

Sicherheitsdatenblatt (SDS)

2,3,3,3-Tetrafluorpropen (R1234yf / HFO-1234yf)

CAS-Nr.: 754-12-1 UN-Nr.: 3161 Ausstellungsdatum: 29. August 2026 Version: 1.0

1 Identifizierung

1.1 Produktidentifizierung

Chemische Bezeichnung	2,3,3,3-Tetrafluorpropen
Handelsnamen / Synonyme	R1234yf, HFO-1234yf, HFO1234yf, Tetrafluorpropen, Opteon YF
CAS-Nummer	754-12-1
UN-Nummer	3161 (entzündbares verflüssigtes Gas)
Gefahrgutkennzeichen	Klasse 2.1 Entzündbares Gas
Summenformel	CF ₃ CF=CH ₂ (C ₃ H ₂ F ₄)
Molekulargewicht	114.04 g/mol
Empfohlene Verwendung	HFO-Kältemittel der vierten Generation; überwiegend als Ersatz für R134a in Kfz-Klimaanlagen; auch in Wohn-/Gewerbeklimaanlagen und Kaltwassersätzen verwendet

1.2 Angaben zum Lieferanten des Sicherheitsdatenblatts

Name des Lieferanten	Hangzhou Wula Chemical Co., Ltd.
Anschrift	Nr. 7 Longtan Road, Bezirk Yuhang, Hangzhou, Provinz Zhejiang, China
Postleitzahl	311100
Telefon	+86-571-87024025
Telefax	+86-571-87024025
E-Mail	safety@wulachem.cn

1.3 Notrufnummer

Nationale Chemie-Notrufzentrale (China): +86-532-83889090 (24 Stunden)

2 Identifizierung der Gefahren

2.1 GHS-Einstufung

Gefahreneinstufung:

- Entzündbares Gas (physikalische Gefahr) — Kategorie 2 (geringere Entflammbarkeit, A2L-Klasse)
- Komprimiertes Gas (Physikalische Gefahr) — Verflüssigtes Gas
- Schwere Augenschädigung / Augenreizung (Gesundheitsgefahr) — Kategorie 2B

Hinweis: R1234yf ist ein schwach entzündbares Gas der ASHRAE-Klasse A2L. Die Entflammbarkeitsgrenzen liegen bei 6.2 %-12.3 % (Vol. in Luft); die Brenngeschwindigkeit ist sehr gering und die Zündenergie relativ hoch. Unter den meisten praktischen Einsatzbedingungen lässt es sich schwer entzünden, muss dennoch als entzündbares Gas gehandhabt werden. GWP < 1 (~0.3); es ist ein HFO-Kältemittel der vierten Generation mit ultraniedrigem GWP.

2.2 GHS-Kennzeichnungselemente



GHS02 Flamme



GHS04 Gasflasche



GHS07 Ausrufezeichen

Signalwort: ACHTUNG

Gefahrenhinweise:

- H221** Entzündbares Gas.
- H280** Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
- H316** Verursacht leichte Hautreizungen.
- H320** Verursacht Augenreizung.

Sicherheitshinweise:

- P102** Vor der Handhabung alle Sicherheitshinweise lesen und verstehen.
- P210** Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.
- P271** Nur im Freien oder in gut belüfteten Räumen verwenden.
- P280** Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
- P305+P351+P338** BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

P377 Brand von austretendem Gas: Nicht löschen, es sei denn, der Austritt kann sicher gestoppt werden.

P381 Bei Austritt alle Zündquellen beseitigen.

P403 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

P410+P403 Vor Sonnenbestrahlung schützen. An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

P405 Unter Verschluss aufbewahren.

2.3 Sonstige Gefahren

- Der Dampf ist schwerer als Luft (Dampfdichte ~3.9, Luft = 1) und kann sich am Boden über große Entfernungen ausbreiten; kann zur Zündquelle zurückschlagen.
- Zersetzt sich bei hohen Temperaturen unter Bildung giftiger und korrosiver Gase (Fluorwasserstoff, Kohlenmonoxid, Carbonylfluorid usw.).
- Behälter können beim Erhitzen durch steigenden Innendruck bersten oder explodieren.
- Schwach entzündbares Gas A2L: sehr geringe Brenngeschwindigkeit, relativ hohe Zündenergie, birgt jedoch in geschlossenen oder sauerstoffangereicherten Umgebungen weiterhin Brand-/Explosionsgefahr.
- Sehr kurze atmosphärische Lebensdauer (~11 Tage); schneller Abbau; geringe Persistenz in der Umwelt.

3 Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

3.1 Stoff/Gemisch

Dieses Produkt ist ein reiner Stoff.

3.2 Zusammensetzungsangaben

Bezeichnung des Bestandteils	CAS-Nr.	Konzentration (Massenanteil)
2,3,3,3-Tetrafluorpropen	754-12-1	≥99.5% (Sonderqualität ≥99.9%)

3.3 Verunreinigungsangaben

Verunreinigung	Spezifikationsgrenzwert
Säuregehalt (als HCl)	≤1 ppm
Feuchte	≤10 ppm
Verdampfungsrückstand	≤100 ppm
Nicht kondensierbares Gas (25 °C, Vol.-%)	≤1.5%

4 Erste-Hilfe-Maßnahmen

4.1 Beschreibung der erforderlichen Erste-Hilfe-Maßnahmen

Allgemeiner Rat: Betroffene Person sofort aus dem kontaminierten Bereich entfernen. Warm und ruhig halten. Dieses SDS dem behandelnden Arzt vorlegen.

