

Vergleich der Ökoeffizienz von Supermarktarchitekturen

ARTIKEL ÜBER HONEYWELL KÄLTEMITTEL GESCHRIEBEN IM JULI 2017 VON NACER ACHAICHA - TECHNOLOGY LEADER EMEA / PAVEL WISNIK SENIOR APPLICATION ENGINEER

Die Branche der gewerblichen Kälte und darin eingeschlossen die Verwendung von Kältemitteln mit hohem GWP-Wert (Treibhauspotential) wie R-404A, und die hohen Leckraten werden von Politikern und Gesetzgebern weltweit überwacht. In Europa werden bestimmte Kältemittel mit hohem GWP-Wert durch die F-Gas-Verordnung verboten. Diese Verordnung reduziert gleichzeitig stufenweise die Verwendung von H-FKW abhängig von ihrem CO₂-Äquivalent. Die Kältemittel mit niedrigem GWP-Wert sind eine zukunftsweisende Lösung. Um die Herausforderungen der F-Gas-Verordnung zu bewältigen, und den Energieverbrauch im Bereich der gewerblichen Kältetechnik zu senken, sind zahlreiche moderne Architekturen Teil von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Zur Zeit bestehen zwei Lösungen, durch die der gewerbliche Bereich die in der F-Gas-V festgesetzten Ziele erreichen kann. Für die bestehenden Anlagen, die R-404A verwenden, ist die Umrüstung auf ein Kältemittel mit niedrigerem GWP-Wert die schnellste, wirtschaftlichste und umweltfreundlichste Lösung. Für die neuen Anlagen werden mehrere Architekturen überprüft. Die Kombination R-744 / HFO oder kürzlich entwickelte HFO-Mischungen bieten andere Vorteile in den Bereichen Sicherheit und Leistung.

Die Ökoeffizienz ist eine der besten Grundlagen zum Vergleich diverser Architekturen; nicht nur hinsichtlich der Umweltauswirkungen, sondern auch bezüglich der wirtschaftlichen Auswirkungen.

Das Konzept der Ökoeffizienz

Es wurden zahlreiche Maßnahmen zur Quantifizierung der CO₂-Bilanz von Kälteanlagen entwickelt. Der GWP-Wert, der aufgrund seiner Einfachheit

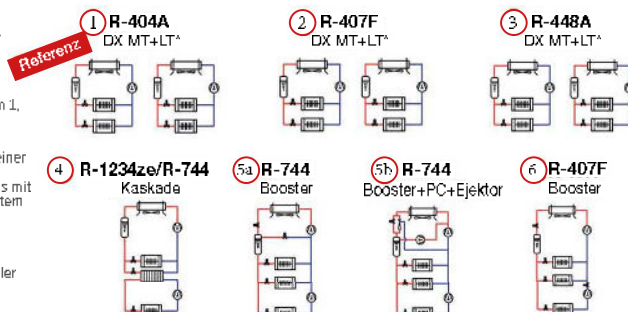
von vielen Gesetzgebern verwendet wird, ist ein Maß der direkten Auswirkungen von Emissionen auf die Umwelt. In Abhängigkeit von der Leckrate der Anlage kann der GWP-Wert nur 10 % - 35 % der Gesamtumweltauswirkungen erfassen. Der TEWI (Gesamtauswirkung auf die Erderwärmung) ist die Messung der direkten und indirekten Auswirkungen, das heißt, des indirekten Energieverbrauchs für den Betrieb der Kälteanlage. Im Gegensatz zum GWP-Wert, kann der TEWI bis zu 95 % der Umweltauswirkungen darstellen. Die restlichen Auswirkungen können nur durch eine vollständige LCCP-Analyse (Klimabelastung über den gesamten Lebenszyklus) ausgewertet werden. Aber dies erfordert mehrere Hypothesen, vor allem für die notwendige graue Energie für die Herstellung der Komponente und Kältemittel, für den Transport und die Montage des Zubehörs, die Unterhaltung und Wartung, Beseitigung, usw., was die Näherung schwieriger und nicht genauer macht.

