

Auswirkungen von globalen/lokalen Regulierungen von R 22

Von Montreal nach Kyoto

Mögliche Konsequenzen für FCKW-Ersatzstoffe

Holger König, Hannover

zum Autor

Dipl.-Ing.
Holger König,
Leiter Anwendungstechnik
Kältemittel in
der Firma Solvay Fluor und
Derivate GmbH,
Hannover



Seit der Inkraftsetzung des Montreal-Protokolls vor rund 10 Jahren berichten die Produzenten von FCKW-Kältemitteln aus der westlichen Welt kontinuierlich an ein unabhängiges Gremium (AFEAS¹). Der Erfolg des Montreal-Protokolls kann aus Abbildung 1 abgelesen werden, aufgetragen sind in diesem Diagramm die jährlich gemeldeten Produktionszahlen von Fluorchlorkohlenwasserstoffen sowie der R 12-Ersatzstoff R 134a.

¹ AFEAS: Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, Member: Allied Signal, Asahi Glass, Ausimont, Daikin, Du Pont, Elf Atochem, Hankook Shinwha, Hoechst, ICI, LaRoche, Rhône-Poulenc, Solvay

² IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

In dem Diagramm (Abb. 1) wird deutlich, daß die Produktion der Haupt-FCKW R 12 und R 11 sowie R 113 nach 1988 drastisch reduziert worden sind. Allerdings ist zu dem Diagramm zu bemerken, daß hier lediglich die Mitglieder von AFEAS Produktionszahlen bekanntgeben. Nicht enthalten sind Produktionszahlen aus den Entwicklungsländern, hier hat die Produktion in den letzten Jahren zum Teil zugenommen.

In dem Diagramm ist weiterhin abzulesen, daß zeitgleich mit dem Ausstieg aus den sogenannten harten FCKW (R 11, R 12, R 113) der Anteil von R 22 und auch der Anstieg des langfristigen Ersatzstoffes R 134a, deutlich erkennbar ist. Der Erfolg des Montreal-Protokolls ist damit für die westlichen Länder direkt ablesbar. Neben den produzierten Mengen muß die jeweilige Lebensdauer in der Atmosphäre berücksichtigt werden. In Abbildung 2 ist die Chlor- und Bromkonzentration in der Stratosphäre für die nächsten 100 Jahre nach einem IPCC²-Szenario dargestellt.

Der schwarze Balken repräsentiert hierbei den heutigen Stand. Die harten FCKW tragen den Hauptanteil zur Chlor- und Bromkonzentration bei. Bemerkenswert ist zum einen das natürliche Niveau, das bei rund 800 Parts per Trillion liegt,

und der kleine Anteil der H-FCKW (R 22, R 123, R 141b, R 142b). R 22 hat nach R 123 das geringste Ozonabbaupotential von 0,05. Deutlich sichtbar ist, daß eine vorzeitige Reduzierung, beispielsweise in Europa, mit einem H-FCKW-Verbrauch am Weltmarkt von ca. 17 % (1995), für die gesamte Chlor- und Bromkonzentration in der Stratosphäre in den Jahren 2000 bis 2015 in bezug auf den weltweiten Ozonabbau eine völlig untergeordnete Rolle spielt.

Es existieren neben den Abbaumechanismen und Abbauprodukten von emittierten Kältemitteln grundsätzlich drei umweltrelevante Faktoren von Kältemitteln: Ozonabbaupotential, Treibhauspotential und das sogenannte Smogpotential. Die Auswirkung auf den gesamten Treibhauseffekt der Kältemittel wird durch die bereits etablierte TEWI-Bewertung möglich.

In der TEWI-Bewertung wird der indirekte Effekt durch die Bereitstellung von elektrischer Energie und die zur Produktion dieser elektrischen Energie notwendigen CO₂-Emissionen und zusätzlich der direkte Effekt durch Emission von Kältemitteln bewertet. Die TEWI-Bewertung ist für verschiedene Anwendungen beispielsweise in [2], [3] sehr ausführlich beschrieben.

