

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

Vorausbestimmung von Emissionen für den Zeitraum von 2002 bis 2015* (2)

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

Erstmals seit Verabschiedung des Kyoto-Protokolls wurde im Rahmen einer wissenschaftlichen Recherche die Veränderung des gesamten direkten Treibhausbeitrags bei der Anwendung halogenierter 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. Während Teil 1 dieser Veröffentlichung in KK 2/2005 (S. 12–20) die Berechnungsmethode zur Ermittlung der Kältemittellemissionen und ihre globale Verifizierung erläutert sowie den Kältemittelbestand nach Sorte und Anwendung zuordnet, enthält nun Teil 2 Aussagen über mögliche Emissionen für den Zeitraum 2002 bis 2015.

Vorausschau auf den Zeitraum 2002 bis 2015

Zwei Szenarien für die Vorausschau auf 2015

Die Vorausschau auf 2015 für den Bestand und für die Emissionen erfolgt auf der Grundlage von zwei Szenarien, nämlich

- weiter wie bisher üblich (Business As Usual, BAU), und
- einer Minderung (mitigation, MITIG) unter Einbeziehung der Regulierungsvorschriften, des technologischen Fortschritts und der zunehmenden fachlichen Erfahrung.

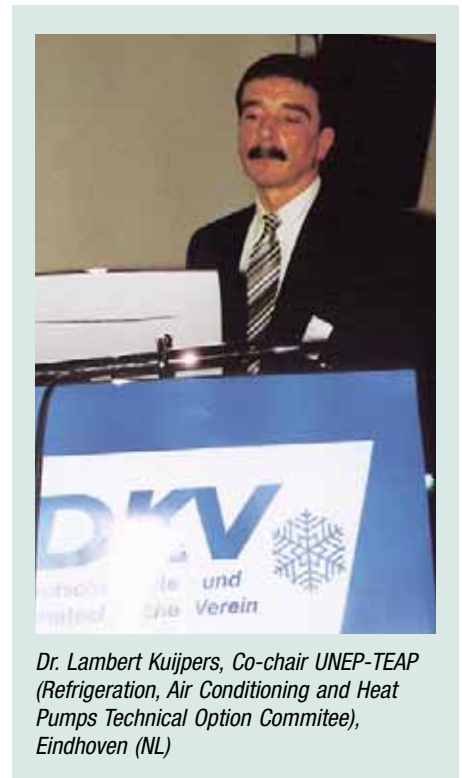
Jeder der folgenden Anwendungsbereiche ist unabhängig voneinander untersucht worden:

- Haushaltskälte
- Gewerbliche Kühlung
- Kühltransport
- Industrielle Kühlung
- Stationäre Klimatisierung
- Mobile Klimatisierung

Dabei wurden die Berechnungen für zehn Länder bzw. Ländergruppen durchgeführt:

- Afrika,
- Süd- und Mittelamerika,
- Nord- und Westasien,
- Süd- und Ostasien,
- China,
- Osteuropa und Russland,
- Europäische Union,
- Japan,
- Ozeanien,
- USA.

Alle Kältemittel wurden zur Erzielung einer möglichst guten Datenkonsistenz in die Betrachtung einbezogen. Die Verwendung von FCKW und H-FCKW (und zu einem gewissen Teil auch HFKW und andere Kältemittel) ist unter der Wirkung der Regulierungsvorschriften berücksichtigt, die seit dem Montreal-Protokoll in den Industrieländern für beide Kältemittel und in den Entwicklungsländern nur für FCKW in Kraft getreten sind. Für die Industrieländer (die „Nicht Artikel 5(1)-Länder“ des Montreal-Protokolls) wurde der Ausstieg bereits vollzogen (z.B. 1996 für FCKW) oder auf einen früheren Zeitpunkt als für die Artikel 5(1)-Länder festgelegt (für H-FCKW). In der Gruppe der „Nicht Artikel 5(1)-Länder“ beschloss Europa zudem einen viel engeren Zeitplan für den FCKW- und vor allem für den H-FCKW-Ausstieg, als im Montreal-Protokoll vorgesehen. Dieser Regulierungsrahmen ist in die Berechnung der Prognosewerte bis 2015 aufgenommen



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

worden. Das Marktwachstum ist analog dem Wachstum im Jahrzehnt vor 2002 geschätzt und entsprechend der ökonomischen Situation in jeder der Ländergruppen berücksichtigt worden.

