

Honest Engineering with  
the Refolution inside



REFOLUTION  
INDUSTRIEKÄLTE GMBH



# Informationsblatt Kältemittel

Stand April 2023



Thermische Energie fließt nur von warm nach kalt. Somit wird eine sogenannte Wärmesenke benötigt, um einen Prozess zu kühlen. Die Wärmesenke wird durch eine Kältemaschine erzeugt. Hierfür wird sowohl Energie als auch ein Kältemittel benötigt. Viele der eingesetzten Kältemittel (fluorierte Kältemittel) sind umweltschädlich und international reglementiert (Montreal Protocol oder F-Gase Verordnung (EU) Nr. 517/2014).

In diesem Informationsblatt werden die wichtigsten Punkte bezüglich der Auswahl und Verfügbarkeit von Kältemitteln zusammengefasst und Empfehlungen ausgesprochen.

## Auswirkung und Herausforderung der Kältetechnik

In Deutschland werden etwa 14% der gesamten elektrischen Energie für Kühlprozesse aufgebraucht.<sup>1</sup> Die dadurch entstehenden Emissionen haben einen wesentlichen Einfluss auf unser Klima und werden als indirekte CO<sub>2</sub>-Emissionen bezeichnet. Direkte Emissionen von Kältemaschinen werden durch Leckagen und den daraus resultierenden Austritt von Kältemitteln verursacht. Auch bei Wartungen, dem Befüllen und bei der Entsorgung der Anlage wird Kältemittel freigesetzt.

Kältemittel wirken sich unterschiedlich auf die Umwelt aus. Die erste Generation von chemischen Kältemitteln (FCKW - Fluorchlorkohlenwasserstoffe) führten zur Zerstörung der Ozonschicht (ODP - Ozone Depletion Potential), während die darauffolgenden Ersatzkältemittel (HFKW – teilfluorierte Kohlenwasserstoffe und FKW- vollhalogenierte Kohlenwasserstoffe) ein hohes Treibhauspotential (GWP - Global Warming Potential) aufweisen. Der GWP-Wert eines Kältemittels definiert dessen Treibhauspotenzial in Relation zu CO<sub>2</sub> (auch als CO<sub>2</sub>-Äquivalent genannt). CO<sub>2</sub> hat ein normierten GWP von 1. Das heißt, der GWP-Wert gibt an, um das wie vielfache die Kältemittel den Treibhauseffekt im Vergleich zu CO<sub>2</sub> stärker beeinflussen. Ein GWP-Wert ist immer auf einen Zeithorizont bezogen und beschreibt somit die Auswirkungen auf die globale Erwärmung in dem vorgegebenen Zeitraum. Für aktuell geltenden Regulieren, wie z.B. in Europa, wird die F-Gase Verordnung

auf ein GWP<sub>100</sub> referenziert und beschreibt daher, welche Auswirkungen ein Treibhausgas in einem Zeithorizont von 100 Jahren hat. Aus der neusten Veröffentlichung des IPCC geht hervor, dass die nächsten 10-20 Jahre entscheiden, ob das internationale Klimaabkommen eingehalten wird oder nicht. Eine Betrachtung des GWP<sub>20</sub> ist daher klimapolitisch relevant, rechtlich bindend ist der GWP<sub>100</sub>.

Neu eingeführte Niedrig-GWP-Kältemittel (HFO – Hydrofluorolefin) haben eine geringe atmosphärische Lebensdauer und führen bei Zerfall in der Atmosphäre zu persistenten Abbauprodukten (PFAS/TFA). Dies zieht nach sich, dass die Umwelt langfristig und lokaler belastet wird und eine potenzielle Gesundheitsgefahr (z.B. Leberschädigung) für Mensch und Umwelt besteht. Aktuelle Wasseraufbereitungsverfahren können diese Stoffe nicht entfernen. Zur Aufbereitung werden energieintensive Verfahren (z.B. Umkehrosmose) benötigt.

Im Hinblick auf die Umweltreglementierungen werden in den kommenden Jahren viele Kälteanlagen den gesetzlichen Anforderungen nicht mehr gerecht.

Die am häufigsten eingesetzten Kältemittel, ihr GWP und deren atmosphärischen Lebensdauer sind in der Tabelle 1 einzusehen.

