

CLIMATE CHANGE

17/2014

Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte:

Vergleich von Energieeffizienz, Sicherheit, Kosten und Zuverlässigkeit sowie Bewertung der Marktverfügbarkeit von Geräten ohne fluorierte Kältemittel als Basis für die Revision der Verordnung (EG) Nr.842/2006

CLIMATE CHANGE 17/2014

Projektnummer 27 516
UBA-FB 001921

Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte:

Vergleich von Energieeffizienz, Sicherheit, Kosten und Zuverlässigkeit sowie Bewertung der Marktverfügbarkeit von Geräten ohne fluorierte Kältemittel als Basis für die Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006

von

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld

Abschlussdatum:

September 2013

Redaktion:

Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Katja Becken

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/dezentrale-steckerfertige-kuehlgeraete>

ISSN 1862-4359 Dessau-

Roßlau, Juli 2014

Das diesem Gutachten zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Projektnummer 27 516 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Diese Studie aktualisiert die im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens „Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt“, FKZ 206 44 300, erhobenen Daten zu steckerfertigen Kühlgeräten ohne fluorhaltige Kältemittel im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) und in der Gastronomie. Es sind die Entwicklungen und Trends beschrieben sowie die technischen und sicherheitstechnischen Rahmenbedingungen dargestellt. Insbesondere Geräte mit Kohlenwasserstoffen (KW) als Kältemittel und einer Kältemittelfüllmenge bis zu 150 g sind für viele Anwendungen verfügbar. Diese Geräte erzielen in der Regel eine bessere Energieeffizienz als vergleichbare Geräte mit fluorierten Kältemitteln. Einzelne Anwender scheuen die Brennbarkeit der KW und verwenden deshalb CO₂ als Kältemittel. Bei moderaten Umgebungstemperaturen sind auch Geräte mit diesem Kältemittel energieeffizient. Steckerfertige Geräte außerhalb des LEH oder der Gastronomie sind auch kurz beschrieben.

Insgesamt zeigt die Recherche, dass im LEH und in der Gastronomie insbesondere im Bereich kleiner Kälteleistungen vermehrt Geräte ohne halogenierte Kältemittel eingesetzt werden und die Zahl der steckerfertigen Geräte, die heute nur mit halogenierten Kältemitteln am Markt verfügbar sind, abnimmt. Steckerfertige Geräte, die außerhalb des LEH und der Gastronomie Verwendung finden, verwenden nach wie vor überwiegend halogenierte Kältemittel. Gleichzeitig wäre es durch entsprechende Kreislaufoptimierung möglich, die Füllmenge an KW-Kältemitteln auf ca. 50 g/kW zu reduzieren. Damit wären dann bis zu 3 kW mit 150 g KW-Kältemittel in einem Kältekreislauf ohne besondere Anforderungen an den Aufstellraum möglich; bzw. bis zu 20 kW Kälteleistung bei 1 kg Füllmenge realisierbar, was für alle bekannten steckerfertigen Geräte reichen würde. Bei KW-Füllmengen über 150 g sind heute Einschränkungen in Bezug auf die entsprechende Größe des Aufstellraumes zu beachten. Alternativ bietet sich bei einigen Anwendungen die Verwendung von CO₂ als nicht brennbares Kältemittel an, wenn durch entsprechende Vorkehrungen die Energieeffizienz mindestens auf das Niveau von Geräten mit halogenhaltigen Kältemitteln gehoben werden kann.

Abstract

This study updates the data on plug-in cooling equipment without fluorinated greenhouse gases used in food retail and services formerly collected within the UFOPLAN study „Comparative Assessment of the Climate Relevance of Supermarket Refrigeration Systems and Equipment“, FKZ 206 44 300. The developments and trends are described and the technical and safety related situation is shown. In particular equipment with hydrocarbons (HCs) as a refrigerant and filling amounts up to 150 g are widely available. These devices generally achieve better energy efficiency than comparable devices with fluorinated refrigerants. Certain users avoid HCs due to their combustibility and, therefore, use CO₂. At moderate ambient temperatures such equipment is also energy-efficient. Plug-in equipment used outside food retail and services is also briefly described.

All together the study shows that in food retail and services increasingly equipment without halogenated refrigerants is used and that the number of plug-in equipment containing halogenated refrigerants in the market decreases. This is particularly the case when it comes to small cooling capacities. Equipment used outside food retail and services still use predominantly halogenated refrigerants. At the same time it would be possible to reduce the filling amount of HCs to approx. 50 g / kW due to optimization. Hence, it were possible to gain up to 3 kW refrigeration capacity with 150 g of HCs in a single circuit which does not require special precautions at the operation site; or up to 20 kW of refrigeration capacity using 1 kg HCs which is considered sufficient for all known plug-in applications. For certain applications the use of CO₂

as a non ignitable refrigerant is an option if the energy efficiency can be increased at least to the level of equipment containing halogenated refrigerants.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungen	8
1 Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte.....	9
2 Fluorfreie Kältemittel für steckerfertige Geräte.....	11
2.1 Kohlenwasserstoffe	11
2.1.1 Isobutan – R600a.....	13
2.1.2 Propan – R290.....	13
2.1.3 Propen – R1270	14
2.1.4 Ethan – R170.....	14
2.1.5 Ethen - R1150.....	14
2.2 Kohlendioxid – R744.....	14
2.3 Ammoniak – R717.....	16
3 Steckerfertige Geräte zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie	17
3.1 Flaschenkühler mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290).....	17
3.2 Flaschenkühler mit Kohlendioxid (R744).....	18
3.3 Tiefkühltruhen mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290, R1270).....	18
3.4 Tiefkühltruhen mit Kohlendioxid (R744).....	18
3.5 Kühltruhen	19
3.6 Kühltheken mit Kohlenwasserstoffen (R290) und Kohlendioxid (R744).....	19
3.7 Kühlregale mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290, R1270).....	19
3.8 Stopferaggregate mit Kohlenwasserstoff (R290).....	19
3.9 Verkaufsautomaten	19
3.10 Andere steckerfertige Geräte zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie	20
3.11 Zusammenfassung.....	21
4 Initiativen von LEH- und Gastronomie-Unternehmen	23
5 Andere steckerfertige Geräte.....	24
6 Verfügbarkeit/Einsatzgrenzen von steckerfertigen Kühl- und Gefriergeräten mit halogenfreien Kältemitteln	26
7 Quellenverzeichnis.....	28
8 Ausgewertete Tagungen, Zeitschriften und Datenbanken.....	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich des Energieverbrauchs von CO₂-Flaschenkühlern neuester Generation mit solchen, die mit R134a arbeiten [Azar2012]..... 18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zündgrenzen und Zündtemperaturen einiger Kohlenwasserstoffe [AirLiquide2012]. Auch elektrische Funken reichen als Zündquelle aus – die erforderliche Zündenergie liegt bei ca. 0,25 mJ.....	11
Tabelle 2:	Kältemittelfüllmengen für unterschiedliche gewerbliche steckerfertige Kühlgeräte [Pearson2012].	12
Tabelle 3:	Übersicht über gewerbliche steckerfertige Kühlgeräte im LEH und der Gastronomie mit halogenfreien Kältemitteln.	32

Abkürzungen

CO ₂	Kohlendioxid (R744), bei Verwendung als Kälte­träger wird in diesem Dokument in der Regel „CO ₂ “ geschrieben, bei Verwendung als Kältemittel „R744“
DKV	Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e. V.
F-Gas	Fluoriertes Treibhausgas, beispielsweise fluo­rierter (FKW) oder teilfluorierter Kohlenwasserstoff (HFKW)
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotential). In der Regel werden GWP-Werte bei einem Zeithorizont von 100 Jahren auf CO ₂ bezogen angegeben. Im Laufe der Zeit werden die GWP-Werte an neueste Forschungsergebnisse angepasst. Im Fließtext dieses Berichtes wird immer von den neuesten vom IPCC bzw. der UNEP im Jahr 2006 veröffentlichten Werten ausgegangen
HFKW	teilfluorierter Kohlenwasserstoff
HKI	Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.
KW	Kohlenwasserstoff
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
MAK	Maximale Arbeitsplatz-Konzentration; gibt die maximal zulässige Konzentration eines Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der (Atem-)Luft am Arbeitsplatz an, bei der kein Gesundheitsschaden zu erwarten ist, auch wenn man der Konzentration in der Regel 8 Stunden täglich, maximal 40 (42) Stunden in der Woche ausgesetzt ist (Schichtbetrieb)
NH ₃	Ammoniak (R717)
NK	Normalkühlung bzw. „Pluskühlung“, Produkttemperaturen über 0 °C
OEG	Obere Explosionsgrenze
R134a	Tetrafluorethan – ein HFKW
R170	Ethan – Kältemittel für tiefe Temperaturen (bis ca. -90 °C)
R290	Propan
R600a	Isobutan
R717	Ammoniak (NH ₃)
R744	Kohlendioxid (CO ₂), bei Verwendung als Kälte­träger wird in diesem Dokument von CO ₂ geschrieben, bei Verwendung als Kältemittel in einer Kaltdampfkompressionskälteanlage von R744
R1150	Ethen (Ethylen) – Kältemittel für tiefe Temperaturen (bis ca. -110 °C)
R1270	Propen (Propylen)
TK	Tiefkühlung, Produkttemperaturen üblicherweise unter -18 °C
UEG	Untere Explosionsgrenze
UL	Ein unabhängiges amerikanisches aber weltweit operierendes Unternehmen auf dem Gebiet der Sicherheitswissenschaft

1 Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte

Bei dezentralen steckerfertigen Kühlgeräten sind alle Komponenten (Verdichter, Verflüssiger, Expansionsorgan und Verdampfer) im Gerät integriert. Die komplette Fertigung erfolgt bei den entsprechenden Herstellern mit daraus resultierender hoher Qualität und geringer Leckagewahrscheinlichkeit. Bei den meisten Geräten sind sämtliche Verbindungen kältemittelführender Bauteile gelötet bzw. in geringerem Maße auch geschweißt. Geräte mit einem vergleichsweise geringen Preis werden ohne Serviceventile hergestellt, wohingegen Geräte von höherem Wert in der Regel mit Serviceventilen versehen sind, um im Falle einer Störung oder eines Kältemittelverlusts, z.B. durch einen Transportschaden verursacht, das Gerät warten zu können. Unabhängig davon, ob die Geräte mit oder ohne Serviceventil hergestellt werden, werden die Geräte mit der für den ordnungsgemäßen Betrieb erforderlichen Kältemittelfüllmenge ausgeliefert und der Kältemittelkreislauf muss zur Inbetriebnahme nicht geöffnet werden. Diese Geräte sind somit hermetisch dichte Anlagen im Sinne der EN 16084 und dauerhaft geschlossene Anlagen im Sinne der DIN EN 378-1: 2012-08. Da gemäß Definition der DIN EN 378-1 Ventile mit Dichtungskappen als gleichartige, nichtlösbare Verbindung gelten, verfügen auch Geräte mit Serviceventilen über ein „hermetisch geschlossenes System“ im Sinne des Vorschlags für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase „COM(2012) 643 final“ vom 07.11.2012.

