

# Das Ende der F-Gase. Wie Transportkälte-Betreiber jetzt den Sprung auf die nächste Evolutionstufe meistern.



Praxisleitfaden für den Umstieg  
auf natürliche Kältemittel und  
klimafreundliche Transportkälte.

# Executive Summary

Synthetische Kältemittel stehen vor dem regulatorischen Aus. Die EU F-Gas-Verordnung 2024/573 und die erwartete REACH-Verordnung 2027 werden den Markt für fluoriierte Gase systematisch verknappen und bis Mitte der 2030er-Jahre weitgehend eliminieren.

Für Aufbauhersteller und Flottenbetreiber ist das keine ferne Regulierungsdiskussion. Es ist eine unmittelbare wirtschaftliche Realität: steigende Kältemittelkosten, wachsende Compliance-Risiken und ein Servicemodell, das auf einer auslaufenden Technologie basiert.

Die Branche reagiert mit Ausweichstrategien: von HFKWs wie R452A auf HFOs wie R454a und R513a. Doch diese Drop-in-Lösungen bringen das Grundproblem nicht aus der Welt – sie verschieben es. Von Klimawirkung zu Toxizität. Von einer Verordnung zur nächsten.

Dieses Whitepaper analysiert die regulatorischen Treiber, beleuchtet die Grenzen aktueller Ausweichstrategien und zeigt, warum der Wechsel auf natürliche Kältemittel – insbesondere Propan (R290) – keine ökologische, sondern eine betriebswirtschaftliche Entscheidung ist.

**2.000 x**  
klimaschädlicher  
F-Gase vs. CO<sub>2</sub>

**2027/28**  
REACH-Verordnung  
PFAS-Verbot  
erwartet

**€ 200**  
CO<sub>2</sub>-Preis/Tonne  
ETS 2 bis 2032  
erwartet

**GWP < 3**  
Propan R290  
vs. R452A  
GWP 2.140

# Temperaturgeführter Transport im Wandel.

Die europäische Urban Cold Chain steht an einem Scheideweg. Auf der einen Seite wächst der Bedarf an temperaturführenden Transporten – getrieben durch den Onlinehandel mit frischen Lebensmitteln, strengere Pharma-Lieferketten und den Boom urbaner Zustelldienste. Auf der anderen Seite geraten die technologischen Grundlagen dieser Branche unter massiven regulatorischen und wirtschaftlichen Druck.

Im Zentrum: die Kältemittel. Jahrzehntlang waren fluoridierte Gase der selbstverständliche Standard. Sie funktionieren. Sie sind verfügbar. Und ihr Einsatz ist tief in den Servicemodellen der Branche verankert. Doch diese Selbstverständlichkeit hat ein Ablaufdatum.



Kältemittel sind für das Klima über 2.000-mal schädlicher als CO<sub>2</sub>. Ein Leck an einer einzigen Anlage kann die jährliche Klimawirkung eines Mittelklassewagens übersteigen.

Gleichzeitig vollzieht sich die Elektrifizierung der letzten Meile schneller als erwartet. Immer mehr Kommunen in Europa etablieren Zero Emission Zones. Immer mehr Flottenbetreiber sind gezwungen, ihre Fahrzeugflotte auf E-Antrieb umzustellen — und stehen damit vor der Frage, welches Kühlsystem zu einem elektrischen Transporter passt. Die Antwort der etablierten Hersteller: dieselben fluoridierten Gase, nur in einem neuen Gehäuse.



