

## FCKW-, H-FCKW- und HFKW in Kälte- und Klimaanlage

# Vorausbestimmung von Emissionen für den Zeitraum von 2002 bis 2015\*

L.J.M. Kuijpers, Eindhoven (NL), D. Clodic und L. Palandre, Paris (F); bearbeitet von U. Adolph, Leipzig (D)

Unter Berücksichtigung der bestehenden IPCC-Richtlinien haben viele Länder versucht, ihren Bestand an Treibhausgasen und deren Emissionen zu bestimmen. Seit den frühen 90ern ist von den Experten viel für die Bestimmung von CO<sub>2</sub>-, N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen geleistet worden. In der jüngeren Vergangenheit haben die drei fluorierten „Kyoto“-Gase, d.h. SF<sub>6</sub>, PFKWs und HFKWs weniger Aufmerksamkeit bei der Bestimmung des Bestandes und der Emissionen erfahren. Besonders hinsichtlich der HFKW ist dies auch durch ihre Einführung als Ersatz für FCKW und H-FCKW verursacht.

Zunächst werden der Bestand und die Emissionen von FCKW (R11, R12 u.a.) und H-FCKW für das Jahr 2002 festgestellt. Außerdem sind die jährlichen Umsätze bzw. Verbräuche dieser Substanzen bestimmt worden. Diese Marktdaten wurden mit von AFEAS herausgegebenen Daten verglichen, um eine hohe Genauigkeit der Emissionsvorhersagen zu erreichen. Auf der Grundlage von verschiedenen ökonomischen Szenarien und der unterschiedlichen genutzten Kältemittel sind die Märkte von FCKW, H-FCKW und HFKW im Kälte- und Klimabereich für die Periode 2002 bis 2015 ermittelt worden.

Die Vorausbestimmung des Kältemittelmarktes, des Bestandes und der Emissionen sind für die Periode bis 2015 für die verschiedenen Bereiche der Kälte- und Klimatechnik und für die verschiedenen Regionen in der Welt erfolgt.

## Berechnungsmethode für die Ermittlung der Kältemittlemissionen und ihre globale Verifizierung

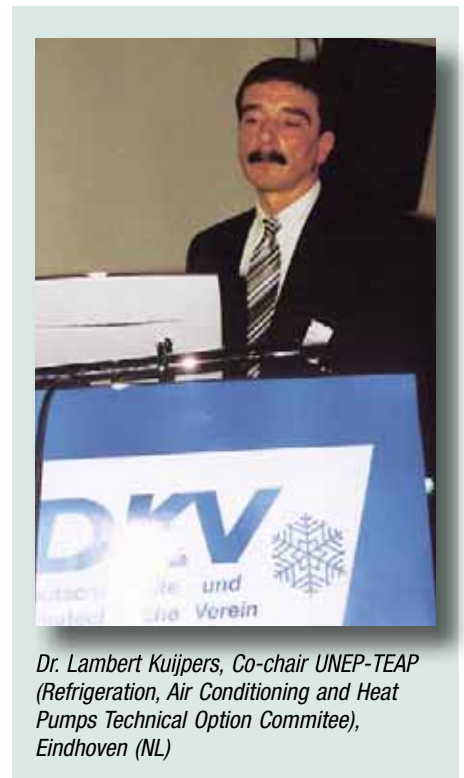
Die IPCC<sup>1</sup>-Richtlinie [4] benutzt eine sog. TIER-2-Methode für die Berechnung der Kältemittlemissionen<sup>2</sup> aus Kälte- und Klimaanlage

- während des Herstellungsprozesses,
- während der Nutzungsphase und
- am Ende der Lebenszeit der Anlage.

Dieser Ansatz erfordert, so genannte Aktivitätsdaten für alle Anwendungsbereiche zu sammeln, d.h. für alle Anlagen, die jährlich verkauft und für die Jahre, in denen diese betrieben werden. Je Land und auch global müssen große Datenbasen geschaffen werden, die auf den verfügbaren Statistiken beruhen.