Hermetisch dichte Kältesysteme dürfen nach DIN EN 16084 je nach Bauteilvolumen Leckagen mit Isobutan bei 20 °C und 10 bar innerhalb des Systems von weniger als $1,5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (unter 1 Liter Bauteilvolumen) und weniger als $2,0 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ¹ über 1 Liter Bauvolumen aufweisen [Schrumpf2011]. Der Dichtheitstest in der Fabrik wird in der Regel mit Helium durchgeführt. Hier betragen die entsprechenden Werte weniger als $7,5\cdot 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ bzw. weniger als $1\cdot 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ für Bauteilvolumina unter bzw. über 1 Liter, wobei auch hier die Anlage bei 20 °C und 10 bar Innendruck getestet wird – allerdings mit Helium, dessen Atome deutlich kleiner als diejenigen der als Kältemittel verwendeten Stoffe sind und deshalb entsprechend leicht selbst durch kleinste Leckagen entweichen. In manchen Anlagen wird neben Helium auch ein Helium-Luft-Gemisch bei 6 bar verwendet [Jürgensen2013].

Wie die Bezeichnung „steckerfertig“ bereits besagt, haben alle diese Geräte ein entsprechendes Stromkabel mit Stecker, so dass am Aufstellort einzig ein Stromanschluss erforderlich ist. Kälte-technische Installationsarbeit ist am Aufstellort nicht erforderlich.

Durch die geringen Kältemittelleckagen der hermetisch dichten steckerfertigen Kühlgeräte tragen diese in der Regel über ihren Energieverbrauch deutlich mehr zum Treibhauseffekt bei als über die Kältemittelleckagen. Im Rahmen der Erstellung der EU-Ökodesign-Richtlinie wurde die Treibhausbelastung über den gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Vertrieb, Betrieb und Außerdienststellung/Verschrottung) von einem steckerfertigen Gewerbekühlgerät analysiert. Je nach Gerät und verwendetem Kältemittel stammen 78 bis 98 % der gesamten Treibhausgasemissionen vom Stromverbrauch während des Betriebs [Cecchinato und Corradi 2013]. Folgerichtig sieht die Ökodesign-Richtlinie vor, Mindesteffizienzanforderungen für verschiedene Produktgruppen im Rahmen einzelner Durchführungsmaßnahmen festzulegen. Dies führt dazu, dass besonders ineffiziente Geräte schrittweise vom EU-Binnenmarkt ausgeschlossen werden. Insbesondere steckerfertige Kühlgeräte mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel haben das Potential, durch die thermodynamischen Eigenschaften der Kältemittel gegenüber gleichen

¹ Eine Leckrate von $1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ist gegeben, wenn in einem abgeschlossenen Behälter mit dem Volumen von einem Kubikmeter der Druck in einer Sekunde um ein Pascal abfällt.

Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte

Geräten mit fluorierten Kältemitteln ca. 10 bis 15 % Energie zu sparen [z.B. Jürgensen 2004, Pedersen und Christensen 2008 und van Gerwen 2012].

2 Fluorfreie Kältemittel für steckerfertige Geräte

Fluorfreie Kältemittel, die in steckerfertigen Kühl- und Gefriergeräten zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie sowie in anderen steckerfertigen Geräten eingesetzt werden, sind – in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit – Kohlenwasserstoffe (R290, R600a, R1270, R170 und R1150), Kohlendioxid (R744) und Ammoniak (R717).

2.1 Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe sind inzwischen in Form von Isobutan (R600a²) das Standardkältemittel für Haushaltskühl- und -gefriergeräte in Europa, China und Japan [GIZ2011]. Mit R600a erzielen diese Geräte eine höhere Energieeffizienz oft bei gleichzeitig reduziertem Geräuschpegel. Kohlenwasserstoffe sind erheblich preiswerter als die synthetischen Kältemittel. Sie haben Treibhauspotentiale unter 20 und kein Ozonabbaupotential, sie sind ungiftig, nahezu geruchlos und erfüllen viele andere der an Kältemittel gestellten Anforderungen. Allerdings sind sie brennbar, s. Tabelle 1. Dennoch haben sie sich inzwischen in kleinen steckerfertigen Geräten zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie bei Füllmengen bis zu 150 g in Nord- und Mitteleuropa durchsetzen können.

Tabelle 1: Zündgrenzen und Zündtemperaturen einiger Kohlenwasserstoffe [AirLiquide2012]. Auch elektrische Funken reichen als Zündquelle aus – die erforderliche Zündenergie liegt bei ca. 0,25 mJ.

	Zündgrenzen in trockener Luft UEG - OEG in Vol.-%	Zündtemperatur °C	Gasdichte bei 0 °C und 1013 hPa
R600a (Iso-Butan)	1,5 - 9,4	460	2,70
R290 (Propan)	1,7 - 10,8	470	2,0098
R1270 (Propen)	1,8 - 11,0	455	1,9138
Zum Vergleich: Benzin	ca. 1,1 - 7,0	ca. 300	> 3

In IEC 60335-2-89 sind 150 g als obere Grenze festgelegt, um das Gerät an einem beliebigen Ort aufstellen zu dürfen. Dies entspricht ungefähr 20 % der unteren Explosionsgrenze (UEG – siehe Tabelle 1), d.h. ca. 8 g Iso-Butan pro m³ Luft, in einer Standardküche von ca. 7,5 m². Je nach Aufstellungsort wären bei gewerblichen steckerfertigen Geräten im Prinzip auch größere Füllmengen möglich (bis zu ca. 1 kg für Systeme in Räumen mit Publikumsverkehr) sofern die 8 g/m³ bei R290 und R1270 bzw. 8,6 g/m³ bei R600a nicht überschritten werden [Leth Vonsild 2012]. Bei größeren Füllmengen legt die EN 378 besondere Anforderungen an den Explosionsschutz fest.

Die Füllmenge von 150 g stellt von daher bei vielen Herstellern die obere Grenze des Einsatzes von Kohlenwasserstoffen dar. In der Regel ist die Kältemittelfüllmenge bei unverändertem Kältekreislauf ca. 40 bis 60 % kleiner als bei einem HFKW-Kältemittel [Kauffeld1996, Joybari2013], so dass mit Kältemittelfüllmengen unterhalb 150 g bei den derzeitigen steckerfertigen Geräten Kälteleistungen bis zu ca. 1.000 Watt möglich sind. Bester derzeitiger Stand der Technik in aktuell gefertigten Geräten liegt bei ca. 75 bis 100 g pro kW Kälteleistung [Strüßmann2013]. Ein Ausweg ist der Einbau von zwei oder mehr voneinander getrennten Kältemittelkreisläufen in

² Insbesondere in China und Indien wird neben R600a auch eine Mischung aus R600a und Propan eingesetzt, um die Dampfdruckkurve von R12 nachzuempfinden, da dann R12-Kompressoren verwendet werden können.

ein und demselben Kühlgerät [Schmidt2013], wodurch die Kosten steigen, da nun zwei Verdichter, Verdampfer, Verflüssiger und Expansionsventile anstelle jeweils eines größeren Bauteils erforderlich sind. Eine Alternative ist der konsequente Einsatz füllmengenreduzierender Technologien. Einleitende Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes mit dem Kältemittel R290 in Verbindung mit Minichannelverflüssiger und -verdampfer ergaben für eine Kälteanlage mit 1 kW Kälteleistung 120 g Kältemittelfüllmenge mit einer Prognose für eine optimierte Kälteanlage von 50 g pro kW für steckerfertige Geräte [Hoehne2004]. Erzielt wurden 48 g/kW mit luftgekühltem Minichannel-Verflüssiger [Hrnjak2012]. Mit dieser Technologie (Minichannelwärmeübertrager) sowie gehäusevolumenoptimierten Verdichtern dürften also mittelfristig mit einer maximalen Füllmenge von 150 g bis zu 3 kW Kälteleistung in steckerfertigen Geräten möglich sein.

Die EN 378 würde – je nach Raumgröße, Aufstellort und zugangsberechtigtem Personenkreis – auch größere Füllmengen zulassen. Doch insbesondere in Deutschland halten sich Hersteller an die 150 g Grenze, während es in anderen Ländern durchaus einzelne steckerfertige Geräte mit bis zu 1,5 kg Füllmenge gibt [Colbourne2013]. Geräte mit größeren Kohlenwasserstofffüllmengen sollten den meisten Standards zu Folge nur außerhalb von Gebäuden betrieben werden [Corberán et al. 2008]. Für Geräte in Untergeschossen gelten geringere Füllmengen. Für Installationen unter Erdniveau sind in der EN 378 1 kg Kohlenwasserstoff als maximale Füllmenge angegeben.