# Drei Regulierungen die alles verändern.

## 1. Die EU F-Gas-Verordnung

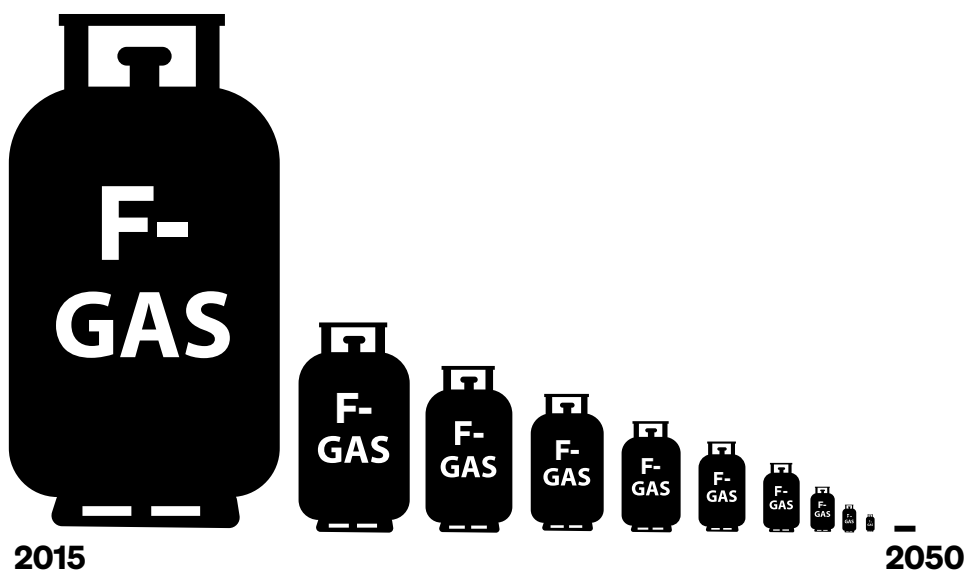
Die überarbeitete EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase (EU 2024/573) ist das schärfste Instrument zur Begrenzung von Kältemittlemissionen, das Europa je beschlossen hat. Im Kern: ein stufenweiser Phase-down und schließlich Phase-out der gängigsten synthetischen Kältemittel.

### Was die Verordnung regelt

- Schrittweise Verknappung der HFKW-Gesamtmenge auf dem europäischen Markt
- Verkaufsverbote für bestimmte Produkte mit hochpotenten F-Gasen
- Verschärfung der Leckage-Kontrollpflichten
- Erweiterung der Zertifizierungspflichten für Techniker
- Vollständiger Phase-out der gängigsten Kältemittel bis 2050

### Was das für die Branche bedeutet

- Steigende Preise für F-Gas-Kältemittel durch künstliche Verknappung
- Wachsende Compliance-Kosten durch verschärfte Prüfpflichten
- Investitionen in Technologien, Schulungen, Service-Netzwerke, die in 10–15 Jahren obsolet sind
- Zunehmende Abhängigkeit von extern zugelassenen Kältetechnikern
- Wachsendes Risiko von Lieferengpässen bei Kältemitteln



# Die falsche Lösung – und ihre Nachfolger.

Die Branche reagiert auf den regulatorischen Druck mit einer Strategie, die so alt ist wie das Problem selbst: dem Ausweichen auf das nächstbeste synthetische Kältemittel. Zuerst war es der Wechsel von R404A auf R452A.

Heute propagieren viele Hersteller HFOs wie R513a und R454a als die eigentliche Lösung. Beide Ansätze folgen derselben Logik – und scheitern an derselben Grenze.

## R452A: Die Scheinlösung der ersten Welle

R452A wurde als Übergangslösung eingeführt – ein Kältemittel mit niedrigerem GWP als R404A, das bestehende Systeme mit minimalen Anpassungen weiternutzen kann. Klingt pragmatisch. Ist aber ein Aufschub, kein Ausweg.

R452A hat ein GWP von 2.140. Es enthält fluoridierte Bestandteile, die unter die PFAS-Definition fallen.



Wer heute auf R452A, R513a oder R454a umstellt, investiert in eine Technologie, die durch die erwartete REACH-Verordnung 2027/28 erneut unter Druck geraten wird.



### Red Flag Alert

HFO-Technologien mit dem Risiko einer PFAS-Klassifizierung könnten sich schon bald als Stranded Assets präsentieren.

## HFOs – die Scheinlösung der zweiten Welle.

Hydrofluorolefine (HFOs) wie R513a oder R454a werden heute von vielen Herstellern als die eigentliche Antwort auf die F-Gas-Problematik positioniert. Ihr GWP ist drastisch niedriger als das herkömmlicher HFKWs – R454a hat ein GWP von 238. Auf den ersten Blick ein überzeugender Fortschritt.

