

# Reduktion klimaschädlicher Treibhausgasemissionen aus gewerblichen Kälteanwendungen





## Zusammenfassung

Seit den 1970er Jahren haben die Erforschung der Atmosphärenchemie und der Auswirkungen von Menschen verursachter Emissionen auf Gesundheit und Klima zahlreiche internationale Abkommen hervorgebracht, z. B. das Montrealer Protokoll (1987), das Kyoto-Protokoll (1997) sowie viele folgende Revisionen. Die den Auswirkungen des Klimawandels zugrundeliegenden Faktoren sind vielschichtiger als das Problem des Ozonabbaus, der letztendlich zum Montrealer Protokoll geführt hat. Sie lassen sich nicht durch Regelungen lösen, die eine bestimmte Gruppe von Produkten oder Technologien betreffen. Da Treibhausgasemissionen zahlreiche verschiedene Ursachen haben, ist ein mehrschichtiger Ansatz in vielen unterschiedlichen Industrien erforderlich, um eine wirksame Reduktion schädlicher Treibhausgasemissionen zu erreichen.

Ein naheliegender Ansatz in der Kältetechnik zur Lösung dieses Problems wäre die Konzentration auf die weit verbreiteten Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) durch Reduktion von Leckagen und Ersatz dieser Kältemittel durch Alternativen mit verringertem Treibhauspotenzial (GWP, Global Warming Potential). Über die gesamte Lebensdauer einer Kälteanlage gesehen machen jedoch die indirekten, aus dem Stromverbrauch resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen den Großteil der klimaschädlichen Emissionen aus. Daher haben Systemleistung und Energieeffizienz eine weitaus größere Bedeutung als der GWP des Kältemittels selbst. Der Einfluss der Energieeffizienz auf die gesamten Treibhausgasemissionen wird noch wichtiger, wenn Kältemittel mit einem verringerten GWP zum Einsatz kommen.

Die in diesem Whitepaper vorgestellte Studie vergleicht sieben alternative Kältetechnologien anhand zweier verschiedener Ladengrößen (ca. 2.000 m<sup>2</sup>

sowie 300 bis 500 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche) an zwei europäischen Standorten mit moderaten (Großbritannien) und hohen (Spanien) Umgebungstemperaturen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Entscheidung für eine Kältemitteltechnologie allein auf Basis des GWP nur unzureichend Rückschlüsse auf die gesamten Treibhausgasemissionen einer Kälteanlage erlaubt. Kältetechnologien mit nicht-fluorierten Kältemitteln wie Kohlenwasserstoffe (Propan) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sind häufig mit sehr hohen Lebenszykluskosten über zehn Jahre verbunden und ermöglichen im Vergleich zu der zugrunde gelegten Opteon™ XP40 (R-449A) Technologie nur eine minimale Reduktion der Treibhausgasemissionen. So hat die Studie ergeben, dass die gering brennbaren Opteon™ XL Low-GWP-Kältemittel, z. B. R-454A und R-454C, die größte Emissionsreduktion und die niedrigsten Lebenszykluskosten über zehn Jahre ermöglichen.

## Einführung: Eine nachhaltige Zukunft erfordert mehr als nur die Reduktion des GWP

Wir alle kennen die Schlagzeilen über die verheerenden Auswirkungen des Klimawandels, falls nicht genug getan wird, um die diese Entwicklung vorantreibenden Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Dennoch ist es wichtig, kühlen Kopf zu bewahren und überstürzte Aktionen zu vermeiden, die sich im Nachhinein als kostspieliger Fehler herausstellen könnten.

Seit den 1970er Jahren haben die Erforschung der Atmosphärenchemie und der Auswirkungen von Menschen verursachter Emissionen auf Gesundheit und Klima zahlreiche internationale Abkommen hervorgebracht, z. B. das Montrealer Protokoll (1987), das Kyoto-Protokoll (1997) sowie die vielen folgenden Revisionen, die die Festlegung von Phasedown-Zeitplänen für ozonschädliche Substanzen und Überwachung von Emissionen aus Substanzen, die zum Klimawandel beitragen, zur Folge hatten. Der Ozonabbau ist unter Kontrolle, und die Ozonschicht zeigt erste Anzeichen einer Erholung<sup>(1)</sup>, aber die Faktoren, die den Klimawandel verursachen, sind vielschichtiger und lassen sich nicht durch die Regulierung einer einzigen Produktfamilie oder Technologie aus der Welt schaffen.

Das Kyoto-Protokoll beschäftigte sich mit den Substanzen, die den Klimawandel in erster Linie vorantreiben und definierte einen ‚Korb‘ von Treib-

hausgasen, bestehend aus Methan, Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Schwefelhexafluorid, Distickstoffoxid, perfluorierten Kohlenwasserstoffen (PFC) und teilhalogenierten Kohlenwasserstoffen (H-FKW). Der Beitrag dieser Emissionen zum Klimawandel variiert je nach Land und Region, aber von der IPCC<sup>(2)</sup> veröffentlichte Zahlen zeigen deutlich, dass aus fossilen Brennstoffen und industriellen Prozessen stammende  $\text{CO}_2$ -Emissionen den größten Einfluss haben.

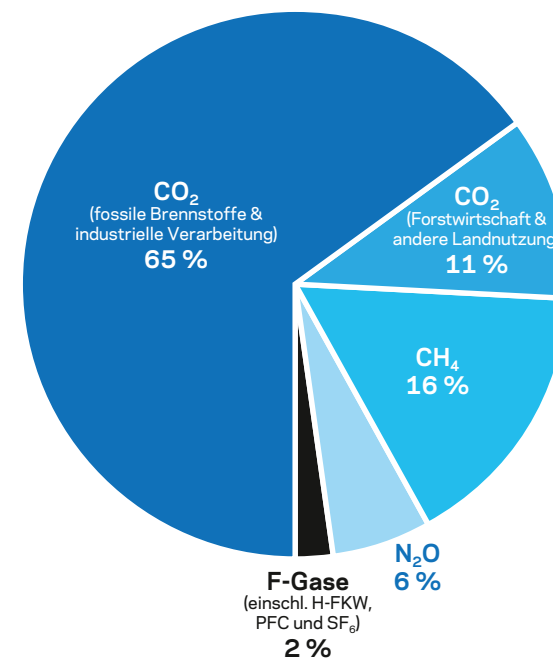


Abbildung 1 - Weltweite Treibhausgasemissionen



Da Treibhausgasemissionen zahlreiche verschiedene Ursachen haben, ist ein mehrschichtiger Ansatz in vielen unterschiedlichen Industrien erforderlich, um eine effektive Reduktion zu erreichen.

Ein naheliegender Ansatz in der Kältetechnik zur Lösung dieses Problems wäre die Konzentration auf die weit verbreiteten Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) durch Reduktion von Leckagen und Ersatz dieser Kältemittel durch Alternativen mit verringertem Treibhauspotenzial (GWP, Global Warming Potential). Über die gesamte Lebensdauer einer Kälteanlage gesehen machen jedoch die indirekten, aus dem Stromverbrauch resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen den Großteil der klimaschädlichen Emissionen aus. Daher haben Systemleistung und Energieeffizienz eine weitaus größere Bedeutung als der GWP des Kältemittels selbst.

In der EU und eng verbundenen westeuropäischen Ländern gibt es verschiedene Verordnungen und Richtlinien. Sie zielen darauf ab, die Energieeffizienz von Komponenten und Anlagen<sup>(3)</sup> zu verbessern oder den Einsatz von Kältemitteln und die daraus resultierenden Emissionen selbst direkt zu kontrollieren, wie es zum Beispiel die Europäische F-Gase-Verordnung<sup>(4)</sup> vorsieht. Die F-Gase-Verordnung beinhaltet eine Reihe von Maßnahmen, um die

Emissionen in die Atmosphäre zu reduzieren, z. B. die Schulung und Zertifizierung von Serviceunternehmen, verpflichtende regelmäßige Dichtheitsprüfungen sowie die Aufzeichnung des Kältemittelverbrauchs. Den größten Effekt werden jedoch die Einsatz- und Inverkehrbringungsbeschränkungen für Kältemittel auf der Basis von Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten haben.

Der in der F-Gase-Verordnung vorgesehene Phasedown-Zeitplan senkt den durchschnittlichen GWP der in Verkehr gebrachten Kältemittel. Basierend auf der Annahme, dass sich die physikalische Kältemittelmenge nicht signifikant verändert, da Füllmengen und die Reduktion von Leckagen weitgehend dem Wachstum der Branche entsprechen, lässt sich der durchschnittliche GWP für jede Stufe berechnen (Abbildung 2).

Es wird deutlich, dass die Verordnung die Verwendung von Low-GWP-Optionen erfordert, um die bisher verwendeten Kältemittel mit hohem GWP (z. B. R-404A mit einem GWP von 3922<sup>(4)</sup>) zu ersetzen. Ist es jedoch richtig, sich einfach für das Kältemittel mit dem niedrigsten GWP zu entscheiden, oder gibt es Faktoren, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen?

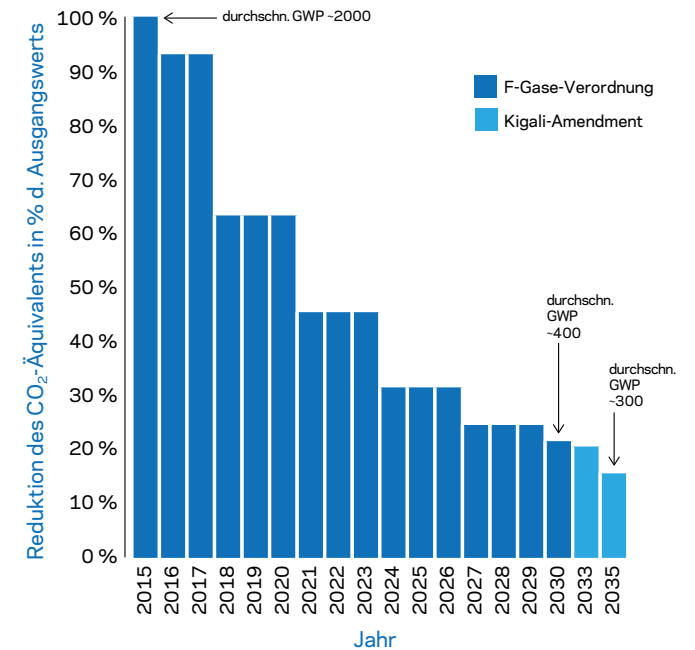


Abbildung 2 – Phasedown-Zeitplan gemäß Europäischer F-Gase-Verordnung

Wie oben erwähnt, stammt ein großer Anteil der von einer Kälteanlage verursachten Treibhausgasemissionen aus dem Energieverbrauch und kann nicht ignoriert werden. Aber hier wird es kompliziert, denn der Energieverbrauch ist abhängig von der verwendeten Technologie, den klimatischen Bedingungen am Aufstellungsort, dem Anlagen-design und sogar der Energiequelle, die von Land

zu Land unterschiedlich sein kann. Da bisher kaum vergleichende Informationen vorlagen, die alle genannten Faktoren berücksichtigen, ist es nicht verwunderlich, dass der GWP derzeit meist das einzige Entscheidungskriterium für die Wahl eines Kältemittels ist.