**Tabelle 1:** Die am häufigsten eingesetzten Kältemittel und ihr GWP<sub>20</sub> / GWP<sub>100</sub>. [2]

Gruppe	Kältemittel	Atmosphärische Lebensdauer	GWP – 100 Jahre	GWP – 20 Jahre	Zusammensetzung
HFKW	R134a	14 Jahre	1430	3830	Reinstoff
HFKW-Gemisch	R404A	Bis 52 Jahre	3920	4314	44% R125, 52% R143a, 4% R134a
HFKW	R23	270 Jahre	14800	12000	Reinstoff
HFO	R1234yf	10-12 Tage	3	-	Reinstoff
HFO/HFKW Gemisch	R452B	Bis 32,6 Jahre	698	-	67% R32, 7% R125, 26% R1234yf
HFO/HFKW Gemisch	R449A	Bis 32,6 Jahre	1282	-	24,3% R32, 24,7% R125, 25,3% R1234yf, 25,7% R134a

## F-Gas Verordnung – Reduzierung des GWP-Wertes

Die EU F-Gase Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014), die im Jahr 2015 in Kraft getreten ist, hat das Ziel, CO<sub>2</sub>-Äquivalente durch fluorierte Treibhausgase bis 2030 auf etwa 21% zu reduzieren. Hierzu wird schrittweise die auf dem Markt erlaubte Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, der fluorierten Treibhausgase, reduziert (vgl. Abbildung 1). Der Ausgangswert liegt bei 183,1 Millionen Tonnen (100%)<sup>3</sup>, was der Durchschnittsmenge an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, die zwischen 2009 und 2012 auf den europäischen Markt gebracht wurde, entspricht. Um diesen Wert zu kompensieren, müsste ganz Deutschland 1,25 Jahre lang auf Straßenverkehr verzichten oder 2.7 Jahre lang den landwirtschaftlichen Sektor einstellen (Stand 2020)<sup>4</sup>.

Das Inverkehrbringen von Kälteanlagen, welche mit einem Kältemittel mit einem GWP von über 2500 betrieben werden, ist seit dem 1.1.2020 verboten. Die Verwendung von fluorierten Kältemittel mit einem GWP von über 2500 zur Wartung und Instandhaltung von Kälteanlagen ist durch den Artikel 13 verboten. Ausnahme hierbei besteht für die Wartung und Instandhaltung mit recycelten/ aufbereiteten Kältemitteln (bis 2030). Für Anlagen mit einer Nutztemperatur von unter -50 °C gelten Ausnahmen für das Inverkehrbringen sowie die Wartung und Instandhaltung. Durch die zunehmende Verknappung von Hoch-GWP- Kältemitteln sinkt jedoch die Verfügbarkeit dieser, so dass der Betrieb von Kälteanlagen selbst mit Ausnahmeregelung durch fehlendes Kältemittel bei Wartung nicht gewährleistet werden kann.



Abbildung 1: Bisheriger Phase-Down der HFKW-Kältemittel bis 2030  
(Quelle: Umweltbundesamt, Deutschland)

# Neue Generationen chemischer Kältemittel (HFO)

HFO (Fluorolefinwasserstoffe) sind Kältemittel der vierten Generation. Im Vergleich zu HFKW (teifluorierten Kohlenwasserstoffen) besitzen HFO einen niedrigen GWP-Wert und werden von der Industrie als Alternative angesehen.

Der Austausch des klimaschädlichen Kältemittels R-134a (GWP-1430), das für die Klimaanlagen in Autos verwendet wird, mit HFO-1234yf (GWP < 3) ist im Gange. HFO-1234yf hat eine kurze, atmosphärische Lebensdauer von 10-12 Tagen und zerfällt zu 100 % zu Trifluoressigacetat. Im Vergleich zu R134a, mit einer atmosphärischen Lebensdauer von 14 Jahren und einem Zerfall zu 7 bis 20 % zu TFA, führt die Umstellung zu höheren und mehr lokalisierteren TFA-Emissionen. TFA gehört zu der Gruppe der kurzkettigen Perfluorcarbonsäuren (scPFCAs), welche persistent in der Umwelt und hoch mobil im Wasserkreislauf sind.

