              |              |              |              |              |
| R134a  | -        | 0,1          | 0,1          | 0,1          | 0,2          | 0,2          | 0,2          | 0,2          |
| R404A  | -        | -            | 0,1          | 0,1          | -            | -            | -            | -            |
| R407C  | -        | 0,1          | 0,4          | 1,1          | 1,1          | 1,2          | 1,3          | 1,4          |
| R410A  | -        | -            | 0,1          | 0,4          | 0,8          | 1,1          | 1,4          | 1,5          |
| Emissionen [t]                               | -        | 4,5          | 9,4          | 32,5         | 61,1         | 68,6         | 74,7         | 82,8         |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]         | -        | 7,7          | 18,1         | 66,9         | 129,8        | 147,3        | 158,9        | 176,0        |
| <i>Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion</i> |          |              |              |              |              |              |              |              |
| Bestands- und Herstellungsemissionen [t]     |          |              |              |              |              |              |              |              |
| R134a  | -        | -            | 0,001        | 0,01         | 0,01         | 0,02         | 0,02         | 0,02         |
| Entsorgungsemissionen [t]                    |          |              |              |              |              |              |              |              |
| R134a  | -        | -            | 0,000        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,07         | 0,07         |
| Emissionen [t]                               | -        | -            | 0,002        | 0,01         | 0,01         | 0,02         | 0,09         | 0,08         |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]         | -        | -            | 0,002        | 0,01         | 0,02         | 0,02         | 0,12         | 0,12         |
| Summe Stationäre Klimaanlage (2.F.1.f)       |          |              |              |              |              |              |              |              |
| Emissionen [t]                               | -        | 76,3         | 186,9        | 390,6        | 647,2        | 690,7        | 707,7        | 709,8        |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]         | -        | 114,0        | 310,0        | 687,1        | 1.175,7      | 1.265,1      | 1.308,1      | 1.321,0      |
| <b>Summe Kälte- und Klimaanlage (2.F.1)</b>  |          |              |              |              |              |              |              |              |
| <b>Zwischensumme Emissionen [t]</b>          | <b>-</b> | <b>2.089</b> | <b>3.467</b> | <b>4.361</b> | <b>4.938</b> | <b>4.922</b> | <b>4.833</b> | <b>4.675</b> |

|   | 1990 | 2000          | 2005          | 2010          | 2015         | 2016         | 2017          | 2018          |
|---|------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| <b>Zwischensumme Emissionen [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | -    | <b>4.186</b>  | <b>6.923</b>  | <b>8.721</b>  | <b>9.623</b> | <b>9.531</b> | <b>9.331</b>  | <b>8.838</b>  |
| <b>Schaumherstellung (2.F.2)</b>                        |      |               |               |               |              |              |               |               |
| <i>PU Hart- und Integralschaum</i>                      |      |               |               |               |              |              |               |               |
| Herstellungs- und Anwendungsemissionen [t]              |      |               |               |               |              |              |               |               |
| HFKW-134a   | -    | 94,9          | 80,9          | 45,9          | 14,9         | 13,9         | 20,4          | 15,1          |
| HFKW-365mfc/245fa                                       | -    | -             | 97,9          | 117,3         | 346,4        | 373,7        | 423,4         | 341,8         |
| HFKW-227ea  | -    | -             | 3,8           | 5,1           | 14,7         | 17,8         | 23,1          | 16,8          |
| Emissionen [t]  | -    | 94,9          | 182,7         | 168,4         | 376,1        | 405,4        | 466,9         | 373,6         |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                    | -    | 135,7         | 216,9         | 186,9         | 387,4        | 422,3        | 497,3         | 386,9         |
| <i>XPS-Schaum</i>                                       |      |               |               |               |              |              |               |               |
| Herstellungs- und Anwendungsemissionen [t]              |      |               |               |               |              |              |               |               |
| HFKW-134a   | -    | -             | 353,0         | 339,1         | 288,5        | 289,4        | 311,5         | 312,3         |
| HFKW-152a   | -    | -             | 683,5         | 323,0         | 222,1        | 222,0        | 241,2         | 269,4         |
| Emissionen [t]  | -    | -             | 1036,5        | 662,1         | 510,6        | 511,4        | 552,7         | 581,7         |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                    | -    | -             | 589,5         | 525,0         | 440,0        | 441,4        | 475,4         | 480,0         |
| <i>PU Montageschaum</i>                                 |      |               |               |               |              |              |               |               |
| Herstellungs- und Anwendungsemissionen [t]              |      |               |               |               |              |              |               |               |
| HFKW-134a   | -    | 756,3         | 392           | 91,4          | 39,6         | 27,6         | 11,8          | 11,43         |
| HFKW-152a   | -    | 718,8         | 77,1          | 34,7          | 39,6         | 29,9         | 51,9          | 48,8          |
| Emissionen [t]  | -    | 1.475,0       | 469,1         | 126,1         | 79,2         | 57,5         | 63,8          | 55,3          |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                    | -    | 1.170,6       | 570,1         | 135,0         | 61,6         | 43,2         | 23,4          | 20,3          |
| <b>Summe Schaumherstellung (2.F.2)</b>                  |      |               |               |               |              |              |               |               |
| <b>Zwischensumme Emissionen [t]</b>                     | -    | <b>1569,9</b> | <b>1688,2</b> | <b>1027,3</b> | <b>965,2</b> | <b>995,2</b> | <b>1083,4</b> | <b>1015,4</b> |
| <b>Zwischensumme Emissionen [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | -    | <b>1306,3</b> | <b>1388,5</b> | <b>918,4</b>  | <b>888,0</b> | <b>911,6</b> | <b>996,0</b>  | <b>888,9</b>  |

