



COOLEKTIV



COOLEKTIV-Position
zum Einsatz von
A2L-Kältemitteln

Über COOLEKTIV

Das im Oktober 2018 gegründete Expertenkomitee COOLEKTIV hat sich zum Ziel gesetzt, den Wandel in der Kälte/Klima-Branche durch pragmatische und kurzfristige Lösungen zu unterstützen und allen Marktteilnehmern Hilfestellungen zur Bewältigung der Herausforderungen durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen wie die F-Gas-Verordnung an die Hand zu geben. Dabei ist den Experten der Austausch mit dem Markt besonders wichtig.

Zur Initiative COOLEKTIV gehören:

Chemours Deutschland GmbH, Neu-Isenburg;

Honeywell Deutschland GmbH, Offenbach;

L & R Kältetechnik GmbH & Co. KG, Sundern;

Westfalen Gruppe, Münster;

Asercom AISBL, Brüssel;

Bundesinnungsverband des Deutschen Kälteanlagenbauerhandwerks (BIV), Bonn.

www.coolektiv.de

coolektiv@westfalen.com

Autoren:



Heribert Baumeister
Bundesinnungsmeister, Bundesinnungsverband
des Deutschen Kälteanlagenbauerhandwerks (BIV)



Sébastien Casterman
Produkt-Management und Marketing
für die Gewerbekälte, Honeywell Deutschland GmbH



Harald Conrad
Technischer Berater,
Kälte-Klima GmbH



Hans-Jürgen Kemler
Senior Berater Kälte/Klima,
Westfalen AG



Hans-Dieter Küpper
Technical Marketing Specialist,
Chemours Deutschland GmbH



Ewa Pawlak
Sales and Business Development Representative,
Chemours Deutschland GmbH









Burkhard Rüßmann
Geschäftsführender Gesellschafter,
L & R Kältetechnik GmbH & Co. KG



Wolfgang Zaremski
President,
ASERCOM AISBL

Inhaltsverzeichnis

	1. Hintergrund und Ausgangslage	1
	2. Bedeutung der Eigenschaft der Brennbarkeit für die Risikobeurteilung von Kältemitteln	3
	2.1 Brennbarkeitsklassen nach ISO 817 und Brennbarkeitskategorien nach GHS	3
	2.2 Normen und Richtlinien in der Kälte/Klima-Branche	5
	2.3 Schema der Kältemittelklassifizierung nach ISO 817 und ASHRAE 34	6
	2.4 Beispieldarstellung zur Bewertung der Brennbarkeit von A2L- und A3-Kältemitteln	7
	3. Bewertung der verfügbaren Anlagentechnologien	9
	3.1 A2L-Kältemittel im Vergleich zum CO ₂ -Kältemittel R-744	10
	3.2 A2L-Kältemittel im Vergleich zu Propan-Systemen – Ökoeffizienz-Modell im Einsatz	14
	4. Breites Einsatzfeld von A2L-Kältemitteln – Anwendungen in Mietkälte und Mietklima	17
	5. Fördermöglichkeiten der Kälte/Klima-Branche	18
	6. Fazit	20
	Quellenverzeichnis	21
	Abbildungsverzeichnis	24
	Tabellenverzeichnis	25
	Anhang	26



1. Hintergrund und Ausgangslage

Als Mitunterzeichner des Pariser Klimaschutzabkommens hat sich auch Deutschland dazu verpflichtet, die Erderwärmung gegenüber dem vorindustriellen Wert deutlich unter 2 K zu halten und nach Möglichkeit auf 1,5 K zu begrenzen (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2019; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2020). Zur Zielerreichung sind die CO₂-Emissionen erheblich zu reduzieren: Die deutsche Energiewirtschaft hat ca. 40 Prozent Anteil an den CO₂-Emissionen, davon entfallen ca. 17 Prozent auf HVAC&R-Anwendungen (eurammon e. V., 2020)*.

Die Kälte/Klima-Branche kann dabei einen erheblichen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen durch die Auswahl eines energetisch optimalen Kältemittels für die jeweilige Anwendung leisten. So sollten daher nicht nur die direkten Emissionen durch die GWP-Werte der Kältemittel, sondern insbesondere die indirekten CO₂-Abgaben durch den Energieverbrauch der Anlagen Berücksichtigung finden, da diese mit Abstand den höchsten Anteil an den Gesamtemissionen verursachen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 2018).

Die branchenübergreifende Initiative COOLEKTIV hat sich intensiv mit dem derzeitigen Marktangebot alternativer Kältemittel und den sich daraus stellenden Fragen zur praxisgerechten Umsetzung der aktuellen Phase-Down-Anforderungen aus der F-Gas-Verordnung (EU) Nr. 517/2014 auseinandergesetzt.

Im vorliegenden Positionspapier werden A2L-Kältemittel vor dem Hintergrund der zukünftigen GWP-Entwicklung in unterschiedlichen Aspekten beleuchtet. Neben der Bewertung ihrer Brennbarkeit wird auch eine Risikobeurteilung der Anlagen bei der Nutzung brennbarer Kältemittel durchgeführt (Kapitel 2).

Brennbarkeitsklassen und Brennbarkeitskategorien (Kapitel 2.1), relevante Normen und Richtlinien in der Kälte/Klima-Branche sowie Informationen zur Sicherheitsklassifizierung von Kältemitteln (Kapitel 2.2 und 2.3) und praxisnahe Entscheidungskriterien zum Einsatz brennbarer Kältemittel werden zudem betrachtet (Kapitel 2.4).



„Die europäische F-Gas-Verordnung zwingt die Kälte/Klima-Branche zum Umdenken. Gefragt sind neue und längerfristige Produktlösungen mit einer gleichwertigen und besseren Kühlleistung sowie niedrigeren GWP-Werten. Umweltfreundlichere, aber brennbare Kältemittel gewinnen damit an Bedeutung.“ COOLEKTIV

* HVAC&R: Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration (dt. „Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Kühlung“)



Für die Wahl der passenden Anlagentechnologie wird eine von Wave-Refrigeration durchgeführte Studie zur bestmöglichen Entscheidungsfindung sowie ökonomisch und ökologisch sinnvollen Lösungen thematisiert (Kapitel 3). Weiterhin wird die Zukunftsfähigkeit von CO₂-Technologien gegenüber A2L-Kältemitteln herausgestellt (Kapitel 3.1). Zur Bewertung und Reduktion von Lebenszykluskosten und -emissionen wird zudem ein Entscheidungsmodell nach dem Ökoeffizienz-Prinzip vorgestellt. Anhand des Ökoeffizienz-Modells werden dabei Waterloop-Systeme mit R-290 und einem A2L-Kältemittel verglichen (Kapitel 3.2).

Nähergehend betrachtet werden A2L-Anwendungen in den Bereichen Mietkälte und Mietklima sowie darin geeignete und vielseitig einsetzbare Kältesysteme (Kapitel 4). Zuletzt stehen vielseitige Fördermöglichkeiten der Kälte/Klima-Branche im Fokus dieser Ausarbeitung (Kapitel 5), bevor im Fazit relevante Empfehlungen für den Markt gegeben werden (Kapitel 6).



2. Bedeutung der Eigenschaft der Brennbarkeit für die Risikobeurteilung von Kältemitteln

Der Einsatz brennbarer Kältemittel bedeutet für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche das Betreten von Neuland. Die Entscheidung, welches Kältemittel für welche Anwendung optimal geeignet ist, wird schwieriger. In diese Entscheidung fließen nicht mehr nur Temperaturbereiche, volumetrische Kälteleistungen und andere thermodynamische Eigenschaften der Kältemittel, sondern auch Umweltrelevanz, Lebenszykluskosten (LCC) und – mit der Wahl für ein brennbares Kältemittel – die Beurteilung des damit verbundenen Risikos ein.

Nachfolgend werden zunächst Brennbarkeitsklassen und Brennbarkeitskategorien (Kapitel 2.1), für die Kälte/Klima-Branche relevante Normen und Richtlinien (Kapitel 2.2) sowie die Sicherheitsklassifizierung von Kältemitteln (Kapitel 2.3) und die in allen Themenbereichen vorgenommenen Aktualisierungen vorgestellt. Im anschließenden Kapitel 2.4 verdeutlicht ein Beispiel zur Bewertung der Brennbarkeit von A2L- und A3-Kältemitteln die praxisnahen Entscheidungskriterien zum Einsatz brennbarer Kältemittel.