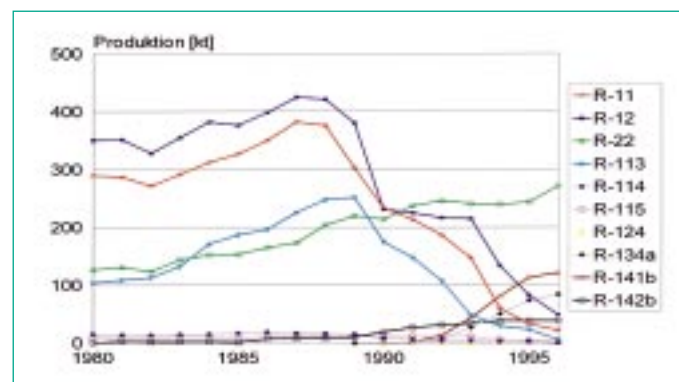


Abb. 1
Produktionszahlen
von FCKW und
H-FCKW sowie
R 134a im Zeitraum
1980 bis 1996 [1]

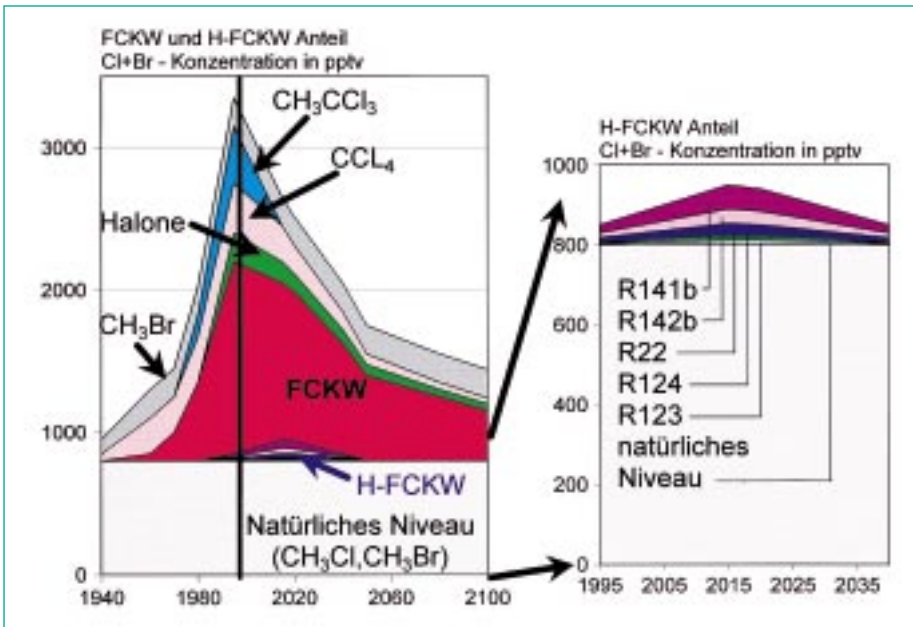


Abb. 2 Brom- und Chlorkonzentration in der Stratosphäre, Vergrößerung für den Anteil der H-FCKW

Regulierungen zum Ausstieg aus R 22

Der Anteil der einzelnen Länder am Verbrauch von R 22 in der Kältetechnik in Europa wurde bereits mehrfach veröffentlicht [3]. Italien, Frankreich und Spanien sind die größten Verbrauchernationen von R 22, dicht gefolgt von Deutschland, England und der Türkei sowie Griechenland und den Niederlanden. Insbesondere in den großen Verbraucherländern Italien, Frankreich und Spanien existieren derzeit keine verschärften Regulierungen zum Ausstieg aus R 22.

Kältemittelmarkt in Deutschland

Die prozentuale Aufteilung des Kältemittelmarktes in Deutschland ist aus Abbildung 3 ersichtlich. Die Verbrauchszahlen bis zum Jahre 1997 können als gesichert gelten, die Prognose bis zum Jahr 2008 basiert auf Solvay-Marktanalysen. Bei diesem Szenario wurde nur die prozentuale Aufteilung der einzelnen Segmente dargestellt. Weiterhin ist die Marktentwicklung bei R 22-Ersatzstoffen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, dieses trifft insbesondere auf R 407C zu. Die FCKW und Drop-In-Kältemittel wurden zusammengefaßt, ebenso R 404A und R 507.

Sehr deutlich wird im Zeitraum 1995 bis 2000 der Abfall von R 22 und der sehr deutliche Anstieg von R 134a bzw. R 404A und R 507, die zum Teil R 22-Anwendungen mit abdecken. Für den Einsatz von R 134a spricht die sehr gute Kälteleistungszahl, auch im Vergleich zu R 22.

