

30 MONTREAL PROTOCOL



HINTERGRUND // SEPTEMBER 2017

1987 – 2017: 30 Jahre Montrealer Protokoll

**Vom Ausstieg aus den FCKW
zum Ausstieg aus teilfluorierten
Kohlenwasserstoffen**

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Autoren:

Sven Baumann, Cornelia Elsner, Daniel de Graaf,
Gabriele Hoffmann, Kerstin Martens, Constance Noack,
Wolfgang Plehn, Ludwig Ries, Diana Thalheim

Satz und Layout:

Atelier Hauer + Dörfler GmbH, Berlin

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

Titel: shutterstock.com

Bild 1: DLR (CC-BY 3.0); Bild 2: Greenpeace/Zenit 1992;

Bild 3: Ludwig Ries; Bild 4: Kerstin Martens; Bild 5: Frigoteam
Handels GmbH; Bild 6: Hafner-Muschler Kälte- und Klimatechnik
GmbH & Co. KG; Bild 7: efficient energy; Bild 8: UBA 2008;

Bild 9: DB Uwe Miethe, 2016

Zeitstrahl (in zeitlicher Abfolge): Publikation Molina, UBA-Web-
seite, Hoffmann/ UBA 2017, 2. BImSchV (Deckblatt), Von Nasa.
gov http://www.nasa.gov/topics/earth/earthday/earthday_gallery.html - http://www.nasa.gov/images/content/324490main_ozone_full.jpg, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10044020>, Dieter Vennemann/Greenpeace
1990, Kerstin Martens, By Avantique – Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17782178>,
Sabine Vielmo/Greenpeace 1992, UBA
shutterstock.com

Stand: Juli 2017

ISSN 2363-8273

HINTERGRUND // SEPTEMBER 2017

**1987 – 2017: 30 Jahre
Montrealer Protokoll**

Vom Ausstieg aus den FCKW
zum Ausstieg aus teilfluorierten
Kohlenwasserstoffen

Verwendete Abkürzungen

BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Bundesumweltministerium)
CO ₂ eq	CO ₂ -Äquivalent (auf CO ₂ umgerechnete Treibhauswirkung)
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
FKW	Fluorkohlenwasserstoff
GAW	Engl. Global Atmosphere Watch – globale Atmosphärenüberwachung
GCOS	Engl. Global Climate Observing System – globales Klimabeobachtungssystem
GWP	Engl. Global Warming Potential – Treibhauspotenzial
HFCKW	teilhalogenerter Fluorchlorkohlenwasserstoff
HFKW	teilfluorierter Kohlenwasserstoff
m %	Massenanteil
ODP	Engl. Ozone Depletion Potential – die Ozonschicht schädigendes Potenzial
ODS	Engl. Ozone Depleting Substances – Substanzen, die die Ozonschicht schädigen
ppt	Engl. parts per trillion – Teile von einer Billion (10 ¹²)
PUR	Polyurethan
SF ₆	Schwefelhexafluorid, Treibhausgas mit sehr hohem Treibhauspotenzial
TEWI	Engl. Total Equivalent Warming Impact – Gesamter Äquivalenter Treibhauseffekt: Die Treibhausgasmenge, die insgesamt durch Emission des Kältemittels und der zum Antrieb benötigten Energie einer Kälte- oder Klimaanlage über die Betriebszeit entsteht (angegeben in CO ₂ -Äquivalenten)
UBA	Umweltbundesamt
UNO	Engl. United Nations Organization – Organisation der Vereinten Nationen

Inhalt

1 FCKW – Gefahr für die Ozonschicht	4
2 Der Meilenstein – Das Montrealer Protokoll von 1987	5
3 Die Erfolgsgeschichte	6
4 Die Suche nach Alternativen	14
5 Messungen halogener Gase in der Atmosphäre	17
6 Erfolge des Montrealer Protokolls in Zahlen	20
7 Lösungen heute und für die Zukunft	22
7.1. Kältemittelverwendung bis heute.....	22
7.2 Kältemittel für die Zukunft.....	24
7.3 Lebensmitteleinzelhandel.....	24
7.4 Wärmepumpen.....	25
7.5 Gebäudeklimatisierung.....	27
7.6 Fahrzeugklimatisierung.....	28
8 Fazit	29
9 Anhang	30

1 FCKW – Gefahr für die Ozonschicht

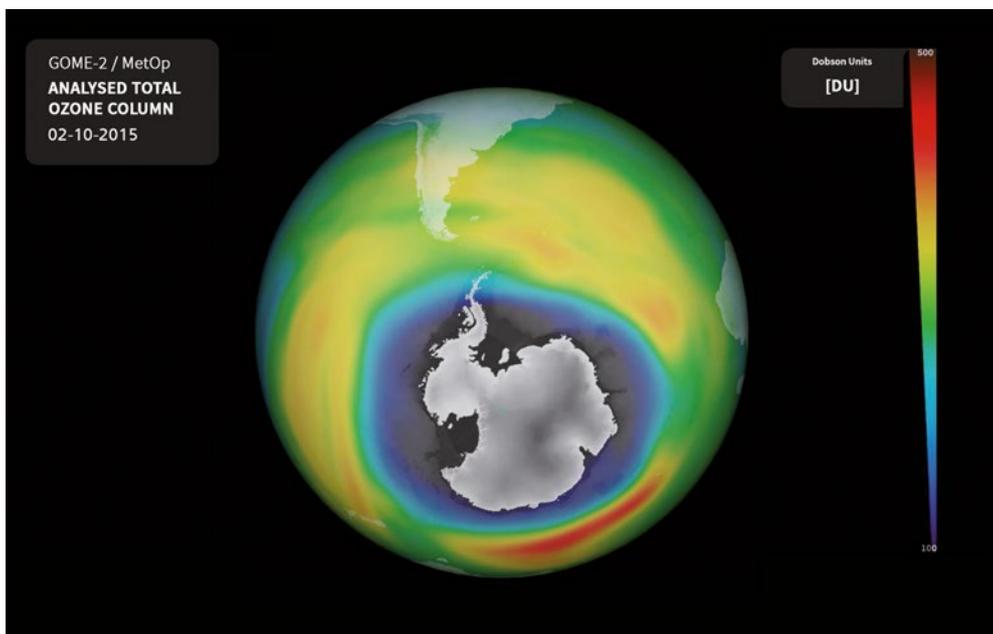
Es ist eine Erfolgsgeschichte, dass die jüngere Generation heute wenig mit dem Begriff FCKW verbindet. Zeigt es doch, dass die Stoffe, die eines der großen Umweltprobleme verursachen, im täglichen Leben kaum noch eine Rolle spielen.

FCKW, das ist die Abkürzung für Fluorchlorkohlenwasserstoffe, einer Gruppe sehr stabiler Gase, die vor 30 Jahren in großen Mengen zum Beispiel als Treibmittel für Spraydosen, als Lösemittel, als Kältemittel und zur Kunststoffverschäumung verwendet wurden. Die Stoffe bleiben über Jahrzehnte und zum Teil Jahrhunderte in der Atmosphäre und führen dort zum Abbau der Ozonschicht. Auch weitere Stoffe, wie bestimmte Feuerlöschmittel (Halone), bauen die Ozonschicht ab. Daneben haben FCKW und Halone auch ein hohes Treibhauspotenzial und tragen damit zur Erderwärmung bei.

Die Ozonschicht befindet sich in der unteren Stratosphäre in 15 bis 30 Kilometern Höhe über der Erde und schützt diese vor ultravioletter (UV-B) Strahlung der Sonne. Nimmt die Dichte der Ozonschicht ab, schädigt die Strahlung Pflanzen, Tiere und Menschen. Beim Menschen kann Hautkrebs die Folge der Strahlenbelastung sein. In der Nähe der Erdpole ist der Ozonschwund besonders groß, weshalb man auch vom „Ozonloch“ spricht.

Das Ozonloch über der Antarktis wurde zwar erst im Herbst 1985 nachgewiesen, aber bereits 1974 veröffentlichten Frank Sherwood Rowland und Mario Molina, Chemiker an der University of California in Irvine, in Zusammenarbeit mit Paul Crutzen ihre bahnbrechende Hypothese, dass FCKW-Moleküle die Ozonschicht schädigen [2]. Bis der Erkenntnis Taten zum Schutz der Ozonschicht folgten, brauchte es allerdings ein grundsätzliches Umdenken, denn FCKW wurden in großen Mengen eingesetzt, und die Produzenten in den Industrieländern, auch in Deutschland, wollten auf diese Stoffe nicht ohne Weiteres verzichten. Auch gab es immer wieder Zweifel über das Ausmaß der zerstörenden Wirkung der FCKW. 1982 glaubten die Prognostiker sogar kurze Zeit, den vorhergesagten Ozonabbau überschätzt zu haben.

Nur durch den Druck von Wissenschaftlern, Umweltschützern und schließlich auch der Politik konnte der FCKW-Ausstieg auf den Weg gebracht werden. Heute wissen wir, dass die Forscher das Risiko sogar noch unterschätzten. Denn die Ozonschicht erholt sich nur langsam. Mit dem Nobelpreis für Chemie erhielten Rowland, Molina und Crutzen 1995 für ihre Arbeiten auf dem Gebiet der Atmosphärenchemie eine späte Anerkennung.



Die Ozonschicht über dem Südpol Anfang Oktober 2015: Das Ozonloch erreicht wieder Rekordniveau (Darstellung des DLR [1]). Je bläulicher ein Ort eingefärbt ist, desto weniger schützendes Ozon ist dort in der Atmosphäre vorhanden.

2 Der Meilenstein – Das Montrealer Protokoll von 1987

Mit dem Wiener Übereinkommen wurde im März 1985 das internationale Rahmenabkommen verabschiedet, das die Staaten zum Informationsaustausch und zu Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht aufrief. Als Folgevereinbarung unterzeichneten am 16. September 1987 die ersten 24 Staaten und die Europäische Gemeinschaft das Montrealer Protokoll, das die Vertragsparteien erstmals zu konkreten Reduktionsschritten bei der Herstellung und Verwendung ozonabbauender Stoffe verpflichtete. Am 1. Januar 1989 trat es in Kraft.

Dem Montrealer Protokoll sind alle 197 UN-Staaten beigetreten. Bei den jährlichen Vertragsstaatenkonferenzen beraten sie den Fortschritt der Minderungsmaßnahmen und die Weiterentwicklung des Montrealer Protokolls. Das Montrealer Protokoll, seine Ergänzungen und umfangreichen Berichte und Informationen sind beim Ozonsekretariat der Vereinten Nationen abrufbar [3].

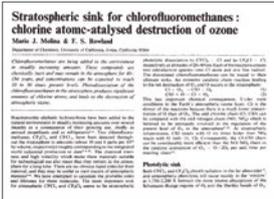
2016 wurden in Kigali teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) mit hohem Treibhauspotenzial als neueste Stoffgruppe in das Montrealer Protokoll aufgenommen. HFKW werden heute in großen Mengen als Ersatzstoffe für die ozonschichtschädigenden Stoffe verwendet, tragen aber zur Erderwärmung bei. Darum soll ihr Einsatz nun weltweit schrittweise vermindert werden. Zum Ersatz der HFKW gibt es bereits in allen wichtigen Anwendungsgebieten erprobte technische Lösungen. Daher haben Entwicklungsländer, die noch bestimmte ozonschichtschädigende Stoffe verwenden dürfen, die Chance, die Einführung der klimaschädlichen HFKW zu überspringen und direkt auf halogenfreie Stoffe und Verfahren umzustellen.



3 Die Erfolgsgeschichte

Wichtige Ereignisse seit 1974

1974



Die Wissenschaftler Rowland und Molina weisen erstmals auf die Gefährdung der Ozonschicht durch FCKW hin.

1975

Die Bundesregierung führt erste Studien zu FCKW durch und fördert bis 1979 über 20 Projekte zur Erforschung der Erdatmosphäre.

1977



Selbstverpflichtung der deutschen Industrie, bis 1979 30% weniger FCKW für Aerosole in Spraydosen zu verwenden als 1975.

26. – 28. April: Die erste internationale Regierungskonferenz zu FCKW in Washington DC fordert, FCKW-Emissionen insbesondere in Aerosolen zu vermindern, ebenso die zweite Konferenz 1978 in München, die von der Bundesregierung organisiert wird.

