

Kohlenwasserstoffe als Kältemittel

Kohlenwasserstoffe überzeugen durch Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit

Eine entwickelte Gesellschaft ist auf Kältetechnik angewiesen. Ob im Haushalt, bei der Herstellung und Lagerung von Lebensmitteln wie z. B. Tiefkühlkost, Joghurt und Kaffee, in industriellen Produktionsprozessen der Automobil- oder chemisch-pharmazeutischen Industrie oder in Klimaanlage – überall ist „Kälte“ ein zentraler Bestandteil. Industriell hergestellte „Kälte“ ermöglicht erst das Funktionieren modernen Lebens. In der Bundesrepublik Deutschland werden allein hierzu etwa 14 % der Primärenergie benötigt. Negative Umwelteinflüsse lassen sich durch die Nutzung natürlicher Kältemittel reduzieren.

Kohlenwasserstoffe werden als natürliche Kältemittel bezeichnet, da sie in den Stoffkreisläufen der Erde vorkommen, z. B. als Nebenprodukt bei der Förderung von Erdgas oder in Erdölraffinerien. Schon zu Beginn der 1920er Jahre wurden Kohlenwasserstoffe als Kältemittel eingesetzt, Anfang der 1950er Jahre jedoch durch voll- und teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW / HFCKW) verdrängt. Aufgrund ihrer Ungiftigkeit und Nichtbrennbarkeit firmierten diese Stoffe lange unter dem Begriff „Sicherheitskältemittel“. Mittlerweile sind die fatalen Auswirkungen von FCKW und HFCKW auf die Umwelt und das globale Klima allgemein bekannt und ihr Einsatz daher verboten.

Einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der globalen Erwärmung kann der Einsatz von Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln leisten, daher sollte der Marktanteil solcher Anlagen wieder steigen. In vielen Bereichen stellen Kohlenwasserstoffe eine sinnvolle Alternative zu synthetischen Kältemitteln dar, da sie ähnliche Drucklagen und ähnliche spezifische Kälteleistungen besitzen. Richtig ausgewählt, haben sie anwendungsspezifische Vorteile.

The most important hydrocarbons

	Formel	Kältemittel	Siedepunkt	Kritische Temperatur
n-Butan	C ₄ H ₁₀	R600	- 0.5 °C	152.0 °C
Iso-Butan	C ₄ H ₁₀	R600a	- 12.0 °C	135.0 °C
Propan	C ₃ H ₈	R290	- 42.0 °C	96.6 °C
Propylen	C ₃ H ₆	R1270	- 47.7 °C	91.0 °C
Ethan	C ₂ H ₆	R170	- 88.7 °C	91.0 °C
Ethylen	C ₂ H ₄	R1150	-103.8 °C	9.5 °C

Um Eigenschaften für spezifische Anwendungen zu generieren, sind auch Mischungen aus diesen Kohlenwasserstoffen marktüblich. Einige davon sind in der ASHRAE Nomenklatur bereits gelistet und in der EN 378 aufgeführt.

Überzeugende Eigenschaften

Unter Klimaaspekten sind Kohlenwasserstoffe ebenso vorteilhaft wie Ammoniak und Kohlendioxid. Sie tragen nicht zum Abbau der Ozonschicht bei und haben im Vergleich zu vielen synthetischen Kältemittel-Substanzen kein oder ein zu vernachlässigendes direktes Treibhauspotential.

Besonderheiten der Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe sind leicht zu entzünden, brennbar und durch ihren Geruch kaum wahrnehmbar. Ethylen ist leichter als Luft und Ethan hat etwa die gleiche Dichte wie Luft. Butan, Propan und Propylen hingegen haben eine größere Dichte als Luft. Im Leckagefall können sie sich daher auf dem Boden sammeln und Atemluft verdrängen. Diese Eigenschaften machen besondere Vorkehrungen bei Planung und Bau von Anlagen mit Kohlenwasserstoffen erforderlich. Für ausreichende Sicherheit der Kälteanlage bei Bau, Betrieb und Wartung ist die Einhaltung der nationalen und internationalen Sicherheitsvorschriften zu gewährleisten (z. B. EN 378, Druckgeräterichtlinie, ATEX-Richtlinien). Weitere Informationen sind im VDMA Einheitsblatt 24020-3 zusammengestellt.

