

*Aus einer neuen Studie des Umweltbundesamts zu Minderungspotentialen fluorierter Treibhausgase in Deutschland\**

# HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen

Winfried Schwarz, Frankfurt/Main

*Seit Ende 1990 werden wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) als ozonschichtneutrale Ersatzstoffe für FCKW und HFCKW angeboten. Ihr gegenüber FCKW und HFCKW im allgemeinen deutlich geringeres, aber durchaus nennenswertes Treibhauspotential (GWP) wirft die Frage nach den durch sie bedingten Auswirkungen auf das Klima auf. Fluorierte Gase werden bis zum Jahr 2010 etwa 3 % der deutschen treibhauswirksamen Emissionen bzw. rd. 27 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausmachen, wenn der laufende Trend fortgeschrieben wird (sog. Business-as-Usual-Szenario – BaU).*

HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen werden daran mit knapp 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten beteiligt sein. Das sind etwa 1 % des deutschen Gesamtbeitrags zur Erderwärmung. **Damit sind Kälte- und stationäre Klimaanlageanlagen größter Einzelemittent fluorierter Treibhausgase.** Die 1 % scheinen auf den ersten Blick gering. Es ist jedoch daran zu erinnern, daß sich die treibhauswirksamen Gesamtemissionen aus einer Vielzahl von für sich genommen meist kleinen Einzelquellen speisen, die alle auf Minderungspotentiale zu überprüfen sind, um das deutsche Klimaschutzziel bis 2010 von 21 % weniger als 1990/1995 zu erreichen.

Für den Bereich der Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen werden nachfolgend nach einem Überblick die Verbrauchs- und Emissionswerte von 1995–1997 dargestellt. Es folgt eine Emissionsprognose bis 2010 unter Fortschreibung des aktuellen Trends (Business-as-Usual), während zum Schluß die niedrigeren Emissionen als Folge aktiver Minderungspolitik abgeschätzt werden. Als Minderungsmaßnahme wird eine allgemeine Wartungspflicht für Anlagen über 1 kg Kältemittel unterstellt.

## Überblick

Mit Kälte- und stationärer Klimatechnik sind gemeint: erstens stationäre und mobile Kälteaggregate für Waren und Prozesse und zweitens ortsfeste Klimaanlageanlagen für Gebäude. Der Bereich läßt sich in acht Sektoren gliedern, die nach ihrem Schätzanteil am inländischen Gesamtbestand halogener Kältemittel (FCKW, HFCKW, HFKW) wiedergegeben werden:

1. Gewerbekälte (ca. 40 %).
  2. Mittelgroße Industriekälte mit Kolbenverdichteranlagen (20 %).
  3. Kleinkühlgeräte unter 1 kg Kältemittel in Industrie und Gewerbe (20 %).
  4. Große Industriekälte und große Klimaanlageanlagen (6–7 %).
  5. Raumklimageräte bis 2 kg Kältemittel (5 %).
  6. Mittelgroße Klimaanlageanlagen mit Kolbenverdichtern (3–4 %).
  7. Transportkälte (2–3 %).
  8. Haus-Wärmepumpen bis 2 kg Füllmenge (ca. 1 %).
- Vor 1991 wurden in den acht Sektoren im wesentlichen drei Kältemittel benutzt. FCKW-12 (R 12) kühlte im normalen Temperaturbereich (0 °C/+10 °C) und das FCKW/HFKW-Gemisch R 502 bei Tieftemperaturen (–25 °C/–10 °C). Das quantitativ wichtigste Kältemittel HFCKW-22 (R 22) wurde zur Kühlung

## zum Autor

**Dr. Winfried Schwarz,**  
Öko-Recherche  
GmbH, Frankfurt  
am Main



bei mittleren Temperaturen und darüber hinaus in der Mehrzahl der Klimaanlageanlagen eingesetzt.

- Aufgrund ähnlicher chemisch-physikalischer Eigenschaften sind HFKW die Mittel der Wahl, um jene chlorhaltigen ozonschichtschädigenden Substanzen zu ersetzen. Als Substitute kommen jedoch auch halogenfreie Stoffe in Frage. Im Zuge des FCKW-Ausstiegs kam es in der zweiten Hälfte der 80er Jahre allenthalben zu einer Wiederentdeckung und Weiterentwicklung von Stoffen und Verfahren, die wegen der günstigen stofflichen Eigenschaften der FCKW (Unbrennbarkeit, Unpolarität, Ungiftigkeit) durch diese verdrängt und jahrzehntelang vernachlässigt worden waren. Das führte zum Verlust zahlreicher ehemaliger FCKW-Anwendungen an Verfahren und Stoffe ohne schädigende Wirkung auf Ozonschicht und Klima.
- Die Suche nach langfristig versorgungssicheren Alternativen findet auch in der Kältetechnik statt, wo HFKW in Teilbereichen der Konkurrenz der Kältemittel Ammoniak, Kohlenwasserstoffe oder CO<sub>2</sub> ausgesetzt sind. So fehlt bei der

Aufzählung der acht Sektoren der Kühl- und Klimaanlage einer, der in anderen Industrieländern bis zu 20 % des Kältemittelbestandes ausmacht: Haushaltskühlgeräte. Diese werden in Deutschland mit Isobutan (R 600a) gekühlt. R 134a spielte hier nur vor 1994/95 eine vorübergehende Rolle.

