

HFKW Phase-Down in der EU – Folgenabschätzung für den Kälte- Klimasektor

ENDVERSION

Version 11

September 2012

HFKW Phase-Down in der EU – Folgenabschätzung für den Kälte- Klimasektor

ENDVERSION

Version 11

September 2012

SKM Enviro
New City Court, 20 St Thomas Street, London, SE1 9RS
The United Kingdom
Tel: +44 20 7759 2600
Fax: +44 20 7759 2601
Web: www.skmenviros.com

COPYRIGHT: Die in diesem Dokument enthaltenen Konzepte und Informationen sind Eigentum von Sinclair Knight Merz (Europe) Ltd. Die Nutzung oder Kopie dieses Dokuments in seiner Gesamtheit oder von Teilen davon ohne die vorherige schriftliche Erlaubnis von Sinclair Knight Merz (Europe) Ltd stellt eine Verletzung des Copyrights dar.

EINSCHRÄNKUNG: Dieser Bericht wurde erstellt im Namen von und für den ausschließlichen Gebrauch des Kunden von Sinclair Knight Merz (Europe) und unterliegt den Bestimmungen, die im Vertrag zwischen Sinclair Knight Merz (Europe) Ltd und seinem Kunden, festgehalten sind. Sinclair Knight Merz (Europe) Ltd übernimmt keine Haftung oder Verantwortung für diesen Bericht und für seine Verwendung durch Dritte.

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	13
1.1. Ziele und Struktur der Studie	13
1.2. Hintergrund	14
1.3. Strategien zur Reduzierung der F-Gas Emissionen	15
1.4. Erklärung zu HFKW-Emissionen, Nachfrage und Verbrauch	15
2. Einsatz alternativer Kältemittel in Kälte- Klimaanwendungen	17
2.1. Auswahl eines geeigneten Kältemittels	17
2.2. Marktsektoren	18
2.3. Derzeitiger Kältemittelleinsatz	20
2.4. Reduzierung von Verbrauch und Emissionen von HFKWs	21
2.5. Kältemittelwahl und Energieeffizienz	23
3. Modellierungsbasis	26
3.1. Einleitung in das Modellieren von Kälte-Klimasektoren	26
3.2. Analyse der Szenarien	26
3.3. Inputparameter	27
3.4. Methodologie für wirtschaftliche Analyse	29
4. Marktsektorprofile und Kältemitteloptionen	31
4.1. Beschreibung der Sektoren	31
4.2. Ampelanalyse der Kältemitteloptionen	34
5. Künftige HFKW-Verbrauchsszenarien für den Kälte-Klimasektor	38
5.1. Einführung in Kälte-Klimaszenarien	38
5.2. Ergebnisse für gesamten Kälte-Klimamarkt	40
5.3. Ergebnisse für die wichtigsten 7 Kälte-Klimasektoren	50
5.4. Umweltvorteile von Wärmepumpen	54
5.5. Wirtschaftliche Analyse	55
5.6. Früher Phase-Down von HFKW 404A	60
5.7. Emissionsreduzierungen	63
6. Interaktion mit nicht Kälte-Klimasektoren	65
6.1. Technische Aerosole	65
6.2. Medizinische Aerosole	66
6.3. Schäume	67
6.4. Brandschutzsysteme	68
6.5. Künftige HFKW-Verbrauchsprofile für nicht Kälte-Klimasektoren	69
7. HFKW Phase-Down Profile	70
7.1. Phase-Down Vorschläge	70
7.2. Analyse von HFKWs im Kälte-Klimasektor	72
7.3. Gesamtanalyse inklusive nicht Kälte-Klimasektoren	73
Appendix A Akronyme und Abkürzungen	74
Appendix B Referenzen	75
Appendix C Marktsektorprofile	76
Appendix D Kältemittelwahl nach Sektor	120

Zusammenfassung

Hintergrund und Methodologie

1. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse einer Studie zusammen, die das Potenzial eines Phase-Downs des HFKW Verbrauchs im EU Kälte- Klima- Wärmepumpenmarkt (RAC – Refrigeration & Air-Conditioning) untersucht. Die Studie wurde im Zeitraum März bis Juni 2012 von SKM Enviros im Namen von EPEE erstellt.
2. Ziel der Studie ist es, die potenziellen Kosten und Emissionsreduzierungen von Treibhausgasemissionen (THG) infolge verschiedener Phase-Down Profile für den HFKW Verbrauch in der EU zu ermitteln.
3. Der europäische RAC Markt wurde detailliert modelliert. Ein neues Modell, das SKM Kältemittelmodell, wurde entwickelt, um ausreichend detaillierte Erkenntnisse im Hinblick auf das Emissionsreduzierungspotenzial und die wirtschaftlichen Auswirkungen eines HFKW Phase-Downs zu erhalten. Das neue Modell baut auf der zuvor ausgeführten Studie von Erie-Armines in 2011 auf.
4. Der RAC Markt wurde in 7 Hauptsektoren und 43 Untersektoren aufgeteilt. Durch die detaillierte Aufteilung wird die Komplexität des RAC Markts berücksichtigt. Andere Studien beruhen auf weniger Untersektoren (Öko-Recherche 2011 hat 18 Untersektoren und Erie-Armines 2011 hat 34). Diese Studie ermöglicht eine sehr präzise Modellierung des Markts.
5. Für jeden Untersektor wurde ein „Standardsystem“ definiert. Die Haupteigenschaften hierfür wurden ermittelt. Dazu gehören zum Beispiel: derzeitiges Marktvolumen, Marktwachstum, Kältemittelbefüllung und Leckageraten, Energieeffizienz und Kapitalkosten. Für jeden Untersektor wurden geeignete alternative Kältemittel untersucht. Jede dieser Alternativen wurde abgeschätzt im Hinblick auf Energieeffizienz, Kapital- und Betriebskosten sowie mögliche Hindernisse für den Einsatz (z.B. Gesetzgebung im Hinblick auf Sicherheit). Die meisten der Alternativen wurden im Hinblick auf neue Systeme untersucht. In manchen Marktsektoren wurde auch die Möglichkeit des Retrofills bestehender Systeme mit einem alternativen Kältemittel analysiert.
6. Ein „Basisfall“ wurde entwickelt, der jährlich den erwarteten Kältemittelverbrauch von heute bis 2040 abschätzt, basierend auf einem Kältemittelmix für neue Anlagen. Der „Basisfall“ beruht auf derzeitigen Vorgehensweisen und Trends im Hinblick auf den Kältemittleinsatz über die nächsten 30 Jahre. Es wurden Alternativszenarien definiert und mit dem „Basisfall“ verglichen. Jedes Szenario fügt Veränderungen hinzu, die zu einer weiteren Reduzierung des HFKW Verbrauchs führen.
7. Die wirtschaftlichen Folgen eines jeden Szenarios wurden modelliert und mit dem „Basisfall“ verglichen. Ergebnis ist eine Kostenabschätzung der Emissionseinsparung in € pro eingesparter Tonne an CO₂. Der jährliche Verbrauch der Kältemittel wurde für jedes

Szenario ermittelt und mit den Phase-Down Profilen, die im Rahmen des Montrealer Protokoll Prozesses entwickelt wurden, verglichen.