2.1 Brennbarkeitsklassen nach ISO 817 und Brennbarkeitskategorien nach GHS

Für die Beurteilung des Risikos ist die Einteilung eines Kältemittels in die jeweilige Brennbarkeitsklasse entscheidend. Diese Einteilung der Brennbarkeit wird in der internationalen Norm ISO 817 und in Deutschland in der DIN EN 378 vorgenommen (ISO 817, 2014; DIN EN 378, 2018). Diesen Kriterien der Einstufung ist jetzt auch in weiten Teilen das GHS, das Global Harmonisierte System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (Europäische Kommission, 2019), gefolgt, und somit verändern sich die Gefahrenhinweise im Sicherheitsdatenblatt:



Brennbarkeitsklasse nach ISO 817	2L	3
Flammenausbreitung bei Prüfung bei 60 °C und 101,3 kPa		
Untere Zündgrenze (LFL)	> 3,5 Vol.-%	≤ 3,5 Vol.-%
Verbrennungswärme	< 19 MJ/kg	≥ 19 MJ/kg
Max. Brenngeschwindigkeit	≤ 10 cm/s	N/A (nicht anwendbar)

Tabelle 1: Einteilung der Brennbarkeit nach ISO 817 (2014)



Brennbarkeitskategorie nach GHS	1B	1A
Entflammbarkeit bei 20 °C und 101,3 kPa		
	Kriterien 1A werden erfüllt.	Ausnahme: Die Kriterien 1B werden erfüllt.
Entzündbar bei Mischung mit Luft bei	> 6 Vol.-%	≤ 13 Vol.-%
Explosionsbereich (Differenz UFL – LFL)	N/A (nicht anwendbar)	≥ 12 Prozentpunkte
Flammgeschwindigkeit	< 10 cm/s	N/A (nicht anwendbar)
Gefahrenhinweis	H221 entzündbares Gas	H220 extrem entzündbares Gas
Piktogramm		

Tabelle 2: Einteilung der Brennbarkeit nach GHS mit Gefahrenhinweisen im Sicherheitsdatenblatt



„Mit den Vorgaben der europäischen F-Gas-Verordnung rücken der Einsatz und der sorgfältige Umgang mit brennbaren Kältemitteln stark in den Vordergrund. Insbesondere im Kontext der Aus- und Weiterbildung sind praktische Erfahrungen und erweiterte Schulungskonzepte mit diesen Stoffen gefragt.“
Heribert Baumeister, Bundesinnungsverband des Deutschen Kälteanlagenbauerhandwerks (BIV)



2.2 Normen und Richtlinien in der Kälte/Klima-Branche

Die Seriengerätehersteller für z. B. Klimageräte, Wärmepumpen, Schauvitriolen, Wärmepumpen-trockner oder Kühlschränke etc. orientieren sich bei ihrer Entwicklung und Risikobeurteilung an Produktnormen wie z. B. an der ISO-60335-Reihe. Für die zutreffenden Systeme sind diese Produktnormen vorrangig anzuwenden. Für alle anderen Anwendungen im Bereich Kälte/Klima gilt auch die DIN EN 378 (2018). Diese Norm schreibt für entsprechende Aufstellungsbedingungen maximale Füllmengen an Kältemittel pro Kreislauf, bezogen auf das verfügbare Raumvolumen, vor. Relevante Fragen, die geklärt werden müssen, sind:

- Welche Kältemittel welcher Brennbarkeitsklasse kommen zum Einsatz?
- Wer hat Zutritt zu den Aufstellungsorten und Zugangsbereichen?
- Welche Aufstellungsbedingungen liegen vor (Split-System, Verflüssigungssatz, Verbundanlagen, Maschinenraum, belüftetes Gehäuse etc.)?
- Handelt es sich um ein direkt oder indirekt verdampfendes System?



Darüber hinaus wird zusätzlich unterschieden zwischen Anwendungen für den menschlichen Komfort, z. B. Wärmepumpen und Klimaanlageanlagen, und anderen Anwendungen.

„Die Risikobeurteilung ist ein zentraler Bestandteil der für die Errichter von Anlagen in der Kälte/Klima-Branche geltenden Maschinen- und Druckgeräte-Richtlinie. Dies gilt für sämtliche Kältemittel. Die Initiative COOLEKTIV versucht, den Umstieg auf A2L-Kältemittel zu vereinfachen und den Markt bei der Risikobeurteilung zu unterstützen. Die Bewertung der Brennbarkeit ist dabei lediglich ein zusätzlicher Aspekt innerhalb der Risikobeurteilung. Bei A2L-Kältemitteln werden hierbei nur wenige Punkte hinzugezogen.

Harald Conrad, Kälte-Klima GmbH

Publikationen zu den Produktnormen für Wärmepumpen und Klimaanlageanlagen sind bei den jeweiligen Herstellern vorhanden und können dort eingeholt werden. Bei allen anderen Anwendungen, die nicht für den menschlichen Komfort eingesetzt werden, müssen die Verantwortlichen die örtlichen Gegebenheiten und die Einsatzbedingungen einer Einzelfallprüfung nach DIN EN 378 (2018) unterziehen.



2.3 Schema der Kältemittelklassifizierung nach ISO 817 und ASHRAE 34



„Der Unterschied der Mindestzündenergie von R-290 und A2L-Kältemitteln ist ein wichtiger Faktor, was Anlagendesign und Sicherheit betrifft. Bauteile, die für A3-Kältemittel eine mögliche Zündquelle sind, bergen bei A2L-Kältemitteln oft keine Gefahr.“
Burkhard Rüßmann, L & R Kältetechnik GmbH & Co. KG

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Sicherheitsklassifizierung von Kältemitteln nach ISO 817 (2014) und ASHRAE 34 (2019):



A3	B3	hoch entzündlich
A2	B2	entzündlich
A2L	B2L	schwer entzündlich
A1	B1	nicht brennbar
geringe Toxizität	erhöhte Toxizität	

Tabelle 3: Sicherheitsklassifizierung von Kältemitteln nach ISO 817 und ASHRAE 34



2.4 Beispieldarstellung zur Bewertung der Brennbarkeit von A2L- und A3-Kältemitteln

Die unterschiedliche Bewertung der Brennbarkeit von A2L- und A3-Kältemitteln wird nachfolgend an einem Beispiel aufgezeigt, ohne dass alle Aspekte zur Brennbarkeit und zum Explosionsschutz vollumfassend erläutert werden.

Es soll ein Kühlraum mit einem montierten Verdampfer und einem im Freien angebrachten Verflüssigungssatz mit den Innenmaßen von 10 x 6 x 3 Metern (B x L x H), gleich 180 m³, installiert werden. Die Raumtemperatur beträgt +2 °C, und die benötigte Kälteleistung wird mit 10 kW angesetzt. Dabei wird ein Kältemittel gewählt, dessen GWP (Global Warming Potential; Treibhauspotenzial) nicht über 150 liegt. Das Kältemittel R-717 (NH₃) scheidet aufgrund der toxischen Eigenschaften und der Komponentenverfügbarkeit in dieser Leistungsklasse aus. R-744 (CO₂) ist aufgrund der Drucklage und der Investitionskosten in diesem Fall keine Option.

In die Auswahl kommen drei Kältemittel mit einem GWP-Wert von jeweils unter 150. Diese sind R-290 (Propan), R-454C und R-455A. Es wird für den Kühlraum die jeweils maximal zulässige Kältemittelfüllmenge nach DIN EN 378, Teil 1 (2018), ermittelt. Es handelt sich um keine Anwendung im Bereich menschlichen Komforts, somit gelten folgende Beziehungen:

Für Kältemittel A3: 20 % x LFL x Raumvolumen und nicht mehr als 1,5 kg

Für Kältemittel A2L: 20 % x LFL x Raumvolumen und nicht mehr als m_2 x 1,5

Da sowohl 1,5 kg für Propan als auch m_2 x 1,5 ($m_2 = 26 \text{ m}^3 \times \text{LFL}$) größer ist als die 20 Prozent des Raumvolumens x LFL, ergibt sich ein jeweiliges maximales Füllgewicht nach Tabelle 4.