Daher hat Chemours bei dem unabhängigen Beratungsunternehmen Wave Refrigeration eine Studie in Auftrag gegeben, um die verschiedenen, dem Einzelhandel zur Verfügung stehenden Kältetechnologien anhand unterschiedlicher Standortbedingungen, Anlagendesigns und klimatischer Bedingungen zu vergleichen.

Wave Refrigeration ist ein etabliertes Beratungsunternehmen mit Sitz in Großbritannien, das für eine Reihe von britischen und internationalen Handelsketten arbeitet. Während seiner Arbeit hat Wave zahlreiche Daten aus seinem praktischen Wissen und seinen Erfahrungen mit den verschiedenen, vom Einzelhandel verwendeten Kältetechnologien gesammelt. Daher war das Unternehmen prädestiniert für diese Aufgabe – die Zusammenstellung der so dringend benötigten Vergleichsdaten, die Endanwender benötigen, um die für die Zukunft am besten geeignete Kältetechnologie auszuwählen.





## Welche Faktoren beeinflussen die Entscheidung des Handels für die perfekte Technologie?

In einer von Emerson 2017 in Auftrag gegebenen und vom Marktforschungsunternehmen ComRes<sup>(5)</sup> durchgeführten Studie wurden 140 Lebensmittelhändler in Frankreich, Deutschland und Großbritannien zu ihrer Strategie hinsichtlich Kälte-technologien befragt. Obwohl 80 % der Befragten angaben, den Einsatz von H-FKW mit hohem GWP zurückzufahren, hatten nur 56 % bereits damit begonnen, H-FKW durch andere Lösungen zu ersetzen. 40 % waren die bevorstehenden regulatorischen Veränderungen durch den H-FKW-Phase-down unbekannt, und weniger als 10 % der kleinen Einzelhändler hatten bereits mit einer Umstellung begonnen. Die Umfrage ergab auch, dass Sicherheit und Energieeffizienz die Haupttreiber für die Umstellung waren, wobei viele der Befragten angaben, dass finanzielle Gründe eines der Haupthindernisse für einen Umstieg seien.

Es ist nicht überraschend, dass die Umstellung schleppend verläuft, denn es gibt zahlreiche verschiedene Technologien für die Kälteanforderungen des Einzelhandels, jedoch fehlen vergleichende Informationen zu Leistung und Umwelteinfluss. Derzeit stehen vor allem die folgenden Technologien zur Verfügung:

- Wassergekühlte Kompaktgeräte (steckerfertig)
- Luftgekühlte Kompaktgeräte (steckerfertig)
- Anlagen mit R-290 / Glykol (Sekundärkreislauf)
- Anlagen mit R-134a / R-744 mit Pumpenumlauf für NK (Sekundärkreislauf)/subkritische CO<sub>2</sub>-Kaskade für TK
- Anlagen mit nicht brennbaren Kältemitteln mit verringertem GWP (<1500)
- Anlagen mit Hydrofluorolefin(HFO)-basierenden A2L Low-GWP-Kältemitteln (<250)
- Transkritische R-744-Boosteranlagen

Anhang 1 enthält eine detaillierte Beschreibung der betrachteten Technologien.

Asda, eine große britische Handelskette, hat sich intensiv mit der Suche nach der besten Strategie für ihre Kältetechnik beschäftigt. Dabei wurden verschiedene Lösungen genauer untersucht und anhand der im Folgenden aufgeführten Kriterien bewertet.

### Im Vergleich zum bislang eingesetzten Kältemittel mit einem GWP von weniger als 1500 MUSS die neue Technologie:

- dieselbe Kälteleistung liefern,
- dieselbe oder eine bessere Energieeffizienz besitzen,
- dieselbe Anlagenverfügbarkeit ermöglichen (Ausfall von Kälteanlagen als Risiko für den Handel minimieren),
- dieselben oder niedrigere Gesamtbetriebskosten besitzen, sowie
- einfache Installation und Wartung ermöglichen.

Die detaillierten Erfahrungen von Asda sind in einem weiteren Whitepaper<sup>(6)</sup> von Chemours zusammengefasst. Die dort angeführten Kriterien zur Auswahl der Kältetechnologie mit dem besten Verhältnis aus Nachhaltigkeit, Kälteleistung und Kosten lassen sich aber auf andere Einzelhändler übertragen.

Die von Wave Refrigeration erstellte Studie hat jede der oben genannten Kältetechnologien auf Basis zweier Ladengrößen bewertet:

- normaler Supermarkt mit ca. 2000 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche und einem Nenn-Kältebedarf von 160 kW in der Normal- und 30 kW in der Tiefkühlung, sowie
- kleiner Supermarkt mit 300 bis 500 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche und einem Nenn-Kältebedarf von 40 kW in der Normal- und 8 kW in der Tiefkühlung.

Für beide wurde die Anlagenleistung unter moderaten (Leicester, GB) und warmen Klimabedingungen (Sevilla, Spanien) für Vergleichszwecke simuliert.

## Vergleich von Verkaufsfläche und Anlagendesign

Die Größe und der typische Kältebedarf für die Normal- und Tiefkühlung verschiedener Ladentypen können die Leistungsfähigkeit bestimmter Technologien signifikant beeinflussen. Dies sowie die klimatischen Bedingungen am jeweiligen Standort waren die naheliegenden Faktoren, die für den Vergleich berücksichtigt werden mussten.

Für die Analyse über die verschiedenen Technologien und klimatischen Bedingungen hinweg wurden eine Reihe von Annahmen getroffen hinsichtlich Beladung der Kühlregale, Ladenöffnungszeiten, Stromkosten sowie Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde. Einzelheiten sind in *Anhang 2* zusammengefasst.



Für Ladengrößen zwischen 300 und 2.000 m<sup>2</sup> sind HFO-Kältemittel der Opteon™ XL Familie die richtige Wahl.

## Wie hoch sind die Kosten? (Lebenszykluskosten über 10 Jahre)

### Normaler Supermarkt

Als Vergleichsgrundlage wurde eine typische Konfiguration in einem normalen Supermarkt angenommen, der eine Verbundanlage mit ein bis zwei Verdichterpacks für die Normal- und einem Verdichterpack für die Tiefkühlung verwendet. Als Kältemittel kommt ein nicht brennbares H-FKW/HFO-Blend (z. B. Opteon™ XP40) zum Einsatz. Wie in der Praxis üblich, ist die NK-Anlage für einen höheren

Kältebedarf ausgelegt als für die angeschlossenen Möbel erforderlich, in diesem Fall tagsüber 142 kW und nachts 105 kW. Wo ein Trägerfluid zum Einsatz kam, wurde ein höherer Kältebedarf angenommen (tagsüber 183 kW, nachts 146 kW), um die Wärmeabfuhr des Verflüssigers aus den bei diesen Designs verwendeten NK-Systemen zu berücksichtigen.

Detaillierte Informationen zum Kältebedarf der verschiedenen Anlagendesigns und weitere Betriebsparameter sind in den *Tabellen 3 und 4* in *Anhang 2* zusammengefasst.

Bei der Entscheidung für eine Technologie ist es normal, zunächst die Kosten zu vergleichen. Für Handelsunternehmen, die Märkte dieser Größe betreiben, sind die Kosten für Anschaffung und

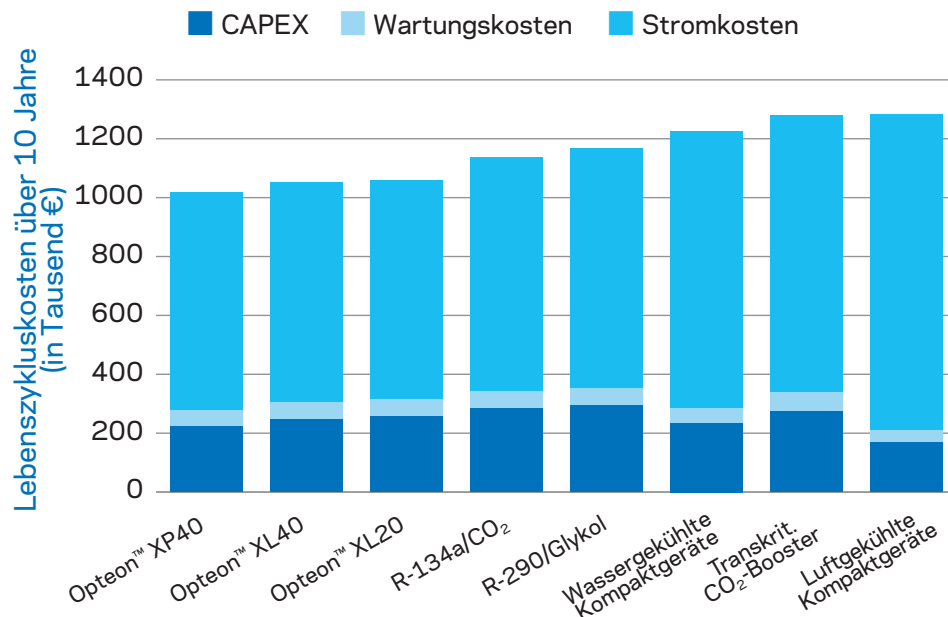


Abbildung 3 - Vergleich der Lebenszykluskosten über 10 Jahre (in €) für einen normalen Supermarkt in Sevilla, Spanien