1978



Die Jury Umweltzeichen beschließt auf Empfehlung des UBA als eines der ersten Umweltzeichen den Blauen Engel für FCKW-freie Spraydosen (RAL-UZ 3).



FCKW in Kosmetik- und Haushaltspraydosen werden in den USA verboten, bis 1981 folgen Kanada, Schweden und Norwegen.

30. Mai: Der Rat der Europäischen Gemeinschaft gibt in einer Entschliessung das Ziel vor, die Produktion von FCKW-11 und FCKW-12 nicht mehr zu erweitern. Die Industrie soll nach Alternativprodukten suchen.

1980

Der Rat der Europäischen Gemeinschaft beschließt ein Einfrieren der Produktionskapazitäten der FCKW-11 und FCKW-12 sowie die Reduktion von FCKW in Aerosolen um 30 % bis 1981.

1985

22. März: 21 Staaten unterzeichnen das Wiener Übereinkommen als erstes internationales Rahmenabkommen, das Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht fordert. Es tritt am 22. September 1988 in Kraft.

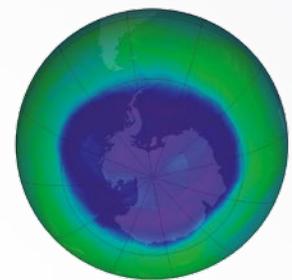
Herbst: Nach ersten Hinweisen 1984 wird die Entdeckung des „Ozonlochs“, die drastische Abnahme des Ozons über der Antarktis, in der Zeitschrift Nature bekannt gegeben.

1986



Deutschland legt verbindliche Grenzwerte für Anlagen fest, die FCKW z. B. als Lösemittel freisetzen.

1987



16. September: Annahme des Montrealer Protokolls über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen. Die Vertragsstaaten verpflichten sich, Produktion und Verbrauch von acht wichtigen FCKW und Halonen zu verringern. Sie wollen Produktion und Verbrauch der FCKW schrittweise bis zum Jahr 1999 auf die Hälfte der Mengen von 1986 reduzieren.

16. Oktober: Der Deutsche Bundestag beschließt die Gründung der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, die am 3. Dezember 1987 einberufen wird. Die Kommission unterbreitet Vorschläge für die Umsetzung des Montrealer Protokolls in Deutschland – das UBA wirkt von Beginn an mit.

Weiteres Vorgehen

1988

14. Oktober: Zur Umsetzung des Montrealer Protokolls wird die europäische Verordnung über bestimmte Fluorchlorkohlenwasserstoffe und Halone, die zum Abbau der Ozonschicht führen (Nr. 3322/88), beschlossen. Sie beschränkt ab 1. Januar 1989 Einfuhr, Produktion und Verbrauch dieser Stoffe.

16. Dezember: Deutschland ratifiziert das Montrealer Protokoll.

1989



UBA-Bericht „Verzicht aus Verantwortung: Maßnahmen zur Rettung der Ozonschicht“ beschreibt umfassend die Einsatzgebiete und Ersatzmöglichkeiten für FCKW und Halone.

1990



Juni: 2. Vertragsstaatenkonferenz zum Montrealer Protokoll in London: Bedeutende Verschärfung durch Produktions- und Verbrauchsstopp von FCKW bis zum Jahr 2000, Aufnahme weiterer Stoffe, die die Ozonschicht schädigen, Einrichtung des Multilateralen Fonds zur Unterstützung der Entwicklungsländer.



Seit 1990 initiiert die Umweltschutzbewegung vielfältige Aktionen gegen die FCKW-Herstellung und Verwendung.



Der Bericht **„Schutz der Erdatmosphäre“** erscheint, er gibt einen Überblick über die Vorgeschichte und die umfangreiche Arbeit der 1987 berufenen Enquete-Kommission. Bis 1994 fertigt die Kommission vier weitere Berichte an und bezieht weitere UBA-Erkenntnisse ein (Veröffentlichungen siehe Literaturliste im Anhang).

Der FCKW-Halon-Ausstieg beginnt

1991



Einstellung der Produktion von Feuerlöschmitteln (Halonen) in Deutschland.

4. März: Zur Umsetzung der Londoner Beschlüsse des Montrealer Protokolls wird die europäische Verordnung über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen (Nr. 594/91), erlassen.

Deutschland erlässt mit der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung den endgültigen Ausstieg aus diesen ozonschichtschädigenden Stoffen in fast allen Anwendungen bis spätestens 1995 und öffnet damit den Weg zu schärferen Regelungen in der EU und weltweit.

1992



Internationale Konferenz zu „Alternativen von FCKW und Halonen“ in Berlin, die vom UBA mitorganisiert wird; sie stellt insbesondere mögliche Ersatzstoffe und Techniken vor.



November: Das Montrealer Protokoll wird auf der 4. Vertragsstaatenkonferenz in Kopenhagen weiter verschärft: Halone sollen bis 1994 und FCKW bis 1996 nicht mehr produziert und eingesetzt werden, neu aufgenommen werden teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW) und Methylbromid mit einem Produktionsverbot ab 2020.

1993

1. Januar: Die neue europäische Verordnung über den beschleunigten Verzicht auf Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen, tritt in Kraft (Nr. 3952/92). Verboten wird die Produktion und Einfuhr von Halonen ab 1994, von FCKW ab 1995 und bestimmten Lösemitteln ab 1995/96.



März: Der erste FCKW-freie Kühlschrank in Deutschland rollt bei der Firma Foron vom Band.

Verschärfungen und zusätzliche Regeln

1994

15. Dezember: Neufassung und Verschärfung der europäischen Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (jetzt Nr. 3093/94).

1997



September: Auf der 9. Vertragsstaatenkonferenz zum Montrealer Protokoll in Montreal werden die Zeitpläne für den Ausstieg aus der Produktion ozonschichtschädigender Stoffe angepasst und Maßnahmen zur Bekämpfung des Schwarzmarkthandels mit diesen Stoffen getroffen.

1999



11. Vertragsstaatenkonferenz zum Montrealer Protokoll in Peking: Aufnahme von Bromchlormethan und HFCKW-Handelsbeschränkungen.

2000

Die Europäische Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (Nr. 2037/2000) wird erlassen. Sie gilt direkt in Deutschland und verschärft einige Regeln.

Ab 2006 Ausstieg aus den F-Gasen in Europa

2004



Der UBA-Bericht „**Fluorierte Treibhausgase in Produkten und Verfahren – Technische Maßnahmen zum Klimaschutz**“ stellt Einsatz und Emissionen von fluorierten Stoffen dar, die FCKW und Halone ersetzt hatten. Für 14 Anwendungsfelder fluoriierter Treibhausgase werden der Stand der Technik, Maßnahmen zur Emissionsminderung und Alternativen behandelt.

2006

Europäische Verordnung und Richtlinie zur Minderung der Emission fluoriierter Treibhausgase in Kälte- und Klimaanlageanlagen und weiteren Anwendungen (Nr. 842/2006 und 2006/40) werden erlassen. Sie enthalten u.a. Vorgaben zur Dichtheitsprüfung und Sachkunde sowie Verbote für HFKW und SF₆ in bestimmten Anwendungen.

Die deutsche Chemikalien-Ozonschichtverordnung löst die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung von 1991 ab. Sie wird an die europäischen Regelungen zum Schutz der Ozonschicht angepasst und enthält u. a. Regelungen zur Sachkunde.

2007

23./24. August: Die Bundesregierung beschließt in Meseberg ein Integriertes Klima- und Energieprogramm (IEKP). Im Eckpunkt 23 finden sich Maßnahmen zur Reduktion von HFKW-Emissionen und zur Förderung von Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln.

„Phase down“ mithilfe der Verordnung (EU) Nr. 517/2014

2008

Das UBA und das Bundesumweltministerium laden zum ersten Runden Tisch Supermarktkälte in Deutschland ein, um die breite Markteinführung von besonders energieeffizienten und klimafreundlichen Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln im Supermarkt zu fördern. Es folgen weitere Veranstaltungen zu Schwerpunktthemen wie CO₂-Supermarktkälteanlagen, Verwendung brennbarer Kältemittel und Nutzung natürlicher Kältemittel in kleinen Märkten.

In **Deutschland** wird erstmals eine **Chemikalien-Klimaschutzverordnung** erlassen. Sie ergänzt die europäische F-Gas-Verordnung und enthält u. a. Grenzwerte für spezifische Kältemittelverluste bei stationären Anlagen.

2009

Die Europäische Verordnung Nr. 1005/2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, ersetzt und verschärft die Verordnung aus dem Jahr 2000. Sie gilt in Deutschland direkt.

2010



Der UBA-Präsident stellt den Bericht „**Fluorierte Treibhausgase vermeiden – Wege zum Ausstieg**“ in Brüssel vor, der Minderungs- und Ersatzmöglichkeiten fluoriierter Treibhausgase beschreibt.

2014

Die neue **europäische F-Gas-Verordnung (Nr. 517/2014)** mit weiteren Verboten und der schrittweisen Mengenbeschränkung („Phase down“) von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW) wird verabschiedet. Die HFKW-Verkaufsmengen sollen bis 2030 schrittweise auf ein Fünftel der heutigen Mengen gesenkt werden.

2016



15. Oktober: Auf der 28. Vertragsstaatenkonferenz des Montrealer Protokolls in Kigali (Ruanda) werden die teilfluorinierten Stoffe (HFKW) ins Montrealer Protokoll aufgenommen, denn ihr Verbrauch als FCKW-Ersatzstoffe steigt stark an. Damit beginnt eine neue Ära: Die HFKW schädigen zwar nicht die Ozonschicht, tragen aber zum Klimawandel bei. Bis 2047 soll ihre Menge auf 15 bis 20 % der Ausgangsmengen reduziert werden.

2017

Anpassung der deutschen Chemikalien-Klimaschutzverordnung von 2008 an die neue europäische F-Gas-Verordnung.

2018

Gemäß F-Gas-Verordnung wird die dem Markt zur Verfügung stehende HFKW-Menge auf 63 % der Ausgangsmenge sinken (in t CO₂eq berechnet, bezogen auf die Jahresdurchschnittsmenge der Jahre 2009 – 2012).

2020

Kälteanlagen mit HFKW (GWP > 2.500) werden verboten, ebenso mobile Raumklimageräte mit HFKW (GWP > 150).

2030

Dem europäischen Kältemittelmarkt stehen nur noch 21 % der HFKW-Ausgangsmenge von 2015 zur Verfügung.

4 Die Suche nach Alternativen

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind nicht brennbar und wurden wegen ihrer technischen Eigenschaften vielfältig und in großem Umfang verwendet. Halone (Fluorbromkohlenwasserstoffe) kamen als Feuerlöschmittel zum Einsatz. Einige weitere halogenierte Stoffe¹, die ebenfalls die Ozonschicht schädigen, wie Tetrachlorkohlenstoff, waren zum Beispiel übliche Laborchemikalien.

Nach der Entdeckung, dass diese Stoffe die Ozonschicht schädigen, begann die Suche nach möglichen Ersatzstoffen und neuen Techniken. Als Ersatzstoffe für FCKW und Halone suchten die Hersteller zunächst Stoffe mit sehr ähnlichen Eigenschaften und konzentrierten sich daher auf chemisch verwandte Stoffe. Die Wahl fiel teilweise auf teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW). Da sie jedoch ebenfalls die Ozonschicht schädigen, wenn auch in geringerem Maße als die FCKW und Halone, sind auch die HFCKW heute weitgehend verboten. Eine weitere verwandte Stoffgruppe sind die voll- und teilfluorierten Kohlenwasserstoffe (FKW und HFKW), die bis heute Anwendung finden. Diese Stoffe schädigen zwar nicht die Ozonschicht, sind aber schädlich für das Klima und müssen daher auch ersetzt werden (siehe Kapitel 7).

Das Umweltbundesamt (UBA) beteiligte sich sehr aktiv in den laufenden Diskussionen zu Alternativen und forderte den schnellen Ausstieg aus den FCKW und Halonen mit dem Ziel, langfristig nachhaltige Stoffe und Verfahren einzuführen.