Kältemittel	R-290	R-454C	R-455A
GWP (Global Warming Potential; Treibhauspotenzial)	3	148,3	148,2
Kategorie	1A	1B	1B
Klasse	A3	A2L	A2L
praktischer Grenzwert kg/m ³	0,008	0,059	0,086
LFL	0,038	0,293	0,431
Selbstentzündungstemperatur °C	470	444	473-477
max. zulässige Kältemittelfüllmenge in kg	1,368	10,548	15,516

Tabelle 4: Rechenbeispiel bei Anwendung der Kältemittel R-290, R-454C und R-455A



Die Berechnung zeigt, dass für 180 m³ Raumgröße die maximal zulässige Kältemittelfüllmenge von 1,368 kg R-290 nicht ausreichend sein wird. Die erforderliche Kälteleistung könnte in diesem Fall nur über die Installation von zwei oder evtl. drei getrennten Kältekreisläufen erreicht werden. Bei den beiden A2L-Kältemitteln wiederum reichen die maximal zulässigen Kältemittelfüllmengen aus.

Bei einer durchzuführenden Gefährdungsbeurteilung muss unter anderem auch berücksichtigt werden, dass die Kühlzelle während des Betriebes kein leerer Raum bleibt. Je nachdem, wie die Belegung ausfällt, wird das freie Raumvolumen für die Aufnahme des brennbaren Kältemittels deutlich geringer ausfallen als die in der Berechnung angesetzten 180 m³. Insbesondere bei Propan (R-290) können sich im Fehlerfall explosionsfähige Gemische bilden. In jedem Einzelfall sind individuelle Berechnungen erforderlich. In der vorhergehenden Berechnung kann unterstellt werden, dass 20 Prozent der unteren Zündgrenze eingeflossen sind. Die Ware müsste demnach 80 Prozent des Raumvolumens einnehmen, um eine mögliche Zündung zu ermöglichen. Eine Zündung kann aber nur dann erfolgen, wenn gleichzeitig auch eine wirksame Zündquelle vorhanden ist.

Die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 723) definiert 13 wirksame Zündquellen. Alle aufgelisteten 13 Zündquellen sind in der Lage, eine Propan-Luft-Mischung (H220) zu zünden, und müssen in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA, 2019). Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) gibt klar vor, dass vor der Entscheidung des Einsatzes von Gefahrstoffen eine Substitution auf ungefährliche oder weniger gefährliche Stoffe geprüft werden muss (BAuA, 2017). Die Einschätzung des damit einhergehenden Risikos ist die Aufgabe aller an dem jeweiligen Prozess Beteiligten.

Der in dem Beispiel aufgezeigte Kühlraum wird für die A2L-Kältemittel (H221) keine wirksame Zündquelle beinhalten. Einzig die wahrscheinlich erforderliche elektrische Abtauheizung kann eine Wirksamkeit herbeiführen. In dem Fall ist eine Gasdetektion im Kühlraum vorzusehen, die eine Einschaltung der Abtauung im Falle einer groben Leckage am Verdampfer ausschließt.

Es konnte gezeigt werden, dass die Kältemittel der A2L-Klasse eine Möglichkeit bieten, die Risiken gegenüber A3-Kältemitteln deutlich zu minimieren. Denn falls doch alle Faktoren, die zu einer Zündung führen können (Brennstoff, Sauerstoff (Luft), wirksame Zündquelle, Dispersionsgrad (Verteilung)), zusammen auftreten, kann das eintretende Ausmaß des Schadens bei A2L-Kältemitteln wesentlich geringer ausfallen. Gründe dafür sind die langsame Flammenausbreitung von unter 10 cm/s, die langsamere Druckanstiegsgeschwindigkeit und die niedrigere Verbrennungswärme.



3. Bewertung der verfügbaren Anlagentechnologien

Vielfach sind Planer und Betreiber noch immer auf der Suche nach der optimalen Anlagentechnologie mit dem perfekten Kältemittel. Leider gibt es das ideale Kältemittel für den Universal-einsatz nicht. Trotzdem erfüllen Kältemittel modernster Prägung höchste Anforderungen. Für fast alle Einsatzfelder können somit intelligente, ökonomisch und ökologisch sinnvolle Lösungen angeboten werden – mit dem Ziel, die Lebenszykluskosten über die Betriebszeit zu minimieren.

Um die in einer spezifischen Situation sinnvolle Technologie zu ermitteln, bedarf es Entscheidungsmodelle, die sowohl ökonomische als auch ökologische Einflussfaktoren berücksichtigen. Das sogenannte Ökoeffizienz-Konzept, das bereits 2005 und 2010 in Studien* von Experten aus der Kälte-/Klimaindustrie erarbeitet wurde, hat zum Ziel, diese Einflussfaktoren zu bewerten und zwischen Investitionsalternativen zu vergleichen.

Ein vom Ökoeffizienz-Konzept abgeleitetes Modell wurde von der Firma Honeywell entwickelt, um den Planern und Betreibern eine einfache Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Dieses Modell wurde darüber hinaus vom unabhängigen Zertifizierungsinstitut Cemafruid validiert. Es berechnet auf Basis der vom Entscheidungsträger eingegebenen Werte für die Kältesysteme das Ergebnis nach den Dimensionen TEWI (Total Equivalent Warming Impact, für die ökologischen Einflussfaktoren) und TCO (Total Cost of Ownership, für die ökonomischen Aspekte). Das Modell ist somit ein Simulationsmodell, das eine Vorhersage über die umwelt- und kostentechnischen Unterschiede zwischen Kältesystemen ermittelt. Das Modell ist offen und zugänglich für externe Nutzer. Es kann auf Anfrage über coolektiv@westfalen.com zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus führte das Unternehmen Wave-Refrigeration im Auftrag der Firma Chemours eine Studie durch, die ein ähnliches Prinzip anwendet, um die verschiedenen technologischen Alternativen nach ihren Kosten sowie Emissionen über die gesamte Lebensdauer zu bewerten und zu vergleichen (enthalten in: The Chemours Company, 2020).

Zur Entscheidungsfindung sollten sich Betreiber und Planer in jedem spezifischen Fall dieser beiden Aspekte bewusst werden, um eine nachhaltige, kosteneffiziente Lösung zu finden. Das Modell und die Studie werden in den nachfolgenden Abschnitten in Auszügen vorgestellt.

*Studie 2005: Erstellt von Solvay Management Support GmbH und Solvay Fluor GmbH, Hannover, in Zusammenarbeit mit dem Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik (IZW), Hannover.

Studie 2010: Erstellt von SKM ENVIROS, UK, im Auftrag und in Zusammenarbeit mit EPEE (European Partnership for Energy and Environment).

Beide Arbeiten wurden von einem Expertenkreis aus der Kälteindustrie beratend unterstützt.



3.1 A2L-Kältemittel im Vergleich zum CO₂-Kältemittel R-744

Die Einführung von CO₂ (R-744) als Kältemittel erfolgte mit dem Ziel, Kälteanlagen statt mit dem Hoch-GWP-Kältemittel R-404A (GWP von 3922) mit umweltfreundlichen Lösungen zu betreiben. Inzwischen sind jedoch ausreichend Low-GWP-A2L-Kältemittel als Alternative am Markt verfügbar. Diese bieten auch gegenüber R-744 Vorteile im Hinblick auf die Reduzierung der CO₂-Emissionen und der Kosten über die gesamte Lebensdauer der Anlagen.

Die bereits erwähnte, von Wave-Refrigeration durchgeführte und auf praktischen Erfahrungen mit ASDA und anderen internationalen Handelsketten basierende Untersuchung hat A2L-Kältemittel mit verschiedenen CO₂-Technologien (FGB/Booster, IHX-Systeme mit innerem Wärmetauscher, Systeme mit Parallelverdichtung, Ejektorensysteme) verglichen (The Chemours Company, 2020). Gegenstand des Vergleichs waren normalgroße (ca. 2.000 m² Verkaufsfläche) und kleine (300 bis 500 m²) europäische Supermärkte an drei Standorten, die die verschiedenen klimatischen Bedingungen in Europa repräsentierten (Helsinki, Finnland; Leicester, Großbritannien; Sevilla, Spanien).

