

Klimaschutz durch verringerte Emissionen von fluorierten Treibhausgasen – das Beispiel innovativer Kälte- und Klimatechnik

18

Tilman Rave und Maximilian Sindram

Dem Klimaschutz dient nicht nur die Reduzierung von CO₂-Emissionen, sondern auch die Verringerung von anderen Treibhausgasen. Dieser Artikel stellt insbesondere auf die sog. fluorierten Gase ab und betrachtet einen Sektor, in dem diese Gase eine wichtige Rolle spielen: die Klima- und Kältetechnik. Nach der Eingrenzung des Untersuchungsfeldes werden vor allem die Innovationsaktivitäten dieses Sektors in den Blick genommen. Als Grundlage für die Analyse dient die weltweite Patentdatenbank PATSTAT. Es werden zwei Datensätze beschrieben und deskriptiv-statistisch ausgewertet. Der erste Datensatz operiert auf der Patentebene und betrachtet alle Patente aus dem Segment Fahrzeugklimatisierung, der zweite Datensatz operiert auf der Firmenebene und konzentriert sich auf alle Unternehmen, die Kältemittelverdichter produzieren. Mit den Datensätzen sollen weitergehende Modellanalysen im Rahmen eines Forschungsprojektes durchgeführt werden.

Das Hauptaugenmerk der heutigen Klimapolitik gilt der Reduzierung von Kohlendioxid (CO₂). Dies erklärt sich schon daraus, dass sich 57 bis 72% des vom Menschen gemachten Treibhauseffekts auf die Emission dieses Gases zurückführen lässt.¹ Im Kyoto-Protokoll werden neben CO₂ aber auch Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und die fluorierten Gase (F-Gase) als Treibhausgase betrachtet, weil einige ihrer Moleküle in hohem Maße klimawirksam sind. Als Gewichtunggröße wird hier oft das so genannte GWP (Global Warming Potential) verwendet. Bei der Berechnung dieser Größe werden hauptsächlich die Absorption von Wärmestrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge und die Verweilzeit des jeweiligen Gases in der Atmosphäre berücksichtigt. Der GWP-Wert von CO₂, das hier die Referenzsubstanz darstellt, wird gleich 1 gesetzt. Typischerweise wird der Treibhauseffekt über einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet. Von besonderem Interesse sollen an dieser Stelle die zuletzt genannten Kyoto-F-Gase sein, die zusammen genommen nur einen Anteil von knapp 2% am Treibhauseffekt aufweisen, aber zum Teil einen sehr hohen GWP-Wert haben (vgl. im Folgenden Gschrey und Schwarz 2009).

Zu diesen F-Gasen zählen die halogenierten Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) mit GWP-Werten zwischen 140 und 7 000, perfluorierte Kohlenwasser-

stoffe (FKW) mit GWP-Werten zwischen 6 000 und 9 000 und Schwefelhexafluorid (SF₆) mit einem GWP-Wert von 23 900. H-FKW machen dabei etwa ³/₄ der gesamten Kyoto-F-Gase Emissionen aus. F-Gase sind vor allem als chlorfreie Ersatzstoffe zu den voll- und teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW und H-FCKW) entwickelt worden, als Ende der siebziger Jahre gezeigt werden konnte, dass FCKW und H-FCKW für die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht verantwortlich gemacht werden können. Ozonzerstörende Substanzen wurden bereits seit 1987 durch das Montreal-Protokoll und seine Folgeprotokolle erfasst und deutlich zurückgeführt. Die dort erfassten Substanzen sind ebenfalls in hohem Maße klimaschädigend. Die Klimawirksamkeit der fluorierten Verbindungen ist wegen der höheren spezifischen Absorption im infraroten Bereich und teilweise sehr langen atmosphärischen Lebensdauer im Vergleich zu CO₂, CH₄ und N₂O sehr hoch (vgl. Tab. 1). Die chlorierten und chlorfreien fluorierten Verbindungen haben daher zusammengenommen einen Anteil am Treibhauseffekt von knapp 6%, gemessen an den globalen CO₂-äquivalenten Emissionen im Jahre 2005. Der größere Anteil fällt dabei auf die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, obwohl die emittierten Mengen als Resultat des Montreal-Protokolls deutlich zurückgeführt werden konnten. Das liegt insbesondere daran, dass die Rückführung von FCKW und H-FCKW in Entwicklungsländern durch Übergangsregelungen langsamer voranschreitet als in den

¹ Der Anteil schwankt, je nachdem ob nur energiebedingte Emissionen oder auch andere Freisetzungprozesse betrachtet werden.

Industrielländern und sich Bestände entsprechender Substanzen in bestehenden Anlagen, Produkten u.Ä. angehäuft haben. Das vollständige weltweite Verbot der Nutzung von (einigen) FCKWs läuft bis 2010, das (einiger, allerdings weniger schädlicher) H-FCKWs sogar bis 2040.

Während CO₂ als klassisches Treibhausgas meist als unerwünschtes Nebenprodukt freigesetzt wird, insbesondere bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe, werden fluorierte Treibhausgase zum überwiegenden Teil gezielt produziert und eingesetzt. Sie werden vor allem als Treibgas in Sprays, als Treibmittel in Schäumen und Dämmstoffen, als Kältemittel in Kälte- und Klimaanlageanlagen und als Feuerlöschmittel verwendet.² Da sie in erster Linie FCKWs und H-FCKWs ersetzen, sind die Emissionen aus Kyoto-F-Gasen seit 1995 um 20% gestiegen. Projektionen bis zum Jahre 2050 gehen davon aus, dass sich die Emissionen aus F-Gasen ohne weitergehende politische Maßnahmen gemessen an dem Basisjahr 2005 auf etwa 4 GT CO₂-Äquivalente verzehnfachen werden. Ihr Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen wäre dann bei knapp 6%.

Vor diesem Hintergrund erstaunt es nicht, dass verstärkt Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen aus Kyoto-F-Gasen diskutiert werden. So wäre mit einem Ersatz von FCKWs und H-FCKWs durch H-FKWs zwar die Zerstörung der Ozonschicht gebannt; für den Klimaschutz ergeben sich dadurch aber neue Gefahren. Zur Emissionsminderung von H-FKWs sind daher neben technischen Maßnahmen vor allem eine gezielte Stoffsubstitution oder der Einsatz alternativer Technologien in der Diskussion.

Die Kälte- und Klimatechnik und ihre Umweltwirkungen

Das größte Einsatzgebiet von H-FKWs ist die Kälte- und Klimatechnik. Ihr Anteil an den globalen Emissionen aus FCKWs, H-FCKWs und Kyoto-F-Gasen liegt bei etwa 70%. Angesichts dieser herausgehobenen Bedeutung und der Tatsache, dass Emissionsminderungsmaßnahmen und entsprechende politische Vorgaben oft anwendungsspezifisch sind, soll daher dieser Einsatzbereich im Zentrum der nachfolgenden Betrachtungen stehen.