Gemeinsam mit Kälte- und Klimafachleuten und den Betreibern von Kälteanlagen suchte das UBA nach nachhaltigen Ersatzmöglichkeiten für FCKW- und später HFKW-Kältemittel. Zwischenzeitlich oblag dem UBA die Bekanntgabe von Ersatzkältemitteln. 1992 bis 1993 unterstützte das UBA den Vollzug der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung bei der Erteilung von Ausnahmegenehmigungen für Halon-Feuerlöschmittel.

Der schnelle Ausstieg Deutschlands aus den FCKW in einer Reihe von Anwendungen hatte einen unerwarteten positiven Nebeneffekt: Weil die später

intensiv als Alternativen vermarkteten HFKW noch nicht verfügbar waren, etablierten sich in einigen Anwendungen halogenfreie (natürliche) Stoffe, die auch nicht wieder verdrängt wurden.

Das UBA forderte von Anfang an nachdrücklich, sofort auf halogenfreie Stoffe umzustellen und keine HFKW als Ersatz einzuführen, da diese ebenfalls stark zum Treibhauseffekt beitragen. Mit der Industrie führte das UBA eine Reihe von Projekten zu innovativen Verfahrensumstellungen durch, etwa zur FCKW-freien Herstellung von Polyurethan (PUR)-Hart- und Weichschäumen und zur Entfettung von Metallteilen ohne FCKW-Lösemittel.

Im Jahr 1976 gelangten allein in der Bundesrepublik Deutschland 53.000 Tonnen FCKW aus Spraydosen in die Atmosphäre. Die deutsche Industrie verpflichtete sich 1977 das FCKW-Volumen für Aerosole um 30 % bis 1979 zu mindern. Die amerikanische Umweltbehörde verbot 1978 FCKW als Treibgas in Haushalts- und Kosmetikspraydosen. Ein Verbot war damals in Deutschland nicht durchsetzbar, aber das UBA setzte im Jahr 1978 mit dem ersten Umweltzeichen (Blauer Engel) für Spraydosen ohne FCKW ein wichtiges Zeichen. Schon lange werden keine FCKW in Sprays mehr eingesetzt.

Durch die Vermittlung von Greenpeace und UBA wurde im März 1992 der erste Kühlschrank „Greenfreeze“ von der Firma Foron ohne halogenierte Treib- und Kältemittel gebaut. UBA und BMUB unterstützten die Einführung von FCKW-freien Kühlschränken durch die Festlegung entsprechender Umweltzeichenkriterien, die weitere Hersteller zum Umdenken bewegten. Heute wird in fast allen Haushaltskühlschränken Isobutan (R600a) als Kältemittel eingesetzt.

1 Halogenierte Stoffe: Stoffe, die Halogene, also die Elemente Fluor, Chlor, Brom oder Jod, enthalten.

Tabelle 1

Auswahl an FCKW, HFKW und deren Gemische sowie halogenfreien Verbindungen. GWP₁₀₀: Berechnung des Treibhauspotenzials auf 100 Jahre.

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW/HFCKW)			
Industrielle Bezeichnung	Chemische Bezeichnung / Mischungsverhältnis	Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) [4]	Ozonschicht schädigendes Potenzial (ODP) [5]
FCKW-11 / R11	Trichlorfluormethan	4.750	1
FCKW-12 / R12	Dichlordifluormethan	10.900	1
FCKW-115 / R115	Chlorpentafluorethan	7.370	0,6
HFCKW-22 / R22	Chlordifluormethan	1.810	0,055
HFCKW-1233zd (E)	trans-1-Chlor-3,3,3-Trifluorprop-1-en	4,5 [7]	0,00034 [6]
R502 (R22/R115)	48,8 / 51,2 m %	4.657	0,23
Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW)			
Industrielle Bezeichnung	Chemische Bezeichnung / Mischungsverhältnis	Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) [4]	Ozonschicht schädigendes Potenzial (ODP) [5]
HFKW-32 / R32	Difluormethan	675	0
HFKW-125 / R125	Pentafluorethan	3.500	0
HFKW-134a / R134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	1.430	0
HFKW-143a / R143a	1,1,1-Trifluorethan	4.470	0
HFKW-1234yf / R1234yf	2,3,3,3-Tetrafluorpropen	4 [7]	0
HFKW-1234ze / R1234ze (E)	trans-1,3,3,3-Tetrafluorprop-1-en	7 [7]	0
R404A (R125/R134a/R143a)	44 / 4 / 52 m %	3.922	0
R407C (R32/R125/R134a)	23 / 25 / 52 m %	1.774	0
R410A (R32/R125)	50 / 50 m %	2.088	0
Halogenfreie Verbindungen			
Industrielle Bezeichnung	Chemische Bezeichnung / Mischungsverhältnis	Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) [8]	Ozonschicht schädigendes Potenzial (ODP) [5]
R290	Propan	3	0
R600	n-Butan	4	0
R600a	Isobutan	3	0
R717	Ammoniak	0	0
R718	Wasser	0 [4]	0
R744	Kohlendioxid	1 [4]	0

Quelle: siehe Verweise



Sammlung von Bestellungen für die neuen FCKW-freien Kühlschränke.

Die Liste der Produkte, die sich durch einen Verzicht auf ozonschichtschädigende oder klimaschädliche halogenierte Stoffe auszeichnen, lässt sich bis heute fortsetzen. So haben sich zum Beispiel einige Supermarktketten inzwischen freiwillig verpflichtet, in neuen Kälteanlagen nur noch natürliche Kältemittel wie beispielsweise CO₂ oder Propan einzusetzen. Diesen Trend unterstützte das UBA durch die Erarbeitung von Umweltzeichenkriterien für klimafreundliche Supermärkte. Seit 2013 können Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte, die besonders energieeffizient betrieben werden und in der Kälteanlage nur halogenfreie Kältemittel einsetzen, mit dem Blauen Engel (RAL-UZ 179) ausgezeichnet werden.

Das UBA begleitet weiterhin die Einführung von umwelt- und klimaneutralen Stoffen und Techniken in vielfältiger Weise, mit Informationen über Lösungsmöglichkeiten, Hinweisen auf aktuelle und zukünftige Probleme, Erarbeitung von Lösungsstrategien und der Unterstützung von Unternehmen bei deren Umsetzung.

Als Teil seines gesetzlichen Auftrags ist das UBA eine Informationsstelle für Bürger, aber auch für Unternehmen und Vollzugsbehörden. Auf unserer Homepage sind die jeweils aktuellen nationalen und internationalen Regelungen, Daten und Forschungsergebnisse zu finden, ebenso die Berichte des UBA an die Europäische Kommission und den Weltklimarat (IPCC) über die Emissionen fluoriierter Treibhausgase. Eine Auswahl an Berichten und weiteren Publikationen des UBA sind im Anhang in Abschnitt 9.1 aufgeführt.

5 Messungen halogenerter Gase in der Atmosphäre

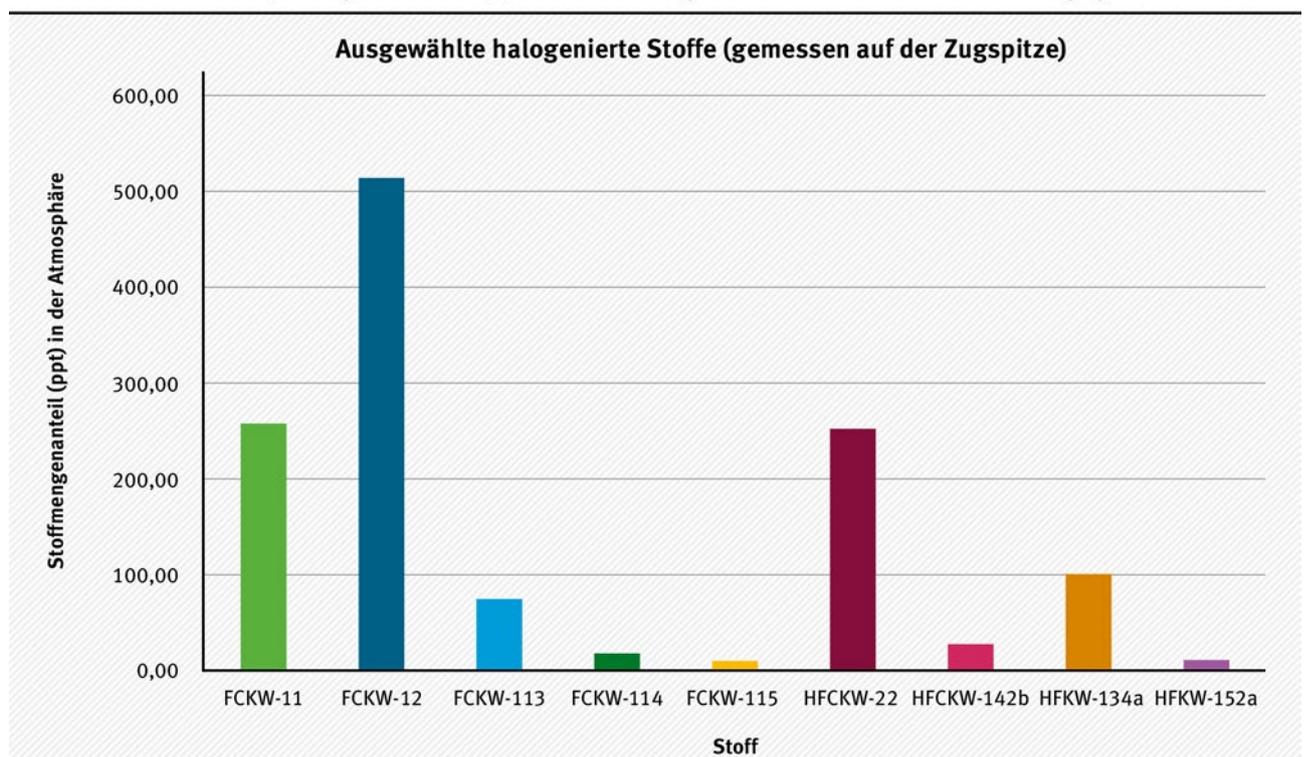
Seit 2013 überwacht das UBA in der unteren freien Atmosphäre halogenierte Treibhausgase, zu denen auch die Ozonschicht schädigende Stoffe gehören. Dazu betreibt es in der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus eine Messstation des GAW Globalobservatoriums Zugspitze/Hohenpeissenberg. Die Globale Atmosphärenüberwachung, kurz GAW, verfolgt das Ziel, für das globale System der UNO zur Überwachung des Klimas (GCOS) eine weltweite Datenbasis von hoher Qualität zu erstellen. Damit wird auch eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Messungen nach Stand der Wissenschaft gewährleistet, um verbesserte Klimamodelle zu entwerfen und genauere Analysen zur Wirksamkeit umweltpolitischer Maßnahmen zu erstellen, so zum Beispiel auch zum Erfolg des Montrealer Protokolls. Ein weiteres Ziel sind präzisere Vorhersagen klimatischer Veränderungen, um effektivere umweltpolitische Maßnahmen treffen zu können.

Der Vergleich der atmosphärischen Konzentrationen halogenerter Stoffe, die seit 2013 auf der Zugspitze gemessen werden (Abbildung 1), mit Langzeitmessungen der wichtigsten halogenierten Spurengase (Abbildung 2) anderer Stationen zeigt, dass die Messwerte für die einzelnen Stoffe gut übereinstimmen.

Andere Messstationen erfassen FCKW in der Atmosphäre bereits seit den 1970er Jahren. Deren Messreihen zeigen, dass die Konzentrationen der FCKW nicht weiter zunehmen (Abbildung 2 b). Dies beweist, dass das Montrealer Protokoll seinen Zweck erfüllt und die stark ozonschichtschädigenden Stoffe kaum noch freigesetzt werden. Allerdings nehmen die Konzentrationen seit dem Jahr 2000 nur langsam ab, so dass sich die Ozonschicht nur sehr langsam erholen kann und das Ozonloch nach wie vor große Ausmaße annimmt (siehe Bild Seite 4). Grund für die langsame Abnahme ist die Lebensdauer der FCKW in der Atmosphäre. Diese beträgt für den FCKW-11 45 Jahre,

Abbildung 1:

Monatsmittelwert (Dezember 2016) ausgewählter halogenerter Stoffe, die durch das Montrealer Protokoll geregelt und vom UBA seit 2013 auf der Zugspitze überwacht werden. Die atmosphärischen Konzentrationen der klimawirksamen Spurengase sind in ppt als Stoffmengenanteile oder Molenbrüche angegeben.