Palandre [5] stellt die Gleichungen für die Bestimmung der Werte für die verschiedenen Typen von Kältemitteln, die in allen Arten von Kälteanlagen enthalten sind, ausführlich dar, ebenso für die Berechnung der Emissionsmengen. Diese Gleichungen stimmen mit den IPCC-Richtlinien überein[4]. Diese Methode wird nun schon seit sieben Jahren für die Bestimmung des Kältemittelbestandes und der Emissionen verwendet, so z.B. auch für die Emissionsbestimmung von der französischen Regierung [8], [9]. Sie wird auch für die Bestimmung des globalen Bestandes benutzt. Die Methode wurde in einem Vortrag beschrieben, der auf der DKV-Tagung 2001 gehalten wurde [2].

Für jeden Anwendungsbereich muss das geeignete Kältemittel ausgewählt werden: Das hängt von nationalen und internationalen Vorschriften ab, ebenso wie von den Regelungen des Montreal Proto-



Dr. Lambert Kuijpers, Co-chair UNEP-TEAP (Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee), Eindhoven (NL)

kolls, dem Einfluss des Umweltschutzes und den Festlegungen der OEMs. Für jede Anwendung muss die jährliche Leckrate bestimmt werden, die stark länderabhängig ist, abhängig vom Serviceniveau und von der durchschnittlichen Lebensdauer der Anlagen. Die Verbesserung der Datenqualität ist ein kontinuierlicher Prozess und erfordert systematische Rückkopplungen von der Praxis.

\* Als Vortrag anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV durch Dr. Lambert Kuijpers am 18. 11. 2004 in Bremen gehalten.

1 Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatliche Ebene zum Klimawandel)

2 Gesamtemission = Herstellungsemissionen + Betriebsemissionen + Entsorgungsemissionen

### Kältemittelmarkt

Eine der entscheidenden Stufen in der Berechnungsprozedur ist die Ermittlung des Marktaufkommens, d.h. des Bedarfs an den verschiedenen Kältemitteln durch

Addition der jährlichen Mengen, die in alle Typen von neuen Anlagen gefüllt werden, und der entsprechenden Mengen für alle Serviceoperationen, s. Tabellen 1 und 2.

Wenn diese Daten ermittelt sind, werden sie mit den Marktdaten verglichen, wie sie von den Kältemittel-Herstellern und

Händlern angegeben werden. In einigen Ländern werden die verkauften Kältemittelmengen registriert und die Kältemittelhändler publizieren ihre jährlichen Umsätze an FCKW-, H-FCKW- und verschiedenen HFKW-Kältemitteln.

### Kältemittelmarkt nach Sorten

Kältemittelmarkt 2002		Massetonnen		ODP-Tonnen	
FCKW	R 11	5 884	149 260	5 884	118 537
	R 12	131 652		107 954	
	R 115	11 724		4 699	
H-FCKW	R 22	345 815	356 790	13 833	14 038
	R 123	7 695		108	
	R 124	3 280		98	
HFKW	R 125	23 473	189 614	-	-
	R 134a	133 322		-	
	R 143a	28 492		-	
	R 152a	1 254		-	
	R 32	3 065		-	
Andere	R 717	22 371	23 075	-	-
	R 744	-		-	
	R 600a	703		-	

Tabelle 1 Kältemittelmarkt im Jahre 2002  
(Anmerkung: Die wissenschaftlichen ODP-Werte sind [10] entnommen)