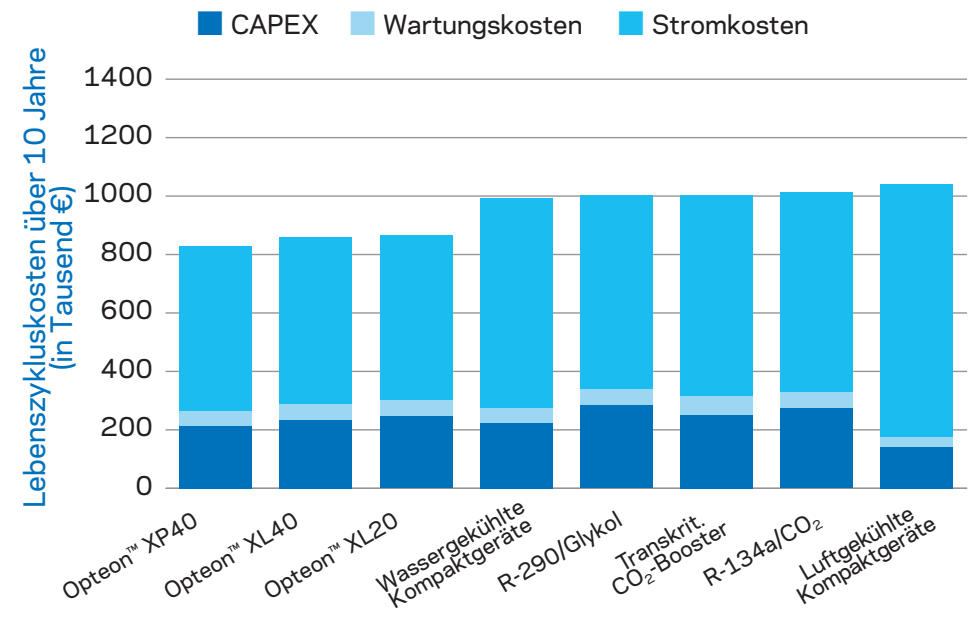


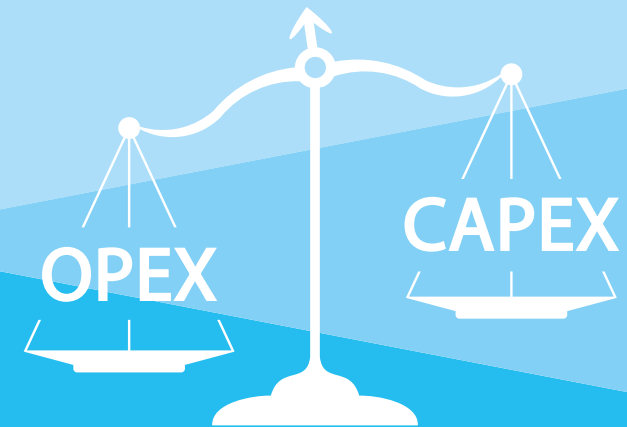
Abbildung 4 - Vergleich der Lebenszykluskosten über 10 Jahre (in €) für einen normalen Supermarkt in Leicester, GB



Installation (CAPEX) eine wichtige Überlegung. Ebenso wichtig ist eine Betrachtung der Betriebskosten (OPEX). Daher werden im Allgemeinen die Lebenszykluskosten über 10 Jahre herangezogen, die die Investitions- (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) berücksichtigen. Auf dieser Basis wird deutlich (Abbildung 3 und 4), warum Kältetechnologien mit nicht brennbaren H-FKW/HFO-Blends in der Vergangenheit die bevorzugte Wahl waren.

Die Abbildungen 3 und 4 machen zudem deutlich, dass eine finanzielle Entscheidung alleine auf Basis der Investitionskosten langfristig gesehen eine schlechte Entscheidung sein kann. So hat das luftgekühlte Kompaktgerät mit Abstand die geringsten Investitions- und Wartungskosten aller betrachteten Technologien, aber auf Grund der schlechten Energieeffizienz liegen die über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten signifikant höher (plus 26 %) als die Vergleichsgrundlage mit Opteon™ XP40. Der Einsatz eines wassergekühlten Kompaktgeräts bringt Vorteile bei den Energiekosten im Vergleich zu der luftgekühlten Variante, ergibt aber ebenfalls signifikant höhere Lebenszykluskosten über 10 Jahre (plus 20 %) als die Vergleichsgrundlage.

Rein finanziell betrachtet wäre die naheliegende und mit der F-Gase-Verordnung langfristig (nach 2022) konforme Wahl für diese Marktgröße eine Kälteanlage mit den gering brennbaren Low-GWP-Kältemitteln Opteon™ XL20 oder Opteon™ XL40, denn sie besitzen maximal 5 % höhere Lebenszykluskosten über zehn Jahre als die Vergleichsgrundlage. Viele nichtstaatliche Organisationen (NGO, Non-governmental Organizations) haben sich nachdrücklich für den Einsatz von Technologien auf Basis nichtfluorierter Industriegase wie Propan (R-290) sowie anderer Kohlenwasserstoffe und Kohlendioxid (R-744) in der Gewerbekälte eingesetzt. All diese Technologien besitzen jedoch über 10 Jahre kumulierte Lebenszykluskosten, die im moderaten Klima von Leicester um mehr als 15 % höher liegen als die der alternativen Opteon™ XL Low-GWP-Kältemittel, die weitestgehend auf herkömmlicher Kältetechnik basieren.



### Kleiner Supermarkt

Wie für die größere Ladenfläche diente ein Verbundsystem, bestehend aus einem Verdichterpack für die Normal- und einem bis zwei Verdichterpacks für die Tiefkühlung, mit einem nicht brennbaren H-FKW/HFO-Kältemittelgemisch als Vergleichsgrundlage. Der Kältebedarf in der Normalkühlung wurde tagsüber mit 35 kW, nachts mit 25,5 kW

angenommen. Wo ein Trägerfluid zum Einsatz kam, wurde ein höherer Kältebedarf angenommen (tagsüber 45,8 kW, nachts 36,3 kW), um die Wärmeabfuhr des Verflüssigers aus den bei diesen Designs verwendeten NK-Systemen zu berücksichtigen. Die Verflüssigungstemperaturdifferenz und die minimale Verflüssigungstemperatur sind identisch zum normalen Supermarkt.

Wie erwartet hat das luftgekühlte Kompaktgerät wiederum die geringsten Investitions- und Wartungskosten, aber – anders als beim normalen Supermarkt – nicht die höchsten über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten. Sowohl das luft- als auch das wassergekühlte Kompaktgerät ergaben deutlich höhere (16 bis 23 %) Lebenszykluskosten über 10 Jahre als die zugrunde

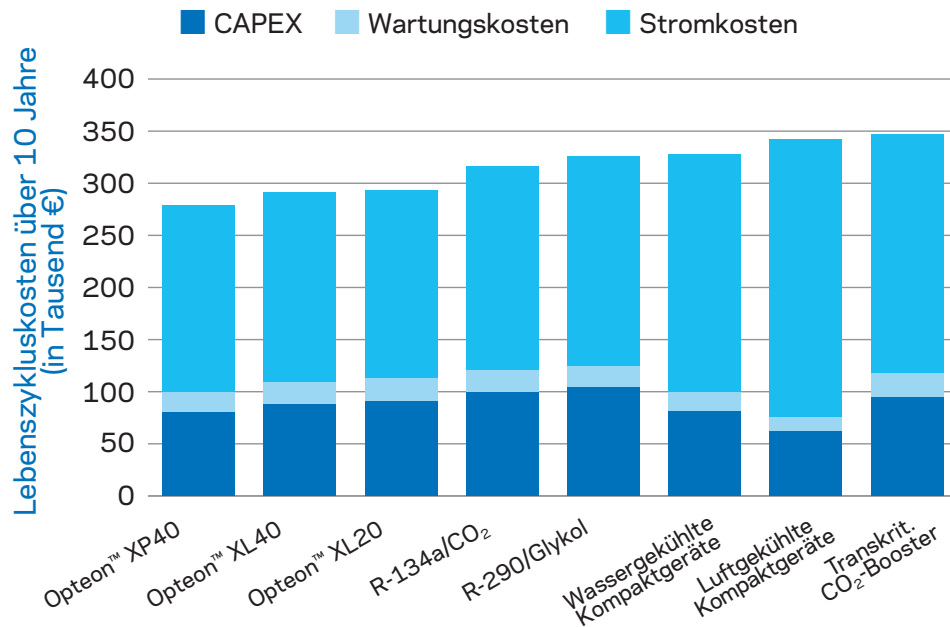


Abbildung 5 - Vergleich der Lebenszykluskosten über 10 Jahre (in €) für einen kleinen Supermarkt in Sevilla, Spanien

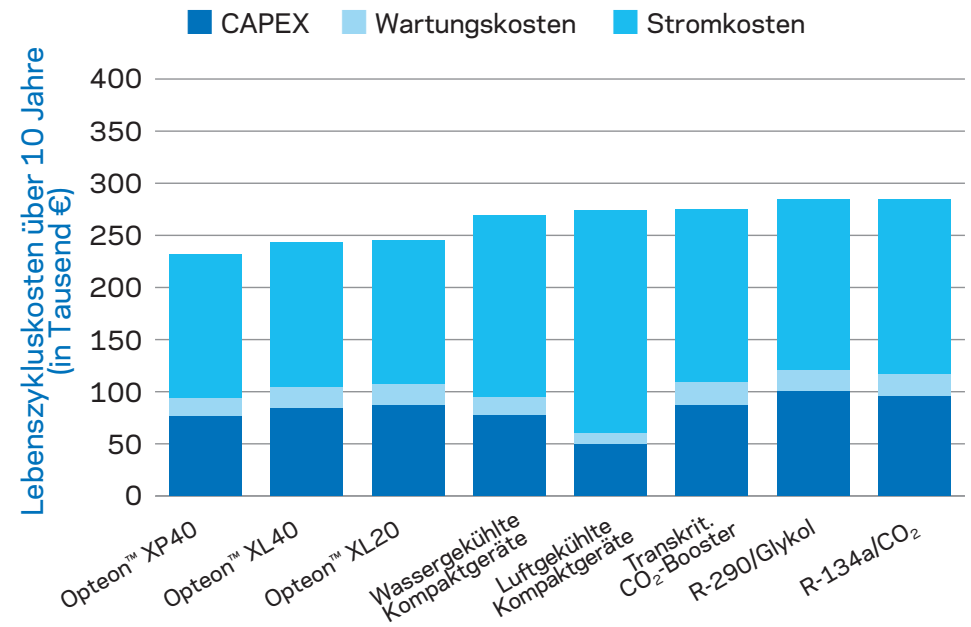


Abbildung 6 - Vergleich der Lebenszykluskosten über 10 Jahre (in €) für einen kleinen Supermarkt in Leicester, GB

gelegte Anlage mit Opteon™ XP40. Im wärmeren Klima von Sevilla hatte die transkritische R-744-Boostertechnologie die schlechtesten Lebenszykluskosten über 10 Jahre, während die Technologien mit Sekundärkreislauf (R-134a/R-744 und R-290/Glykol) ähnliche Werte wie die Anlagen mit den Opteon™ XL Low-GWP-Kältemitteln ergaben. Dennoch lagen diese um 13 bis 17 % höher als die zugrundegelegte Opteon™ XP40 Anlage und 9 bis 12 % höher als die Low-GWP-Kältemittel Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40.