R 134a ist das einzige Kältemittel, das bereits nach theoretischer Berechnung bessere Kälteleistungszahlen aufweist als R 22. Unsicherheiten bestehen bei R 134a nach 2005, insbesondere wenn in der Pkw-Klimatisierung neue Technologien zur Fahrzeugkühlung zum Einsatz kommen. Der steigende Anteil der R 502-Ersatzstoffe R 404A und R 507 in Marktsegmenten, wo früher R 22 dominant war, läßt sich aus Kostenüberlegungen ableiten. Durch Neuentwicklungen bei Verdichtern wurden die Einsatzgrenzen dieser beiden Kältemittel deutlich zu R 22-Anwendungstemperaturen verschoben.

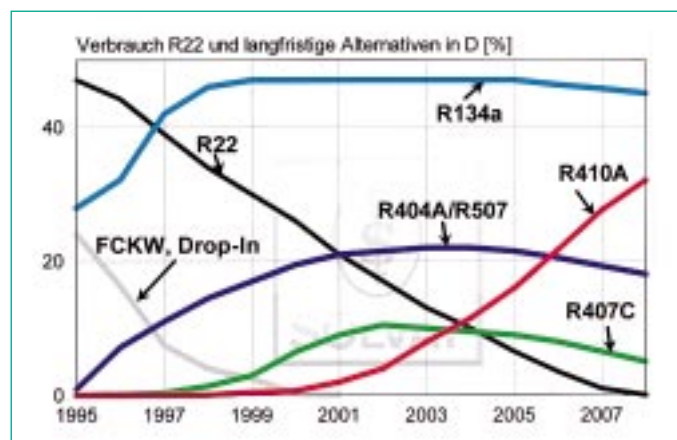


Abb. 3 Kältemittelmarkt in Deutschland, Prognose bis zum Jahre 2008 (nur Sicherheitskältemittel ASHRAE A1)

Der geringfügige Anstieg von R 410A bis zum Jahr 2000 ist auf die noch nicht vorhandenen Komponenten für den Einsatz dieses Kältemittels zurückzuführen. Auch wenn hier bereits einige Hersteller mit zum Teil deutlichen Signalen den Einsatz von R 410A propagieren, ist dennoch ein breiter Einstieg in die „Hochdrucktechnologie“ bis 40 bar in den nächsten 2 Jahren nicht zu erwarten. Mit der Einführung von neuen Geräten und mit Beginn des R 22 Ausstiegs ab 2003–2010 in USA und Japan wird mit einem deutlichen Anstieg des R 410A-Verbrauches gerechnet. Bei tiefen Verdampfungstemperaturen im Gewerbebereich wird weiterhin R 410A Marktanteile von den R 502-Ersatzstoffen R 404A/R 507 übernehmen, was den leichten Rückgang bei R 404A/R 507 erklärt.

Das Kältemittel R 407C ist aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften das einzige Kältemittel, das in nur geringfügig geänderten R 22-Anlagen eingesetzt werden kann. Der zunächst steigende Anteil von R 407C ist auf den Einsatz dieses Kältemittels im Klimabereich zurückzuführen. Nach 2003 sinkt nach dieser Prognose der Anteil von R 407C zugunsten des Anstiegs von R 410A.

Komponentenentwicklung

Aus der Abbildung 3 wird weiterhin deutlich, daß bei einem Ausstieg in Deutschland im Jahre 2000 die entsprechenden Komponenten für die Kältemittel R 134a und R 507/R 404A zur Verfügung stehen müssen. Die Entwicklung dieser Komponenten muß jedoch bereits jetzt weitestgehend vollzogen werden. Die Entwicklung von Komponenten bis zur Produktionsreife für kältetechnische Anlagen wie etwa Verdichter, Wärmeübertrager, Expansionsventile sowie Öle und Kältemittel variiert zum Teil stark. Die Entwicklungszeiten für Wärmeübertrager mit einer op-

timalen Konstruktion für R 407C betragen ca. 1 Jahr und für R 410A ca. $\frac{1}{2}$ Jahr. Die Entwicklungszeit geeigneter Öle für HFKW-Kältemittel betrug ca. 2 Jahre und ca. 4 Jahre für die Anwendung von CO₂ in Pkw-Klimaanlagen. Für die Entwicklung von Kältemitteln bis zur Realisierung der Produktion müssen relativ langfristige Zeiträume angesetzt werden. Von der Ausarbeitung der einzelnen chemischen Syntheseschritte bis zur Genehmigung und zum Bau einer Produktionsanlage können Zeiträume von bis zu 7 Jahren angesetzt werden. Hintergrund hierzu ist insbesondere die erforderliche Einbindung der produktionsübergreifenden Stoffströme sowie der anfallenden Abfallströme.