- Ein vergleichbares Ausscheiden eines ganzen HFKW-Anwendungsbereichs ist in den übrigen kälte- und klimatechnischen Sektoren nicht erfolgt und aus heutiger Sicht nicht zu erwarten. Vereinfacht gilt: R 12 wurde und wird durch HFKW-134a und R 502 und R 22 wurden und werden durch die HFKW-Gemische R 404A/R 507 ersetzt. Für einige R 22-Kühl- und die meisten R 22-Klimaanwendungen sind die HFKW-Gemische 407C oder 410A geeignet. In den acht Sektoren werden die vier HFKW-Kältemittel 134a, 404A/507, 407C und 410A mittelfristig den Hauptteil der FCKW und HFCKW ersetzen.
- Tempo und Zeitpunkt der FCKW-Substitution durch HFKW hängen, abgesehen von der Marktverfügbarkeit der HFKW, von technischen und politischen Faktoren ab.

Der **technische** ist: Für den FCKW-Ersatz durch HFKW reicht bloßer Kältemittelwechsel in vorhandenen Kälte- und Klimaanlage selten aus. Dem Betrieb mit HFKW sind viele Bauteile und Prozeßhilfsmittel anzupassen, so daß ihr Einsatz praktisch oder tatsächlich eine neue Anlage bedingt. Reine HFKW werden daher meist erst beim Ersatz einer alten durch eine neue Kälte-Klimaanlage verwendet.

Soweit der Gesetzgeber, wie Ende 1995 in Deutschland für das Kältemittel R 12, den FCKW-Ausstieg aus noch intakten Anlagen verlangte, nahmen ihre Betreiber nur in geringem Umfang vorzeitige Investitionen in HFKW-geeignete Anlagen vor. Vielmehr griffen sie die Angebote der Chemischen Industrie auf, Altanlagen bis zum Ende ihre Lebensdauer mit sogenannten Drop-In-Kältemitteln weiterzubetreiben (Schwarz/Leisewitz 1998). Das sind Kältemischungen, die zwar meist HFKW enthalten, aber zum bestimmenden Teil aus HFCKW, insbesondere R 22, bestehen.

Der **politische** Faktor ist der national gültige Zeitplan des FCKW-Ausstiegs. So sind EU-weit zwar seit 1995 alle vollhalogenierten FCKW verboten (R 12, R 502), aber teilhalogenierte sind nach der EU-Neuregelung (EC 98) für kälte-technische Neuanlagen erst ab 2001 und zur Altanlagen-Befüllung ab 2010 verboten. In Deutschland ist dagegen der HFCKW-22 in Neuanlagen aufgrund der

FCKW-Halon-Verbots-Verordnung schon ab 1. 1. 2000 nicht mehr erlaubt.

- In Deutschland, wo nach 1999 keines der drei traditionellen Kältemittel mehr in Neuanlagen verwendet werden darf, ist der Druck auf die Hersteller kälte-technischer Anlagen besonders groß, rechtzeitig Ersatzstoffe auf den Markt zu bringen und auf diese Weise die Einführung der HFKW zu beschleunigen.

### Inlands-Neuverbrauch und Emissionen 1995–1997

- Der jährliche **Neuverbrauch** von HFKW-Kältemitteln für inländische Anwendungen hat sich von 1995 bis 1997 von 1144 t auf 2418 t verdoppelt (Befragung Kältemittelhersteller).
- Die mit Abstand wichtigsten reinen HFKW-Kältemittel sind der Einstoff 134a und die Gemische 404A bzw. 507, die beide hauptsächlich aus 125 und 143a bestehen und in dieser Studie als einheitliches Kältemittel behandelt werden. Der Anteil von 134a und 404A/507 an den jährlichen Neuverbräuchen beträgt zusammen über 90 %. Der Rest entfällt zu geringem Teil auf die Kältemittel R 23, R 407C und R 410A und zu größerem Teil auf solche HFKW, die nur Komponenten in R 22-basierten Drop-In-Kältemitteln sind (vgl. Tabelle 1).

**Erstens** hat 134a seit 1996 nicht in erwartetem Ausmaß die Rolle des aus Altanlagen binnen zweier Jahre (bis Mitte 1998) zu entfernenden FCKW-12 übernehmen können. Anders als bei Turboverdichter-Großanlagen wurde in der Gewerbekälte R 12 zu ca. 50 % durch R 22-haltige Drop-In-Stoffe ersetzt – vor allem R401A, das nur zu 13 % aus HFKW (152a) besteht (Schwarz/Leisewitz 1998, VI).

**Zweitens** hat der nahende Verbotstermin für R 22 (1. 1. 2000) die Käufer von Neuanlagen, die R 22-Anlagen ersetzen, in Richtung längerfristige Produktsicherheit sensibilisiert. Anlagen mit R 22 haben gegen gleichartige Anlagen mit dem Kältemittel 404A/507 kaum mehr Marktchancen. Das starke Wachstum von 404A/507 geht in erheblichem Maß auf Kosten von R 22.