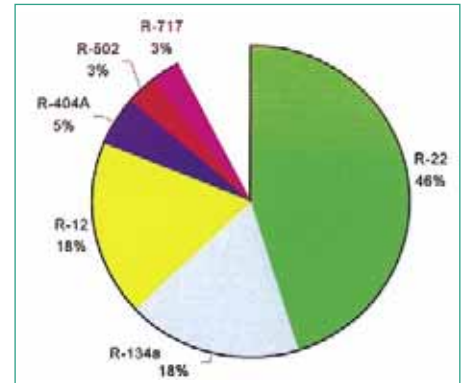


Bild 1 Kältemittelanteile im Jahre 2002

Im Jahre 2002 war R22 das am meisten verbreitete Kältemittel, es macht fast die Hälfte der weltweit verbrauchten Kältemittel aus. Ein großer Bedarf besteht in Entwicklungsländern wie China. Der globale H-FCKW-Bedarf hat sich jetzt bei etwa 200 000 t stabilisiert und der FCKW-Bedarf stagniert bei mehr als 100 000 t.

### Kältemittelmarkt nach Anwendungsgebieten

	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
FCKW	6 703	68 166	683	6 706	11 193	55 808
H-FCKW	-	161 040	915	26 503	165 499	2 833
HFKW	7 972	48 183	3 936	5 996	26 858	96 670
Andere	703	-	-	22 083	289	-
Gesamt	15 378	277 389	5 535	61 287	203 839	155 311
ODP-t	5 673	56 666	590	5 478	16 867	52 971

Tabelle 2 Kältemittelmarkt im Jahre 2002 nach Anwendungsgebieten (in t)

Die Gewerbekälte ist das bedeutendste Anwendungsgebiet des gesamten Kältemittelbedarfs, d.h. des Bedarfs an FCKW, H-FCKW und HFKW. Nur für die H-FCKW betrachtet sind die stationären

Klimaanlagen ebenso wie die Gewerbekälte die bestimmenden Anwendungen.

Der Hauptanteil der HFKW wird in den mobilen Klimaanlagen verwendet, was die Hälfte des globalen HFKW-Marktes reprä-

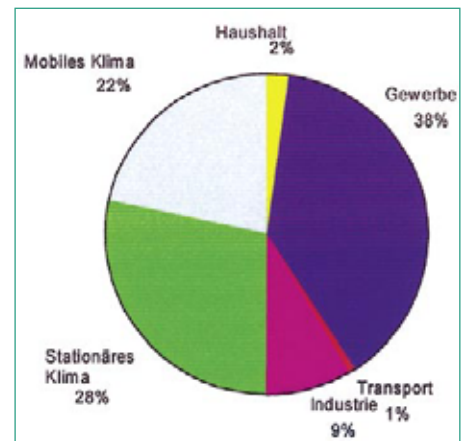


Bild 2 Anteile der Anwendungsgebiete (in %)

sentiert (ungefähr 96 000 t im Verhältnis zum Gesamtverbrauch von 190 000 t). Dies unterstreicht die Bedeutung der mobilen Klimatisierung für den globalen HFKW-Markt.

## Kältemittelbestand

### Kältemittelbestand nach Kältemittelsorte

Kältemittelbestand 2002		Massetonnen		ODP-Tonnen	
FCKW	R11	45 444	593 156	45 444	458 065
	R12	486 533		398 957	
	R502	60 999		13 664	
H-FCKW	R22	1 397 057	1 500 161	55 802	57 942
	R408A	32 727		622	
	R401A	26 630		826	
	R123	43 746		612	
HFKW	R134a	380 249	488 515	-	-
	R404A	78 712		-	
	R407C	12 003		-	
	R410A	7 151		-	
	R507	10 402		-	
Andere	R717	106 560	109 317	-	-
	R744	-		-	
	R600a	2 757		-	

Tabelle 3 Kältemittelbestand im Jahre 2002

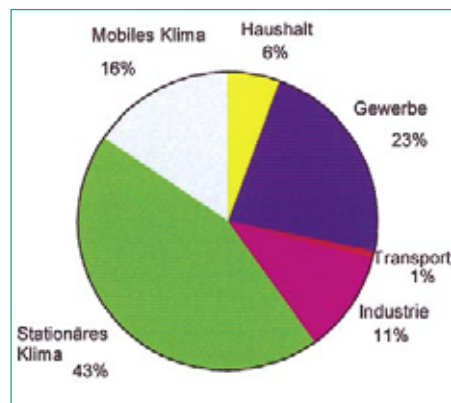


Bild 3 Kältemittelanteile im Bestand 2002

Für 2002 wurde der globale Bestand an Kältemitteln zu rund 2 700 000 t ermittelt. Was den Anteil der verschiedenen Kältemittel am globalen Bestand ausmacht, ist in Tabelle 3 gezeigt:

- 1,5 Mill. t H-FCKW
- 490 000 t HFKW
- 590 000 t FCKW und
- 110 000 t nichtfluorierte Kältemittel

### Kältemittelbestand nach Anwendungsgebieten

	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
FCKW	107 039	200 907	3 274	48 752	83 891	149 293
H-FCKW	-	321 434	3 157	127 517	1 027 572	20 481
HFKW	49 873	83 470	9 513	16 226	80 906	248 528
Andere	2 757	-	-	105 306	1 254	-
<b>Gesamt</b>	<b>159 669</b>	<b>605 811</b>	<b>15 944</b>	<b>297 621</b>	<b>1 193 624</b>	<b>418 301</b>
<b>ODP-t</b>	<b>89 501</b>	<b>154 624</b>	<b>1 785</b>	<b>28 125</b>	<b>118 727</b>	<b>137 958</b>

Tabelle 4 Kältemittelbestand nach Anwendungsgebieten im Jahre 2002 (in t)

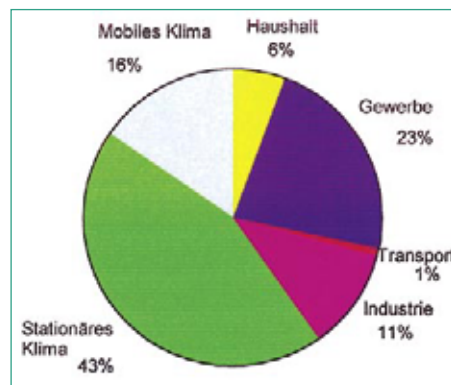


Bild 4 Aufteilung nach Anwendungsgebieten 2002

Nahezu die Hälfte des Kältemittelbestandes findet sich in stationären Klimaanlageanlagen (s. Bild 4). Der größte Bestand an FCKW befindet sich in der Gewerbekälte, wo auch der größte Markt ist.

Der größte Bestand von H-FCKW entfällt auf die stationäre Klimatechnik, gefolgt von der Gewerbekälte (s. Tabelle 4, ca. 1/3 der stationären Klimatechnik).

Der größte Teil des HFKW-Bestandes befindet sich in mobilen Klimaanlageanlagen (etwas über 50% des Gesamtbestandes).

## Kältemittlemissionen

### Emissionen nach Kältemittelsorte

Kältemittlemissionen 2002		Massetonnen	
FCKW	R 11	7 106	144 225
	R 12	126 644	
	R 115	10 475	
H-FCKW	R 22	229 303	236 318
	R 123	4 151	
	R 124	2 864	
HFKW	R 125	9 872	100 644
	R 134a	74 343	
	R 143a	14 765	
	R 152a	1 095	
	R 32	568	
Andere	R 717	17 913	17948
	R 744	-	
	R 600a	35	

Tabelle 5 Kältemittlemissionen im Jahre 2002

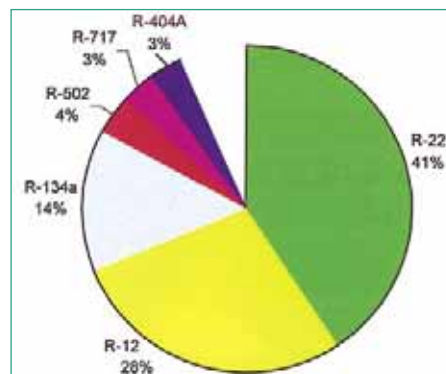


Bild 5 Kältemittelanteile an den Gesamtemissionen im Jahre 2002

Die Kältemittlemissionen im Jahre 2002 betragen ca. 500 000 t, wenn man die Gesamtheit aller Kältemittel einbezieht. Die Emissionen von H-FCKW (wobei R22 den größten Teil ausmacht, andere H-FCKW-Emissionen sind gering) sind fast ebenso hoch wie die FCKW- und HFKW-Emissionen zusammen.