|   | 1990 | 2000        | 2005        | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|---|------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Feuerlöschmittel (2.F.3)</b>                         |      |             |             |              |              |              |              |              |
| Bestandsemissionen [t]                                  |      |             |             |              |              |              |              |              |
| HFKW-227ea  | -    | 0,51        | 1,82        | 4,41         | 0,69         | 3,43         | -            | 0,32         |
| HFKW-236fa  | -    | -           | 0,19        | 1,49         | 2,98         | 3,31         | 3,64         | 3,96         |
| HFKW-23   | -    | -           | 0,01        | 0,08         | 0,20         | 0,22         | 0,21         | 0,21         |
| Befüllungsemissionen [t]                                |      |             |             |              |              |              |              |              |
| HFKW-227ea  | -    | 0,08        | 0,01        | 0,03         | 0,01         | -            | -            | -            |
| HFKW-236fa  | -    | -           | 0,12        | 0,16         | 0,42         | 0,35         | 0,35         | 0,35         |
| HFKW-23   | -    | -           | -           | -            | -            | -            | -            | -            |
| Entsorgungsemissionen [t]                               |      |             |             |              |              |              |              |              |
| HFKW-227ea  | -    | -           | -           | -            | -            | -            | -            | -            |
| HFKW-236fa  | -    | -           | -           | -            | -            | -            | -            | -            |
| HFKW-23   | -    | -           | -           | -            | -            | -            | -            | -            |
| <b>Summe Feuerlöschmittel (2.F.3)</b>                   |      |             |             |              |              |              |              |              |
| <b>Zwischensumme Emissionen [t]</b>                     | -    | <b>0,59</b> | <b>2,14</b> | <b>6,27</b>  | <b>4,31</b>  | <b>7,31</b>  | <b>4,21</b>  | <b>4,56</b>  |
| <b>Zwischensumme Emissionen [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | -    | <b>1,91</b> | <b>9,04</b> | <b>32,62</b> | <b>38,75</b> | <b>50,10</b> | <b>42,29</b> | <b>45,58</b> |
| <b>Aerosole (2.F.4)</b>                                 |      |             |             |              |              |              |              |              |
| <i>Asthmasprays (MDIs)</i>                              |      |             |             |              |              |              |              |              |
| Anwendungsemissionen [t]                                |      |             |             |              |              |              |              |              |
| HFKW-227ea  | -    | 36,8        | 26,4        | 16,0         | 9,4          | 8,5          | 7,6          | 6,9          |
| Herstellungs- und Anwendungsemissionen [t]              |      |             |             |              |              |              |              |              |
| HFKW-134a   | -    | 46,9        | 175,9       | 198,9        | 212,1        | 213,6        | 215,8        | 217,8        |
| Emissionen [t]  | -    | 83,7        | 202,2       | 214,9        | 221,5        | 222,1        | 223,4        | 224,7        |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                    | -    | 185,5       | 336,4       | 335,9        | 333,6        | 332,8        | 333,1        | 333,6        |