Unter Annahme einer durchschnittlichen, in gewerblichen Kälteanlagen üblichen jährlichen Leckagerate von 5 Prozent ermöglichte der sehr niedrige GWP von R-454C und R-454A eine signifikante Reduktion der direkten, durch das Kältemittel verursachten Treibhausgasemissionen. In Verbindung mit der verbesserten Energieeffizienz der A2L-Kältemittel lagen die Gesamtemissionen für Sevilla und Leicester 12 bis 13 Prozent niedriger als die gleichwertige optimale CO₂-Technologie. Und sogar im kühleren Helsinki mit seinem geringeren Energieverbrauch waren die Gesamtemissionen um 6 bis 8 Prozent geringer. Die Untersuchung hat ergeben, dass die A2L-basierenden Kälteanlagen die geringsten Anschaffungskosten (bis zu 11 Prozent geringer) und Wartungskosten (bis zu 15 Prozent geringer) aufweisen. Die größten Kosteneinsparungen über

einen Zeitraum von zehn Jahren resultieren allerdings aus dem geringeren Energieverbrauch (bis zu 15 Prozent niedriger).



„A2L-Kältemittel sind auch im Vergleich mit verschiedenen CO₂-Technologien oft die bessere, umweltfreundliche Alternative.“

Hans-Dieter Küpper, Chemours Deutschland GmbH

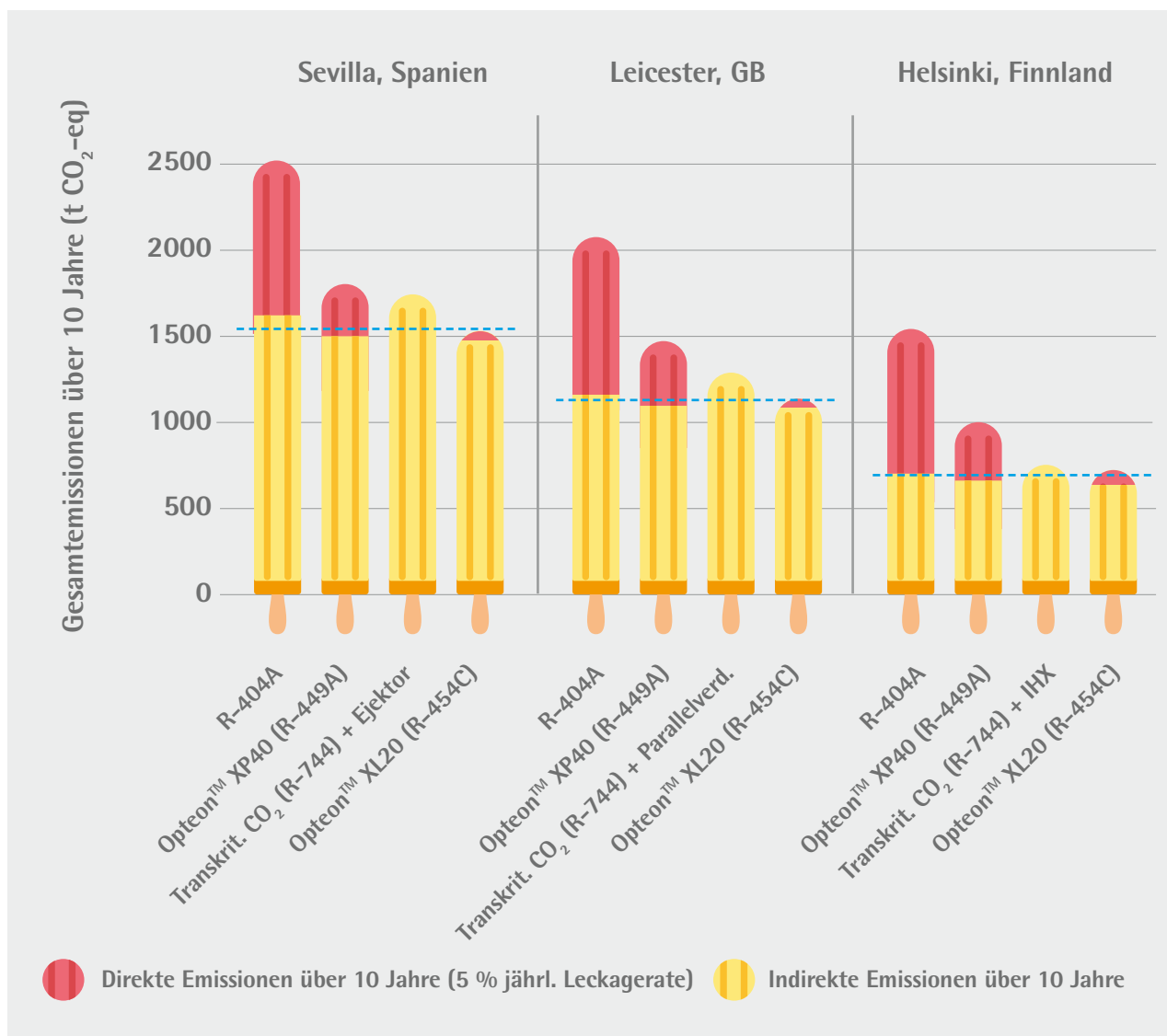


Abbildung 1: Unterschiede der Gesamtemissionen der drei Standorte Sevilla, Leicester und Helsinki über zehn Jahre



In Summe ergibt dies signifikant reduzierte Lebenszykluskosten über zehn Jahre: in Sevilla und Leicester 11 bis 13 Prozent und am Standort Helsinki mit seinen geringeren Energiekosten immerhin noch 5 bis 7 Prozent niedriger als die vergleichbare optimale CO₂-Technologie.