Business As Usual Szenario (BAU)

In diesem Anwendungsszenario sind die Anwendungstechnologie und die Emissionen unverändert für die Periode bis 2015 angesetzt worden. Die Rückgewinnungseffektivität wird nicht gesteigert. Nur die Regulierungsvorschriften für Kältemittelverbote und für Ersatzkältemittel sind Bestandteil dieser Betrachtungsweise.

* Als Vortrag anlässlich der Deutschen Kälte-Klimatagung des DKV durch Dr. Lambert Kuijpers am 18.11.2004 in Bremen gehalten.

Mitigation-Szenario (MITIG) – Teilverzicht auf HFKW

In diesem Szenario werden wesentliche Verbesserungen in den verschiedenen Anwendungsbereichen für die Reduzierung der CO₂-äquivalenten Emissionen durchgeführt:

- Die Systemdichtheit ist verbessert durch zuverlässigere Komponenten.
- Die Rückgewinnungseffektivität während der Servicezeit und bei der Entsorgung ist wesentlich besser. Die Rückge-

winnung erfolgt auch in allen den Anwendungsbereichen, in denen sie vorher nicht üblich war.

- Die Technologien für die Reduzierung der Kältemittelfüllmengen sind eingeführt und werden angewendet (Kompaktheit, indirekte Systeme).
- Kältemittel mit geringen oder geringeren GWP-Werten werden bevorzugt überall dort verwendet, wo das möglich ist.

Die Emissionen werden durch besseren Service und durch die Verwendung von Überwachungseinrichtungen an den Kälte-

anlagen reduziert. Die Kältemittelrückgewinnung wird generell in allen Anwendungsbereichen angewendet. Das Personal ist gut ausgebildet und mit den richtigen Arbeitsmitteln ausgestattet.

Die Technologie basiert auf der Wahl der geringsten Kältemittelfüllmenge mit Kältemitteln, die einen geringen GWP-Wert aufweisen, wo immer das möglich ist.

Alle Annahmen sind detailliert von Land zu Land und Anwendungsbereich zu Anwendungsbereich Basis für die Berechnungen.

Vorausschau des Kältemittelbestandes bis 2015

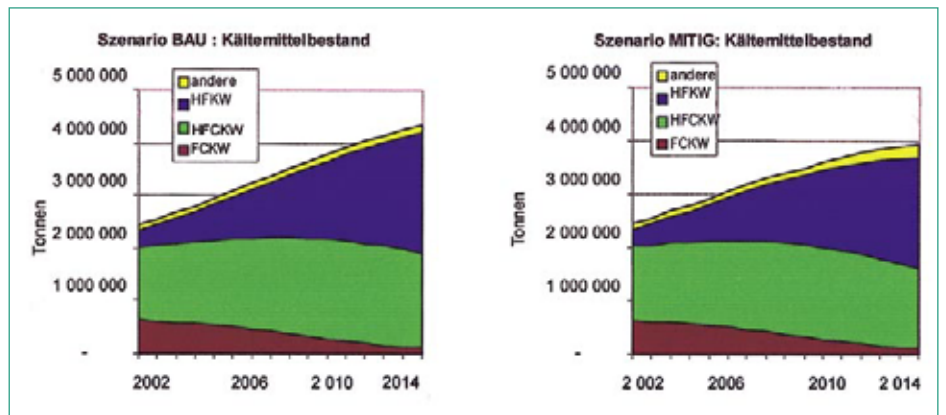
Kältemittelbestand nach Sorten

Der Kältemittelbestand wird nach dem BAU-Szenario von 2,7 Mio. t im Jahre 2002 auf 4,3 Mio. t 2015 steigen. Der HFKW-Bestand wird in 13 Jahren um einen Faktor von 4 bis 5 zunehmen (2002 bis 2015). Alle Überwachungsmaßnahmen zur Reduktion der Kältemittellemissionen haben keinen signifikanten Einfluss auf den Kältemittelbestand während der Periode 2002 bis 2015 (wegen der langen Wirkungszeiten, d.h. Anlagenlebensdauer, bevor eine Bestandsänderung durch Reduktion der Kältemittelfüllmengen wirksam wird). Im MITIG-Szenario würde sich der Kältemittelbestand mehr oder weniger stabil bei einem Wert von 4 Mio. t einpendeln (das Kältemittel NH₃ eingeschlossen).