### Kältemittlemissionen nach Anwendungsgebiet

	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
FCKW	8 434	54 865	1 183	6 859	13 069	59 815
H-FCKW	-	107 119	1 553	23 533	95 932	8 181
HFKW	481	22 979	3 265	1 884	6 064	65 970
Andere	35	-	-	17 704	209	-
Gesamt	8 950	184 963	6 002	49 981	115 274	133 965

Tabelle 6 Kältemittlemissionen nach Anwendungsgebieten im Jahre 2002 (in t)

Wenn man die verschiedenen Kälte- und Klimabereiche betrachtet, ist deutlich zu sehen, dass die Gewerbekälte weltweit der Bereich mit den größten Emissionen darstellt.

Wenn man die HFKW betrachtet, liefert die mobile Klimatisierung den größten Beitrag zu den Gesamtemissionen 2002.

Stationäre Klimaanlage sind durch geringere Emissionsraten gekennzeichnet.

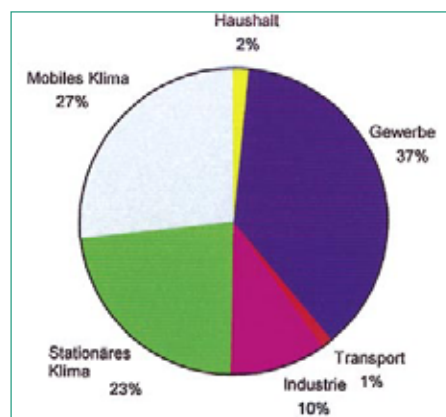


Bild 6 Anwendungsgebietsanteile im Jahre 2002

Aus diesem Grunde beträgt ihr Anteil nur 1/4 an den weltweiten Gesamtemissionen.

### Bestand und Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

Es kann zwar interessant sein, den Bestand und die Emissionen in t auszudrücken, jedoch für eine Studie zum globalen Treibhauseffekt (GWP-100 Jahre Bezugswert) ist der äquivalente Wert in CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf diese Tonnage, von Bedeutung. Dies ist das Maß für den Einfluss auf die globale Erwärmung. Die hier benutzten GWP-Werte wurden im IPCC Second Assessment Report[4] publiziert.

### Der Kältemittelbestand im Jahre 2002 nach Anwendungsgebieten, umgerechnet in kt CO<sub>2</sub>-Äquivalent

	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
FCKW	867 018	1 550 455	20 370	312 921	488 702	1 209 270
H-FCKW	-	504 392	6 063	191 275	1 479 676	30 722
HFKW	64 384	248 679	25 334	43 037	110 920	323 131
Andere	-	-	-	-	-	-
Gesamt	931 402	2 303 526	51 767	504 239	2 079 298	1 563 123

Tabelle 7 Der Kältemittelbestand im Jahre 2002 nach Anwendungsgebieten, (umgerechnet in kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente)



Von den gesamten 7,4 Gt CO<sub>2</sub>-Äquivalent des gesamten Kältemittelbestandes sind 4,45 Gt den FCKW zuzuordnen, d. h. 60% des in der näheren Zukunft wirkenden GWP stammt noch von den FCKW-Emissionen in die Atmosphäre. Dabei haben die beiden Anwendungsbereiche der Gewer-

bekälte und der stationären Klimatisierung einen Anteil von 4,38 Gt am gesamten Kältemittelbestand. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass 60% der schädlichen Emissionen in der näheren Zukunft aus diesen beiden Bereichen stammen werden. 20% des Gesamtemissionspotenzials (noch Be-

stand) kann von der mobilen Klimatisierung kommen, mit 14% von diesen 20% als noch FCKW-Bestand weltweit 2002.