Im gemäßigten Klima von Leicester ergaben die Anlagen mit Sekundärkreislauf die schlechtesten Werte für die über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten (23 % über der Vergleichsgrundlage), gefolgt vom wasser- bzw. luftgekühlten Kompaktgerät und der transkritischen R-744-Boosteranlage mit 16 bis 19 % über der Vergleichsgrundlage und 11 bis 13 % über den Low-GWP-Kältemitteln Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40.

Auch für diese Ladengröße wäre es rein finanziell gesehen naheliegend, sich für die gering brennbaren Low-GWP-Kältemittel Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40 zu entscheiden, um nach 2020 die Anforderungen der F-Gase-Verordnung zu erfüllen. Hier liegen die über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten um maximal 6 % über der Vergleichsgrundlage.



## Umweltauswirkungen (Gesamtemissionen über 10 Jahre)

Bei den in der F-Gase-Verordnung und der Öko-design-Richtlinie definierten Maßnahmen geht es vor allem darum, die Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre zu verringern. Daher stehen die Kosten für Maßnahmen zur Reduktion dieser potenziell schädlichen Emissionen nicht im Vordergrund. Der Fokus liegt vielmehr auf den Emissionen selbst. Für die Entscheidung, welche Technologie die beste Lösung für die Zukunft bietet, sollten daher die Gesamtemissionen das Hauptentscheidungskriterium sein.

Was die Berechnung der Kosten auf Basis typischer Anlagendesigns für die sieben betrachteten Technologien betrifft, hat Wave die Anlagenleistung für beide Ladengrößen simuliert und den jährlichen Energieverbrauch für beide Standorte anhand der in *Anhang 2* aufgeführten Klimadaten (*Tabelle 2*) bestimmt. Zur Berechnung der indirekten Emissionen für jede Technologie wurden die Werte für den Energieverbrauch mit Hilfe der in *Anhang 2* (*Tabelle 1*) aufgeführten CO<sub>2</sub>-Faktoren (kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh) in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet.

Für die Kältemittel mit einem GWP >10, wurden die direkten Emissionen anhand der Kältemittelfüllmenge berechnet, und für jede Technologie

wurde eine jährliche Leckagerate angenommen wie in *Anhang 2* (*Tabelle 5*) gezeigt.

Die für die Verbundanlagen mit Direktverdampfung verwendete jährliche Leckagerate von 5 % basiert auf den von Europäischen Handelsunternehmen angegebenen tatsächlich erreichten Werten. Die in der F-Gase-Verordnung und Programmen wie dem niederländischen STEK vorgeschriebenen Aufzeichnungspflichten haben zu deutlich verringerten Leckageraten geführt, die oft weniger als 5 % der Füllmenge pro Jahr betragen.

### **Normaler Supermarkt**

Die für die Analyse der Systemkosten verwendeten Anlagendesigns und Betriebsparameter wurden auch zur Berechnung der über 10 Jahre kumulierten Gesamtemissionen herangezogen.

Da der zur Berechnung der indirekten Emissionen verwendete Energieverbrauch auch zu einem großen Teil zu den über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten beiträgt, ist es nicht verwunderlich, dass das Emissionsdiagramm ähnliche Ergebnisse zeigt. Das luft- und wassergekühlte Kompaktgerät haben auf Grund des sehr hohen Energieverbrauchs dieser Systeme auch die höchsten Gesamtemissionen.



Am auffälligsten ist, dass die zugrunde gelegte Opteon™ XP40 Technologie auf Grund des relativ hohen GWP und des hohen Anteils der direkten Emissionen hinsichtlich der Gesamtemissionen eine der ungünstigsten Optionen ist, auch bei jährlichen Leckageraten von nur 5 %. Auch wenn Opteon™ XP40 eine sehr gute Wahl für den Retrofit von R-404A-basierenden Anlagen ist, zeigen diese Diagramme deutlich, warum die Kältemittel der

Opteon™ XL Familie für alle Klimazonen langfristig gesehen die beste Lösung für die Gewerbekälte darstellen, um die Anforderungen der F-Gase-Verordnung ab 2022 zu erfüllen.

Die Anlagen mit Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40 ergaben die niedrigsten Gesamtemissionen: Bis zu 25 % weniger als eine transkritische R-744-Boosteranlage und bis zu 15 % weniger als eine Anlage

mit R-290/Glykol. Im wärmeren Klima von Sevilla lagen die Technologien mit Trägerfluid am dichtesten bei den Low-GWP-Kältemitteln der Opteon™ XL Familie, ergaben aber immer noch um 6 bis 7 % höhere Emissionswerte. Im moderateren Klima von Leicester lagen sie sogar um 13 bis 20 % höher.

Bei der Auswahl zukünftiger Kältemitteltechnologien für einen normalen Supermarkt auf Basis der

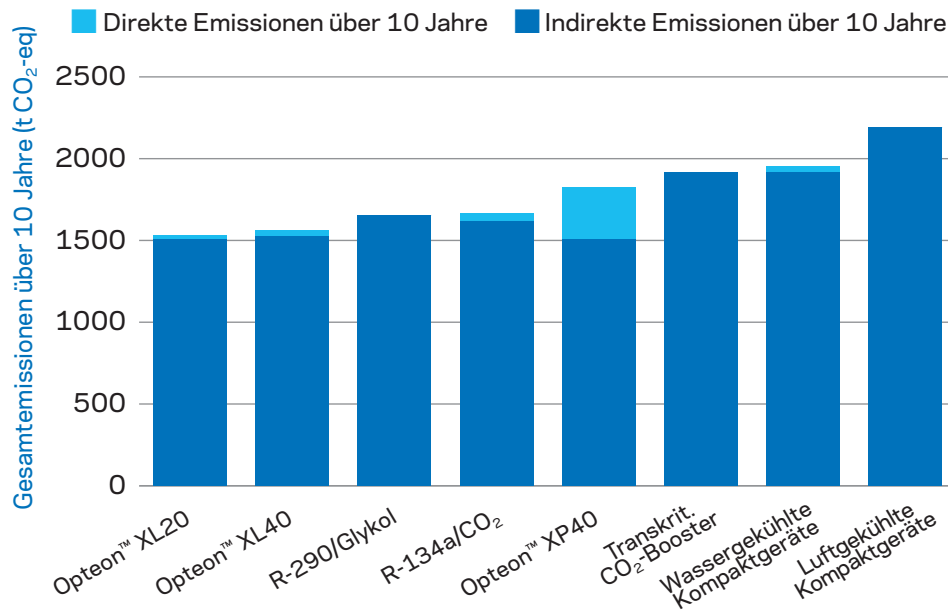


Abbildung 7 - Gesamtemissionen über 10 Jahre (in t CO<sub>2</sub>-eq) für einen normalen Supermarkt in Sevilla, Spanien

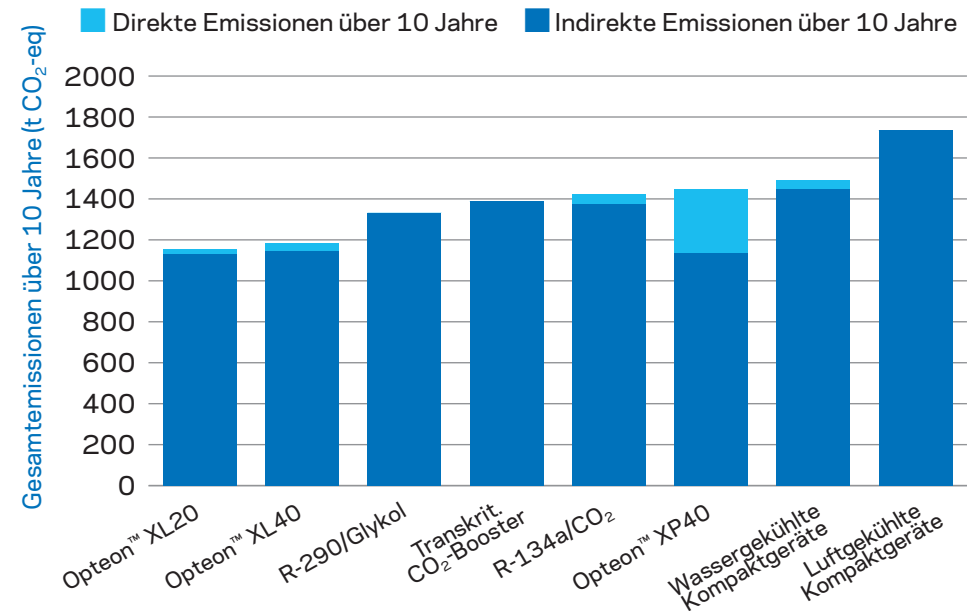


Abbildung 8 - Gesamtemissionen über 10 Jahre (in t CO<sub>2</sub>-eq) für einen normalen Supermarkt in Leicester, GB

Treibhausgasemissionen, sollten Technologien mit den geringsten Gesamtemissionen ganz oben auf der Liste der möglichen Optionen stehen. Auf dieser Basis sind Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40 bei der Auswahl der zukünftigen Kältemitteltechnologie für einen normalen Supermarkt die günstigste Wahl.

### Kleiner Supermarkt

Die Ergebnisse für den kleinen Supermarkt stimmen größtenteils mit denen des normalen Supermarkts überein. Das luftgekühlte Kompaktgerät hat auf Grund seiner geringen Energieeffizienz die höchsten Gesamtemissionen, und auch das wassergekühlte Kompaktgerät hat schlechtere Gesamtemissionen als die zugrunde gelegte

Opteon™ XP40 Technologie. Im warmen Klima von Sevilla resultiert die transkritische R-744-Boosteranlage ebenfalls in signifikant höheren Gesamtemissionen als die Vergleichsgrundlage, und sogar im gemäßigteren Klima von Leicester produziert sie 17 bis 20 % mehr Emissionen als die beiden Low-GWP-Kältemittel der Opteon™ XL Familie.