Bild 9 Entwicklung des Kältemittelbestandes (in t)

Massetonnen	FCKW	H-FCKW	HFKW	Andere	gesamt
BAU	103 769	1 791 370	2 297 873	152 204	4 345 216
MITIG	101 276	1 491 239	2 082 504	268 395	3 943 414
ODP-Tonnen	FCKW	H-FCKW	HFKW	Andere	gesamt
BAU	82 124	71 132	-	-	155 174
MITIG	80 105	59 139	-	-	141 370

Tabelle 10 Kältemittelbestand im Jahre 2015 (in t) für beide Szenarien



Kältemittelbestand nach Anwendungsgebieten

Das Anwendungsgebiet mit dem größten Kältemittelbestand nach dem BAU-Szenario im Jahre 2015 ist die stationäre Klimatisierung mit 1,8 Mio. t (42%). Weltweit wird 2015 der größte HFKW-Bestand in der mobilen (28%) und stationären Klimatisierung (41%) zu finden sein.

Die H-FCKW werden 2015 weltweit vorrangig mit 0,75 Mio.t R22 in der Gewerbekälte zu finden sein.

Der FCKW-Bestand geht bis 2015 auf ca. 100 000 t zurück. Der größte Anteil kommt von der Haushaltskälte (33%) und von der

Masse-tonnen	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
BAU	239 256	1 193 236	23 210	355 665	1 857 926	675 923
MITIG	200 055	1 086 643	23 210	331 132	1 691 315	611 059
Differenz	-16 %	-9 %	0 %	-7 %	-9 %	-10 %
ODP-tonnen	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
BAU	30 362	35 456	157	18 429	59 289	11 481
MITIG	28 724	32 827	157	18 103	50 116	11 443

Tabelle 11 Kältemittelbestand 2015 (in t), Verteilung nach Anwendungsgebieten

Industriekälte. Anlagen in diesen Bereichen haben eine relativ lange Lebensdauer

und die Emissionsraten sind generell gering. Ein größerer Zeitabstand zwischen den Servicemaßnahmen ist zulässig.