Sicherheitsgruppen

Mit Kohlenwasserstoff befüllte Kälteanlagen sind unter Beachtung der einschlägigen Normen und Richtlinien zu bauen und zu betreiben. Die Einordnung des gewählten Kältemittels nach Toxizität und Brennbarkeit erfolgt nach EN 378-1 und Druckgeräterichtlinie (DGRL):

Sicherheitsgruppen nach EN 378-1 und Fluid-Gruppen nach DGRL:

	Toxizität Brennbarkeit	Toxizität Brennbarkeit	
	Gruppe A	Gruppe B	Fluid-Gruppe
	Geringe Toxizität	Erhöhte Toxizität	
Keine Flammausbreitung	A1	B1	2
Keine Flammausbreitung	A2	B2	1
Größere Brennbarkeit	A3	B3	1

Anhand der in der EN 378-1 definierten Brennbarkeit, Toxizität und DGRL Fluid-Gruppe kann für jeden Aufstellungsort eine solide Projektierung von Anlagen mit Kohlenwasserstoffen erfolgen. Kohlenwasserstoffe gehören zur Sicherheitsgruppe A3 und Fluid-Gruppe 1, was geringe Toxizität und größere Brennbarkeit bedeutet.

Treibhauspotential (GWP) einiger Kältemittel zum Vergleich

Kältemittel	GWP*
R717 (Ammoniak, NH ₃)	0
R744 (Kohlendioxid, CO ₂)	1
R290 (Propan) (HC)	3
R22	1810
R134a	1430
R404A	3922
R410A	2088

*Quelle: EN 378, AR 4

Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe

Ökologisch	Kein Ozonabbaupotential, Treibhauspotential GWP ≤ 3
Thermodynamisch	Guter COP (EER), auch bei hohen Verflüssigungstemperaturen
Physikalisch	Guter Wärmeübergang
Chemisch	Brennbar/explosiv in Verbindung mit Luft, gute Materialverträglichkeit, verträglich mit Kupfer und Stahl sowie den gängigen Kältemaschinenölen
Physiologisch	Nicht toxisch

Kohlenwasserstoffe weisen ausgezeichnete thermodynamische Eigenschaften auf, die den Primärenergieaufwand zur Erzeugung einer bestimmten Kälteleistung und damit auch den indirekten Treibhauseffekt reduzieren.

Im Vergleich zu synthetischen Kältemitteln haben Anlagen mit Kohlenwasserstoffen eine günstigere TEWI-Bilanz (Total Equivalent Warming Impact). Die TEWI-Bilanz summiert den direkten und indirekten Treibhauseffekt einer Kälteanlage. Der direkte Treibhauseffekt berücksichtigt das CO₂-Äquivalent aus Kältemittlemissionen in die Umwelt, also Leckage- und Rückgewinnungsverluste des Kältemittels. Der indirekte Treibhauseffekt berücksichtigt den CO₂-Anteil zur Erzeugung der benötigten Energiemenge zum Betrieb der Kälteanlage während ihrer Lebenszeit. Um die globale Umweltbelastung zu reduzieren, sollte daher ein möglichst geringer TEWI-Wert angestrebt werden – beispielsweise durch den Einsatz von Kohlenwasserstoffen.

Im Gegensatz zu synthetischen Kältemitteln sind Kohlenwasserstoffe zudem ein preisgünstiger Betriebsstoff. Die Preisunterschiede machen sich bei der Erstbefüllung einer Anlage, aber vor allem auch bei Leckageverlusten bemerkbar. Hinzu kommt die preisgünstige Entsorgung am Ende der Laufzeit einer Anlage.

Mit Kohlenwasserstoffen Energie sparen

Bei den Betriebskosten liegen Anlagen mit Kohlenwasserstoffen ebenfalls vorn. Ein Grund dafür ist, neben den o. g. geringeren Kosten durch Leckagen, beispielsweise der reduzierte

Energieverbrauch. So zählt Propan zu den effizientesten Kältemitteln überhaupt. Dies gilt selbst bei Anlagen, die aus Sicherheitsgründen mit Kälte­trägerkreislauf betrieben werden.

Aufgrund der guten Eigenschaften von Kohlenwasserstoffen haben sie zudem das Potential, auch neue Einsatzgebiete zu erschließen. Anwender sollten deshalb auf Kohlenwasserstoff-Kälteanlagen setzen - denn sie sind nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch nachhaltig.