Einatmen:

- Betroffene Person sofort an die frische Luft bringen. Atemwege freihalten.
- Sauerstoff verabreichen, wenn die Atmung erschwert ist.
- Bei fehlender Atmung künstliche Beatmung durchführen (vorzugsweise mit Beutel-Masken-Beatmung oder Pocket-Maske; Mund-zu-Mund-Beatmung vermeiden).
- Bei fehlendem Puls sofort mit Herz-Lungen-Wiederbelebung (CPR) beginnen.
- Betroffene Person warm und ruhig halten. Zustand genau überwachen.
- Sofort ärztliche Hilfe hinzuziehen.

Hautkontakt (Erfrierung):

- Betroffenen Bereich sofort mit großen Mengen lauwarmen Wassers (37–40 °C) spülen, um das Wiederaufwärmen zu fördern.
- Kein heißes Wasser (>40 °C) oder direkte Hitze (z. B. Elektroheizgeräte) verwenden.
- Erfrorenen Bereich nicht reiben oder massieren; dies kann Gewebeschäden verschlimmern.
- Eingefrorene Kleidung vorsichtig entfernen. Wenn Kleidung an der Haut festklebt, nicht daran ziehen; ringsherum abschneiden.
- Mit sterilem Verband abdecken.
- Treten Reizsymptome auf oder sind die Erfrierungen schwer, sofort ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen.

Augenkontakt:

- Augenlider sofort offen halten und mindestens 15 Minuten gründlich mit reichlich Wasser oder physiologischer Kochsalzlösung spülen.
- Durch Anheben des Ober- und Unterlids eine vollständige Spülung aller Augenfächen sicherstellen.
- Kontaktlinsen entfernen, sofern vorhanden und leicht entfernbar.
- Sofort ärztliche Hilfe hinzuziehen, vorzugsweise von einem Augenarzt.

Verschlucken:

Nicht anwendbar. Dieser Stoff ist bei Umgebungstemperatur ein Gas; eine Exposition durch Verschlucken ist nicht zu erwarten.

4.2 Wichtigste akute und verzögerte Symptome und Wirkungen

- Akute Inhalation: Schwindel, Schläfrigkeit, Kopfschmerzen, Übelkeit, Ataxie, Bewusstseinsverlust, Herzrhythmusstörungen.
- Hautkontakt (Flüssigkeit): Erfrierungen (blasse, harte Haut, Schmerzen, Blasenbildung); kann leichte Hautreizung verursachen.
- Augenkontakt (Flüssigkeit): schwere Erfrierungen, Hornhautschäden, Sehbeeinträchtigung; kann Augenreizung verursachen.
- Exposition durch Verbrennung: Tritt eine Verbrennung auf, kann das Einatmen thermischer Zersetzungsprodukte (HF usw.) schwere Atemwegsverbrühungen und Lungenödeme verursachen.

4.3 Hinweise auf erforderliche sofortige ärztliche Versorgung und Spezialbehandlung

Hinweise für Ärzte:

- Symptomatische und unterstützende Therapie. Atemwege freihalten; bei Bedarf Sauerstoff verabreichen.
- Herzfunktion überwachen; Exposition mit hoher Konzentration kann Arrhythmien verursachen.
- Katecholamin-haltige Arzneimittel (z. B. Epinephrin/Adrenalin) vermeiden — diese können die Empfindlichkeit des Myokards gegenüber Fluorkohlenwasserstoffen erhöhen und Kammerflimmern auslösen.
- Erfrierungen nach Standardprotokollen behandeln: Wiederaufwärmen mit lauwarmem Wasser (37–40 °C). Keine trockene Hitze oder Massage anwenden.
- Besteht der Verdacht auf Einatmen von HF oder anderen thermischen Zersetzungsprodukten, Atemwege und Lungenödem engmaschig überwachen; bei Bedarf Kalzium/Glukonat-Therapie verabreichen.

5 Maßnahmen zur Brandbekämpfung

Entflammbarkeitswarnhinweis: R1234yf ist ein schwach entzündbares Gas der Klasse A2L. Die Entflammbarkeitsgrenzen liegen bei 6.2 %-12.3 % (Vol. in Luft). Obwohl die Brenngeschwindigkeit sehr gering und die Zündenergie relativ hoch ist, kann es in geschlossenen oder sauerstoffangereicherten Umgebungen mit einer Zündquelle dennoch brennen oder explodieren. Bei der Brandbekämpfung muss es als entzündbares Gas gehandhabt werden.

5.1 Löschmittel

Geeignete Löschmittel: Ein für den Umgebungsbrand geeignetes Löschmittel verwenden.

Trockenlöschmittel, Kohlendioxid, Wassernebel und Schaum sind geeignet.

Ungeeignete Löschmittel: Keinen starken Wasserstrahl auf austretendes verflüssigtes Gas richten (beschleunigt Verdampfung und Ausbreitung).

5.2 Besondere Gefahren durch den Stoff oder das Gemisch

- R1234yf ist ein entzündbares Gas; Entflammbarkeitsgrenzen 6.2 %-12.3 % (Vol. in Luft).
- Der Dampf ist schwerer als Luft und kann sich in tiefliegenden Bereichen ansammeln; zur Zündquelle zurückschlagen.
- Thermische Zersetzung bei hohen Temperaturen erzeugt giftige und korrosive Gase: Fluorwasserstoff, Kohlenmonoxid, Carbonylfluorid usw.
- Flaschen können sich bei Erwärmung bersten oder zerreißen. Kann ein Brand durch austretendes Gas an der Quelle nicht gestoppt werden, nicht löschen.

5.3 Gefährliche Verbrennungsprodukte

Fluorwasserstoff (HF), Kohlenmonoxid (CO), Carbonylfluorid (COF₂) und andere fluorierte Verbindungen.