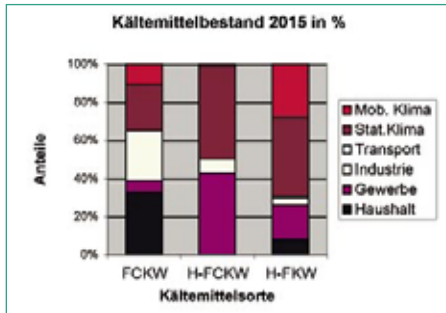


Bild 10 Kältemittelbestand 2015, Verteilung nach Anwendungsgebieten

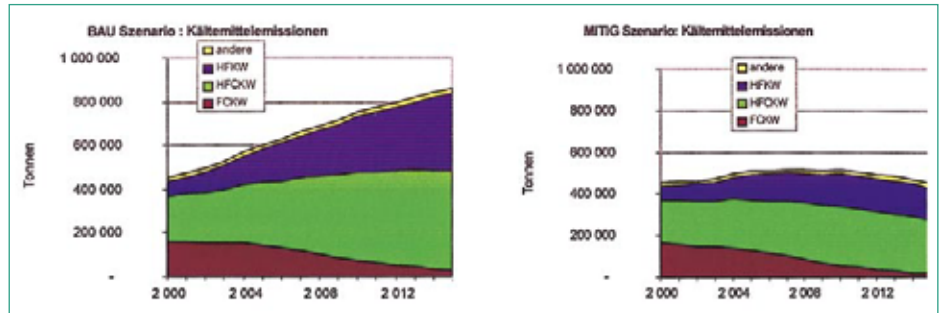


Bild 11 Trends in den Kältemittelemissionen 2002 bis 2015

Vorausschau auf die Kältemittelemissionen bis 2015

Kältemittelemissionen nach Sorte

Für 2002 werden die Kältemittelemissionen zu 500 000 t berechnet, darin eingeschlossen 100 000 t HFKW. Im gleichen Jahr repräsentieren die H-FCKW die Hälfte der weltweiten Kältemittelemissionen. Nach dem BAU-Szenario würden im Jahre 2015 die Kältemittelemissionen 870 000 t erreichen, wobei die HFKW weltweit einen hohen Anteil von 42% aufweisen würden. Nach dem MITIG-Szenario werden die

Massetonnen	FCKW	H-FCKW	HFKW	Andere	gesamt
BAU	24 585	455 028	365 719	22 586	867 918
MITIG	14 369	258 928	161 761	22 160	457 218

Tabelle 12 Kältemittelemissionen (in t) im Jahre 2015

maximalen Effekte durch das technische Regelwerk erreicht. Die Emissionen werden dank des besseren Service und der Installation von Überwachungstechnik an den Kälteanlagen gesenkt. Die Kältemittelrückgewinnung wird überall angewendet, das Personal ist gut qualifiziert und mit den richtigen Werkzeugen ausgerüstet. Im MITIG-Szenario würden die weltweiten Emissionen ihr Maximum im Zeitraum

2008 bis 2010 bei ca. 520 000 t erreichen. Danach würden sie fallen und im Jahre 2015 unter dem Wert von 2002 liegen (gesamt 457 000 t, s. Bild 11).

Die zunächst steigenden HFKW-Emissionen würden sich schnell stabilisieren. Sie würden nur noch 35% der Gesamtemissionen (in t) im MITIG-Szenario ausmachen (Gesamtemissionen 160 000 t).

Kältemittelemissionen nach Anwendungsgebieten

Die Gewerbekälte trägt am meisten zu den Kältemittelemissionen bei. 66% aller H-FCKW-Emissionen stammen aus dieser Anwendung. Die Emissionsraten sind hoch und in einer großen Anzahl von Ländern ist die Rückgewinnung nicht effektiv. Die mobile Klimatisierung trägt bedeutend zu den HFKW-Emissionen bei und macht 2015 nahezu die Hälfte aller Emissionen aus. Geringere Emissionen sind in der stationären Klimatisierung zu erwarten, wo eine Senkung auf 21% der HFKW-Emissionen vorhergesagt wird. Im Jahre 2015 sind die FCKW-Emissionen auf die verschiedenen Anwendungsgebiete

Massetonnen	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
BAU	13 404	392 757	8 695	56 024	205 639	191 399
MITIG	6 415	233 139	5 255	35 686	94 639	82 084
Differenz	-52%	-41%	-40%	-36%	-54%	-57%

Tabelle 13 Kältemittelemissionen (in t) im Jahre 2015, Verteilung nach Anwendungsgebieten

verteilt (stationäre und mobile Klimatisierung, Haushaltskälte, Gewerbe- und Industriekälte). Der Anteil der FCKW-Emissionen liegt insgesamt bei nur 3% aller Emissionen. Die meisten Anlagen mit FCKW aus der ursprünglichen Installation haben dann das Ende ihrer Lebensdauer erreicht.

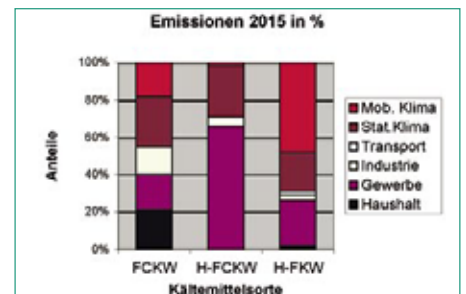


Bild 12 Kältemittelemissionen (in %) im Jahre 2015, Verteilung nach Anwendungsgebieten