Die Kälteerzeugung basiert heute weitgehend auf dem Dampfkomppressionszyklus. Eine Kompressionskältemaschine nutzt hier den physikalischen Effekt der bei Wechsel des Aggregatzustandes von flüssig zu gasförmig. Da-

² Dies betrifft die quantitativ bedeutsamsten H-FKWs. Die Hauptquellen für die Emissionen von FCKWs sind die Elektrolyse in der Primäraluminiumherstellung und die Halbleiterproduktion. SF₆-Emissionen gehen schließlich vor allem auf Anwendungen dieses Gases in der Nichteisen-Metallproduktion, seinen Einsatz in gasisolierten elektrischen Schaltanlagen und in Schallschutzfenstern zurück.

bei werden Stoffe verwendet, die schon bei sehr niedrigen Temperaturen und unter Druckeinwirkung siedend. Der einfache Kältekreislauf besteht dabei aus den vier Bauelementen Kompressor, Verflüssiger, Drossleinrichtung und Verdampfer, die durch entsprechende Rohrleitungen verbunden sind. Der Antrieb erfolgt in der Regel über einen Elektromotor oder bei der Fahrzeugklimatisierung über einen Verbrennungsmotor. Ein Kältemittel, das zur Wärmeübertragung in einer Kälteanlage eingesetzt wird und sich in diesem geschlossenen Kreislauf bewegt, erfährt nacheinander verschiedene Aggregatzustandsänderungen. Das kalte, gasförmige Kältemittel wird zunächst durch einen Kompressor angesogen und unter Druck verdichtet. Unter Aufnahme von Wärmeenergie wandert das gasförmige Kältemittel in den ersten Wärmeüberträger (Verflüssiger), wo es unter Wärmeabgabe kondensiert. Dabei muss die Kondensationstemperatur über der Umgebungstemperatur (oder Kühlwassertemperatur) liegen. Anschließend wird das flüssige Kältemittel aufgrund der Druckänderung über einer Drossel, z.B. einem Expansionsventil oder einem Kapillarrohr, entspannt. Im nachgeschalteten zweiten Wärmeüberträger (Verdampfer) verdampft das Kältemittel unter Wärmeaufnahme bei niedriger Temperatur. Die zur Verdampfung nötige Energie (Verdampfungsenthalpie) wird also der Umgebung entzogen. Der Kreislauf kann nun von vorne beginnen. Der Prozess muss von außen durch Zufuhr von mechanischer Arbeit (Antriebsleistung) über den Kompressor in Gang gehalten werden. In diesem Prozess gilt der Verdichter als die wichtigste Komponente. Er ist sowohl für die Förderung des Kältemittels als auch für die Druckerhöhung verantwortlich.³

Die wesentlichen Umweltwirkungen der Kälte- und Klimatechnik entstehen durch die Emission von Treibhausgasen. Unterschieden werden kann im Wesentlichen zwischen direkten und indirekten Emissionen. Direkte Emissionen entstehen durch Leckagen (bei nicht hinreichend dichten Kühlanlagen, bei Unfällen) und unsachgemäße Handhabung des Kältemittels (z.B. im Rahmen der Wartung). Je nach Art des verwendeten Kältemittels können diese Emissionen unterschiedlich stark den Ozonabbau beschleunigen und/oder die Klimaerwärmung vorantreiben (vgl. Tab. 1). Indirekte Emissionen entstehen durch den Energieverbrauch zum Betrieb der Kühl- bzw. Klimaanlageanlagen.

³ Neben mechanischen Kompressionssystemen gibt es noch thermische Systeme, die durch einen »thermischen Wärmefluss« angetrieben werden. Bei dem so genannten Absorptionskälteprozess wird der im Verdampfer entstehende Kältemitteldampf nicht mechanisch verdichtet, sondern beim niedrigen Verdampfungsdruck von einem Lösungsmittel aufgenommen (absorbiert). Bei Absorptionskälteanlagen, die bislang aber nur für einzelne Anwendungen zum Einsatz gekommen sind, wird das verdampfte Kältemittel nicht in einer Lösung, sondern von einem festen Stoff absorbiert. Im Allgemeinen sind so Sorptionskältemaschinen den Kompressionskälteanlagen immer dann überlegen, wenn ein Überangebot an (Ab-)Wärme oder eine Knappheit an elektrischer Energie herrscht.

Kältemittel können in vier Stoffgruppen der Alkane unterschieden werden und werden üblicherweise durch ein R (für refrigerant) und eine dahinterstehende Ziffer klassifiziert:

- FCKWs, insbesondere R11, R12,
- H-FCKW, insbesondere R22,
- FKW,
- H-FKW, insbesondere R134a, R152a, R404a.

Daneben gibt es die so genannten halogenfreien, anorganischen (»natürlichen«) Kältemittel (NK). Dazu zählt insbesondere:

- Ammoniak (R717),
- Kohlenwasserstoffe (u.a. Propan R290, Butan R600, Propylen R1270),
- CO₂ (R744),
- Wasser (R718).

Der Treibhausgaspotential (GWP) von H-FKW erstreckt sich von einigen 100 CO₂-Äquivalenten im Fall von R32 bis hin zu mehreren 1 000 CO₂-Äquivalenten für R 134a und R 125. Dagegen besitzen alle natürlichen Arbeitsstoffe nur einen vernachlässigbar geringen GWP-Wert (vgl. Tab. 1).

Zur Quantifizierung des gesamten Treibhausgasbeitrags einer Kälte- bzw. Klimaanlage wird üblicherweise der TEWI-Wert (Total Equivalent Warming Potential) herangezogen, der die Summe aus direkten und indirektem GWP misst. Das direkte Treibhauspotential einer Anlage ist lediglich vom Kältemittel und der Kältemittelfüllmenge sowie den Leckage- und Rückgewinnungsverlusten abhängig. Das indirekte Treibhauspotential einer Anlage wird jedoch wesentlich von der zur Erzeugung der Antriebsenergie eingesetzten Energieformen (fossile Brennstoffe, Kernenergie etc.) und dem Jahresenergiebedarf einer Anlage bestimmt. Nach Angaben des Interna-

tional Institute of Refrigeration beträgt der Anteil der direkten Emissionen am TEWI nur ca. 20%, der Anteil der indirekten Emissionen dagegen 80%. Diese Werte sind allerdings je nach Anwendungsbereich unterschiedlich (siehe unten).

Neben ökologischen Kriterien spielen für die Auswahl des Kältemittels außerdem eine Reihe weiterer Kriterien eine Rolle, darunter

- günstige thermo-physikalische Eigenschaften wie eine hohe Verdampfungsenthalpie, eine hohe volumenstrombezogene Kälteleistung, eine hohe kritische Temperatur, kein Temperaturglide, eine hohe Wärmeleitfähigkeit und eine niedrige Viskosität;
- chemische Eigenschaften wie Beständigkeit, Nichtbrennbarkeit, gute Werkstoffverträglichkeit u.Ä.;
- physiologische Eigenschaften wie toxikologische Unbedenklichkeit und
- ökonomische Eigenschaften wie hohe Verfügbarkeit, geringe Kosten.

Bislang gibt es kein Kältemittel, das sämtliche Anforderungen gleich gut erfüllt.