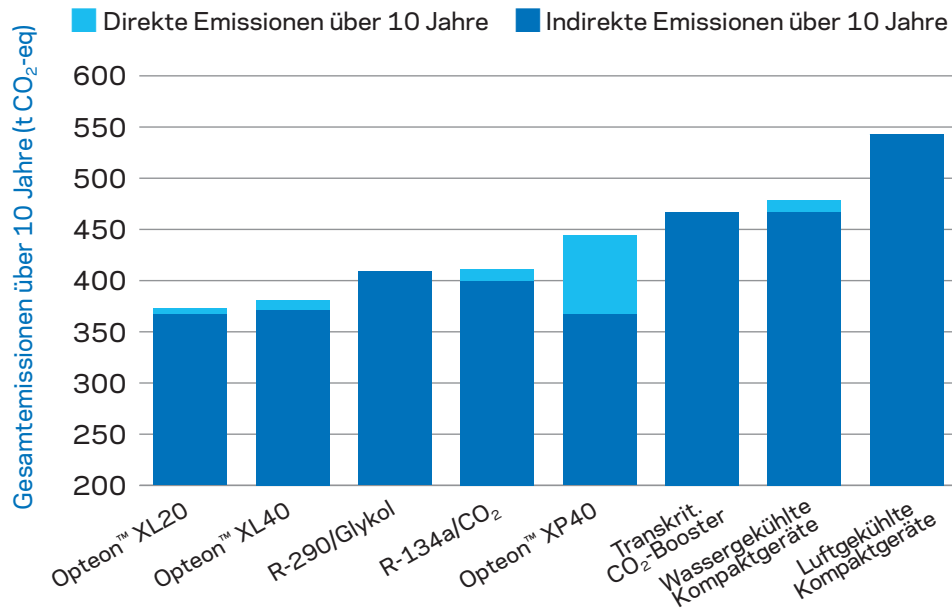


Abbildung 9 - Gesamtemissionen über 10 Jahre (in t CO<sub>2</sub>-eq) für einen kleinen Supermarkt in Sevilla, Spanien

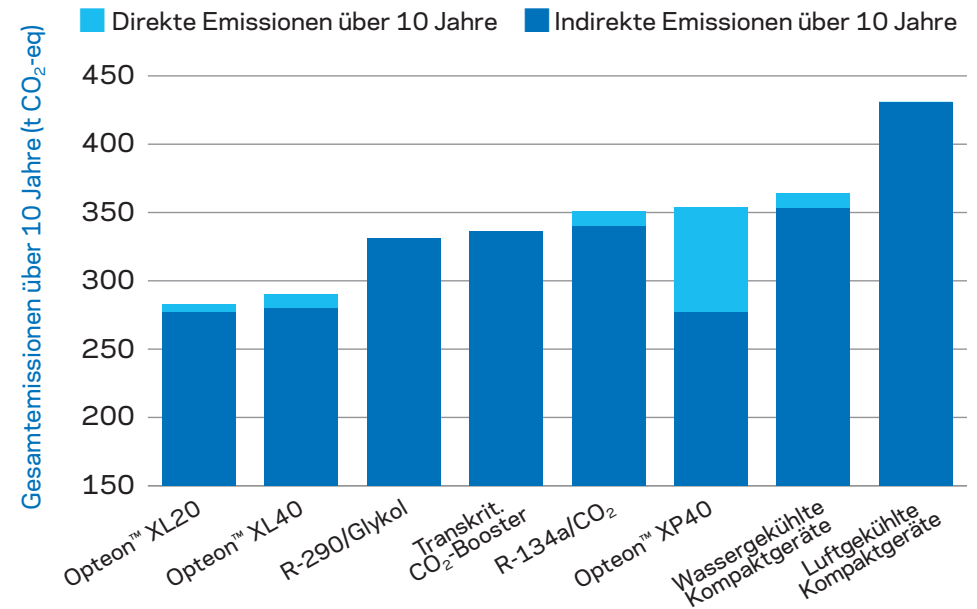


Abbildung 10 - Gesamtemissionen über 10 Jahre (in t CO<sub>2</sub>-eq) für einen kleinen Supermarkt in Leicester, GB

### Was passiert, wenn die jährlichen Leckageraten höher sind als 5 %?

Bei den Low-GWP-Optionen Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40 haben die direkten Emissionen auch bei sehr hohen jährlichen Leckageraten (15 %) einen sehr geringen Anteil (<10 %) an den Gesamtemissionen, so dass auch höhere jährliche Leckageraten als die von der Industrie maximal anvisierten 5 % keinen großen Einfluss auf das

Ergebnis des Technologievergleichs haben. Wie Abbildung 11 zeigt, liegen die Gesamtemissionen von Opteon™ XL40, das einen höheren GWP besitzt, auch bei einer jährlichen Leckagerate von 15 % noch unter denen einer R-290/Glykol- oder transkritischen R-744-Boosteranlage, selbst im moderaten Klima von Leicester.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der Einsatz von Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40 – wenn man die Gesamtemissionen betrachtet – wesentlich geringere Auswirkungen auf den Klimawandel hat als andere mögliche Low-GWP-Optionen, z. B. Technologien, die auf nicht fluorierten Industriegasen basieren.

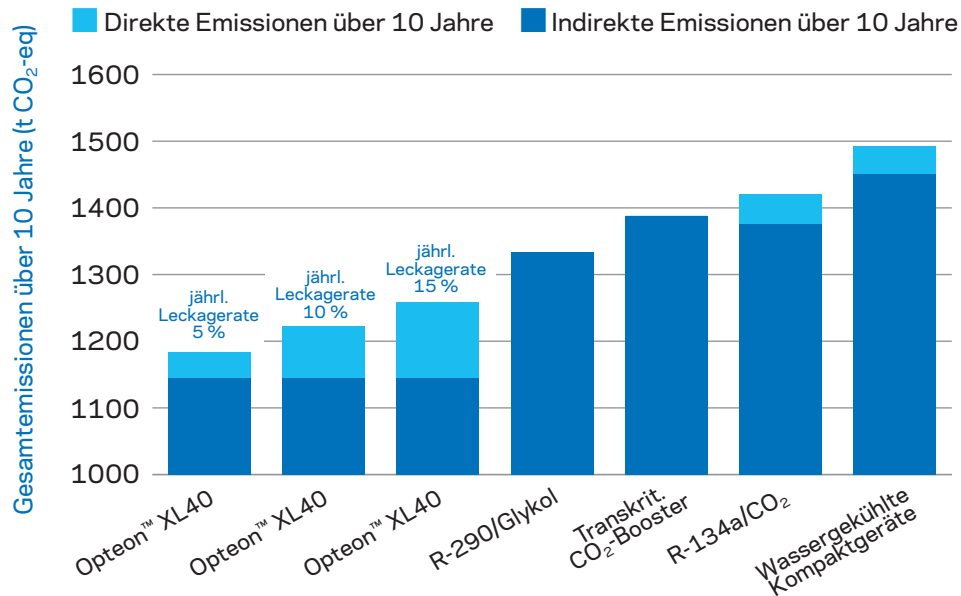


Abbildung 11 – Gesamtemissionen von Opteon™ XL40 bei jährlichen Leckageraten von 5 %, 10 % und 15 % im Vergleich zu Nicht-H-FKW/HFO-Technologien

## Welche Technologie bietet das beste Preis-Leistungs-Verhältnis? (Kosten vs. Emissionen)

In der Realität hängt die Entscheidung, welche Kältetechnologie an Stelle der auf H-FKW mit hohem GWP basierenden Anlagen eingesetzt wird, von einer Reihe von Faktoren ab. Dazu gehören:

- **Sicherheit** – geringere Brennbarkeit, niedrigere Betriebsdrücke
- **Energieeffizienz** – geringere Betriebskosten, weniger indirekte Emissionen
- **Kosten** – geringere Investitionskosten, geringere Betriebskosten, geringere kumulierte Lebenszykluskosten über 10 Jahre
- **Nachhaltigkeit** – Einhaltung gesetzlicher Anforderungen und geringere Gesamtemissionen
- **Zuverlässigkeit** – höchste Anlagenverfügbarkeit, minimalste Auswirkungen auf den Geschäftsbetrieb
- **Anlagenkomplexität** – einfache Installation, einfache Wartung, geringe Wartungskosten

Dieser Bericht beschäftigt sich nicht mit dem Thema Sicherheit. Andere Whitepaper<sup>(8),(9)</sup> von Chemours haben sich jedoch bereits ausführlich mit den Sicherheitseigenschaften der gering brennbaren Opteon™ XL Kältemittel und den gemäß EN 378 um bis zu zehnmal höheren erlaubten Kältemittelfüllmengen im Vergleich zu hoch brennbaren (A3) Kältemitteln wie R-290 befasst.

Die meisten anderen Entscheidungskriterien hängen mit dem Ergebnis dieser Studie zusammen, da sie sich auf Emissionen oder Kosten beziehen. Vergleicht man die gesamten, über 10 Jahre kumulierten Emissionen pro kW Kälteleistung mit den über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten pro kW Kälteleistung, so wird deutlich, welche Technologien die niedrigsten Treibhausgasemissionen bei niedrigsten Lebenszykluskosten ermöglichen. Für einige Betreiber können die Investitionskosten ein wichtiges Entscheidungskriterium sein (obwohl diese in den über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten enthalten sind). Daher gibt die Größe der Blasen in den folgenden Diagrammen die Höhe der Investitionskosten (CAPEX) für jede Technologie an, d. h. je kleiner die Blase, desto geringer die Investitionskosten.

### Normaler Supermarkt

Die Diagramme in diesem Abschnitt fassen die Schlussfolgerungen aus der Betrachtung der Kosten und Emissionen zusammen und zeigen, wo sich die einzelnen Technologien hinsichtlich Kosten und Treibhausgasemissionen eingruppiert. Die Technologien, die der oberen rechten Ecke des Diagramms am nächsten liegen, sind am ungünstigsten. Die der unteren linken Ecke am nächsten





liegenden Technologien haben das günstigste Verhältnis.

Aus den Simulationen für das warme und das gemäßigte Klima geht klar hervor, dass luftgekühlte Kompaktgeräte zwar einen geringen Investitionsaufwand erfordern, aber von allen betrachteten Technologien die höchsten Lebenszykluskosten und höchsten Treibhausgasemissionen haben. Ein Wechsel zur wassergekühlten Variante bringt

zwar Verbesserungen bei den Emissionen und Lebenszykluskosten, diese Technologie bleibt jedoch immer noch hinter der zugrunde liegenden Opteon™ XP40 Technologie zurück und muss daher als zukünftige Alternative in Frage gestellt werden.

Es ist bekannt, dass transkritische R-744-Boosteranlagen für wärmere Klimaregionen nicht die beste Wahl sind. Dies geht auch aus *Abbildung 12* hervor. Überraschend ist jedoch, dass diese Technologie

auch im gemäßigten Klima von Leicester nur 4 % weniger Emissionen erzeugt als die Vergleichsgrundlage, bei um 21 % höheren Lebenszykluskosten.