8. Die Daten, die als Input für das SKM Kältemittelmodell verwendet wurden, weisen erhebliches Wachstum in einigen Untersektoren zwischen 2010 und 2030 auf. Vor allem für den Sektor der stationären Klimaanlage wird ein Wachstum von 90% in diesem Zeitraum erwartet. Wärmepumpen (nur Heizen) werden voraussichtlich sogar um 290% wachsen (im Durchschnitt um 7% pro Jahr, ausgehend von einer niedrigen Basis). Dieses hohe Wachstum beeinflusst die Nachfrage für Kältemittel in diesen Märkten. HFKW Phase-Down Modelle müssen diese Marktveränderungen berücksichtigen.

Untersuchte Szenarien

9. Vier Hauptszenarien werden in diesem Bericht vorgestellt. Dabei handelt es sich um:

Szenario	Beschreibung	Kommentare
A	Geringe Auswirkung (Basisfall) (alle Szenarien werden in der wirtschaftlichen Analyse mit dem Basisfall verglichen)	Das Szenario A stellt eine konservative Sichtweise der derzeitigen Veränderungen im Kältemiteleinsatz dar. Es wird als Normalfall („Business As Usual“) für den Vergleich mit allen folgenden Szenarien zugrunde gelegt. Das Szenario A gibt den möglichen Einsatz von HFKWs basierend auf der derzeitigen Gesetzgebung (insbesondere der F-Gase Verordnung von 2006) wieder.
B	Mittlere Auswirkung	Szenario B führt Reduzierungen des HFKW Einsatzes in neuen Systemen ein und Verbesserungen der Leckageniveaus durch komplette Implementierung der F-Gase Verordnung.
C	Hohe Auswirkung	Im Vergleich zu Szenario B geht dieses Szenario von (i) höherem Einsatz von Alternativen mit sehr niedrigem GWP Wert aus, (ii) frühem Einsatz von Alternativen mit mittlerem GWP Wert für neue Anlagen, um die Installation von neuen Systemen mit hohem GWP Wert zu vermeiden und (iii) Retrofill eines Teils des Bestands, der mit Kältemitteln mit hohem GWP befüllt ist (besonders HFKW 404A), wenn es die Umstände erlauben.
D	Höchste Auswirkung	Dieses Szenario geht einen Schritt weiter als Szenario C und setzt den umfassenden Einsatz von A2L (leicht brennbaren) Kältemitteln ab 2020 in stationären Klimaanlage und Industriekälte voraus.

Untersuchte Kältemittelalternativen

10. Vierzehn verschiedene Kältemittel wurden als Alternativen zu den derzeitig eingesetzten HFKWs untersucht. Diese wurden in 3 Gruppen aufgeteilt, basierend auf dem Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP):

Gruppe 1: 6 Kältemittel mit einem sehr niedrigen GWP Wert (unter 10): Ammoniak, CO₂, Kohlenwasserstoffe (HC) und 3 neue ungesättigte HFKWs (HFOs).

Gruppe 2: 4 Kältemittel mit niedrigem GWP Wert (zwischen 100 und 1000): HFKW 32, HFKW 245fa und 2 HFO Gemische (leicht brennbare Gemische mit einem GWP Wert von 300 und nicht brennbare Gemische mit einem GWP Wert von 700)

Gruppe 3: 4 Kältemittel mit mittlerem GWP Wert (zwischen 1000 bis knapp über 2000): HFKW 134a, HFKW 410A, HFKW 407A und HFKW 407F. Dabei ist es wichtig zu verstehen, dass der GWP Wert dieser Kältemittel nur ein Drittel bzw. halb so hoch ist wie der des umfassend eingesetzten HFKWs 404A. Dies führt zu schnellen und kosteneffizienten Reduzierungen des HFKW Verbrauchs.

Phase Down Profile für den gesamten RAC Markt

11. Ein wichtiges Ergebnis der Modellierung ist der Vergleich des künftigen Kältemittelverbrauchs mit bereits bestehenden Phase-Down Profilen aus Nordamerika (NA) und der EU (RED – entwickelt von Öko-Recherche). Abbildung ES1 zeigt den Verbrauch für verschiedene Szenarien im Vergleich mit diesen Profilen. Die 3 „gestuften“ Linien sind die bestehenden Phase-Down Profile und die 4 Kurven A, B, C und D sind 4 der Verbrauchsszenarien, die in dieser Studie untersucht wurden.