Quelle: UBA 2017

für den FCKW-12 sogar 100 Jahre. Der Verbrauch von Ozonschicht schädigenden Stoffen liegt aktuell, gewichtet nach Ozonschicht schädigendem Potenzial (ODP), bei nahe Null (siehe Abbildung 3 im folgenden Kapitel). Das Ozonloch besteht also weiterhin durch die Wirkung von Stoffen, die vor Jahrzehnten in die Atmosphäre emittiert wurden.

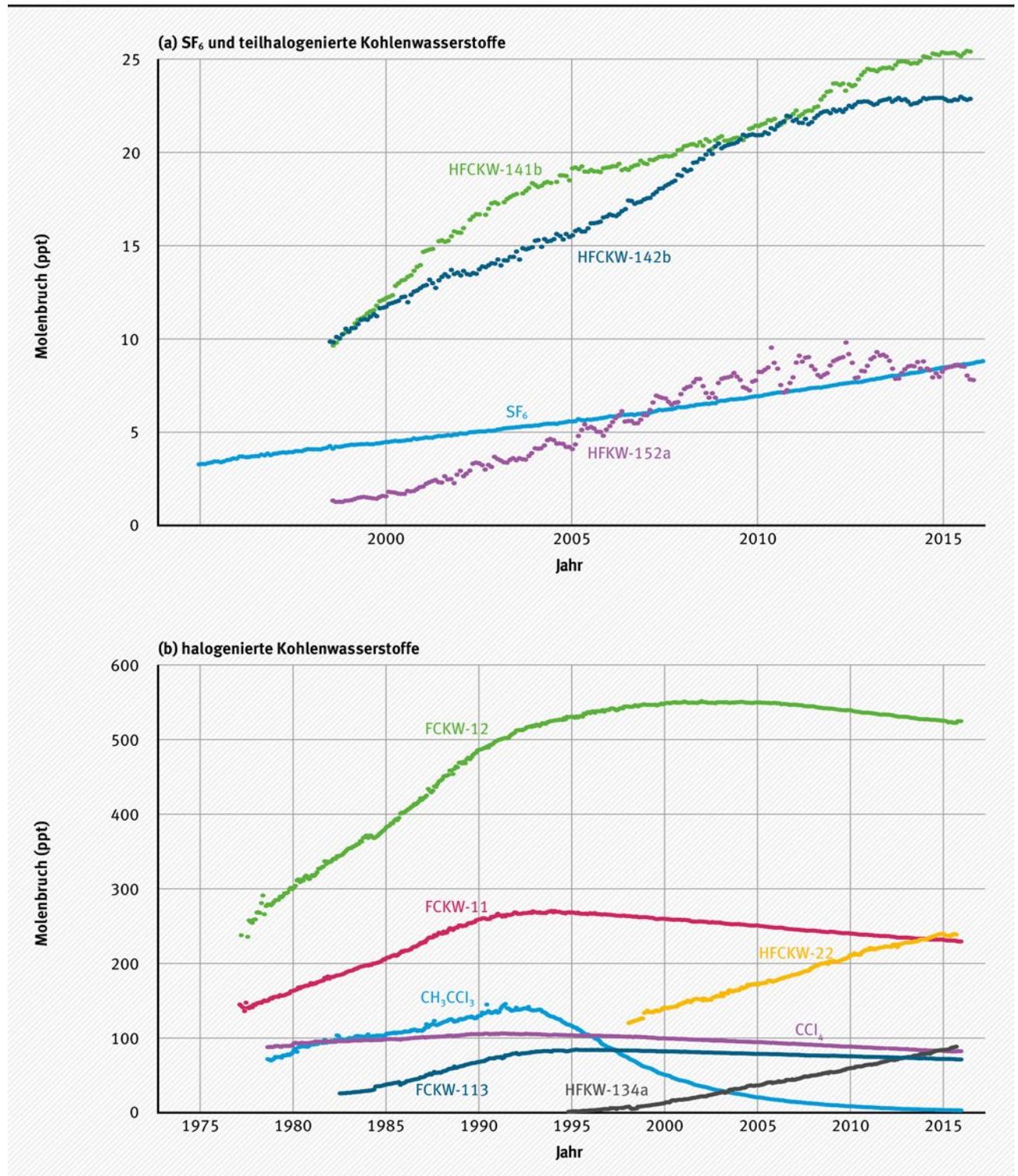
Die UBA-Messstation auf der Zugspitze ist die dritte, die für das GAW-Programm in Mitteleuropa halogenierte Spurengase überwacht, die durch das Montrealer Protokoll geregelt werden. Zusammen mit Messdaten der beiden anderen Stationen in der Schweiz und in Italien eröffnet sich so die Möglichkeit, mit Modelltechniken der Ausbreitungsrechnung die Emission der halogenierten Treibhausgase in Mitteleuropa zu quantifizieren und damit die jährlichen Emissionsstatistiken der einzelnen Länder zu bestätigen.



Umweltforschungsstation Schneefernerhaus auf der Zugspitze.

Abbildung 2:

Langzeittrend monatlicher Mittelwerte der wichtigsten halogenierten Ozonschicht schädigenden Kohlenwasserstoffe [9]. Ebenfalls erfasst sind Schwefelhexafluorid (SF_6) und die beiden HFKW 152a und 134a. Atmosphärische Konzentrationen sind in ppt als Stoffmengenanteile (Molenbrüche) angegeben.



Quelle: WMO Greenhouse Gas Bulletin [9]

6 Erfolge des Montrealer Protokolls in Zahlen

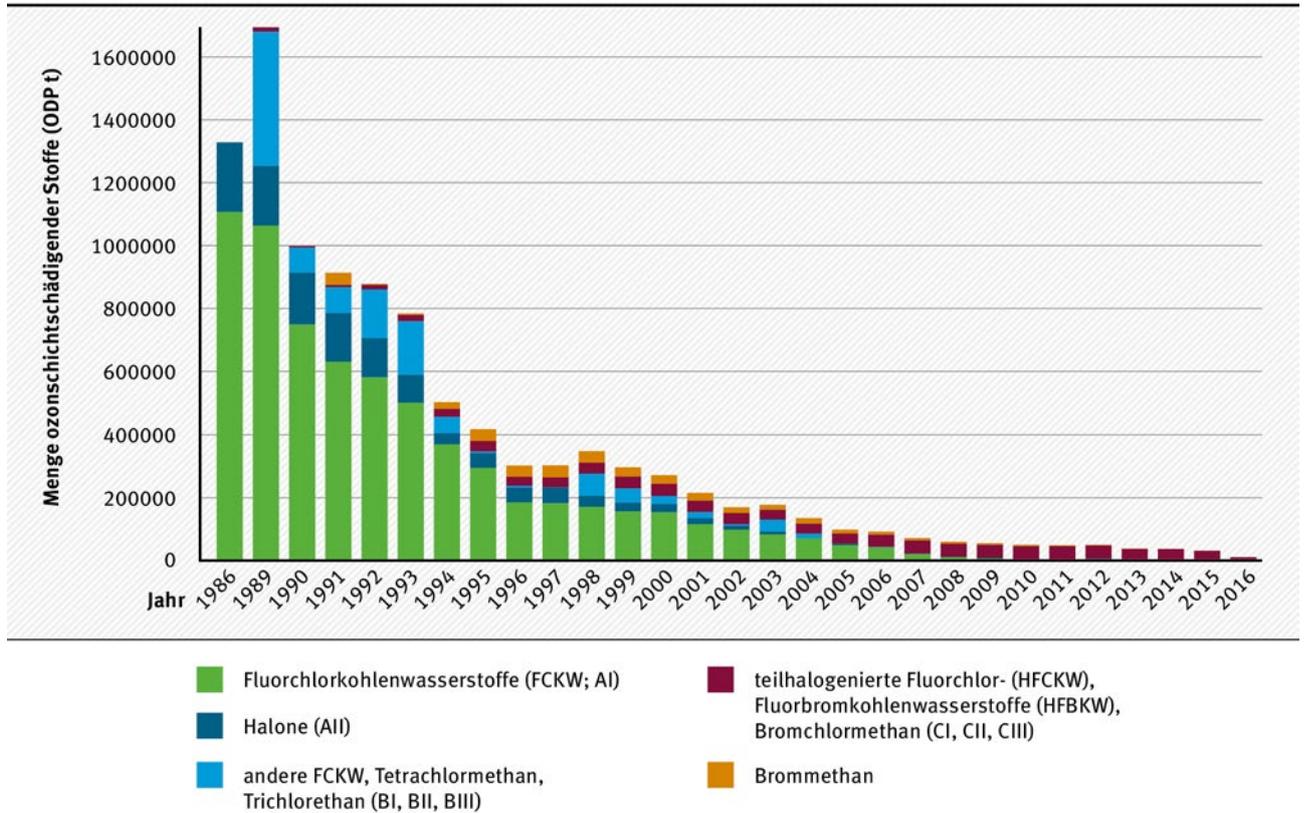
Das Montrealer Protokoll und seine Folgebeschlüsse haben die Staatengemeinschaft in einer bisher nie dagewesenen Konsequenz geeint. Seit dem 16. September 2009 sind das Wiener Übereinkommen und das Montrealer Protokoll die ersten Abkommen in der Geschichte der Vereinten Nationen, die von allen Staaten der Welt ratifiziert wurden. Heute, dreißig Jahre nach dem Beschluss des Montrealer Protokolls, sind die Ergebnisse der vereinbarten Ziele deutlich sichtbar.

Weltweit sanken die Produktions- und Verbrauchsmengen der ozonschichtschädigenden Stoffe in nur wenigen Jahren drastisch (Abbildung 3).

Gleichzeitig verhinderten die Vereinbarungen des Montrealer Protokolls eine zusätzliche Erhöhung der Treibhausgasemissionen. Trotz dieser ermutigenden Daten müssen auch in Zukunft Anstrengungen unternommen werden, um die Emissionen halogenierter Verbindungen zu verringern. Wie neueste Untersuchungen zeigen, führt der vermehrte Ausstoß von nicht im Montrealer Protokoll geregelten Chemikalien zu einer Verlangsamung der Regeneration der Ozonschicht und könnte die Erfolge des Montrealer Protokolls nachhaltig gefährden [11]. Darüber hinaus tragen halogenierte Verbindungen (FCKW, Halone, HFKW und andere fluorierte Treibhausgase) aufgrund ihrer Langlebigkeit mit einem Anteil von ca. 13 % nicht unerheblichen zum durch den Menschen verursachten Treibhauseffekt bei [12].