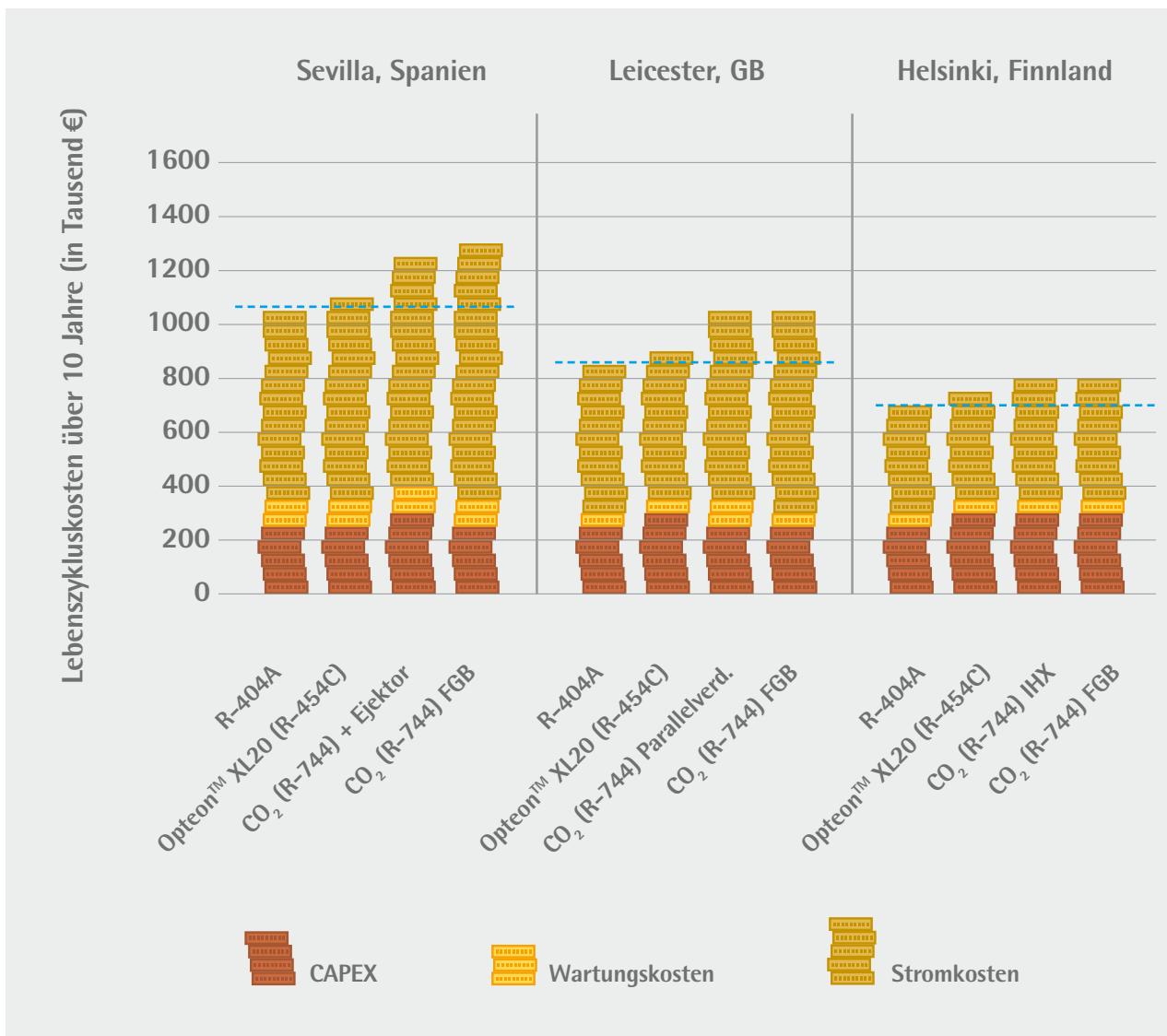


Abbildung 2: Unterschiede der Lebenszykluskosten der drei Standorte Sevilla, Leicester und Helsinki über zehn Jahre



Das Gesamtergebnis ist in der Abbildung 3 für die Standorte Sevilla und Leicester dargestellt (enthalten in: The Chemours Company, 2019).

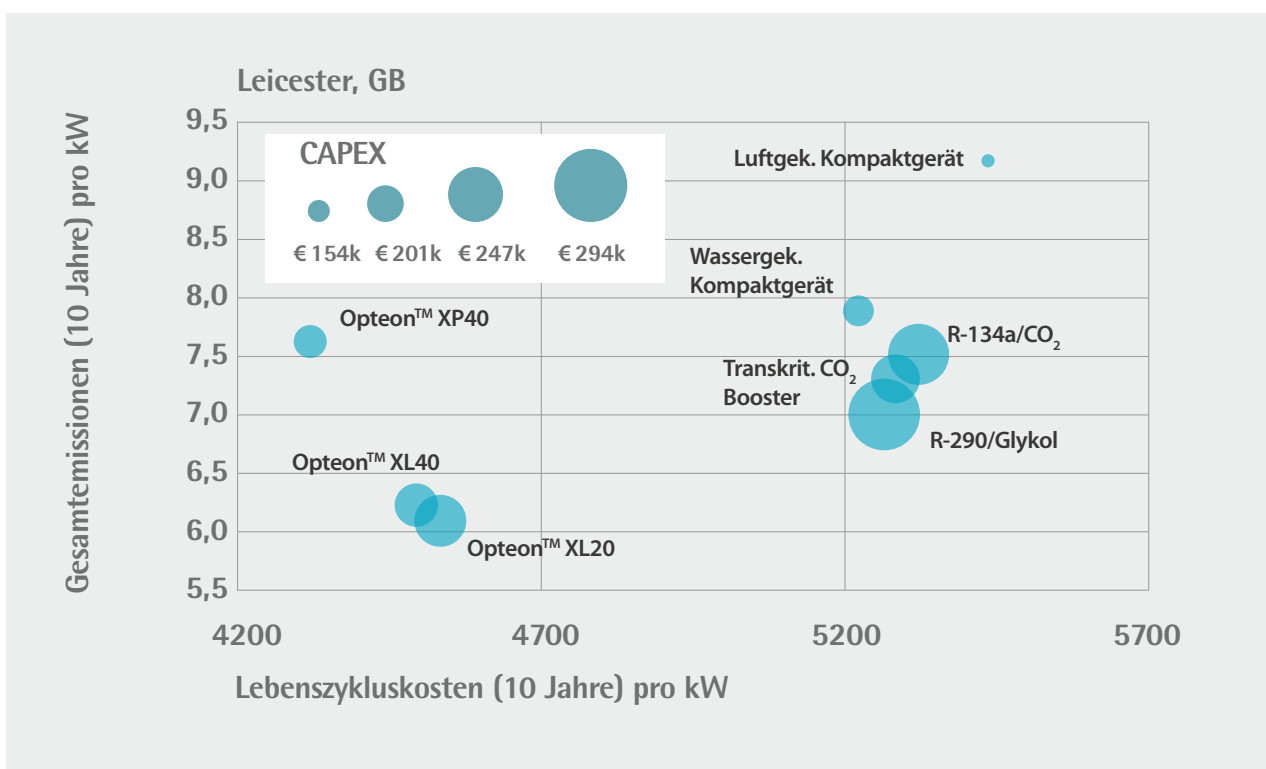
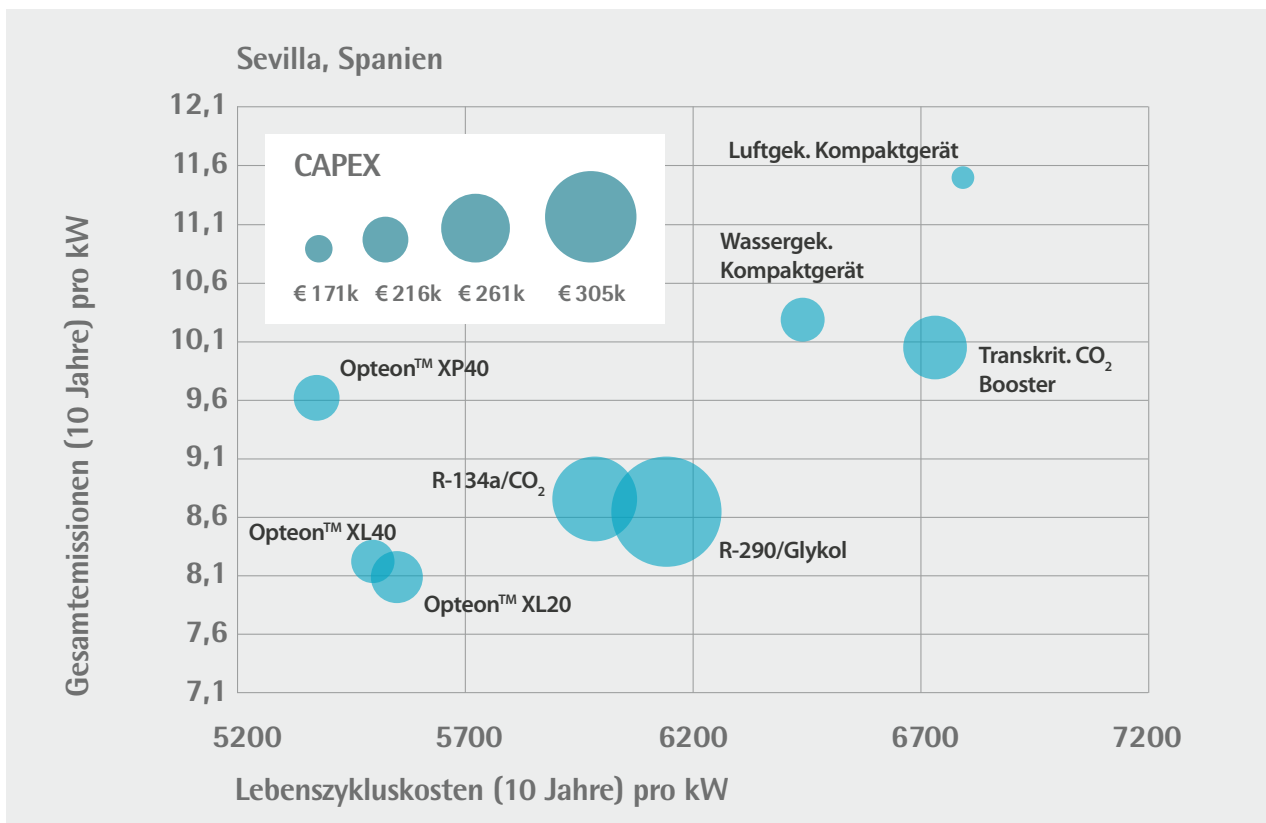


Abbildung 3: Kosten vs. Emissionen verschiedener Technologien für einen normalen Supermarkt in Sevilla, Spanien (oben), und Leicester, GB (unten)



„Low-GWP-HFO-Kältemittel senken die Gesamtemissionen einer Kälteanlage signifikant und reduzieren ihre Lebenszykluskosten. Bei der Auswahl einer Low-GWP-Kältetechnologie spielt die Energieeffizienz die wichtigste Rolle.“
Ewa Pawlak, Chemours Deutschland GmbH

Aufgrund der schlechteren Energieeffizienz und höheren Komplexität von CO₂-Systemen bleiben viele Fragezeichen, ob diese Technologie wirklich eine gute Wahl ist.