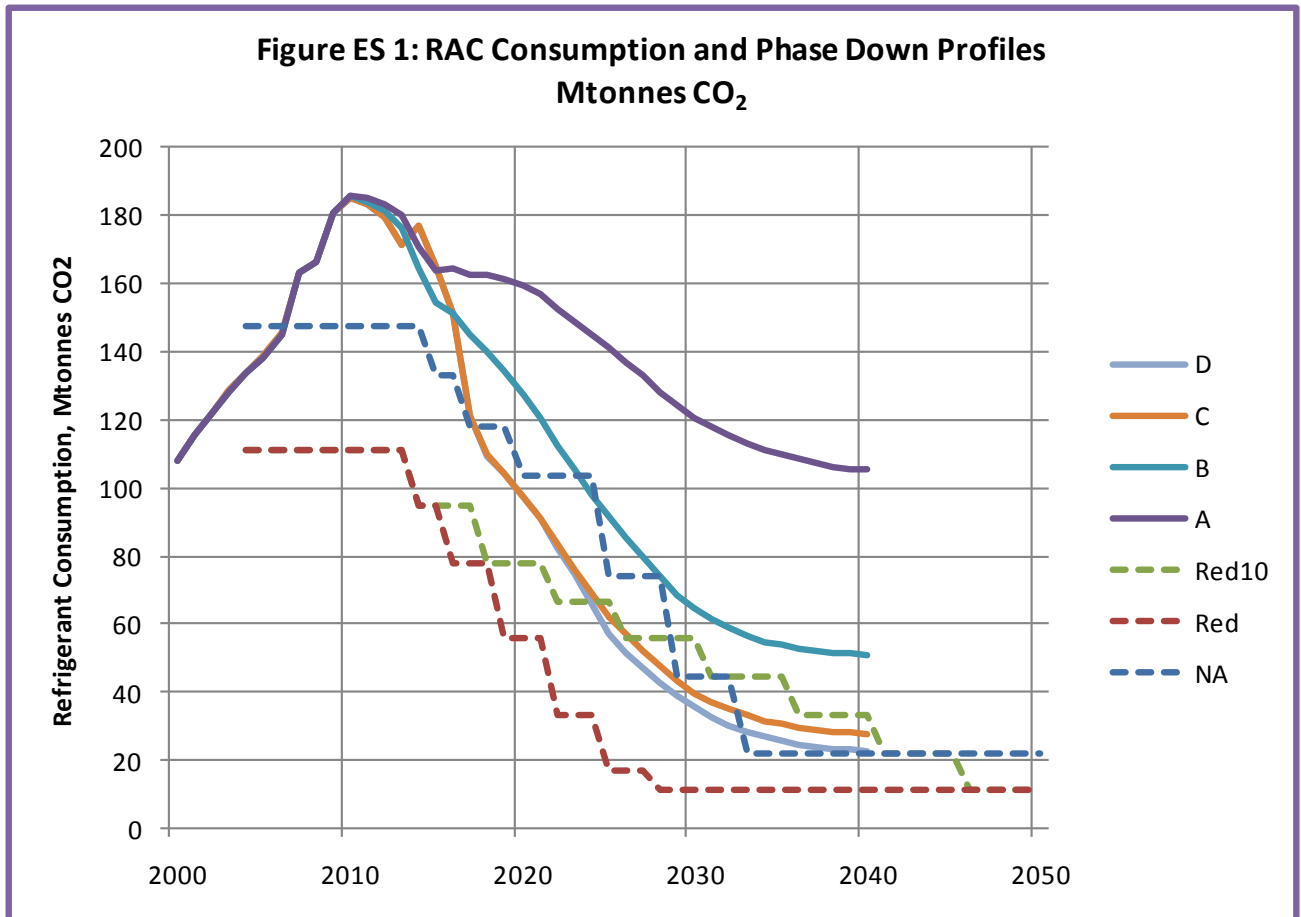


Abbildung ES 1 zeigt deutlich, dass:

- Szenario A (der Basisfall) nur zu einer schwachen Abnahme des Kältemittelverbrauchs führt.
- Szenario B nur in 2024 und 2028 mit dem NA Profil übereinstimmt.
- Szenario C zwischen 2018 und 2032 mit dem NA Profil übereinstimmt, aber dessen Ziele in den ersten Jahren und nach der letzten Stufe in 2033 verfehlt.
- Szenario D führt zu steileren Reduzierungen als C, aber verfehlt ebenfalls den letzten Schritt im NA Profil.
- Die Ziele von 2014 bis 2018 nur schwer einzuhalten sind, da die in allen Vorschlägen definierten Ausgangslinien das Marktwachstum zwischen 2005 und 2012 nicht berücksichtigen.

- Die steilen Einschnitte, die die EU Profile vorschlagen, in den RAC Sektoren nur schwer zu erreichen sind im Rahmen der untersuchten Szenarien.

Kosten der Emissionsreduzierung

12. Das gesamte Emissionsreduzierungspotenzial für die 3 Szenarien wird in Tabelle ES1 zusammengefasst.

**Tabelle ES 1: Reduzierung der Bruttoemissionen (Mtonnes CO₂) –
verglichen mit Szenario A, 2030**

	B	C	D
1 - Haushaltskälte	0.1	0.1	0.1
2 - Gewerbekälte	24.2	34.6	34.6
3 - Transportkälte	0.9	1.4	1.4
4 - Industriekälte	2.7	5.2	5.4
5 – Stationäre Klimaanlage und Wärmepumpen	14.5	15.4	16.9
6 - Chiller & Wärmepumpen (Wasser)	5.0	5.8	5.8
7 - Mobile Klimageräte	2.3	2.5	2.5
Gesamt	49.6	64.8	66.6

Diese Tabelle zeigt, dass 65 bis 67 Millionen Tonnen CO₂ bis 2030 in den Szenarien C und D eingespart werden können. Über die Hälfte der potenziellen Ersparnisse kommen aus dem Sektor der Gewerbekälte.

13. Die wirtschaftlichen Auswirkungen aller Szenarien im Hinblick auf die Kosten in € pro eingesparter Tonne CO₂ werden in Tabelle ES 2 gezeigt.

**Tabelle ES 2: Kosten der Emissionsreduzierung (€/tCO₂)
– verglichen mit Szenario A, 2030, Mittlere Annahme**

	B	C	D
1 - Haushaltskälte	-119	-95	-95
2 - Gewerbekälte	15	23	23
3 - Transportkälte	5	-11	-11
4 - Industriekälte	10	-1	16
5 – Stationäre Klimaanlage und Wärmepumpen	24	27	45
6 - Chiller & Wärmepumpen (Wasser)	-7	4	4
7 - Mobile Klimaanlage	7	11	11
Gesamt	15	19	25

Diese Tabelle zeigt, dass die Gesamtkosten der Emissionsreduzierung, basierend auf dem "mittleren Fall" der wirtschaftlichen Ausgangsparameter, bei €15 bis €25 pro Tonne CO₂ liegen. Die in Tabelle ES 2 gezeigten Kosten gelten für 2030.

14. Die wirtschaftliche Analyse hängt stark von den Ausgangsparametern ab, die sich auf (a) die Extrakapitalkosten im Hinblick auf den Einsatz alternativer Kältemittel, (b) die zusätzlichen Wartungskosten und (c) den Unterschied in der Energieeffizienz beziehen. Viele der betrachteten Kältemittelalternativen (insbesondere HFOs und HFO Gemische) sollen erst in 2015 auf den Markt kommen. Das macht es schwierig, die Kosten und

Leistung der RAC Anlagen, die diese Kältemittel einsetzen, vorherzusagen. Andere wichtige Optionen wie z.B. CO₂ sind noch in einem frühen Entwicklungsstadium im Hinblick auf ihre Marktdurchdringung, was es ebenfalls erschwert, Kosten und Leistung vorherzusagen.