5.4 Hinweise für Feuerwehrleute

- Feuerwehrleute müssen einen Druckluft-Atemschutz (SCBA) mit positivem Druck und vollständige feuerfeste Schutzkleidung tragen.
- Brennt die austretende Gasquelle bereits und kann nicht abgestellt werden, NICHT löschen — das Gas weiterbrennen lassen und umliegende Gefäße kühlen (Grundsatz „nicht löschen, wenn die Quelle nicht abgestellt werden kann“).
- Kann die Quelle gefahrlos abgestellt werden, abstellen und anschließend löschen.
- Behälter nach Möglichkeit aus dem Brandbereich an einen sicheren Ort bringen.
- Behälter aus sicherer Entfernung mit Wasserstrahl kühlen, bis das Feuer gelöscht ist.
- Sofort evakuieren, wenn Behälter Verfärbungen zeigen oder Sicherheitsventile zu entlüften beginnen.
- Bereich absperren; unbefugte Personen fernhalten; alle Zündquellen beseitigen.

6 Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

6.1 Persönliche Vorsichtsmaßnahmen, Schutzausrüstung und Notfallverfahren

- Personal sofort aus dem Leckbereich an windzugewandte Orte evakuieren. Absperrung errichten und Zugang beschränken.
- Alle Zündquellen beseitigen (offene Flamme, Funken, statische Elektrizität); die Verwendung funkenreißender Geräte und Werkzeuge ist verboten.
- Notfallhelfer sollten umluftunabhängige Atemschutzgeräte (SCBA), antistatische flammhemmende Kleidung, kryogene Handschuhe und Augenschutz tragen.
- Aus windzugewandter Richtung herangehen.
- Leck stoppen, sofern dies sicher möglich ist.
- Nicht mit verschüttetem Material in Berührung kommen oder darüber laufen.
- Notfallkontaktpersonal für externe Unterstützung bereithalten.

6.2 Umweltvorsichtsmaßnahmen

- Das Eindringen des Gases in Kanäle, Keller oder geschlossene Räume verhindern (Ansammlung entzündbaren Gases birgt Explosionsgefahr).
- Bereich belüften, um die Ausbreitung zu beschleunigen.
- R1234yf hat ein äußerst niedriges GWP (<1); große Freisetzungen haben minimale Klimaauswirkungen, eine Rückgewinnung ist dennoch vorzuziehen.
- Freisetzung in Gewässer und Boden vermeiden.

6.3 Methoden und Materialien zur Rückhaltung und Reinigung

- **Kleines Leck:** Lüftung erhöhen, um die Gasausbreitung zu beschleunigen. Konzentration des entzündbaren Gases und Sauerstoffgehalt überwachen, um Brand und Erstickung zu vermeiden.
- **Großes Leck:**
 - Quellventil schließen, sofern dies gefahrlos möglich ist; Zündquellen in der Nähe beseitigen.
 - Mit speziellen Gas-Rückgewinnungsanlagen zurückgewinnen.
 - Ist eine Rückgewinnung nicht möglich, Wasserdampf zum Verdünnen verwenden (Gewässerverunreinigung vermeiden).
 - Lässt sich das Flaschenventil nicht schließen, die Flasche an einen sicheren, belüfteten Ort verbringen und langsam entleeren.
- **Zylinderleck:** Zylinder an einen gut belüfteten sicheren Ort bringen und langsam ablassen. Falls das Ventil nicht geschlossen werden kann, Lieferanten für fachgerechte Handhabung kontaktieren.

6.4 Referenz

Siehe Abschnitt 8 (Expositionskontrollen/Personalschutz) und Abschnitt 13 (Entsorgungshinweise).

Kritische Gefahr: R1234yf-Dampf ist etwa 3.9-mal schwerer als Luft und sammelt sich in tiefliegenden und geschlossenen Bereichen, wo er sowohl eine sauerstoffarme Atmosphäre als auch Brand-/Explosionsgefahr erzeugt. Vor dem Betreten geschlossener Räume oder tiefliegender Bereiche stets den Sauerstoffgehalt (muss ≥ 19.5 % betragen) und die Konzentration des entzündbaren Gases (unter 10 % der UEG) prüfen und das Partnerprinzip anwenden; niemals Zündquellen in solche Bereiche mitnehmen.

7

Handhabung und Lagerung

7.1 Vorsichtsmaßnahmen für die sichere Handhabung

- In geschlossenen Systemen mit ausreichender natürlicher Belüftung oder örtlicher Absaugung handhaben.
- Personal muss speziell geschult sein und Arbeitsvorschriften strikt befolgen. Nur zertifiziertes Personal.
- Gasleckage in die Arbeitsplatzatmosphäre verhindern.
- **Handhabung entzündbarer Gase:** Von Feuer und Wärmequellen fernhalten; Rauchverbot in Arbeitsbereichen; explosionsgeschützte Lüftungsanlagen und Geräte verwenden; statische Aufladung

vermeiden, zuverlässige Erdung von Geräten und Rohrleitungen sicherstellen.

- Kontakt mit reaktiven Metallen und starken Oxidationsmitteln vermeiden.
- Zylinder vorsichtig handhaben; nicht fallen lassen, rutschen, rollen oder stoßen. Geeignete Hebevorrichtungen verwenden.
- Bereich mit Notfallausrüstung für Lecks ausstatten.
- Bei der Handhabung von Flüssigkeit isolierende Handschuhe und Augen-/Gesichtsschutz tragen, um Erfrierungen zu verhindern.
- Zylinder, Ventile und Rohrleitungen regelmäßig auf Lecks prüfen.