Diese Darstellung unterstellt aber keinesfalls, dass der Bestand vollständig emittiert wird und Rückgewinnung und Recycling oder Entsorgung nicht stattfinden!

### Kältemittlemissionen 2002 nach Sorte

Kältemittlemissionen 2002		CO <sub>2</sub> -Äquivalente kt	
FCKW	R 11	27 005	1 150 237
	R 12	1 025 816	
	R 115	97 417	
H-FCKW	R 22	343 955	345 675
	R 123	374	
	R 124	1346	
HFKW	R 125	27 643	180 920
	R 134a	96 646	
	R 143a	56 108	
	R 152a	153	
	R 32	369	

Tabelle 8 Kältemittlemissionen 2002, ausgedrückt in kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Es mag unerwartet erscheinen, dass 2002 das FCKW R12 einen Anteil von 61% am Gesamtwert des GWP aus allen Kältemitteln aufweist. Die massebezogenen Emissionen des R12 betragen nur 25% der Ge-

samtemissionen. Die 61% resultieren aus dem vergleichsweise hohen GWP-Äquivalenzwert dieses Kältemittels.

Dagegen hat R22 mit seinem Masseanteil von 45% an den Gesamtemis-

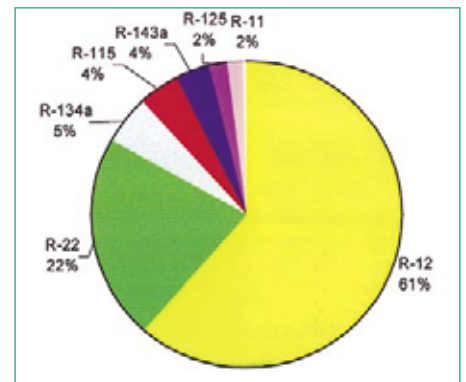


Bild 7 Kältemittelanteile an den Emissionen 2002, ausgedrückt in kt CO<sub>2</sub>-Äquivalent

sionen nur 22% Anteil am GWP-Gesamtwert.

R 134a repräsentiert 15% der massebezogenen Emissionen mit einem GWP-Anteil von nur 5%.

### Kältemittlemissionen 2002 nach Anwendungsgebieten

	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
FCKW	68 315	452 870	10 318	57 915	76 319	484 502
H-FCKW	-	157 729	2 330	35 300	138 045	12 271
HFKW	625	72 749	8 379	5 006	8 390	85 770
Andere	1	-	-	-	-	-
Gesamt	68 941	683 347	21 027	98 220	222 754	582 543

Tabelle 9 Kältemittlemissionen 2002 nach Anwendungsgebieten in kt CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Im Jahre 2002 sind die FCKW in der gewerblichen Kühlung und mobilen Klimatisierung in den Entwicklungsländern noch mit einem großen Anteil vertreten (Artikel 5(1) des Montreal Protokolls). Der höhere GWP-Wert des R 12 (sieben- bis achtfach von R 134a, das einen GWP-Wert von 1300

besitzt) macht die andauernde Bedeutung dieses Bereiches deutlich.

Wenn nur HFKW-Kältemittlemissionen betrachtet werden, liegen die Gewerbekälte und die mobile Klimatisierung beim nahezu gleichen Wert, obwohl die mobile Klimati-

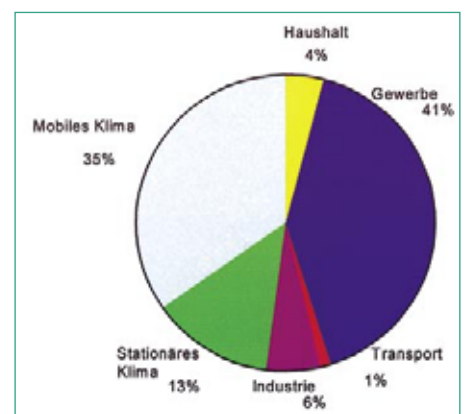


Bild 8 Anteile der Anwendungsbereiche 2002 am gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalent

sierung mengenmäßig dreifach mehr zu den Emissionen beiträgt (Tabelle 6).