|   | 1990 | 2000         | 2005         | 2010          | 2015          | 2016          | 2017          | 2018          |
|---|------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Andere Aerosole</i>  |      |              |              |               |               |               |               |               |
| Anwendungsemissionen [t]  |      |              |              |               |               |               |               |               |
| HFKW-134a   | -    | 160          | 160          | 170,1         | 189,11        | 203,89        | 162,73        | 10,46         |
| HFKW-152a   | -    | 10           | 10           | 25,9          | 7,1           | 2,0           | 0,9           | 0,9           |
| Herstellungsemissionen [t]  |      |              |              |               |               |               |               |               |
| HFKW-134a   | -    | 2,4          | 2,4          | 2,6           | 2,8           | 2,0           | 2,4           | 0,1           |
| HFKW-152a   | -    | 0,2          | 0,2          | 0,4           | 0,1           | 0,1           | -             | -             |
| Emissionen [t]  | -    | 172,6        | 172,6        | 199           | 199,11        | 207,99        | 166,03        | 11,46         |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]  | -    | 233,5        | 342,2        | 204,8         | 274,5         | 295,9         | 236,2         | 15,2          |
| <b>Summe Aerosole (2.F.4)</b>   |      |              |              |               |               |               |               |               |
| <b>Zwischensumme Emissionen [t]</b>   | -    | <b>256,3</b> | <b>374,8</b> | <b>413,9</b>  | <b>420,6</b>  | <b>430,1</b>  | <b>389,4</b>  | <b>236,2</b>  |
| <b>Zwischensumme Emissionen [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>                       | -    | <b>419</b>   | <b>678,6</b> | <b>540,7</b>  | <b>608,1</b>  | <b>628,7</b>  | <b>569,3</b>  | <b>348,8</b>  |
| <b>Summe Emissionen Anwendung als ODS-Ersatzstoff [t]</b>                     | -    | <b>3.916</b> | <b>5.533</b> | <b>5.809</b>  | <b>6.329</b>  | <b>6.355</b>  | <b>6.310</b>  | <b>5.931</b>  |
| <b>Summe Emissionen Anwendung als ODS-Ersatzstoff [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | -    | <b>5.914</b> | <b>8.999</b> | <b>10.213</b> | <b>11.158</b> | <b>11.121</b> | <b>10.939</b> | <b>10.121</b> |

## 5.5 Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G)

|  | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|

### Elektrische Betriebsmittel (2.G.1)

#### Schaltanlagen und Produktion elektrischer Bauteile für die Energieübertragung

| SF <sub>6</sub>                                 |      |      |      |     |     |     |     |     |
|---|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Befüllungsemissionen Schaltanlagen [t]          | 25,9 | 9,5  | 6,2  | 4,3 | 3,8 | 2,4 | 2,0 | 2,1 |
| Befüllungsemissionen Bauteile [t]               | 4,1  | 26,6 | 12,0 | 6,2 | 6,9 | 4,7 | 4,3 | 3,6 |
| Bestandsemissionen Schaltanl. & Bauteile [t]    | 8,1  | 7,3  | 8,5  | 7,1 | 6,5 | 6,3 | 6,2 | 6,2 |
| Entsorgungsemissionen Schaltanl. & Bauteile [t] | -    | -    | 0,3  | 1,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |

### Summe Elektrische Betriebsmittel (2.G.1)

|  |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Zwischensumme Emissionen [t]                       | 38,1  | 43,4  | 27,1  | 18,7  | 17,5  | 13,7  | 12,8  | 12,1  |
| Zwischensumme Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 867,8 | 990,0 | 617,1 | 426,3 | 398,1 | 311,8 | 290,8 | 276,0 |

### SF<sub>6</sub> und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2)

#### Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b)

| SF <sub>6</sub>                                      |        |        |        |       |       |       |       |       |
|--|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Befüllungsemissionen [t]                             | 0,02   | 0,02   | -      | -     | -     | -     | -     | -     |
| Bestandsemissionen [t]                               | 5,20   | 4,98   | 4,92   | 4,13  | 4,14  | 4,15  | 4,15  | 4,15  |
| Entsorgungsemissionen [t]                            | -      | -      | -      | -     | -     | -     | -     | -     |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]                       | 5,21   | 4,99   | 4,92   | 4,13  | 4,14  | 4,15  | 4,15  | 4,15  |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 118,85 | 113,78 | 112,13 | 94,19 | 94,47 | 94,54 | 94,61 | 94,68 |