Die heutigen Trinkwasseraufbereitungsanlagen sind nicht in der Lage TFA herauszufiltern, wodurch der Mensch direkt angereichertem TFA im Trinkwasser ausgesetzt ist.

Die aktuellen Messungen von TFA im Trinkwasser liegen unter dem Trinkwasserleitwert für TFA. Allerdings konnte in der Schweiz bereits ein bis zu 13-facher Anstieg der Konzentrationen im Vergleich zum Jahr 2000, (<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es990855f>) beobachtet werden.

Die Gesundheitsrisiken, insbesondere die Exposition von geringen Mengen über längere Zeiträume von TFA, sind bisher nicht abschließend erforscht.

In einer Studie (Umwelt Bundesamt, 2020), wurde ein Anstieg der ALT-Konzentration (Alanin-Aminotransferase) mit zunehmender TFA-Konzentration beobachtet. Eine erhöhte ALT-Konzentration ist ein Zeichen für eine Schädigung der Leber, da zerstörte Leberzellen diese Enzyme freisetzen. Ähnliche Symptome treten bei der Verabreichung von halogenierten Inhalationsanästhetika auf, wie z.B. bei der Verabreichung von Halothan. Durch die Oxidation von Halothan wird TFA im Körper gebildet und nach der Verabreichung wird ein Anstieg der ALT-Konzentration verzeichnet und ist nach Stopp der Verabreichung wieder rückläufig. Die gleiche Charakteristik ist bei der direkten Zugabe von TFA im Trinkwasser aus der Studie des UBA zu erkennen.

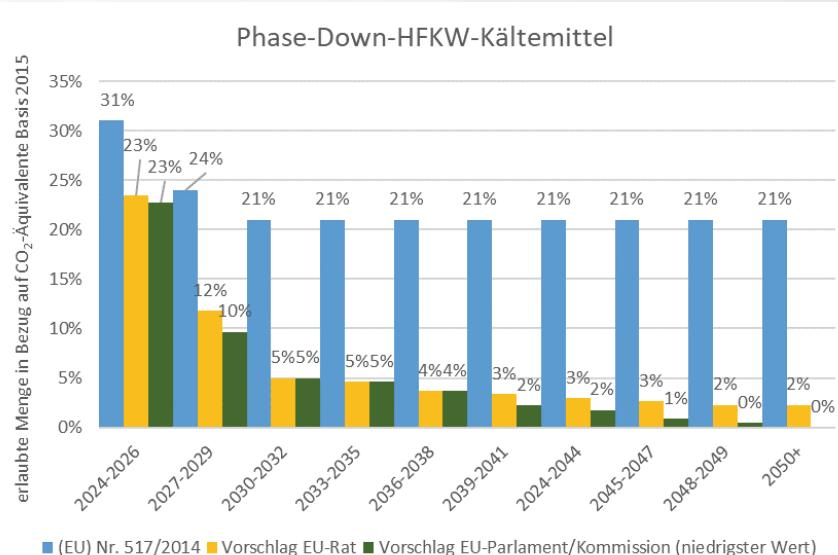
Bevor Chemikalien in die Umwelt eingebracht werden, muss nachgewiesen werden, dass sie sowohl für Menschen als auch für die Umwelt unschädlich sind. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis es zu negativen Auswirkungen auf Menschen und Umwelt kommen wird.

Genauere Infos zu diesem Thema HFO/TFA sind in unserem HFO/TFA-Report<sup>5</sup> sowie in dem Hintergrundpapier des Bundesumweltamts zum Eintrag von Trifluoracetat (TFA)<sup>6</sup> in Gewässer zu finden.

## Revision der F-Gase-Verordnung 2023

Im Jahr 2022 hat die EU-Kommission eine Revision der F-Gase Verordnung vorgeschlagen. Im Frühjahr 2023 hat das EU-Parlament sowie der EU-Rat jeweils einen eigenen Verhandlungsvorschlag verabschiedet. Eine Verabschaffung und Inkrafttreten des angepassten Gesetzes wird für diesen Sommer erwartet.

Alle Vorschläge haben eine reduzierte Quotierungsmenge gemeinsam, die z.B. im Jahr 2030 statt bisher 21 % nur noch 5 % der im Jahr 2015 auf den Markt gebrachten Menge CO<sub>2</sub>-Äquivalent entspricht.



