

SICHERHEITSHINWEISE UND FÜLLMENGENEMPFEHLUNGEN FÜR DEN EINSATZ VON LOW-GWP A2L HFO-BLENDS

von Neil Roberts





Einführung

Bekanntermaßen wurden in den vergangenen 30 Jahren weltweit zahlreiche Vorschriften umgesetzt, die auf die Umweltauswirkungen von Kältemitteln und Kälte- und Klimaanlage zielen. Die sich ständig verändernde Gesetzeslage hat die Umstellung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (H-FCKW) auf Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) vorangetrieben. Aktuelle Verordnungen wie die Europäische F-Gase-Verordnung (EU 517/2014)⁽¹⁾ und zukünftige Regelungen, die sich aus dem Kigali-Abkommen⁽²⁾ ergeben werden, erfordern einen

erneuten Umstieg auf Produkte mit verringertem Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP), z. B. auf die Hydrofluorolefin(HFO)-basierenden Opteon™ Kältemittel.

Im Vergleich zu R-507A (GWP: 3985) ermöglichen diese HFO-basierenden Low-GWP-Alternativen eine Reduktion des GWP um 45 bis 96 %. Jedoch sind die meisten Kältemittel mit einem GWP von weniger als 500 in einem gewissen Maße brennbar, was den zur Erfüllung der F-Gase-Verordnung notwendigen Umstieg noch komplizierter macht. Häufig wird ein

zweistufiger Ansatz erforderlich sein, um die Hoch-GWP-Produkte R-404A und R-507A zu ersetzen. In einem ersten Schritt eignen sich nicht brennbare Alternativen wie Opteon™ XP40 für Retrofit und Neuanlagen. Um aber die Vorgaben des Ausstiegsszenarios zu erfüllen, müssen in Neuanlagen gering brennbare Low-GWP-Kältemittel wie Opteon™ XL40 (R-454A) zum Einsatz kommen - unter Einhaltung der in den Normen und Vorschriften vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen.



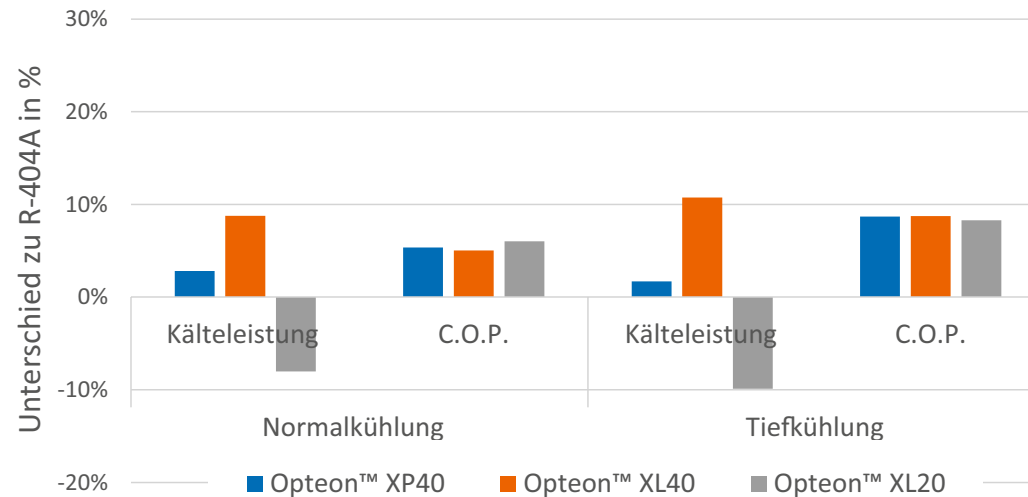
Also, wie lautet der Plan?

Zunächst einmal sind Produkte erforderlich, die nicht nur einen geringeren GWP aufweisen, sondern auch ähnliche Leistungseigenschaften besitzen wie die vorher verwendeten Produkte. Besondere Bedeutung kommt hier der Energieeffizienz zu, denn die durch den höheren Energieverbrauch bedingten höheren Treibhausgasemissionen würden die durch den Einsatz eines

Low-GWP-Kältemittels erzielte CO₂-Einsparung unter dem Strich größtenteils zunichtemachen.

Die Opteon™ Kältemittelfamilie umfasst Low-GWP-Alternativen für R-404A, R-410A, R-407C und R-134a und besitzt die erforderlichen Leistungseigenschaften (Abbildung 1).

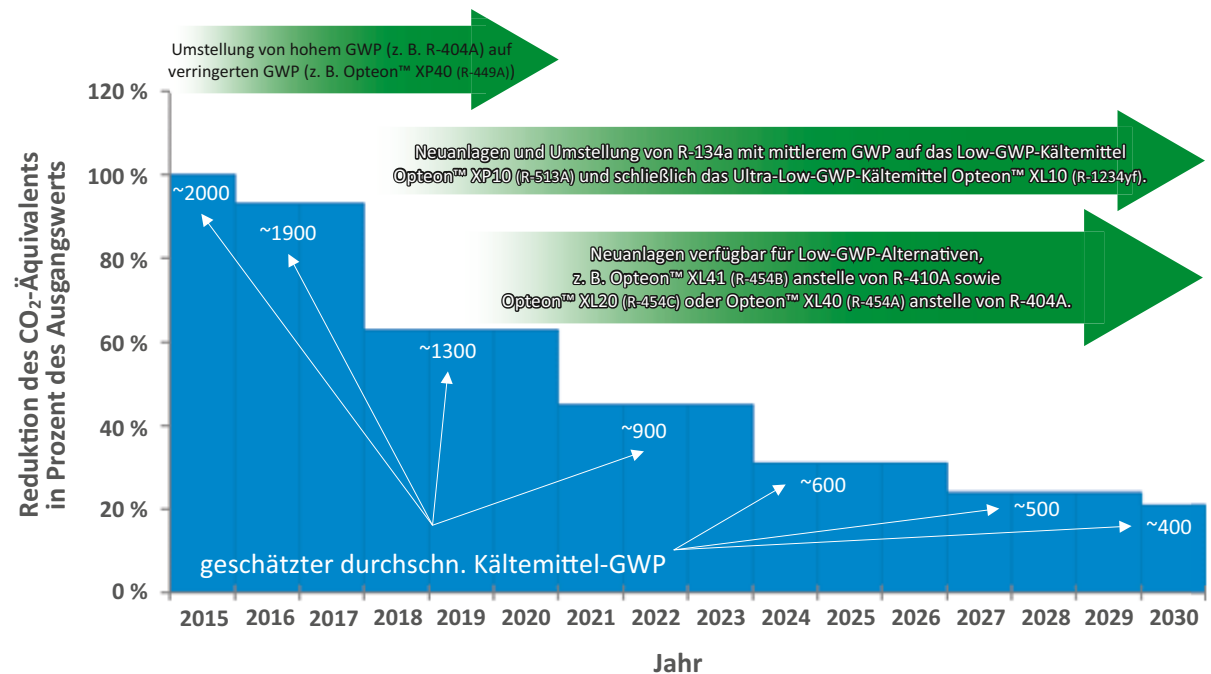
Abbildung 1 - Vergleich der Leistungseigenschaften von Opteon™ Low-GWP-Kältemitteln und R-404A



Theoretische Kreisprozessberechnung auf Basis von Refprop 10. t_0 NK = -12 °C, t_0 TK = -35 °C, t_c = 40 °C, isentropischer Wirkungsgrad des Verdichters = 0,7, Überhitzung im Verdampfer = 5 K, gesamte Unterkühlung = 3 K, Ansaug-Überhitzung = 5 K, identische Verdichtung.

Auf Grund der Erfahrungen mit dem Ausstieg aus der Verwendung von FCKW und H-FCKW wird oft davon ausgegangen, dass der in der F-Gase-Verordnung vorgesehene Phasedown ähnlich ablaufen wird. Angesichts der in der F-Gase-Verordnung festgelegten Verwendungsverbote von Produkten mit hohem GWP und einer schnellen Reduktion der auf dem Markt verfügbaren CO₂-Äquivalente (CO₂eq basierend auf IPCC⁽³⁾ Daten) von H-FKW, muss der Übergang zu Low-GWP-Alternativen schneller erfolgen als der durch die vorangegangenen Regelungen bedingte Umstieg. Idealerweise sollten seit dem Inkrafttreten der F-Gase-Verordnung im Jahr 2015 Systeme mit Kältemitteln wie R-404A (GWP: 3922) oder R-507A, die einen hohen GWP besitzen, bereits auf ein Kältemittel mit niedrigem GWP umgestellt worden sein (Abbildung 2). Aber bis zum Jahr 2015 bzw. 2016 wurde keine verstärkte Aktivität beobachtet, da R-404A immer noch in entsprechenden Mengen verfügbar war. Grund hierfür ist wahrscheinlich die Bevorratung mit größeren Mengen im Jahr 2014, wie auch der Bericht der Europäischen Umweltagentur (EEA) über fluorierte Treibhausgase belegt⁽⁴⁾.

Abbildung 2 – Ideales Szenario zur Reduktion des durchschnittlichen GWP von Kältemitteln gemäß Phasedown-Szenario



Dies hatte den Effekt, dass die zur Verfügung stehende Zeit immer knapper wurde, als immer weniger R-404A verfügbar war. Dies resultierte in einer raschen Zunahme der Umstellungen und hohen Marktpreisen⁽⁵⁾ für R-404A. Dieses

Phänomen wird sich wahrscheinlich wiederholen, wenn Ende 2020 der nächste Einschnitt auf uns zukommt – außer die Umstellungen gehen weiter und die Verwendung von Low-GWP-Kältemittelalternativen (GWP < 650) nimmt signifikant zu.

Tabelle 1 – Low GWP-Kältemittelalternativen

Low GWP-Kältemittel	GWP ⁽³⁾	ASHRAE #	ISO 817 Klassifizierung	Ersetzt
Opteon™ XP10	631	R-513A	A1	R-134a
Opteon™ XL10	4	R-1234yf	A2L	R-134a
Opteon™ XL20	148	R-454C	A2L	R-407C/R-404A
Opteon™ XL40	238	R-454A	A2L	R-404A/R-507A
Opteon™ XL41	466	R-454B	A2L	R-410A

Wie Tabelle 1 zeigt, sind zahlreiche Alternativen verfügbar, aber die Mehrheit der Low-GWP-Kältemittel sind in die Sicherheitsklasse A2L (gering brennbar) eingestuft.

Bis 2010 gab es drei Brennbarkeitsklassen: 1 - keine Flammausbreitung (z. B. R-134a), 2 - brennbar (z. B. R-152A) und 3 - hoch brennbar (z. B. Propan). Mit dem erforderlichen Umstieg auf Kältemittel mit verringertem GWP stellte man fest, dass, obwohl viele der Low-GWP-Kandidaten brennbar waren, manche ein geringeres Sicherheitsrisiko darstellten als R-152a

oder Propan. Daher wurde untersucht, wie sich die Brennbarkeit genau äußerte und wie sich die einzelnen Kategorien vernünftig voneinander abgrenzen ließen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen mündeten in dem Vorschlag, in der Klasse 2 eine Untergruppe einzuführen. In diese Klasse 2L sollten Kältemittel eingestuft werden, die nicht nur eine Verbrennungswärme (HOC; Heat of Combustion) < 19.000 kJ/kg und eine Untere Entzündbarkeitsgrenze (LFL, Lower Flammability Limit) > 0,1 kg/m³ besitzen, sondern deren Brenn-

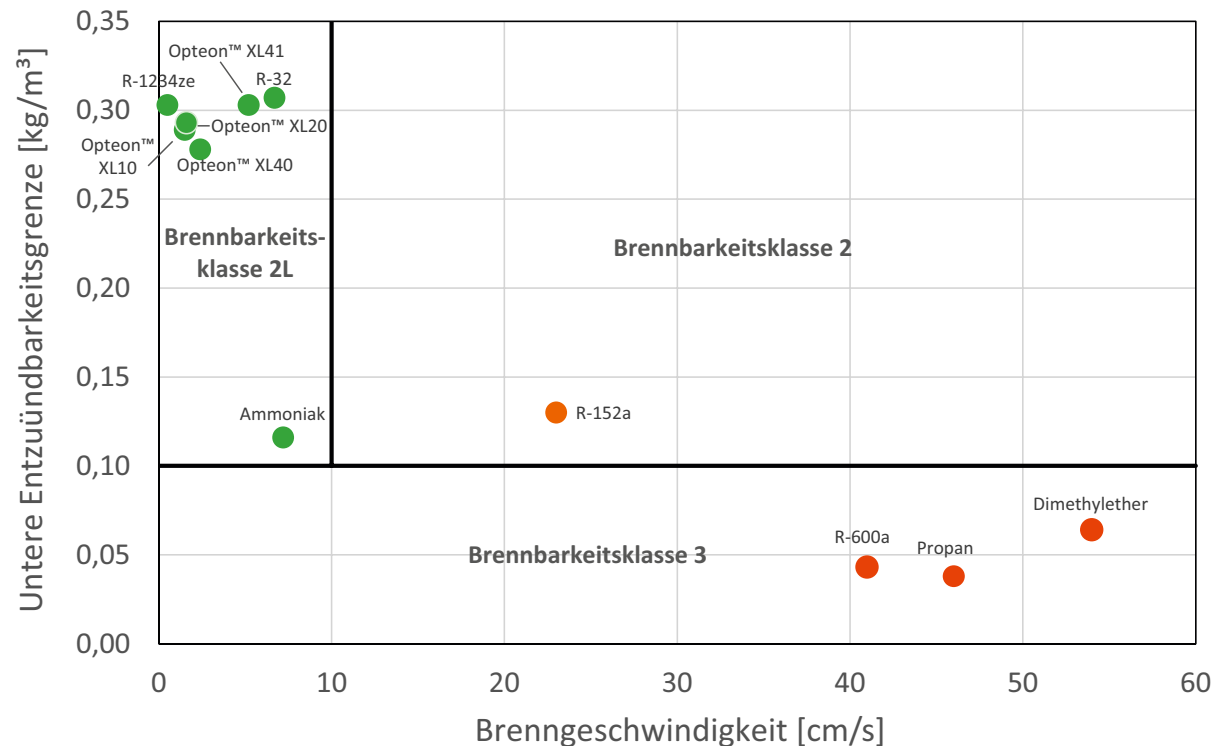


geschwindigkeit (S_v) auch weniger als 10 cm/s beträgt (Abbildung 3).

Der Einsatz brennbarer Kältemittel ist nicht neu. So verwenden quasi alle Haushaltskühlschränke in Europa R-600a. Die für den Einsatz brennbarer Kältemittel entwickelten Normen und Vorschriften basierten jedoch auf den Sicherheitsklassen 2 und 3, die strengere Sicherheitsvorkehrungen erfordern als die neuen, in die Sicherheitsklasse 2L eingestuften Kältemittel. Wie aus *Tabelle 2* ersichtlich, ergibt sich aus den Brennbarkeitseigenschaften der A2L-Kältemittel ein deutlich geringeres Risiko. Neben einer geringeren Brenngeschwindigkeit und Verbrennungswärme braucht es bei A2L-Kältemitteln eine größere Energiezufuhr, um die Untere Entzündbarkeitsgrenze zu erreichen. Zudem ist die Mindestzündenergie (MZE) um ein Vielfaches höher als die zur Entzündung eines A3-Kältemittels erforderliche Energie.

Nach der formalen Aufnahme der Sicherheitsklasse 2L in die Normen ASHRAE Standard 34 (2010) und ISO 817 (2014) wurde die Klassifizierung durch die ASHRAE-Norm 15 „Safety Code for Mechanical Refrigeration“ (USA) und

Abbildung 3 – Klassifizierung von Kältemitteln nach Brenngeschwindigkeit und Unterer Entzündbarkeitsgrenze



ISO 5149 „Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen“ anerkannt und schließlich in die europäische Norm EN 378:2016 aufgenommen.

Es gibt zwar weitere gerätespezifische Normen, die Vorrang vor der EN 378 haben (z. B. IEC 60335-2-40 Wärmepumpen und Klimageräte, IEC 60335-2-89 gewerblich betriebene Kühl-/

Gefriergeräte). Viele davon befinden werden jedoch gerade erst aktualisiert und um die Klasse 2L erweitert. Für Anwendungen außerhalb dieser speziellen gerätespezifischen Normen bildet EN 378:2016 die Grundlage zur Beurteilung der Voraussetzungen für einen sicheren Einsatz von A2L-Kältemitteln. Dabei ist Teil 1 dieser Norm von besonderem Interesse, denn er

definiert die zulässigen Höchstfüllmengen. Es ist zu beachten, dass die Einhaltung der EN 378 nicht die Notwendigkeit von Gefährdungsbeurteilungen während Planung, Installation, Einsatz- und Wartung ausschließt und dass die mit A2L-Kältemitteln verwendeten Komponenten der euDruckgeräterichtlinie (PED, 2014/68/EU) entsprechen müssen.

Tabelle 2 - Vergleich der Brennbarkeitseigenschaften typischer A3-, A2- und A2L-Kältemittel

Parameter	Propan	R-152a	Opteon™ XL10	Opteon™ XL20
Sicherheitsklasse	A3	A2	A2L	A2L
Untere Entzündbarkeitsgrenze (Vol. %) [kg/m ³]	2,2 [0,038]	3,9 [0,130]	6,2 [0,289]	7,7 [0,293]
Obere Entzündbarkeitsgrenze (Vol. %) [kg/m ³]	10,0 [0,192]	16,9 [0,563]	12,3 [0,573]	15,0 [0,569]
OEG - UEG (Vol. % - Bereich)	7,8	13,0	6,1	7,3
Mindestzündenergie (mJ)	0,25	0,38	> 5.000	300-1.000
Brenngeschwindigkeit (cm/s)	46	23	1,5	1,6
Verbrennungswärme (MJ/g)	46,3	16,5	10,7	10,5

Berechnung der Höchstfüllmengen gemäß EN 378-1:2016

Anhang C der EN 378-1:2016 definiert die Kriterien für die Berechnung der zulässigen Kältemittelfüllmenge. Für A2L-Kältemittel in hermetisch geschlossenen Kälteanlagen („Sonstige Anwendungen“) oder fest installierten Systemen für die Behaglichkeit von Personen gilt eine erlaubte Füllmenge von $1,5 \times m_1$ ($m_1 = 4 \text{ m}^3 \times \text{UEG kg/m}^3$), die ohne zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen und unabhängig von der Raumgröße verwendet werden darf. Ebenso wurden erlaubte Füllmengen für nicht fest installierte, ab Werk geschlossene, alleinstehende Klimageräte oder Wärmepumpen festgelegt, die keine zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen erfordern

und ebenfalls unabhängig von der Raumgröße sind. Beispiele hierfür zeigt *Tabelle 3*.

Tabelle C.2 in diesem Anhang C behandelt den Einsatz von Kältemitteln der Sicherheitsklasse A2L. Die Füllmengenberechnungen richten sich nach speziellen Zugangskategorien, dem Aufstellungsort und der Art der Anwendung, d. h. „Behaglichkeit von Personen“ oder „Sonstige Anwendungen“.

Tabelle 4 fasst die Zugangskategorien zusammen, wobei Bereich „a“ am wenigsten und Bereich „c“ am strengsten überwacht ist.

Es gibt vier Arten von Aufstellungsorten (*Tabelle 5*). Die Aufstellungsorte der Klasse I, II und III beziehen sich darauf, wo sich die kältemittelführenden Teile einer Anlage befinden, z. B. im Personen-Aufenthaltsbereich, teilweise im Personen-Aufenthaltsbereich oder vollständig außerhalb des Personen-Aufenthaltsbereichs. Die Klasse IV bezieht sich auf besondere Ausführungen, bei denen sich zwar die Anlage im Personen-Aufenthaltsbereich befindet, aber so konstruiert ist, dass austretendes Kältemittel im Fall einer Leckage nicht in den Personen-Aufenthaltsbereich gelangen kann, sondern an einen gut belüfteten Ort abgeführt wird.

Tabelle 3 – Erlaubte Füllmengen in kg, die keine zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen erfordern und unabhängig von der Raumgröße sind

Anwendung	Propan	Opteon™ XL10	Opteon™ XL20	Opteon™ XL40	Opteon™ XL41
Sonstige Anwendungen, Behaglichkeit von Personen	0,15	1,73	1,76	1,67	1,82
Nicht fest installierte, ab Werk geschlossene, alleinstehende Klimageräte oder Wärmepumpen	0,15	1,16	1,17	1,11	1,21



Tabelle 4 – Zugangskategorien gemäß EN 378:2016

Allgemeiner Zugangsbereich	Überwachter Zugangsbereich	Bereich, in dem nur befugte Personen Zugang haben
Kategorie a	Kategorie b	Kategorie c
<p>Räume, Gebäudeteile in denen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ sich Schlafgelegenheiten befinden ▪ sich Menschen nicht frei bewegen dürfen ▪ eine unbegrenzte Anzahl von Personen ohne Sicherheitsvorkehrungen Zutritt hat 	<p>Räume, Gebäudeteile in denen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ nur eine begrenzte Anzahl von Personen Zutritt hat, von denen einige mit den Sicherheitsvorkehrungen vertraut sind 	<p>Räume, Gebäudeteile in denen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ nur befugte Personen Zutritt haben, die mit den Sicherheitsvorkehrungen vertraut sind ▪ produziert oder Waren gelagert werden
Beispiele: Krankenhäuser, Bahnhöfe, Läden, Hotels, Wohnungen, öffentliche Gebäude	Beispiele: Büros, Labore, allgemeine Fertigungsbereiche	Beispiele: Fabriken, Lager, nicht-öffentliche Bereiche in Supermärkten, Metzgereien





Zugangskategorien, Anwendungsbereiche und Aufstellungsorte sind in einer Matrix zusammengefasst, aus der sich die geltenden Regelungen zur Berechnung der zulässigen Füllmenge able-

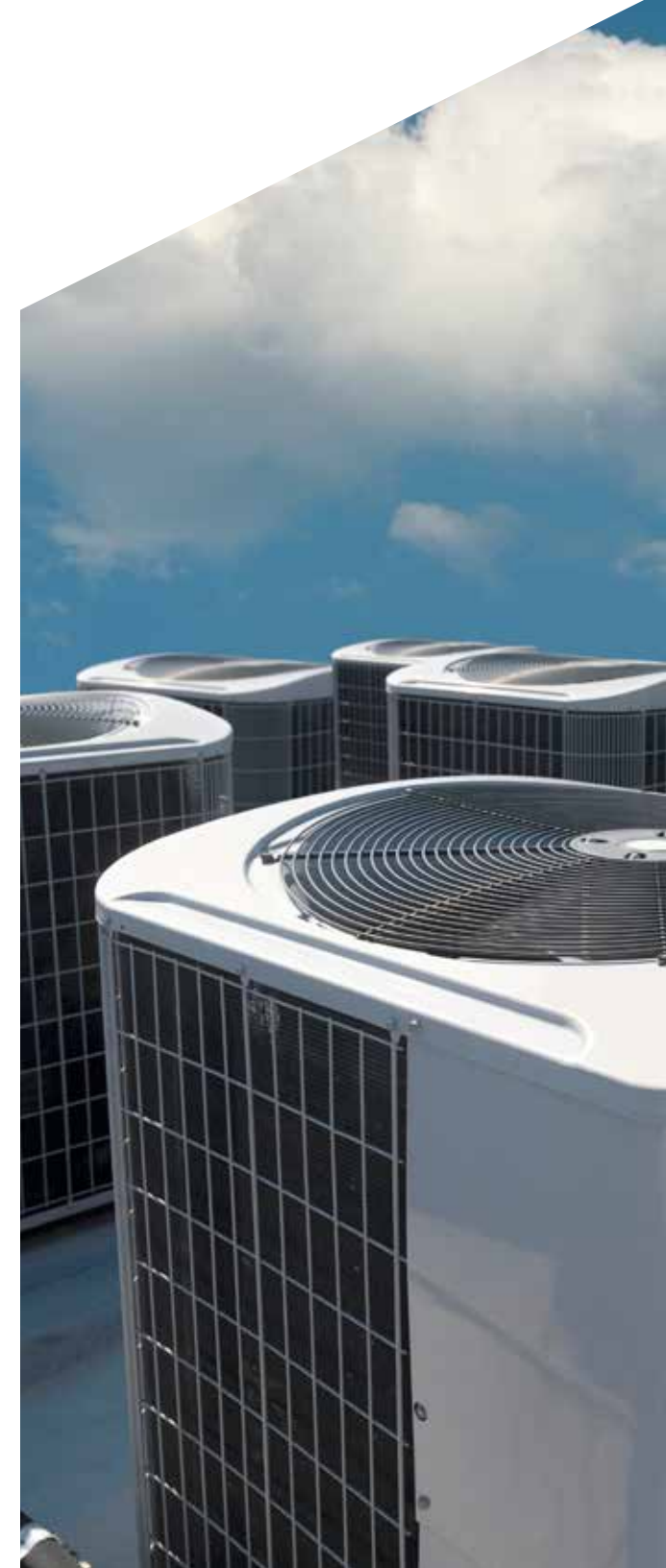
sen lassen. Die Berechnung der Füllmenge kann je nach Anwendungsbereich, d.h. Behaglichkeit von Personen oder Sonstige Anwendungen, variieren. So sind Szenarien möglich, in denen keine

zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind. Ebenso können an Aufstellungsorten der Klasse II höhere Füllmengen eingesetzt werden, wenn zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden. Für Aufstellungsorte der Klas-

se III gibt es keine Füllmengenbeschränkungen, vorausgesetzt, der Maschinenraum entspricht den Anforderungen der EN 378-3:2016 4.2 oder 4.3. Dennoch muss hier eine sorgfältige Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden.

Tabelle 5 - Aufstellungsorte gemäß EN 378

Mechanische Geräte im Personen-Aufenthaltsbereich	Verdichter im Maschinenraum oder im Freien	Maschinenraum oder im Freien	Belüftetes Gehäuse
Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV
			
Beispiele: Kühlvittrinen, tragbare Klimageräte, Kühlschränke, ...	Beispiele: Verflüssigereinheiten, Split-Klimageräte/ Wärmepumpen, ...	Beispiele: Chiller, Wärmepumpen, ...	Beispiele: spezielle Ausführungen

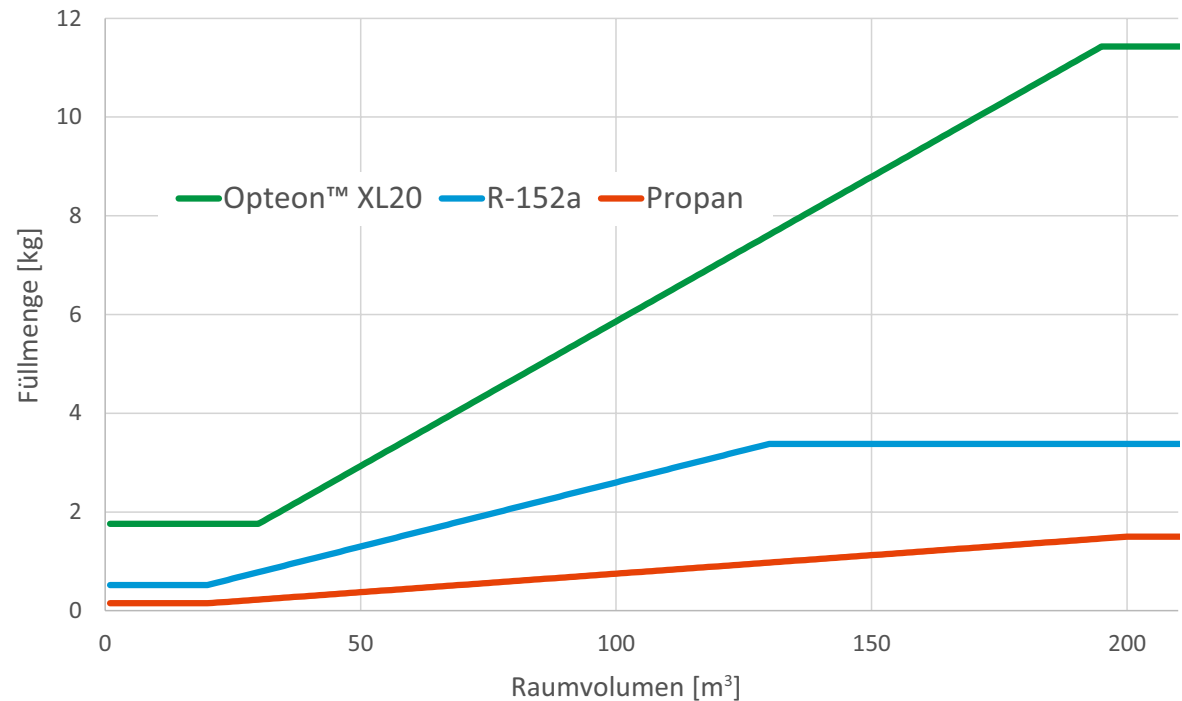


Füllmenge für Aufstellungsorte der Klasse I und II ohne zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen für die Kategorie „Sonstige Anwendungen“

Für Aufstellungsorte der Klasse I und Zugangskategorie a, b und c (> 1 Person/10 m²) sowie für Aufstellungsorte der Klasse II und Zugangskategorie a ohne zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen gilt eine Höchstfüllmenge von 20 % der UEG (in kg/m³) multipliziert mit dem Raumvolumen bis zu einem Höchstwert von $m_2 \times 1,5$ ($m_2 = 26 \text{ m}^3 \times \text{UEG kg/m}^3$). *Abbildung 4* fasst die Höchstfüllmengen für typische A2L-, A2- und A3-Kältemittel in diesen Klassen zusammen. Wie man sieht, kann die maximal erlaubte Füllmenge für A2L-Kältemittel mehr als 10-mal größer sein als für A3-Kältemittel. Wie weiter oben erwähnt, gilt für (hermetisch) geschlossene Systeme keine Beschränkung der Füllmenge auf weniger als $m_1 \times 1,5$ (*Tabelle 3*). Für nicht geschlossene Systeme ist die Raumvolumenberechnung jedoch weiterhin gültig.

Ein Beispiel aus der Praxis für einen Aufstellungsort der Klasse I, Zugangskategorie a wäre eine Kühlvitrine für Lebensmittel in einem kleinen Laden. Bei einem Raumvolumen von 6 m x 5 m x

Abbildung 4 - Exemplarische Höchstfüllmengen für A2L-, A2- & A3-Kältemittel für Aufstellungsorte der Klasse I, Zugangskategorien a, b & c und Aufstellungsorte der Klasse II, Zugangskategorie a



3,5 m (105 m³) wäre eine Kältemittelfüllmenge von maximal 6,15 kg Opteon™ XL20 erlaubt. Im Vergleich dazu läge die Höchstfüllmenge für Propan bei lediglich 0,788 kg. Da jedes System eine

abgeschlossene Einheit bildet, wären auch mehrere Systeme in einem Raum erlaubt.

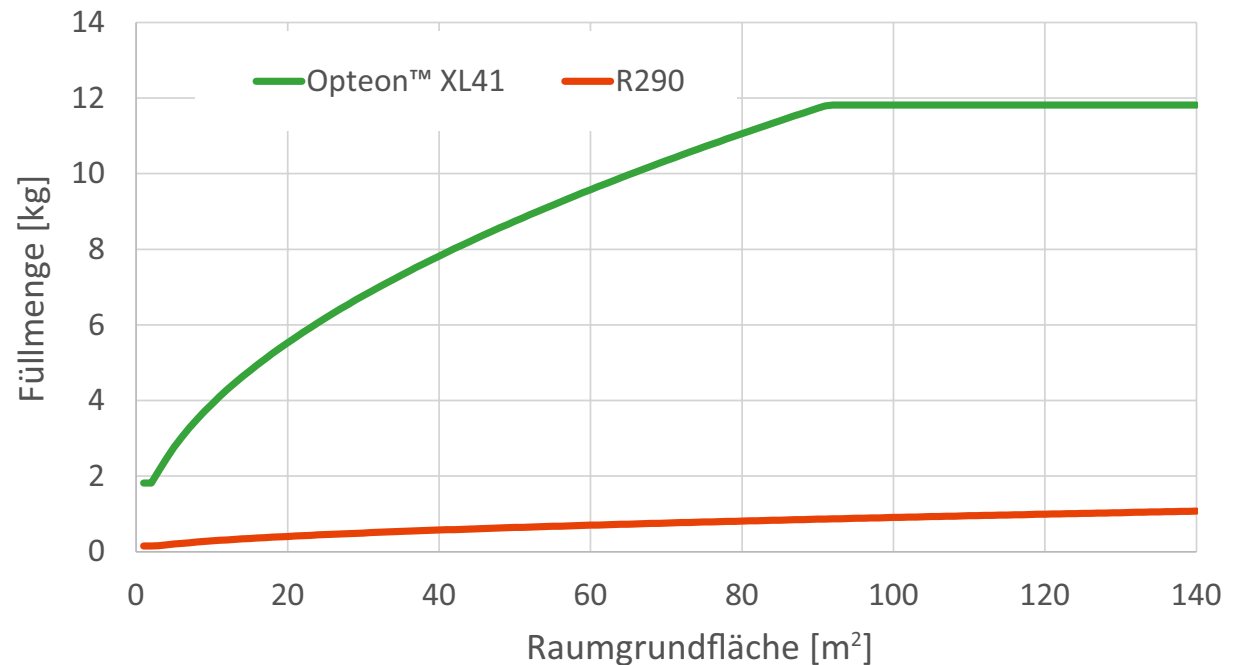
Für Aufstellungsorte der Klasse II und die Zugangskategorien b und c ($> 1 \text{ Person}/10 \text{ m}^2$) ist die Füllmengenberechnung identisch zu Zugangskategorie a. Hier ist jedoch eine größere Höchstfüllmenge von bis zu 25 kg erlaubt.

Bei Zugangskategorie c und einer Belegung von $< 1 \text{ Person}/10 \text{ m}^2$ erhöht sich die Höchstfüllmenge für Aufstellungsorte der Klasse I auf bis zu 50 kg. Für Aufstellungsorte der Klasse II gibt es in diesem Fall keine Füllmengengrenze, vorausgesetzt der Maschinenraum erfüllt die Anforderungen gemäß EN 378-3:2016 4.2 bzw. 4.3.

Füllmenge für Aufstellungsorte der Klasse I und II ohne zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen für die Kategorie „Behaglichkeit von Personen“

In der Kategorie „Behaglichkeit von Personen“ ist die Füllmengenberechnung für feststehende Systeme für Aufstellungsorte der Klasse I und II und Zugangskategorien a, b und c identisch. Die Formel, $m_{\text{max}} = 2,5 \times \text{UEG}^{5/4} \times h_0 \times A^{1/2}$, berücksichtigt einen Faktor Höhe (h_0), der sich entweder auf eine Boden- (0,6 m), Wand- (1,8 m), Fenster- (1,0 m) oder Deckenmontage (2,2 m) bezieht, und ba-

Abbildung 5 – Exemplarische Höchstfüllmengen für A2L- und A3-Kältemittel für deckenmontierte Klimageräte in der Kategorie „Behaglichkeit von Personen“



siert auf der Raumgrundfläche (A). Die erlaubte Höchstfüllmenge beträgt $1,5 \times m_2$.

Alternativ kann die Formel so verändert werden, dass die minimal zulässige Raumgrundfläche für eine gegebene Füllmenge berücksichtigt wird:

$A_{\text{min}} = m_2 / (2,5 \times \text{UEG}^{5/4} \times h_0)^2$. Ein exemplarischer Vergleich der erreichbaren Füllmengen für ein deckenmontiertes System der Kategorie „Behaglichkeit von Personen“ mit typischen A2L- und A3-Kältemitteln ist in *Abbildung 5* dargestellt.

Die in EN 378-1:2016 Anhang C2.2 für die Kategorie „Behaglichkeit von Personen“ vorgesehenen Anwendungsleitlinien enthalten eine spezielle Anforderung für nicht feststehende, ab Werk geschlossene, kompakte Einheiten bzw. Single-Einheit-Klimageräte oder Wärmepumpen

Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen bei höheren Füllmengen - Grenzwert für die Füllmenge bei Mindestbelüftung (engl. Quantity Limit Minimum Ventilation, QLMV) und Grenzwert für die Füllmenge bei zusätzlicher Belüftung (engl. Quantity Limit Additional Ventilation, QLAV)

Wie oben erwähnt sieht EN 378:2016 Vorkehrungen vor, die in den Bereichen „Behaglichkeit von Personen“ und „Sonstige Anwendungen“ höhere Füllmengen bei A2L-Kältemitteln erlauben, wenn zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden. Diese Vorkehrungen sind in EN 378-1:2016, Anhang C.3 definiert und erfordern, dass:

mit einer Füllung größer als $4 \times \text{UEG} \text{ (kg/m}^3\text{)}$, aber kleiner oder gleich $8 \times \text{UEG} \text{ (kg/m}^3\text{)}$. Für Kältemittel wie Opteon™ XL41 betrifft dies Füllmengen zwischen 1,2 und 2,4 kg und könnte den Einsatz solcher Systeme in Räumen mit einer Grundfläche von weniger als $14,55 \text{ m}^2$ einschränken.

- das System an einem Aufstellort der Klasse II installiert ist,
- die Füllmenge nicht größer ist als 150 kg und $m_3 \times 1,5$ nicht übersteigt ($m_3 = 130 \text{ m}^3 \times \text{UEG} \text{ kg/m}^3$),
- die Nennkühl- bzw. -heizleistung jedes im Inneren befindlichen Geräts nicht größer ist als 25 % der gesamten Kälte- bzw. Heizleistung der Anlage im Außenbereich,
- die im Inneren installierte Einheit gegen Schäden durch Eisbildung und Lüfterbruch geschützt ist,
- im Personen-Aufenthaltsbereich nur permanente Verbindungen verwenden

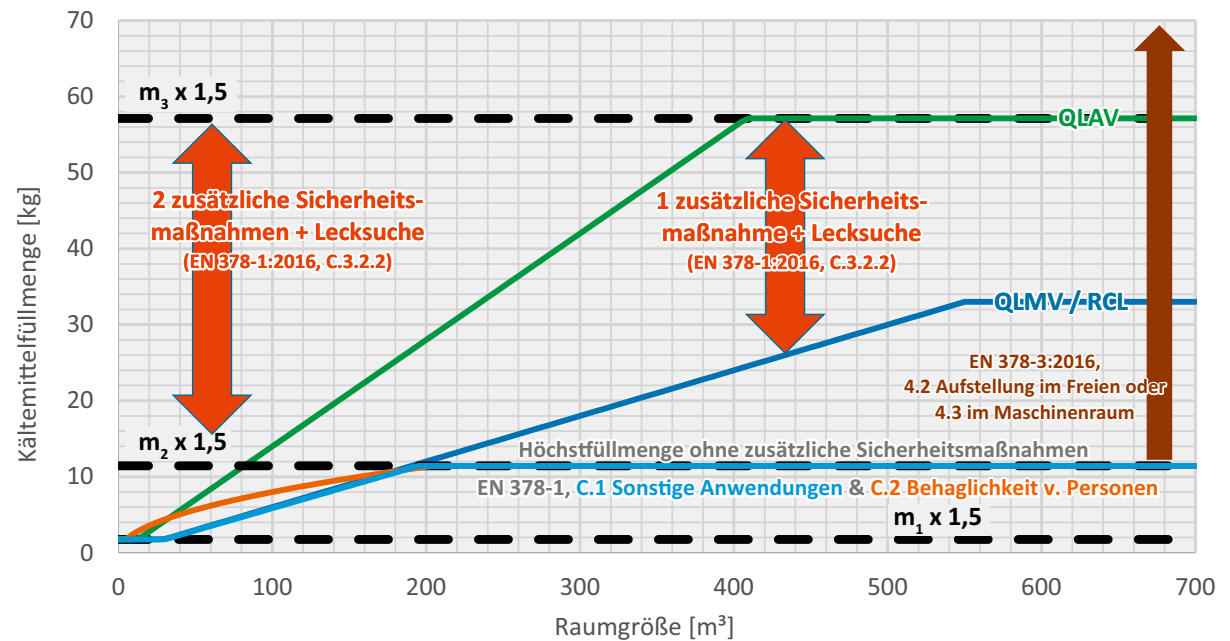


det werden (mit Ausnahme bauseitiger Verbindungen, die die Indoor-Einheit direkt mit der Rohrleitung verbinden),

- Kältemittelleitungen im Personen-Aufenthaltsbereich gegen unbeabsichtigte Beschädigungen durch Umwelteinflüsse (z. B. Wasser, Temperaturen, Schmutz usw.) oder Bewegungen einzelner Bauteile oder Geräte in der Umgebung (z. B. Vibrationen, sich bewegende Möbel usw.) geschützt sind,
- die Türen des Personen-Aufenthaltsbereichs nicht hermetisch dicht sind sowie
- der Abzug in unterhalb des Systems befindliche Ebenen durch Belüftung dieser Räume verringert wird.

Für die Berechnung des QLMV- und QLAV-Werts gilt eine maximale Raumgrundfläche von 250 m². Überschreitet die Füllmenge den QLMV-Wert, müssen geeignete Sicherheitsmaßnahmen wie zusätzliche Belüftung (natürliche oder mechanische Lüftung), Sicherheitsabsperrentile oder Sicherheitsalarme in Verbindung mit Leckagedetektoren eingesetzt werden.

Abbildung 6 - Höchstfüllmenge gemäß QLAV-Berechnung für Opteon™ XL40 (EN 378-1:2016, Anhang C.3) im Vergleich zur Höchstfüllmenge ohne zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen (EN 378-1:2016, Anhang C. bzw. C.2)



Gemäß EN 378-1:2016 Anhang C3.2.2.2 muss für oberirdische Räume mindestens eine dieser Maßnahmen umgesetzt werden, wenn die Kältemittelfüllung zwischen dem QLMV- und dem QLAV-Wert liegt. Liegt die Füllmenge über dem QLAV-Wert müssen mindestens zwei

dieser Maßnahmen umgesetzt werden. Wie *Abbildung 6* zeigt, sind dank dieser zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen Höchstfüllmengen von mehr als 50 kg möglich.

Um den Berechnungsprozess zu vereinfachen, wurde eine Kalkulationstabelle entwickelt, die alle möglichen Berechnungen enthält. Die Berechnungen für „Behaglichkeit von Personen“ und „Sonstige Anwendungen“ sind in separaten Arbeitsblättern verfügbar. Nach Auswahl des entsprechenden Arbeitsblatts müssen lediglich der zutreffende Aufstellungsort, die Zugangs-kategorie und das betreffende Kältemittel ausgewählt sowie die Abmessungen des Raums (es wird angenommen, dass es sich um einen recht-winkligen Raum handelt; ansonsten muss das Raumvolumen oder die Grundfläche berechnet und die entsprechenden Maße eingegeben werden, um dasselbe Volumen oder dieselbe Grund-fläche zu erhalten) und – falls bekannt – die geschätzte Kältemittelfüllmenge bei der Instal-

lation eingegeben werden. Als Ergebnis werden die Höchstfüllmenge mit und ohne zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen (C.1 oder C.2) sowie der QMLV- und der QLAV-Wert (C.3) angezeigt. Liegt die erforderliche geschätzte Füllmenge unterhalb der berechneten Höchstfüllmenge, wird die berechnete Höchstfüllmenge grün hinterlegt. Ist die geschätzte Füllmenge größer als die berech-nete, wird die berechnete Füllmenge rot hinter-legt. *Abbildung 7* zeigt eine Musterberechnung für Anwendungen aus dem Bereich „Behaglich-keit von Personen“.

Mit Hilfe der Kalkulationstabelle lassen sich die gemäß EN 378:2016 anzuwendenden Berech-nungsrichtlinien schnell und einfach herausfin-den. Es ist auch möglich, höhere Füllmengen

als in dieser Norm vorgesehenen zu verwenden. Jedoch muss der Planer/Installateur/Anwen-der in der Lage sein, durch eine entsprechende Gefährdungsbeurteilung nachzuweisen, dass eine höhere Füllmenge ein vertretbares Risiko darstellt.

Abbildung 7 – Beispiel einer Berechnung der Höchstfüllmenge mit Hilfe des Charge Size Calculators für den Bereich „Behaglichkeit von Personen“ gemäß EN 378-1:2016

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	Opteon™ XL Refrigerant Charge Calculator																	
2																		
3	Enter the Location, Access Categories and Refrigerant using the drop down list. Type in the room dimensions and estimated refrigerant charge.																	
4	(Always refer to the full EN 378:2016 standard to ensure all the necessary requirements are fulfilled)																	
5																		
6																		
7	Location Classification:		Class II		Compressors in machinery room or open air If all compressors and pressure vessels are either located in a machinery room or in the open air then the requirements for a class II location shall apply unless the system complies with the requirements of class III. Coils and pipework including valves may be located in an occupied space.													
8																		
9																		
10	Access Category:		c		Examples: Rooms, parts of buildings, buildings where only authorized persons have access, who are acquainted with general and special safety precautions of the establishment and where manufacturing, processing or storage of material or products take place Manufacturing facilities, e.g. for chemicals, food, beverage, ice, ice-cream, refineries, cold stores, dairies, abattoirs, non-public areas in supermarkets													
11																		
12																		
13	Other Applications or Low Occupancy:		Other Applications															
14																		
15																		
16	Refrigerant:		Opteon™ XL20		(R454C, GWP ¹ = 148)													
17																		
18	Room Dimensions / m				Height:		2.2 m		Length:		10 m							
19					Width:		20 m		Room Volume:		440 m ³							
20																		
21	Estimated Required Refrigerant Charge / kg:		25kg															
22																		
23	Refrigerant Charge Limits / kg																	
24																		
25	EN 378 Appendix C1:		25.00kg															
26																		
27																		
28	EN 378 Appendix C3 (QLMV):		26.40kg		Systems where the rated cooling (heating) capacity of the indoor unit is not more than 25 % of the total cooling (heating) capacity of the outdoor unit systems and where pipes serving equipment in the occupied space in question are not oversized relative to the capacity of that equipment, where the heat exchanger in the indoor unit and the control of the system are designed to prevent damage due to ice formation, where the refrigerant-containing parts of the indoor unit are protected against fan breakage or the fan is designed to prevent breakage, systems where only permanent joints are used in the occupied space in question except for site-made joints directly connecting the indoor unit to the piping, where the refrigerant-containing pipes in the occupied space in question are installed in such way that it is protected against accidental damage in accordance with EN 378-2:2016, 6.2.3.3.4 and EN 378-3:2016, 6.2, alternative provisions to ensure safety are provided in accordance with EN 378-1:2016, C.3.2.2 and C.3.2.3, doors of the occupied space are not tight-fitting and the effect of flow down is mitigated in accordance with C.3.2.4. If the value exceeds the QLMV, appropriate measures such as ventilation (natural or mechanical), safety shut-off valves and safety alarm, in conjunction with a gas detection device, see in EN 378-3:2016, Clauses 6, 8, 9 and 10. A safety alarm alone shall not be considered as an appropriate measure where occupants are restricted in their movement. (see EN 378-3:2016, 8.1) shall be taken.													
29	EN 378 Appendix C3 (QLAV):		57.14kg															
30																		
31																		
32																		
33	1. GWP values are from Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) Assessment Report 4 as specified in EU 517/2014 legislation.																	
34	Note: The information provided is intended only as a guide and should not be taken in isolation. All assessments should be made with reference to the full text contained within the current EN 378:2016 standard. Also the above calculations do not remove the need for a risk assessment before installing or using equipment utilising Opteon™ 2L Flammable refrigerants.																	
35	DISCLAIMER The information provided herein is believed to be accurate, but is not warranted nor is it intended to be used without independent verification. Because it is provided gratis, the reader assumes sole responsibility for any results obtained in reliance on this information. Statements or suggestions concerning possible use of our products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement, and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that all safety measures are indicated, or that other measures may not be required.																	

Gefährdungsbeurteilung – Betrachtung der Brennbarkeit

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Einhaltung der EN 378:20126 nicht bedeutet, dass auf eine Gefährdungsbeurteilung verzichtet werden kann. Obwohl gerne vernachlässigt, muss für alle Systeme, die Kältemittel verwenden – unabhängig von deren Brennbarkeitsklasse – eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden. Der Einsatz brennbarer Kältemittel bringt natürlich mögliche zusätzliche Risiken mit sich. Daher müssen alle für Kältemittel der Sicherheitsklasse A1 geltenden Standardverfahren zur Gefährdungsbeurteilung dahingehend überprüft werden, ob die mit brennbaren Substanzen verbundenen Risiken dort vollständig berücksichtigt sind.

Innerhalb der Europäischen Union ist die Betriebsrichtlinie ATEX 137 (1999/92/EG) die primäre Richtlinie für die Betrachtung. ATEX 137 wurde in Deutschland durch die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) in deutsches Recht umgesetzt. Die Betriebssicherheitsverordnung sieht eine Gefährdungsbeurteilung zu möglichen Wechselwirkungen zum Aufstellungsbereich bzw. der Einsatzumgebung der Kälteanlage vor – unabhängig davon, ob eine brennbare Substanz zum Einsatz kommt oder nicht. Zudem müssen vor der Inbetriebnahme von

Druckanlagen eine Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle sowie wiederkehrende Prüfungen durch eine befähigte Person erfolgen.

Die Europäische Norm EN 60079-10-1:2015 befasst sich mit den Grundprinzipien einer Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich der Bildung möglicherweise explosionsgefährdeter Atmosphären. Sie erfordert die Identifikation

- möglicher Freisetzungquellen,
- von Ausmaß, Häufigkeit und Dauer einer möglichen Freisetzung,
- der Effizienz vorhandener Belüftung,
- der Ex-Zone (explosionsfähige Atmosphäre ist während des normalen Betriebs ständig, gelegentlich oder nicht vorhanden),
- der Größe der Ex-Zone.

Zu den möglichen Hauptzündquellen, die bei Kälteanwendungen in Betracht kommen, gehören alle Geräte, die Energie in Form von Wärme, Elektrizität oder durch mechanische und che-

mische Prozesse erzeugen. Eine vollständige Liste möglicher Zündquellen enthält EN 1127-1:2012.

Für jede Phase der Verwendung – Planung und Montage, Installation/Stilllegung, Wartung, normaler Betrieb – ist eine eigene Gefährdungsbeurteilung erforderlich. Während dieser Arbeiten kann es erforderlich sein, zusätzliche temporäre Gefährdungszonen und Sicherheitsmaßnahmen einzuführen.

Nach Festlegung der Ex-Zonen wurden mögliche Zündquellen innerhalb der Zone identifiziert und entfernt bzw. Überwachungseinrichtungen installiert, um eine Zündung zu verhindern, falls eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen sollte.

Wie in *Tabelle 2* gezeigt, besitzen A2L-Kältemittel völlig andere Brennbarkeitseigenschaften als A3-Kältemittel wie Propan. So stellen viele Zündquellen, die bei Propan eine Zündung auslösen könnten, für A2L-Kältemittel keine Zündquellen dar. *Tabelle 6* fasst die Ergebnisse der durch das Air-Conditioning, Heating & Refrigeration Institute (AHRI) durchgeführten Tests⁽⁷⁾

zusammen. Sie zeigen sehr deutlich, dass viele Haushaltsgeräte und sogar Reibungsfunken oder glimmende Zigaretten bei A2L-Kältemitteln nicht als Zündquellen angesehen werden müssen. Die Zigarette ist sogar zwei Minuten nach Einbringen in das brennbare Kältemittel-Luft-Gemisch erloschen.

Table 6 - Ergebnisse von Zündtests mit A2L-Kältemitteln in stöchiometrischen Gas-Luft-Gemischen (explosionsfähige Atmosphäre) gemäß AHRI Report Nr. 8017

Mögliche Zündquelle	R-32	Opteon™ XL55	Opteon™ XL10
Heißer Draht	V	V	V
Streichholz	V	V	L
Feuerzeugflamme	V	L	L
Auf Kerze gerichtete Leckage	L	N	L
Zigarette	N	N	N
Grillanzünder	N	N	N
Stecker und Steckdose	N	N	N
Lichtschalter	N	N	N
Handmixer	N	N	N
Akkubohrer	N	N	N
Reibungsfunken	N	N	N
Haartrockner	N	N	N
Toaster	N	N	N
Heiße Oberfläche	N	N	N
Raumheizgerät	N	N	N

Legende: **V** - Verpuffung (Flamme breitet sich schnell von der Zündquelle aus), **L** - local begrenzte Flamme (keine Flammausbreitung), **N** - keine Verbrennung des Kältemittels



Zusammenfassung

Seit Veröffentlichung der ersten Studien zu den Umweltauswirkungen von Kältemittlemissionen auf die Atmosphäre im Jahr 1974 führte das Verständnis dieser Auswirkungen zur Entwicklung zunehmend nachhaltigerer Produkte, und die internationale Gesetzgebung ermutigte die Anwender, umweltfreundlichere Produkte einzusetzen. Die neuesten Regelungen, die auf den Beitrag von Kältemittlemissionen zum Klimawandel abzielen, haben eine Abkehr von Produkten mit hohem GWP wie R-404A über nicht brennbaren Produkte mit verringertem GWP wie Opteon™ XP40 hin zu gering brenn-

baren, HFO-basierenden und langfristig nachhaltigen Low-GWP-Kältemitteln wie die Opteon™ XL Reihe in Gang gebracht. Damit lassen sich die direkten CO₂-Emissionen letztendlich um mehr als 80 % reduzieren.

Die Verwendung gering brennbarer Kältemittel ist in der Branche noch neu, aber die Vorschriften und Normen entwickeln sich weiter und bieten Leitlinien zur sicheren Verwendung dieser Produkte mit Füllmengen, die mehr als das zehnfache der für hoch brennbare Kohlenwasserstoffe als „sicher“ geltenden Werte in

Personen-Aufenthaltsräumen betragen können. Diese Füllmengenflexibilität eröffnet Anlagenherstellern und Endanwendern Möglichkeiten, sicher und kosteneffizient auf nachhaltige Low-GWP-Alternativen umzusteigen. Derzeit werden die verschiedensten Anwendungen – von Klimaanlagen und Wärmepumpen, kleinen Systemen für den Einzelhandel bis hin zu gewerblichen Kälteanlagen mit mehreren Verdichtern – entwickelt, um die vorteilhaften Eigenschaften der Opteon™ XL Reihe zu nutzen. Die technischen Experten von Chemours stehen zur Unterstützung solcher Entwicklungen gerne zur Verfügung.

Quellenangaben

1. Verordnung (EU) Nr 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase.
2. Erweiterung des Montrealer Protokolls zum Schutz der Ozonschicht, Kigali, 15. Oktober 2016, Referenz: C.N.872.2016.TREATIES-XXVII.2.f.
3. 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, 33, 2007.
4. Fluorinated greenhouse gases 2018 Data reported by companies on the production, import, export and destruction of fluorinated greenhouse gases in the European Union, 2007-2017, EEA Report no 211/2018, ISBN 978-92-9213-991-9, doi:10.2800/16180.
5. Monitoring of refrigerant prices against the background of Regulation (EU) No 517/2014 Q3/2018 - January 2019, Öko-Recherche, Contract No. 4.0201 / 2015 / 716695 / SER/ CLIMA.C.2.
6. Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG).
7. AHRI Report No. 8017, Investigation of Energy Produced by Potential Ignition Sources in Residential Application, Final Report, November 3, 2017, Dennis K. Kim and Peter B. Sunderland, Department of Fire Protection Engineering, University of Maryland, College Park, Maryland.

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.com/regulations](https://www.opteon.com/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.

©2019 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.