FCKW haben in den dreißiger Jahren natürliche Arbeitsstoffe weitgehend vom Markt verdrängt. Sie wurden damals als Sicherheitskältemittel bezeichnet, weil sie sich durch Ungiftigkeit, Nicht-Brennbarkeit und chemische Stabilität auszeichneten. Im Zuge der Debatte um das Ozonloch und den Klimawandel wurden natürliche Kältemittel jedoch teilweise wiederentdeckt und für neue Kälteanwendungen erschlossen. Das trifft insbesondere auf CO₂ als Kältemittel zu. Dieses muss nicht explizit als Kältemittel produziert werden, sondern wird häufig aus industriellen Prozessen oder aus natürlichen Quellen kostengünstig gewonnen, so dass – da es sonst einfach freigesetzt worden wäre – kein zusätzlicher Treibhauseffekt entsteht. CO₂ ist nicht brennbar, nicht giftig, geruchlos und chemisch weitgehend stabil. Eine Herausforderung stellt jedoch die hohe Drucklage von weit über 100 bar dar, die den Einsatz von CO₂ im Normalkühlbereich erschwert. Problematisch ist auch, dass CO₂ Luft verdrängen kann und in hohen Konzentrationen zu Erstickungsgefahr führen kann.

Auch Ammoniak erlebt als preisgünstiges Kältemittel mit vorteilhaften thermo-physikalischen Eigenschaften zurzeit wieder eine gewisse Renaissance. Es wird jedoch schon seit über 120 Jahren als Kältemittel verwendet, allerdings fast ausschließlich in großen industriellen Kälteanlagen. Der Einsatz von Ammoniak erfordert besondere sicherheitstechnische Maßnahmen, da es beim Einat-

Tab. 1
Einige Umwelteigenschaften der wichtigsten Kältemittel

	Stoffgruppe	GWP (100 Jahre)	Lebensdauer in der Atmosphäre in Jahren
R11	FCKW	4750	45
R12	FCKW	10890	100
R22	H-FCKW	1810	12
R134a	H-FKW	1430	14
R152a	H-FKW	124	1,4
R290	KW, NK	~ 20	0,041
R404a	H-FKW	3900	Nicht ermittelbar
R407c	H-FKW	1800	Nicht ermittelbar
R507a	H-FKW	4000	Nicht ermittelbar
R600, R600a	KW, NK	~ 20	0,018
R601	KW, NK	~ 20	0,01
R717	NK	> 1	0,01
R744	NK	1	> 50
R1270	KW, NK	~ 20	0,001

Quelle: UNEP (2007).

men giftig ist, in einer bestimmten Konzentration mit Luft auch brennbar ist und Leckagen das Grundwasser vergiften können. Durch entsprechende Vorkehrungen und geringere Füllmengen wird es zunehmend auch im gewerblichen Bereich eingesetzt.

Auch Kohlenwasserstoffe werden im Prinzip seit langem als Kältemittel genutzt, was nicht zuletzt daran liegt, dass sie leicht verfügbar sind und gute thermo-physikalische Eigenschaften aufweisen. Sicherheitstechnische Maßnahmen müssen jedoch ebenfalls getroffen werden, da Kohlenwasserstoffe insbesondere leicht brennbar sind.

Umweltwirkungen nach Anwendungsbereichen

Die Umweltwirkungen der Klima- und Kältetechnik und der Anteil direkter und indirekter Emissionen unterscheiden sich stark nach Anwendungsbereich. Unterschieden wird im Allgemeinen zwischen:

- Haushaltskälte, d.h. der Lagerung von Lebensmitteln in Kühl- und Gefrierschränken im Haushalt und im sonstigen nichtgewerblichen Bereich;
- Gewerbekälte, d.h. die Lagerung und Präsentation von Gütern und Lebensmitteln in frischem oder gefrorenem Zustand im Nahrungsmittelsektor und -handel, in Restaurants, gewerblichen Küchen und weiteren Bereichen (z.B. Blumenläden);
- Industriekälte, d.h. die Kühlung in chemischen Industrieanlagen, der Öl- und Gaswirtschaft, der Nahrungsmittelwirtschaft und weiteren »Prozessindustrien« mit zum Teil hohen erforderlichen Kälteleistungen und tiefen erforderlichen Temperaturen;
- Transportkälte, d.h. den Transport gekühlter oder gefrorener Produkte per Schiff, Schiene oder Straße in verschiedenen Containern;
- Raumklimatisierung, d.h. Raumklimaanlagen mit einer Kapazität von 1–50 kW und größere, zentrale Klimaanlagen für Gebäude mit sog. Chillern;
- Mobile Klimatisierung, d.h. Fahrzeugklimaanlagen vorwiegend in Privatfahrzeugen, aber auch in Lkw, Bussen, Schiffen und Flugzeugen.

Die Umweltrelevanz der einzelnen Anwendungsbereiche verdeutlicht Tabelle 2. Sie zeigt, dass insbesondere die Gewerbekälte und die Fahrzeugklimaanlagen von besonderem Interesse für die Klimapolitik sind, während die viel diskutierten Kühlschränke in Haushalten in ihrer Bedeutung eher zurückfallen. Sowohl in der Gewerbekälte – und hier insbesondere bei zentralisierten Multi-Kompressoren-Systemen in Supermärkten – als auch bei Fahrzeugklimaanlagen spielen direkte Emissionen eine nicht unerhebliche Rolle. Sie erklären sich u.a. aus den relativ hohen jährlichen Leckageraten von durchschnittlich 18% bezogen auf die Kältemittelfüllmenge bei den oben genannten Supermarktkälteanlagen und 10 bis 15% bei Fahrzeugklimaanlagen (vgl. IPCC/TEAP 2005).

Patentierungsaktivitäten

Zur Verringerung der Treibhausgasemissionen in der Kälte- und Klimatechnik sind vielerlei Forschungsanstrengungen unternommen worden. Diese unterscheiden sich nach Art und Zeitpunkt vor allem aufgrund der jeweiligen politischen Rahmenbedingungen, aber auch aufgrund einer Vielzahl markt- und firmenbezogener Gegebenheiten. Im Folgenden sollen Patente als Innovationsindikator für Umweltinnovationen in der Klima- und Kältetechnik herangezogen werden. Als Datenquelle dient uns die weltweite Patentdatenbank PATSTAT des Europäischen Patentamts, die Patentinformationen zu ca. 60 Mill. Patenten und ca. 30 Mill. Anmeldern aus verschiedenen Patentklassen, Ländern und Anmelde- beziehungsweise Publikationsjahren umfasst. Es wurden alle Patente berücksichtigt, die bis Mitte 2007 angemeldet wurden. Einschränkend ist hier zu bedenken, dass einerseits viele Innovationen nicht patentiert werden (können) oder aber durch mehrere Patente beschrieben werden und dass andererseits nicht alle Patente in ein marktfähiges Produkt münden.