Vorausschau auf die CO₂-äquivalenten Emissionen bis 2015

CO₂-äquivalente Kältemittlemissionen nach Sorten

Durch den fortschreitenden Ausstieg aus den FCKW mit ihren generell höheren GWP-Werten gegenüber den H-FCKW und HFKW nimmt die weltweite äquivalente Emissionsmenge trotz des steigenden absoluten Wertes der Emissionen ab. Im BAU-Szenario bleibt das Niveau der weltweiten CO₂-äquivalenten Kältemittlemissionen im Zeitraum 2002 bis 2015 nahezu unverändert bei ca. 1500 kt/a, s. Bild 13. Wenn man nur die HFKW-Emissionen betrachtet, steigt deren äquivalenter Wert von 180000 kt auf 670000 kt im BAU-Szenario. Im MITIG-Szenario erreicht der Wert nur 286000 kt, etwas mehr als 50% des BAU-Szenarios. Es sollte beachtet werden, dass nach dem MITIG-Szenario die äquivalenten Emissionen auf die Hälfte fallen, hauptsächlich durch die Abnahme der FCKW-Emissionen.

	FCKW	H-FCKW	HFKW	Andere	gesamt
BAU	166 664	675 520	665 007	10	1 507 202
MITIG	111 234	385 666	286 837	21	783 758

Tabelle 14 CO₂-äquivalente Kältemittlemissionen im Jahre 2015 (in kt CO₂/a)

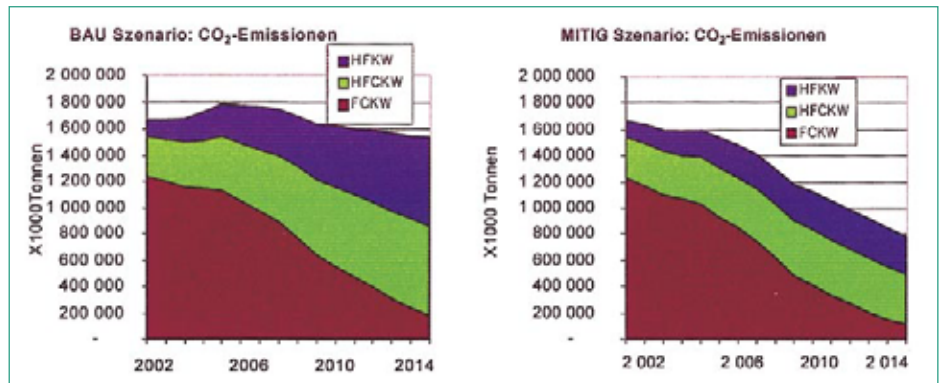


Bild 13 Entwicklung der CO₂-äquivalenten Kältemittlemissionen von 2002 bis 2015

Im rechten Diagramm im Bild 13 für das MITIG-Szenario ist zu erkennen, worauf man die Aufmerksamkeit bei der Senkung der Emissionen von 2002 bis 2015 richten muss. Den größten Anteil am GWP liefern heute die FCKW (55%), gefolgt von den H-FCKW (30%) und den HFKW (15%). Das

Augenmerk ist demnach auf die Vermeidung der Emissionen beim Betrieb und bei der Entsorgung der Anlagen zu richten. Im Falle des BAU-Szenarios ist der HFKW-Anteil größer, aber der hauptsächliche Treibhausbeitrag kommt durch FCKW und H-FCKW zustande.

CO₂-äquivalente Kältemittlemissionen nach Anwendungsgebieten

Die Verwendung von Kältemitteln mit höheren GWP-Werten in der Tieftemperaturkühlung (Gewerbekälte) hat einen direkten Einfluss auf den relativen Anteil an den CO₂-äquivalenten Kältemittlemissionen. Der Anteil der HFKW-Emissionen bei der Gewerbekälte beträgt z. B. nur 24%, aber umgerechnet auf die CO₂-äquivalenten Kältemittlemissionen sind es 45% und damit ist dies das bedeutendste Anwendungsgebiet, s. Bild 14.