Abbildung 3:

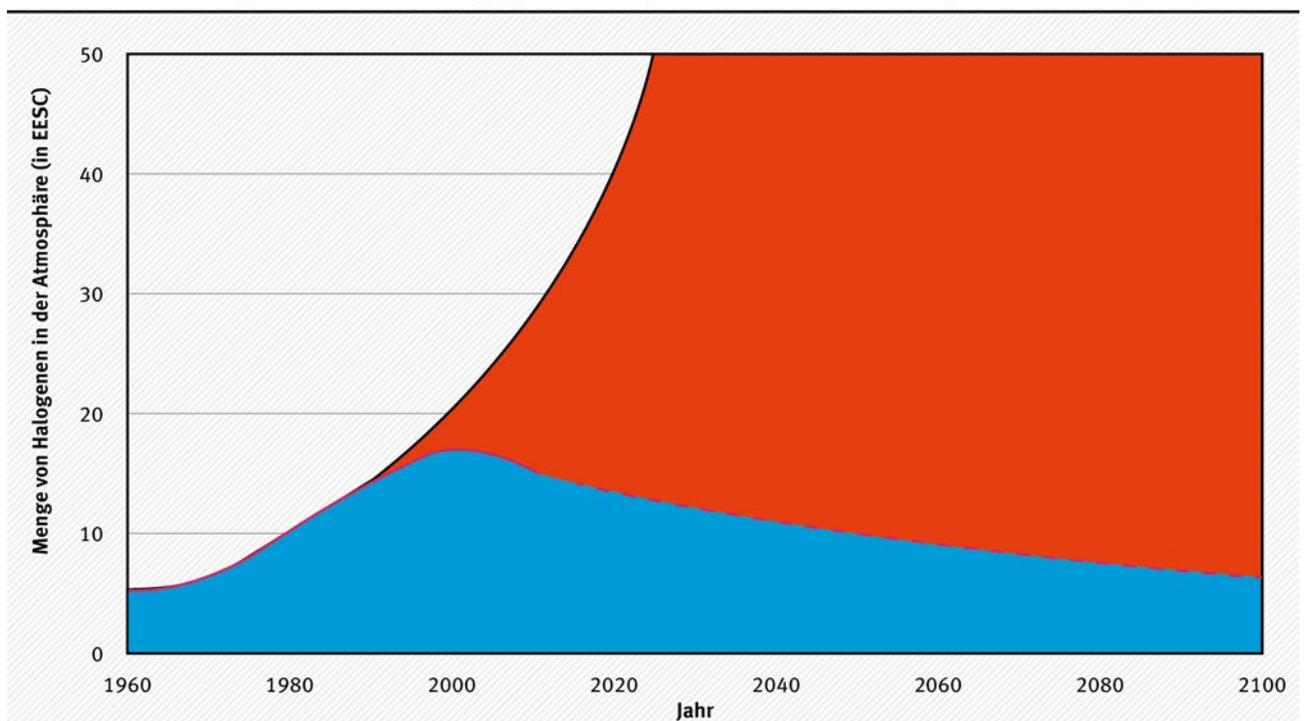
Weltweiter Verbrauch der im Montrealer Protokoll verankerten Ozonschicht schädigenden Stoffe in nach Ozonerstörungspotenzial (ODP) gewichteten Tonnen in den Jahren 1986 bis 2016.



Quelle: UNEP [10]

Abbildung 4:

Ozonschicht schädigende Stoffe in der Stratosphäre heute (durchgezogene rote Linie) und zukünftig (gestrichelte rote Linie). Ohne das Montrealer Protokoll würden sich die Mengen stark erhöhen (schwarze Linie). Ozonschicht schädigende Stoffe sind angegeben als Equivalent Effective Stratospheric Chlorine (EESC).



Quelle: UNEP [13]

7 Lösungen heute und für die Zukunft

Wie vor 30 Jahren die FCKW sind heute die HFKW in der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik noch die Standardkältemittel. Und ähnlich wie damals die FCKW, haben die HFKW keine Zukunft mehr. Weltweit ist der HFKW-Einsatz als Kältemittel mengenmäßig gesehen der größte Anwendungsbereich für fluorierte Treibhausgase. Daher wird dieser im Folgenden näher betrachtet.

In den 1980er Jahren stand beim FCKW-Ausstieg der Schutz der Ozonschicht im Fokus, Aspekte wie die Klimawirksamkeit der Ersatzstoffe und die Energieeffizienz der Anlagen wurden kaum thematisiert. Für die FCKW waren ab Mitte der 1990er Jahre die HFKW als Ersatzstoffe verfügbar, die eher geringe technische Änderungen an den Anlagen erforderten. Für den Kältetechniker änderte sich wenig, außer dass er sich auf den vermehrten Einsatz von Gemischen einstellen musste.

Heute stehen wir vor einer anderen, jedoch ebenfalls lösbaren Situation. Diesmal gibt es keine Palette chemischer Kältemittel, die die Anforderungen „kein die Ozonschicht schädigendes Potenzial (ODP)“ und „niedriges Treibhauspotenzial (GWP)“ erfüllen und typische FCKW-Eigenschaften wie „nicht brennbar“ und „nicht toxisch“ aufweisen (siehe Tabelle 1). Die gesamte Kälte- und Klimabranche wird sich daher auf Kältemittel mit anderen Eigenschaften oder auf gänzlich andere Techniken einstellen müssen.

Die kritische Diskussion über das hohe Treibhauspotenzial der HFKW in den letzten Jahr(zehnt)en hat zur Entwicklung von neuen Anlagen und Techniken geführt: Der Markt bietet für nahezu alle mengenmäßig relevanten Anwendungen Lösungen mit halogenfreien Kältemitteln. Das Interesse an solchen Techniken steigt im Handwerk und bei den Anwendern stetig an.

Eine langfristig nachhaltige Kälte- und Klimatechnik ist heute keine Vision mehr. Allerdings müssen alle handelnden Personen wie Planer, Komponentenhersteller, Kälteanlagenbauer, Wartungsbetriebe und Betreiber die am Markt vorhandenen Möglichkeiten ausschöpfen und weiterentwickeln.

7.1. Kältemittelverwendung bis heute

Die klimaschädigenden HFKW-Kältemittellemissionen nehmen in Deutschland und der Welt seit 1990 stark zu. Mittlerweile wird dieser Anstieg als Problem für das Klima anerkannt (Abbildung 5).

Die Verwendungsmengen von HFKW-Kältemitteln sind in Deutschland bisher nicht rückläufig, sondern seit 2013 wieder leicht gestiegen. Allerdings haben sie ein zunehmend kleineres Treibhauspotenzial – der durchschnittliche GWP-Wert der im Jahr 2015 verwendeten Mengen betrug 1.882. Im Jahr 2013 lag er noch bei 1.944. Die höchsten HFKW-Mengen wurden für die Erstfüllung von Kälte- und Klimaanlagen verwendet (Abbildung 6).

Abbildung 5:

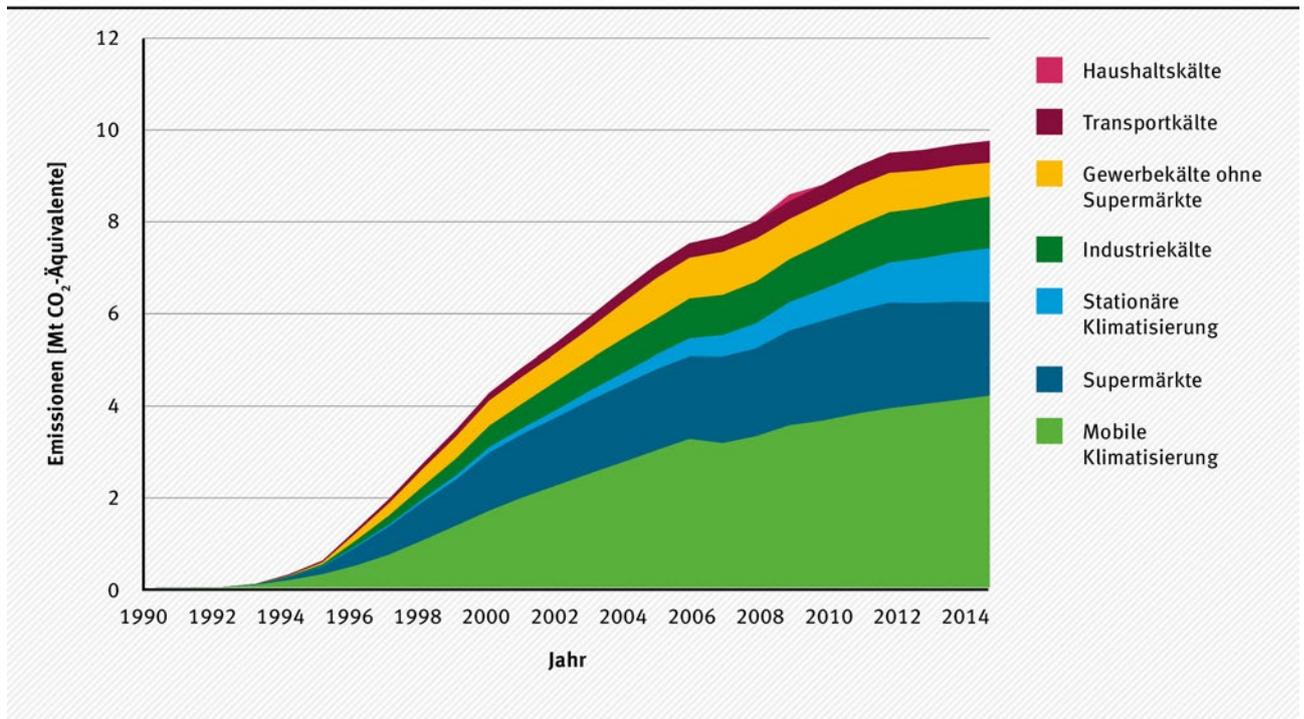
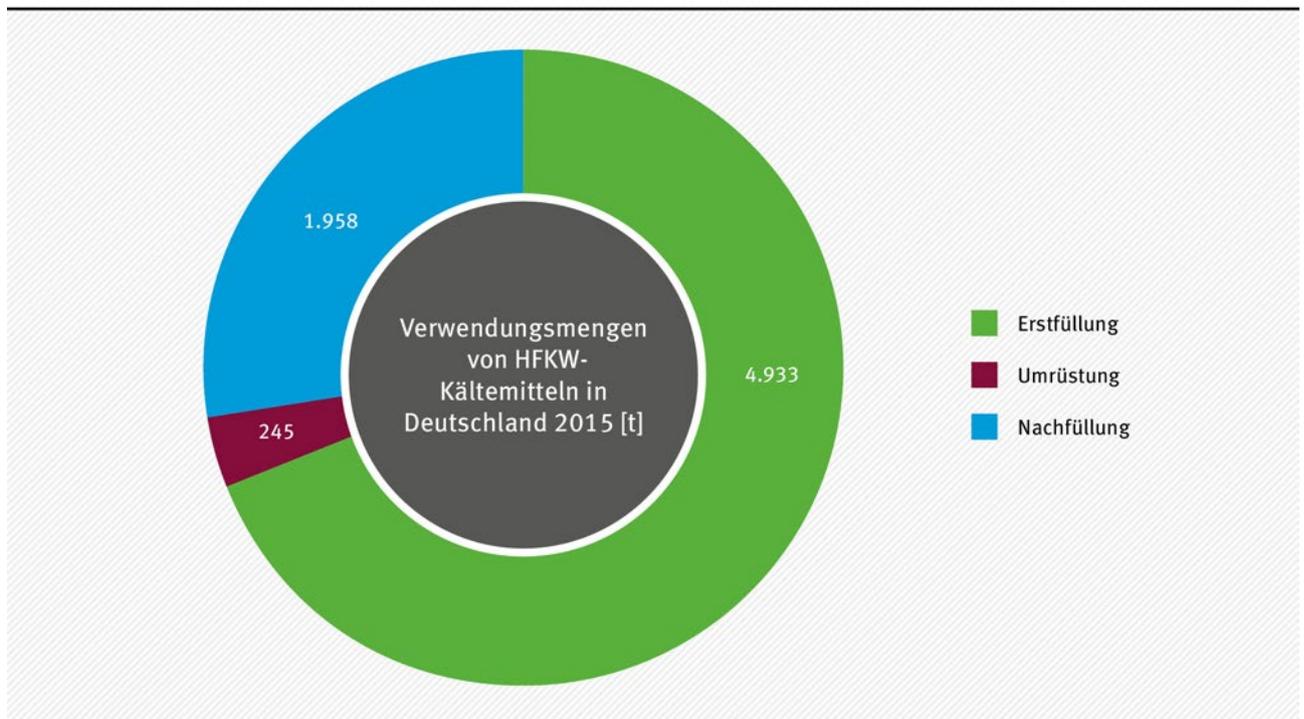
HFKW-Kältemittlemissionen in Deutschland 1990 – 2015.

Abbildung 6:

HFKW-Kältemittelmengen in metrischen Tonnen zur Erstfüllung, Umrüstung und Nachfüllung in Deutschland im Jahr 2015.

7.2 Kältemittel für die Zukunft

Bereits im Jahr 2018, spätestens aber 2019, werden die heute noch üblichen HFKW nur noch in deutlich geringerem Maße verfügbar sein. In wenigen Jahren wird das durchschnittliche Treibhauspotenzial aller am Markt verfügbaren Kältemittel gegenüber dem Wert des Jahres 2015 halbiert sein. Im Jahr 2030 lassen sowohl die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluoriierte Treibhausgase als auch der Kigali-Beschluss im Rahmen des Montrealer Protokolls zur Reduktion von HFKW die in Industriestaaten heute üblichen Kältemittel nur noch in einem so geringen Umfang zu, dass selbst neue Kälteanlagen mit Kältemitteln mit mittlerem Treibhauspotenzial wie R134a (GWP 1.430) oder R32 (GWP 675) eine Rarität sein dürften.