7.2 Bedingungen für die sichere Lagerung, einschließlich Unverträglichkeiten

- In einem kühlen, trockenen, gut belüfteten Lager für entzündbare Gase aufbewahren; getrennt von oxidierenden Gasen und Oxidationsmitteln lagern.
- Lagertemperatur sollte 45 °C nicht überschreiten. Von Feuer, Wärmequellen und direkter Sonneneinstrahlung fernhalten.
- Getrennt von Oxidationsmitteln, reaktionsfähigen Metallen, Halogenen usw. lagern. Nicht mit unverträglichen Materialien zusammen lagern.
- Der Lagerbereich sollte mit Leck-Notfallausrüstung und geeigneten Brandbekämpfungsmitteln ausgestattet sein.
- Zylinder müssen aufrecht mit Ventilkappen und Sicherungsringen stehend und gegen Umfallen gesichert gelagert werden.
- Explosionsgeschützte Beleuchtung und Belüftungssysteme verwenden.
- Verwendung von Ausrüstung und Werkzeugen, die Funken erzeugen können, verbieten.
- Der Lagerbereich sollte mit Gaswarnanlagen für entzündbare Gase und deutlichen Sicherheitswarnschildern ausgestattet sein.
- Zwei-Personen-Annahme/-Ausgabe und Zwei-Personen-Aufbewahrungssystem einführen.

7.3 Spezifische Endverwendungen

Nur für den industriellen Einsatz. Wird überwiegend in Kfz-Klimaanlagen (als Ersatz für R134a) sowie in Wohn-/Gewerbeklimaanlagen und Kaltwassersätzen verwendet. Das Personal muss fachlich geschult sein. Nicht für direkten Lebensmittelkontakt, medizinische Inhalation oder andere nicht zugelassene Anwendungen verwenden. Anlagen mit R1234yf müssen seine schwache Entflammbarkeit berücksichtigen und geeignete explosionsgeschützte sowie Leckerkennungsmaßnahmen vorsehen.

8 Expositionskontrollen/Personalschutz

8.1 Kontrollparameter

China OEL
(Arbeitsplatzgrenzwert)

Kein gesetzlicher Grenzwert festgelegt. Empfohlener Richtwert: WEEL 500 ppm (TWA, 8 Std.)

AIHA WEEL-TWA (USA)	500 ppm (ca. 2280 mg/m ³), zeitgewichteter 8-Stunden-Mittelwert
OSHA PEL-TWA (USA)	Kein spezifischer Grenzwert festgelegt (siehe WEEL)
Biologischer Grenzwert	Nicht festgelegt

Hinweis: Gemäß GBZ 2.1-2019 ist dieser Stoff derzeit nicht in der chinesischen OEL-Liste aufgeführt. Es wird empfohlen, internationale Normen als Referenz heranzuziehen.

8.2 Expositionsüberwachungsmethoden

Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektion (GC-FID) oder Massenspektrometrie (GC-MS); Detektoren für brennbare Gase (Infrarot- oder katalytischer Verbrennungstyp) zur Überwachung der Konzentration entzündbarer Gase am Arbeitsplatz.

8.3 Geeignete technische Schutzmaßnahmen

- Geschlossenes Prozessdesign mit Allgemeinbelüftung oder örtlicher Absaugung.
- Sicherheitsdusche und Augenspülstation bereitstellen.
- In Bereichen, in denen Leckagen auftreten können, Gaswarnanlagen für entzündbare Gase installieren, die mit Lüftungsanlagen gekoppelt sind.
- Explosionsgeschützte Elektrogeräte verwenden; alle Geräte und Rohrleitungen müssen zum Schutz vor statischer Elektrizität zuverlässig geerdet sein.

8.4 Individuelle Schutzmaßnahmen

Atemschutz:

- Normale Bedingungen (unter dem Expositionsgrenzwert): keine besondere Schutzausrüstung erforderlich.
- Erhöhte Konzentrationen: Halbmaske mit Filter für organische Dämpfe empfohlen.
- Hohe Konzentration oder Notfallrettung/Evakuierung: Druckluft-Atemschutzgerät (SCBA) mit positivem Druck muss getragen werden.

Augen-/Gesichtsschutz:

- Allgemeiner Umgang: Schutzbrille gegen Chemikalien.
- Beim Umgang mit Flüssigkeit oder bei möglicher Exposition gegenüber Flüssigkeit: Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen, um Erfrierungen zu vermeiden.

Hautschutz:

- Handschutz: antistatische Handschuhe für den normalen Umgang; kryogen isolierte Handschuhe (z. B. Trockeneis-Handschuhe, Leder-Kälteschutzhandschuhe) bei Kontakt mit Flüssigkeit.
- Körperschutz: antistatische, flammhemmende Arbeitskleidung; bei Kontakt mit Flüssigkeit kältebeständige Kleidung.
- Sonstiges: Rauchverbot in Arbeitsbereichen; Inhalation hoher Konzentrationen vermeiden; beim Betreten von Behältern, geschlossenen Räumen oder anderen Bereichen mit hohen Konzentrationen das Partnerprinzip anwenden; explosionsgeschützte Werkzeuge verwenden.

8.5 Hygienemaßnahmen

- Kontaminierte Kleidung entfernen und Haut nach der Arbeit gründlich waschen.
- Gute persönliche Hygiene aufrechterhalten.
- Sicherstellen, dass Augenspülung und Notdusche am Arbeitsplatz verfügbar sind.