Das Versäumnis all dieser Messungen ist ihr eindimensionaler Charakter. Es ist jederzeit möglich, die Umweltauswirkungen der Gesamtanlage zu reduzieren, indem leistungsstärkere Komponente, größere Kondensatoren und Ejektoren, usw. verwendet werden. Mit anderen Worten: Es ist jederzeit möglich, die Umweltauswirkungen zu verbessern, indem mehr Ausgaben für eine bestimmte Anlage getätigt werden. Die Gesamtkosten des Systems sind demnach ein wichtiger Faktor, der beim Vergleich der Umwelteinstellungen der Systeme in Betracht gezogen werden muss. Die Ökoeffizienz ist eine bidimensionale Messung, die die Umweltauswirkungen des Systems und seine Gesamtbetriebskosten berücksichtigt.

Architektur der gewerblichen Kältetechnik

Der Ansporn hinter der Entwicklung neuer Architekturen ist die Reduzierung der CO₂-Bilanz der Supermärkte und die Sicherstellung der Regelkonformität. Es wurden sechs Architekturen zum Vergleich ausgewählt, da sie bestimmte wichtige Systeme darstellen, die heute verwendet werden, und neue Systeme auf der Grundlage von Kältemitteln mit niedrigem GWP-Wert.

- 1 Zentralisierte DX (Kälteanlage mit Direktverdampfung) mit R-404A bei Niedrig- und Durchschnittstemperatur
- 2 Zentralisierte DX, ähnlich wie das System 1, aber mit R-407F
- 3 Zentralisierte DX, ähnlich wie das System 1, aber mit R-448A (Solstice® N40)
- 4 Kaskadensystem mit einer Architektur DX R-1234ze bei Durchschnittstemperatur und einer unterkritischen DX-CO₂-Architektur bei Niedrigtemperatur. Die Abwärme des CO₂-Teils bei Niedrigtemperatur wird im HFO-Kaskadensystem bei Durchschnittstemperatur verteilt.
- 5 a) Transkritischer CO₂-Booster für die kältesten Regionen
b) Transkritischer CO₂-Booster mit paralleler Kompression und Ejektor für die wärmsten Regionen
- 6 Booster R-407F



1. Transkritischer CO₂-Booster für die kältesten Regionen
2. Transkritischer CO₂-Booster mit paralleler Kompression und Ejektor für die wärmsten Regionen



Hypothesen

Der Vergleich basiert auf einem Supermarkt mit einer Größe von 2.000 m², mit einer Leistung von 68 kW im Plusbereich (NK) und 18 kW im Minusbereich (TK). Es werden zwei europäische Regionen im Besonderen untersucht: eine kältere Region, in Hamburg (Deutschland) und eine wärmere Region, in Sevilla (Spanien) dargestellt. Die Daten der Temperaturunterschiede stammen aus der meteorologischen Datenbank von 2016.

Es wurden die monatlichen Tages- und Nachttemperaturen identifiziert. Die Nennlasten der Supermärkte wurden den Tagestemperaturen zugeordnet. Die Kühllast bei Nacht wurde zur Hälfte der Nennlasten gebucht, damit die niedrigeren Energieverluste außerhalb der Öffnungszeiten berücksichtigt werden.

Für den Energieverbrauch wurden die folgenden Komponenten berücksichtigt: die Kompressoren, Verflüssigerlüfter, Verdampferlüfter, Lüfter der Kühlmöbel sowie ihre Beleuchtung, Abtauheizwiderstände (nur für TK-Anlagen), wohl wissend, dass wir davon ausgehen, dass sie nur 4 Mal in 24 Stunden funktionieren, und jeder Abtauzyklus 30 Minuten dauert. Die Kosten der verwendeten Stromversorgung belaufen sich auf 0,097 €/kWh und die im Kraftwerk entstehenden CO₂-Emissionen auf 0,43 kg/kWh.