Der überwiegende Teil der verfügbaren Kältemittel wird ein Treibhauspotenzial von weniger als 20 haben. Dieses Kriterium erfüllen alle natürlichen Kältemittel (z. B. CO₂, Propan, Ammoniak und Wasser), aber auch ungesättigte Fluorkohlenwasserstoffe wie R1234yf oder R1234ze. Heute am Markt verfügbare Gemische mit diesen oder ähnlichen Fluorkohlenwasserstoffen haben jedoch ein so hohes Treibhauspotenzial, dass sie für großvolumige Anwendungen nicht in Betracht kommen.

Anlagen mit natürlichen Kältemitteln sind nachhaltige und zukunftstaugliche Lösungen. Ihre energetische Effizienz ist vielfach belegt (siehe Abschnitt 9.1). Natürliche Kältemittel haben kein oder nur ein geringes Treibhauspotenzial und tragen daher wenig zum Klimawandel bei. Sie zeichnen sich durch gut erforschte Eigenschaften, die Kenntnis ihrer Herstellungspfade und der damit verbundenen Emissionen sowie ihrer Abbauprodukte aus. Heute nicht absehbare schädliche Auswirkungen durch die Verwendung natürlicher, halogenfreier Kältemittel sind daher nicht zu erwarten. Inwieweit ungesättigte Fluorkohlenwasserstoffe ihre Eignung als Lösung für übermorgen ebenfalls nachweisen, bleibt abzuwarten.

7.3 Lebensmitteleinzelhandel

Als Kältemittel wurden im Lebensmitteleinzelhandel bis in die 1990er Jahre üblicherweise FCKW, vor allem der FCKW-12, der HFCKW-22 und das FCKW-haltige Gemisch R502 eingesetzt. Diese Kältemittel wurden fast vollständig durch den HFKW-134a (für FCKW-12) und durch HFKW-Gemische (R404A, R407C, R507A) ersetzt.

Es gab immer wieder Ansätze, natürliche Kältemittel als FCKW-Ersatz zu verwenden. Zukunftsfähige Lösungen, die heute in großer Stückzahl verbreitet sind, begannen im Lebensmitteleinzelhandel ihren Erfolgskurs jedoch erst im Jahr 2006, zu einem Zeitpunkt, als die Umstellung auf HFKW schon größtenteils erfolgt war.

Bereits die im Jahr 2008 veröffentlichte Studie des UBA „Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt“ zeigte als Ergebnis von TEWI¹-Analysen, dass CO₂-Anlagen in Verbrauchermärkten und Selbstbedienungs-Warenhäusern in ihrer Klimabilanz der R404A-Referenztechnik deutlich überlegen sind. Aus Kostengründen setzten Anlagenbetreiber aber weiterhin auf HFKW. In Bezug auf die Höhe der Kältemittelemissionen sind Supermarktkälteanlagen in Deutschland noch heute mit 27 % das mengenmäßig relevanteste Anwendungsfeld in der stationären Kälte- und Klimatechnik (Abbildung 5). Die positiven Ergebnisse der Studie waren für das Bundesumweltministerium und das UBA der Anlass für den „Runden Tisch Supermarktkälte“. Er diente dem Erfahrungsaustausch von Betreibern, Anlagen- und Komponentenbauern mit der Politik und dem Handwerk. Sein Ziel war die Förderung einer breiten Markteinführung besonders energieeffizienter und klimafreundlicher Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln im Supermarkt.

Das Ziel des „Runden Tisches Supermarktkälte“ ist erreicht: Der Trend der letzten Jahre zu einer immer weiter steigenden Verwendung von HFKW in Supermarktkälteanlagen ist umgekehrt. Dazu haben auch Fördermaßnahmen und kommende Verbote beigetragen. In Deutschland sind inzwischen einige hundert Anlagen mit natürlichen Kältemitteln in Betrieb, in Europa mehrere tausend, Tendenz steigend. Meist

1 TEWI: Total Equivalent Warming Impact.

enthalten diese Anlagen CO₂ oder Kohlenwasserstoffe als Kältemittel. Die Konzepte unterscheiden sich zum Teil erheblich und reichen von Kaskadenanlagen über indirekte Anlagen bis hin zu transkritisch arbeitenden CO₂-Kälteanlagen. Diese werden heute von allen namhaften Kälteanlagenherstellern angeboten und kontinuierlich weiter verbessert.

Bei der Entscheidung für eine Neuanlage steht aber nicht mehr nur die reine Kälteversorgung im Vordergrund. Vielmehr sind Gesamtkonzepte gefragt, bei denen die Kälte- und Wärmeversorgung für den Markt optimiert und aufeinander abgestimmt sind. Die vorhandenen Möglichkeiten sind abhängig vom Standort und der Größe des Marktes. Bei einem Neubau ergeben sich vielfältigere Möglichkeiten als bei Bestandsbauten.

Auch in steckerfertigen Geräten, wie sie ebenfalls im Lebensmitteleinzelhandel eingesetzt werden, erfolgte die Ablösung der FCKW zunächst durch HFKW. Getrieben durch die Entwicklungen im Bereich der Haushaltskühlschränke, die in Deutschland nun schon lange mit Kohlenwasserstoffen kühlen, setzen sie sich auch in kleineren steckerfertigen Geräten immer mehr durch. Heute findet die Diskussion um halogenfreie Alternativen vor allem bei größeren Geräten und dezentralen Einzelanlagen mit externem Verflüssigungssatz statt. Verflüssigungssätze gibt es bereits ohne fluorierte Kältemittel, allerdings nicht von jedem Lieferanten oder Hersteller und nicht für alle Leistungsbereiche. Aufgrund der bereits beschlossenen Verbote und weiteren Vorschriften



Kühlmöbel einer transkritisch arbeitenden CO₂-Kälteanlage

geht das UBA zukünftig von einer deutlichen Zunahme des Angebots aus.

Seit 2016 ist das UBA Partner im EU-Projekt SuperSmart, dessen Ziel es ist, die Verbreitung effizienter und umweltfreundlicher Kälte- und Klimatechnik im Supermarktsektor zu unterstützen. Dafür werden unter anderem Informationskampagnen, Workshops und spezielle Schulungen durchgeführt und die Kriterien für ein EU-Umweltzeichen für Supermärkte erarbeitet.

- Weitergehende Informationen zur Kühlung in Supermärkten sind zu finden unter dem Link: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/supermaerkte>.

7.4 Wärmepumpen

Wärmepumpen werden zukünftig eine immer bedeutendere Rolle in der Wärmeversorgung von Gebäuden, wie in Ein- und Mehrfamilienhäusern, in der Warmwasserbereitung sowie im Gewerbe spielen, da zur Erreichung der nationalen, europäischen und globalen Klimaschutzziele eine Energiewende und damit verbunden eine Wärmewende notwendig ist. Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung [16] enthält einen „Fahrplan für einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“. Eine Voraussetzung dafür ist die schrittweise Abkehr von fossilen Heizungssystemen. Die Wärmepumpe ist eine der Schlüsseltechnologien hierfür [17]. 2016 wurden in Deutschland 66.500 Heizungswärmepumpen und



Flüssigkeitskühler mit R290 (Propan) für die Kühlung der Münchener Großmarkthalle.

12.500 Warmwasserwärmepumpen verkauft, in Europa waren es insgesamt 988.000 Stück. Der Anteil der Wärmepumpen in neu fertiggestellten Wohngebäuden in Deutschland ist in den letzten 20 Jahren auf über 30 % und bei Nichtwohngebäuden auf etwa 6 % gestiegen. Mit der steigenden Anzahl an Wärmepumpen steigt auch die Menge der Emissionen, wenn Kältemittel mit hohen GWP-Werten eingesetzt werden.

In der Wärmepumpe zirkuliert ein Kältemittel in einem Kreislauf, um die Umweltwärme (aus Boden, Wasser oder Luft) auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben. Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln sind aufgrund ihrer thermodynamischen Eigenschaften nicht nur sehr energieeffizient, sondern auch besonders umweltfreundlich. Insbesondere im industriellen Bereich sind Großwärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln schon weit verbreitet. Als halogenfreie Kältemittel in Industriewärmepumpen kommen R744 (Kohlendioxid, CO₂), R717 (Ammoniak, NH₃), R723 (Gemisch Ammoniak, Dimethylether) und Kohlenwasserstoffe (z. B. R290, Propan) zum Einsatz. In Hauswärmepumpen werden derzeit jedoch über-

wiegend teilfluorierte Kohlenwasserstoffe als Kältemittel eingesetzt. Nur etwa 5 % der auf dem Markt verfügbaren Hauswärmepumpen enthalten ein halogenfreies Kältemittel. Um den vermehrten Einsatz von halogenfreien Kältemitteln in Wärmepumpen zu unterstützen, hat das UBA in den letzten Jahren Studien durchführen lassen, die Emissionsberechnungen und Effizienzvergleiche enthalten sowie Markthemmnisse identifizieren und bewerten (siehe Abschnitt 9.1). Für Wärmepumpen gibt es verschiedene Förderprogramme. Das UBA setzt sich dafür ein, dass zukünftig nur Wärmepumpen mit halogenfreiem Kältemittel eine Förderung erhalten.

- Weitergehende Informationen zu Wärmepumpen sind zu finden unter dem Link: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/waermepumpen>.



CO₂-Hochtemperaturwärmepumpe



Kaltwassersatz mit Kältemittel R718 (Wasser) für Prozesskühlung und Klimatisierung.

7.5 Gebäudeklimatisierung

In Deutschland haben Nichtwohngebäude wie Bürogebäude, Hotels und öffentliche Gebäude aufgrund baulicher und betrieblicher Unterschiede (Glasfassade ohne Verschattung, größere interne Wärmequellen wie Bürotechnik und Serverräume) einen bis um den Faktor 100 höheren Kühlenergiebedarf als Wohngebäude. Bis zum Jahr 2030 wird mit einer Verdopplung der energiebedingten CO₂-Emissionen zur Kühlung von Nichtwohngebäuden gegenüber dem Jahr 2010 gerechnet.

Die meisten Gebäude können in Mitteleuropa so gestaltet werden, dass sie keine oder kaum Kühlung benötigen – das vermeidet sowohl den Energieverbrauch als auch die Emission von Kältemitteln. Bei Neubauten ist der Handlungsspielraum am größten. Manche dieser Techniken lassen sich aber auch erfolgreich in bestehenden Gebäuden einsetzen. Um die Klimatisierung eines Gebäudes möglichst klimafreundlich zu gestalten, sind umfassende Strategien notwendig. Technische Konzepte und deren Bewertung sind in der UBA-Broschüre „Klimafreundliche Gebäudeklimatisierung“ beschrieben (siehe Abschnitt 9.1).

Grundsätzlich bieten sich für die Klimatisierung großer Gebäude zentrale Anlagen mit Flüssigkeitskühler (Kaltwassersatz) und Kaltwassernetz an. Hierfür gibt es von mehreren Herstellern Kälteerzeuger mit Ammoniak oder Propan, die durch ihre bessere Ener-

gieeffizienz gegenüber HFKW-Anlagen Betriebskosten sparen und daher bei Betrachtung der Lebenszykluskosten nicht schlechter abschneiden als vergleichbare HFKW-Anlagen.

Für das Klima als auch den Geldbeutel des Betreibers ist es am günstigsten, wenn Verdunstungskühlsysteme eingesetzt werden. Diese benötigen zwar deutlich mehr Wasser als herkömmliche Kompressionskältesysteme, zeichnen sich jedoch durch eine deutlich höhere Energie- und Kosteneffizienz im Betrieb aus. Mehrere solcher Systeme sind bereits in Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland installiert.