9 Physikalische und chemische Eigenschaften

9.1 Grundlegende physikalische und chemische Eigenschaften

Aussehen und Geruch	Farbloses Gas mit schwach ätherischem Geruch; bei Umgebungstemperatur und -druck gasförmig; unter Druck farblose transparente Flüssigkeit
Geruchsschwelle	Nicht verfügbar (schwach etherartiger Geruch)
pH	Nicht anwendbar (Gas)
Schmelzpunkt / Gefrierpunkt	-149.7 °C
Siedepunkt / Siedebereich (101.3 kPa)	-29.4 °C
Flammpunkt	Keine (entzündbares Gas; das Konzept des Flammpunkts ist nicht anwendbar)
Verdunstungsrate	Nicht verfügbar
Entzündbarkeit (Gas)	Entzündbar (A2L-Klasse, geringere Entflammbarkeit)
Explosionsgrenzen (obere/untere, Vol.-% in Luft)	Obere 12.3 % / Untere 6.2 %
Brenngeschwindigkeit	~0.015 m/s (sehr gering, laminare Brenngeschwindigkeit)
Mindestzündenergie	Hoch (> 10,000 mJ, weit über gängigen entzündbaren Gasen)
Dampfdruck (25 °C)	580 kPa
Dampfdichte (Luft = 1)	~3.9 (schwerer als Luft)
Relative Dichte (flüssig, 25 °C)	1.147 g/cm ³
Löslichkeit	Wenig löslich in Wasser; löslich in Ethanol, Ether und anderen organischen Lösungsmitteln
Octanol/Wasser- Verteilungskoeffizient (log P)	~2.04

Selbstentzündungstemperatur	~405 °C
Zersetzungstemperatur	Thermische Zersetzung bei hohen Temperaturen

9.2 Thermodynamische Eigenschaften

Kritische Temperatur	94.7 °C
Kritischer Druck	3382 kPa (3.38 MPa)
Kritische Dichte	0.473 g/cm ³
Verdampfungswärme (am Siedepunkt)	~181 kJ/kg
Flüssige spezifische Wärmekapazität (25 °C)	~1.51 kJ/(kg·°C)

9.3 Weitere Sicherheitsdaten

ASHRAE-Sicherheitsgruppe	A2L (geringe Toxizität, geringere Entflammbarkeit)
Ozonabbaupotenzial (ODP)	0 (baut die Ozonschicht nicht ab; siehe Abschnitt 12.6)
Treibhauspotenzial (GWP, 100 Jahre)	<1 (~0.3, ultraniedriges GWP; siehe Abschnitt 12.6)
Atmosphärische Lebensdauer	~11 Tage (schneller Abbau)

10 Stabilität und Reaktivität

10.1 Reaktivität

Chemisch stabil bei normalen Temperatur- und Druckbedingungen; nicht leicht reaktiv. Es besitzt jedoch einen Entflammbarkeitsbereich in Luft (6.2 %-12.3 %) und kann mit einer Zündquelle brennen.

10.2 Chemische Stabilität

Stabil unter normalen Temperatur- und Druckbedingungen. Innerhalb des entflammbaren Konzentrationsbereichs kann es mit einer Zündquelle brennen (schwach entzündbar A2L; sehr geringe Brenngeschwindigkeit). Enthält eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung, polymerisiert bei Umgebungstemperatur jedoch nicht leicht.

10.3 Möglichkeit gefährlicher Reaktionen

- In Luft (6.2 %-12.3 % Volumenanteil) kann es mit einer Zündquelle (offene Flamme, große Hitze, elektrischer Funke) brennen. Die Brenngeschwindigkeit ist sehr gering und die Zündenergie relativ hoch.

- Thermische Zersetzung bei hohen Temperaturen erzeugt giftigen Fluorwasserstoff, Kohlenmonoxid und Carbonylfluorid.
- Kann unter hoher Temperatur oder bestimmten Bedingungen mit Alkalimetallen, Erdalkalimetallen und Aluminiumpulver reagieren.
- Kann mit starken Oxidationsmitteln Redoxreaktionen eingehen.

10.4 Zu vermeidende Bedingungen

Hohe Temperatur, offene Flamme, Zündquellen (elektrische Funken, statische Elektrizität), direkte Wärmequellen, Überdruck in der Flasche

10.5 Unverträgliche Materialien

Reaktionsfähige Metalle (Natrium, Kalium, Kalzium, Aluminiumpulver, Magnesiumpulver usw.), starke Oxidationsmittel, Halogene

10.6 Gefährliche Zersetzungsprodukte

Fluorwasserstoff (HF), Kohlenmonoxid (CO), Carbonylfluorid (COF₂) und andere fluorierte Verbindungen

10.7 Gefährliche Polymerisation

Tritt unter normalen Lager- und Verwendungsbedingungen nicht auf.

11 Toxikologische Informationen

11.1 Angaben zu toxikologischen Wirkungen

Akute Toxizität:

Ratten-Inhalation LC ₅₀ (4 Std.)	> 500,000 ppm (höchste getestete Konzentration; geringe Toxizität)
Mäuse-Inhalation LC ₅₀ (4 Std.)	> 500,000 ppm
Kaninchen dermal LD ₅₀	Nicht verfügbar (gasförmiger Stoff)

11.2 Hautreizung/-ätzung

Kontakt mit der Flüssigkeit kann Erfrierungen verursachen (physikalische Verletzung). GHS-Einstufung: leichte Hautreizung (Kategorie 2B, H316). Keine chemisch korrosive Wirkung.

11.3 Augenreizung/-ätzung

Kontakt mit der Flüssigkeit kann zu schweren Erfrierungen und Hornhautschäden führen. GHS-Einstufung: Schwere Augenschädigung/Augenreizung Kategorie 2B (H320), verursacht Augenreizung.

11.4 Sensibilisierung der Atemwege oder der Haut

Keine Sensibilisierung berichtet. Vorliegende Tierversuchs- und Humanepidemiologie-Daten zeigen keinen Sensibilisierungseffekt.

11.5 Keimzellmutagenität

In-vitro- und In-vivo-Tests (Ames-Test, Chromosomenaberrationstest, Mäuse-Mikronukleus-Test usw.) zeigen keinen mutagenen Effekt.