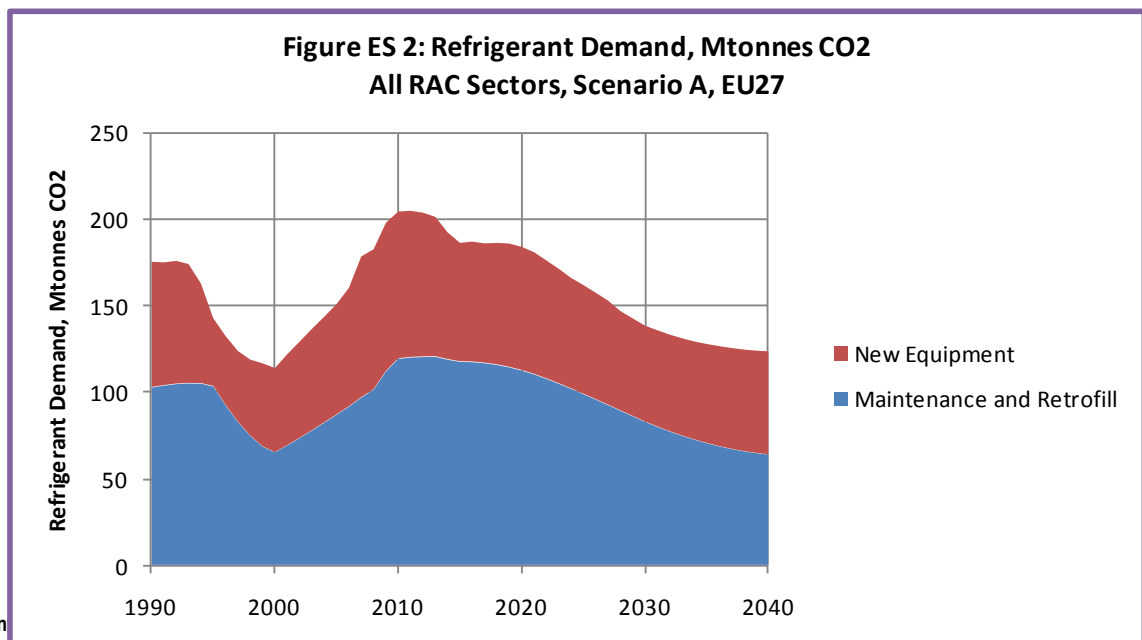
Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden in Tabelle ES 3 gezeigt. Daraus geht hervor, dass die Kosten für die Emissionsreduzierung zwischen €4 bis €43 pro Tonne CO₂ liegen können.

Tabelle ES 3	Emissionsreduzierungskosten € pro Tonne CO ₂		
	Scenario:	B	C
Hohe Kapitalkosten, hohe Wartungskosten, niedrige Effizienz	25	34	43
Mittlerer Fall	15	19	25
Niedrige Kapitalkosten, niedrige Wartungskosten, hohe Effizienz	4	4	7

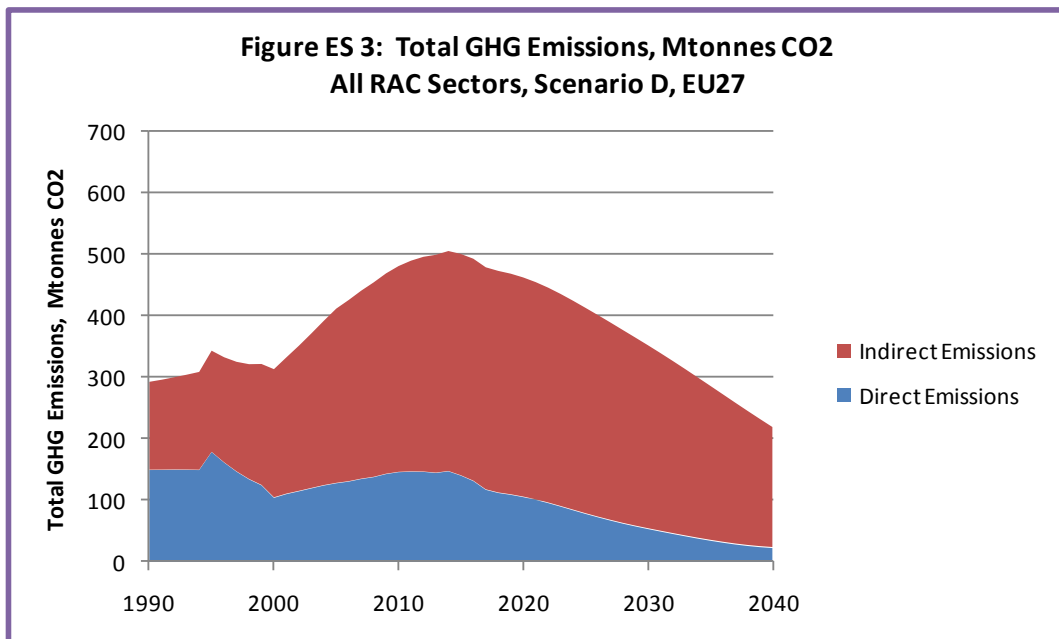
15. Die Kosten für Emissionsreduzierung in Öko-Recherche 2011 sind optimistisch im Hinblick auf die verbesserte Energieeffizienz bei Einsatz von Alternativen wie Ammoniak. Diese Studie bietet eine realistischere Einschätzung der Energieeffizienzunterschiede zwischen Kältemitteln.

THG Emissionen

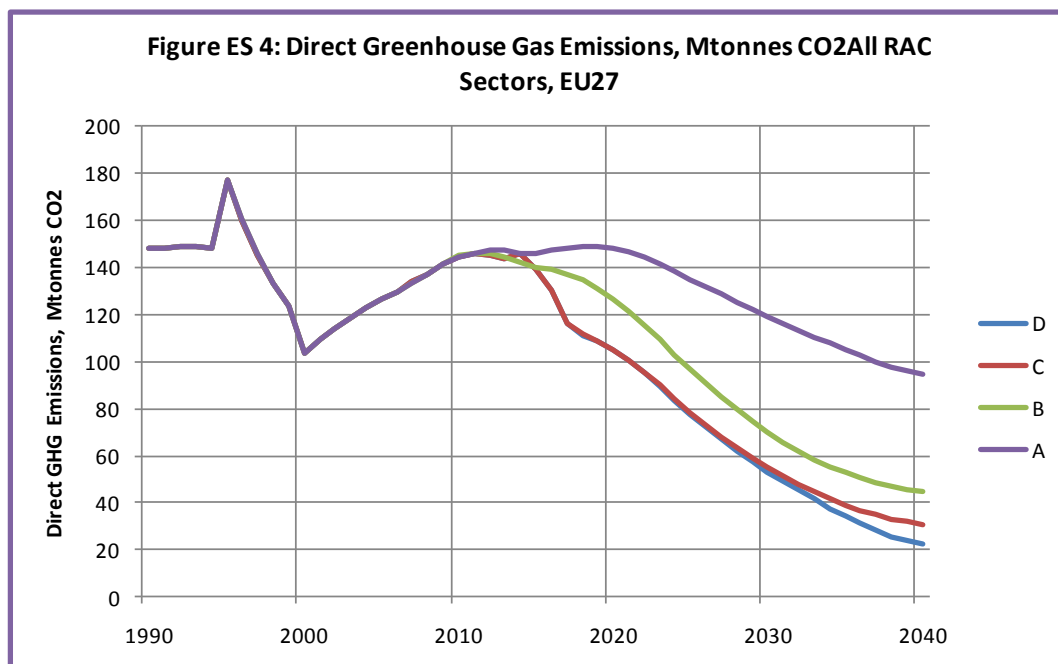
16. Das Ergebnis der Modellierung zeigt, dass die Emissionen aufgrund der Nachfüllung von Leckagen 60% (gewichtet) der Kältemittelnachfrage in 2030 nach Szenario A (Basisfall) ausmacht. Das zeigt wie wichtig es ist, die Leckageraten weiter zu verbessern, wie in der F-Gase Verordnung von 2006 vorgesehen. Abbildung ES 2 zeigt die Aufteilung zwischen der Nachfrage für neue Anlagen und für Wartungszwecke.