- Obwohl auch 407C und 410A Ersatzstoffe für das auslaufende R 22 sind – schwerpunktmäßig im Klimabereich –, ist ihr Verbrauch noch gering. Dies hängt mit dem Weltmarkt für Klimaanlagen und -geräte zusammen, der von großen nordamerikanischen und fernöstlichen Unternehmen bestimmt wird. Der europäische Markt beträgt bei Klimaanlagen nur 6 % des Weltmarkts (Bailey 1998), und im Unterschied zu Deutschland ist in den großen Absatzländern R 22 noch lange erlaubt. Außer-

Tab.1: Inl.-Verbrauch und lfd. Emissionen von HFKW-Kältemitteln aus Kälte- und stationären Klimaanlagen 1995–1997 in t und Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquiv.

Kältemittel	1995		1996		1997	
	Verbrauch	Emission	Verbrauch	Emission	Verbrauch	Emission
134a	667	65	878	142	1067	229
404A/507	369	38	877	105	1141	215
Sonstige HFKW*	108	23	130	42	210	66
Summe in t	1144	126	1885	289	2418	510
Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquiv.		0,28		0,65		1,18

\* 407C, 410A, 23; Drop-In-Komponenten: 125 aus 402A (60 %), 408A (7 %), 152a aus 401A/B (13 %), 143a aus 408A (46 %).

- Bei den beiden Hauptkältemitteln weist das Verbrauchswachstum von 404A/507 eine stärkere Dynamik als 134a auf. Gegenüber 134a war der Inlandsverbrauch von 404A/507 in 1995 noch deutlich geringer, 1996 lag er gleichauf, und seit 1997 ist 404A/507 mit 1141 t das verbrauchsstärkste Kältemittel (s. Tab. 1). Dafür gibt es Ursachen auf der Seite von R 134a und auf der Seite von R 404A/507:

dem verlangt 410A neue, druckfestere Komponenten, die erst seit kurzem verfügbar sind.

- Werden auf die acht Kältemittelbestände der Jahre 1995 bis 1997, die aus den angehäuften Verbräuchen der Jahre 1993 bis 1997 resultieren (Befragung Kältemittelhersteller), jeweils spezifische Emissionsraten (s. nächstes Kapitel) angelegt, zeigen sich die Schätzwerte für die laufenden HFKW-Emissionen lt. Tabelle 1. In der Summe sind sie von 126 t (1995) über 289 t (1996) auf 510 t im Jahre 1997 angestiegen (vgl. Diagramm 1). Wie die Neuverbräuche bestehen auch die Emissionen zu fast 90 % aus R 134a und R 404A/507, die wiederum beide etwa gleich groß sind.

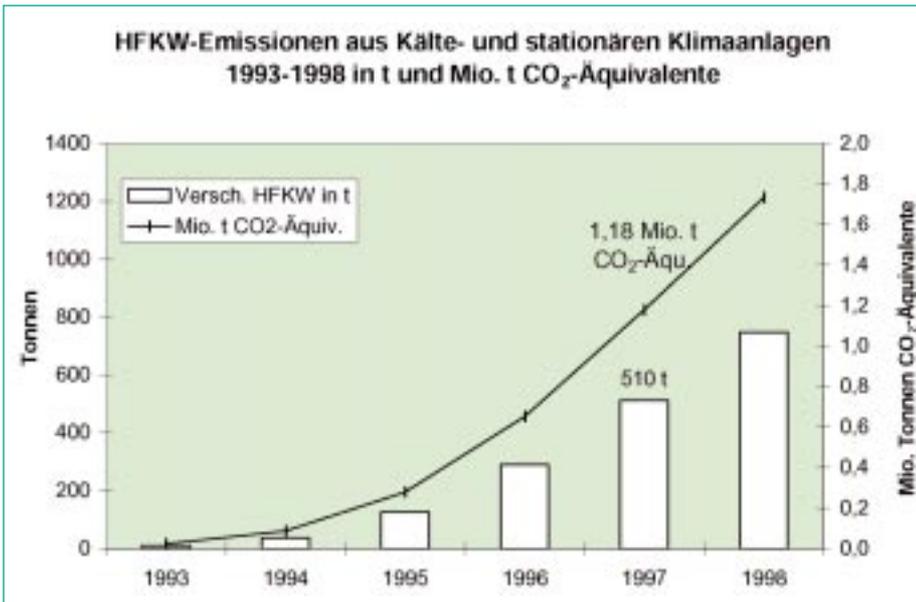


Diagramm 1 HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen 1993–1998 in t und Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Die HFKW-Emissionen (linke Achse) stiegen von 1995 bis 1997 von 126 auf 510 t (Säulen). Die Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (rechte Achse) stiegen entsprechend von 0,28 auf 1,18 Mio. t an (Linie). Das Diagramm enthält auch den Schätzwert für 1998: 746 t und 1,73 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente

- **Größter Einzelemittent ist die Gewerbekälte, von der 1997 ca. 77 % der HFKW-Emissionen ausgingen.** An zweiter Stelle folgt die Transportkälte mit 5 % der Gesamtemissionen. Beides sind Sektoren mit hohen Emissionsraten (20 bzw. 15 %).
- Der Beitrag zum Treibhauseffekt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aus allen acht Sektoren stieg von 1995 bis 1997 von 0,28 auf 1,18 Mio. Tonnen an – siehe Diagramm 1. (Der Schätzwert für 1998 beträgt 1,73 Mio. t.)