Bereich Fahrzeugklimatisierung

In einem ersten Datensatz werden alle Patente aus Patentklassen gemäß der internationalen Patentklassifikation (IPC) generiert, in denen schwerpunktmäßig Technologien zur Kli-

Tab. 2
Umweltrelevanz der Kälte- und Klimatechnik nach Anwendungsbereichen

	Anteil an Emissionen in CO ₂ -Äquivalenten (in %)	Verhältnis direkte/indirekte Emissionen	Anteil am Kältemittelverbrauch (in %)	Wichtigste eingesetzte Kältemittel
Haushaltskälte	6	1:24	3	KWs, H-FKW 134a
Gewerbekälte	33	1:0,79	31	H-FKWs, KWs, R717, R744
Industriekälte	7	?	9	R717, H-FCKW22, R744
Transportkälte	1	?	1	H-FKWs, R717
Raumklimaanlagen	21	1:9	41	H-FKW, H-FCKW22, z.T. NKs
Mobile Klimaanlagen	32	1:0,43	15	H-FKW134a, R744

Quelle: Palandre et al. (2003); Kruse (2005); UN TEAP (2009).

matisierung von Pkws zu finden sind. Dieser Bereich bietet sich an, weil er einerseits besondere Bedeutung für den Klimaschutz hat und andererseits in den Patentdaten relativ leicht isolierbar ist. Dabei handelt es sich im einzelnen um die IPC-Klassen B60H 1/00 (Anordnung oder Einbau der Heizung, Kühlung, Lüftung oder anderer Luftbehandlungsvorrichtungen für die Fahrzeuggäume für Reisende oder Fracht), F25B (Kältemaschinen, Kälteanlagen oder Kälteverfahren); kombinierte Heizungs- und Kältesysteme; Wärmepumpensysteme) und zusätzlich die verdichterbezogenen Klassen F04B (Verdrängerkraft- und Verdrängerarbeitsmaschinen für Flüssigkeiten; Arbeitsmaschinen, insbesondere Pumpen) und F04C (Rotationskolben- oder Schwenkkolben(arbeits)maschinen für Flüssigkeiten, insbesondere Pumpen). Diese Grundgesamtheit wurde eingeschränkt, indem über Schlagwortsuche in den zugehörigen Abstracts der Patente Technologien zur Fahrzeugklimatisierung näher eingegrenzt wurden. Gewählt wurden insbesondere klimatisierungs-, fahrzeug- und – im Fall von F04B und F04C – zusätzlich verdichterbezogene Schlagwörter (z.B. »conditioner«, »vehic«, »automo«, »compressor« etc.). Damit wird die Grundgesamtheit kleiner und homogener und enthält am Ende 9 912 Patente (sog. application IDs), wobei erwartungsgemäß ³/₄ aller Patente aus der IPC-Klasse B60H 1/00, 15% aus F25B und der Rest aus F04B und F04C entstammen. Von den 9 912 Patenten stammen etwa 8 200 von 863 Firmen (darunter 31% von spezialisierten Systemanbietern für Fahrzeugklimaanlagen, 18% von Automobilherstellern und 51% von sonstigen Firmen), der Rest sind Einzelpersonen, Institute, Universitäten u.Ä.

In einem zweiten Schritt wurde auf der Basis dieser Grundgesamtheit ermittelt, ob ein Patent zum Umweltschutz beziehungsweise zur Ressourcenschonung beiträgt oder nicht. Dies lässt sich leider angesichts der Datenmenge und eines begrenzten Informationsgehalts der jeweils etwa 100 Worte umfassenden Abstracts nur näherungsweise bestimmen. So wurden – anstelle einer eigentlich wünschenswerten patentbezogenen Ökobilanz – über eine umfangreiche Schlagwortsuche innerhalb der Patentabstracts der knapp 10 000 Patente potentielle Umweltpatente isoliert und anschließend zusätzlich über ein Lesen der Abstracts als Umweltpatente oder sonstige Patente klassifiziert.

Diese ca. 300, in mehreren Sprachen gesuchten Schlagwörter orientieren sich an den in der Literatur diskutierten emissionsseitigen Umweltverbesserungsmöglichkeiten bei der Fahrzeugklimatisierung, die prinzipiell auf zwei Wegen realisiert werden kann: zum einen über Verbesserungen innerhalb der vorherrschenden R134a Systeme, zum anderen über den Ersatz von R134a, insbesondere durch R744 oder R152A und jüngst HFO-1234yf. Dabei ist jeweils zwischen direkten und indirekten Emissionen zu unterscheiden.

Direkte Emissionen können bei R134a-Systemen etwa durch verbesserte Abdichtungen bei Komponenten und Verbindungen und verbesserte Leckagetests erzielt werden. Eine verbesserte R134a Anlage gilt zwar als kurzfristig akzeptabel.⁴ Angesichts der wachsenden Zahl von Klimaanlagen und den Problemen beim Monitoring der Emissionen über den Lebenszyklus hinweg wird jedoch insbesondere in Europa mittelfristig der Umstieg auf ein System mit einem Kühlmittel mit geringerem GWP bevorzugt. Die Richtlinie 2006/40/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Emissionen aus Klimaanlagen im Kraftfahrzeugen sieht daher einen schrittweisen Verbot des Einsatzes von R134a in Fahrzeugklimaanlagen bis 2011/2017 vor.

Insbesondere CO₂-Systeme bieten eine wegen des geringeren GWP-Werts, der hohen Wärmeleitfähigkeit und der leichten Verfügbarkeit von CO₂ als Abgas in der Industrie vielversprechende Alternative. Allerdings operieren CO₂-Systeme bei deutlich höherem Druck (5 bis 10x so hoch wie bei R 134a) und entsprechend höheren Anforderungen an die Komponenten. Ebenso hat CO₂ nur eine geringe kritische Temperatur und damit eine geringere Verdampfungswärme, so dass sie im transkritischen Bereich operieren müssen, was jedoch die technische Effizienz des Kühlsystems durch die damit nötige höhere Kompressionsleistung vermindern kann.⁵ Auch die Freisetzung von CO₂ innerhalb des Fahrzeugaums sollte vermieden werden (Erstickungsgefahr). Daher ist es nötig, den Kühlkreislauf auf verschiedene Art und Weise zu modifizieren und Komponenten neu zu entwickeln oder hinzuzufügen. Zu Maßnahmen, die den Einsatz von CO₂ erlauben und damit direkte Kühlmittelmmissionen verringern, gehören z.B. der Einsatz eines Gaskühlers zur Absorption zusätzlicher Wärme und der Einsatz eines zusätzlichen internen Wärmetauschers und Akkumulators zur Verringerung der Temperatur des Kältemittels vor Eintritt in das Expansionsventil und den Verdampfer.

Ein weiteres alternatives und vor allem in den USA diskutiertes und getestetes Kältemittel ist R152a. Sein GWP-Wert liegt um den Faktor 10 niedriger als bei R 134a und außerdem ist die benötigte Füllmenge niedriger. Vorteilhaft ist auch die Tatsache, dass im Wesentlichen auf die Komponenten und das Design einer R134a-Anlage zurückgegriffen werden kann. Allerdings ist es ein entflammbares Kältemittel und deshalb sehr umstritten.

Der zusätzliche Treibstoffverbrauch des Fahrzeugs durch den Betrieb der Klimaanlage wird auf 6% des gesamten jährlichen Treibstoffverbrauchs geschätzt (vgl. IIR 2002, 49 f.).

⁴ Derzeit wird davon ausgegangen, dass die direkten Emissionen von R134a Systemen um 50% und die indirekten Emissionen um bis zu 25% reduziert werden können (vgl. <http://www.epa.gov/cppd/mac/>).