17. Die Modellierung zeigt die Bedeutung der "indirekten" CO₂ Emissionen, die sich aus dem Energieverbrauch ergeben. In 2030 stehen die Energiebezogenen Emissionen für 85% der Gesamtemissionen wie in Abbildung ES 3 zu sehen ist. Um eine maximale Reduzierung der Gesamtemissionen zu erreichen, ist es unabdinglich, die Energieeffizienz von Kälte- Klimasystemen weiter zu verbessern. Die Wahl des Kältemittels darf die Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz nicht beeinträchtigen.



18. Abbildung ES 4 zeigt die Entwicklung der THG Emissionen aus allen RAC Sektoren für jedes der 4 wichtigsten Szenarien. Bis 2030 erreichen die Emissionsreduzierungen 74 Millionen Tonnen CO₂ für Szenario B und 91 Millionen Tonnen CO₂ für Szenario D, verglichen mit dem Jahr 2010.



Emissionsreduzierungen durch den Einsatz von Wärmepumpen

19. Dieses Modell wurde verwendet, um die Umweltvorteile von Wärmepumpen (sowohl nur Heizen als Klimageräte / Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen (reversibel) zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen die Wichtigkeit von Wärmepumpen. Für 2030 wird erwartet, dass die Netto-THG Emissionsreduzierungen durch den Einsatz von Wärmepumpen im Vergleich zu Gaskesseln bei 155 Millionen Tonnen CO₂ liegen können. Das ist 3 Mal mehr als die Emissionsreduzierungen, die durch den Phase-Down von HFKWs erzielt werden können. Selbst gemäß Basisfall „Szenario A“ liegen die direkten Kältemittlemissionen bei 15 Millionen Tonnen CO₂. Diese Daten zeigen wie wichtig es ist, ein flexibles Phase-Down Schema zu haben, das das Marktwachstum von Wärmepumpen nicht einschränkt und Kältemittel mit maximaler Energieeffizienz für diese Anwendung zulässt.

Verfügbarkeit von zurückgewonnenem Kältemittel

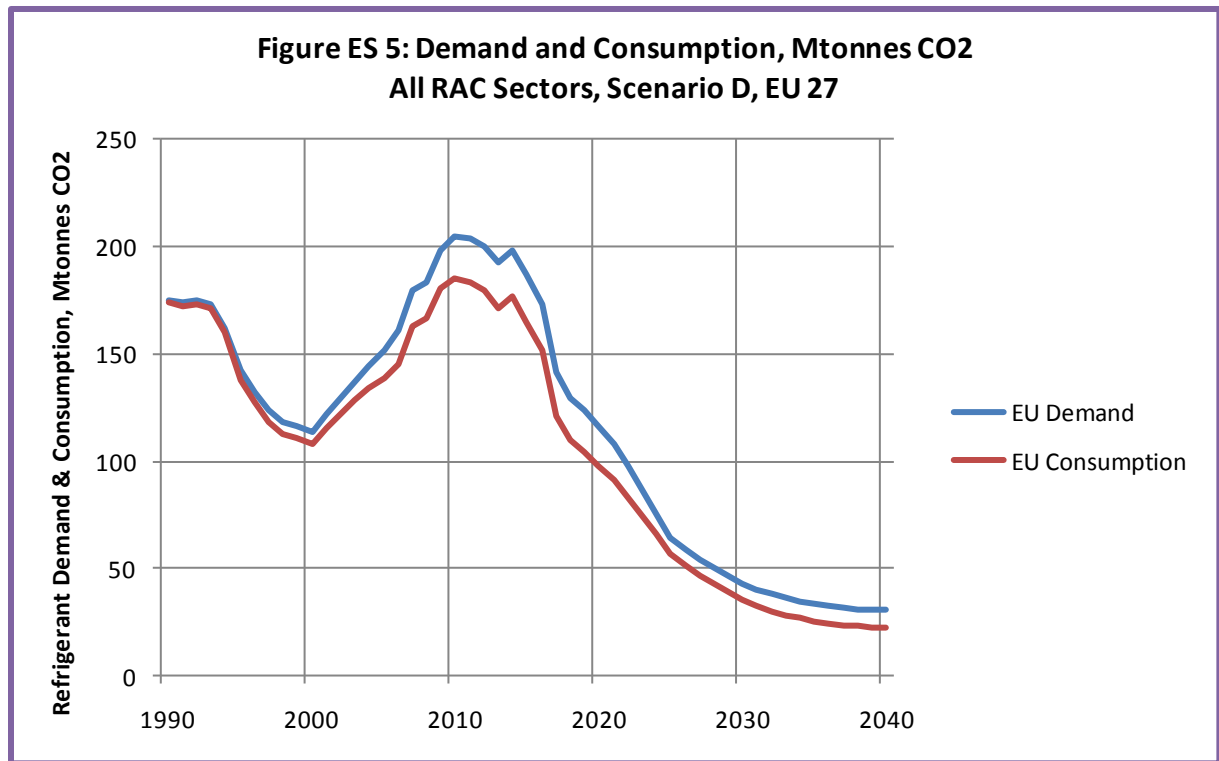
20. Das Modell geht davon aus, dass in 2025 rund 28 Millionen Tonnen CO₂ Äquivalent aus HFKW Kältemitteln aus Rückgewinnung und erneutem Einsatz von HFKWs aus alten Anlagen am Ende ihrer Lebensdauer zur Verfügung stehen. Dies fällt auf ca. 20 Millionen Tonnen CO₂ in 2033. Das zurückgewonnene Kältemittel kann einen entscheidenden Beitrag im Hinblick auf das Erreichen der Phase-Down Ziele bis 2035 leisten, wenn ein guter Markt für recycelte / zurückgewonnene HFKWs gebildet werden kann und wenn der Einsatz dieses Materials nach den Phase-Down Regeln erlaubt ist.