### BaU-Emissionsprognose 2010

Für prognostische Abschätzungen der HFKW-Emissionen aus den Sektoren der Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen sind folgende Eckdaten erforderlich:

- Umfang der sektoralen HFKW-Bestände nach völligem FCKW-/HFCKW-Ersatz.
- Zusammensetzung dieser Bestände nach verschiedenen HFKW-Kältemitteln.
- Sektorspezifische Emissionsraten aus dem laufenden Betrieb.
- Rate der Kältemittel-Rückgewinnung bei der Entsorgung.
- Mittlere Anlagenlebensdauer (wegen des Zeitpunkts erster Entsorgungsemissionen).

Bis auf die Rückgewinnungsrate, für die generell ein vom IPCC (IPCC 99) vorgeschlagener Standardwert von 70 % der ursprünglichen Kältemittelfüllung unterstellt wird, sind alle dem Emissionsmodell 2010 zugrundeliegenden Bestimmungsfaktoren (Eckdaten) in der Tabelle 2 wiedergegeben. Diese Transparenz soll die Pro-

gnosedaten nachvollziehbar machen. Zugleich wird der fachlich versierte KK-Leser aufgefordert, sich an der Präzisierung der Faktoren wie Emissionsraten usw. aktiv zu beteiligen.

Das Zahlenwerk der Tabelle 2 ist eine Weiterentwicklung des 1996 verwendeten Schemas (Schwarz/Leisewitz 1996, 91).

Sowohl für die Aufgliederung des Gesamtbestandes in **acht Sektoren** als auch für die **absoluten Umfänge** und die internen **Kältemittelzusammensetzungen** der acht Bestände wurden nicht nur nationale Informationen eingeholt (Aktualisierung Eckdaten 1999), sondern auch zahlreiche in jüngerer Zeit veröffentlichte internationale Studien ausgewertet (UNEP-RTOC 1998; March 1998, 1999; AFCE 1998; DTI 1998; ECOFYS 1999). Für die **Emissionsraten** wurden auch die vom IPPC (1999) für die jeweiligen Anwendungen als typisch bezeichneten Standardwerte herangezogen.

Gleichwohl ist gerade bei den Emissionsraten Vorsicht angeraten. Die in der Literatur vorfindliche breite Streuung von Emissionsraten für identische Anwendungen ist nur teilweise Folge technischer Veränderung der Anlagendichtheit oder Ausdruck nationaler Unterschiede. In großem Maße resultiert sie aus realer Unsicherheit, da es praktisch nirgendwo solide empirische Erforschungen ihrer Größen gibt, die etwa auf einem mehrjährigen Monitoring der Nachfüllmengen beruhen (vgl. Johnson 1999). Vorliegende

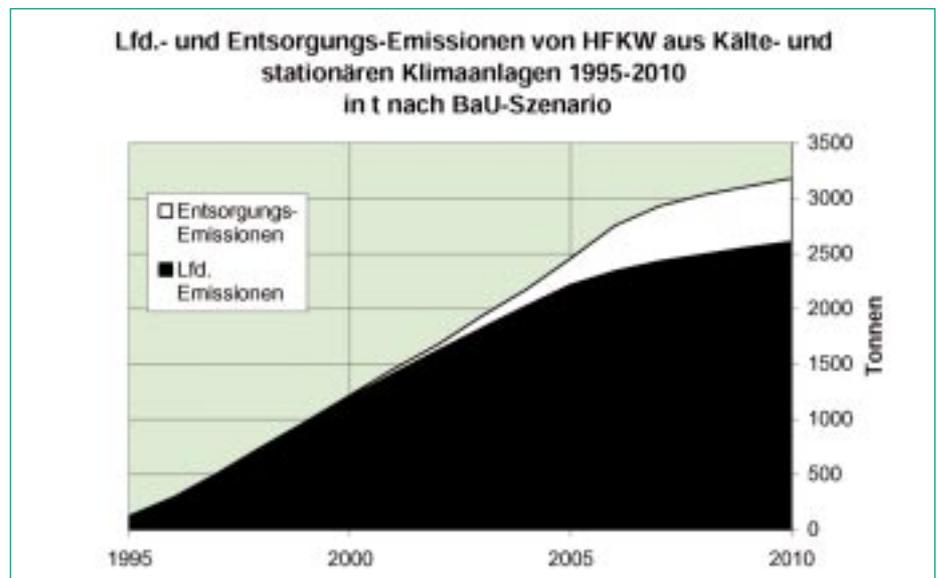


Diagramm 2 Lfd. und Entsorgungs-Emissionen von HFKW aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen 1995–2010 in t (BaU-Szenario). Die Betriebsemissionen (untere Fläche) steigen bis 2005 kontinuierlich auf über 2200 t an. Danach verlangsamt sich ihr Wachstum bis 2010, weil die emissionsstarken Anwendungen wie die Gewerbekälte ihren Endbestand bereits erreicht haben und der Bestand vor allem durch 407C- und 410A-gefüllte Klimaanlageanlagen wächst, die niedrigere Emissionsraten aufweisen. Die Entsorgungsemissionen (obere Fläche) nehmen erst nach 2003 stärker zu, wenn die ersten Anlagen außer Betrieb genommen werden