Heute kommen A2L-Kältemittel, unter anderem im Lebensmitteleinzelhandel (LEH), vielfach zum Einsatz. Nicht nur das zur Walmart-Gruppe ge-

hörende britische Handelsunternehmen ASDA und die Central England Co-Op Food haben im Jahr 2019 Kälteanlagen mit A2L-Kältemitteln in Betrieb genommen (RAC Magazine, 2019; Bauverlag BV GmbH, 2020). Auch in Deutschland betreiben Lebensmittelhändler seit 2017 Märkte mit A2L-Kältemitteln in Waterloo-Kälteanlagen. Dies zeigt, dass die A2L-Kältemittel eine praktikable Alternative für den Einzelhandel sind.

3.2 A2L-Kältemittel im Vergleich zu Propan-Systemen – Ökoeffizienz-Modell im Einsatz

Ein direkter Vergleich der CO₂-Emissionen und der Lebenszykluskosten zwischen Waterloo-Systemen mit R-290 (Propan) und A2L-Kältemitteln wurde anhand des von Cemafruid validierten Ökoeffizienz-Modells durchgeführt (Honeywell Fluorine Products Europe B. V.).

Simuliert wurde der Einsatz von R-290 auf der einen Seite und des A2L-Kältemittels R-455A auf der anderen Seite in einem LEH-Markt von 500 m² in einer temperierten europäischen Klimazone (Straßburg), ausgestattet mit Kühlmöbeln, die untereinander mit einem Wasserkreislauf zur Ableitung der Verflüssigungswärme verbunden sind.



Folgende Parameter wurden für die Berechnung herangezogen:

Parameter	Einheit	Werte
Kälteleistung Normalkühlung (NK)	kW	23,7 (6 Kühlmöbel)
Kälteleistung Tiefkühlung (TK)	kW	4 (4 Kühlmöbel)
Betriebsdauer der Anlage	Jahre	15
Mindestverflüssigungstemperatur	°C	18
Energieeffizienzklasse des Trockenkühlers	-	D (Medium)
Verdichtertechnologie	-	Hubkolbenverdichter
Kühlflüssigkeit	-	Ethylenglycol 28 % mit Wasser

Tabelle 5: Parameter für die Berechnung des Vergleichs der CO₂-Emissionen und der Lebenszykluskosten zwischen Waterloo-Systemen mit R-290 und Waterloo-Systemen mit R-455A anhand des Ökoeffizienz-Modells (Honeywell Fluorine Products Europe B. V.)



System mit R-455A (A2L-Kältemittel):

- Anzahl Kältekreisläufe: 10 (6 in NK/4 in TK)
- Max. Kältemittelmenge pro Kreislauf: 2,6 kg

System mit R-290 (Propan):

- Anzahl Kältekreisläufe: 20 (12 in NK/8 in TK)
- Max. Kältemittelmenge pro Kreislauf: 150 g

Die Ergebnisse der Berechnung zeigen, wie in der folgenden Grafik dargestellt, dass ein System mit R-455A eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um ca. 6 Prozent im Vergleich mit einem R-290-System über den gesamten Betriebszeitraum der Anlage ermöglicht – und zwar bei Lebenszykluskosten, die ca. 13 Prozent geringer ausfallen.

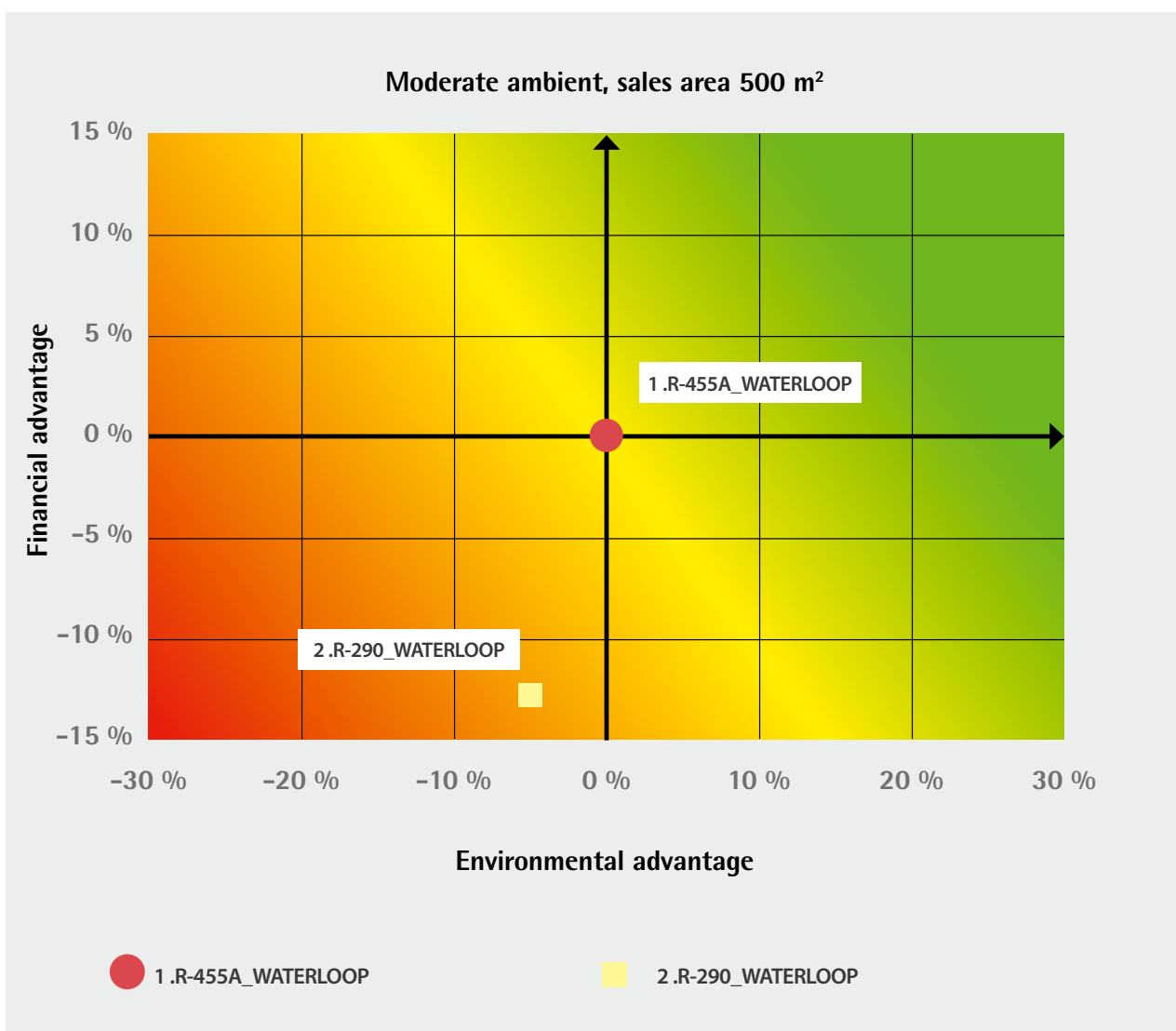


Abbildung 4: Ergebnisse des Vergleichs der CO₂-Emissionen und der Lebenszykluskosten zwischen Waterloop-Systemen mit R-290 und mit R-455A anhand des Ökoeffizienz-Modells (Honeywell Fluorine Products Europe B. V.)