Verbrauch und Nachfrage

21. Es besteht ein Unterschied zwischen dem EU Verbrauch von Kältemitteln (“Consumption” gemäß Definition im Montreal Protokoll, der Importe und Exporte von Kältemitteln in vorbefüllten Anlagen ausschließt) und EU Nachfrage („Demand“, die diese Importe und Exporte einbezieht). Der Unterschied betrifft vor allem kleine Klimageräte, für die es einen beträchtlichen Markt für vorbefüllte Importe gibt. Der Unterschied zwischen Verbrauch und Nachfrage im SKM Kältemittel Modell wird in Abbildung ES 5 gezeigt.

Hinweis: der erneute Einsatz von rückgewonnenem Kältemittel ist in den Definitionen von Verbrauch oder Nachfrage nicht berücksichtigt. Hier geht es nur um Neuware.

In dieser Studie bezieht sich das Wort “Verbrauch” (Consumption) immer auf die Definition des Montrealer Protokolls und das Wort “Nachfrage” (Demand) immer auf Verbrauch + Importe in Produkten – Exporte in Produkten.



Gründe für einen frühen Phase-Down von HFKW 404A

- 22. Die Analyse zeigt die relative Bedeutung von HFKW 404A in Bezug auf Verbrauch und Emissionen. Das SKM Kältemittelmodell zeigt, dass HFKW 404A für rund 50% der direkten Emissionen im Zeitraum 2015 bis 2020 nach Szenario A steht.
- 23. Neue Studien wie die der Öko-Recherche 2011, Erie Armines 2011 und TEAP 2012 gehen nicht auf die Bedeutung eines frühen Phase-Down von HFKW 404A ein. Tatsächlich spricht TEAP 2012 von einer einzigen Kältemittelgruppe mit „mittlerem / hohem GWP“ bei der das HFKW 134a in derselben Gruppe ist wie HFKW 404A – obwohl letzteres einen 3 Mal höheren GWP aufweist. Dies ist eine zu starke Vereinfachung von Kältemitteln und keine gute Leitlinie für Politiker, die die besten Optionen für einen HFKW Phase-Down identifizieren müssen. Keine der genannten Studien geht gezielt auf den frühen und kurzfristigen Einsatz von Kältemitteln mit mittlerem GWP in neuen Anlagen ein oder auf die Möglichkeit, bestehende Systeme mit einer Kältemittelalternative zu befüllen.
- 24. Die Vermeidung des Einsatzes von Kältemitteln mit sehr hohem GWP bringt den Vorteil mit sich, dass die direkten Emissionen um 50% bis 70% (bei gleicher Leckagerate) reduziert werden können. HFKW Phase-Down Maßnahmen sollten Verbraucher dabei leiten, diese Chance zu verstehen und zu ergreifen. Politiker müssen verstehen, dass der kurzfristige Einsatz von HFKWs mit mittlerem GWP von Vorteil für die Umwelt ist. Von 2013 bis 2018 kann der Einsatz von HFKW 404A erheblich durch die Nutzung von Alternativen mit mittlerem GWP Wert reduziert werden. Auch Kältemittel mit einem sehr

niedrigen GWP Wert wie z.B. CO₂ können in diesem Zeitraum genutzt werden, aber nur in neuen Anlagen.

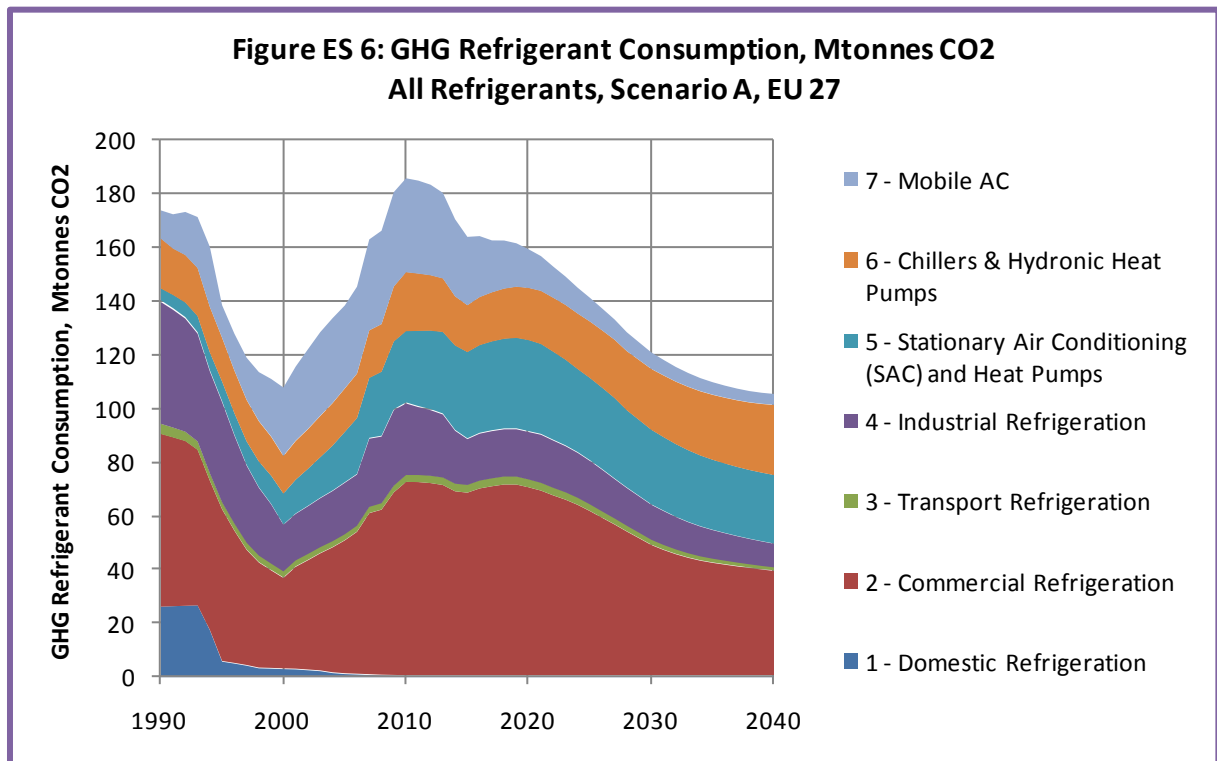
25. Die Analyse zeigt, dass ein früher Phase-Down von HFKW 404A unabdinglich ist, um ein Gesamt-Phase-Down Ziel von 30% in 2020 zu erreichen.

Einsatz von leicht brennbaren Kältemitteln

26. Der Einsatz von leicht brennbaren Kältemitteln ist wahrscheinlich die einfachste Strategie, um drastische Einschnitte beim Verbrauch von HFKWs zu erzielen. Kältemittel wie HFKW 32, HFOs und HFO Gemische bieten niedrige oder sehr niedrige GWP Werte kombiniert mit guter Leistung. Allerdings bestehen „institutionelle“ Hindernisse im Hinblick auf nationale Sicherheitsbestimmungen und Normen, die den kurzfristigen Einsatz dieser Kältemittel einschränken. Es ist wichtig für die RAC Industrie, das Verständnis für die Risiken, die mit dem Einsatz leicht brennbarer Kältemittel verbunden sind, zu verbessern und für die entsprechenden Behörden, Normen und Vorschriften entsprechend anzupassen.