Auf den zweiten Blick offenbart sich das Problem: HFOs sind ebenfalls fluoridierte Verbindungen. Einige von ihnen bilden beim chemischen Abbau Trifluoressigsäure (TFA).

Auch R513a und R454a bringen ein spezifisches Toxizitätsproblem mit sich: Beide Gemische enthalten R1234yf – eine Komponente, die in der Atmosphäre zu Trifluoressigsäure (TFA) zerfällt. TFA ist wasserlöslich, persistent und reichert sich in Gewässern, Bodenorganismen und der Nahrungskette an.

Auch aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ist es ratsam, bei Investitionen mit PFAS-Bezug die regulatorischen Warnzeichen nicht zu ignorieren. TFA wird als PFAS klassifiziert – und fällt damit in den Scope der für 2027 erwarteten REACH-Verordnung.



HFOs lösen das F-Gas-Problem nicht.  
Sie tauschen Klimawirkung gegen Toxizität –  
und verschieben das Problem von einer  
Verordnung zur nächsten.

## Das Muster der Drop-in Strategien.

Die Geschichte der Kältemittelentwicklung ist die Geschichte immer neuer Ausweichmanöver:

**R22 (HFKW)** → verboten wegen Ozonabbaus

**R404A (HFKW)** → Phase-out wegen GWP 3.922

**R452A (HFKW-Gemisch)** → unter Druck durch F-Gas-VO und PFAS

**R513a (HFO)** → TFA-Problematik, PFAS-Definition, REACH-Risiko

Jede Generation wird als Lösung vermarktet. Jede Generation ist in Wirklichkeit ein Aufschub. Das Grundproblem – synthetische Fluorverbindungen in offenen Systemen – bleibt in jeder Iteration bestehen.

**Wer auf Drop-in-Strategien setzt, kauft Zeit. Aber keine Zukunft.**

## 2. REACH und das PFAS-Verbot.

Parallel zur F-Gas-Verordnung entwickelt sich eine zweite regulatorische Front: der europäische Chemikalienrahmen REACH. Die EU-Behörden haben einen universellen Beschränkungsantrag für PFAS vorgelegt – eine Stoffgruppe, unter die sowohl herkömmliche HFKWs wie R452A als auch HFOs wie R454a und R513a fallen.



PFAS sind synthetische Verbindungen, die in der Umwelt praktisch nicht abgebaut werden. Sie akkumulieren in Organismen, im Trinkwasser und im Boden – und bei HFOs kommt die aktive Toxizität durch TFA-Zerfallsprodukte hinzu. Ein breites PFAS-Verbot wird für 2027/28 erwartet, mit Übergangsfristen bis Mitte der 2030er-Jahre.

### Was das PFAS-Verbot für Kältsysteme bedeutet.

- HFKWs wie R452A und HFOs wie R454a und R513a fallen als fluoridierte Verbindungen unter die PFAS-Definition
- Neue Anlagen mit diesen Kältemitteln könnten bereits ab 2027 nicht mehr zugelassen werden
- Drop-in-Strategien – der Wechsel von einem fluoridierten Kältemittel zum nächsten – bieten keinen regulatorischen Schutz mehr
- Betreiber bestehender Anlagen müssen mit steigenden Beschaffungskosten und absehbarem Wartungsverbot rechnen
- Der Wiederverkaufswert von Fahrzeugen mit fluoridierten Kältemitteln wird mit jedem Jahr sinken



### 3. ETS 2: Der Preis des Wartens steigt.

Ab 2028 wird das europäische Emissionshandelssystem auf den Straßenverkehr ausgeweitet (ETS 2). Experten prognostizieren einen CO<sub>2</sub>-Preis von bis zu € 200 pro Tonne bis 2032 – möglicherweise € 275/Tonne bis 2040.

**+60 ct**  
pro Liter Benzin

Annahme CO<sub>2</sub>-Preis  
€ 200/t (2032)

**+80 ct**  
pro Liter Diesel

Geschätzte  
Mehrkosten 2032

**€ 275**  
pro Tonne CO<sub>2</sub>

Mögliches Szenario  
bis 2040

Für Flottenbetreiber, die noch auf Diesel-Antrieb und synthetische Kältemittel setzen, addieren sich die Kosteneffekte: höhere Treibstoffkosten durch CO<sub>2</sub>-Bepreisung, steigende Kältemittelpreise durch F-Gas-Verknappung, wachsende Compliance-Aufwendungen.