11.6 Krebserzeugendheit

Unzureichende Beweise für Krebserzeugendheit.

- IARC (Internationale Agentur für Krebsforschung): Nicht aufgeführt
- ACGIH (Amerikanische Konferenz der staatlich-industriellen Hygieniker): Kategorie A4 (nicht als krebserzeugend für den Menschen einstuftbar)
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency): Gruppe D (nicht als krebserzeugend beim Menschen einstuftbar)

11.7 Reproduktionstoxizität

Tierstudien zeigen einen subchronischen Inhalations-NOAEL von 50,000 ppm ohne signifikante Reproduktions- oder Entwicklungstoxizität. Daten zur Reproduktionstoxizität beim Menschen liegen nicht vor.

11.8 STOT-Einmalexposition

- Herzwirkungen: Exposition mit hoher Konzentration kann Herzrhythmusstörungen verursachen, insbesondere unter Stress oder körperlicher Belastung (Katecholamin-Sensibilisierung).
- Das Einatmen hoher Konzentrationen kann eine leichte Dämpfung des zentralen Nervensystems verursachen (Schwindel, Schläfrigkeit).

11.9 STOT-Wiederholungsexposition

Subchronische Inhalationsstudien (28 Tage und 90 Tage) zeigen unterhalb des NOAEL von 50,000 ppm keine signifikante Zielorgan-Toxizität. Wiederholte Exposition gegenüber niedrigen Konzentrationen zeigt keine eindeutigen Organschäden.

11.10 Aspirationsgefahr

In gasförmiger Form ist kein Aspirationspneumonie-Risiko zu erwarten. Das Einatmen hoher Konzentrationen kann jedoch eine CNS-Depression und kardiale Sensibilisierung verursachen. Tritt eine Verbrennung auf, kann das Einatmen thermischer Zersetzungsprodukte (HF) schwere Atemwegsverbrühungen und Lungenödeme verursachen.

12.1 Ökotoxizität

Akute Fischtoxizität (LC ₅₀ , 96 Std.)	> 100 mg/L (geringe Toxizität für Fische)
Akute Daphnien-Toxizität (EC ₅₀ , 48 Std.)	> 100 mg/L
Algenwachstumshemmung (EC ₅₀ , 72 Std.)	> 100 mg/L
Bakterielle Toxizität	Nicht verfügbar

12.2 Persistenz und Abbaubarkeit

- Atmosphärischer Abbau: Überwiegend durch Reaktion mit Hydroxylradikalen; sehr kurze atmosphärische Lebensdauer von ~11 Tagen; schneller Abbau; geringe Persistenz in der Umwelt.
- Biologische Abbaubarkeit: Begrenzte Daten zur biologischen Abbaubarkeit verfügbar, jedoch geringe Persistenz in der Umwelt aufgrund des schnellen atmosphärischen Abbaus.
- Hydrolyse: Bei Umgebungstemperatur nicht leicht hydrolysiert.
- Photodegradation: Wird in der Atmosphäre photochemisch schnell abgebaut.

12.3 Bioakkumulationspotenzial

log P = 2.04. Relativ geringes Bioakkumulationspotenzial (unter dem Biokonzentrations-Schwellenwert von log P = 4.5).

12.4 Mobilität im Boden

In gasförmiger Form hochflüchtig. Geringe Wasserlöslichkeit. Hohe Mobilität. Verdunstet leicht in die Atmosphäre und baut sich bei Freisetzung in den Boden schnell ab.

12.5 Ergebnisse der PBT- und vPvB-Bewertung

Erfüllt die Kriterien für PBT (persistent, bioakkumulierend, toxisch) / vPvB (sehr persistent und sehr bioakkumulierend) nicht. Kurze atmosphärische Lebensdauer; kein persistenter Stoff.

12.6 Weitere nachteilige Wirkungen

- **Ozonabbaupotenzial (ODP):** 0 (baut die Ozonschicht nicht ab; Stoff der HFO-Klasse ohne Ozonabbaupotenzial)
- **Treibhauspotenzial (GWP, 100-Jahres-Zeithorizont):** <1 (~0.3, bezogen auf CO₂ = 1, ultraniedriges GWP)
- R1234yf ist ein HFO-Kältemittel der vierten Generation mit ultraniedrigem GWP (<1) und kurzer atmosphärischer Lebensdauer (~11 Tage); minimale Klimaauswirkungen; ein bevorzugter Ersatz für Kältemittel mit hohem GWP wie R134a.
- Kein geregelter Stoff des Montreal-Protokolls; aufgrund seines ultraniedrigen GWP kein vorrangig geregeltes Treibhausgas des Kyoto-Protokolls.

- Abbauprodukte können Trifluoressigsäure (TFA) umfassen, die sich in lokalen Gewässern anreichern kann; aktuelle Forschung weist jedoch auf begrenzte Auswirkungen auf aquatische Ökosysteme hin.

13 Entsorgungshinweise

13.1 Abfallbehandlungsmethoden

Produkt/Rückstände:

- Rückgewinnung und Recycling (Reinigung und Wiederverwendung) ist der bevorzugte Ansatz.
- R1234yf hat ein äußerst niedriges GWP, darf jedoch als entzündbares Gas nicht beliebig in die Atmosphäre freigesetzt werden.
- Falls eine Rückgewinnung nicht durchführbar ist, über eine zugelassene Behandlungsanlage für Gefahrstoffabfall entsorgen.
- Hochtemperatur-Verbrennung mit alkalischer Wäsche zur Fluoridentfernung ist ein akzeptables Verfahren. Die Verbrennung muss eine vollständige Verbrennung sicherstellen und die Risiken des entzündbaren Gases berücksichtigen.
- Nicht in Abwasserkanäle, Gewässer oder Boden einleiten.