In den USA begrenzt UL 471 die maximale Kohlenwasserstoffleckage auf 150 g, d.h. da etwas Kältemittel im Öl gelöst ist und bei einem bar Restdruck auch Kältemittelgas in den Rohrleitungen und Komponenten verbleibt, dürfen steckerfertige Geräte für Gewerbekälte in den USA 160 bis 170 g Kältemittel enthalten [Galyen2009]. US EPA hat unter „Rule 17“ bis zu 57 g für Haushaltskühlgeräte und bis zu 150 g für gewerbliche Kühlgeräte im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) (Food Retail Application) freigegeben [Leth Vonsild 2012].

Insbesondere in Nord- und Mitteleuropa werden Kohlenwasserstoffe inzwischen umfangreich in diversen steckerfertigen Geräten im LEH eingesetzt, s. Tabelle 2 [Pearson 2012].

Tabelle 2: Kältemittelfüllmengen für unterschiedliche gewerbliche steckerfertige Kühlgeräte [Pearson2012].

Art des Geräts	Maximale Füllmenge	Anmerkung
Kleine steckerfertige Geräte	150 g	z. B. Großküchenkühlschrank, Eisspender, Kühl- und Tiefkühltruhen für gewerbliche Anwendung
Kühlregale und -truhen	1.500 g pro Kreislauf	Wasser- und/oder luftgekühlter Verflüssiger
Kühltheken	1.500 g pro Kreislauf	Wasser- und/oder luftgekühlter Verflüssiger
Kühlraum (Stopferaggregat)	300 g	
Glykol/Wasser-Kühler	10 kg pro Kreislauf	Luftgekühlt, Außenaufstellung – kein KW in Gebäude

Die als Kältemittel verwendeten Kohlenwasserstoffe sind schwerer als Luft, s. Tab. 1. Zündfähige Gemische bilden sich von daher zunächst in Bodennähe. Bei größeren Kältemittelfüllmengen sind entsprechende Gassensoren und Absaugvorrichtungen in Bodennähe vorzusehen. Da die Dichte von Propan und Propen niedriger ist, als diejenige von Isobutan, Tabelle 1, ist das Gefährdungspotential welches von steckerfertigen Geräten mit R600a ausgeht etwas höher als das von vergleichbaren Geräten mit R290 oder R1270 [Colbourne2013]. Insbesondere in steckerfertigen Geräten vorhandene Ventilatoren können jedoch durch eine entsprechende Luftumwälzung das Gefährdungspotential durch diese Geräte reduzieren [Colbourne2013].

Kohlenwasserstoffe sind sehr gut mit Mineralölen mischbar. Wegen der sehr guten Öllöslichkeit kann es Probleme mit Aufschäumen des Öls im Kurbelgehäuse des Verdichters geben. Außerdem können zu viel unverdampfte Kältemittelanteile zum Verdichter zurückkommen, was ebenfalls zu Schmierungsproblemen führen kann. Daher laufen bei Secop die R290-Verdichter mit Esteröl, bei anderen Herstellern mit Mineralöl mit mehr als doppelt so hoher Viskosität oder bei Bitzer teilweise mit synthetischen Ölen auf Basis von Polyalphaolefin (PAO) [Jürgensen2013].

Steckerfertige Geräte mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel haben eine hohe Zuverlässigkeit, da es sich bei den Geräten um eine ausgereifte und über Jahrzehnte entwickelte und verfeinerte Technik handelt. Probleme mit der Lebensdauer von hermetischen R290-Verdichtern in frühen Wärmepumpenanwendungen sind inzwischen gelöst. Durch Einsatz geeigneter Öle (s.o.) ist die Lebensdauererwartung für hermetische R600a und R290-Verdichter sogar höher als die von R134a-Verdichtern [Jürgensen2004].

2.1.1 Isobutan - R600a

Isobutan ist das Standardkältemittel in nord- und mitteleuropäischen Haushaltskühl- und -gefriergeräten. Inzwischen werden weltweit pro Jahr über 36 Millionen Haushaltsgeräte mit R600a hergestellt und bis 2020 wird ein Anstieg des Anteils an Kohlenwasserstoffgeräten auf 75 % erwartet [UNEP2010]. Bereits jetzt verwendet 75 % der derzeitigen Haushaltskühlschrankproduktion in China R600a [GIZ2011]. R600a wird auch in kleineren gewerblichen steckerfertigen Geräten eingesetzt, z. B. in Tiefkühltruhen für Speiseeis oder Flaschenkühlern. Durch die gegenüber R134a niedrigeren Drücke und geringfügig niedrigeren Druckverhältnisse laufen steckerfertige R600a-Geräte leiser als vergleichbare R134a-Geräte. Durch die geringere Dichte von R600a sind allerdings größere Verdichterhubvolumina erforderlich. Bei größeren Kälteleistungen reicht häufig der Einbauraum für den Verdichter nicht mehr aus und es muss auf R290 oder R1270 übergegangen werden.

2.1.2 Propan - R290

Propan wird z.B. in steckerfertigen Getränkekühlern (z. B. AHT, Liebherr und Vestfrost), Tiefkühltruhen (z. B. AHT und Liebherr), Labortiefkühlschränken (Eppendorf) und Umwälzthermostaten (Huber und Julabo) einiger Hersteller eingesetzt. Kann man die geltenden Anforderungen an die Sicherheit erfüllen (z. B. IEC 60335-2-89), ist Propan das ideale Kältemittel für diese Geräte. Es kann mit handelsüblichen Komponenten eingesetzt werden, ist mit Mineralölen gut mischbar und führt zu niedrigeren Verdichtungsendtemperaturen und häufig zu 10 bis 15 % besseren Kälteleistungszahlen als z. B. R134a oder R404A [Jürgensen2004]. In einem Vergleich mit R134a-Flaschenkühlern wurden sogar um 33 % höhere Kälteleistungszahlen berichtet [Oliveira2013]. Darüber hinaus sind die Druckverhältnisse und Druckdifferenzen niedriger als bei R404A, R407C oder R410A, was zu niedrigeren Geräuschemissionen führt (ähnlich wie bei Haushaltskühlgeräten, die in der Regel auch mit Iso-Butan leiser arbeiten als mit R134a). Bei gleichem Hubvolumen des Verdichters sinkt die Kälteleistung gegenüber R22 um ca. 4 bis 10 % [Mali1995]; verglichen mit R134a steigt die Kälteleistung um ca. 16 % [Oliveira2013] und verglichen mit R404A steigt sie um ca. 4 % [Guilabert2013].

Für Hersteller von hermetischen Verdichtern gilt die Druckgeräterichtlinie 97/23/EC. Diese fordert ab einer gewissen Verdichtergröße (Druck-Volumen-Produkt größer als 50 bar Liter) besondere Kontrollen in der Fertigung. Es fertigt deshalb momentan kein Verdichterhersteller hermetische Verdichter für größere steckerfertige Geräte. Durch die gegenüber R600a geringe-

re Dichte ist das Gefährdungspotential von R290-Geräten geringer als das Gefährdungspotential von R600a-Geräten [Colbourne2013].

2.1.3 Propan - R1270

Propan ist ein Kohlenwasserstoff mit einer ungesättigten Kohlenstoffverbindung. Es ist von daher weniger stabil als z. B. R290. R1270 wurde Mitte der 1990er Jahre für indirekte Supermarktkälteanlagen eingesetzt. Durch die gegenüber R600a geringere Dichte ist das Gefährdungspotential von R1270-Geräten geringer als das Gefährdungspotential von R600a-Geräten [Colbourne2013]. Es wird deshalb von einem britischen Hersteller für steckerfertige Kühl- und Gefriergeräte zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie sowie von mindestens einem deutschen Hersteller für Labor-Gefriertrocknungsanlagen eingesetzt.

2.1.4 Ethan - R170

Ethan wird als Kältemittel für tiefe Temperaturen (bis ca. -90 °C), z.B. in kleinen Gefriertrocknungsgeräten, eingesetzt [Dieckmann2013].

2.1.5 Ethen - R1150

Ethen (Ethylen) wird als Kältemittel für tiefe Temperaturen (bis ca. -110 °C), z.B. in kleinen Gefriertrocknungsgeräten, eingesetzt [Dieckmann2013].

2.2 Kohlendioxid - R744

Kohlendioxid (CO_2 - R744) wird hauptsächlich von US-amerikanischen Getränkeherstellern für Getränkeflaschen- und -dosenautomaten wegen seiner Nichtbrennbarkeit gegenüber Kohlenwasserstoffen favorisiert. Kohlendioxid ist jedoch ein Kältemittel mit deutlich höheren Dampfdrücken als die anderer in steckerfertigen Geräten eingesetzter Kältemittel. In steckerfertigen Flaschenkühlern erreicht es auf der Hochdruckseite Drücke bis zu 130 bar. Die hohen Betriebsdrücke erfordern festere Gehäusewerkstoffe und/oder größere Wandstärken. Auf der anderen Seite wird insbesondere der Verdichter durch die hohe volumenstrombezogene Kälteleistung sehr klein. Es gibt allerdings nur noch sehr wenige, überwiegend japanische Hersteller, die speziell für CO_2 in steckerfertigen Geräten geeignete Verdichter anbieten.

Gleiche Druckverluste in Rohrleitungen oder Komponenten führen zu deutlich kleineren Temperaturabfällen und damit zu deutlich kleineren Einbußen bei der Kälteleistungszahl. Rohrleitungen können deshalb und auf Grund der kleineren erforderlichen Volumenströme deutlich kleiner ausgeführt werden als mit HFKW-Kältemitteln. So ist trotz der druckbedingt größeren Wandstärken der Materialeinsatz für Rohrleitungen kleiner [Heinbokel2005]. Durch die höheren Wärmeübergangszahlen können die Verdampfungstemperaturen um ca. 2 K gegenüber HFKW angehoben werden [Heinbokel2005].