Kohlenwasserstoffe werden schon heute in unterschiedlichen Bereichen verwendet. Beim Anlagendesign haben sich Kälteanlagen mit Kälte­trägerkreislauf (z.B. Sole, Glykol oder CO₂) und Kaskaden in Kombination mit Kohlendioxid als Tieftemperaturkältemittel durchgesetzt. In beiden Fällen werden die Kohlenwasserstoff-Füllmengen deutlich reduziert.

Anwendungen

Kohlenwasserstoffe werden schon seit mehr als 20 Jahren in Haushaltskühl- und Gefriergeräten eingesetzt – darüber hinaus immer häufiger auch in einstufigen Kälteanlagen für den Klima-, Normal- und Tiefkühlbereich sowie in Wärmepumpen. Bereits 1995 wurden Kohlenwasserstoffe als Kältemittelalternativen für die Kälte- und Wärmepumpentechnik genannt.^[1]

Auch Split-Klimageräte mit Propan, Kühlmöbel mit Propan und Isobutan, Wandkühlregale mit Propylen, luft- und wassergekühlte Wasserkühlsätze sowie Kaskadenkälteanlagen mit Kohlendioxid / Propan sind bereits im Einsatz.^[2]

Typische Anwendungen für Kohlenwasserstoffe sind:

- Haushaltskühl- und Gefriergeräte
- Flaschenkühler
- Gewerbliche Tiefkühlmöbel und Gefrierschränke
- Gewerbliche Kühlmöbel und Kühlschränke
- Bierkühler
- Getränkeautomaten
- Entfeuchter
- Wärmepumpen
- Kältetechnik in Supermärkten
- Klimageräte
- Tieftemperatur-Kaskaden (alle Stufen)
- Wasser- und Solekühlsätze für indirekte Kühlung, insbesondere bei Außenaufstellung

Welche synthetischen Kältemittel können ersetzt werden?

Folgende synthetische Kältemittel (HFKW) können durch Kohlenwasserstoffe (KW) ersetzt werden:

HFKW	KW Alternative	Bemerkung
R134a	R600a	Haushaltsgeräte – größere Abweichungen in Kälteleistung und Drucklagen
R134a	R290/600a Gemische	Gewerbliche Anwendungen
R404A, R507A	R290, R1270, R290/1270 Gemische	Gewerbliche Anwendungen, Industrielle Anlagen (z. B. Petro-Chemie)
R407C	R290, R1270	Klima- und Wärmepumpensysteme
R410A	R1270/170 Gemische	Abweichungen in Kälteleistung und Drucklagen
R23, R14	R170, R1150	Tieftemperatur Kaskaden
R227ea	R600a	Hochtemperaturanwendungen
R236ea, R236fa, R245fa	R601, R601a	Hochtemperaturanwendungen, ORC Anwendungen

Anhang – Praxisbeispiele

R290 Tiefkühlzelle, Kälteleistung 2 x 2,2 kW, Füllmenge je 200 g

Im Norden von München wurde eine Tiefkühlzelle mit einem Raumvolumen von 37 m³ zur Lagerung von sensiblen Waren bei -20°C installiert. Um die Füllmenge möglichst klein zu halten, wurden zwei Microchannel Verflüssiger eingesetzt. Neben der guten Energieeffizienz von Propan in den Kältekreisläufen wird der Energieverbrauch durch EC-Ventilatoren noch weiter reduziert.

Die vom Betreiber gewünschte Redundanz der Anlage wurde mit zwei getrennten Kreisläufen realisiert.

Die maximal zulässige Füllmenge pro Kreislauf, errechnet aus 37 m³ x 8 g/m³ (zulässiger Grenzwert Propan nach EN378) wären 300 g pro Kreislauf; die Füllmenge beträgt hier jedoch nur 200 g. Somit ist gemäß DGRL keine gesonderte Abnahme durch eine notifizierte Stelle erforderlich.

Eine Außenaufstellung der Verflüssigungssätze sorgt für zusätzliche Sicherheit, ebenso wie eine Gaswarnanlage in der Kühlzelle, die bei Gasaustritt in den Raum die gesamte Anlage stromlos schaltet.