Die Investitionsausgaben, das heißt, die Anschaffungskosten des Systems, stellen einen wichtigen Faktor der Studie dar. Es wurde eine detaillierte Nomenklatur für jedes System entwickelt, um Kompressorzentralen, Wärmetauscher, Systemkomponenten (Rohrleitungen, Ventile, Isolierung, anfängliche Kältemittelfüllung, Befestigungen und Lötstellen) zu berücksichtigen. Die Installationskosten werden ebenfalls auf der Grundlage gereger Stunden zur Montage standardisierter Komponenten des Kühlsystems (Wärmetauscher, Kompressoranlagen, Rohrleitungen, Isolierung, Kabelkanäle, Inbetriebnahme des Systems, usw.) eingeschlossen. Eine andere Komponente der Gesamtkosten ist der OPEX (Betriebsausgaben), der auf regelmäßiger Wartung basiert (Öl, Filteraustausch, kleinere Reparaturen). Die Analyse wird auf eine Lebensdauer der Anlage von 15 Jahren berechnet und geht von einer jährlichen Leckrate von 15 % aus.

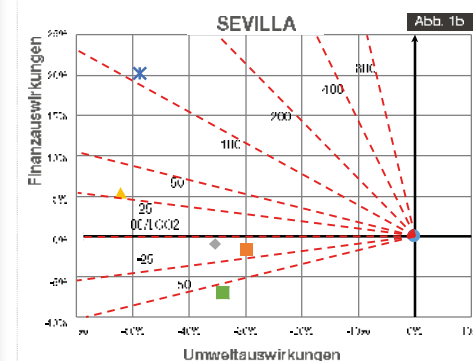
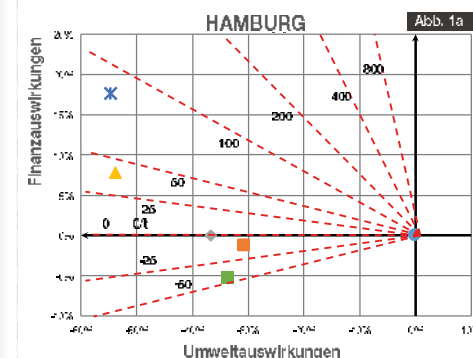
Ergebnisse

Alle Architekturen wurden intern simuliert (F&E Honeywell) und die Auswahl der Kompressortypen und die Kalibrierung der Wärmetauscher wurden von einer Software eines Drittanbieters durchgeführt.

Die erzielten Ergebnisse werden im Diagramm zur Ökoeffizienz in den Abbildungen 1a für Hamburg und 1b für Sevilla in % der Referenz des Systems mit R-404A dargestellt.

Alle Alternativen zeigen eine Verbesserung der Umweltauswirkungen bezüglich der Referenz mit R-404A, allerdings mit anderen Finanzauswirkungen.

DIAGRAMM ZUR ÖKOEFFIZIENZ FÜR HAMBURG UND SEVILLA



• 1. DX R-1234ze/R-744 NK & TK - Sevilla
• 2. DX R-407F NK & TK - Sevilla
• 3. DX R-448A NK & TK - Sevilla
• 4. DX R-1234ze/R-744 NK & TK - Sevilla
• 5. DX R-744 NK & TK - Sevilla
• 6. DX R-407F NK & TK - Sevilla



Die Architekturen 2 und 3 sind der Referenz sehr ähnlich; nur die Kältemittel sind anders (typisch für einen Retrofit). Die Umweltauswirkungen des Kältemittels werden als wichtig dargestellt. R-407F und Solstice® N40 wurden bereits von vielen Supermärkten übernommen. Dies liegt an ihrem niedrigen GWP-Wert, aber auch an den Energieeinsparungen zahlreicher Anwendungen bei Durchschnitt- und Niedrigtemperatur: beide zeigen eine Reduzierung der Umweltauswirkungen mit ähnlichen, oder sogar geringeren Gesamtkosten. Die CO₂- und HFO/CO₂-Kaskadensysteme haben die niedrigsten Umweltauswirkungen zu verzeichnen. Dies liegt vor allem an den geringeren direkten Auswirkungen, da die verwendeten Kältemittel sehr geringe GWP-Werte aufweisen. Das Kaskadensystem zeigt eine vielversprechende Leistung aus ökologischer und auch ökonomischer Sicht.