Die kritische Temperatur, unterhalb derer eine Verflüssigung des Kältemittels möglich ist, beträgt bei R744 nur 31 °C . R744 ist von daher im klassischen Kaltdampfkaltemaschinenprozess mit Verdampfung auf der Niederdruckseite und Verflüssigung auf der Hochdruckseite nur bei Temperaturen der Wärmesenke am Verflüssiger bis zu ca. 25 °C einsetzbar. Bei steckerfertigen Kühl- und Gefriergeräten betragen bei Innenaufstellung selbst im Sommer die Umgebungstemperaturen meist weniger als 25 °C . Bei einer Außenaufstellung des Geräts, wie z.B. bei Verkaufsautomaten auf dem Bahnsteig, und bei luftgekühlten Verflüssigern betragen die Temperaturen auf der Hochdruckseite der Kälteanlage im Sommer über 31 °C . Bei R744 ist dann kei-

ne Verflüssigung des Kältemittels mehr möglich und die Kälteanlage arbeitet im so genannten transkritischen Prozess. In der Regel sind die Kälteleistungszahlen von transkritischen Kälteanlagen schlechter als die von traditionellen Kälteanlagen mit einer Verflüssigung des Kältemittels auf der Hochdruckseite. Für einen entsprechenden kostenoptimierten Flaschenkühler mit nichtregelndem Kapillarrohr als Entspannungsorgan haben Cecchinato und Corradi (2013) einen gegenüber R134a um 19 bis 54 % und gegenüber R404A um -4 bis 30 % höheren Energieverbrauch bei Umgebungstemperaturen von 20 und 35 °C gemessen. Diese zunächst einmal energetisch schlechte Eigenschaft kann durch eine an die Umgebungstemperatur angepasste Hochdruckregelung und den Einsatz eines inneren Wärmeübertragers zum Teil kompensiert werden. Der kälteleistungszahlsteigernde Effekt eines inneren Wärmeübertragers ist beim transkritischen R744-Prozess größer als bei anderen Kältemitteln. Zum Teil wurden auch Geräte mit zweistufiger Verdichtung und Zwischenkühlung gebaut. Mit derartigen, energetisch optimierten R744-Flaschenkühlern lassen sich gegenüber Geräten mit R134a Energieeinsparungen von 10 bis 35 % erzielen [Azar 2012, Yamasaki et al. 2004, Veje und Süß 2004]. Allerdings dürften die Anlagenkosten durch den zusätzlich erforderlichen Zwischenkühler und den zweistufigen Verdichter höher sein.

Für größere R744-Kälteanlagen wird auch der Einsatz eines Ejektors und einer Expansionsmaschine zur Effizienzverbesserung erprobt. Diese Technologien eignen sich jedoch nicht für steckerfertige Kühlgeräte. Für steckerfertige Geräte geeignet wäre eine zweistufige Verdichtung mit Economizerschaltung. Sanyo hat mit einer derartigen Schaltung für einen steckerfertigen Großküchengefrierschrank mit 1151 Liter Volumen eine Effizienzsteigerung von 17 bis 20 % gegenüber deren Standard-R404A-Tiefkühlschrank bei Umgebungstemperaturen von 30 bis 43 °C erzielt [Imai et al. 2010].

Die Besonderheiten der transkritischen Prozessführung und die guten Wärmeübertragungseigenschaften von R744 im Gaskühler ermöglichen eine Abkühlung des Druckgases bis nahe an die Umgebungslufttemperatur [Heinbokel2005]. Die Wahl des Druckes auf der Hochdruckseite hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Kälteleistungszahl eines transkritischen Prozesses. Zu jeder Gaskühleraustrittstemperatur, also im Prinzip zu jeder Außenlufttemperatur bei luftgekühlter Hochdruckseite, gibt es dabei einen optimalen Druck in Bezug auf die Kälteleistung. Die Regelung einer R744-Kälteanlage muss diese Eigenschaft berücksichtigen, um einen niedrigen Energieverbrauch sicherzustellen. Eine elektronische Regelung stellt dabei im Gegensatz zu einer Regelung mit einem rein mechanischen Differenzdruckregelventil in einem weiten Einsatzbereich sicher, dass die Anlage mit bestmöglicher Kälteleistungszahl und dadurch niedrigstem Energieverbrauch läuft [Cecchinato2007]. Eine entsprechende Regelung bringt auch bei steckerfertigen Kühlgeräten eine ca. 10 prozentige Verbesserung der Energieeffizienz im Vergleich zu einer R744-Anlage mit einfachem Expansionsventil [Montagner et al. 2012].

Bei Außenlufttemperaturen unterhalb von ca. 26 °C arbeitet eine luftgekühlte R744-Kälteanlage mit Verflüssigung auf der Hochdruckseite. Im Bereich zwischen 15 und 26 °C werden vergleichbare Kälteleistungszahlen wie mit einer R404A Direktverdampfungsanlage erzielt. Bei tieferen Außenlufttemperaturen (unterhalb von 15 °C) erzielt die R744-Anlage sogar eine bessere Kälteleistungszahl.

Durch die verbesserten Wärmeübergangseigenschaften von R744 ergeben sich um ca. 2 K höhere Verdampfungstemperaturen [Gernemann2003, Heinbokel2005]. Bei niedrigen Lufttemperaturen ist bei R744 eine Absenkung der Verflüssigungstemperatur bis auf ca. +5 °C möglich, da durch das höhere Druckniveau von R744 auch bei diesen niedrigen Temperaturen noch ein für den Betrieb der Expansionsventile ausreichend großer Differenzdruck zum Verdampfungsdruck besteht [Heinbokel2005].

R744 führt in höheren Konzentrationen zur Reduktion oder Aufhebung des reflektorischen Atemanreizes und in Konzentrationen über ca. 10 % zum Atemstillstand. Der MAK-Wert beträgt 5.000 ppm entsprechend 0,5 % (ca. 9.000 mg/m³ Luft). Insbesondere in kleinen Räumen müssen deshalb die CO₂-Konzentrationen überwacht werden. Da CO₂ schwerer als Luft ist, müssen entsprechende Sensoren in Bodennähe installiert werden. In Supermärkten werden häufig in den Kühl- und Gefrierräumen sowie im Maschinenraum entsprechende Sensoren angebracht.

2.3 Ammoniak - R717

Ammoniak (R717) hat von allen Kältemitteln das niedrigste Treibhauspotential ($GWP_{100} < 1$). Es ist auch energetisch sehr interessant. Ammoniakkälteanlagen erzielen in der Regel höhere Kälteleistungszahlen als HFKW-Kälteanlagen. Leider ist R717 giftig (MAK-Wert 50). Es hat jedoch einen sehr stechenden Geruch und dadurch eine hohe Warnwirkung. R717-Dämpfe sind leichter als Luft. Ammoniak ist auch brennbar, allerdings nur bei Vorhandensein einer Brandquelle. Zündgrenzen liegen zwischen 15 und 30 Vol.-%.

Ammoniak ist ein alkalisches Gas. Der Kontakt zwischen Ammoniak und einigen anderen Stoffen kann zu explosiven Stoffen bzw. Reaktionen führen. Gasförmiges Ammoniak kann sehr stark mit Stickoxiden und starken Säuren reagieren. In Zusammenhang mit Wasser entsteht der bekannte Salmiakgeist. In Verbindung mit Kohlendioxid entsteht Hirschhornsalz. Feuchtes Ammoniak, d. h. Ammoniak, welches Wasser enthält, ist gegenüber Kupfer und Messing sehr korrosiv. Von allen für Ammoniak-Kälteanlagen geeigneten Materialien ist Stahl das bekannteste, nicht zuletzt wegen der verbreiteten Anwendung in industriellen Kälteanlagen. Doch auch bei der Anwendung von Stahl sind gewisse Regeln zu beachten [Kauffeld1998].

Es fehlen geeignete Komponenten für Ammoniakkompressionskälteanlagen kleiner Leistung. Ammoniak findet jedoch in Absorptionskühlschränken Verwendung, wie sie überwiegend – aus Geräuschgründen – als Minibars in Hotelzimmern verwendet werden. Derartige elektrisch beheizte Absorptionskühlschränke haben eine sehr schlechte Energieeffizienz. Sie verbrauchen bei gleicher Größe ca. 3 bis 4-mal so viel Energie wie ein Kaltdampfkompressionsgerät mit R600a.

3 Steckerfertige Geräte zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie

EPA (2010) schätzt, dass im Jahr 2010 weltweit ca. 32 Millionen steckerfertige Geräte und zusätzlich ca. 20.5 Millionen Verkaufsautomaten im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) in Betrieb waren, die ca. 7 % der gesamten Kältemittelmenge im LEH enthielten.

Dezentrale steckerfertige Geräte im LEH und der Gastronomie gibt es als:

- a) Flaschenkühlschränke,
- b) Tiefkühltruhen,
- c) Kühltruhen,
- d) Kühltheken,
- e) Kühlregale,
- f) Tiefkühlregale/-schränke mit (Glas-)Tür - *wurden keine mit fluorfreien Kältemitteln gefunden,*
- g) Stopferaggregate,
- h) Verkaufsautomaten für Lebensmittel, Getränkeflaschen/-dosen, Milch oder Eiskrem und
- i) andere steckerfertige Geräte zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie.

Die einzelnen Typen gibt es mit verschiedenen Kältemitteln, in der Regel mit HFKW, Kohlenwasserstoffen und Kohlendioxid. Die Kältemittlemissionen der einzelnen steckerfertigen Geräte sind nahe Null, da die Geräte fabrikgefertigt sind mit entsprechend hohen Qualitätsstandards und ausschließlich hermetische Komponenten verwendet werden. Nur bei Leitungsbruch oder Beschädigung der kältemittelführenden Bauteile kommt es zu einem Verlust der Füllmenge. Auch bei der Entsorgung entstehen kaum Kältemittlemissionen da die Entsorgung in der Regel über Entsorgungsbetriebe mit entsprechenden Rückgewinnungseinrichtungen erfolgt. Bei Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffen als Kältemittel könnte auf Grund der geringen Umweltrelevanz das Kältemittel in die Atmosphäre abgegeben werden. Zündquellen sollten dann jedoch nicht in der Nähe sein. Da beim Abblasen Öl mitgerissen werden kann, ist auch für F-Gas freie Geräte die fachgerechte Entsorgung vorzuziehen.