**Tab. 2: Eckdaten zur Bestimmung der HFKW-Emissionen aus Kühlanlagen und stationären Klimaanlage 1997 und 2010\***

Anwendungen	Kältemittel	Bestand 1997	Bestand 2010			
<b>1. Haus-Wärmepumpen (LD 15a)</b>						
~ 1,5 kg	ER 3,3% 407C	22 t	250 t			
~ 0,6 kg	ER 2,5% 410A			80%	80%	
<b>2. Gewerbekälte (LD 10a)</b>						
Neuanlagen	ER 15%	2774 t	12450 t			
				134a	44%	32%
				404A/507	56%	60%
				407C	0,2%	4%
Altanlagen	ER 20%	507 t	0 t			
				410A	0%	4%
				152a 401	11%	0%
				125402/408	51%	0%
143a 408	8%	0%				
134a 413	30%	0%				
<b>3. Großkälte u. Großklima (LD 25a)</b>						
Turboverdichter	ER 5%	515 t	2000 t			
				134a	99%	50%
407C	1%	25%				
Schraubenverd.						
410A			25%			
<b>4. Mittlere Industriekälte (LD 15a)</b>						
Kolbenverdichter	ER 6%	418 t	6000 t			
				134a	30%	16%
				404A/507	62%	33%
				23	5%	1%
				407C	3%	17%
410A	0%	33%				
<b>5. Mittlere Klimaanlage (LD 15a)</b>						
Kolbenverdichter	ER 5%	6 t	1000 t			
				407C	100%	50%
410A	0%	50%				
<b>6. Raumklimageräte (LD 15a)</b>						
~ 1,5 kg	ER 2%	6 t	1500 t			
				407C	100%	40%
410A	0%	60%				
<b>7. Kleingeräte Ind./Gewerbe (LD 10a)</b>						
< 1 kg	ER 1,5%	1150 t	6000 t			
				134a	49,5%	47%
				404A/507	49,5%	47%
407C	1%	6%				
<b>8. Transportkälte</b>						
Kühi-Lkw LD10a	ER 20%	150 t	350 t			
				134a	33%	29%
				404A/507	59%	54%
				410A	7%	17%
152a	1%	0%				
Container LD15a	ER 10%	96 t	370 t	100%		
Kühlschiffe LD30a	ER 25%	0 t	80 t	100%		
Summe/Durchschn.	ER 9%	5644 t	30000 t			

Abkürzungen: ER = laufende Emissionsrate pro Jahr; LD = Lebensdauer in Jahren (a).  
 \* Erläuterungen im nachfolgenden Text.

**Tab. 3: Emissionen von HFKW-Kältemitteln aus Kühl- und stationären Klimaanlage 1995-2010 nach Bau-Szenario I**

	1995	2000	2005	2010
Laufende Emissionen in t	126	1199	2216	2606
Entsorgungsemissionen in t	0	19	241	574
Gesamtemissionen in t	126	1219	2457	3180
Emiss. in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquivalente	0,28	2,90	5,93	7,66

Studie kann diesen Mangel nicht beheben. Allerdings sind die Emissionsraten auf neue Anlagen (zweite Hälfte der 90er Jahre) bezogen und im unteren Bereich der Standardwerte von IPCC und UNEP-RTOC angesiedelt. Sie sind eher konservativ.

Tabelle 3 gibt für einzelne Stichjahre und Diagramm 2 für den gesamten Zeitraum 1995–2010 die HFKW-Emissionen wieder, die sich ohne revolutionäre technische Verbesserungen der Anlagendichtheit und ohne staatliche Regulierung ergeben. Dieses Szenario basiert auf den in Tabelle 2 dargestellten Eckdaten, insbesondere der Konstanz der Emissions- und Rückgewinnungsraten.

- Bis zum Jahr 2010 dauert der HFCKW-Ersatz an. Dann bestehen die acht Kältemittelbestände, die zusammen 30 000 t umfassen, ausschließlich aus HFCKW.
- Die laufenden Betriebs-Emissionen liegen dann bei 2606 t, was einer durchschnittlichen Emissionsrate von 8,7 % pro Jahr entspricht. Die Betriebsemissionen (Anlagenundichtheiten, Wartungsverluste) erreichen im darauffolgenden Jahr ihr Maximum. Hinzu kommen Entsorgungsemissionen (Rückgewinnungsverluste bei der Verschrottung) in Höhe von 574 t. Beide zusammen bilden die Gesamtemissionen von 3180 t. Werden diese auf den Kältemittelbestand von 30 000 t bezogen, beträgt die Rate 10,6 %.
- Während die laufenden Emissionen in der Zeit nach 2010 stabil weiter verlaufen, steigen die Entsorgungsemissionen noch ca. zehn Jahre lang weiter an. Dies ergibt sich erstens aus der unterschiedlichen Lebensdauer der HFCKW-gefüllten Anlagen und zweitens aus den unterschiedlichen Zeitpunkten ihrer Einführung. Neue mittelgroße und Raumklimaanlagen enthalten erst seit Ende der 90er Jahre die HFCKW-Blends 407C oder 410A statt des HFCKW-22. Im Jahre 2010 fallen aus diesen Anlagen noch keine Entsorgungsemissionen an. Dagegen setzen diese aus Anlagen der Gewerbe- und Transportkälte, aus industriellen und gewerblichen Kleinanlagen sowie aus seit 1995 von R 12 auf R 134a umgerüsteten Turboverdichtern schon ab 2003 ein. Sie wurden nicht nur zeitlich früher mit HFCKW befüllt, sondern haben auch eine kurze (Rest-)Lebensdauer.
- Die Entsorgungsemissionen vor 2003 (Tabelle 3 gibt sie für 2000 mit 19 t an) sind besonderer Art. Es handelt sich um Rückgewinnungsverluste aus der Verschrottung von Altanlagen, die in den