Ergebnisse für die 7 wichtigsten RAC Sektoren

27. Abbildung ES 6 zeigt die Aufteilung des Kältemittelverbrauchs, gemessen in CO₂ Äquivalent Tonnen für die 7 wichtigsten RAC Marktsektoren. Diese Abbildung zeigt, dass die Gewerbekälte den größten Anteil hat mit 40% des Gesamtverbrauchs in 2010 und 46% in 2020. Folgend werden die wichtigsten Ergebnisse für jeden Marktsektor zusammengefasst.



28. Der Sektor **Haushaltskälte** steht für nur 0,2% des Kältemittel THG Verbrauchs. Dieser Anteil ist niedrig, weil (a) dieser Sektor bereits in großem Umfang Kältemittel mit sehr niedrigem GWP Wert einsetzt (Kohlenwasserstoffe) und (b) weil die Leckageraten sehr niedrig sind. Daher ist der Verbrauch für Wartung sehr gering. In 1990 stellte der Haushaltskältesektor rund 15% des Verbrauchs dar aufgrund des Einsatzes von FCKW 12, das einen sehr hohen GWP Wert hat. Der Haushaltskältesektor steht für 10% des gesamten RAC Stromverbrauchs in 2010. Das zeigt, dass dieser Sektor wesentlich größer ist, als die Zahlen zum THG Kältemittelverbrauch in 2010 annehmen lassen. Es wird davon ausgegangen, dass 90% der neuen Geräte bereits Kohlenwasserstoffe verwenden. In den verbleibenden Systemen wird HFKW 134a eingesetzt. Es ist möglich, dass R134a in neuen Anlagen durch Kohlenwasserstoffe oder HFO 1234yf vor 2020 ersetzt wird.
29. Der Sektor der **Gewerbekälte** stellt 40% des Kältemittel THG Verbrauchs in 2010 dar. Der größte Teil dieses Verbrauchs (85%) ergibt sich aus großen Kälteanlagen in Supermärkten, von denen die meisten das Kältemittel HFKW 404A mit hohem GWP Wert einsetzen. Der verbleibende Verbrauch teilt sich auf zwischen kleinen hermetischen Systemen und Systemen mit einer Verflüssigungseinheit. Die Leckageraten im Gewerbekältesektor sind hoch. Es werden zahlreiche neue Technologien getestet und es ist wahrscheinlich, dass CO₂ Kältesysteme in Zukunft in großem Umfang eingesetzt werden. HFO Gemische und Kohlenwasserstoffe werden voraussichtlich auch eine wichtige Rolle in der Gewerbekälte spielen. Es gibt außerdem ein gutes Potenzial für Retrofills bestehender HFKW 404A Anlagen mit HFKW 407A oder 407F. Diese Alternativen haben einen GWP Wert, der nur halb so hoch ist wie der von HFKW 404A und können außerdem zu Verbesserungen in der Energieeffizienz führen.
30. Der Sektor der **Transportkälte** steht für 2% des Kältemittel THG Verbrauchs in 2010. Dieser Sektor beinhaltet Lieferwagen, Lastwagen und Container. Derzeit wird vor allem HFKW 404A mit hohem GWP eingesetzt. Alternative Kältemittel werden bislang kaum eingesetzt in diesem Sektor. Kurzfristig könnten HFKWs mit mittlerem GWP Wert wie HFKW 407A oder 407F statt HFKW 404A eingesetzt werden. In 2020 bieten HFO Gemische möglicherweise die kosteneffizienteste Alternative. CO₂ könnte auch in diesem Sektor eingesetzt werden.
31. Der Sektor der **Industriekälte** steht für 15% des Kältemittel THG Verbrauchs in 2010. Hierbei handelt es sich um einen komplexen Sektor mit einer breiten Palette an Anforderungen im Hinblick auf Systemgröße und Temperaturniveau. HFKW 22 wird noch in großem Umfang eingesetzt, muss aber bis Ende 2014 (gemäß Verordnung zu ozonabbauenden Stoffen) ersetzt werden. Ammoniak wird vor allem in großen Systemen eingesetzt. HFKWs werden vor allem in relativ kleinen Systemen von 20 bis 200 kW verwendet. Derzeitige HFKW Systeme setzen in großem Umfang das HFKW Kältemittel 404A mit hohem GWP Wert ein. Verschiedene Alternativen sind möglich. Ammoniak eignet sich gut für große Systeme und CO₂ könnte eine Rolle spielen vor allem dann, wenn Wärmerückgewinnung möglich ist. In 2020 bieten HFO Gemische möglicherweise eine wichtige Alternative für kleinere Systeme.

32. Der Sektor der **stationären Klimasysteme und Wärmepumpen** steht für 15% des Kältemittel THG Verbrauchs in 2010. Dieser schnell wachsende Sektor setzt sich aus verschiedenen Luft / Luft Systemen zusammen, zu dem Geräte nur zur Kühlung gehören, Geräte, die Heizen und Kühlen und Geräte nur zum Heizen. Das derzeit eingesetzte Kältemittel ist in den meisten Systemen HFKW 410A mit einem mittleren GWP Wert (GWP 2088). Dieses Kältemittel bietet hohe Energieeffizienz und kompakte Systeme (aufgrund des kleinen Verdichters). Kurzfristig gibt es keine nicht brennbaren Alternativen, die kosteneffizient in diesem Sektor eingesetzt werden können. Wenn leicht brennbare Kältemittel akzeptiert werden können, dann bietet HFKW 32 eine mögliche Option (GWP 675). In 2020 könnte auch ein leicht brennbares HFO Gemisch zur Verfügung stehen. Das starke Marktwachstum in diesem Sektor wird zu einem Anstieg des HFKW Verbrauchs führen bis Alternativen mit niedrigerem GWP Wert eingeführt werden können. Die Wärmepumpen in diesem Sektor leisten einen entscheidenden Beitrag im Hinblick auf die energiebezogenen CO₂ Emissionsreduzierungen, besonders dann, wenn der Strom weiter dekarbonisiert wird.
33. Der Sektor der **Chiller und Wärmepumpen (Wasser)** steht für 9% des Kältemittel THG Verbrauchs in 2010. Zu diesem Sektor gehören verschieden Typen wasserbasierter Systeme wie Wasser Chiller, Chiller zum Heizen und Kühlen und Wärmepumpen nur zum Heizen. Die Leckageraten sind niedrig verglichen mit vielen anderen Marktsektoren, da die meisten Systeme im Werk gefertigt werden. Für kleine und mittlere Systeme gibt es gutes Potenzial für den Einsatz von leicht brennbaren Alternativen wie HFKW 32 oder HFO Gemische. Für größere Systeme wird HFO 1234ze bereits als Alternative zu HFKW 134a getestet und Ammoniak und Kohlenwasserstoffe können ebenfalls in Betracht gezogen werden.
34. Der Sektor der **mobilen Klimaanlage** steht für 20% des Kältemittel THG Verbrauchs in 2010. Dieser Sektor beinhaltet PKW Klimaanlage und Klimaanlage in größeren Fahrzeugen wie Bussen und Zügen. Der Verbrauch und die Emissionen aus diesem Sektor sollen nach 2020 schnell fallen, da dann die MAC Richtlinie voll zum Tragen kommt. Der Verbrauch im PKW-Klimabereich wird von 18 Millionen Tonnen CO₂ in 2010 bis auf nur 0,04 Millionen Tonnen CO₂ in 2030 fallen. Der Verbrauch für Busse und Züge wird nicht so schnell abnehmen, da es hier bislang keine kosteneffizienten Alternativen gibt. In 2020 steht möglicherweise ein nicht brennbares HFO Gemisch zur Verfügung.