Für alle genannten steckerfertigen Geräte im LEH und der Gastronomie gibt es Tendenzen hin zu vermehrtem Einsatz halogenfreier Kältemittel. Bei den folgenden Geräten gibt es seit dem UFOPLAN-Vorhaben „Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt“, FKZ 206 44 300 nennenswerte neue Erkenntnisse bzw. werden diese Geräte überhaupt erst seit kurzem mit halogenfreien Kältemitteln angeboten oder waren in der genannten Studie nicht enthalten, da es dort ausschließlich um Supermarktanwendungen ging:

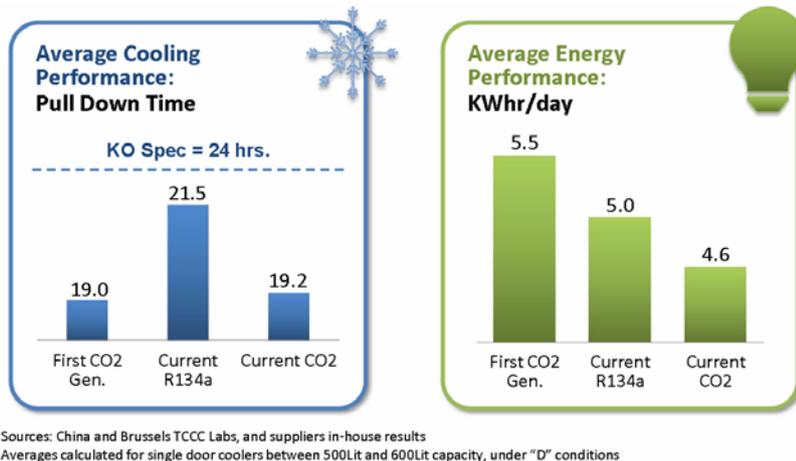
3.1 Flaschenkühler mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290)

Coca-Cola hatte bis Mitte 2012 über 400.000 Geräte mit Kohlenwasserstoff – Zahl umfasst sowohl Flaschenkühler mit Tür(en) als auch Verkaufsautomaten [Cousins2012].

3.2 Flaschenkühler mit Kohlendioxid (R744)

Coca-Cola führt an, dass die CO₂-Flaschenkühler neuester Generation weniger Energie verbrauchen als vergleichbare R134a-Geräte.

Abbildung 1: Vergleich des Energieverbrauchs von CO₂-Flaschenkühlern neuester Generation mit solchen, die mit R134a arbeiten [Azar2012].



Bis Mitte 2012 hat Coca-Cola über 202.000 Flaschenkühler mit Kohlendioxid in Betrieb genommen. Diese Zahl umfasst sowohl Flaschenkühler mit Tür(en) als auch Verkaufsautomaten [Cousins 2012]. Die entsprechenden CO₂-Verdichter stammen seit 2011 ausschließlich von Sanden (Japan) [Cousins 2012].

3.3 Tiefkühltruhen mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290, R1270)

Unilever begann 2003 mit den ersten Eiskremtruhen mit Kohlenwasserstoffen in Dänemark (800 Truhen). 2004 wurden bereits 15.000 Truhen in 17 Ländern eingesetzt und in 2005 weitere 40.000 installiert. 2010 hatte Unilever 100.000 Eiskremtruhen mit Kohlenwasserstoffen im Betrieb und 2012 über 1 Million [van Gerwen2012]. Daneben setzen insbesondere die deutschen Discounter auf steckerfertige Tiefkühltruhen mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel, wobei es inzwischen zahlreiche Anbieter derartiger Truhen gibt, die jeweils über Betriebserfahrungen mit mehreren 100.000 Geräten verfügen. Es wird weiterhin R600a nur für Truhen mit kleiner Kälteleistung, z.B. Impfstoffkühler, und R290 für Truhen mit größerer Kälteleistung eingesetzt – so arbeiten z. B. nahezu alle Eiskremtruhen und Truhen für Discountmärkte mit R290. Kohlenwasserstofftiefkühltruhen sind mindestens 10 % energieeffizienter als vergleichbare HFKW-Geräte [van Gerwen2012].

Inzwischen gibt es steckerfertige Geräte mit wassergekühltem Verflüssiger. Die meisten Hersteller statten ihre Geräte zusätzlich zum luftgekühlten Verflüssiger mit einem zweiten wassergekühlten Verflüssiger aus. Dadurch wird die Verflüssigerwärme nicht in den Verkaufsraum abgegeben. Bei ausschließlicher Verwendung eines wassergekühlten (Platten-) Verflüssigers ließe sich außerdem die Kältemittelfüllmenge reduzieren.

3.4 Tiefkühltruhen mit Kohlendioxid (R744)

Nestlé scheint weiterhin der einzige Anwender zu sein. Allerdings setzt auch Nestlé Geräte mit Kohlenwasserstoffen ein. Hydrocarbons21 [2012] zufolge Anfang 2012 bereits über 11.000 in sieben Ländern.

3.5 Kühltruhen

Red Bull betreibt weltweit 300.000 ECO Cooler. Mit Ausnahme von Japan kauft Red Bull nur noch Kohlenwasserstoffgeräte [Brenneis2012].

3.6 Kühltheken mit Kohlenwasserstoffen (R290) und Kohlendioxid (R744)

Mindestens ein Hersteller (Costan – Epta Group) bietet einzelne Kühltheken wahlweise anstelle von HFKW mit R290 und R744 an.

3.7 Kühlregale mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290, R1270)

Mindestens ein Hersteller (AHT) bietet steckerfertige Kühlregale mit R290 an [Sumitra Eksithichai2012]. Betriebserfahrungen liegen seit ca. 2010 vor. Ein Hersteller verwendet z.T. R1270 (Verco). Steckerfertige R134a-Kühlregale werden in Deutschland insbesondere von einem Lebensmitteldiscounter (Lidl) für Erweiterungsbauten eingesetzt [Resch2013], während andere Discountketten den Einsatz für Frischfleisch, wegen der dafür notwendigen tieferen Temperaturen, erwägt – die zentrale Verbundkälteanlage könnte dann mit höheren Verdampfungstemperaturen und damit geringerem Energieverbrauch laufen [Schneider2012].

Inzwischen gibt es steckerfertige Kühlregale mit wassergekühltem Verflüssiger. Die meisten Hersteller statten ihre Geräte zusätzlich zum luftgekühlten Verflüssiger mit einem zweiten Wassergekühlten Verflüssiger aus (Verco). Dadurch wird die Verflüssigerwärme nicht in den Verkaufsraum abgegeben. Bei ausschließlicher Verwendung eines wassergekühlten (Platten-) Verflüssigers ließe sich außerdem die Kältemittelfüllmenge reduzieren. Ein Hersteller (Verco) bietet bei Wasserkühlbetrieb die Kühlung des Verkaufsraums durch das offene Kühlregal an.

3.8 Stopferaggregate mit Kohlenwasserstoff (R290)

Steckerfertige Stopferaggregate sind fabrikgefertigte Kälteaggregate mit Kälteleistungen von 0,5 bis zu 9 kW, die z.B. zur Kühlung von nachgerüsteten Kühl- oder Tiefkühlräumen eingesetzt werden. Sie finden außerdem insbesondere Verwendung bei einigen Discountern, die ausschließlich über Stopferaggregate ihre Tiefkühlräume kühlen. Die zentrale Verbundanlage hat dann nur einen NK-Teil, da die Tiefkühlung im Markt bei diesen Discountern über steckerfertige Tiefkühltruhen erfolgt. Auch hier gibt es bereits erste Geräte mit Kohlenwasserstoffen [Pearson2012]. In Deutschland werden entsprechende Geräte mindestens von einem Hersteller (Viessmann) mit einer Kälteleistung von 1,27 kW angeboten, die 400 g R290 enthalten. Diese Aggregate sind ca. 15 % effizienter als vergleichbare mit R134a [Viessmann2013] und werden vom Hersteller als Deckenaggregate vermarktet.

3.9 Verkaufsautomaten

Verkaufsautomaten oder Selbstbedienungsautomaten geben Waren gegen Bezahlung heraus. Verkaufsautomaten finden sich für:

- Speisen (Snackautomat, Pizzautomat),
- Getränke (Getränkeflaschen/-dosen-Automat, Milchautomat, Weindispenser) oder
- Eiskrem.

Der Temperaturbereich richtet sich nach den angebotenen Waren, so dass es sowohl Kühl- als auch Gefrierautomaten gibt. Bei den Gefrierautomaten stellt die Vereisung der Zugriffsöffnung die Hersteller vor große Herausforderungen.

Eine andere Art der Unterscheidung betrifft die Warenpräsentation. Bei sogenannten Glasfrontautomaten kann der Kunde die Ware sehen. Bei sogenannten Schachtautomaten sieht der Kunde die einzelne Ware vor dem Kauf nicht.

Verkaufsautomaten werden überwiegend mit halogenierten Kältemitteln betrieben. Ausnahmen stellen insbesondere die Getränkeautomaten dar, welche auch mit R290 und R744 angeboten werden. Die Kältemittelfüllmengen reichen von ca. 500 g bis 3 kg, wobei Kohlenwasserstoffgeräte in der Regel unter 150 g Kältemittel enthalten. Betriebserfahrungen liegen mit R744 seit 2004 vor. Coca-Cola hat bis Mitte 2012 über 202.000 Geräte mit R744 im Einsatz – allerdings umfasst diese Zahl sowohl Flaschenkühler mit Tür(en) als auch Verkaufsautomaten [Cousins 2012].