Kontaminierte Verpackung:

- Leere Zylinder müssen an den Lieferanten oder eine qualifizierte Einrichtung zur Entsorgung zurückgegeben werden. Leere Zylinder nicht wegwerfen oder zerschneiden.
- Leere Flaschen mit Restdruck werden als Sondermüll behandelt. Restliches entzündbares Gas muss vor der Entsorgung unter Belüftung sicher abgelassen werden.

13.2 Besondere Vorsichtsmaßnahmen für die Entsorgung

- Vor der Entsorgung nationale und örtliche Vorschriften beachten (z. B. Gesetz zur Verhütung und Kontrolle der Abfallverschmutzung, Standards zur Kontrolle der Umweltverschmutzung durch Lagerung von Gefahrstoffabfällen usw.).
- Personal sollte geeignete persönliche Schutzausrüstung tragen (siehe Abschnitt 8).
- Für gute Lüftung sorgen, um Erstickung und Ansammlung entzündbaren Gases zu vermeiden. Keine Zündquellen am Entsorgungsort.
- Die Entsorgung muss durch eine qualifizierte und zugelassene Einrichtung erfolgen.
- Entsorgungsaufzeichnungen sollten geführt werden.

14 Angaben zum Transport

14.1 UN-Nummer

3161 (2,3,3,3-Tetrafluorpropen, entzündbares verflüssigtes Gas)

14.2 UN-Versandbezeichnung

2,3,3,3-TETRAFLUORPROPEN

14.3 Transportgefahrenklasse(n)

Klasse 2.1 Entzündbares Gas

14.4 Verpackungsgruppe

Nicht anwendbar (Gase der Klasse 2 werden keine Verpackungsgruppe zugewiesen)

14.5 Verpackungskennzeichen / Gefahrzettel

- Hauptgefahrzeichen: Entzündbares Gas (rot, Klasse 2.1)
- Nebengefahrzettel: Keiner

14.6 Methoden und Materialien für Rückhaltung und Verpackung

- Nahtlose Stahlzylinder. Zylinder müssen geltenden nationalen Normen entsprechen (z. B. GB 5099).
- Gängige Gebindegrößen: 5 kg, 10 kg, 13.6 kg, 50 kg, 100 kg Flaschen und ISO-Tankcontainer.
- Gewinderichtung des Flaschenventilauslasses: Linksgewinde für entzündbare Gase.

14.7 Besondere Anforderungen für verschiedene Transportarten

Straßentransport (GB/T 12268 / ADR):

- Fahrzeuge müssen über eine Gefahrguttransportgenehmigung verfügen und mit Funkenfängern ausgestattet sein.
- Zylinder müssen mit Ventilkappen und Sicherungsringen versehen sein.
- Zylinder werden im Allgemeinen flach mit in dieselbe Richtung zeigenden Ventilen gelegt; nicht kreuzweise stapeln. Die Höhe darf das Fahrzeugschutzgitter nicht überschreiten.
- Transport in den frühen Morgen- oder Abendstunden im Sommer, um direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden.
- Festgelegten Routen folgen; nicht in Wohn- oder dicht besiedelten Gebieten halten.
- Das Fahrzeug muss mit Brandbekämpfungsausrüstung und Leck-Notfallausrüstung ausgestattet sein.

Schienentransport (RID):

- Rangierkuppenbetrieb verboten (keine Freiauflauf-Einstufung).
- Transport in gedeckten Wagen; Zylinder aufrecht oder flach gelegt und gesichert.

Seetransport (IMDG-Code):

- UN 3161, Klasse 2.1
- Meeresschadstoff: Nein
- Verstaufkategorie: D (nur an Deck)
- Von Wärmequellen fernhalten; von Zündquellen isolieren

Lufttransport (ICAO/IATA DGR):

- UN 3161, Klasse 2.1
- Entzündbares verflüssigtes Gas

- In Passagierflugzeugen verboten (nur Frachtflugzeuge, Mengenbegrenzungen unterworfen)

14.8 Besondere Vorsichtsmaßnahmen für den Nutzer

- Nicht zusammen mit Oxidationsmitteln, reaktionsfähigen Metallen, Halogenen oder Lebens-/Futtermitteln transportieren.
- Fahrzeuge müssen mit geeigneter Feuerlösch-ausrüstung und Notfallausrüstung für Lecks ausgestattet sein.
- Transportpersonal muss speziell geschult und zertifiziert sein.
- Während des Transports vor Sonneneinstrahlung, Regen und hoher Temperatur schützen.
- Bei Unterbrechungen unterwegs von Feuer, Wärmequellen und Hochtemperaturbereichen fernhalten.
- Abgasrohre von Fahrzeugen, die dieses Produkt befördern, müssen mit Funkenfängern ausgestattet sein.
- Beim Be- und Entladen sorgfältig vorgehen, um Schäden an Flaschen und Armaturen zu vermeiden; explosionsgeschützte Werkzeuge verwenden und statische Aufladung verhindern.