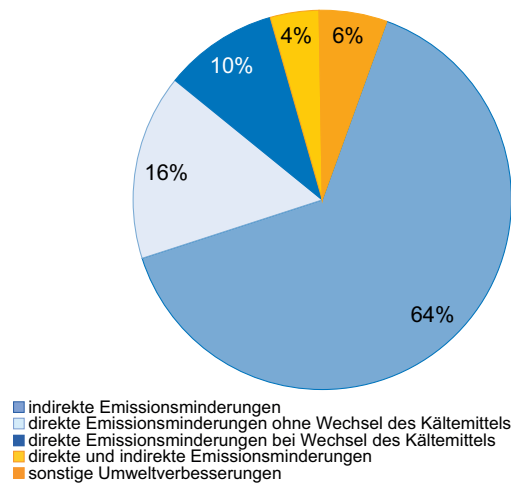
⁵ Die kritische Temperatur ist die Temperatur, über der es nicht möglich ist, eine Substanz durch zusätzlichen Druck oder das Ableiten von Wärme zu verflüssigen.

Tab. 3
Vorgehen bei der Ermittlung von Umweltpatenten

Untersuchungsschritt	Anzahl der Patente	Schlagwörter (Bsp.)
Alle Patente aus IPC B60H1/00, F25B, F04B, F04C	86 712 (12 221 aus B60H1/00)	
Isolierung des Bereichs Fahrzeugklimatisierung durch Schlagwörter	9 912 (zu 75% aus B60H1/00)	»conditioner«, »vehic«, »compressor«
Ermittlung potentieller Umweltpatente durch Schlagwörter	3 230	»leak«, »power consumption«, »CO ₂ «
Wahrscheinliche Umweltpatente nach Lesen des Abstracts	1 685 (1 952)	

Quelle: PATSTAT; Berechnungen des ifo Instituts.

Abb. 1
Umweltpatente nach Art der Umweltentlastung



Quelle: PATSTAT; Berechnungen des ifo Instituts.

Zur indirekten Emissionsminderung bieten sich eine Reihe von Energieeffizienzmaßnahmen an. Dies reicht von effizienteren Verdichtern mit variabler Kapazitätssteuerung, verbesserten Kontrollsystemen bezüglich des Stromverbrauchs oder neuen Verflüssiger (sog. sub-cooled condenser) über stärker systembezogene Maßnahmen wie bessere Isolierung von Türen und Dächern, die Verwendung von Spezialgläsern und reflektierenden Farben zur Vermeidung von Wärmeverlusten oder die kombinierte Nutzung der Klimaanlage als Wärmepumpe.

Als Ergebnis der Schlagwortsuche verbleiben von den 9 912 Patenten 3 230 potentielle Umweltpatente, bei denen mindestens einmal ein einschlägiges Schlagwort aufgetaucht ist. Nach Lesen dieser Abstracts verbleiben wiederum nur rund 50% als wahrscheinliche Umweltpatente (1 685 bzw. 1 952 unter Einbeziehung von Zweifelsfällen).

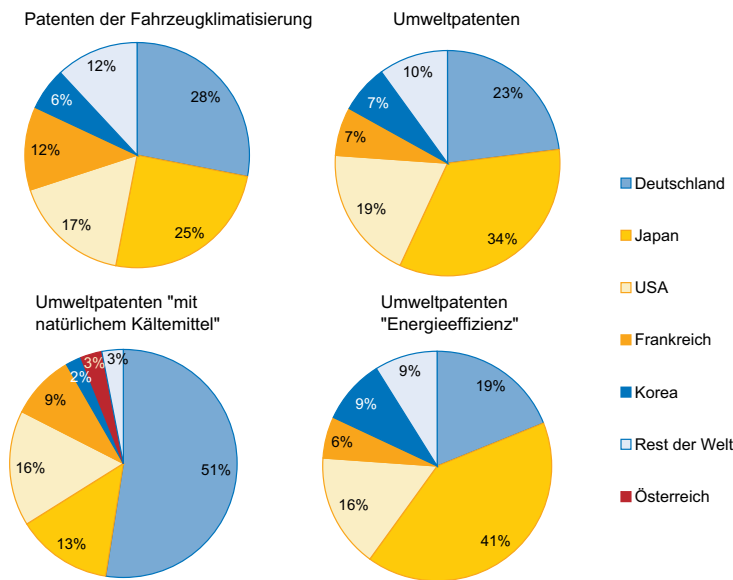
Die verbleibenden Umweltpatente wurden nach Art der Umweltentlastung weiter klassifiziert (vgl. Abb. 1). Knapp $\frac{2}{3}$ davon führen zu indirekten Emissionsminderungen durch eine Verringerung des Energie- beziehungsweise Kraftstoffverbrauchs oder einen effizienteren Einsatz desselben. Wie anhand Tabelle 4 sichtbar, handelt es sich hierbei vorwiegend um Maßnahmen der Kapazitätssteuerung, kombinierte Klimaanlage mit Wärmepumpe, Maßnahmen zur Nutzung der Solarenergie oder

Tab. 4
Die wichtigsten Umweltschlagwörter vor und nach dem Lesen des Patentabstracts

Umweltschlagwörter Fahrzeugklima	Häufigkeit vorher	Umweltschlagwörter Fahrzeugklima	Häufigkeit nachher
seal	438	efficien	284
efficien	401	seal	225
defrost	294	heat pump	198
heat pump	210	variable displacement	157
accumulator	180	solar	92
solar	175	variable capacity	78
variable displacement	160	defrost	75
leak	116	leak	72
waste heat	93	waste heat	68
variable capacity	82	gas cooler	63
recirculated air	68	carbon dioxide	60
carbon dioxide	66	accumulator	56
gas cooler	66	CO ₂	53
temperature sensors	65	capacity control	44
vehicle seat	58	vehicle seat	42
CO ₂	58	power consumption	41
safety	58	solenoid valve	31
solenoid valve	55	temperature sensors	31
capacity control	48	safety	30

Quelle: PATSTAT; Berechnungen des ifo Instituts.

Abb. 2
Länderanteile an allen



Quelle: PATSTAT; Berechnungen des ifo Instituts.

Möglichkeiten zur Nutzung von Abwärme. Ein gutes Sechstel aller Umweltpatente vermindert direkte Emissionen ohne Wechsel des Kältemittels. Angesprochen sind hier in erster Linie Maßnahmen zur besseren Abdichtung der Klimaanlage und zur Verhinderung von Leckagen. Bei 10% aller Umweltpatente werden direkte Emissionen durch Wechsel des Kältemittels verringert. Dabei handelt es sich zum überwiegenden Teil um CO₂-Systeme. Weitere knapp 4% aller Umweltpatente verringern sowohl direkte als auch indirekte Emissionen. Dabei handelt es sich z.B. um CO₂-Systeme, die zugleich besonders energieeffizient erscheinen. Die restlichen Umweltpatente fallen schließlich unter sonstige Umweltverbesserungen (vor allem Klimaanlagen auf der Basis einer Absorptionskälteanlage mit weniger problematischen Kältemitteln).