	Haushalt	Gewerbe	Transport	Industrie	Stationäres Klima	Mobiles Klima
BAU	51 318	758 869	22 195	91 266	322 788	260 766
MITIG	27 191	418 624	13 280	55 794	149 640	119 229
Differenz	-47%	-45%	-40%	-39%	-54%	-58%

Tabelle 15 CO₂-äquivalente Kältemittlemissionen nach Anwendungsgebieten im Jahre 2015 (in kt CO₂/a)

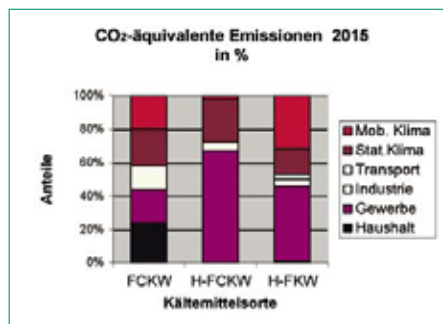


Bild 14 CO₂-äquivalente Kältemittlemissionen nach Anwendungsgebieten im Jahre 2015

Im Jahre 2015 bestimmen die CO₂-äquivalenten H-FCKW-Emissionen fast 50% der Gesamtemissionen und sind damit deutlich größer als die HFKW-Emissionen. Zwei Drittel der H-FCKW Emissionen stammen aus der Gewerbekälte, wobei viel davon vom erwarteten Wachstum dieses Gebietes in den Entwicklungsländern, speziell in Asien, resultiert. Unabhängig vom betrachteten Szenario liefert die Gewerbekälte einen Anteil von mehr als der Hälfte der gesamten CO₂-äquivalenten Kältemittlemissionen.

Zusammenfassung

Eine entwickelte Methode zur Bestimmung des weltweiten Kältemittelbestandes und der Emissionen aus Kälteanlagen führt zu einer qualitativen Sicht auf die Bedeutung der Werte für die Umwelt. Im Jahre 2002 hatte H-FCKW 22 den größten Anteil am Kältemittelbestand, gefolgt von FCKW 12 und hauptsächlich HFKW 134a. In stationären und mobilen Klimaanlage sind etwa 60% des Bestandes (in t) im Einsatz.

Die Emissionen im Jahre 2002 stammten hauptsächlich aus der Gewerbekälte sowie der stationären und mobilen Klimatisierung (87%). Bezüglich des Einflusses auf die globale Erwärmung dominieren die FCKW, gefolgt von H-FCKW 22 und den HFKW.

Für die Ableitung des Emissionsszenarios für die Periode von 2002 bis 2015 kann man das BAU- und das MITIG-Szenario anwenden. Beim BAU-Szenario betragen die CO₂-äquivalenten Kältemittellemissionen nahezu 1500 kt, wobei die HFKW einen

Anteil von 44% haben, d.h. 670 kt. Im MITIG-Szenario reduzieren sich die CO₂-äquivalenten Kältemittellemissionen im Jahre 2015 auf ca. 800 kt, mit einem HFKW-Anteil von rund 300 kt.

Im Falle des MITIG-Szenarios liegt die Betonung für die Minimierung des GWP-Anteiles klar auf der Reduzierung der Emissionen im Zeitraum von 2002 bis 2015. Der größte Anteil am Treibhausbeitrag entfällt heute auf die FCKW (55%), gefolgt von den H-FCKW (30%) und den HFKW (15%). Die Maßnahmen sind auf die Reduzierung der Emissionen während des Betriebes der Anlagen und bei ihrer Entsorgung gerichtet. Obwohl sich die Prozentzahlen verschieben, sind die Schlussfolgerungen für das BAU-Szenario nicht anders.

Zusammenfassend ergibt sich die Notwendigkeit, für die Reduzierung der globalen Erwärmung die Aufmerksamkeit auf folgende Punkte zu richten:

- Minimierung der Emissionen während des Betriebes und bei der Entsorgung der Anlagen, was Vorrang haben sollte.