Der illegale Kältemittelhandel, der bisher zu großer Steigerung der Verfügbarkeit von Kältemittel in Europa geführt hat, wird unter anderem durch die Verschärfung der F-Gase-Verordnung, aber auch an anderer Stelle, bspw. dem Chemiekaliengesetz, eingedämmt. Dadurch wird die verfügbare Menge noch stärker eingeschränkt, als es die in Kraft tretende Quotierungen vermuten lässt. Wir erwarten hohe Preissteigerungen aller Hoch-GWP-Kältemittel.

Die niedrigste zu erwartende Verschärfung aller drei Vorschläge ist z.B. für Artikel 13, dass Wartung und Service an sämtlichen Kälteanlagen unabhängig der Füllmenge/CO<sub>2</sub>-Äquivalent mit Kältemittel mit einem GWP >2500 ab 2025 verboten ist (mit bestehen Ausnahmen für militärische Ausrüstung und Kühlung von Produkten unter -50 °C. Diese Ausnahme wird ggf.

beschränkt auf medizinische Produkte gemäß Vorschlag des EU-Parlaments).

Monoblock Klimaanlagen/Wärmepumpen bis 50 kW und Split-Klimaanlagen/Wärmepumpen (Luft-Wasser) bis 12 kW ab 1. Januar 2027 nur noch mit GWP <150 (außer, wenn Sicherheitsanforderungen nicht eingehalten werden können, dann bis GWP 750 erlaubt, z.B. mit R32). Ab 1. Januar 2033 auch gültig für Luft-Wasser-Split-Klimaanlagen/Wärmepumpen mit mehr als 12 kW.

Des Weiteren werden auch in anderen Ländern, z.B. den USA eine Verbot von Hoch-GWP-Kältemitteln wie R134a, R404A und R410A ab 2025 vorgeschlagen (Vorschlag der US Environmental Protection Agency (EPA)).<sup>7,8,9</sup>

## PFAS Reglementierung (REACH)

Die ECHA steht für Europäische Chemikalienagentur (European Chemicals Agency) mit Sitz in Helsinki, Finnland. Die ECHA ist verantwortlich für die Umsetzung der EU-Chemikalienverordnung REACH; die Verordnung über die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe.

Aufgrund des Vorschlags zur Beschränkung von PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen), von den Behörden in Dänemark, Deutschland, den Niederlanden, Norwegen und Schweden am 13. Januar 2023 bei der ECHA eingereicht, steht ein Verbot einiger tausender Substanzen im Raum.

Der Vorschlag zielt darauf ab, PFAS-Emissionen in die Umwelt zu verringern und Produkte und Verfahren für Mensch und Umwelt sicherer zu machen.

Ein Verbot würde diverse Kältemittel betreffen, darunter alle HFO-Kältemittel und einige etablierte Kältemittel, die auch Bestandteil von Kältemittelgemischen sind. Insbesondere die HFO-Kältemittel zersetzen sich in der Atmosphäre zu TFA; ein hoch mobiles und persistentes kurzkettige PFAS.

Beispielsweise sind R404A, R410A und R507A betroffen, da diese unter anderem R125 enthalten.

Des Weiteren sind alle Low-GWP-Gemische betroffen, bedingt durch die Verwendung von HFO-Kältemitteln. Z.B. R452A/B, R454A/B, R455A, R469A, ...<sup>10,11</sup>