Im wärmeren Klima von Sevilla liefern die Technologien mit Trägerfluid um 9 % geringere Emissionen als die Vergleichsgrundlage, bei 12 bis 14 % höheren Lebenszykluskosten über 10 Jahre. Im moderaten Klima von Leicester beträgt die Reduktion der

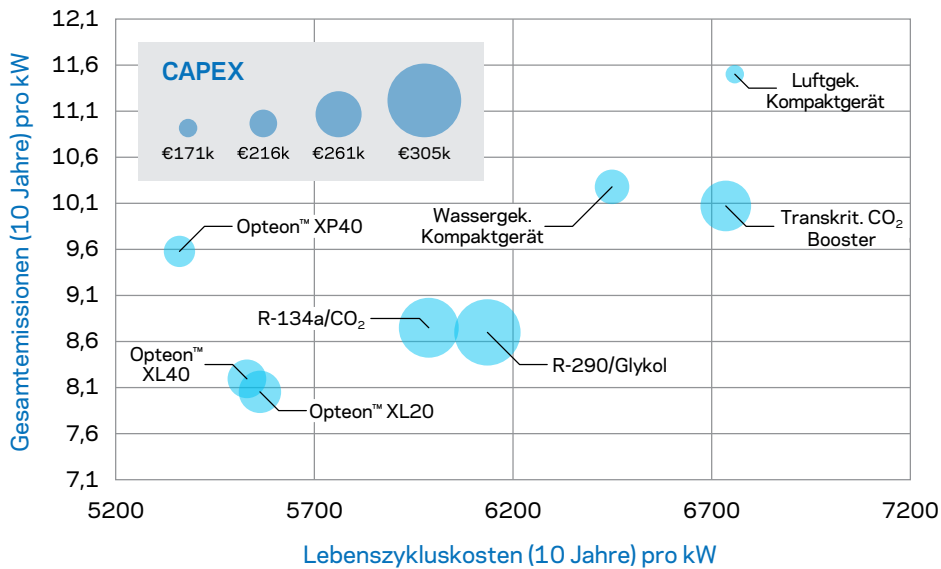


Abbildung 12 - Kosten vs. Emissionen verschiedener Technologien für einen normalen Supermarkt in Sevilla, Spanien

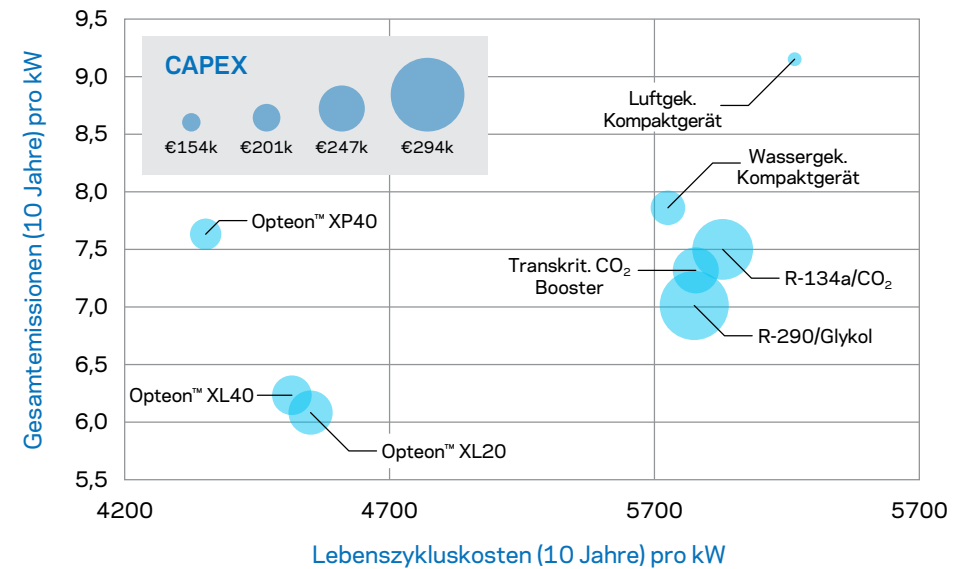


Abbildung 13 - Kosten vs. Emissionen verschiedener Technologien für einen normalen Supermarkt in Leicester, GB

Emissionen lediglich 1 bis 8 %, die Lebenszykluskosten sind jedoch um 21 bis 22 % höher.

Die größte Emissionsreduktion wurde durch den Einsatz der gering brennbaren Opteon™ XL Low-GWP-Kältemittel erzielt (14 bis 16 % für Sevilla, 18 bis 20 % für Leicester). Darüber hinaus besitzen sie die niedrigsten Lebenszykluskosten über 10 Jahre aller alternativen Low-GWP-Techno-

logien (8 % weniger für Sevilla, 16 % weniger für Leicester).

### Kleiner Supermarkt

Wie beim normalen Supermarkt ergab das luftgekühlte Kompaktgerät die schlechtesten Emissionswerte, obwohl die Lebenszykluskosten über 10 Jahre hier nicht die höchsten waren. Auch hier ergaben sich bei der wassergekühlten Variante Ver-

besserungen bei den Emissionen, jedoch zeigten sich unter beiden klimatischen Bedingungen keine geringeren Emissionswerte als bei der zugrunde gelegten H-FKW/HFO-Technologie. Daher scheinen diese Technologien keine praktikable Lösung für diese Marktgröße zu sein.

Wie bereits erwähnt, wurde von der transkritischen R-744-Boosteranlage keine gute Leistung

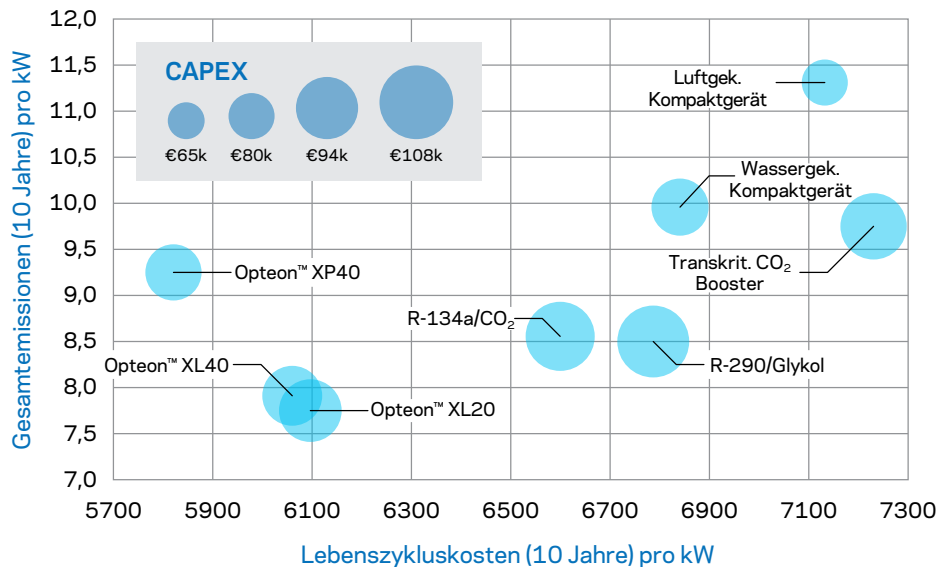


Abbildung 14 - Kosten vs. Emissionen verschiedener Technologien für einen kleinen Supermarkt in Sevilla, Spanien

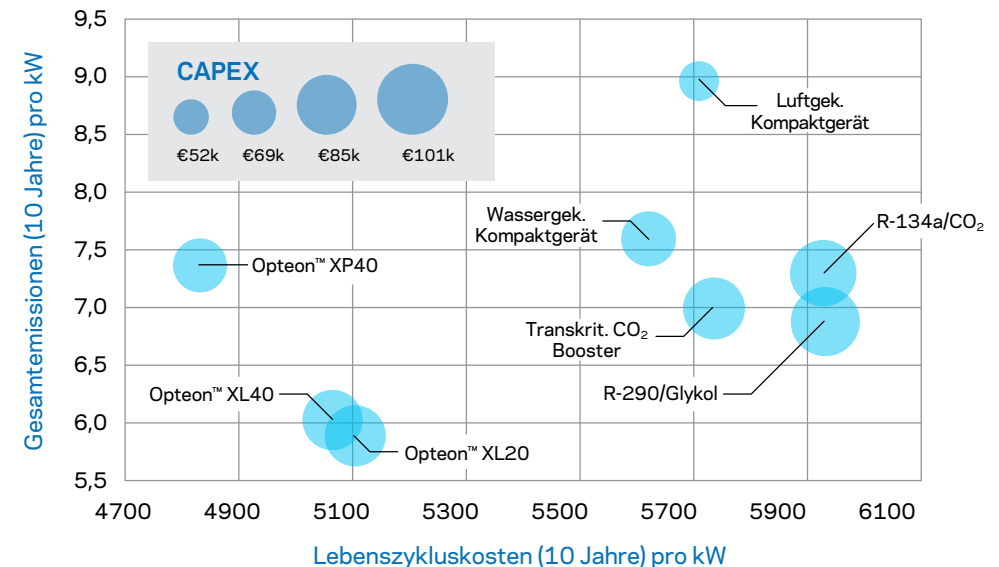


Abbildung 15 - Kosten vs. Emissionen verschiedener Technologien für einen kleinen Supermarkt in Leicester, GB

im wärmeren Klima von Sevilla erwartet (Abbildung 14). Dies hat sich bestätigt, denn diese Technologie ergab die höchsten Emissionen aller nichtintegrierten (nicht steckerfertigen) Optionen und die höchsten Lebenszykluskosten über 10 Jahre aller betrachteten Technologien. Sogar im gemäßigteren Klima von Leicester betrug die Reduktion der Emissionen lediglich 5 %, bei 19 % höheren Lebenszykluskosten über 10 Jahre gegenüber der Vergleichsgrundlage.

Im Vergleich zu anderen Technologien schnitten die Technologien mit Trägerfluid ähnlich ab wie beim größeren Supermarkt. Im wärmeren Klima von Sevilla ergab sich eine Reduktion der Emissionen um 7 bis 8 %, bei 13 bis 17 % höheren Lebenszykluskosten über 10 Jahre gegenüber der Vergleichsgrundlage. Im moderaten Klima von Leices-

ter wurden die Emissionen um 1 bis 6 % reduziert, während die Lebenszykluskosten über 10 Jahre um 23 % höher lagen als bei der Vergleichsgrundlage – die höchsten bei moderaten klimatischen Bedingungen. Die Technologien mit Trägerfluid haben zudem die höchsten Investitionskosten aller betrachteten Technologien.

Die niedrigsten klimaschädlichen Emissionen wurden wiederum mit den gering brennbaren Opteon™ XL Low-GWP-Kältemitteln erreicht. Im wärmeren Klima von Sevilla lagen die Emissionen um 14 bis 16 %, und im moderaten Klima von Leicester um 18 bis 20 % niedriger als bei der Vergleichsgrundlage. Auch die Lebenszykluskosten über 10 Jahre waren die niedrigsten aller betrachteten Technologien und lagen zwischen 9 und 19 % darunter.