#### Isolierglasfenster (2.G.2.c)

| SF <sub>6</sub>          |      |      |      |      |      |      |     |     |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Befüllungsemissionen [t] | 59,9 | 28,6 | 5,7  | 1,4  | -    | -    | -   | -   |
| Bestandsemissionen [t]   | 9,0  | 20,4 | 19,6 | 16,0 | 11,4 | 10,4 | 9,3 | 8,1 |

|  | 1990   | 2000  | 2005  | 2010  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Entsorgungsemissionen [t]                            | -      | 2,7   | 30,4  | 66,9  | 93,1  | 103,0 | 116,2 | 129,3 |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]                       | 68,8   | 54,5  | 62,8  | 93,0  | 114,7 | 126,7 | 138,6 | 144,4 |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 1570,6 | 1,243 | 1,432 | 2,120 | 2,615 | 2,889 | 3,160 | 3,292 |

**Adiabatisch (2.G.2.d)**

*Autoreifen*

|  |         |         |      |       |       |   |   |   |
|--|---------|---------|------|-------|-------|---|---|---|
| SF <sub>6</sub>                                      |         |         |      |       |       |   |   |   |
| Entsorgungsemissionen [t]                            | 65      | 50,00   | 2,7  | 0,579 | 0,052 | - | - | - |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]                       | 65      | 50,00   | 2,7  | 0,579 | 0,052 | - | - | - |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 1.482,0 | 1.140,0 | 61,6 | 13,2  | 1,2   | - | - | - |

**Sonstige (2.G.2.e)**

*Spurengas*

|  |      |       |       |       |       |       |      |      |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Emissionen SF <sub>6</sub> [t]                       | 0,50 | 0,50  | 0,50  | 4,00  | 4,00  | 4,00  | 4,00 | 4,00 |
| Emissionen SF <sub>6</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 11,4 | 11,40 | 11,40 | 91,20 | 91,20 | 91,20 | 91,2 | 91,2 |

**Summe SF<sub>6</sub> und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2)**

|   |                |                |                |                |                |                |                |                |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Zwischensumme Emissionen [t]</b>                     | <b>139,6</b>   | <b>107,3</b>   | <b>63,9</b>    | <b>93,1</b>    | <b>112,9</b>   | <b>121,7</b>   | <b>133,9</b>   | <b>145,9</b>   |
| <b>Zwischensumme Emissionen [kt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b> | <b>3.182,9</b> | <b>2.444,5</b> | <b>1.455,8</b> | <b>2.120,0</b> | <b>2.569,9</b> | <b>2.770,5</b> | <b>3.046,2</b> | <b>3.319,4</b> |

**ORC-Anlagen (2.G.4)**

*Herstellungs- und Bestandsemissionen [t]*

|                   |   |   |   |   |      |      |      |      |
|-------------------|---|---|---|---|------|------|------|------|
| HFKW-245fa        | - | - | - | - | 8,59 | 8,7  | 9,1  | 9,49 |
| HFKW-365mfc       | - | - | - | - | 0,85 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| Solkatherm Galden | - | - | - | - | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |



|   | 1990    | 2000    | 2005    | 2010    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| HFKW-134a   | -       | -       | -       | 0,14    | 0,14    | 0,14    | 0,14    | 0,14    |
| Entsorgungsemissionen [t]   |         |         |         |         |         |         |         |         |
| HFKW-245fa  | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| HFKW-365mfc   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Solkatherm Galden   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| HFKW-134a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Emissionen [t]  | -       | -       | -       | 0,14    | 9,57    | 9,68    | 10,09   | 10,47   |
| Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]  | -       | -       | -       | 0,20    | 9,72    | 9,83    | 10,25   | 10,64   |
| Emissionen C <sub>5</sub> F <sub>12</sub> [t]   | -       | -       | 0,02    | 0,09    | -       | -       | -       | -       |
| Emissionen C <sub>5</sub> F <sub>12</sub> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]                           | -       | -       | 0,16    | 0,82    | -       | -       | -       | -       |
| <b>Summe ORC-Anlagen (2.G.4)</b>  |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Zwischensumme Emissionen [t]  | -       | -       | 0,02    | 0,23    | 9,57    | 9,68    | 10,09   | 10,47   |
| Zwischensumme Emissionen [kt CO <sub>2</sub> -Äq.]  | -       | -       | 0,16    | 1,03    | 9,72    | 9,83    | 10,25   | 10,64   |
| Summe Emissionen <i>Sonstige Produktherstellung und -verwendung</i> [t]                       | 183,7   | 174,0   | 102,5   | 119,3   | 146,5   | 149,6   | 162,7   | 173,6   |
| Summe Emissionen <i>Sonstige Produktherstellung und -verwendung</i> [kt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 4.050,9 | 3.829,6 | 2.334,4 | 2.709,3 | 3.089,5 | 3.169,0 | 3.441,8 | 3.688,8 |