**Wird fortgesetzt.**  
Literaturhinweise finden Sie in der Ausgabe 03/05

## **Ozonabbauende Substanzen auch dominierend beim direkten Treibhausbeitrag durch Emissionen fluorierter Kältemittel**

Das Kyoto-Protokoll reglementiert weltweit Emissionen bestimmter Treibhausgase und gibt Reduktionsziele für die Unterzeichnerstaaten vor. Dabei fällt auf, dass zu den Gasen, die Emissions-Reduktionsverpflichtungen gemäß Kyoto unterliegen, zwar die HFKW, die PFKW (perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe) und Schwefelhexafluorid gehören, nicht jedoch FCKW und H-FCKW, obwohl diese Halogenkohlenwasserstoffe neben ihrem Ozon-Abbaupotenzial noch ein teilweise erheblich höheres Treibhauspotenzial als ihre Nachfolger, die HFKW, aufweisen. Die Erklärung dafür findet man in der Klimarahmenvereinbarung von 1992, die die Festlegung traf, in ein künftiges Vertragswerk zur verbindlichen Festlegung konkreter Reduktionsverpflichtungen (das 1997 verabschiedete Kyoto-Protokoll) alle Treibhausgase aufzunehmen mit Ausnahme solcher, die bereits durch andere Protokolle geregelt werden. Darunter fallen die vom Montreal-

Protokoll reglementierten ozonabbauenden Substanzen FCKW und H-FCKW!

Damit war bisher zu unterscheiden zwischen einem politischen Ansatz, der den Treibhauseffekt von FCKW und H-FCKW schlichtweg ausblendete; und der Realität in der Atmosphäre.

Zur Ermittlung der Treibhausgas-Emissionsdaten wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde in bestimmten Anwendungsbereichen der fluorierten Treibhausgase, in denen bisher verwendete ozonabbauende Substanzen ersetzt werden, ein umfassendes Bild zur Bestands- und Emissionsentwicklung erarbeitet. Der hier vorliegende Beitrag beschreibt das Ergebnis dieser Untersuchungen für den Bereich Kälte- und Klimatechnik.

Die besondere Bedeutung dieser Arbeit ist darin zu sehen, dass erstmals seit Verabschiedung des Kyoto-Protokolls die Verände-

rung des gesamten direkten Treibhausbeitrags bei der Anwendung halogener Kältemittel in der Umstellungsphase von FCKW und H-FCKW auf HFKW und nicht halogenierte Kältemittel zwischen 2002 und 2015 in einem globalen Ansatz dargestellt und damit auch der Treibhausbeitrag der ozonabbauenden Kältemittel einbezogen wird.

Der erste Teil dieses Beitrags endet mit der Darstellung des weltweiten direkten Treibhausbeitrags der Kälte- und Klimatechnik unter den Rahmenbedingungen des Jahres 2002. Dabei wird deutlich (Tabelle 9), dass im Hinblick auf eine effiziente Reduzierung des direkten Treibhausgas-Beitrags aus dem Einsatzsektor Kälte- und Klimatechnik die Konzentration auf FCKW- und H-FCKW-Kältemittel in vorhandenen Anlagen in Form emissionsreduzierender Maßnahmen sehr viel wirkungsvoller wäre, da diese beiden Kältemittelgruppen zusammen in 2002 fast 90% (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) des direkten Beitrags aus diesem Bereich darstellten.

Der Leser darf gespannt sein auf den zweiten Teil, in dem die Prognosen für 2015 zu finden sein werden!

*Redaktion KK*