**Die Wirtschaftlichkeitsrechnung kippt – früher als viele Betriebsplaner erwarten.**



# Was das konkret bedeutet.

## Für Aufbauhersteller

Das Geschäftsmodell vieler Aufbauhersteller basiert auf zwei Säulen: dem Aufbaugeschäft und dem wiederkehrenden Service der Kälteanlagen. Die F-Gas-Verordnung, das PFAS-Risiko und die strukturellen Grenzen von Drop-in-Strategien erodieren beide Säulen gleichzeitig.

### Die unbequeme Wahrheit



- Wer R452A oder HFOs verbaut, bietet seinen Kunden eine Technologie mit absehbarem Ablaufdatum
- Drop-in-Strategien sind kein strategischer Schutz – sie verzögern die unausweichliche Investitionsentscheidung
- Der Einbauaufwand konventioneller Systeme bleibt konstant hoch
- Die laufende Anpassung an Technologie-Updates erfordert wiederkehrende Investitionen in Training und Ausstattung.
- Das Servicegeschäft mit fluorierten Kältemitteln wird regulatorisch ausgedünnt

## Für Flottenbetreiber

Die Betriebskosten eines Kühltransporters bestehen aus weit mehr als Treibstoff und Leasing. Die regulatorischen Veränderungen – verstärkt durch die Grenzen von HFO-Ausweichstrategien – machen eine vollständige TCO-Neuberechnung unumgänglich.

### Die unbequeme Wahrheit

- Kältemittelpreise steigen durch künstliche Verknappung jährlich weiter
- HFOs mit R1234yf-Anteil bieten keine regulatorische Sicherheit – PFAS-Verbot gilt auch hier
- Die halbjährliche Wartung (alle 1.500 Betriebsstunden) bindet Fahrzeuge und verursacht zusätzliche Stehzeiten
- Technologische Veränderungen (alle 2–4 Jahre) führen zu instabilen Abläufen in der Flotte
- ETS 2 verteuert den Dieselmotorbetrieb ab 2028 signifikant
- Fahrzeuge mit fluorierten Kältemitteln verlieren massiv an Restwert

### Die Chance

- Frühzeitige Umstellung auf natürliche Kältemittel schafft regionale Marktführerschaft
- Wartungsfreie Systeme reduzieren Komplexität und Haftungsrisiken
- Die Nachfrage nach E-LCV-Kühlung wächst jährlich

### Die Chance

- Wartungsfreie Systeme mit natürlichem Kältemittel eliminieren Kostenrisiken
- +15 % Nutzlast und +25 % Reichweite durch Leichtbau und hohen COP-Wert
- Digitaler Zwilling liefert Echtzeitdaten für KI-gestützte Logistik
- Zukunftssichere Investition: Natürliche Kältemittel sind über 2050 hinaus ohne Einschränkungen nutzbar



# Die Antwort, die bereits funktioniert.

Kohlenwasserstoffe, insbesondere Propan, sind keine neuen Kältemittel. Was neu ist: einem österreichischen Kältetechnik-Start-up ist es gelungen, die thermodynamischen Vorteile von R290 für den temperaturgeführten Transport nutzbar zu machen. Exzellente Energieeffizienz und hervorragende Kälteleistung bei minimalem Treibhauspotenzial liefern die optimale Basis, für eine neue Generation von Transportkälteanlagen, die Schluss macht mit traditionellen Systemabhängigkeiten und in der Kältemittel-Frage langfristig Sicherheit schafft.