## 5.6 Vertrauliche Daten (2.H.3)

|  | 1990  | 2000  | 2005  | 2010  | 2015  | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| <b>Radar, Schweißen, Optische Glasfasern, Sohlen, Medizin- und Kosmetikprodukte, Wärmeüberträger, Lösemittel</b> |       |       |       |       |       |      |      |      |
| <b>Summe Emissionen<br/>Vertrauliche Daten [t]</b>   | 7,00  | 27,97 | 15,67 | 11,59 | 9,34  | 6,81 | 8,00 | 7,51 |
| <b>Summe Emissionen<br/>Vertrauliche Daten [kt<br/>CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>                                       | 146,1 | 566,3 | 277,1 | 175,8 | 116,7 | 76,7 | 91,8 | 80,7 |

## 5.7 Fluorierte Treibhausgase für die freiwillige Berichterstattung

| Anwendung   | 2000         | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Gesamtemissionen je Sektor [t]</b>   |              |              |              |              |              |              |              |
| uHFKW (1234yf, 1234ze)  | -            | -            | -            | 71,93        | 180,45       | 401,92       | 593,94       |
| Industrielle HFE<br>(offen und geschlossen)   | 5,09         | 31,27        | 43           | 57,37        | 54,56        | 57,63        | 60,62        |
| HFE für Anästhesie  | 49,5         | 79,4         | 116          | 117,4        | 119,7        | 120,5        | 120,5        |
| PFPE  | 31,8         | 35,7         | 39,2         | 50,5         | 53,5         | 56,7         | 60,0         |
| Weitere (N-haltige) FKW   | 1,46         | 3,33         | 5,386        | 5,612        | 5,848        | 6,074        | 1,46         |
| <b>Summe Emissionen F-Gase<br/>für die freiwillige<br/>Berichterstattung [t]</b>                          | <b>118,9</b> | <b>185,5</b> | <b>248,4</b> | <b>359,6</b> | <b>472,1</b> | <b>701,3</b> | <b>899,8</b> |
| <b>Summe Emissionen F-Gase<br/>für die freiwillige<br/>Berichterstattung [kt CO<sub>2</sub>-<br/>Äq.]</b> | <b>322,4</b> | <b>377,3</b> | <b>433,2</b> | <b>565,2</b> | <b>596,0</b> | <b>631,5</b> | <b>666,7</b> |

## 5.8 Gesamtemissionen

| Gesamt-emissionen [t] | 1990       | 2000         | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|-----------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| HFKW                  | 370        | 4.129        | 5.667        | 5.864        | 6.419        | 6.453        | 6.422        | 6.027        |
| FKW                   | 405        | 115          | 102          | 42           | 32           | 32           | 33           | 37           |
| SF <sub>6</sub>       | 206        | 208          | 159          | 144          | 149          | 156          | 170          | 175          |
| NF <sub>3</sub>       | 0,40       | 0,52         | 2,01         | 3,57         | 0,69         | 0,65         | 0,67         | 0,68         |
| <b>Summe [t]</b>      | <b>981</b> | <b>4.452</b> | <b>5.930</b> | <b>6.053</b> | <b>6.601</b> | <b>6.642</b> | <b>6.625</b> | <b>6.239</b> |

| Gesamt-emissionen [Mt CO <sub>2</sub> -Äq.] | 1990         | 2000         | 2005         | 2010         | 2015         | 2016         | 2017         | 2018         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| HFKW  | 5,799        | 8,22         | 10,02        | 10,83        | 11,56        | 11,48        | 11,33        | 10,67        |
| FKW   | 3,34         | 1,65         | 1,22         | 0,64         | 0,43         | 0,37         | 0,40         | 0,42         |
| SF <sub>6</sub>                             | 4,70         | 4,74         | 3,62         | 3,29         | 3,43         | 3,58         | 3,91         | 4,00         |
| NF <sub>3</sub>                             | 0,01         | 0,01         | 0,02         | 0,06         | 0,01         | 0,01         | 0,01         | 0,01         |
| <b>Summe [Mt CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>        | <b>13,84</b> | <b>14,61</b> | <b>14,88</b> | <b>14,82</b> | <b>15,43</b> | <b>15,44</b> | <b>15,65</b> | <b>15,10</b> |