## Was bedeutet das nun?

Am Anfang dieses Papiers wurden die verschiedenen Umweltvereinbarungen und -gesetze, die die Grundlage für Regelungen zur Kontrolle klimaschädlicher Emissionen aus der Kältetechnik bilden, kurz erläutert. Gesetzliche Regelungen wie die F-Gase-Verordnung haben den GWP der verwendeten Kältemittel stark in den Fokus gerückt und den Einsatz neuer Lösungen mit sehr niedrigem GWP wie Propan und Kohlendioxid vorangetrieben. Wie *Abbildung 1* zeigt, leisten die aus dem Energieverbrauch resultierenden Emissionen aber einen viel größeren Beitrag zu den Gesamtreibhausgasemissionen. Daher ist ein ganzheitlicherer Ansatz erforderlich, bei dem alle Aspekte der Einführung alternativer Technologien berücksichtigt werden sollten.

Die für die Gewerbekälte geltenden gesetzlichen Regelungen stellen den GWP der Kältemittel sehr stark in den Vordergrund, wobei einige der Vorschriften zum Energieverbrauch bei Verwendung von Low-GWP-Kältemitteln weniger strenge Anforderungen vorsehen. Auch wenn der GWP ein wichtiger Faktor ist, hat diese Studie gezeigt, dass er bei weitem nicht das einzige Entscheidungs-

kriterium ist und dass der Einsatz von Kältemitteln mit einem GWP <10 nicht unbedingt die gesamten, durch den Betrieb einer Kälteanlage entstehenden Treibhausgasemissionen reduzieren muss.

Es sollte klar sein, dass die derzeit geltenden Regelungen alle darauf abzielen, die gesamten Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre zu verringern, um einen Klimawandel zu verhindern. Diese Studie hat gezeigt, dass der Einsatz der gering brennbaren Opteon™ XL Low-GWP-Kältemittel die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen ermöglicht.

In der Realität wird nicht immer die beste Technologie zum Einsatz kommen, um ein Ziel zu erreichen, da immer die finanzielle Komponente mit zu berücksichtigen ist. Aber auch hier bieten die gering brennbaren Opteon™ XL Low-GWP-Kältemittel die niedrigsten, über 10 Jahre kumulierten Lebenszykluskosten aller untersuchten alternativen Technologien in allen betrachteten Szenarien.

Weiter oben in diesem Papier wurde die Anforderungsliste eines führenden Handelsunternehmens angeführt.

Im Vergleich zu der derzeit eingesetzten Kältemittellösung mit einem GWP <1500, ermöglichen Opteon™ XL20 und Opteon™ XL40:

- ☑ vergleichbare Kälteleistung
- ☑ verbesserte Energieeffizienz
- ☑ vergleichbare Anlagenverfügbarkeit (Ausfall von Kälteanlagen vermeiden)
- ☑ vergleichbare Gesamtbetriebskosten
- ☑ vergleichbar einfache Installation und Wartung
- ☑ Verringerung der gesamten Treibhausgasemissionen um bis zu 20 %
- ☑ niedrigste Lebenszykluskosten aller betrachteten alternativen Technologien

Also, warum etwas anderes verwenden?



## Anhang 1 – Betrachtete Technologien

### Wassergekühlte Kompaktgeräte (steckerfertig)

Die für diese Technologie verwendete Anlage basiert auf R-290-Kreisläufen, die die Wärme an einen Kühlkreislauf mit einem Wasser-Glykol-Gemisch abgeben, das zu einem externen Trockenluftkühler gepumpt wird. Alle Komponenten wurden so dimensioniert, dass sie den branchenüblichen Konstruktionsanforderungen entsprechen. Der Strombedarf für alle Nebenaggregate und Lüfter ist in den Angaben zum Energieverbrauch enthalten. Da Wave keine geeignete Verdichterauslegung für die TK-Einheiten mit Propan finden konnte, wurde angenommen, dass diese mit einem nicht brennbaren H-FKW/HFO-basierenden Low-GWP-Blend, z. B. Opteon™ XP40 (R-449A), betrieben werden.

Die kürzliche Änderung der Norm IEC 60335-2-89, die für A3-Kältemittel (z. B. R-290) eine Höchstfüllmenge von 500 g und für A2L-Kältemittel (z. B. R-454C) von bis zu 1,2 kg zulässt, wurde bei den Investitionskosten für die Geräte berücksichtigt. Für diese Studie wurde als Kältemittel R-290 angenommen.

### Luftgekühlte Kompaktgeräte (steckerfertig)

Bei dieser sehr einfachen Technologie geben die einzelnen Einheiten die Wärme direkt an die Umgebungsluft ab. Diese Studie basiert auf R-290 als Kältemittel, aber es können auch andere Kohlenwasserstoffe oder A2L-Kältemittel zum Einsatz kommen. Auch hier wurden die aktuellen Änderungen hinsichtlich Kältemittelfüllmenge berücksichtigt.

### R-290 / Glykol mit Pumpenumlauf

Für die Normalkühlung kommt ein primärer R-290-Chiller zum Einsatz, der 30%-iges Propylen-Glykol auf -6 bzw. 0 °C herunterkühlt. Propylen-Glykol ist in dieser Technologie der einzige Kälteüberträger in der Normalkühlung. Die TK-Einheiten sind integriert und geben ihre Wärme in den Glykolkreislauf ab, so dass der Kältebedarf der NK-Einheit entsprechend erhöht wurde. Alle Komponenten sind so dimensioniert, dass sie den normalen Branchenanforderungen entsprechen. Der Strombedarf für alle Nebenaggregate ist in den Angaben zum Energieverbrauch berücksichtigt.

### R-134a/R-744 mit Pumpenumlauf für NK/subkritische CO<sub>2</sub>-Kaskade für TK

Diese Technologie basiert auf einer primären R-134a-Einheit, die einen gesättigten R-744-Behälter kühlt. R-744 wird über einen Pumpenumlauf zu den Kühlregalen gebracht, wobei die Hälfte der Flüssigkeit verdampft. Das zweiphasige Fluid wird anschließend in den Behälter zurückgeführt. Das flüchtige R-744 wird auch eingesetzt, um die Wärme vom Verflüssiger einer für die Tiefkühlung verwendeten subkritischen R-744-Kaskade mit Direktverdampfung abzuführen. Auch hier wurde der Kältebedarf der NK-Einheit entsprechend höher angesetzt, um die Wärmeabgabe des Verflüssigers im TK-Kreislauf zu kompensieren. Alle Komponenten sind so dimensioniert, dass sie den normalen Branchenanforderungen entsprechen. Der Strombedarf für alle Nebenaggregate ist in den Angaben zum Energieverbrauch berücksichtigt.

### Nicht brennbare Kältemittel mit verringertem GWP (<1500)

Auf Grund des laut F-Gase-Verordnung ab 1. Januar 2020 geltenden Verwendungs- und Serviceverbots für Kältemittel mit einem GWP von 2500 und mehr in Anlagen mit einer Füllmenge von mehr als 40 t CO<sub>2</sub>-eq (10,2 kg R-404A) setzen viele Handelsunternehmen Opteon™ XP40 (R-449A, GWP von 1397) zum Retrofit bestehender Anlagen oder in Neuanlagen ein. Allerdings eignet es sich nicht als langfristige Lösung, denn der in der F-Gase-Verordnung festgelegte Phasedown-Zeitplan wird die Verfügbarkeit von Produkten mit einem signifikant höheren GWP als dem Durchschnittswert einschränken. Da die Mehrheit der Handelsunternehmen 2019 noch auf diese Technologie setzt (verteilte Systeme mit Direktverdampfung), wurde sie als Vergleichsgrundlage für diese Studie herangezogen.

### HFO-basierende A2L Low-GWP-Kältemittel (<250)

Die nächste Generation an fluorierten Low-GWP-Kältemitteln basiert auf Hydrofluorolefin(HFO)-Molekülen wie R-1234yf, das einen GWP von 4<sup>(4)</sup> besitzt. In vielen Fällen reicht die volumetrische Kälteleistung von R-1234yf für große gewerbliche Kälteanlagen nicht aus. Es lässt sich aber mit anderen Low-GWP-Kältemitteln, z. B. R-32, mischen, um die volumet-

rische Kälteleistung zu verbessern. Opteon™ XL20 (R-454C, GWP 148) und Opteon™ XL40 (R-454A, GWP 239) sind solche Blends. Kältemittel mit einem GWP <150 wie Opteon™ XL20 sind laut F-Gase-Verordnung nicht von einem Verwendungsverbot oder Verwendungsbeschränkungen betroffen. Produkte mit einem GWP zwischen 150 und 2500, z. B. Opteon™ XL40, sind auf den Einsatz in nicht hermetisch geschlossenen Anlagen beschränkt, die keine mehrteilig zentralisierte Kälteanlagen für die gewerbliche Verwendung mit einer Nennleistung von 40 kW oder mehr sind.

Diese Low-GWP-Kältemittel sind gering brennbar und daher in die Sicherheitsklasse A2L<sup>(7)</sup> eingestuft. Dies muss bei Auslegung, Installation, Wartung und Außerbetriebnahme der Anlage berücksichtigt werden. Weitere Informationen zu A2L-Kältemitteln und praktische Hinweise zum Einsatz finden Sie in den entsprechenden Whitepapers von Chemours<sup>(8)(9)</sup>.

Die gering brennbaren Opteon™ XL Kältemittel sind nicht für den Retrofit bestehender Anlagen geeignet, obwohl sie fast dieselbe Technologie wie die bisher eingesetzten H-FKW-Kältemittel verwenden. Allerdings muss das Anlagendesign den Anforderungen gemäß PED<sup>(10)</sup> und EN 378<sup>(11)</sup> entsprechen, und es müssen geeignete Risikobewertungen durchgeführt werden<sup>(12)</sup>.

### Transkritische R-744-Boosteranlage

Es gibt mehrere Varianten dieser Technologie, die sich durch ihre Komplexität, Kosten und Energieeffizienz unterscheiden. Die am häufigsten eingesetzte Variante ist eine Standard-NK-/TK-Boosteranlage mit Mitteldrucksammler und Flash-Gas-Bypass (FGB).

Wie bei den anderen Technologien wurde die Verdichterleistung mit Hilfe der Herstellerdaten bestimmt, und alle Komponenten wurden so ausgelegt, dass sie den normalen Branchenanforderungen entsprechen.