Klassifiziert wurden die Umweltpatente auch danach, welchen Bereich der Klimaanlage sie in erster Linie betreffen. Knapp 24% sind vor allem verdichterbezogen, etwa 7% beziehen sich auf Wärmetauscher, etwa 10% auf Sensoren, Kontroll- und Regulierungseinrichtungen und knapp 2% auf die Befüllung der Anlage mit Kältemittel beziehungsweise die Entsorgung des Kältemittels. Rund 15% betreffen schließlich noch diverse andere Komponenten und Materialien. 19% der Umweltpatente sind weniger komponentenbezogen, sondern beschreiben ganze Systeme, Anlagen oder Anordnungen von Klimaanlagen. 6% sind außerdem noch integrierte Wärmepumpen. Alle restlichen Patente lassen sich nicht zuordnen.

Interessant ist sicherlich die Frage, ob bestimmte Länder überdurchschnittlich häufig Umweltpatente im Bereich der Fahrzeugklimatisierung anmelden. Grundsätzlich gibt es

eine überschaubare Anzahl an Ländern, in denen prinzipiell Patente angemeldet werden. Rund 28% fallen allein auf Deutschland, gefolgt von Japan (rund 25%), den USA (17%), Frankreich (12%) und Korea (rund 6%). Alle anderen Länder vereinigen weniger als 2% aller Patente auf sich. Im Hinblick auf die Umweltpatente verschieben sich die Länderanteile etwas: So geht insbesondere der Anteil von Japan nach oben und der Anteil von Deutschland nach unten.⁶ Ein genauere Blick auf die Art der Umweltentlastung vermittelt allerdings ein differenzierteres Bild: Auffällig ist insbesondere, dass jeweils 80% aller Umweltpatente in Japan und Korea Umweltpatente mit (vermuteten) indirekten Emissionsminderungen sind, also insbesondere eine energieeinsparende Wirkung haben. In den anderen drei Ländern liegt ihr Anteil nur zwischen 53 und 55%. Zu betonen ist hier, dass sich gerade diese Patente nur mit Schwierigkeiten als Umweltpatente oder sonstige Patente klassifizieren lassen. So könnten einerseits Patente

fälschlicherweise als Umweltpatente deklariert werden, bei denen keine merkliche Verminderung des Energieverbrauchs im Vergleich zum Stand der Technik erzielt wird. Andererseits ist die Wirkung auf den Energieverbrauch nicht immer leicht zu erkennen, so dass einige Patente nicht als Umweltpatente eingestuft werden. Diese Identifikationsprobleme kommen im Hinblick auf die Verminderung direkter Emissionen weniger deutlich zum Tragen. So kann zum Beispiel relativ leicht nach alternativen, natürlichen Kältemitteln in den Abstracts gesucht werden (z.B. CO₂ bzw. R744). Betrachtet man nur Emissionsminderungsmaßnahmen durch den Wechsel zu natürlichen Kältemitteln, ändert sich auch die Länderreihenfolge: 22% (28%)⁷ aller Umweltpatente in Deutschland fallen in diese Kategorie, gefolgt von Frankreich mit 12% (16%), den USA mit 9% (12%), Japan mit 4% (6%) und Korea mit nur 2% (3%).⁸ Dieses Ergebnis überrascht nicht vor dem Hintergrund der Kältemittelgesetzgebung in Europa. So sieht die bereits genannte Richtlinie 2006/40/EC den Verbot von Stoffen mit hohem GWP-Wert ab 2011/2017 vor, worunter insbesondere R134a fällt. In Japan ist dagegen eine derartige Fokussierung auf natürliche Kältemittel nicht zu beobachten, während in den USA zumindest die Forschung zu diesem Thema in den letzten Jahren intensiviert wurde. In Japan wurden dagegen insbesondere durch

⁶ Betrachtet man alternativ den Anteil der Umweltpatente an allen Patenten eines Landes, sind in Japan fast 24% aller Patente Umweltpatente, in Korea 22%, in den USA fast 21%, in Deutschland dagegen nur 15% und in Frankreich nur knapp 11%.

⁷ Der Wert in Klammern bezieht Patente mit direkten und indirekten Emissionsminderungen mit ein.

⁸ Alternativ ergibt sich – wie in der Grafik dargestellt – bezogen auf alle Umweltpatente mit natürlichem Kältemitteln folgende Länderreihenfolge: Deutschland (51% (54%)), Japan (16% (13%)), USA (16% (16%)), Frankreich (8% (9%)), Österreich (2% (3%)), Korea (2% (2%)).

Steueranreize Energieeffizienzmaßnahmen gefördert. Maßnahmen zur Minderung direkter Emissionen ohne Wechsel des Kältemittels (also insbesondere Maßnahmen zur Verbesserung der Dichtheit der Kälteanlage) finden sich schließlich verstärkt in Frankreich (25% aller Umweltpatente) und den USA (23%), weniger dagegen in Korea (14%), Deutschland (14%) und Japan (14%).

Die Patente wurden auch danach sortiert, von wem sie angemeldet wurden. Die überwiegende Zahl der Patente sind Firmenpatente (82%), Patente von Einzelpersonen (17%) oder von als solchen ausgewiesenen Instituten, Universitäten oder öffentlichen Einrichtungen (1%) sind dagegen weniger beziehungsweise kaum vorhanden. Von den Firmenpatenten sind wiederum 18% von Automobilherstellern (sog. Original Equipment Manufactures OEM) und 31% von sog. Systemanbietern von Klimaanlage, die als Zulieferer für die Automobilhersteller fungieren. Zu letzteren gehören insbesondere sechs, global aufgestellte Firmen, und zwar Behr (DE), Denso (JP), Valeo/Zexel (FR), Delphi (US), Calsonic Kansei (JP) und Visteon (US). Die verbleibenden 51% der Firmen umfassen alle sonstigen Firmen (z.B. sonstige Zulieferer von Komponenten). Diese anderen Firmen weisen allerdings einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Umweltpatenten auf und erreichen auch den höchsten Anteil an Umweltpatenten mit natürlichem Kältemittel. Dagegen ist bei den Automobilherstellern und den Anbietern von Klimaanlage der Anteil von Energieeffizienzpatenten und Patenten zur Verhinderung von Leckagen (ohne Wechsel des Kältemittels) höher.

Betrachtet man die Altersstruktur der Patente, so sind doch die meisten neueren Datums. Drei Viertel aller Patente wurden 1993 oder später, zwei Drittel 1996 oder später und die Hälfte 2001 oder später publiziert. Die Patente der Systemanbieter von Klimaanlage sind dabei tendenziell etwas jünger als die der anderen beiden Firmentypen. Vergleicht man Umweltpatente und sonstige Patente in dieser Hinsicht, zeigt sich, dass Umweltpatente tendenziell etwas jüngeren Datums sind. So wurden $\frac{3}{4}$ aller Umweltpatente (sonstigen Patente) 1996 (1993) oder später, $\frac{2}{3}$ 1999 (1996) oder später und die Hälfte 2002 (2000) oder später publiziert. Im Hinblick auf die Art der Umweltentlastung fällt schließlich auf, dass vor allem Umweltpatente zur Minderung direkter Emissionen bei Wechsel des Kältemittels sich erst in jüngerer Zeit häufen (die Hälfte erst 2004 oder später).