**Propan R290 macht den Weg frei für die nächste Evolutionsstufe des temperaturgeführten Transports – kostenfreundlich, klimafreundlich und zukunftssicher.**

**Bei pbx cooling hat diese Zukunft bereits begonnen.** Das Transportkühlsystem ecos M24 – das Ergebnis einer intensiven Forschungsarbeit seit 2019 – löst den klassischen Zielkonflikt zwischen Klimafreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit. Durch den Einsatz des natürlichen Kältemittels R290 bei minimalem Aufwand bietet die Technologie maximalen operativen Nutzen. Aus Logistik-Sicht definieren die Plug-and-Play-Installation, die absolute Wartungsfreiheit des Kältekreises sowie 50+ Messpunkte, deren kontinuierliche Datenströme den Aufbau einer KI-optimierter Disposition ermöglichen, den aktuellen Stand der Technik in der urbanen Kühlkette.

## Technische Vorteile

- GWP < 3 – faktisch klimaneutral
- Kein PFAS – kein TFA-Zerfallsproblem
- Hermetisch geschlossenes System: kein Kältemittelaustritt möglich
- F-Gas-frei, HFO-frei – zukunftssicher über 2050 hinaus
- Natürliches Kältemittel: keine Verknappung, kein Preisanstieg

## Wirtschaftliche Vorteile

- Wartungsfrei: kein Servicestopp alle 1.500 Betriebsstunden erforderlich
- Installationszeit < 4 Stunden statt 30 Monteurstunden
- Kein zertifizierter Kältetechniker erforderlich
- Mindestens +15 % Nutzlast durch 39 kg Systemgewicht
- +25 % Reichweite durch hocheffizienten Kühlbetrieb



# GWP-Vergleich: Von der Scheinlösung zur echten Alternative.

R404A (alter Standard)

GWP 3.922



R452A (Übergangslösung HFKW)

GWP 2.140



R513a HFO — „neue Generation“)

GWP 629



⚠ Niedriges GWP ≠ keine PFAS-Problematik.

Die im Gemisch enthaltene Komponente R1234yf zerfällt zu TFA – persistent, toxisch, bioakkumulierend.

R290 (Propan – NatRefs)

GWP < 3



GWP = Global Warming Potential, Referenzwert  $\text{CO}_2 = 1$ . TFA = Trifluoressigsäure.  
Quellen: EU F-Gas-Verordnung, IPCC AR6, ECHA PFAS-Restriction Proposal.



# Fazit: Wer mit kühlem Kopf entscheiden will, handelt heute – nicht erst 2032.

Die regulatorischen Signale sind eindeutig. F-Gas-Verordnung, PFAS-Restriktionen und CO<sub>2</sub>-Bepreisung durch ETS 2 erzeugen gemeinsam einen Druck, der die Wirtschaftlichkeitsrechnung für synthetische Kältemittel – ob HFKWs oder HFOs – nachhaltig verändert. Drop-in-Strategien sind kein Ausweg. Sie sind ein Aufschub mit höherem Preis.

Die Technologie für den Umstieg existiert. Sie ist bewährt, wirtschaftlich und sofort verfügbar. Propan R290 ist weder F-Gas noch HFO noch PFAS. Es ist ein natürliches Kältemittel, das heute schon alle regulatorischen Anforderungen über 2050 hinaus erfüllt – und das gleichzeitig besser kühlt, weniger wiegt und keine Wartung braucht.



Der Wandel ist unvermeidlich. Der Zeitpunkt nicht. Unternehmen, die frühzeitig handeln, senken nicht nur Kosten – sie erwerben Fachwissen, Tiefe in der Lieferkette und eine Marktposition, die Nachzügler nicht kaufen können.

**Sie wollen mehr über den temperatur-geführten Transport von morgen erfahren?**

Einfach den Code scannen und ein unverbindliches Informationsgespräch vereinbaren.



Wir zeigen Ihnen, welche Perspektiven der Umstieg auf natürliche Kältemittel Ihrem Unternehmen eröffnet – technisch, wirtschaftlich und regulatorisch – und wie Sie diese Potenziale konkret umsetzen.

[hello@pbx-cooling.com](mailto:hello@pbx-cooling.com) | [www.pbx-cooling.com](http://www.pbx-cooling.com)

© 2026 pbx GmbH. All rights reserved. Regulatory information is based on the status of May 2026. TFA notices are based on ECHA documentation and current specialist literature.

**pbx**  
clean cooling