R600a Hochtemperatur-Wärmepumpe, Heizleistung 50 kW

Eine kleine Brauerei in St. Gallen (Schweiz) nutzt eine lokale Fernwärmeleitung mit einer Temperatur von 85°C. Für den Produktionsprozess werden jedoch bis zu 120°C benötigt. Bisher wurde das Temperaturniveau mit einem 50 kW Heizstab angehoben. Mit Blick auf eine nachhaltige Lösung und um die Betriebskosten zu senken, wurde eine Hochtemperatur-Wärmepumpe mit Isobutan eingesetzt, die nur noch 15 kW Antriebsleistung benötigt und mit lediglich 6 kg befüllt ist.

Ein frequenz geregelter Verdichter passt die Wärmemenge optimal an den Prozess an.

R290 Wasserkühlsatz für EDV und Klimatisierung, Kälteleistung 20 kW

Die Stadtwerke Lübbecke brauchen zur Kühlung des Serverraums und zur Klimatisierung eine Kälteanlage mit einer Leistung von 20 kW. Der Kunde legte besonderen Wert auf Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit.

Dazu wurde ein Wasserkühlsatz mit Kältemittel Propan im Freien aufgestellt, der mit nur 2,5 kg Propan betrieben wird. Die Installation im Wohngebiet stellte besondere Anforderungen an den Schallschutz. Diese wurden u.a. durch drehzahl geregelte Axialventilatoren für die Verflüssiger erreicht. Der Wasserkühlsatz ist seit Herbst 2011 dauerhaft im Einsatz.^[3]

R290 Wärmepumpe zum Heizen/Kühlen, 700 kW

Für einen neu zu errichtenden Baumarkt in Vorarlberg (Österreich) wurde nach einer energiesparenden Lösung zum Heizen und Kühlen gesucht. Dazu hatte man sich für eine Propan-Wärmepumpe entschieden. Seit ihrer Inbetriebnahme im März 2008 konnten ca. 30 % Energie gegenüber vergleichbaren Märkten der Kette eingespart werden.

Die Wärmepumpe hat zwei Kreisläufe mit je vier Halbhermetik-Verdichtern in Propanausführung. Zur Deckung der 700 kW Heizleistung werden als Wärmequelle die duktilen Rammpfähle benutzt, die zur Gründung des Baus notwendig waren. Die Wärmepumpe steht in einem Maschinenraum innerhalb eines Gebäudes (gemäß EN 378). Die Füllmenge beträgt pro Kreislauf 25 kg Propan.^[4]

R290 Energiestation zum Heizen und Kühlen, 2x 250 kW

Für ein Einkaufszentrum der Mythencenter AG in Ibach (Schweiz) wurde ein Projekt konzipiert, das energieeffizient und mit natürlichem Kältemittel Heizen, Kühlen und Brauchwasser bereiten sollte.

Hier wurden zwei Energiestationen ES Basis 250 mit Hydraulikmodulen, Kältemittel R290, eingesetzt, um das Gebäude zu klimatisieren und zu heizen. Die Anlagen haben je eine Nominalheizleistung von 250kW. Durch den Einsatz der Hydraulikmodule wird die Umschaltung Heizen und Kühlen erreicht. Die Wärme- bzw. Kälteabfuhr erfolgt mittels eines Rückkühlers.

Durch leistungs- und frequenzgeregelte Verdichter und elektronische Expansionsventile, sind die Geräte für lastabhängigen Dauerbetrieb bei höchsten COP-bzw. EER-Werten konzipiert.

Die zweikreisige Ausführung hat eine Kältemittelfüllmenge von 15kg R290 je Kältekreis. Die Einbindung in ein GLT-System erfolgte über eine BAC-Net Schnittstelle.

Die Anlage steht in einem Maschinenraum und die Abluft wird aus dem Gehäuse mittels eines Exgeschützten Ventilators ins Freie geblasen.

Literatur

- [1] Manfred Petz: Kohlenwasserstoffe als Kältemittel, Expert-Verlag, 1995.
- [2] GTZ Proklima: Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants, Eschborn, 2010.
- [3] Magazine Die Kälte, Issue 12/2011, Article p.40: Mit Propan wirtschaftlich und umweltfreundlich kühlen.
- [4] Lecture by Karl Huber, March 2010 at DKV BV Rhein-Main and VDI-Wissensforum in Stuttgart, June 2010.

In case of doubt, the German-language original should be consulted as the authoritative text.

Published by eurammon
P. O. Box 71 08 64
D-60498 Frankfurt
Phone +49 69 6603 1277, Fax +49 69 6603 2276
e-mail: karin.jahn@eurammon.com
<http://www.eurammon.com>