## Anhang 2 - Leistungsdaten, Annahmen zur Emissionsberechnung und Details zum Anlagendesign

Um die verschiedenen Technologien in den beiden Klimazonen zu vergleichen, wurde eine Reihe von Annahmen hinsichtlich Kältebedarf der Kühlregale, Ladenöffnungszeiten, Stromkosten und aus dem Stromverbrauch resultierenden Emissionen (kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh) getroffen:

1. Um mit realistischen Lasten und Energieverbräuchen zu rechnen, wurden die ISO 3 Gehäuseanforderungen auf ISO 0 heruntergestuft, außer für die luftgekühlten Kompaktgeräte am Standort Sevilla. Dort wurden die ISO 3 Anforderungen belassen, um die höhere Wärmebelastung aus der vom Verflüssiger abgegebenen Wärme im wärmeren Klima zu kompensieren. Andernfalls wäre eine zusätzliche mechanische Kühlung erforderlich, um die Umgebungstemperatur im Inneren bei 20 °C zu halten.
2. Die Ladenöffnungszeiten wurden mit 13 Stunden täglich angenommen (13 Tagesstunden, 11 Nachtstunden).
3. Der Kältebedarf für die 11 Nachtstunden wurde um 30 % reduziert, unter der Annahme, dass während dieser Zeit Nachtrilos zum Einsatz kommen.
4. Stromkosten und CO<sub>2</sub>-Faktoren sind in *Tabelle 1* aufgeführt.
5. Klimadaten für die beiden Standorte sind in *Tabelle 2* aufgeführt.

*Tabelle 1 - Stromkosten und CO<sub>2</sub>-Faktor für verschiedene Standorte*

Standort	Stromkosten pro kWh (in €)	CO <sub>2</sub> -Faktor (kg CO <sub>2</sub> -eq/kWh)
Sevilla, Spanien	0,152	0,309
Leicester, GB	0,153	0,3072

*Tabelle 2 - Zur Leistungsberechnung verwendete Temperaturdaten*

Umgebungs- temperatur (°C)	Sevilla, Spanien		Leicester, GB		
	Tagesstunden	Nachtstunden	Umgebungs- temperatur (°C)	Tagesstunden	Nachtstunden
40	79	1	32	0	0
35	448	34	30	7	0
30	747	245	25	134	3
25	907	632	20	651	121
20	1038	975	15	1301	748
15	939	972	10	1352	1383
10	491	974	5	954	1213
5	96	182	0	346	547

Tabelle 3 – Anzahl der Einheiten, Auslegungsdaten und Kältebedarf für das Beispiel normaler Supermarkt

Technologie	Anzahl an NK-Einheiten	Anzahl an TK-Einheiten	Umgebungstemperatur (Auslegung)		Kältebedarf NK Tag / Nacht (kW)				ΔT Verflüssiger (K)		Minimale Verflüssigungstemperatur (°C)	
					Sevilla		Leicester					
			Sevilla	Leicester	Tag	Nacht	Tag	Nacht	NK	TK	NK	TK
Opteon™ XL40	4	2	42 °C	32 °C	142	105	142	105	10	8	20	20
Opteon™ XL20	4	2	42 °C	32 °C	142	105	142	105	10	8	20	20
R-290/Glykol	1-2	10-15	42 °C	32 °C	183	146	183	146	10	-	10	-
R-134a/CO <sub>2</sub>	1-2	1-2	42 °C	32 °C	183	146	183	146	10	-	20	-
Opteon™ XP40	1-2	1-2	42 °C	32 °C	142	105	142	105	10	8	20	20
Transkrit. CO <sub>2</sub> Boosteranlage	1-2	1-2	42 °C	32 °C	142	105	142	105				
Wassergekühlte Kompaktgeräte (Füllmenge max. 500 g)	30-35	10-15	42 °C	32 °C	142	105	142	105	18	15	18	20
Luftgekühlte Kompaktgeräte (Füllmenge max. 500 g)	30-35	10-15	25 °C	20 °C	160	118	142	105	15	15	35	35

Tabelle 4 – Anzahl der Einheiten, Auslegungsdaten und Kältebedarf für das Beispiel kleiner Supermarkt

Technologie	Anzahl an NK-Einheiten	Anzahl an TK-Einheiten	Umgebungstemperatur (Auslegung)		Kältebedarf NK Tag / Nacht (kW)			
					Sevilla		Leicester	
			Sevilla	Leicester	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Opteon™ XL40	2	1-2	42 °C	32 °C	35	25,5	35	25,5
Opteon™ XL20	2	1-2	42 °C	32 °C	35	25,5	35	25,5
R-290/Glykol	1	3-4	42 °C	32 °C	45,8	36,3	45,8	36,3
R-134a/CO <sub>2</sub>	1	1-2	42 °C	32 °C	45,8	36,3	45,8	36,3
Opteon™ XP40	1	1-2	42 °C	32 °C	35	25,5	35	25,5
Transkrit. CO <sub>2</sub> -Boosteranlage	1	1-2	42 °C	32 °C	35	25,5	35	25,5
Wassergekühlte Kompaktgeräte (Füllmenge max. 500 g)	10-12	3-4	42 °C	32 °C	35	25,5	35	25,5
Luftgekühlte Kompaktgeräte (Füllmenge max. 500 g)	10-12	3-4	25 °C	20 °C	40	29	35	25,5



Tabelle 5 – Kältemittelfüllmengen, GWP und Leckageraten

Technologie	GWP	Gesamtfüllmenge für Kältemittel mit GWP >10 (kg)		jährl. Leckagerate (%)
		Normaler Supermarkt	Kleiner Supermarkt	
Opteon™ XL20	148	320	80	5,0
Opteon™ XL40	239	320	80	5,0
R-290/Glykol	3	-	-	-
R-134a/CO <sub>2</sub>	1430	130	30	2,5
Opteon™ XP40	1397	450	110	5,0
Transkrit. CO <sub>2</sub> -Boosteranlage	1	-	-	-
Wassergekühlte Kompaktgeräte (Füllmenge max. 500 g)	3 NK/1397 TK	30	8	10,0
Luftgekühlte Kompaktgeräte (Füllmenge max. 500 g)	3	-	-	-

## Referenzen

1. SCIENTIFIC ASSESSMENT OF OZONE DEPLETION: 2018, World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 58
2. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
3. Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte.
4. Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase.
5. [https://www.ehpa.org/index.php?id=94&L=0&tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=1214&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=ece9010b5671494c098033f1d28daae3](https://www.ehpa.org/index.php?id=94&L=0&tx_news_pi1%5Bnews%5D=1214&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=ece9010b5671494c098033f1d28daae3)
6. IMPLEMENTIERUNG VON A2L HFO-BLENDS MIT NIEDRIGEM GWP-WERT IN DER GEWERBEKÄLTE, MARK HUGHES, Neil Roberts, Chemours Whitepaper vom Juli 2019.
7. ISO 817:2014, Kältemittel – Kurzzeichen und Sicherheitsklassifikation.
8. WAS SIND A2L-KÄLTEMITTEL UND WOZU BRAUCHEN WIR SIE?, Stephen Spletzer, Chemours Whitepaper vom Juli 2019.
9. SICHERHEITSHINWEISE UND FÜLLMENGENEMPFEHLUNGEN FÜR DEN EINSATZ VON LOW-GWP A2L-HFO-BLENDS, Neil Roberts, Chemours Whitepaper vom Juli 2019.
10. RICHTLINIE 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt.
11. EN 378-1:2016 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien, EN 378-2:2016 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation, EN 378-3:2016 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen, EN 378-4:2016 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 4: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung.
12. Guidance on Risk Assessments for compliance with Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations (DSEAR), Issue 2 – May 2019, FEDERATION OF ENVIRONMENTAL TRADE ASSOCIATIONS (FETA), [https://www.feta.co.uk/uploaded\\_images/files/FETA%20Guidance%20on%20Risk%20Assessment%20for%20DSEAR%20compliance\(2\).pdf](https://www.feta.co.uk/uploaded_images/files/FETA%20Guidance%20on%20Risk%20Assessment%20for%20DSEAR%20compliance(2).pdf)

# Über Opteon™ Kältemittel



Das Opteon™ Kältemittelportfolio bietet eine optimale Kombination aus Nachhaltigkeit, Leistung, Sicherheit und Kosteneffizienz und trägt dazu bei, die Anforderungen aktueller Verordnungen zu erfüllen und gesteckte Geschäftsziele zu erreichen.

Vor allem in Europa treibt die Opteon™ XL Reihe an Kältemitteln mit sehr niedrigem GWP die von der F-Gase-Verordnung geforderte Umstellung voran und ermöglicht Kunden die Wahl der für sie am besten geeigneten Lösung hinsichtlich Leistung, Sicherheit, Nachhaltigkeit und Gesamtbetriebskosten.

## Unternehmen vertrauen auf Opteon™ Kältemittel, denn diese bieten:

### **Geringen GWP:**

Bis zu 99 % geringerer GWP als herkömmliche Kältemittelgenerationen.

### **Kein Ozonabbaupotenzial:**

Die HFO-basierende Kältemittelfamilie besitzt kein Ozonabbaupotenzial.

### **Einfache Umstellung:**

Minimiert Kosten für die Umstellung und Stillstandszeiten.

### **Sehr gute Kälteleistung:**

Ähnliche Kälteleistung wie zahlreiche H-FCKW- und H-FKW-basierende Technologien.

### **Energieeffizienz:**

Geringerer Energieverbrauch ermöglicht langfristige Kostensenkungen über die gesamte Systemlebensdauer.

### **Langfristige Einsetzbarkeit:**

HFO-basierende Kältemittel können die Anforderungen weltweiter und regionaler Verordnungen erfüllen und übererfüllen.

### **Anerkannte Expertise:**

Dank ihrer 85jährigen Branchenerfahrung können die Kältemittelexperten von Chemours Kunden dabei unterstützen, die aktuellen Regelungen einzuhalten und Höchstleistungen zu erreichen.

Auf [Opteon.de/support/regulations](https://www.opteon.de/support/regulations) erhalten sie weitere Informationen zu H-FKW-Ersatzkältemitteln, und Sie können mit unseren Experten Kontakt aufnehmen.



Die hierin gemachten Angaben und Empfehlungen werden kostenlos zur Verfügung gestellt und erfolgen auf der Grundlage der Chemours vorliegenden Informationen. Chemours übernimmt keine Gewährleistung oder Haftung, sei es ausdrücklich oder stillschweigend, für die gemachten Angaben oder Empfehlungen und deren mögliche spätere Verwendung. Die zur Verfügung gestellten Informationen sind nicht als Gewährung einer Lizenz oder als Empfehlung zur Verletzung von Patenten oder Schutzrechten Dritter zu betrachten.

©2020 The Chemours Company FC, LLC. Opteon™ und damit verbundene Logos sind markenrechtlich geschützt für The Chemours Company FC, LLC. Chemours™ und das Chemours Logo sind markenrechtlich oder urheberrechtlich geschützt für The Chemours Company.

C-11876-DE (2/20)