3.10 Andere steckerfertige Geräte zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie

Andere steckerfertige Geräte zur Lebensmittelkühlung im Einzelhandel und in der Gastronomie sind z.B.:

- Durchlaufkühler für Getränke
- Eismaschinen - Eiswürfel
- Eismaschinen - Speiseeis
- Fasskühler
- Gebindetransportgerät
- Gewerbekühlschrank
- Kühl- und Gefrierschränke für Großküchen
- Kühlstation für Speisentransportwagen – *am Markt nur mit F-Gasen oder mit indirekter Kühlung verfügbar*
- Kühlthecken, -tische, -möbel; z.B. Buffets – *keine ohne F-Gase gefunden*
- Minibars
- Sahneautomaten
- Schnellgefrierer – *keine ohne F-Gas gefunden*
- Slusheismaschinen
- Softeismaschinen
- Speisenausgabemöbel
- Speisenförderbänder – *am Markt nur mit F-Gasen oder mit indirekter Kühlung verfügbar*
- Speisenportionierwagen – *keine ohne F-Gase gefunden*
- Speisentransportwagen – *keine ohne F-Gase gefunden*
- Wasserkühler/Wasserdispenser

- Weinkühler.

Die Kälteleistungen reichen von wenigen hundert Watt (z.B. Sahnautomaten oder Wasserkühler) bis zu ca. 2 kW (z.B. Speisenförderbänder). Die entsprechenden Kältemittelfüllmengen reichen von 70 g (Sahnemaschine) bis zu 5 kg (Eismaschine). Überwiegend werden halogenierte Kältemittel eingesetzt (R134a, R404A). Daneben finden sich Prototypen mit R410A und R290. Im Bereich der Großküchen-Kühl- und Gefrierschränke finden sich auch in größerer Zahl Geräte mit R290 und R600a, z.B. von Gram Commercial oder Electrolux. Andere Anbieter mit Kohlenwasserstoffgeräten sind z.B. Fasskühlschrank z.B. von Nordcap mit R600a, Eismaschinen (Floekeneis, Nuggeteis) mit R290 (82 g bzw. 2 x 78 g) von Gram Commercial, aber auch der japanische Hersteller Hoshizaki, der in seiner Fabrik in Großbritannien erste Eismaschinen mit R290 als Kältemittel entwickelt hat [Petersen2011]. Wasserkühler mit R290 von Blupura und Weinkühler mit R600a von Vestfrost. Außerdem sind nahezu alle Minibars halogenfrei, da sie in der Regel, wegen des niedrigeren Geräuschpegels, Ammoniak-Wasser-Absorptionskühlgeräte sind.

3.11 Zusammenfassung

Tabelle 3 auf Seite 32 zeigt eine Zusammenfassung der steckerfertigen Geräte im LEH und der Gastronomie mit fluorfreien Kältemitteln. Geräte mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel (R600a, R290 und R1270) erzielen 10 bis 15 % niedrigere Energieverbräuche als vergleichbare mit HFKW [Jürgensen2004, vanGerwen2012]. Bei Geräten mit R744 ist der Energieverbrauch stärker von der Temperatur des Aufstellungsortes abhängig als bei Geräten mit den anderen genannten Kältemitteln. Die eingesetzte Kältemittelmenge liegt für Kohlenwasserstoffe überwiegend zwischen ca. 30 g und 150 g. Einzelne Geräte arbeiten auch mit größeren Kältemittelmengen, z.B. Deckenkühlgerät (ähnlich einem Stopferaggregat – s.o.) mit 400 g. Es gibt auch Hinweise auf größere KW-Füllmengen bis zu 1,5 kg [Pearson2012]. Die Kälteleistung solcher Geräte reicht von 200 W bis ca. 2000 W.

Die Emissionen aus den einzelnen Geräten während des Betriebs sind wegen der hermetischen Bauweise mit allen Komponenten in einem Gehäuse und der daraus resultierenden kurzen Rohrleitungen gering [ADL2002]. Die jährlichen Leckageraten durch Beschädigungen an einzelnen Geräten sowie bei der Entsorgung am Gebrauchsende liegen im Mittel für alle steckerfertigen Geräte bei unter 1 % [Baxter, 2003; Bivens und Gage, 2004, IPCC/TEAP2005]. Wobei es jedoch auch höhere Zahlen von bis zu 10% jährlichen Verlusten gibt [ICF2005]. Von größerer Bedeutung – bezogen auf das Einzelgerät – sind dabei die Entsorgungsemissionen, da eine vollständige Rückgewinnung des Kältemittels nur in entsprechenden Entsorgungsstationen, wie sie für Haushaltsgeräte existieren, möglich ist. Noch bedeutungsvoller sind die mit dem Energieverbrauch der Geräte verbundenen CO₂-Emissionen. Diese betragen laut EU Ökodesign Studie 78 – 98 % [Cecchinato und Corradi 2013].

Kohlenwasserstoffe werden inzwischen von vielen Herstellern als Kältemittel für diverse Geräte angeboten. In der Regel mit Kältemittelfüllmengen unter 150 g. Die Entwicklungen zum Einsatz von Kohlenwasserstoffen gehen in zwei verschiedene Richtungen. Zum einen wird versucht, die erforderliche Kältemittelfüllmenge durch Systemoptimierungen zu reduzieren [Hoehne2004]. Zum anderen wird versucht, die in Normen festgelegte Mengenbegrenzung an brennbaren Kältemitteln von 150 g auf 500 g zu erhöhen, soweit dies sicherheitstechnisch möglich erscheint [Jürgensen2004]. Die Verwendung von Kohlendioxid beschränkt sich inzwischen auf wenige Hersteller, insbesondere weil die Energieeffizienz niedriger ist als bei vergleichbaren Geräten mit Kohlenwasserstoffen. R744 wird überwiegend in Flaschenkühlern und Verkaufsautomaten auf dem Nordamerikanischen Markt eingesetzt. Darüber hinaus gibt es eine kleine Serie R744-Speiseeistiefkühltruhen bei Nestlé.

Eine seit kurzem verfügbare Variante der steckerfertigen Geräte sind Geräte mit wassergekühlten Verflüssigern und Wasserkühlung in einem luftgekühlten Wärmeaustauscher oder einem gesonderten Kälte-trägerkreislauf mit eigenen außen aufgestellten Kohlenwasserstoff-Kältesätzen. Dazu ist im Markt ein entsprechendes Wassernetz erforderlich. Auf der EUROSHOP 2008 wurden erstmals von einer Firma derartige steckerfertige Geräte mit wassergekühlten Verflüssigern vorgestellt [AREA2008]. Inzwischen werden derartige Geräte auch von anderen Herstellern wie AHT, Epta oder Verco angeboten und weitere Hersteller arbeiten an entsprechenden Entwicklungen. Bei Epta (2012) besteht jedes Modul aus einem horizontalen Scroll-Kompressor, der mit einem wassergekühlten Inverter betrieben wird, sowie aus einem wassergekühlten Verflüssiger. Diese Komponenten sind in einem kompakten Gehäuse untergebracht, das auf das Kühlmöbel aufgebaut oder auf den Kühlräumen installiert wird. Die Verflüssigungswärme wird über einen Wasserkreislauf abgeleitet und kann zur Wärmerückgewinnung genutzt werden. Es sind Module unterschiedlicher Leistung geplant. Epta wird Module für die konventionelle Abtauung und Heißgasabtauung sowie für Normal- und Tiefkühlanwendungen entwickeln [Epta2012]. AHT liefert bereits steckerfertige Geräte, die an ein Wassersystem angeschlossen sind in Serie aus, und hat bereits viel Märkte mit einem derartigen System ausgerüstet [Resch2013]. Ähnliche Ansätze, allerdings mit größeren, schallgedämmten Kälteaggregaten, gibt es in USA von der Firma Hussmann als „Hussmann Protocol“.

4 Initiativen von LEH- und Gastronomie-Unternehmen

Viele Discounter setzen inzwischen fast ausschließlich auf TK-Truhen mit Kohlenwasserstoffen. Daneben hat das Consumer Goods Forum gesagt, dass alle Mitgliedsfirmen (weltweit ca. 400, u.a. Tesco, Coca-Cola, Kraft, Kellogg und Nestle) ab 2015 HFKW durch natürliche Kältemittel ersetzen will, sofern lokale Landesgesetze dies zulassen [Milnes 2010]. Auf dem Cancun Klimagipfel sagte Muhtar Kent, Coca-Cola CEO: "This is the first time that the entire sector has aligned around the importance of taking action to accelerate the move to climate-friendly refrigeration. The technologies exist today for our sector to significantly reduce the direct and indirect emissions of the refrigeration equipment we use." Coca-Cola hat bis Mitte 2012 über 400.000 Flaschenkühler mit Kohlenwasserstoff und über 202.000 mit Kohlendioxid installiert – diese Zahlen umfassen sowohl Flaschenkühler mit Tür(en) als auch Verkaufsautomaten [Cousins 2012].

Coca-Cola engagiert sich zusammen mit McDonald's, Pepsico, Unilever und Red Bull auch in Refrigerants Naturally. Unilever hat bereits 2003 mit der Installation von Kohlenwasserstoff-Eiskremtruhen in Dänemark angefangen (Feldtest mit 800 Truhen). 2004 wurden dann ca. 15.000 Truhen in 17 Ländern der EU installiert; gefolgt von weiteren 40.000 in 2005. 2010 lag die in diesem Jahr installierte Zahl an Eiskremtruhen mit Kohlenwasserstoffen bereits bei ca. 100.000, so dass Unilever inzwischen (2012) weltweit mehr 1 Mio. Kohlenwasserstoff-Eiskremtruhen in allen Ländern, in denen Unilever vertreten ist, im Einsatz hat und ab 2013 Kohlenwasserstoff-Truhen der globale Unilever-Standard werden sollen [vanGerwen 2012].

Red Bull betreibt weltweit 300.000 ECO Cooler – überwiegend runde Kühltruhen in Form einer Red Bull Dose. Mit Ausnahme von Japan kauft Red Bull nur noch Kohlenwasserstoffkühlgeräte [Brenneis2012].

Über die letzten Jahre hat McDonald's Europe eine HFKW-freie Einkaufsstrategie beim Kauf von Neu- und Ersatzgeräten eingeführt. Seitdem werden die Zulieferer aufgefordert, alternative Kältetechniken zu finden. McDonald's hat zwei HFKW-freie Restaurants in Dänemark eröffnet und für sechs Produktkategorien HFKW-freie Technologien zugelassen:

- Saft-Spender,
- Eiswürfelmaschinen,
- Pommes Frites Spender (845),
- Getränkesysteme,
- Gewerbekühl- und gefrierschränke (Reach-in cooler and freezer) (1025 reach-ins and salad displays),
- Fleischgefrierschränke (Meat/wall freezer) (1.495 HFC-free meat freezers).