Entwicklung von Normen und Standards

Für den Einsatz von neuen Kältemitteln, wie R 410A mit deutlich höheren Drücken als R 22, oder für Kohlenwasserstoffe, die durch ihr Sicherheitsrisiko besonders kritisch betrachtet werden müssen, ist die Entwicklung von Sicherheitsvorschriften unumgänglich. Die Rechtssicherheit, die für die breite Anwendung neuer Technologien erforderlich ist, kann nur über einen langen Zeitraum entwickelt werden. Hier sollte insbesondere das Produkthaftungsrecht (Produzentenhaftung) und das Strafrecht (persönliche Haftung des Entwicklers, Designers, Produktionsleiters, etc.) beachtet werden. Insbesondere beim Strafrecht ist die persönliche Haftung von verantwortlichen Personen äußerst unangenehm, darüber hinaus ist das Strafrecht ein sogenanntes Richterrecht, was bedeutet, daß die Frage nach der möglichen Vermeidung von Unfällen im Vordergrund steht. Bei Unfällen mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel hat dieses zur Folge, daß eine Frage nach der Vermeidbarkeit einer Explosion in der Regel mit Ja beantwortet werden kann.

Für die Erarbeitung von Standards und Normen wie ISO, CEN und DIN für die Anwendung neuer Kältemittel (R 410A: höhere Drücke, Kohlenwasserstoffe: Brennbarkeit) können ca. 4–6 Jahre, zum Teil aber auch deutlich längere Zeiträume angesetzt werden. Beispiele hierzu sind die DIN-EN 7003, die europäische Norm PrEN-CEN 378 oder die weltweite internationale Norm ISO 5149. Problematisch ist hier insbesondere der Einsatz von toxischen oder explosiven Kältemitteln, die zu sehr schwer lösbaren Haftungsproblemen führen. Dieses hat beispielsweise zu einer offiziellen Erklärung des ASERCOM in bezug auf den Einsatz von Kohlenwasserstoffen geführt, worin eine rechtlich ein-

deutige Aussage zum Verbot des Einsatzes von Verdichtern von ASERCOM-Mitgliedsunternehmen für Kälteanlagen mit Kohlenwasserstoff als Kältemittel gegeben wurde. Diese Problematik der Rechtsunsicherheit ist nur aufzulösen, wenn entsprechende Standards entwickelt werden können, die dann in die Rechtsprechung einfließen, was wiederum einen relativ langen Zeitraum beansprucht. Ein großflächiger Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln ist damit auch zukünftig nicht absehbar. Weiterhin ist hier zu beachten, daß der Gesamttreibhausbeitrag der fluorierten, nicht brennbaren Kältemittel im Vergleich zu den Kohlenwasserstoffen bei einer anzustrebenden Hermetisierung vernachlässigbar wird.

Bewertung der Optionen zum Ersatz von R 22

Als Bewertung für den Ersatz von R 22 kann zusammenfassend gefolgert werden, daß R 134a und R 404A/R 507 erheblich mehr Marktanteil beim Ersatz von R 22 erreichen werden als bisher angenommen. Die ggf. auch vorübergehende Einführung von R 407C ist ebenfalls absehbar, die Erhöhung des Marktanteils von R 407C-Kälteanlagen ist bereits jetzt vorhanden. Im Bezug auf den Gesamttreibhausbeitrag bietet sich insbesondere R 134a als Ersatz für R 22 an, nur mit diesem Kältemittel läßt sich die Kälteleistungszahl deutlich erhöhen und der Treibhausbeitrag verringern. Allerdings kann mit diesem Kältemittel eine Kostenoptimierung nur im begrenzten Maß erfolgen, ein erhebliches größeres Potential existiert für R 410A.

Kyoto-Protokoll und Interpretation

Das Ergebnis der Kyoto-Konferenz kann im folgenden zusammengefaßt werden:

- Reduzierung der gesamten treibhausrelevanten Emissionen aller Industrieländer um 5,2 %,
- Realisierung im Zeitraum 2008 bis 2012,
- nur entwickelte Länder werden die Treibhausgasemissionen reduzieren,
- kontrolliert werden 6 Gase: CO₂, CH₄, N₂O, fluorierte Kohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid (SF₆),

- die Emissionen werden als Gesamtemission bewertet,
- Basisjahr für CO₂, CH₄ und N₂O ist 1990, für fluorierte Kohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe und SF₆ kann 1990 oder – optional – 1995 als Basisjahr angesetzt werden.