**Table A.96. List of specific fluorinated gas substances identified in different commercial applications.**

Entry	Substance	Code	Structure
1	Fluoroform (trifluoromethane)	HFC-23 (not in scope)	CHF <sub>3</sub>
2	Difluoromethane	HFC-32 (not in scope)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
3	1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-Decafluoropentane	HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> -CF <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CHF-CF <sub>3</sub>
4	Pentafluoroethane	HFC-125	CF <sub>3</sub> -CHF <sub>2</sub>
5	1,1,1,2-Tetrafluoroethane	HFC-134a	CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> F
6	1,1,1-Trifluoroethane	HFC-143a	CF <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>
7	1,1-Difluoroethane	HFC-152a (not in scope)	CHF <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>
8	1,1,1,2,3,3-Heptafluoropropane	HFC-227ea	CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CF <sub>3</sub>
9	1,1,1,3,3-Hexafluoropropane	HFC-236fa	CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CF <sub>3</sub>
10	1,1,1,3-Pentafluoropropane	HFC-245fa	CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CHF <sub>2</sub>
11	1,1,1,3,3-Pentafluorobutane	HFC-365mfc	CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CF <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>
12	1-Chloro-1,2,2,2-tetrafluoroethane	HCFC-124	CHClF-CF <sub>3</sub>
13	1,1-Dichloro-1-fluoroethane	HCFC-141b (not in scope)	CCl <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>
14	3,3-Dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane	HCFC-225ca/cb	CF <sub>3</sub> -CF <sub>2</sub> -CHCl <sub>2</sub>
15	1,1-Difluoroethylene	HFO-1132a (not in scope)	CH <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub>
16	1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene	HFO-1224yd(Z) *	CHCl=CF-CF <sub>3</sub>
17	1-Chloro-3,3,3-trifluoro-1-propene	HFO-1233zd(E) **	CHCl=CH-CF <sub>3</sub>
18	2,3,3,3-Tetrafluoropropene	HFO-1234yf	CH <sub>2</sub> =CF-CF <sub>3</sub>
19	Trans-1,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene	HFO-1234ze(E) ***	CHF=CH-CF <sub>3</sub>
20	1,3,3,3-Tetrafluoropropene	HFO-1234ze(E) ***	CHF=CH-CF <sub>3</sub>
21	Trans-1,1,1,4,4-hexafluorobut-2-ene	HFO-1336mzz(E)	CF <sub>3</sub> -CH=CH-CF <sub>3</sub>
22	Cis-1,1,1,4,4-Hexafluoro-2-butene	HFO-1336mzz(Z)	CF <sub>3</sub> -CH=CH-CF <sub>3</sub>
23	(Z)-1-Chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene	HFO-1224yd *	CHCl=CF-CF <sub>3</sub>
24	Trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene	HFO-1233zd(E) **	CHCl=CH-CF <sub>3</sub>

# Energieeffizienz

Der Begriff der Energieeffizienz bezeichnet die rationelle Verwendung von Energie.

Ziel von Energieeffizienzmaßnahmen ist die Reduktion des Gesamtenergiebedarfs von Prozessen durch Herabsetzung der quantitativen und qualitativen Verluste, die bei der Wandlung, dem Transport oder der Speicherung von Energie auftreten.

Kälteanlagen benötigen mehr Antriebsenergie (bei einer konstanten Wärmesenke und einer konstanten Kälteleistung) je niedriger die Nutztemperaturen sind. Das Verhältnis der Kälteleistung und der Antriebsleistung wird als Kälteleistungszahl beschrieben.

$$\text{Kälteleistungszahl} = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{Antriebsleistung}}$$

Bei typischen Kälteanlagen zur Klimatisierung liegt die Kälteleistungszahl in der Größenordnung von 3. D.h. für 1 kW Antriebsleistung stellt eine Kälteanlage 3 kW Kälteleistung für die Klimatisierung bereit. Die maximale Kälteleistungszahl, welche sich bei einem verlustfreien, reversiblen Prozess erreichen lässt, wird durch die Kälteleistungszahl eines Carnot-Prozesses beschrieben. Dieser ist rein von der Umgebungstemperatur (Wärmesenke) und der Nutztemperatur (Wärmequelle) abhängig.

$$\text{Kälteleitungszahl(Carnot)} = \frac{\text{Nutztemperatur in K}}{\text{Umgebungstemperatur in K} - \text{Nutztemperatur in K}}$$