Jahren 1994 bis 1999 nicht mit reinen HFKW, sondern mit HFKW-haltigen Drop-In-Kältemitteln im Zuge des FCKW-12-Ersatzes befüllt wurden. Die Emissionen der als Drop-In-Gemischkomponenten dienenden HFKW-125, 152a und 143a fallen ab 1994 im laufenden Betrieb und ab 1999 auch bei der Verschrottung an. Ab 2005 spielen sie keine Rolle mehr.

- Der in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgedrückte Beitrag zum Treibhauseffekt steigt von 1995 bis 2010 von 0,28 Mio. Tonnen auf 7,66 Mio. Tonnen an (vgl. Tabelle 3). (Daraus errechnet sich ein mittleres GWP der emittierten Kältemittel von knapp unter 2400.)

### Relative Emissionsminderung bis 2010 – Minderungsszenario

- Als Kältemittel-Substitute mit nur geringem Treibhauspotential werden vor allem Kohlenwasserstoffe, Ammoniak und CO<sub>2</sub> diskutiert. Zweifellos wird Ammoniak (NH<sub>3</sub>) in der Industriekälte seine führende Rolle ausbauen, doch diese Zunahme ist im BaU-Szenario schon berücksichtigt. Der Durchbruch der CO<sub>2</sub>-Technologie vor 2010 steht am ehesten bei der Pkw-Klimatisierung bevor, wengleich mit ihr auch bei Wärmepumpen und Transport-Containern experimentiert wird (Süß 1999). Was Kohlenwasserstoffe betrifft, so bewähren sie sich bei kleinen hermetischen Verdichtern – in Haushaltsgeräten, Wärmepumpen und kleinen Raumklimageräten.
- Eine umfassende Ausweitung der Kohlenwasserstoffe (KW) in den großen Sektoren Gewerbe- und Industriekälte und Gebäudeklima ist aus heutiger Sicht bis 2010 nicht zu erwarten. Nach anfänglichen Versuchen einiger Lebensmittel-Handelsketten mit primärem KW-Kältemittelkreislauf und indirekter Kühlung ist die Erwartung bezüglich brennbarer Kältemittel für größere Anlagen wieder gedämpft. Der für indirekte Systeme erforderliche höhere Energiebedarf ist bislang nicht nur teuer, sondern trägt – zumindest in Deutschland – auch durch mehr CO<sub>2</sub> insgesamt

stärker (> 10 %) zum Treibhauseffekt bei als Direktssysteme (TEWI-Konzept). Dies sind Erfahrungen von Betreibern indirekt kühlender KW-Supermarktanlagen (Kalter/Boergen 1998).

- Unter der Voraussetzung mangelnder stofflicher Alternativen zu HFKW-Kältemitteln (Substitution) kommt der Minderung der Emissionen erhöhte Bedeutung zu. Es gibt in vielen Ländern Vorschriften zur Rückgewinnung von Kältemitteln (UNEP-RTOC 1998, 242). Die meisten beziehen sich aber ausschließlich auf chlorhaltige Substanzen (ODS). Dies gilt auch für den Vorschlag der Europäischen Kommission (EC 98), der für ODS eine jährliche Kontrolle der Anlagendichtheit vorsieht.
- Praktische Erfahrungen zum Einfluß gesetzlicher Regelungen auf Kältemittel-Emissionen aus stationären Kälteanlagen liegen aus den Niederlanden vor. Dort erließ der Staat 1994 (rückgehend auf 1992) Vorschriften zur Leckdichtheit von Kälteanlagen, die sich ausdrücklich auf alle halogenierten Kältemittel, nicht nur auf ODS, beziehen (Technical requirements for refrigeration equipment bzw. Regelung lekdichtheitsvoorschriften koelinstallaties 1994). Diese in Anlehnung an einen EU-Normentwurf (prEN 378) entwickelte Regelung, die vor allem Anlagen > 3 kg Kältemittelfüllung betrifft (aber auch kleinere, wenn sie über 500 Watt Kälteleistung erbringen), umfaßt im wesentlichen zwei Teile: Erstens technische Vorschriften für Bau und Installation (Materialien, Komponenten, Art der Verbindungen usw.). Zweitens regelmäßige Inspektion und Wartung durch Betreiber und Sachkundige. Beides geschieht unter Aufsicht der unabhängigen Stiftung STEK (Techn. requirements 1994).
- Erste Auswertungen zeigen: Die niederländischen Kältemittellemissionen sind seit 1994 bei Anlagen, die unter die neue Regelung fallen, deutlich zurückgegangen. So haben sich die Jahresverluste bei 75 Supermärkten von 15 % auf 3 % vermindert (van Gerwen u. a. 1998). Sowohl van Gerwen (1999) als auch Graal (1999) führen die Emissionsreduzierung je zur Hälfte auf neue technische Anforderungen bzw. auf regelmäßige Wartung durch Sachkundige zurück.
- In Deutschland fordert der Verband des Kälteanlagenbauerhandwerks VDKF seit 1996 (VDKF 1996) eine rechtlich verbindliche Wartungspflicht für Kälte- und Klimaanlageanlagen. In dem Arbeitsgespräch „Maßnahmen zur regelmäßigen Instandhaltung von Kälte- und Klimaanlageanlagen“ im Umweltbundesamt Berlin am