Insbesondere zur Definition des Basisjahres bestehen bereits jetzt erhebliche Unklarheiten. Das Kyoto-Protokoll beinhaltet für fluorierte Kohlenwasserstoffe nicht die Emissionen der FCKW und HFCKW (Vorgabe der Klimarahmenkonvention UNFCCC³), d. h., das Basisjahr 1990 oder 1995 bezieht sich auf die Emission von nicht zum Ozonabbau beitragenden Substanzen. Da in beiden Basisjahren jedoch die Emissionen aufgrund der erst beginnenden FCKW-Substitution praktisch Null waren, muß die Definition des Basisjahres dahingehend ausgelegt werden, daß die Anteile der anderen im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase stärker reduziert werden oder der Anteil der FCKW und HFCKW mit einbezogen wird. In Tabelle 1 sind beispielhaft für einige Länder oder Regionen die jeweiligen CO₂-Emissionen dargestellt.

Tabelle 1 CO₂-Emissionen verschiedener Regionen und Länder in 10⁹ t CO₂ pro Jahr

Land	CO ₂ -Emissionen [10 ⁹ t CO ₂ /a]
USA	4,8
Deutschland	0,8
GUS	2,1
China	2,1
Europäische Union	4,2

Wie ersichtlich, sind die USA gefolgt von der Europäischen Union bzw. China und GUS die Länder mit der größten CO₂-Emission. In Abbildung 4 sind die Werte des Treibhauspotentials für treibhauswirksame Gase für zwei Zeithorizonte, 100 und 500 Jahre dargestellt.

Deutlich erkennbar ist das hohe Treibhauspotential von SF₆ und den perfluorierten Stoffen von R 14 aufwärts, die eine zum Teil sehr hohe Lebensdauer aufweisen, was auch in den höheren GWP-Werten bezogen auf 500 Jahre Zeithorizont deutlich wird. Werden diese Werte mit den emittierten Mengen bewertet, ergibt sich Abbildung 5, in der die Infrarotabsorption in Watt/m² für die nächsten 50 Jahre nach einem IPCC Szenario [6] dargestellt ist.

Der grundsätzliche Anstieg des Treibhausgases CO₂ läßt sich auf das Wachstum der Weltbevölkerung zurückführen.

³ UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change.