Bei der Betrachtung von CO₂-Emissionen und Lebenszykluskosten, inklusive der Sicherheitsrisiken, von Waterloop-Systemen sind A2L-Kältemittel, wie der Vergleich von R-455A zu R-290 zeigt, klar zu bevorzugen.“

Sébastien Casterman, Honeywell Deutschland GmbH



4. Breites Einsatzfeld von A2L-Kältemitteln – Anwendungen in Mietkälte und Mietklima

In das breite Einsatzfeld von A2L-Kältemitteln fallen unter anderem Fahrzeugklimaanlagen, Hochtemperaturanwendungen, gewerbliche Kältetechnik, industrielle Anwendungen sowie Mietkälte und Mietklima. Die Märkte und Objekte für Mietlösungen sind dabei sehr vielfältig. Die Branchen, in denen die Mietkälte Einsatz findet, reichen von der Automobil-, Pharma-, Chemieindustrie über die Kunststoffindustrie bis hin zum produzierenden Gewerbe, um nur einige zu nennen. Ebenso sind die Anwendungen für gemietete Kälteanlagen vielseitig: der Totalausfall einer vorhandenen stationären Kälteanlage; das Abdecken von Spitzenlast; Unsicherheiten bei prognostizierten Produktionskapazitäten oder benötigten Leistungen; zeitlich befristete Anwendungen wie Eisbahnen auf Weihnachtsmärkten etc.; der Wunsch, Kapital- in Betriebskosten zu wandeln; das Minimieren

des finanziellen Risikos und viele andere mehr. Demzufolge ist die Temperaturspanne entsprechend breit und reicht von -40 °C für Tiefkühlanwendungen bis hin zu $+80\text{ °C}$ für Wärmebereitstellung.

Die örtlichen Bedingungen für die Aufstellung der gemieteten Maschinen variieren sehr stark. Deshalb ist es nachvollziehbar, dass der Einsatz brennbarer Käl-

temittel vor allem seitens der Betreiber nicht immer akzeptiert wird und werden kann. Jedoch kommt die Kältebranche aufgrund der Vorgaben durch die F-Gas-Verordnung an dem Einsatz brennbarer Kältemittel zukünftig nicht mehr vorbei. Für den Einsatz von A2L- gegenüber A3-Kältemitteln spricht unter anderem das deutlich geringere Schadensrisiko der Brennbarkeitsklasse A2L, wie in Kapitel 2.4 erläutert. Vor allem die neue Zuordnung von H220 als „extrem entzündbares Gas“ in H221 als nur noch „entzündbares Gas“ (s. Tabelle 2) im Sicherheitsdatenblatt eröffnet in diesem Segment ein breiteres Einsatzfeld für A2L-Kältemittel. Der Markt hat dies bereits erkannt und setzt neue Anlagen mit A2L-Kältemitteln im Bereich Mietkälte/-klima ein.

„Die Märkte und Einsatzfelder von Mietkälte und Mietklima haben trotz ihrer Vielfältigkeit ein gemeinsames Ziel: Es muss dem Kunden eine schnelle Lösung angeboten werden. Dabei werden alternative Kältemittel mit einem geringeren Risikoverhalten vielfach bevorzugt.“

Wolfgang Zaremski, ASERCOM AISBL



5. Fördermöglichkeiten der Kälte/Klima-Branche



Für Unternehmen der Kälte/Klima-Branche steht eine Vielzahl von verschiedenen Fördermöglichkeiten zur Verfügung, sofern entschieden wurde, auf umweltfreundlichere Geräte und Fahrzeuge umzustellen. In nachfolgender Tabelle sind beispielhaft drei Förderwege dargestellt:

Name der Förderung	Förderung von Kälte- und Klimaanlageanlagen mit nicht halogenierten Kältemitteln in stationären und Fahrzeuganwendungen*	Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft	KfW-Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren (KfW-Kredit 276/277/278)
Förderung durch	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	KfW-Bank
Antragstellung bei	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	Finanzierungspartner (Banken und Sparkassen) Ihrer Wahl
Was wird gefördert?	Stationäre und Fahrzeug-Kälte- und Klimaanlageanlagen, die mit nicht halogenierten Kältemitteln betrieben werden; bei Neuerrichtung/Installation	Kälte- und Klimaanlageanlagen für den Einsatzzweck der Prozesstechnik mit einem Kältemittel-GWP-Wert unter 750 (unabhängig von verwendetem Kältemittel)	Neubau/Ersterwerb/Sanierung gewerblich genutzter Nichtwohngebäude mit dem Ziel der Energieeinsparung und Minderung des CO ₂ -Ausstoßes
Form der Förderung	Direkter Zuschuss	Direkter Zuschuss durch die BAFA oder wahlweise Kredit mit Teilschulderlass durch KfW-Bank	Zinsgünstige Kredite (Laufzeitmodelle zwischen 5 und 20 Jahren)
Höhe der Förderung	Bis zu 150.000 Euro, maximal 50 Prozent der förderfähigen Investitionskosten	Zwischen 30 und 40 Prozent der förderfähigen Investitionskosten. Maximal 10 Millionen Euro	Kredite in Höhe von maximal 25 Millionen Euro
Besonderheiten	Effizienzsteigernde Komponenten können mitgefördert werden.	Ausgenommen sind Anlagen, die unter die Energieeinsparverordnung (EnEV) fallen (siehe dafür rechte Spalte). Plausible Darstellung der Energieeinsparung erforderlich	Berechnung des Seasonal Energy Efficiency Ratio benötigt, daher Antrag nur über zugelassene Sachverständige möglich
Website	www.bundesanzeiger.de	www.bafa.de	www.kfw.de

Tabelle 6: Fördermöglichkeiten für die Kälte/Klima-Branche

* Wir erwarten eine Novellierung bis Ende 2020.



„Bei großen, gewerblichen Kälteanlagen kann die Investitionssumme durchaus im sechsstelligen Bereich liegen. Eine Reduzierung der Investitionskosten ist durch die Inanspruchnahme von Fördermitteln möglich.“

Hans-Jürgen Kemler, Westfalen AG



6. Fazit

Die auf der HFO-Technologie basierenden A2L-Kältemittel wurden entwickelt, um die immer strengeren weltweiten Vorschriften wie eine Minimierung der GWP-Werte und eine Verbesserung der Energieeffizienz zu erfüllen. Gleichzeitig sollen identische oder verbesserte Leistungseigenschaften im Vergleich zu jenen Produkten, die sie ersetzen, verfügbar werden.

Durch den Einsatz der neuen A2L-Kältemittel resultiert eine signifikante Verbesserung der CO₂-Bilanz in der Kälte/Klima-Branche. Nach derzeitigem Kenntnisstand erwartet COOLEKTIV daher eine weitere deutliche Steigerung der Anwendung von A2L-Kältemitteln in allen Segmenten des HVAC&R-Marktes.

Die Ausführungen in diesem Positionspapier zeigen, dass A2L-Kältemittel hinsichtlich TEWI-Kennwert und CO₂-Emissionen (GWP und Anlageneffizienz), Leistung, Sicherheit, Nachhaltigkeit sowie Gesamtkosten über den Lebenszyklus des Anlagenbetriebs hinweg vielfach die beste Wahl sind. Schließlich verweisen die im Positionspapier vorgestellten Studien und Modelle auf einen deutlich geringeren Verbrauch von Energie und CO₂-Emissionen, signifikant reduzierte Wartungs- und Lebenszykluskosten sowie ein verringertes Schadensrisiko der A2L-Brennbarkeitsklasse.

Durch die sehr niedrigen GWP-Werte werden die HFO-Kältemittel, insbesondere in Europa, den von der F-Gas-Verordnung geforderten Wandel vorantreiben. Somit wird die Kältebranche an dem Einsatz brennbarer Stoffe nicht mehr vorbeikommen.

Quellenverzeichnis

ASHRAE Standard 34–2019. (2019). Designation and Safety Classification of Refrigerants. Abgerufen am 1. August 2020 von <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/ashrae-refrigerant-designations>.

Bauverlag BV GmbH. (2020, Januar). Lebensmittelmarkt mit R454C in England. Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.kka-online.info/artikel/kka_Lebensmittelmarkt_mit_R454C_in_England_3497621.html.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. (2019a). Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss. Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/energieeffizienz_und_prozesswaerme_node.html.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. (2019b). Modul 4: Energiebezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen. Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul4_Energiebezogene_Optimierung/modul4_energiebezogene_optimierung_node.html.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2019, Juli). Technische Regeln für Gefahrstoffe. Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische. TRGS 723. Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-723.pdf?__blob=publicationFile&t=2.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2017, März). Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV). Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/Arbeiten-mit-Gefahrstoffen/pdf/Gefahrstoffverordnung.pdf?__blob=publicationFile&t=5.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). (2018, Mai). Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik (Ausgabe 2018). Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_in_zahlen_2018_bf.pdf.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). (2019, Dezember). Richtlinie zur Förderung von Kälte- und Klimaanlage mit nicht-halogenierten Kältemitteln in stationären und Fahrzeug-Anwendungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Kälte-Klima-Richtlinie). Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.bundesanzeiger.de/ebanzwww/wexsservlet?page.navid=official_starttoofficial_view_publication&session.sessionid=ebb5e5a0db3b554b809c4f54cf831120&fts_search_list.selected=7ab1d5ca2e32a985&fts_search_list.destHistoryId=60617&fundstelle=BAanz_AT_31.01.2019_B2.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2020). Abkommen von Paris. Abgerufen am 1. Juli 2020 von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html>.

DIN EN 378. (2018, April). Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen. Teil 1–4. Beuth Verlag GmbH: Berlin.

eurammon e. V. (2020, Juni). Current Trends in Refrigeration Technology. Study Energy Consumption in Refrigeration. Technology in Germany [Web-Seminar].

Europäische Kommission. (2019, März). Verordnung (EU) 2019/521 der Kommission vom 27. März 2019 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt. Abgerufen am 1. Juli 2020 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0521&from=EN>.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). (o. J.). GESTIS-Stoffdatenbank. Abgerufen am 18. August 2020 von http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu.

ISO 817. (2014, Mai). Kältemittel – Kurzzeichen und Sicherheitsklassifikation. Beuth Verlag GmbH: Berlin.

KfW. (2020a). KfW-Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren. Energiekosten im Gewerbegebäude senken. Abgerufen am 1. Juli 2020 von https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/index.html?wt_cc1=umwelt&wt_cc2=unt|energie-umwelt&wt_mc=52499124864_420421837589&wt_kw=b_52499124864_%2Bkfw%20%2B276&wt_cc3=52499124864_kwd-348465132922_420421837589.

KfW. (2020b, Januar). Merkblatt – KfW-Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren. Energieeffizienz im Unternehmen. Abgerufen am 1. Juli 2020 von [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000003412_M_276_277_278_EEP_EBS.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000003412_M_276_277_278_EEP_EBS.pdf).

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2019). Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Abgerufen am 1. August 2020 von <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>

RAC Magazine. (2019, Oktober). Asda claims breakthrough with world-first 'very low-GWP' A2L store system. Abgerufen am 1. Juli 2020 von <https://www.racplus.com/news/asda-claims-breakthrough-with-world-first-very-low-gwp-a2l-store-system-03-10-2019/>.

The Chemours Company. (2020). CO₂: Die unbequeme Wahrheit – Inzwischen gibt es bessere Technologien als CO₂ für gewerbliche Kälteanlagen. Abgerufen am 6. Juli 2020 auf Anfrage über Kontaktformular auf https://www.chemours.de/contact?_ga=2.105907139.1982475670.1595243221-1774359141.1594628545.

The Chemours Company. (2019, September). White Paper: Reduktion klimaschädlicher Treibhausgasemissionen aus gewerblichen Kälteanwendungen. Abgerufen am 6. Juli 2020 von https://pages.chemours.com/Opteon-wave-emissions-de.html?utm_campaign=&utm_source=EHI_Store_Shop_Tech&utm_medium=Online&utm_content=Gr_Emissions&utm_term=Advertorial_Wave_ASDA.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Unterschiede der Gesamtemissionen der drei Standorte Sevilla, Leicester und Helsinki über zehn Jahre

11

Abbildung 2:

Unterschiede der Lebenszykluskosten der drei Standorte Sevilla, Leicester und Helsinki über zehn Jahre

12

Abbildung 3:

Kosten vs. Emissionen verschiedener Technologien für einen normalen Supermarkt in Sevilla, Spanien und Leicester, GB)

13

Abbildung 4:

Ergebnisse des Vergleichs der CO₂-Emissionen und der Lebenszykluskosten zwischen Waterloo-Systemen mit R-290 und mit R-455A anhand des Ökoeffizienz-Modells (Honeywell Fluorine Products Europe B. V.)

15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Brennbarkeit nach ISO 817	3
Tabelle 2: Einteilung der Brennbarkeit nach GHS mit Gefahrenhinweisen im Sicherheitsdatenblatt	4
Tabelle 3: Sicherheitsklassifizierung von Kältemitteln nach ISO 817 und ASHRAE 34	6
Tabelle 4: Rechenbeispiel bei Anwendung der Kältemittel R-290, R-454C und R-455A	7
Tabelle 5: Parameter für die Berechnung des Vergleichs der CO ₂ -Emissionen und der Lebenszykluskosten zwischen Waterloop-Systemen mit R-290 und Waterloop-Systemen mit R-455A anhand des Ökoeffizienz-Modells	14
Tabelle 6: Fördermöglichkeiten für die Kälte/Klima-Branche	18
Tabelle 7: Übersicht derzeit gebräuchlicher brennbarer Kältemittel	26

Anhang



Übersicht derzeit gebräuchlicher brennbarer Kältemittel

R-Nummer	Sicherheits- klasse	Fluid- gruppe PED	Praktischer Grenzwert kg/m ³	ATEL/ ODL kg/m ³	LFL kg/m ³	UFL – LFL Vol.-%	Mindest- zündenergie mJ	Normalsiede- punkt °C	Selbst- entzündungs- temperatur °C	Verbrennungs- energie MJ/kg	GWP
R-152a	A2	1	0,027	0,14	0,130	13	0,38	-25	455	16,5	124
R-170	A3	1	0,0086	0,0086	0,038	12,4	0,25	-89	515		6
R-1150	A3	1	0,006	ND	0,036	30,2	0,082	-104	440		4
R-290	A3	1	0,008	0,09	0,038	9,1	0,24	-42	470	46,3	3
R-1270	A3	1	0,008	0,0017	0,046	9,4	0,28	-48	455	45,8	2
R-600a	A3	1	0,011	0,059	0,043	7,9	0,25	-12	460	45,6	3
R-717	B2L	1	0,00035	0,00022	0,116	18,5		-33	630	18,6	0
R-32	A2L	1	0,061	0,3	0,307	14,9	>30, <100	-52	648	9,4	675
R-1234yf	A2L	1	0,058	0,47	0,289	6,1	>5000, <10000	-29,5	405	10,7	4
R-1234ze(E)	A2L	2	0,061	0,28	0,303	5,6	61000-64000	-19	368	10,0	7
R-452B	A2L	1	0,062	0,364	0,310	11,4	100-300	-51,0 bis -50,3	509	9,45	698,3
R-454A	A2L	1	0,056	0,461	0,278	7	300-1000	-48,4 bis -41,6	457	10,04	238,9
R-454B	A2L	1	0,039	0,358	0,303	10,3	100-300	-50,9 bis -50,0	496	10,05	466,3
R-454C	A2L	1	0,059	0,445	0,293	7,3	300-1000	-46,0 bis -37,8	444	10,51	148,3
R-455A	A2L	1	0,086	0,393	0,431	1,1	317-331	-51,6 bis -39,1	473-477	10,2	148,2

Tabelle 7: Übersicht derzeit gebräuchlicher brennbarer Kältemittel (Quellen: DIN EN 378-1 2019 Entwurf, Gestis Stoffdatenbank)