13. 3. 1996 wurde von den Kälteanlagenbauern auf Einsparungen bei Kältemitteln und Energieverbrauch infolge regelmäßiger Wartung hingewiesen, die deren zusätzliche Kosten decken. Von Betreiberseite wurde damals die Kostenneutralität mit Skepsis gesehen.

- Eine gesetzliche Verordnung zur regelmäßigen Wartung von Kälteanlagen ist in Deutschland auf der Grundlage des Chemikalien- oder des Immissionschutzgesetzes machbar. **Sie ist keine Maßnahme gegen die Verwendung von HFKW, sondern setzt diese voraus.** Sie könnte binnen weniger Jahre die Emissionen aus den betreuten Kälteanlagen wenn nicht auf 25 % senken, so doch halbieren. Zu beachten ist, daß die vom Kältehandwerk befürwortete Wartungspflicht nur eine der beiden Elemente der niederländischen Regelung ist, die außerdem technische Anforderungen an Bauteile, Installation usw. festlegt.
- Für die relative Emissionsminderung (Minderungsszenario) wird unterstellt, daß ab 2003 in Deutschland eine Wartungspflicht für alle kälte- und klimatechnischen Anlagen eingeführt wird. Ausgenommen sind – in Anlehnung an die bewährte Bagatellgrenze für den R 12-Ersatz in Altanlagen – steckerfertige Geräte, falls das Kältemittel in einem dauerhaft geschlossenen Kreislauf geführt wird, und alle Anlagen, deren Kältemittelmenge unter 1 kg liegt. Damit betrifft die Regelung 75 Prozent des gesamten Kältemittelbestandes in kälte- und klimatechnischen Anlagen. Aus der Wartungspflicht heraus fallen lediglich die Kleingeräte in Industrie und Gewerbe (6000 t Bestand in 2010), die meisten Raumklimageräte (1500 t Bestand in 2010) und die meisten Hauswärmepumpen (250 t Bestand in 2010).
- Als Effekt wird unterstellt, daß sowohl die Emissionen aus dem laufenden Betrieb als auch die Rückgewinnungsverluste bei den gewarteten Anlagen schrittweise sinken und spätestens nach fünf Jahren um die Hälfte niedriger sind als im BaU-Szenario. Es ergeben sich dann die Werte von Tabelle 4 bzw. Diagramm 3.

Tab. 4: Emissionen von HFKW-Kältemitteln aus Kühl- und stationären Klimaanlageanlagen 1995-2010 nach Minderungsszenario				
	1995	2000	2005	2010
Laufende Emissionen	126	1199	1579	1367
Entsorgungsemissionen	0	19	221	355
Gesamtemissionen in t	126	1219	1800	1721
Emiss. in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äquivalente	0,28	2,90	4,30	4,11

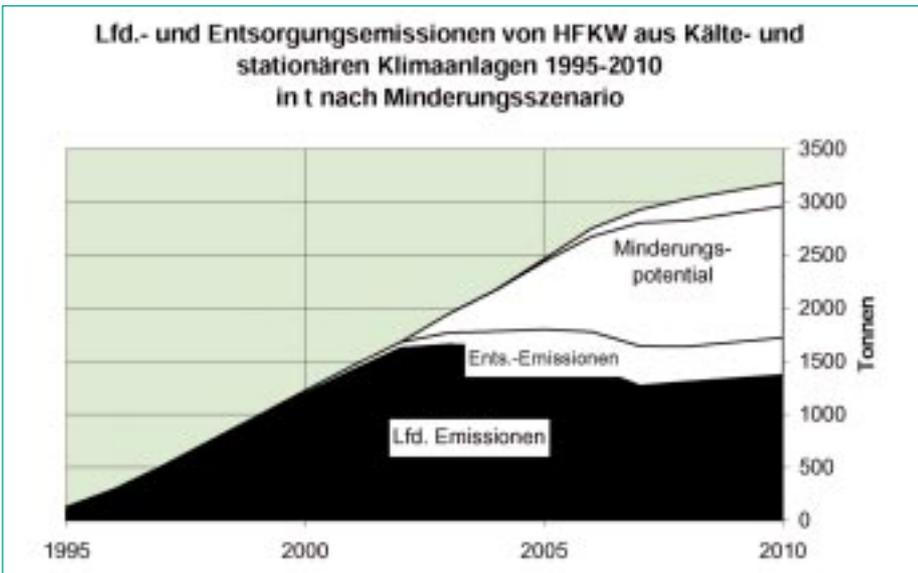


Diagramm 3 Lfd. und Entsorgungsemissionen von HFKW aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen 1995–2010 in t – Minderungs- und BaU-Szenario. Statt wie im BaU-Szenario (alle Flächen zusammen) steigen die Emissionen nach 2003 nicht mehr. Die Summe aus Lfd. und Entsorgungsemissionen (farbige Flächen) bleibt bis 2010 relativ konstant