Nur ca. 3 % der Wohngebäudeflächen in Deutschland werden gekühlt. Hier kommen meist bewegliche Monoblock- oder fest installierte Monosplit-Geräte zum Einsatz. Monoblockgeräte haben den Nachteil, dass aufgrund der kompakten Bauweise die Wärmeübertrager relativ klein ausfallen, was eine schlechtere Energieeffizienz zur Folge hat. Außerdem muss die Abwärme mittels Schlauch durch ein geöffnetes Fenster nach draußen geleitet werden. Hierdurch strömt warme Außenluft in den Raum zurück, wodurch der Betrieb nicht nur ineffizienter, sondern auch ineffektiver ist als bei Split-Geräten. Monosplit-Geräte werden in Europa bisher ausschließlich mit HFKW-Kältemitteln angeboten und betrieben. Um hierzu Alternativen zu fördern, können bereits heute energieeffiziente Geräte, die ein natürliches Kältemittel einsetzen, mit dem Blauen Engel (RAL-UZ 204) ausgezeichnet werden. Geräte mit dem natürlichen Kältemittel Propan (R290) sind bisher fast ausschließlich in Indien erhältlich und gehören zu den effizientesten auf dem dortigen Markt. In China stehen Monosplit-Geräte mit R290 vor der Markteinführung, kleinere Stückzahlen wurden bereits weltweit installiert.

- Weitergehende Informationen zur Gebäudeklimatisierung sind zu finden unter dem Link: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierete-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung>.

7.6 Fahrzeugklimatisierung

Das Kältemittel FCKW-12 ist für mobile Klimaanlage in Europa seit spätestens 1995 und mittlerweile auch weltweit verboten. Ersetzt wurde FCKW-12 in Pkw- und den meisten anderen mobilen Klimaanlage schon seit 1991 durch den stark treibhauswirksamen teilfluorierten Kohlenwasserstoff Tetrafluorethan (HFKW-134a bzw. R134a).

Die Klimaanlage-Ausrüstungsrate neuer Pkw stieg in Deutschland von 25 % im Jahr 1995 auf heute 98 %. Die in die Atmosphäre freigesetzten Emissionen des HFKW-Kältemittels R134a aus Pkw stiegen entsprechend und betragen im Jahr 2015 allein in Deutschland 2.500 Tonnen bzw. 3,6 Millionen Tonnen CO₂eq.

Die europäische Richtlinie 2006/40/EG aus dem Jahr 2006 über die Emission aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen regelt seit 2011 den Ausstieg aus den HFKW bei Pkw und kleinen Nutzfahrzeugen. Hier sind seit 2017 nur noch Kältemittel mit einem geringen Treibhauspotenzial – unter 150 – zulässig, das heißt, HFKW-134a ist in neuen Pkw und kleinen Nutzfahrzeugen in der EU verboten.

Die führenden Fahrzeug- und Komponentenhersteller entwickelten schon vor dem Jahr 2006 Pkw-Klimaanlagen für das natürliche Kältemittel Kohlendioxid (CO₂ bzw. R744) – erste Anlagen gab es schon Anfang der 1990er Jahre. Aber auch einfache Kohlenwasserstoffe und brennbare fluorierte Kältemittel wie der HFKW-152a waren in der Diskussion.

Das UBA rüstete in einem durch das Bundesumweltministerium (BMUB) geförderten Forschungsvorhaben einen Pkw seiner Flotte mit einer CO₂-Prototyp-Klimaanlage aus und präsentierte ihn auf der Internationalen Automobilausstellung (IAA) Nutzfahrzeuge 2008. Die Prüfstandtests zeigten, dass die Anlage sehr gut kühlt und energetisch effizient ist. Der Pkw war von 2009 bis 2017 beim UBA im täglichen Einsatz und legte dabei 210.000 Kilometer zurück. Es war das weltweit erste Fahrzeug mit einer CO₂-Klimaanlage, das außerhalb der Erprobung der Automobilhersteller in Betrieb war.

Seit Inkrafttreten der europäischen Richtlinie wurde eine Vielzahl weiterer Kältemittel vorgeschlagen. Die meisten dieser Kältemittelmischungen mit halogenierten Gasen wurden wegen toxischer und/oder die Ozonschicht schädigender Bestandteile verworfen. Durchgesetzt hat sich der brennbare HFKW-1234yf.

Das UBA beauftragte im Jahr 2009 bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Versuche zum Brandverhalten des HFKW-1234yf. Dessen Einsatz ist unter anderem wegen seiner Brennbarkeit und chemischen Instabilität mit Risiken und zusätzlichen Umweltbelastungen verbunden.

Aufgrund der Erkenntnisse aus eigenen Brandversuchen im Jahr 2012 nahm die deutsche Autoindustrie die Entwicklung von Klimaanlage mit dem natürlichen Kältemittel CO₂ im Jahr 2013 wieder auf. Erste Pkw mit einer umweltfreundlichen CO₂-Klimaanlage



Der Dienstwagen des UBA mit der CO₂-Klimaanlage auf der Messe IAA Nutzfahrzeuge 2008.

Das Innere der neuen Kaltluftanlage im Dach des ICE 3 Freiburg im Breisgau.



werden seit 2016 angeboten, für 2017 sind weitere Pkw-Modelle deutscher Hersteller angekündigt.

Interessant sind CO₂-Anlagen für elektrisch angetriebene Fahrzeuge: sie können, neben der Kühlung im Sommer, im Winter als Wärmepumpe das Fahrzeug effizient heizen und so die Reichweite verbessern.

Bei Bus und Bahn wurden in Deutschland die FCKW ebenfalls durch den HFKW-134a ersetzt. Schon seit mehreren Jahren werden Anlagen mit dem natürlichen Kältemittel CO₂ in Bussen und Bahnfahrzeugen getestet. Mittlerweile werden erste Busse mit CO₂-Kleinserienanlagen ab Werk angeboten. Bei einer ICE-Serie erfolgt die Kühlung mit Kaltluft, dabei kann auf Kältemittel im herkömmlichen Sinn ganz verzichtet werden. Das UBA unterstützt derzeit ein Messprogramm an einem Zug mit einer neuen Generation dieser luftgestützten Klimaanlage.

- Weitergehende Informationen zu mobilen Klimaanlage sind zu finden unter dem Link: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierete-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/klimaanlagen-in-auto-bus-bahn>

8 Fazit

Das Montrealer Protokoll ist ein Meilenstein internationaler Umweltgesetzgebung, welches nicht nur die Ozonschicht effektiv schützt, sondern auch einen wichtigen Beitrag für den Klimaschutz leistet. Letzterem wird mit der Umsetzung des Beschlusses von Kigali und dem damit einhergehenden Aus für die HFKW gezielt Rechnung getragen. In Zukunft muss der zunehmende Einsatz von zwar klimaschonenden, aber hinsichtlich anderer Umweltwirkungen nicht unproblematischen ungesättigten Fluor(chlor)kohlenwasserstoffen kritisch begleitet werden, um sicherzustellen, dass sich hierdurch keine neuen Probleme ergeben. Mit den natürlichen Kältemitteln stehen bereits heute Alternativen zur Verfügung, mit denen diese vermieden werden. Wie neuere Untersuchungen zeigen, trägt der nach wie vor mengenmäßig bedeutsame Ausstoß von bisher im Montrealer Protokoll

nicht geregelten chlorierten Verbindungen zu einer Verlangsamung der Regeneration der Ozonschicht bei. Hier besteht Handlungsbedarf. Um die Erfolge des Montrealer Protokolls nicht zu gefährden, sollte bei den zukünftigen Verhandlungen der Vertragsstaaten die Aufnahme weiterer chlorierter Verbindungen in das Montrealer Protokoll geprüft werden.

Der weltweite Ausstieg aus den Ozonschicht schädigenden Stoffen zeigt, dass effektive Umweltschutzmaßnahmen mittels verbindlicher Verträge auf globaler Ebene möglich sind und zu Ergebnissen führen, die den Herausforderungen gerecht werden. Das Montrealer Protokoll ist daher auch Ansporn dafür, zum Gelingen ambitionierten Klimaschutzes auf internationaler Ebene beizutragen.

9 Anhang

9.1 Auswahl von Projekten und Publikationen des UBA

Bericht / Projekt	Inhalt / Ergebnis
1989 UBA-Bericht 7/89 „Verzicht aus Verantwortung: Maßnahmen zur Rettung der Ozonschicht“, Erich Schmidt Verlag 1989	Der Bericht beschreibt umfassend die Stoffgruppe der FCKW und Halone, deren Einsatzgebiete und die Ersatzmöglichkeiten. Die Informationen unterstützen die Politik bei der Gestaltung des Ausstieges.
1993 Studie zur Auswirkung von FCKW-Ersatzstoffen	Modellstudie zu Ozonerstörung und Treibhauseffekt von halogenierten Kohlenwasserstoffen mit Schwerpunkt bei FCKW-Ersatzstoffen, UBA-Vorhaben Nr. 104 02 729 Juni 1993.
1993 Investitionsvorhaben „Herstellung von FCKW-freiem PUR-Hartschaum nach dem THANOZON®-Verfahren“	UBA unterstützt die Einführung der Produktion von Polyurethan (PUR)-Hartschaum mit dem Kohlenwasserstoff Pentan als Ersatz für die vorher verwendeten ozonabbauenden Stoffe, Abschlussbericht November 1995, Signatur UBA-FB-AP-2063.
1994 Studie „Ermittlung und Bewertung von Ersatzkältemitteln für FCKW in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen“	Auf Basis der Studie gibt das UBA Ersatzkältemittel für R12-haltige Erzeugnisse nach der FCKW-Halon-Verbotsverordnung bekannt, was zur schnelleren Umrüstung von R12 Altanlagen führt.
1997 Investitionsvorhaben „VPF-Schäumverfahren zur Herstellung von FCKW-freien PUR-Weichschäumen“	Das UBA unterstützt die Herstellung von Polyurethan (PUR)-Weichschäumen ohne FCKW-Treibmittel, als Ersatzstoff wird heute CO ₂ verwendet, Abschlussbericht Januar 1997, Signatur UBA-FB-AP-2068.
1997 Studie „Ersatz von R502 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen“	Das UBA gibt Ersatzkältemittel für R502-haltige Erzeugnisse nach § 10 Abs. 2 der FCKW-Halon-Verbotsverordnung bekannt, so dass R502 Altanlagen zeitnah umgerüstet werden können.
1998 Studie „Ersatz des Kältemittels R22 in bestehenden Kälte und Klimaanlageanlagen“	Die Studie kommt zu dem Schluss, dass die Verwendung von HFCKW 22 in bestehenden Anlagen zunächst zulässig bleibt und keine Ersatzkältemittel bekannt gegeben werden.
2001 Studie „Ersatz des Kältemittels R22 in bestehenden Kälte und Klimaanlageanlagen – Aktueller Stand“	Mit der europäischen Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, wird die Verwendung von HFCKW 22 ab 1. Januar 2015 gänzlich verboten.
2004 UBA-Bericht „Fluorierte Treibhausgase in Produkten und Verfahren – Technische Maßnahmen zum Klimaschutz“	Als Ersatzstoffe für FCKW und Halone wurden zunehmend fluorierte Kohlenwasserstoffe verwendet. Der Bericht informiert zu Einsatz und Emissionen von fluorierten Kohlenwasserstoffen in 14 Einsatzbereichen und diskutiert Minderungsmöglichkeiten und Ersatzstoffe und -verfahren. Er unterstützte die Einführung und Umsetzung der europäischen F-Gas-Verordnung Nr. 842/2006.
2007 Internationale Konferenz „Co2ol Food – klimafreundlich Kühlen im Supermarkt“ am 23. Mai 2007 in Berlin	Die Konferenz, die aus Anlass der deutschen EU-Ratspräsidentschaft und auf Einladung des Bundesumweltministeriums und des UBA stattfand, informierte das internationale Publikum aus der Kältebranche, Handel und Politik zu energieeffizienten und klimafreundlichen Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln im Supermarkt.
2008 Bericht „Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt“	Die Studie beschreibt die deutschland- und europaweit für Supermarktanwendungen angebotenen Kälteanlagen mit natürlichen, halogenfreien Kältemitteln und vergleicht sie mit Anlagen mit synthetischen, halogenhaltigen Kältemitteln. Die Ergebnisse lieferten die Basis für Förderentscheidungen und rechtliche Maßnahmen. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vergleichende-bewertung-klimarelevanz-von
2008 – 2015 „Runder Tisch Supermarktkälte“	Der vom Bundesumweltministerium und UBA veranstaltete „Runde Tisch Supermarktkälte“ dient dem Erfahrungsaustausch von Betreibern, Anlagen- und Komponentenbauern mit der Politik und dem Handwerk. Sein Ziel ist die Förderung der breiten Markteinführung besonders energieeffizienter und klimafreundlicher Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln im Supermarkt. http://www.umweltbundesamt.de/produkte/fckw/supermarkt/index.htm
2009 UBA-Bericht „Projections of global emissions of fluorinated greenhouse gases in 2050“ (in Englisch)	Der Bericht gibt einen Überblick über die Emissionen aller fluorierten Treibhausgase im Jahr 2005 und enthält Projektionen der Emissionen bis 2050. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projections-of-global-emissions-of-fluorinated
2010 UBA-Bericht „Fluorierte Treibhausgase vermeiden – Wege zum Ausstieg“	Der Bericht „Fluorierte Treibhausgase vermeiden – Wege zum Ausstieg“ berichtet über den aktuellen Stand der Technik von Anwendungen mit fluorierten Kohlenwasserstoffen und deren Emissionen. Insbesondere bei den Minderungsmaßnahmen und Ersatztechniken wurde der Fortschritt der Technik gegenüber 2004 deutlich. Die Ergebnisse des Berichtes unterstützten u. a. die Novelle der europäischen F-Gas Verordnung, Bericht ist auch in englischer Sprache verfügbar. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fluorierte-treibhausgase-vermeiden-0