Fazit

35. Wichtigste Schlussfolgerungen dieser Studie:

- a) Es ist extrem schwierig, eine genaue Vorhersage über einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren zu erstellen, zumal einige der dann eingesetzten Kältemittel derzeit noch nicht kommerziell verfügbar sind oder noch in ihrem Anfangsstadium stehen.
- b) Die Vermeidung von Leckagen ist eine der wichtigsten Strategien im Rahmen eines HFKW Phase-Downs. Nach Szenario A ergeben sich 60% der Kältemittelnachfrage aus Leckagen. Hier gibt es hervorragendes Potenzial, um die Leckagen basierend auf der derzeitigen F-Gase Verordnung erheblich zu reduzieren. Weitere Maßnahmen in der überarbeiteten Verordnung könnten die Durchführung eines HFKW Phase-Downs unterstützen.
- c) Der Phase-Down des Verbrauchs von HFKW 404A kann schnelle und drastische Einsparungen ermöglichen. Es gibt bereits Alternativen für dieses Kältemittel mit hohem GWP und fast alle neuen Anlagentypen und viele bestehende Systeme können mit Kältemitteln mit mittlerem GWP befüllt werden (Retrofill).
- d) Die Energieeffizienz ist von größter Bedeutung. 80% der gesamten RAC Emissionen in 2015 gehen auf das Konto des Energieverbrauchs und nur 20% entstehen aus direkten Kältemittelverlusten. Der Anteil der Energiebezogenen Emissionen wird weiter zunehmen, sobald ein HFKW Phase-Down in Kraft tritt. Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz dürfen nicht durch unangemessene Einschränkungen im Hinblick auf den Kältemiteleinsatz behindert werden.
- e) Die Energievorteile durch den Einsatz von Wärmepumpen übertreffen die Vorteile aus einem HFKW Phase-Down bei weitem. Die Netto-Emissionsreduzierung aus Wärmepumpen (im Vergleich zu Gaskesseln) in 2030 könnte bei über 150 Millionen Tonnen CO₂ liegen, verglichen mit ca. 65 Millionen Tonnen CO₂ durch einen HFKW Phase-Down. Um diesen Vorteil zu maximieren, ist es von größter Wichtigkeit, dass ein kosten- und energieeffizientes Kältemittel für Wärmepumpen verfügbar ist.
- f) Die Ausgangsbasis für die Nordamerikanischen (NA) und EU (RED) Phase-Down Vorschläge ist unrealistisch, weil sie auf einem Verbrauch zwischen 2005 und 2008 bzw. 2004 und 2006 beruht. Damit wird das Marktwachstum seit 2008 ignoriert, was es unmöglich macht, diese Profile in den ersten Jahren einzuhalten. Eine Ausgangsbasis von 2010 bis 2012 würde einen realistischeren Start für ein Phase-Down Profil ermöglichen.
- g) Um sich dem NA Phase-Down Profil zu nähern, sind drastische Reduzierungen im Verbrauch erforderlich. Die Vermeidung des Einsatzes von HFKW 404A so früh wie möglich (durch den kurzfristigen Einsatz von HFKWs mit mittlerem GWP) und Leckagereduzierung sind nicht nur unerlässlich sondern auch kosteneffizient. Der Einsatz von CO₂, Ammoniak, Kohlenwasserstoffen, HFOs und HFO Gemischen in

neuen Anlagen (wenn machbar) wird langfristig die weiteren HFKW Einschnitte ermöglichen.

- h) Die EU RED und RED 10 Phase-Down Profile sind nicht auf kosteneffiziente Weise zu erreichen. Die frühen Einschnitte sind zu steil (aufgrund der unrealistischen Ausgangsbasis, die das Marktwachstum nicht einbezieht) und der letzte Schritt ist ebenfalls zu steil (10% der Ausgangsbasis verglichen zu 15% im NA Vorschlag)
- i) Die frühe Verfügbarkeit und die kommerzielle Entwicklung der HFO Gemische könnte einen wichtigen Einfluss auf verschiedene Marktsektoren haben, vor allem im schnell wachsenden Klima- und Wärmepumpenmarkt.
- j) Die Anstrengungen, Einschränkungen zum Einsatz leicht brennbarer Kältemittel (z.B. Änderungen nationaler Brandschutzbestimmungen oder Sicherheitsnormen) zu beseitigen, werden eine schnellere Entwicklung von Alternativen mit niedrigem GWP Wert ermöglichen.
- k) Die durchschnittliche Kosteneffizienz von Phase-Down Maßnahmen in RAC Sektoren liegt zwischen €15 und €25 pro eingesparter Tonne. Diese Zahlen sind stark abhängig von den Ausgangsparametern – Schwankungen von €4 bis €43 pro eingesparte Tonne sind möglich.
- l) Die durchschnittliche Kosteneffizienz von Phase-Down Maßnahmen in Nicht RAC Sektoren ist besser und liegt bei ca. €10 pro eingesparter Tonne für Aerosole, Schäume und Brandschutz.
- m) Es ist wichtig, den Unterschied zwischen EU Verbrauch (Lieferung von loser Ware in der EU) und EU Nachfrage (die auch HFKWs in vorbefüllten importierten Produkten einbezieht) zu verstehen. Ein Phase-Down Prozess, der nur den Verbrauch berücksichtigt, könnte den uneingeschränkten Import von vorbefüllten Geräten ermöglichen, die Kältemittel enthalten, die unter den Phase-Down fallen. Dieses „Schlupfloch“ sollte im Rahmen einer Phase-Down Politik unbedingt vermieden werden.