Die rot gestrichelten Linien stellen den konstanten Betrag in €/Tonne eliminiertes CO₂ dar. Die Architekturen mit R-744 (5a und 5b) zeigen eine beträchtliche Reduzierung der Umweltauswirkungen, aber dies geschieht auf Kosten beträchtlicher Gesamtfinauswirkungen während der Lebensdauer der Anlage.

Die zwei Systeme mit R-744 reduzieren die Umweltauswirkungen für zusätzliche Investitionskosten von 80 bis 110 € pro Tonne eliminiertes CO₂. Das Kaskadensystem HFO / R-744 führt auch zu einer beträchtlichen Verringerung der Umweltauswirkungen, allerdings mit reduzierten Finauswirkungen von 25 bis 40 € pro Tonne eliminiertes CO₂. Die H-FKW-Lösungen, die R-407F und R-448A verwenden, stellen eine Reduzierung der Umweltauswirkungen zwischen 30 und 40 % dar. Ein weiterer Vorteil ist die erhaltene Verringerung mit einer neutralen oder reduzierten Finauswirkung. Mit der Wahl einer solchen Lösung könnte eine Supermarktkette tatsächlich ihre Umweltziele und langfristige wirtschaftliche Gewinne erreichen.

Die Architektur 4 beruht auf R-1234ze, einem Kältemittel der Kategorie A2L in einem DX-System. Die geltenden Normen autorisieren eine hohe Kältemittelbefüllung. Es wird daran gearbeitet, die Einschränkungen der Kältemittelbefüllung der Klasse A2L in naher Zukunft abzubauen. Solstice® ze ist laut der GHS (global harmonisiertes System) und der europäischen Gesetzgebung zur Entflammbarkeit nicht entzündlich.

Die Ergebnisse zeigen, dass vor dem Hintergrund der Umwelteleistungen der DX-Systeme, die (sichere) Verwendung von Kältemitteln wie Solstice® ze in diesen DX-Systemen in viel größeren Mengen autorisiert werden sollte.

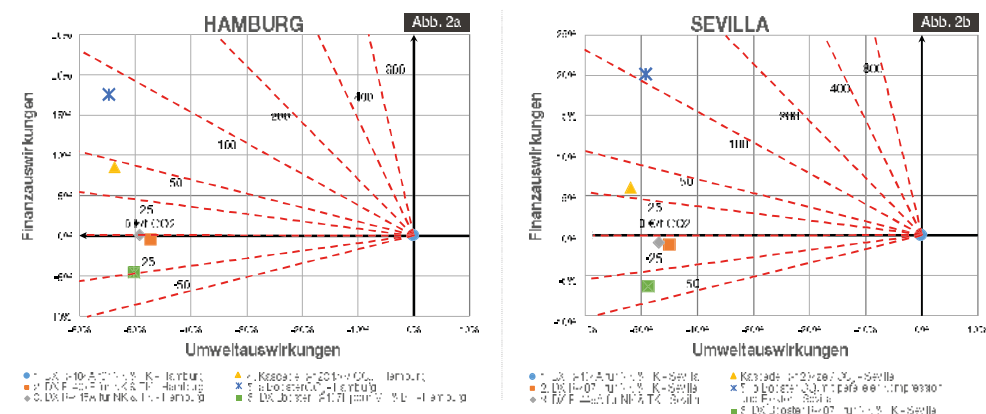
Die Standardsysteme auf Grundlage von R-407F und Solstice® N40 verzeichnen nicht nur die niedrigsten Investitionsausgaben, sondern auch die beste Energieeffizienz in jeder Umgebung (kalt und warm). Die Umweltauswirkungen können durch eine Verringerung der Leckrate ganz einfach verbessert werden.



Die Vorteile der reduzierenden Leckrate

Eine auf 5 % reduzierte Leckrate für Systeme mit R-407F oder mit Solstice® N40 (R-448A) wurde bereits untersucht. Eine Erhöhung der Wartungskosten dieser Systeme um 10 % wurde ebenfalls hinzugefügt, um die Kosten für eine solche Reduzierung der Leckrate zu berücksichtigen. Die Ergebnisse werden in den Abbildungen 2a und 2b dargestellt. Wie vorausgesehen, konnten durch die Reduzierung der Leckrate die Umweltauswirkungen dieser Systeme noch deutlicher reduziert werden, und dies mit geringen oder keinen Auswirkungen auf die Finanzdaten.