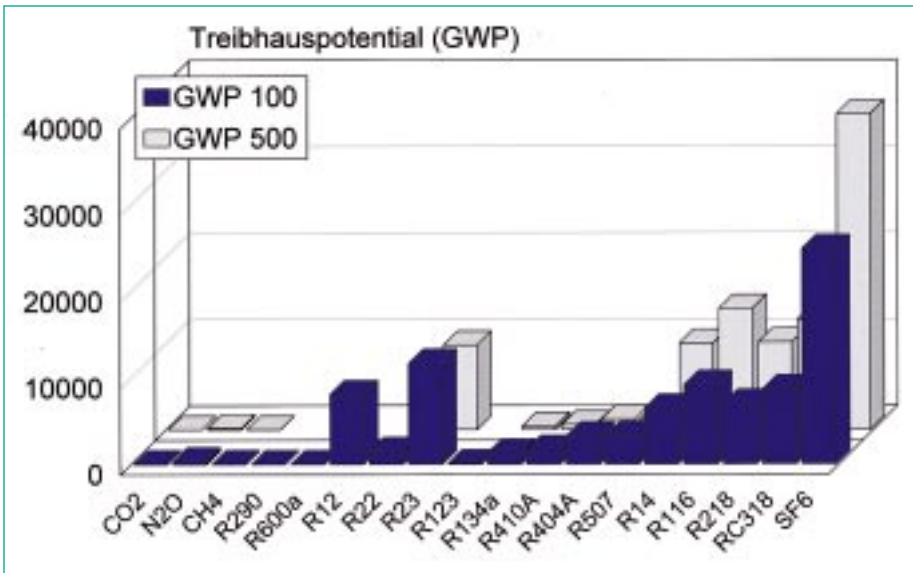


Abb. 4 Treibhauspotential (GWP) verschiedener treibhauswirksamer Gase

Der Anteil der perfluorierten Substanzen und SF₆ am gesamten anthropogenen Treibhauseffekt ist – obwohl der GWP-Wert dieser Substanzen sehr hoch ist – zu vernachlässigen. Auch der prognostizierte Beitrag der Kältemittel im Jahre 2100 nach einem IIR Szenario [7] ist erheblich kleiner als beispielsweise der dann zu verzeichnende Anteil, der noch durch die FCKW vorhanden ist. FCKW und H-FCKW trugen im Jahre 1990 ca. 10,2 % zum Treibhauseffekt bei, der Anteil der chlorfreien Ersatzprodukte (HFKW) wird für das Jahr 2100 auf Werte von 1–2,7 % geschätzt, d. h. im Vergleich zum Anteil der FCKW auf 74–90 % kleinere Werte. Die im Kyoto-Protokoll vereinbarte Reduktion muß zu verschiedenen Anteilen von den sechs oben genannten Gasen bzw. Gasgruppen aufgenommen werden. Der größte Anteil wird hierbei durch die Verminderung von CO₂ zu erzielen sein. Dieses kann mit Wirkungsgrad-Verbesserung der verschiede-

nen technischen Energieerzeugungsverfahren erfolgen oder durch Energieeinsparung. Das Kyoto-Protokoll sieht vor, daß die einzelnen Unterzeichnerstaaten selbst entscheiden, wie die 5 %ige Reduktion unter den verschiedenen Gasen aufgeteilt wird.

Auswirkungen von Regulierungen auf die Kältetechnik

Als einzige Bewertungsgrundlage zur Beurteilung der Treibhausrelevanz von Kälteanlagen hat sich der TEWI-Ansatz etabliert. Hier wird sowohl die Emission von CO₂, das den größten Anteil am Treibhauseffekt (70 %) hat, und die Emission von Kältemitteln berücksichtigt. Der TEWI-Ansatz zeigt auch direkt, daß sich eine Verminderung des Energieverbrauchs auf die gesamte Treibhausgasemission sehr positiv auswirkt. Das wichtigste Ziel für die

Kältetechnik ist damit die Verbesserung der kältetechnischen Prozesse, d. h. die Steigerung der Kälteleistungszahlen. Diese Wirkungsgradsteigerung muß zusammen mit einer Verminderung der Leckagen und einer Optimierung von Verbindungstechniken umgesetzt werden. Insbesondere die Löttechnik sollte zukünftig den Schraubverbindungen, wo möglich, vorgezogen werden.

Darüber hinaus ist eine Entwicklung von kompakten Anlagen anzustreben.

Zusammenfassung

Abschließend und zusammenfassend kann derzeit bezüglich der Auswirkung des Kyoto-Protokolls auf die Kältetechnik keine klare Aussage formuliert werden. Die noch unklare Definition des Basisjahres zur Bewertung von Kältemitteln läßt erwarten, daß noch erheblicher Abstimmungsbedarf erforderlich ist, um auf internationaler Ebene das Protokoll umzusetzen.

Für die Kältetechnik und die angrenzenden Fachgebiete existiert mit dem TEWI-Konzept ein Werkzeug, mit dem es möglich ist, einerseits Kältemittel in ihrer jeweiligen spezifischen Anwendung, und andererseits auch verschiedene Systeme untereinander zu vergleichen. Beispiele sind die indirekte Kühlung/Direktexpansion in der Gewerbekühlung oder die Wärmepumpentechnik zur Beheizung/Kühlung von Häusern im Vergleich zum Brennkessel. Aus diesem Grund sollte sich bereits jetzt die Kältetechnik intensiv mit dem TEWI-Konzept befassen. □

Literatur

- [1] Production, Sales and Atmospheric Release of Fluorocarbons through 1996, AFEAS, January 1998
- [2] Hellmann, J.: TEWI 3-Studie: Ergebnisse und Bewertung von alternativen Kältemitteln, KK- Die Kälte und Klimatechnik, Heft 3, März 98
- [3] Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies, ORNL Report 1997 for AFEAS and U.S. DOE
- [4] DKV Statusbericht R 22: Derzeitige Erkenntnisse zum Ausstieg aus der Anwendung von R 22 als Kältemittel in der Kälte- und Klimatechnik, DKV Stuttgart, August 1997
- [5] König, H.: Technical and Cost Comparison of Refrigeration Cycles (R 22 – R 407C – R 410A – Propane), ASERCOM Symposium 1997, Essen, Oct. 8. 1997
- [6] Climate Change 1992, Referenzszenario IS92a: The Supplementary Report of the IPCC Scientific Assessment, IPCC 1992
- [7] Fluorocarbons and Global Warming, 12th Informatory Note of the IIR on Fluorocarbons and Refrigeration, Paris, July 1997

Abb. 5 Infrarotabsorption von treibhauswirksamen Gasen CO₂, N₂O, CH₄, FCKW, Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW), fluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) [6]