Je tiefer die Nutztemperatur gefordert ist, desto geringer ist auch die Kälteleistungszahl einer Kältemaschine. Unterschiedliche Kälteerzeugungsverfahren weisen unterschiedliche Effizienzen abhängig von der Temperatur auf. Kompressionskälteanlagen (2-stufige-Booster-Anlagen oder Kaskaden) sind im Vergleich mit der Kaltluftkältetechnik bis Nutztemperaturen von ca. -50 °C effizienter. Unterhalb dieser Temperatur ist die Kaltluftkältetechnik effizienter und gewinnt mit tieferen Temperaturen zunehmende Effizienzvorteile. Häufig wird flüssiger Stickstoff zur Prozesskühlung eingesetzt. Dieses Verfahren unterscheidet sich im grundlegenden darin, dass das Kältemittel (Stickstoff) verbraucht wird und bereits in einer Luftzerlegungsanlage bei Temperaturen von -196 °C erzeugt wurde. Die Erzeugung von flüssigem Stickstoff bei -196 °C benötigt deutlich mehr Energie als die Erzeugung von Prozesstemperaturen wärmer als -100 °C mit einer Kälteanlage. Eine Verwendung von Stickstoff bei hohen Nutztemperaturen führt demnach zu einem hohen Stickstoffverbrauch und hohen Energiekosten, die sich bei den produzierenden Unternehmen als Beschaffungskosten für den Stickstoff bemerkbar machen.

Die Wahl der Kältetechnik erfordert daher die Kenntnis der sinnvollen Einsatzbereiche der unterschiedlichen Kältetechnologien. Mehr zum Thema Energieeffizienz finden Sie in unserem frei verfügbaren ULT-Report.

# Natürliche Kältemittel

Natürliche Kältemittel haben in den letzten Jahrzehnten an Popularität gewonnen. Viele Hersteller konzentrieren sich bei der technologischen Entwicklung auf Komponenten und Anlagen mit natürlichen Kältemitteln. Sie sind wettbewerbsfähig und bei der richtigen Auswahl effizienter als chemische Kältemittel. Natürliche Kältemittel können, die derzeit auf dem Markt verwendeten Kältemittel mit hohem GWP ersetzen. Beispielsweise werden CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen (GWP = 1) für die Brauchwasserwärmung oder als Booster-Systeme für die Gewerbekälte eingesetzt. Des Weiteren wird Propan (GWP = 3) für Kaltwassersätze verwendet. Ammoniak (GWP = 0) ist ein Kältemittel mit guten thermodynamischen Eigenschaften und wird aufgrund der hohen Effizienz in der Industrie für Kälteleistungen ab ca. 100 kW genutzt.

Zur Erzeugung von Tieftemperaturen (Bsp. Gefriertrocknung) werden zum jetzigen Zeitpunkt Kältemittel wie

R404A (GWP3922), R410A (GWP2088) oder R507A (GWP3985) verwendet. Die Treibhauspotentiale (GWP) dieser Kältemittel werden von der F-Gase Verordnung reglementiert, wodurch die Kältemittel zukünftig verboten werden oder die Nutzung so stark beschränkt wird, dass sie nur noch zu sehr hohen Preisen angeboten werden. Um von diesen Problemen nicht betroffen zu sein, lohnt sich der frühzeitige Umstieg auf natürliche, umweltfreundliche und sichere Technologien. Kälteerzeugung mit Luft als natürlichem Kältemittel hat sich in den vergangenen Jahren in verschiedenen Bereichen, unter anderem bei der Gefriertrocknung, etabliert und gilt als zukunftsweisende Technik für einen ausfallsicheren, effizienten und umweltfreundlichen Prozess.

Natürliche Kältemittel sind kosteneffizient, langfristig verfügbar und können schon heute fast alle Kälteanwendungen abdecken. Mit einem sehr geringen GWP und einer hohen Energieeffizienz empfiehlt sich deshalb der Einsatz von natürlichen Kältemittel.

# Bedeutung für die Betreiber

Der Großteil der Kälteanlagen für die Tieftemperaturtechnik steht durch die verwendeten Kältemittel (z.B. R404A, R410A, R499A, R23) unter Reglementierung der EU F-Gase Verordnung. Aktuell sind Hoch-GWP-Kältemittel durch die Ausnahme des Artikel 13 der Verordnung bei Nutztemperaturen unter -50 °C bis mindestens 2030 erlaubt.