DIAGRAMM DER ÖKOEFFIZIENZ MIT EINER LECKRATE VON 5 %



Schlussfolgerungen

Die Ökoeffizienz ist eine bidimensionale Messung, die beinahe 100 % der Umwelt- und Finauswirkungen abdeckt und die beste Bewertungsmöglichkeit zum Vergleich verschiedener neuer Systeme im Rahmen dieser Studie darstellt.

Vergleichstabelle mit R-404A. Die niedrigsten Werte entsprechen den besten Auswirkungen.

	Anlagenart	Umweltauswirkungen	Finauswirkungen	Kosten pro entfallte Tonne CO ₂ Äquivalent
Leckrate 15 %	R-407F und R-448A	-30 bis -37 %	0 bis -7 %	0 bis -50 €
	Kaskadensystem R-1234ze/R-744	-53 %	5 bis 7 %	25 bis 30 €
Leckrate 5 %	R-744	-49 bis -54 %	17 bis 20 %	80 bis 100 €
	R-407F und R-448A	-45 bis -51 %	0 bis -7 %	0 bis -35 €
	Kaskadensystem R-1234ze/R-744	-53 %	5 bis 7 %	25 bis 30 €
	R-744	-49 bis -54 %	17 bis 20 %	80 bis 100 €

Wenngleich die Systeme mit R-744 überzufriedenstellende Umweltauswirkungen verfügen, wird dies vor allem mit einem sehr geringen GWP-Wert des Kältemittels erreicht. Die Systeme generieren im Gegenzug beträchtliche zusätzliche Betriebskosten. Die DX-Systeme mit H-FKW-Standards können die Umweltauswirkungen ebenfalls beträchtlich

senken, allerdings mit Finanzerträgen. Eine Verringerung der Leckraten von 15 % auf 5 % wäre hinsichtlich der Umwelt- und Finauswirkungen am günstigsten für die Systeme mit einer Mischung aus H-FKW/HFO. Diese Systeme können bis 2022 installiert werden und haben keine Frist für die Unterhaltung und Wartung.

Die Kaskadensysteme, die Solstice® ze / R-744 verwenden, stellen eine ausgezeichnete Alternative für die neuen Anlagen dar. Sobald die Einschränkungen zur Autorisierung höherer Kältemittelbefüllung der Klasse A2L aufgehoben wird, ist eine größere Verwendung vorgesehen.

Ein Praxisbeispiel aus unserer Branche

Laut dem Gapometer der EPEE (Europäische Partnerschaft für Energie und Umwelt) muss eine Verringerung von 51 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent erreicht werden, um die stufenweisen Reduktionsziele der F-Gas-Verordnung, nämlich eine Emissionsverringerrung um 60 % bis 2021, zu realisieren.

Die neuen Anlagen müssen darüber hinaus zu 52 % zu dieser Verringerung beitragen (26 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent).

• Die alleinige Verwendung der R-744-Systeme könnte die Branche bis zu 2,1 - 2,6 Mrd. € KOSTEN (26 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent * 80 bis 100 €/Tonne CO₂-Äquivalent = 2.123 bis 2.654 Mio. €).

• Durch die Verwendung der H-FKW/HFO-Systeme (bis 2022) könnte die Branche bis zu 910 Mio. € EINSPAREN (26 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent * 0 bis 35 €/Tonne CO₂-Äquivalent = 0 bis 910 Mio. €).

Durch die Ökoeffizienz könnte die Branche eventuell Kosten in Höhe von 2,1 bis 2,6 Mrd. € vermeiden.

Hier, wie in allen Studien, sind die Ergebnisse vorläufig. An den Architekturen, die die in der Analyse dargestellte R-448A-Systeme oder das Kaskadensystem mit ze / R-448A verwenden, sind die Energieeffizienzparameter (Kosten für Strom und Kältemittel, Energie), wenn ebenfalls gemessen.