15 Angaben zu Rechtsvorschriften

15.1 Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltvorschriften/gesetze, die für den Stoff oder das Gemisch spezifisch sind

Chinesische Vorschriften:

- Verordnung über das Sicherheitsmanagement gefährlicher Chemikalien (Staatsratsdekret Nr. 591)
- Katalog gefährlicher Chemikalien (Ausgabe 2015): relevante Komponenten aufgeführt
- GB 30000-Reihe (Regeln für Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien)
- GB/T 16483-2008 (Inhalt und Reihenfolge der Abschnitte in Sicherheitsdatenblättern für Chemikalien)
- Verordnung über die sichere Verwendung von Chemikalien am Arbeitsplatz (Arbeitsministerium, 1996)
- GBZ 2.1-2019 (Berufsbedingte Expositionsgrenzwerte für gefährliche Stoffe am Arbeitsplatz — Teil 1: Chemische Stoffe)
- TSG 23-2021 (Sicherheitstechnische Vorschrift für Gasflaschen)
- Vorschriften über den Straßentransport gefährlicher Güter
- Gesetz der Volksrepublik China über Arbeitssicherheit
- Gesetz der Volksrepublik China über die Verhütung und Bekämpfung der Luftverschmutzung
- Gesetz der Volksrepublik China zur Verhütung und Bekämpfung der Umweltverschmutzung durch feste Abfälle
- Verordnung über ozonabbauende Substanzen: keine kontrollierte Substanz (ODP = 0)

Internationale Vorschriften:

- **UN GHS (Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien):** 8. überarbeitete Ausgabe
- **Montreal-Protokoll:** Kein kontrollierter ozonabbauender Stoff (ODP = 0)

- **Kyoto-Protokoll / Pariser Abkommen:** Aufgrund des ultraniedrigen GWP (<1) kein vorrangig geregeltes Treibhausgas
- **EU REACH-Verordnung (EG 1907/2006):** Registrierter Stoff
- **EU CLP-Verordnung (EG 1272/2008):** Verordnung über Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung
- **EU-F-Gas-Verordnung (EG 517/2014):** Regelung fluorierter Treibhausgase; R1234yf profitiert aufgrund des niedrigen GWP von einer bevorzugten Behandlung
- **EU-MAC-Richtlinie:** Für den Einsatz in mobilen Klimaanlage zugelassen (schreibt vor, dass neue Fahrzeuge Kältemittel mit GWP < 150 verwenden)
- **US EPA SNAP-Programm:** Für Kfz-Klimaanlagen und andere Kälteanwendungen zugelassen
- **US OSHA HCS 2012:** Gefahrenkommunikations-Standard
- **US DOT 49 CFR:** Vorschriften für den Gefahrguttransport
- **ADR/RID:** Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße/Schiene
- **IMDG-Code:** Internationale Gefahrgutvorschriften für die Seeschifffahrt (IMDG-Code)
- **IATA DGR:** Gefahrgutvorschriften der Internationalen Luftverkehrs-Vereinigung (IATA-DGR)

16 Weitere Informationen

16.1 Referenzen

- NIOSH-Taschenleitfaden zu chemischen Gefahren
- NOAA-CAMEO-Chemikaliensammlung
- PubChem Compound Database (CID 5326064)
- ASHRAE Handbook – Kälteanlagen und Anwendungen
- ASHRAE-Norm 34 - Bezeichnung und Sicherheitsklassifizierung von Kältemitteln
- SAE J2845 - Risikobewertung für entzündbare Kältemittel
- GB/T 16483-2008 (Inhalt und Reihenfolge der Abschnitte in Sicherheitsdatenblättern für Chemikalien)
- GB 30000-Reihe (Regeln für Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien)
- GHS der Vereinten Nationen (Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien), 8. überarbeitete Ausgabe
- OSHA-Standard zur Gefahrenkommunikation (29 CFR 1910.1200)

16.2 Abkürzungen

Abkürzung	Vollständige Bezeichnung
SDS / MSDS	Sicherheitsdatenblatt / Material-Sicherheitsdatenblatt
GHS	Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien

CAS	Chemical Abstracts Service (Registrierungsnummer)
UN	United Nations (Gefahrgutnummer)
ODP	Ozonabbaupotenzial
GWP	Treibhauspotenzial
LC ₅₀	Letale Konzentration, 50 %
LD ₅₀	Letale Dosis, 50 %
TLV-TWA	Threshold Limit Value – zeitgewichteter Mittelwert
WEEL	Grenzwert für die Exposition am Arbeitsplatz (Umwelt)
SCBA	Druckluft-Atemschutzgerät
PBT	Persistent, bioakkumulativ und toxisch
HFC	Hydrofluorcarbon
HFO	Hydrofluorolefin (Kältemittel der vierten Generation)
STOT	Spezifische Zielorgan-Toxizität
A2L	ASHRAE-Sicherheitsklassifizierung: geringere Toxizität, geringere Entflammbarkeit
NOAEL	Höchste Dosis ohne beobachtete schädliche Wirkung
UEG / OEG	Untere Explosionsgrenze / Obere Explosionsgrenze
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung
ACGIH	Amerikanische Konferenz der staatlich-industriellen Hygieniker

16.3 Haftungsausschluss

Dieses Sicherheitsdatenblatt (SDS) wurde gemäß dem UN-GHS-Standard und geltenden behördlichen Anforderungen erstellt. Die hierin enthaltenen Informationen basieren auf öffentlich zugänglichen chemischen Datenbanken, Fachliteratur und nationalen Normen und gelten zum Ausstellungsdatum als korrekt und vollständig. Es wird jedoch weder ausdrücklich noch stillschweigend eine Gewähr für die absolute Richtigkeit, Vollständigkeit oder Zuverlässigkeit der Informationen übernommen. Anwender sollten die Anwendbarkeit der Informationen für ihre spezifischen Nutzungsbedingungen prüfen und sich für Compliance-Zwecke auf das offizielle SDS des Herstellers/Lieferanten beziehen. Die Informationen in diesem Dokument

können aktualisiert werden, sobald neue Forschungsergebnisse und regulatorische Änderungen vorliegen; eine regelmäßige Überprüfung der neuesten Version wird empfohlen.

Sicherheitsdatenblatt — 2,3,3,3-Tetrafluorpropen (R1234yf) | Erstellt gemäß UN GHS, 8. überarbeitete Ausgabe | Version 1.0