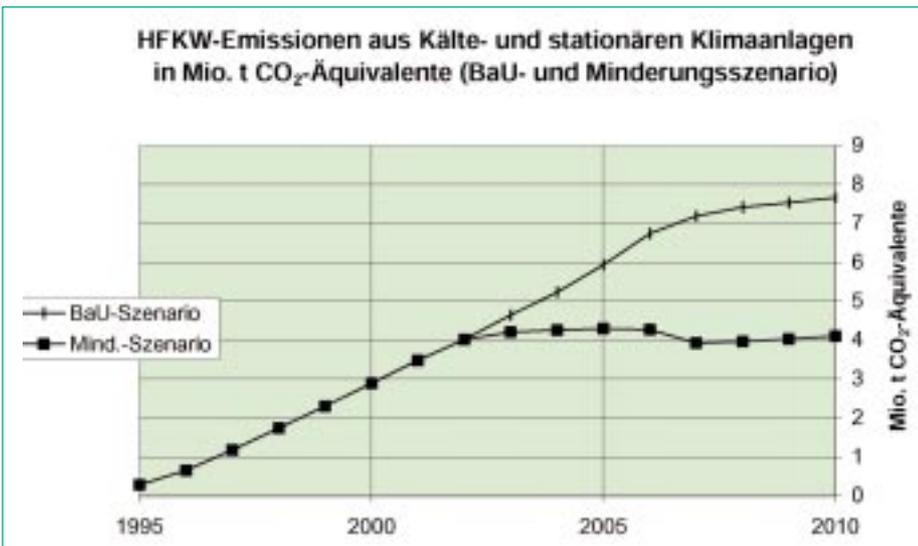


Diagramm 4 HFKW-Emissionen aus Kälte- und stationären Klimaanlageanlagen in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente (BaU- und Minderungsszenario). Ab 2003 steigt der Beitrag zum Treibhauseffekt im Minderungsszenario II nicht mehr weiter an – wie das im BaU-Szenario der Fall ist

- Nach Einführung der Wartungspflicht (2003) betragen im Jahr 2010 die laufenden Emissionen gegenüber dem BaU-Szenario statt 2606 nur noch 1367 t (52 %) und die Entsorgungsverluste statt 574 nur noch 355 t (62 %). Die Gesamtemissionen sind nicht 3180, sondern nur noch 1721 t (54 %). Die Emissionsrate (Gesamtemissionen) beträgt, bezogen auf den Kältemittel-Gesamtbestand von 30 000 t, rd. 5,7 %. Das ist gegenüber den 10,6 % zwar keine Halbierung, da 25 % des Kältemittelbestands von der Wartungspflicht ausgenommen sind, aber eine Senkung um 45 %.

- Diagramm 3 zeigt den Emissionsverlauf im Minderungsszenario. Eine Wartungspflicht führt dazu, daß die Emissionen (Gesamtemissionen) seit dem Zeitpunkt ihrer Einführung nicht mehr weiter ansteigen, wie dies im BaU-Szenario der Fall ist, sondern auf gleichbleibendem Niveau verharren.

- Der Beitrag zum Treibhauseffekt ist um 3,55 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente niedriger: statt 7,66 Mio. nur 4,11 Mio. t. Die Verlaufskurven für die zwei Szenarien zeigt Diagramm 4.

### Schlußbemerkung

Alles in allem würde eine allgemeine Wartungspflicht einen bedeutsamen Beitrag zur Senkung der direkten Emissionen treibhauswirksamer Gase leisten, die dem Kyoto-Klimaschutz-Protokoll unterliegen. Sie kann Emissionen von rund 3,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in die Atmosphäre verhindern. Dazu kommt: Eine sachkundige Anlagenwartung sorgt nicht nur für dichtere Anlagen, sondern senkt zugleich deren Stromverbrauch. Damit trägt sie zusätzlich zur Senkung indirekter CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Kraftwerken bei. Ihre Umsetzung in deutsches Recht erscheint daher vom Umweltstandpunkt doppelt sinnvoll.

Nachweise

Die hier auszugsweise veröffentlichte Studie für das Umweltbundesamt stützt sich auf umfangreiche Literatur- und Veröffentlichungsnachweise, die der KK-Redaktion vorliegen, aber im übrigen in der kompletten Studie (sie behandelt auch vielfältige andere H-FCKW-Anwendungs-/Verwendungsbereiche) enthalten ist.

\* „Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> in Deutschland“, verfaßt von Öko-Recherche,