Bericht / Projekt	Inhalt / Ergebnis
2011 Publikation von Öko-Recherche, UBA und BMUB „High increase of global F-gas emissions until 2050“	Die Publikation beschreibt den prognostizierten Anstieg der weltweiten Emissionen von fluorierten Treibhausgasen bis 2050. http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20430779.2011.579352
2011 UBA-Bericht „Projektionen zu den Emissionen von HFKW, FKW und SF ₆ für Deutschland bis zum Jahr 2050“	Der Bericht enthält Projektionen für Emissionen fluorierter Treibhausgase (HFKWs, FKWs, SF ₆) in Deutschland für den Zeitraum bis 2050 nach Sektoren und Gasen dargestellt. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionen-zu-den-emissionen-von-hfk-w-fkw-sf6
2013 Blauer Engel für „Klimafreundliche Verkaufsmärkte des Lebensmitteleinzelhandels“ (RAL-U 179)	Vergabekriterien für besonders klimafreundliche Supermärkte, die sehr energieeffizient betrieben werden müssen und nur natürliche Kältemittel verwenden dürfen. https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/haushalt-wohnen/klimafreundliche-verkaufsmaerkte/lebensmitteleinzelhandel
2014 Bericht „Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie“	Der Bericht beschreibt Kältesysteme für Gebäudeklimatisierung und Prozesskühlung und vergleicht HFKW- und halogenfreie Techniken anhand von Berechnungen der Treibhausgasemissionen im Betrieb (Kältemittel- und energiebedingte Emissionen) und der Kosten. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltige-kaelteversorgung-in-deutschland-an-den
2014 Broschüre „Klimafreundliche Gebäudeklimatisierung“	Ergebnisse und Empfehlungen des Berichtes „Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie“ für Bauherren, Architekten und Planer sind in dieser Broschüre zusammengefasst. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimafreundliche-gebaeudeklimatisierung
2014 Bericht „Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte“	Vergleich von Energieeffizienz, Sicherheit, Kosten und Zuverlässigkeit sowie Bewertung der Marktverfügbarkeit von Geräten ohne fluorierte Kältemittel als Basis für die Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/dezentrale-steckerfertige-kuehlgeraete
2014 Bericht „Kohlenwasserstoffe sicher als Kältemittel einsetzen – Entwicklung einer Strategie zum vermehrten Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln als Beitrag zum deutschen Klimaschutzziel unter Berücksichtigung des Energieziels 2050“	Betrachtet mögliche Strategien zum breiteren Einsatz von Kohlenwasserstoffen in Raumklimageräten, Haushaltswärmepumpen, Kühl-Lkw und Flüssigkeitskühlsätzen. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kohlenwasserstoffe-sicher-als-kaeltemittel
2015 UBA-Broschüre „Hauptsache Kalt?“	Zusammenfassung der F-Gas-Verordnung und Handlungsanleitung für das Phase-down von HFKW in Kälte- und Klimaanlageanlagen. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/hauptsache-kalt
2015 Bericht „Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006“	Barrieren und Chancen für halogenfreie Stoffe und/oder Technologien in verschiedenen Anwendungen wurden identifiziert, in Übersichtstabellen aufgelistet und in ihrer Relevanz bewertet. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/massnahmen-zur-verbesserung-der-marktdurchdringung
2016 Leitfaden “Recommendations to safety guidelines and standards for the use of natural refrigerants” (in Englisch)	Enthält Empfehlungen für Sicherheitsleitlinien und -standards für die Verwendung brennbarer Kältemittel. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/recommendations-to-safety-guidelines-standards-for
2016 Bericht “Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln”	Zeigt, dass Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln konventionellen HFKW-Wärmepumpen ökologisch überlegen sind und enthält eine Marktübersicht über verfügbare Geräte. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/waermepumpen-natuerlichen-kaeltemitteln
2016 Blauer Engel für „Stationäre Raumklimageräte“ (RAL-UZ 204)	Maßgebliche Kriterien für dieses Umweltzeichen sind hohe Energieeffizienz, der Einsatz halogenfreier Kältemittel und geringe Lärmemissionen. https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/haushalt-wohnen/stationary-air-conditioners
2016 – 2019 EU-Projekt “SuperSmart – Expertise hub for a market uptake of energy-efficient supermarkets by awareness raising, knowledge transfer and preparation of an EU Ecolabel”	Auf der Internetseite sind Berichte, Trainingsmaterialien und Präsentationen dieses mit Mitteln des „Horizon 2020“-Rahmenprogramms der Europäischen Union für Forschung und Innovation unter der Projektnummer 696076 geförderten Projektes in englischer Sprache verfügbar. http://www.supersmart-supermarket.info/
2017 Bericht „Nachhaltige Kälteerzeugung – Untersuchung der Energieeffizienz natürlicher Kältemittel in Transportkälteanlagen“	Berechnungen auf der Basis von Labormessungen zeigen, dass die Energieeffizienz und die jährlichen Treibhausgas-Gesamtemissionen von zweistufig ausgelegten Transportkälteanlagen durch den Einsatz natürlicher Kältemittel wie R1270 (Propen) und R744 (Kohlendioxid) gesenkt werden können. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltige-kaelteerzeugung-untersuchung-der

9.2 Literatur

Berichte der Enquete- Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“

Zwischenbericht der Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“: Schutz der Erdatmosphäre – eine internationale Herausforderung, mit Plenardebatte am 9. März 1989 und Beschluss der Bundesregierung zur FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vom 30. Mai 1990 *Economica*, Karlsruhe, Müller, 1990 ISBN 3-926831-88-X (*Economica*) / ISBN 3-7880-9817-1 (Müller).

Erster Bericht der Enquete Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“: „Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung; Zukunft sichern – jetzt handeln“ 1992 (BT-Drs. 12/2400). <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/12/024/1202400.pdf> (16.07.2017)

Zweiter Bericht der Enquete Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“: „Mobilität und Klima – Wege zu einer klimaverträglichen Verkehrspolitik“ 1994 (BT-Drs. 12/8300). <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/12/083/1208300.pdf> (16.07.2017)

Dritter Bericht „Vorsorge zum Schutz der Erde – Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder“ 1994 (BT-Drs. 12/8350). <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/12/083/1208350.pdf> (16.07.2017)

Schlussbericht „Mehr Zukunft für die Erde – Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz“ 1995 (BT-Drs. 12/8600). <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/12/086/1208600.pdf> (16.07.2017)

Wichtige geltende Verordnungen:

Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. September 2009 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. *Amtsblatt der Europäischen Union* L 286 vom 31.10.2009, S. 1. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:286:0001:0030:DE:PDF> (16.07.2017)

Verordnung (EU) Nr. 744/2010 der Kommission vom 18. August 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, in Bezug auf die kritischen Verwendungszwecke von Halonen. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:218:0002:0008:DE:PDF> (16.07.2017)

Verordnung (EU) Nr. 291/2011 der Kommission vom 24. März 2011 über wesentliche Verwendungen geregelter Stoffe außer Fluorchlorkohlenwasserstoffen zu Labor- und Analysezwecken in der Union gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:079:0004:0006:DE:PDF> (16.07.2017)

Chemikalien-Ozonschichtverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Februar 2012 (*Bundesgesetzblatt I* S. 409), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 5 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (*Bundesgesetzblatt I* S. 1739) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/chemozonschichtv/ChemOzonSchichtV.pdf> (16.07.2017)

Richtlinie 2006/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Emissionen aus Klimaanlagen in Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates. *Amtsblatt der Europäischen Union* L161/12 vom 14.06.2006. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0040&from=DE> (16.07.2017)

Verordnung (EU) Nr. 517/2014 Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluoridierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006. *Amtsblatt der Europäischen Union* L 150/19 vom 20.05.2014. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2014:150:FULL&from=DE> (16.07.2017)

Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluorierter Treibhausgase (Chemikalien-Klimaschutzverordnung – ChemKlimaschutzV) vom 2. Juli 2008, *Bundesgesetzblatt I* S. 1139, zuletzt geändert am 14. Februar 2017, *Bundesgesetzblatt I* S. 148). <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/chemklimaschutzv/gesamt.pdf> (16.07.2017)

Verwendete Literatur:

[1] Bildquelle: DLR – Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-15594/#/gallery/21005 (24.07.2017)

[2] Molina, M.J.; Rowland, F.S.: Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature* 249 (5460) 810-812, June 28, 1974.

[3] Website des Ozonekretariats der Vereinten Nationen. <http://ozone.unep.org> (24.07.2017)

[4] IPCC (2007): *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, ISBN 978 0521 88009-1. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm (24.07.2017)

[5] *Handbook for the Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer: 7th edition (2006).* [http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Handbook%20for%20the%20Montreal%20Protocol%20on%20Substances%20that%20Deplete%20the%20Ozone%20Layer%20_%20Seventh%20Edition%20\(2006\)-2006766.pdf](http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Handbook%20for%20the%20Montreal%20Protocol%20on%20Substances%20that%20Deplete%20the%20Ozone%20Layer%20_%20Seventh%20Edition%20(2006)-2006766.pdf) (24.07.2017)

[6] World Meteorological Organization (WMO), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 55, 416 pp., Geneva, Switzerland, 2014.

[7] Verordnung (EU) Nr. 517/2014 Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluoridierte Treibhausgase, Anhang II.

[8] Verordnung (EU) Nr. 517/2014 Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluoridierte Treibhausgase, Anhang IV.

[9] WMO Greenhouse Gas Bulletin, Nr. 12, Oktober 2016, S.6, ISSN:2078-0796. <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html> (18.07.2017)

[10] <http://ozone.unep.org/en/data-reporting/data-centre> (08.07.2017)

[11] Hossaini, R. et al.: The increasing threat from stratospheric ozone from dichloromethane. *Nature Communications* 8, 15962. June 27, 2017.

- [12] IPCC (2013): Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/> (11.08.2017)
- [13] UNEP, Environmental Effects of Ozone Depletion: 2014, Assessment, United Nations Environment Programme, ISBN 978-9966-076-04-5. http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/EEAP/eeap_report_2014.pdf (16.07.2017), S. 310/48, Bild 22.1.
- [14] UBA (2017): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2015. Climate Change 13/2017. Dessau-Roßlau 2017. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen> (16.07.2017)
- [15] Statistisches Bundesamt (2016): Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe 2015 – Ergebnisbericht. <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Luftreinhaltung/ErhebungKlimawirksamerStoffe5324201157004.html> (16.07.2017)
- [16] Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/klimaschutzplan-2050-1/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=3915 (16.07.2017)
- [17] Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Sektoruebergreifende_EW/Waermewende-2030_WEB.pdf (16.07.2017)



► **Diese Broschüre als Download**
Kurmlink: bit.ly/2dowYYI

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt