



# KÜHLUNGSOPTIONEN: DIE BALANCE ZWISCHEN SICHERHEIT, LEISTUNG UND KOSTEN – GEWERBLICHE KÄLTETECHNIK

## GEWERBLICHE KÄLTETECHNIK (40 KW – 150 KW)

Da die EU der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in ihrer politischen Agenda weiterhin Priorität einräumt, ist die Rolle nachhaltiger Kühllösungen für Unternehmen und Verbraucher gleichermaßen wichtiger denn je. Hydrofluorolefine (HFOs), eine weit verbreitete Kältemitteltechnologie, stehen nun im Mittelpunkt einer möglichen Änderung der Rechtsvorschriften.

Die Abkehr von HFOs würde die Verfügbarkeit geeigneter Alternativen erfordern. Die derzeitigen industriellen Alternativen in der gewerblichen Kältetechnik, darunter Propan, CO<sub>2</sub> und Ammoniak, könnten die Kosten für die Industrie jedoch aufgrund der geringeren Leistung, des erhöhten Wartungsaufwands und der geringeren Energieeffizienz in die Höhe treiben, und eine Nachrüstung ist nicht möglich, da Drop-in-Lösungen nicht praktikabel sind. Darüber hinaus sind HFOs im Gegensatz zu den Alternativen nicht giftig und nur schwer entflammbar, was bei Endverbrauchern hinsichtlich ihrer Sicherheitsbedenken beruhigt.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE



### **Supermärkte und Lebensmittelgeschäfte:**

Zur Frischhaltung von Obst, Milchprodukten, Fleisch und Tiefkühlware für Verbraucher.



### **Gesundheitseinrichtungen:**

In Krankenhäusern und Kliniken zur sicheren Lagerung von Medikamenten, Blut und Laborproben.



### **Industrielle Verarbeitung:**

Essenziell in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie für die Verarbeitung und Haltbarmachung von Produkten.



**Kühlagerhäuser:** Konzipiert für die langfristige Lagerung großer Mengen verderblicher Waren.



**Bürogebäude:** Sichert angenehme Raumtemperaturen und präzise Klimasteuerung.



### **Restaurants und Hotels:**

Unverzichtbar für Küchenbetrieb, Zutatenlagerung und Gastronomie.

# HFOS VS. ALTERNATIVEN – GEWERBLICHE KÄLTETECHNIK (40 KW – 150 KW)

Wie der folgenden Tabelle zu entnehmen ist, erfüllen oder übertreffen HFOS in nahezu allen Kategorien – von Energieeffizienz über Gefahrenklassifizierung bis hin zum kontrollierten Lebenszyklus – die Erwartungen. Dies unterstreicht deutlich den unübertroffenen Nutzen von HFOS im Vergleich zu anderen industriellen Alternativen in der gewerblichen Kältetechnik.

|   | HFOS und HFO-Gemische (454C / 455A)  | Propan  | CO <sub>2</sub>   | Ammoniak *   |
|---|--|---|---|--|
| <b>Energieeffizienz (Geräte und Systeme)</b>  | 454C und 455A im Vergleich zu 410-A <sup>1</sup>   | Geringere Effizienz (5 % bis 21 % mehr Energie als HFOGemische) <sup>1</sup>  | Geringere Effizienz (8 % bis 50 % mehr Energie als HFOGemische) <sup>1</sup>  | N/A  |
| <b>Technische Realisierbarkeit</b>            | Technisch realisierbar mit Standard-Systemkosten <sup>2</sup>  | Technisch realisierbar, jedoch höhere Systemkosten <sup>3</sup>   | Technisch realisierbar, jedoch höhere Systembeschaffungskosten <sup>4</sup>   | Technisch realisierbar, jedoch höhere Systemkosten <sup>5</sup>  |
| <b>ASHRAE-Bewertung</b>                       | A2L <sup>7</sup>   | A3 <sup>7</sup>   | A1 <sup>7</sup>   | B2L <sup>7</sup>   |
| <b>Gefahrenklassifizierung (CLP)</b>          | H280 – Gas unter Druck <sup>8</sup><br> | H280 – Gas unter Druck <sup>10</sup><br> | H280 – Gas unter Druck <sup>11</sup><br> | H280 – Gas unter Druck <sup>12</sup><br>H331 – Giftig bei Einatmen <sup>12</sup><br>H314 – Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden <sup>12</sup><br>H400 – Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung <sup>12</sup><br>H411 – Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung <sup>12*</sup><br><br> |
| <b>Atmosphärische Produkte</b>                | TFA, % variiert je nach Mischung <sup>13</sup>   | Trägt zu bodennahen Ozon und Aldehyden bei <sup>14, 15</sup>  | Atmosphärische Akkumulation <sup>16</sup>   | Geringe Luftqualität, Feinstaub und Stickoxide (NO <sub>x</sub> ) <sup>17, 18</sup>  |
| <b>Kontrollierter Lebenszyklus</b>            | Rückgewinnung oder Zerstörung gemäß EU-F-Gas-Verordnung (Art. 8) <sup>19</sup>   | Rückgewinnung und Recycling für gewerbliche Systeme <sup>20</sup>   | Nicht vorgeschrieben, wird in der Regel in die Atmosphäre abgegeben <sup>21</sup>   | Vorgeschrieben, jedoch technisch komplex/kostspielig, erfordert Verbrennung oder eine wässrige Behandlung <sup>20</sup>  |
| <b>Aktuelle Verfügbarkeit von Kältemittel</b> | Akzeptabel <sup>8, 9</sup>   | Akzeptabel <sup>10</sup>  | Akzeptabel <sup>11</sup>  | Akzeptabel <sup>12</sup>   |
| <b>Geräte-/ Systemeinführung</b>              | Breites Anwendungsspektrum (Lebensmitteleinzelhandel, Gastronomie, Kühlgeräte, Rechenzentren) <sup>23</sup>              | Kleinere Anwendungen (begrenzte Füllmenge oder Kaskadenschaltung) <sup>23</sup>   | Hybridsysteme (Kühlhäuser, Supermärkte, Rechenzentren) <sup>23</sup>  | Gewerblich (Kaskade mit CO <sub>2</sub> (warme Klimazonen >38 °C), Industriell) <sup>23, 24</sup>  |
| <b>Amortisationszeit/ROI</b>                  | Angenommene Ausgangsbasis <sup>2, 22</sup>   | Erhöht (mehrere Kompressoren, zusätzliche Leckageerkennung Alarmer) <sup>3</sup>  | Erhöht (kundenspezifische Elektronik, zusätzliche Komponenten/Software) <sup>4</sup>  | Erhöht (höhere Anschaffungskosten, Nettokostensteigerungen über 20 Jahre)  |
| <b>Zukünftige Entwicklung**</b>               | Ermöglicht hocheffiziente Turbokompressoren der nächsten Generation <sup>25</sup>  | Ermöglicht hocheffiziente Turbokompressoren der nächsten Generation – bislang nur begrenzt verfügbar <sup>25</sup>        | Nicht kompatibel mit Turbokompressoren, erfordert Schmiermittel <sup>25</sup>   | Inkompatibel mit Turbokompressoren, Materialbeschränkungen <sup>25</sup>   |

\* Nischenanwendungen im gewerblichen Bereich

\*\* Turboverdichter-Kälteanlagen nutzen Hochgeschwindigkeits-Zentrifugalverdichter zur Kältemittelverdichtung und -kühlung, wodurch sie eine effiziente Temperaturregelung für großtechnische industrielle und gewerbliche Anwendungen ermöglichen – wie etwa in Klimaanlage oder Prozesskühlsystemen.

# ASHRAE Bezeichnungen und Sicherheitsklassifizierungen von Kältemitteln<sup>1</sup>

|                            |                           | SICHERHEITSGRUPPE                            |                              |
|----------------------------|---------------------------|--|------------------------------|
| ERHÖHTE<br>ENTFLAMMBARKEIT | Höhere Entflammbarkeit    | <b>A3</b>                                    | <b>B3</b>                    |
|                            | Geringere Entflammbarkeit | <b>A2</b>                                    | <b>B2</b>                    |
|                            |                           | <b>A2L<sup>2</sup></b>                       | <b>B2L<sup>2</sup></b>       |
|                            | Keine Flammenausbreitung  | <b>A1</b>                                    | <b>B1</b>                    |
|                            |                           | <b>Niedrigere Gefahrenklasse</b>             | <b>Höhere Gefahrenklasse</b> |
|                            |                           | <b>ZERTIFIZIERUNG FÜR ERHÖHTE SICHERHEIT</b> |                              |

1 ASHRAE <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/refrigeration/unep---ashrae-factsheet--english----april2023.pdf>

2 A2L und B2L sind schwerentflammbare Kältemittel mit einer maximalen Brenngeschwindigkeit von <10 cm/s.

# GEWERBLICHE KÄLTETECHNIK – REFERENZEN:

1. Oak Ridge National Laboratory (2023). Technology Option for Low Environmental Impact Air-Conditioning and Refrigeration Systems. Pub200582.pdf (ornl.gov)
2. Carrier (2019). Case Study: Gatwick Airport Ultra Low GWP. Case study - Gatwick Airport Ultra Low GWP | Carrier Europe
3. Climate & Clean Air Coalition (2016). Lower-GWP Alternatives in Commercial and Transport Refrigeration: An expanded compilation of propane, CO<sub>2</sub>, ammonia and HFO case studies (pg 56-58). Climate and Clean Air Coalition (CCAC)
4. Climate & Clean Air Coalition (2016). Lower-GWP Alternatives in Commercial and Transport Refrigeration: An expanded compilation of propane, CO<sub>2</sub>, ammonia and HFO case studies (pg 70-73). Climate and Clean Air Coalition (CCAC)
5. Climate & Clean Air Coalition (2016). Lower-GWP Alternatives in Commercial and Transport Refrigeration: An expanded compilation of propane, CO<sub>2</sub>, ammonia and HFO case studies (pg 20-23). Climate and Clean Air Coalition (CCAC)
6. Climate & Clean Air Coalition (2016). Lower-GWP Alternatives in Commercial and Transport Refrigeration: An expanded compilation of propane, CO<sub>2</sub>, ammonia and HFO case studies (pg 52-55). Climate and Clean Air Coalition (CCAC)
7. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022). ANSI/ASHRAE Standard 34-2022: Designation and Safety Classification of Refrigerant. (ASHRAE)
8. Safety Data Sheets – 454C and 455A
9. European Chemical Agency (ECHA) (2025). REACH Registration Dossier – 1234ze
10. European Chemical Agency (ECHA) (2025). REACH Registration Dossier – Propane
11. European Chemical Agency (ECHA) (2025). REACH Registration Dossier – Carbon Dioxide
12. European Chemical Agency (ECHA) (2025). REACH Registration Dossier – Ammonia, \*Harmful to aquatic life with lasting effects
13. United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer: 2022 Assessment Report of the Environmental Effects Assessment Panel. Nairobi, Kenya: UNEP. (ISBN: 978-9914-733-91-4), Fig 12.
14. Rosado-Reyes, C. M. and J. S. Francisco (2007). "Atmospheric oxidation pathways of propane and its by-products: Acetone, acetaldehyde, and propionaldehyde." J.Geophysic.Res. Atmo. 112(D14). <https://doi.org/10.1029/2006JD007566>
15. Huo, Erguang et al. (2022). The combustion mechanism of leaking propane (R290) in O<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O environments: ReaxFF molecular dynamics and density functional theory study. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.03.080>
16. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Sixth Assessment Report (2023), Frequently Asked Questions (FAQ) 5.1, 5.3. IPCC\_AR6\_WGI\_FAQ\_Chapter\_05.pdf
17. Li et al (2020). Human Ammonia Emission Rates under Various Indoor Environmental Conditions. Human Ammonia Emission Rates under Various Indoor Environmental Conditions (acs.org)
18. Jan Willem Erisman (2021). How ammonia feeds and pollutes the world. Science (374),685-686. <https://doi.org/10.1126/science.abm3492>.
19. Regulation 2024/573/EU of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases (2024), OJ 20.2.2024,(Article 8) L\_202400573EN.000101.fmx.xml
20. Association of European Refrigeration Component Manufacturers (ASERCOM) (2019). Guideline: Safety Standards and Components for flammable refrigerants. English\_SafetyStandardsandComponentsforFlammableRefrigerants.pdf
21. Commercial CO<sub>2</sub> Product Guide (Emerson, pg 10) (2021). CO<sub>2</sub> product guide
22. Climate & Clean Air Coalition (2014). Low-GWP Alternatives in Commercial Refrigeration: Propane, CO<sub>2</sub>, and HFO case studies. Low-GWP\_Alternatives\_in\_Commercial\_Refrigeration-Case\_Studies-Final.pdf (pg 27).
23. Nordic Council of Ministers (2024). End-of-life treatment of Hydrofluoroolefins (HFOs). End-of-life treatment of Hydrofluoroolefins (HFOs).
24. Climate & Clean Air Coalition (2016). Lower-GWP Alternatives in Commercial and Transport Refrigeration: An expanded compilation of propane, CO<sub>2</sub>, ammonia and HFO case studies (pg 16-19). Climate and Clean Air Coalition (CCAC)
25. El Samad, T., et al. (2024). "A review of compressors for high temperature heat pumps." Thermal Sci & Engineering Prog. 51: 102603. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102603>