Bereich Produzenten von Kältemittelverdichtern

In einem zweiten Datensatz wurden Firmen- und Patentdaten zu allen Firmen weltweit gesammelt, die Verdichter für Kälteanwendungen produzieren. Damit liegt dem Datensatz eine marktbezogene Abgrenzung zugrunde. Zugleich wurden Firmen herausgegriffen, die das zentrale Element jeder

Kompressionskälteanlage, den Verdichter, herstellen. Als Datenquelle diente hier das weltweite Verzeichnis der Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News und zusätzlich Daten von Building Services Research and Information Association (BSRIA), einer Beratungsfirma, die regelmäßig Studien zum globalen Verdichtermarkt durchführt. Insgesamt konnten 107 Firmen in diesem Marktsegment ausfindig gemacht werden, die mindestens ein Patent angemeldet haben. Werden Tochterfirmen ausgeklammert, verbleiben noch 65 Firmen. Die meisten Firmen kommen aus den USA (19), Deutschland (18), China (15) und Japan (14), etwas weniger dagegen aus Frankreich (7), Italien (6), Südkorea (6), Großbritannien (5) und Brasilien (4). In Europa überwiegen eher kleinere und mittlere Firmen (z.T. als Tochterfirmen außereuropäischer Konzerne), während in den USA und Japan größere stärker vertreten sind. Gemessen an den Jahresumsätzen stechen mit über 10 Mrd. € Umsatz japanische Mischkonzerne wie Matsushita Electric, Mitsubishi Electric, Mitsubishi Heavy Industries und Sanyo Electric hervor, aber auch die koreanischen »Konglomerate« Samsung und LG Electronics und die US Firmen Johnson Controls, Emerson Electric und Carrier. Vor allem das zuletzt genannte Unternehmen Carrier hat dabei einen ausgeprägten Schwerpunkt in der Klima- und Kältetechnik, während die anderen Firmen zugleich in vielen anderen Technologiefeldern aktiv sind.

Dieses grundsätzliche Bild über die Bedeutung einzelner Länder auf dem Markt für Kältemittelverdichter lässt sich auch mit Hilfe von Handelsdaten bestätigen. Den größten Anteil an den Exporten von Kältemittelverdichtern weist Japan auf (fast 1,7 Mrd. Dollar in 2006) (vgl. OECD 2008); zugleich ist der Handelsaldo deutlich positiv. An zweiter Stelle folgt die USA mit 1,15 Mrd. Dollar und einem über die Jahre hinweg durchschnittlich ausgeglichenen Handelsaldo. Es folgen Deutschland (841 Mill. Dollar), Frankreich (745 Mill. Dollar), Südkorea (440 Mio. Dollar) und Italien (319 Mill. Dollar). Mit Ausnahme von Frankreich sind die Handelsalden für europäische Länder negativ. Zu bedenken ist außerdem, dass sich mittlerweile die Stellung Asiens durch das aufstrebende China noch gefestigt haben dürfte, was in den bzgl. China veralteten OECD-Daten allerdings bislang nicht sichtbar ist.

Während sich Verdichterkonzerne noch in einer Vielzahl von Ländern finden, konzentrieren sich die Patentanmeldungen auf wenige Länder und eine überschaubare Zahl an Firmen mit jeweils einer Vielzahl von Patenten. Insgesamt konnten für die 107 Firmen fast 294 000 Patente gefunden werden. Allerdings sind darunter nur eine kleinere Zahl von Patenten aus dem Bereich der Klima- und Kältetechnik zu finden. Um diesen Bereich zu isolieren, wurden die Abstracts der Patente mit wesentlichen kälte- und verdichterbezogenen Schlagwörter durchsucht (z.B. »refrigera«, »compressor« etc.). Als Ergebnis verbleiben rund 17 000 Patente im

Technologiebereich Kälte- und Klimatechnik (knapp 6% aller Patente). Von diesen Patenten sind wiederum nur ein kleinerer Teil (12%) direkt auf den Verdichter bezogen, der größere Teil bezieht sich auf Kälte- bzw. Klimaanlage als solche oder vorwiegend auf andere Komponenten dieser Anlagen.

Die Mehrzahl der 294 000 Patente kommt aus Japan (56%) und Korea (35%). Es folgen die USA (4%), China (2%), Deutschland (2%) und Dänemark (1%). Alle übrigen Länder haben weniger als 1% aller Patente. Betrachtet man nur die kältebezogenen Patente, verschieben sich diese Anteile allerdings: An erster Stelle steht jetzt die USA mit 29%, gefolgt von Japan (26%) und Korea (24%) und schließlich China (11%), Deutschland (5%) und Dänemark (2%). Diese relativ einseitige Verteilung ist auch auf der Firmenebene sichtbar: Bezogen auf alle Patente, fallen allein 30% auf Samsung, 21% auf Matsushita Electric, 15% auf Mitsubishi Electric, 12% auf Hitachi Appliances und 5% auf LG Electronics. Diese Verteilung glättet sich allerdings wieder etwas, wenn nur die Kältepatente betrachtet werden. An erster Stelle stehen jetzt gleichauf Samsung und Carrier mit jeweils 14%, gefolgt von LG Electronics und LG Electronics China mit jeweils 10%, der japanischen Firma Daikin (6%), Matsushita Electric (6%), Sanyo Electric (5%) und der US-amerikanischen Firma Tecumseh (4%).

Der technologische Spezialisierungsgrad der Firmen lässt sich vereinfacht dadurch messen, wie hoch der Anteil der Patente im Technologiebereich Kälte- und Klimatechnik ausfällt. Bei der Mehrzahl der Firmen (59%) fallen erwartungsgemäß 50% oder mehr aller Patente in die Kälte- und Klimatechnik. Bei 18% der 107 Firmen lässt sich eine mittlere Spezialisierung auf diesen Technologiebereich feststellen (20% oder mehr aber weniger als 50% im Kälte- und Klimabereich). Bei den restlichen 24% der Firmen fallen weniger als 20% aller Patente in die Kälte- und Klimatechnik. Besonders viele der asiatischen Firmen können in diesem Sinne als wenig spezialisiert angesehen werden und sind daher eher untypische »Kältefirmen«. Dies trifft insbesondere auf Hitachi Appliances, Mitsubishi Electric, Mitsubishi Heavy Industries, Matsushita Electric und Samsung mit jeweils unter 3% Anteil an den kälterelevanten Patenten zu. Zu den stark spezialisierten Firmen mit einer substantiellen Anzahl an Patenten zählen dagegen zum Beispiel Scroll Technologies, Bitzer, Bristol Compressors, Thermoking und Matsushita Refrigeration. Aggregiert man diese Ergebnisse auf die Länderebene, so weisen Japan und Korea einen sehr niedrigen Spezialisierungsgrad aus (nur 3 bzw. 4% aller Patente im Kältebereich), in Dänemark und Deutschland ist er schon ausgeprägter (15 bzw. 17%) und in China und den USA unter den Ländern mit einer wesentlichen Zahl an Patenten am stärksten (30 bzw. 44%).