Als Teil von McDonald's Europe's Unterstützung der HFKW-freien Kältetechnologie hat die Firma über 3.300 HFKW-freie meat freezers, frozen fry dispensers, reach-ins und salad displays installiert. Daneben investiert McDonald's in Industriekälteanlagen mit Ammoniak [Refrigerants Naturally, Press Review 2012, S. 3].

5 Andere steckerfertige Geräte

Steckerfertige Geräte gibt es auch für folgende Anwendungen in den aufgeführten Branchen. Sofern Hersteller von Anlagen mit fluorfreien Kältemitteln gefunden wurden, sind diese in Klammern angegeben. Die meisten steckerfertigen Geräte außerhalb des LEH und der Gastronomie werden mit Serviceventilen ausgestattet, um im Fall eines Defekts die Anlage warten zu können.

Pharmaindustrie/Medizinbereich

- Blutzentrifugen
- Gefriertrocknung: (Martin Christ R170, R1150, R1270; Kältemittelfüllmenge mit KW bis maximal 150g, darüber hinaus HFKW bis 7.000 g)
- Impfstoff-Kühler
- Klimaschränke
- Labor-Kühlzentrifugen (Sigma R290 – nur indirekt)
- Medikamenten-, Blut- und Plasmakühlschränke
- Tieftemperaturkühlschrank bzw. -truhe (Eppendorf mit R290 und R170, Telstar, Thermo Scientific)
- Tragbare Tieftemperaturboxen für den Fahrzeugtransport (Telstar Freikolbenstirlingkältemaschine vermutlich mit Helium)
- Umwälzthermostate (Huber R290 bis 100 g und R1270 bis 114 g, Julabo R290 40 bis 70 g)

Handwerk

- Drucklufttrockner
- Entfeuchter

Großküchen

- Abfallkühler
- Kesselrückkühlmodule
- Kühlräume (Kramer solarthermisch angetriebene Ammoniak/Wasser Kälteanlage)

Laboreinrichtung

- Beschlagtest (Fogging Test System)
- Klimaschränke
- Laborthermostate / Umwälzkühler (Huber R290 bis 100 g und R1270 bis 114 g, Julabo R290 40 bis 70 g)
- Labor-Kühlzentrifugen (Sigma)
- Wasserbäder / Schüttelwasserbäder

Elektro- und Informationstechnologie

Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte

- Rechnerkühlgeräte
- Schaltschrankkühler

Gebäudeheizung und -kühlung

- Kompaktklimageräte
 - Raumklimagerät (Geräte mit KW als Kältemittel u.a. von DeLonghi)
 - Fensterklimageräte
- Singlesplit-Klimageräte (Geräte mit KW als Kältemittel u.a. von Grey, Godrej und Midea)
- Heizungswärmepumpen (z.B. Bartl, Hauteq, Oekotherm und RETEC)
- Brauchwasserwärmepumpen (CO₂ von diversen japanischen Herstellern, u.a. Sanyo)

Andere steckerfertige Kühl- und Gefriergeräte

- Eisspeicher
- Rucksackaggregate (Viessmann)
- Wärmepumpenspeicher
- Wäschetrocknerwärmepumpen
- Zigarrenklimaschränke
- Palettenkühlung

6 Verfügbarkeit/Einsatzgrenzen von steckerfertigen Kühl- und Gefriergeräten mit halogenfreien Kältemitteln

Die meisten Geräte waren bis vor wenigen Jahren nur mit HFKW verfügbar. Bei den Recherchen zum UFOPLAN-Vorhaben „Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt“ FKZ 206 44 300 im Zeitraum Herbst 2006 bis Frühjahr 2008 waren steckerfertige Geräte ohne fluoriierte Kältemittel noch die Ausnahme. Es gab damals insbesondere steckerfertige Tiefkühltruhen und Flaschenkühlschränke. Inzwischen hat fast jeder Hersteller mindestens eine Produktlinie mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel im Angebot bzw. bietet dies als Option an. Sofern die Geräte mit Kohlenwasserstoffen arbeiten, zeichnen sie sich laut der Hersteller durch eine hohe Energieeffizienz und damit geringere Betriebskosten aus und verursachen auch in der Anschaffung keine oder nur geringe Mehrkosten. Wie von den Haushaltskühlgeräten bekannt, weisen gewerbliche Kohlenwasserstoffgeräte häufig eine niedrigere Geräuschemission aus.

Bisher beschränken sich die meisten Hersteller in Deutschland auf 150 g als maximale Kältemittelfüllmenge. Mit derartigen Geräten lassen sich nach derzeitigem Kenntnisstand maximal ca. 3 kW Kälteleistung erzielen. Ein Ausweg ist der Einbau von zwei oder mehr voneinander getrennten Kältemittelkreisläufen in ein und demselben Kühlgerät [Schmidt2013].

EN 378 erlaubt jedoch auch größere Füllmengen von bis zu 1,0 bzw. 1,5 kg. Allerdings sind dann Mindestraumgrößen bei der Größe des Aufstellraums einzuhalten. So gibt z.B. Viessmann für seine Rucksackaggregate, welche 400 g R290 enthalten, entsprechende Aufstellhinweise. Mit 1 kg Füllmenge dürften mit Kohlenwasserstoffen die meisten heutigen Anwendungen von steckerfertigen Geräten abgedeckt werden können. Als grober Anhaltswert beim Wechsel zu KW-Kältemitteln gelten 50 % der bisherigen HFKW-Füllmenge. Durch entsprechende Kreislaufoptimierung sind aber, wie oben ausgeführt, ca. 50g/kW erzielbar. Damit wären dann 20 kW Kälteleistung bei 1 kg Füllmenge realisierbar, was für alle bekannten steckerfertigen Anlagen reichen würde. Allerdings mit der Einschränkung der entsprechenden Größe des Aufstellraumes.

Einzig bekannte nichtbrennbare Alternative stellt R744 dar. Allerdings erzielen derartige Anlagen ohne besondere Vorkehrungen eine schlechtere Energieeffizienz als vergleichbare HFKW-Anlagen. Und selbst mit entsprechenden Vorkehrungen, die zu entsprechenden Mehrkosten führen, wird ein luftgekühltes steckerfertiges R744-Gerät nie die Energieeffizienz von Kohlenwasserstoffgeräten erzielen. Anders sieht es aus, wenn die Abkühlung des Kohlendioxids auf der Hochdruckseite mit entsprechend tiefer Temperatur erfolgen kann. Bei Temperaturen unterhalb ca. 15 °C wäre eine R744-Anlage energetisch besser. Sie eignen sich also hervorragend in der unteren Stufe von entsprechenden Ultratiefkühlgeräten oder für Laborzentrifugen. Allerdings gibt es kaum noch Verdichterhersteller, die R744-Verdichter für kleine Leistungen anbieten.

Der Einsatz steckerfertiger Kühl- und Gefriergeräte mit halogenfreien Kältemitteln ist in der Anfangsphase, solange die Hersteller ihre Produktion an die brennbaren Kältemittel anpassen müssen, mit Mehrkosten bei der Anschaffung verbunden. Diese betragen – je nach Hersteller – ca. 5 bis 15 %. Im Betrieb ergeben sich aber durch die ca. 10 – 15 % höhere Energieeffizienz entsprechende Einsparungen.

Insbesondere der breite, unfallfreie Einsatz von Kohlenwasserstoffen in Haushaltskühlgeräten und der im Entstehen begriffene Einsatz von brennbaren Kältemitteln in Raumklimageräten dürften der weiteren Entwicklung bei steckerfertigen Geräten dienlich sein. So sind es zunächst auch insbesondere Kühlschränke und Kühltruhen für Gastronomie und Großküchen, welche

mit Kohlenwasserstoffen erhältlich sind, d.h. Geräte, die Haushaltskühlgeräten sehr ähnlich sind und oft von den gleichen Herstellern bzw. von kleineren Herstellern, die früher Haushaltskühlgeräte gebaut haben, stammen.

Auch die beim Gipfeltreffen der beiden Präsidenten der USA und Chinas am 7. Juni 2013 in Kalifornien getroffene Vereinbarung, dass beide Länder aus der Verwendung von HFKW aussteigen wollen [Reuter2013] dürfte die Entwicklung von fluorfreien Alternativen weltweit anspornen.

7 Quellenverzeichnis

Air Liquide Sicherheitsdatenblätter für technische Gase. Online Ausgabe 2012

Area: Informationen der Fa. Area Cooling Solutions auf der EUROSHOP 2008 in Düsseldorf am 26.2.2008

Arthur D. Little, Inc. (ADL) (2002): "Global Comparative Analysis of HFC and Alternative Technologies for Refrigeration, Air Conditioning, Foam, Solvent, Aerosol Propellant, and Fire Protection Applications." Final Report to the Alliance for Responsible Atmospheric Policy.

Azar, A.: Natural Refrigerants, Sustainable and Commercially Viable Solution. EU Atmosphere 2012, Genf, 14.11.2012

Baxter, Van D. (2003): "Advances in Supermarket Refrigeration Systems." U.S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.