Es werden, bedingt durch klimapolitische Ziele, weitere Einschränkungen der Nutzung von Kälteanlagen mit hohem GWP in den kommenden Jahren auf die Betreiber zukommen. Um weiterhin eine Produktionssicherheit zu gewährleisten, müssen frühzeitig strategische Entscheidungen getroffen und in zukunftssichere Technologien investiert werden. Neuanlagen und Retrofits mit fluorierten Kältemitteln bzw. Mischungen mit PFAS (z.B. R452A) bergen die Gefahr, von zeitnah eingeführten Verbots betroffen zu sein oder die Verfügbarkeit der Kältemittel nimmt stark abnimmt bzw. die Kosten für Wartungen steigen erheblich. Zukunftssichere Technologien werden langfristig Lösungen mit natürlichen Kältemitteln sein, da zum einen diese umweltfreundlich und effizient sind und

zum anderen frei von sämtlichen Regularien. Für Anwendungen unterhalb von -50 °C haben sich hierzu die Kaltluftkältetechnik und Kaskadenanlagen mit brennbaren Kältemitteln als effiziente Technologien etabliert und werden bereits in vielen Anwendungen sicher eingesetzt. Neben Neuanlagen muss zusätzlich die Betrachtung der bestehenden Anlagen mit einbezogen werden. Viele Anlagen lassen sich mit einem Retrofit der Kälteerzeugungsseite ausstatten, ohne den eigentlichen Prozess zu verändern. Die Kälteerzeugung mit Stickstoff ist ebenfalls langfristig möglich, sollte jedoch im Hinblick auf hohe Betriebskosten sorgfältig abgewogen werden. Retrofits von Anlagen mit Stickstoff auf Öl geführte Systeme mit natürlichen Kältemitteln sind zu empfehlen.

Ein frühes Handeln ist essenziell, da sobald weitere Beschränkungen eingeführt werden, viele Anlagenbetreiber zeitnah betroffen sind. Die Kapazität bei den Kälteanlagenbauern für gesetzteskonforme Neuanlagen und Retrofits ist jedoch stark limitiert.



Kriterium:	2-stufige Freon	Flüssiger Stickstoff	Brennbare Kaskaden	Kaltluftkältetechnik
Zukunftssicher	X	0	+	+
Zuverlässig	0	+	0	+
Betriebskosten	0	-	0	+
Wartung	-	0	-	+
Effizienz	0	-	0	0
Sicherheitsanforderungen	+	-	-	+
Platzbedarf	+	+	-	-
Erstinvestment	+	+	0	-

# QUELLVERZEICHNIS



\*1  
Fuchs, VDMA  
Energiebedarf  
Kältetechnik



\*2  
IPCC



\*3  
Umweltbundesamt  
(Hydrofluorocarbon  
Emmission)



\*4  
1,25 Jahre  
lang auf  
Straßenverkehr  
verzichten



\*5  
HFO/TFA  
Report



\*6  
Trifluoracetat (TFA)



\*7  
Vorschlag  
F-Gase-  
Verordnung  
der EU-  
Kommission



\*8  
Vorschlag  
F-Gase-  
Verordnung  
der EU-Rat



\*9  
Vorschlag  
F-Gase-  
Verordnung  
der EU-Parlament



\*10  
PFAS



\*11  
PFAS  
Kältemittel:  
Annex A

# KONTAKT



REFOLUTION  
INDUSTRIEKÄLTE GMBH

REFOLUTION INDUSTRIEKÄLTE GMBH  
DAS INGENIEURBÜRO FÜR NACHHALTIGE KÄLTETECHNIK

**HAUPTSITZ**  
WINGERTGASSE 56, 76228 KARLSRUHE, GERMANY

INFO@REFOLUTION.DE | WWW.REFOLUTION.DE



**HOF SONDERANLAGENBAU GMBH**

GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN | BE- UND ENTLADESYSTEME |  
EINFRIER- UND AUFTAUGERÄTE | SERVICE | LYOPOL

**HAUPTSITZ:**  
LUDWIG-RINN-STR. 1–3 | 35102 LOHRA | GERMANY

**STANDORT MORNSHAUSEN:**  
VOR DEM LANGEN LOH 2 | 35075 GLADENBACH-MORNSHAUSEN |  
GERMANY

TELEFON + 49 6462 9169-0 | TELEFAX + 49 6462 9169-199  
INFO@HOF-SONDERANLAGEN.DE | WWW.HOF-SONDERANLAGEN.DE