- Ersatz der H-FCKW in den Bereichen Gewerbekälte und stationäre Klimatisierung, den beiden Anwendungssektoren mit den Hauptanteilen am Treibhausbeitrag. Dieser Einfluss kann sinken, wenn die entsprechenden Maßnahmen für die Emissionsreduzierung ergriffen werden.
- Minimierung der Leckagen während der Befüllung, der Wartung, der Reparatur und der Entsorgung der HFKW-basierten mobilen Klimatisierung, und Einführung von Kältemitteln mit niedrigem GWP-Wert (HFKW 152a oder CO₂).
- Im Hinblick auf den Bestand von FCKW, H-FCKW und HFKW lässt sich klar der Schluss ziehen, dass kurzfristig für die Reduzierung des Treibhausbeitrags vorrangig eine "gute Praxis" im Umgang mit dem Bestand und zu einem geringeren Teil die Anwendung von Niedrig-GWP-Kältemitteln in Betracht kommen. Wegen der Langzeitwirkung (Lebensdauer der FCKW- und H-FCKW-Anlagen) ergibt sich daraus kein wesentlicher Einfluss auf die Reduktionsergebnisse in der nächsten Dekade. ■

Umfangreiche Literaturhinweise zu diesem Beitrag liegen bei der KK-Redaktion vor.

Emissionsprognosen auf einen Blick

Die KK-Redaktion bat EPEE zum vorhergehenden Beitrag um eine Stellungnahme, die folgendermaßen ausfällt:

„Die unten stehende tabellarische Zusammenfassung der Bestands- und Emissionssituation in 2002 und deren Projektion auf 2015 unter dem (realistischen) MITIG-Szenario lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Erwartungsgemäß ist mit einer Bestandszunahme bei starker Anteilsverschiebung von FCKW zu HFKW und „Anderen“ zu rechnen.

- Die Emissionsprognosen spiegeln diesen Trend wider; allerdings stark abgeschwächt für HFKW und „Anderen“. Vermutlicher Grund: Der Einsatz dieser Kältemittel erfolgt überwiegend in Neuanlagen in Industriestaaten bei konsequenter Anwendung emissionsbegrenzender Maßnahmen! Ausgedrückt in CO₂-Äquivalenz-t haben Emissionen ozonabbauender Kältemittel (FCKW und H-FCKW) in 2002 sogar einen Anteil von rund 90% am Treibhausbeitrag durch Kältemittel. Bis 2015 ist mit einer Reduktion auf ca. 63% zu rechnen, während sich der HFKW-Anteil entsprechend von 11 auf 37% erhöht. Insgesamt ergibt sich jedoch eine Abnahme der

Emissionen um rund 53% hauptsächlich bedingt durch die niedrigeren GWP-Werte der HFKW. Die Zunahme der „Anderen“ fällt aufgrund ihres vergleichsweise geringen absoluten Anteils am Emissions-Zuwachs von 4 auf 5% praktisch noch nicht ins Gewicht.

- Heute (2005) wird die CO₂-Äquivalentgewichtete Emissionsverteilung immer noch zu etwa 85% von ozonabbauenden Kältemitteln bestimmt. Der ca. 15%ige HFKW-Anteil macht damit am gesamten anthropogenen Treibhauseffekt, an dem alle halogenierten Kältemittel (FCKW, H-FCKW, HFKW) zusammen einen Anteil von ca. 12–15% haben, maximal 2% aus!“

MITIG-Szenario

	Kältemittel-Bestand in t			Kältemittel-Emissionen in t			Kältemittel-Emissionen in kt CO ₂ -Äquivalenten		
	2002	2015	Δ	2002	2015	Δ	2002	2015	Δ
FCKW	593.156 = 22%	101.276 = 3%	- 83%	144.225 = 29%	14.369 = 3%	- 90%	1.150.237 = 68%	111.234 = 14%	- 90%
H-FCKW	1.500.161 = 56%	1.491.239 = 37%	- 0,6%	236.318 = 47%	258.928 = 57%	+ 10%	345.675 = 21%	385.666 = 49%	+ 12%
HFKW	488.515 = 18%	2.082.504 = 53%	+ 326%	100.644 = 20%	161.761 = 35%	+ 61%	180.920 = 11%	286.837 = 37%	+ 59%
Anderer (NH₃, KW, CO₂)	109.317 = 4%	268.395 = 7%	+ 146%	17.948 = 4%	22.160 = 5%	+ 23%	1 = 0%	21 = 0%	+ 2000%
Gesamt	2.691.149 = 100%	3.943.414 = 100%	+ 38%	499.135 = 100%	457.218 = 100%	- 8%	1.676.833 = 100%	783.758 = 100%	- 53%