Auf der Basis dieser Grundgesamtheit wurde wiederum nach dem bereits erläuterten Schema ermittelt, ob ein Patent aus

dem Bereich der Kälte- und Klimatechnik zum Umweltschutz beziehungsweise zur Ressourcenschonung beiträgt oder nicht. Nach Schlagwortsuche und Lesen der Abstracts verbleiben nur knapp 20% der rund 17 075 Kältepatente als wahrscheinliche Umweltpatente (3 027 bzw. 3 391 unter Einbeziehung von Zweifelsfällen). Diese Umweltpatente wurden ebenso nach Art der Umweltentlastung weiter klassifiziert. Rund $\frac{2}{3}$ davon führen zu indirekten Emissionsminderungen durch eine Verringerung des Energieverbrauchs oder einen effizienteren Einsatz desselben. Gut 15% aller Umweltpatente vermindern direkte Emissionen ohne Wechsel des Kältemittels. Angesprochen sind hier in erster Linie Maßnahmen zur besseren Abdichtung der Klima- bzw. Kälteanlage und zur Verhinderung von Leckagen. Bei knapp 7% aller Umweltpatente werden direkte Emissionen durch Wechsel des Kältemittels verringert. Dabei handelt es sich zum überwiegenden Teil um CO₂-Systeme. Weitere knapp 4% aller Umweltpatente verringern sowohl direkte als auch indirekte Emissionen. Dabei handelt es sich z.B. um CO₂-Systeme, die zugleich besonders energieeffizient erscheinen. Die restlichen Umweltpatente fallen schließlich unter sonstige Umweltverbesserungen oder sind nicht zuzuordnen.

Werden die Umweltpatente den Ländern der anmeldenden Firmen zugeordnet, bleibt die Länderrangfolge so wie bei den Kältepatenten insgesamt (bei leicht veränderten Anteil, s.o.). An erster Stelle steht wieder die USA mit 34%, gefolgt von Japan (33%) und Korea (19%) und schließlich China (7%), Deutschland (3%) und Dänemark (2%). Zu den Firmen mit einem erheblichen Anteil von Umweltpatenten gehören jetzt Carrier (20% aller Umweltpatente), Samsung (11%), LG Electronics (8%), Sanyo Electric (8%), Matsushita Electric (7%), Daikin (6%), LG Electronics China (6%), Hitachi Appliances (4%) und Copeland (3%). Damit ist die Verteilung auf die Firmen noch etwas gleichmäßiger als bei den Kältepatenten insgesamt. Auch bei den Publikationsjahren gibt es keine nennenswerten Unterschiede zwischen Umweltpatenten und den sonstigen Kältepatenten: $\frac{2}{3}$ aller Patente werden im Jahre 2000 oder später, die Hälfte aller Patente im Jahre 2003 oder später publiziert.

Mit besonderen Unsicherheiten behaftet sind wie erwähnt die Umweltpatente, die wahrscheinlich zu einer Verringerung des Energieverbrauchs führen. Alternativ könnten diese Patente daher auch als sonstige Kältepatente klassifiziert werden. In diesem Fall verbleiben 972 Umweltpatente (bzw. 1 109 mit Zweifelsfällen). Bei den Firmen fallen jetzt einige Anteilsverschiebungen auf: So fallen auf Samsung jetzt etwa nur noch knapp 5% der Umweltpatente. Einen deutlichen Anteilsgewinn verbuchen dagegen Sanyo Electric (15%), Tecumseh (5% von vorher 2%) und Mayekawa (3% von vorher 1,3%). Die besonders interessanten Umweltpatente mit dem Effekt einer Verminderung direkter Emissionen durch Wechsel des Kältemittels haben einen besonders hohen Anteil an allen Umweltpatenten in

Dänemark (18 bzw. 20%⁹), Japan (13 bzw. 20%) und Deutschland (13%), während sie für die USA (5 bzw. 8%), China (1 bzw. 5%) und Korea (0,2 bzw. 0,5%) eher untypisch sind. Auf der Firmenebene weisen einige wenige Firmen einen großen Teil aller Umweltpatente mit Wechsel zu einem natürlichen Kältemittel auf: Sanyo (29%), Matsushita (inkl. Matsushita Refrigeration) (17%), Carrier (15%), Tecumseh (8%) und Mayekawa (7%).

Ausblick

Insgesamt zeigen diese ersten Auswertungen, dass es im Kälte- und Klimasektor erhebliche Anstrengungen gibt, Treibhausgase zu reduzieren. Immer mehr gewinnen dabei auch Bemühungen an Bedeutung, herkömmliche Kältemittel auf der Basis fluoriertes Gase durch natürliche Kältemittel zu ersetzen und entsprechende Umstellungen und Optimierungen in Kälte- und Klimaanlage vorzunehmen. Der erste Datensatz auf der Patentebene zu Fahrzeugklimaanlagen verdeutlicht, dass die verstärkten europäischen Innovationaktivitäten zu natürlichen Kältemittel vermutlich auch in erheblichem Maße regulierungsgetrieben sind. In dem zweiten Datensatz auf der Firmenebene, der sich speziell auf die Hersteller von Kältemittelverdichtern als »Querschnittstechnologie« konzentriert, ist dieser Regulierungseffekt dagegen weniger deutlich. Vielmehr zeigen sich bestimmte firmenspezifische Spezialisierungsmuster.

Im weiteren Verlauf eines größeren, vom Bundesforschungsministerium geförderten Forschungsprojektes (vgl. http://www.cesifo-group.de/portal/page/portal/ifoHome/arts/a4proj/_proj?item_link=proj-urv-nachhalt-inno.htm) sollen Zitations- und Modellanalysen durchgeführt werden. So ist jeder Patentanmelder verpflichtet, in seinem Patent andere Patente aufzuführen, auf deren Wissen im Rahmen der vorliegenden Anmeldung zurückgegriffen wurde bzw. die den derzeitigen Stand der Technik widerspiegeln. Die Zahl der erhaltenen Zitationen eines beliebigen Patents kann dabei als ein Indikator für die Wertigkeit des Patents angesehen werden. Umgekehrt können zurückliegende Patente, die ein beliebiges Patent zitiert, Aufschluss darüber geben, auf welche Wissensbestände die neue Patentanmeldung zurückgreift. Daraus lassen sich so genannte Spill-over-Maße bilden.

Literatur

Gschrey, B. und W. Schwarz (2009), *Projections of global emissions of fluorinated greenhouse gases in 2050*, on behalf of the German Federal Environment Agency, Climate Change 17/2009, Berlin.
International Institute of Refrigeration (IIR, 2002), *Report on the Refrigeration Sector Achievements and Challenges*, Paris.

IPCC/TEAP (2005), *Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*, IPCC Special Reports.

Kruse, H. (2005), *Commercial Refrigeration on the Way to Sustainability*, International Institute for Refrigeration.

OECD (2008), *International Trade by Commodities Statistics*, Vol. 2008, Paris.

Palandre, L. et al. (2003), *Estimation of the World Wide Fleets of Refrigerating and Air Conditioning Equipment in Order to Determine Forecasts of Refrigerant Emissions*, the Earth Technology Forum, Washington.

Umweltbundesamt (2004), *Fluorinated Greenhouse Gases in Products and Processes, Technical Climate Protection Measures*, Berlin.

UNEP (2007), *Report of the Refrigeration, Air-conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, 2006 Assessment*, Nairobi.

⁹ Der zweite Wert bezieht Patente mit direkten und indirekten Emissionsminderungen mit ein.