Bivens, D. and Gage, C. (2004): Commercial Refrigeration Systems Emissions. 15th Annual Earth Technology Forum, Washington, DC. 13-15 April 2004

Brenneis, J.: Red Bull Road Map of HFC phase out, EU Atmosphere 2012

Cecchinato, L.; et al.: An experimental analysis of a supermarket plant working with carbon dioxide as refrigerant. IIR 22nd International Congress of Refrigeration, 21. – 26. August 2007, Beijing, China

Cecchinato, L.; Corradi, M.: Transcritical carbon dioxide small commercial cooling applications analysis. Int. J. Refr. 34 (2011), S. 50 - 61

Colbourne, D.; Espersen, L.: Quantitative risk assessment of R290 in ice cream cabinets. Int. J. Refr. 36 (2013), S. 1208 – 1219

Corberán, J.M.; Sgurado, J.; Colbourne, D.; Gonzalvez, J.: Review of standards for the use of hydrocarbon refrigerants in A/C, heat pump and refrigeration equipment. Int. J. Refr. 31 (2008), S. 748 – 756

Cousins, S.: Natural Refrigerants in Cold Drink Equipment. Atmosphere America 13. Juni 2012

Dahms (2013 mündlich): Persönliches Gespräch mit Andreas Dahms, Inhaber, Dahms Project – Training, Alois Krämer Str.1, 76829 Landau am 25.5.2013, Kandel.

Dieckmann (2013 Email): Email von Jens Dieckmann, Martin Christ GmbH vom 16.04.2013

EPA (2010): Transitioning to low-Gwp alternatives in commercial refrigeration. US EPA, Oktober 2010

Epta (2012): Epta präsentiert neues Wasserkreislauf-Kältesystem – 5. Dezember 2012.
<http://www.eptarefrigeration.com/DettaglioNews.pag?catID=0&newsID=355>. Aufgerufen am 31.05.2013

Galyen, J.: Hydrocarbons Charge Up Refrigeration Innovations: Industry Likely to See Propane and Isobutane Products by 2010. Danfoss, 9. September 2009
http://www.danfoss.com/North_America/EnVioneering/EnVioneering/Hydrocarbons+charge+up+refrigeration+innovations.html. Aufgerufen am 09.06.2013

Gernemann, A.: Konzeption, Aufbau und energetische Bewertung einer zweistufigen CO₂-Kälteanlage zur Kältebereitstellung in gewerblichen Normal- und Tiefkühlanlagen (Supermarkt). Dissertation Uni Duisburg-Essen, Juni 2003

- GIZ (2011): Production conversion of domestic refrigerators from halogenated to hydrocarbon refrigerants – A Guideline. GiZ Proklima International, Eschborn, November 2011
- Guilabert, V.: Low energy consumption when using R290 as an alternative to R404A in light commercial refrigeration in America. Atmosphere America, Washington, D.C., 18. – 19. Juni 2013
- Heinbokel, B.; Gernemann, A.: Eine neuentwickelte CO₂-Kälteanlage für den Normal- und Tiefkühlbereich in einem Schweizer Hypermarkt. DKV Jahrestagung 2005, Würzburg
- Hoehne, M.; Hrnjak, P.: Charge minimization in hydrocarbon systems. IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids 2004, Glasgow, UK
- Hydrocarbons21: Nestlé: Over 11,000 hydrocarbon ice cream freezers in 7 countries. 21. Mai 2012; Aufgerufen am 2. September 2013
- Hrnjak, P.: Natural Refrigerants in different applications. Atmosphere America, Washington, D.C., 12. – 13. Juni 2012
- ICF: Revised Draft Analysis of U.S. Commercial Supermarket Refrigeration Systems. 30. November 2005
- Imai, S. Tsuihiji, R. Ishii, T. Mori, T. Sekiguchi, T. Kurita, F.: Development of CO₂ freezer for commercial use. 9th IIR Gustav Lorentzen Conference Natural Refrigerants Conference, Sydney, Australia 2010
- Joybari, M.M.; Hatamipour, M.S.; Rahimi, A.; Modarres, F.G.: Exergy analysis and optimization of R600a as a replacement of R134a in a domestic refrigerator system. Int. J. Refr. 36 (2013), S. 1233 – 1242
- Jürgensen, H., Nielsen, O.K., Tiedemann, T.: Application Related Design of Hermetic Propane Compressors for Small Refrigeration Systems. Proc. IIR Compressors Conference 2004, Castá Papiernicka, 29.9. – 1.10.2004
- Jürgensen, H., Bitzer Kühlmaschinenbau, Email v. 27. Juni 2013
- Kauffeld, M.: Anwendung von Kohlenwasserstoffen in der Transportkälte. Ki Luft- und Kältetechnik 32, 3 (1996), S. 107 - 110
- Kauffeld, M., Hansen, S.: Kleine Ammoniak-Kälteanlage. Ki Luft- und Kältetechnik 34, 6 (1998), S. 278 – 283
- Leth Vonsild, A.: Safety Standards for Hydrocarbon Refrigerants. 10th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Delft, Niederlande, 2012
- Mali, M.: Erfahrungen und Besonderheiten von Kälteanlagen und Wärmepumpen, die mit dem Kältemittel R290 arbeiten. in Petz, M.: Kohlenwasserstoffe als Kältemittel, Expert-Verlag 1995, ISBN 3-8169-1186-2, S. 59 – 69
- Milnes, J.: Refrigeration and Air Conditioning Magazine. 30. November 2010
- Montagner, G.P.; Melo, C.: A study on cycle designs for light commercial CO₂ refrigeration systems. 10th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Delft, Niederlande, 2012
- Oliveira, S.: Innovative hydrocarbon solutions - bottle cooler application. Atmosphere America, Washington, D.C., 18. – 19. Juni 2013
- Pearson, A.: Market successes of natural refrigerants: Twenty years of progress. 10th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Delft, Niederlande, 2012

- Pedersen, P.H.; Christensen, B.: Development and Test of Bootle Coolers with natural refrigerants. 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Kopenhagen, Dänemark, 2008
- Resch, R., AHT: Email vom 17. September 2013
- Reuters 2013: U.S., China agree to reduce use of hydrofluorocarbons.
<http://www.reuters.com/article/2013/06/08/us-usa-china-environment-idUSBRE9570EX20130608>, abgerufen am 15.06.2013
- Schmidt, D.: Conquering the Barriers of HC Technology. Atmosphere America, Washington, D.C., 18. – 19. Juni 2013
- Schrempf, B. (2011): Sicherheitsnormen in der Kältetechnik – Überarbeitungen und Neuausgaben. DKV-Tagung 2011, Aachen
- Sumitra Eksithichai (2012): AHT's HC equipment for Food Refrigeration around the Globe. UNCC, BANGKOK, 27.07.2012
- Tim-Peter Strüßmann, T.-P., Application Engineer Light Commercial, Secop GmbH: Email vom 26. Juni 2013 zu Kohlenwasserstofffüllmengen
- UNEP (2011) Kuijpers, L. et al: 2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (RTOC) – 2010 Assessment. UNEP Februar 2011
- Van Gerwen (2012): Five Golden Rules for Successful Implementation of Natural Refrigerants. EU Atmosphere, 5 - 7 November 2012, Brüssel
- Veje, C.; Süß, J.: The transcritical CO₂ Cycle in light commercial refrigeration applications. 6th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Glasgow, Schottland, 29.8.-1.9.2004
- Viessmann (2013): Produktflyer Deckenaggregat Evo-Cool R290
- Yamasaki, H.; Yamanaka, M.; Matsumoto, K.; Shimada, G.: Introduction to transcritical refrigeration cycle utilizing CO₂ as working fluid. 17th Int. Compr. Eng. Conf. At Purdue, West Lafayette, IN, USA, 12.-15. Juli 2004

8 Ausgewertete Tagungen, Zeitschriften und Datenbanken

Suchbegriffe waren soweit erforderlich bzw. möglich: steckerfertig, Kühlgeräte, Kohlenwasserstoff, Propan, Butan, Kohlendioxid und 150 g sowie englisch plug-in unit, selv contained unit, commercial refrigeration und 150 g sowie Kombinationen daraus. Darüber hinaus wurde insbesondere bei den Tagungsbänden und stichprobenartig bei den Fachzeitschriften auch das gesamte Inhaltsverzeichnis gelesen.

- Google
- IIR Fridoc
- International Congress of Refrigeration 2011
- IIR Gustav Lorentzen Conferences 2008, 2010 und 2012
- DKV-Tagungen von 2008 bis 2012
- Elsevier Science Direct
- Die Kälte
- KKA
- Ki Luft- und Kältetechnik
- Atmosphere
- www.hydrocarbons21.com
- www.R744.com
- Refrigerants Naturally
- Diverse Herstellerkataloge, Handbücher und homepages

Tabelle 3: Übersicht über gewerbliche steckerfertige Kühlgeräte im LEH und der Gastronomie mit halogenfreien Kältemitteln.

Art des Geräts	Kältemittel	Kältemittelfüllmenge in g	Kälteleistung in W	Energieverbrauch im Vergleich zu HFKW	Marktanteil / Betriebserfahrung	Serviceventil
Flaschenkühler	R600a, R290	bis zu 150	300 bis 600	- 15 % (R290) - 30 % (R600a) [Jürgensen2004]	mehrere 100.000	i.d.R. nein
	R744		400 bis 1.000	- 10 % [Azar2012]	mehrere 10.000	keine Angaben
Tiefkühltruhen	R600a, R290, R1270	bis zu 150	200 bis 1.000	- 10 bis -15 % [Jürgensen2004, van Gerwen 2012]	über 1 Mio.	i.d.R. nein
	R744		200 bis 1.000	keine Angaben	mehrere 1.000	keine Angaben
Kühltruhen	R600a, R290	bis zu 150		-10 bis -15 %	über 300.000	nein
Kühltheken	R290, R744	R290 max. 150		-10 bis -15 %	wenige 100	keine Angaben
Kühlregale	R290	150	ca. 1.500	keine Angaben	wenige 1.000	keine Angaben
	R744	ca. 2.300	keine Angaben	keine Angaben	wenige 100	keine Angaben
Stopferaggregate	R290	400	1.270	-15 % [Viessmann2013]	unbekannt	keine Angaben
Verkaufsautomaten	R744	500 bis 3.000	500 bis 1.000	ähnlich	über 100.000	zum Teil
Andere steckerfertige Geräte zur Lebensmittelkühlung	R600a, R290	bis zu 150 g; evtl. zwei separate Kreisläufe bei größerer Leistung	Bis zu 3.000	ca. 10 % niedriger	unbekannt	zum Teil – insbesondere bei teuren Geräten

