



Grundlagen für langlebige CO₂-Kälteanlagen

Mit Schwerpunkt auf: Lötten, Schweißen, POE-Öl, Wasser und eine lange Lebensdauer durch fachgerechten Service.

Löten: Warum ist das Löten mit Schutzgas gerade in Anlagen mit CO₂ als Kältemittel so wichtig?

Gefahr durch Verunreinigungen beim Löten von CuFe2P

Problem: Beim Löten mit Propan/Acetylen entstehen Verunreinigungen im Kühlsystem

CO₂-Kälteanlagen mit POE-ÖL sind besonders anfällig für metallische Partikel

Kritische Verunreinigungen:

- Eisennitride (Fe₄N, Fe₃N)
- Eisen- & Kupferoxide (Fe₂O₃, Cu₂O)
- Siliziumverbindungen (SiO₂, SiC)

Ursachen:

- K65-Legierung enthält ~2% Eisen → schnelle Oxidation
- Hohe Löttemperaturen (800–1.100 °C) fördern Oxidbildung
- Fehlendes Schutzgas → Oxidschicht im Rohrrinneren

Folgen: Partikel im Ölkreislauf führen zu Verschleiß, Verstopfungen & Kompressorausfällen

Übersicht der erhältlichen Stickstoffreinheitsgrade



Reinheit des Stickstoffs	Risiko von Oxidation und Feuchtigkeit
99,5 % (Technischer Stickstoff)	Hoch (Kalkbildung, Feuchtigkeit)
99,9 % (hochreiner Stickstoff)	Mittel (leicht reduziertes Oxidationsrisiko)
99,995% (4,5 Stickstoff)	Gering (sehr geringe Oxidation, trockener Stickstoff)
99,999% (5,0 Stickstoff)	Sehr gering (praktisch keine Verschmutzung)

Löten: Bildung kritischer Verunreinigungen

Eisennitride & Eisenoxide	Beim Löten mit minderwertigem Stickstoff können sich Eisennitride (Fe_4N , Fe_3N) im K65-Rohr bilden	Eisen oxidiert schneller als Kupfer → Bildung von Eisenoxiden (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) an der Rohrinnenfläche
Kupferoxide	Kupferoxide (Cu_2O , CuO) entstehen durch Hochtemperaturlöten mit minderwertigem Stickstoff	Besonders problematisch in kupferreinen Rohren
Siliziumverbindungen	Verunreinigtes Schutzgas oder Flussmittel → Bildung von SiO_2 & SiC	Extrem harte Partikel → Kompressorverschleiß

- Bei Verwendung von Stickstoff **4,5** oder **5,0** ist die Wahrscheinlichkeit der Verunreinigungen sehr gering
- **längere Lebensdauer der Anlage!**

Schweißen: Probleme beim Schweißen von Edelstahlrohren in CO₂-Kältekreisläufen

Oxidbildung:

- Chromoxide (Cr₂O₃) entstehen bei unzureichendem Schutzgas
- Folgen: Abrasive Partikel erhöhen den Kompressorverschleiß

Feuchtigkeitseintritt:

- Kann beim Schweißen oder durch schlechte Trocknung ins System gelangen

Partikelbildung:

- Schlechte Schweißnähte setzen Metallpartikel frei
- Folgen: Verstopfung von Expansionsventilen & Filtern

- Empfehlungen:
 - Hochwertige Schutzgase (Argon, Stickstoff 5.0) verwenden
 - Rohre nach dem Schweißen gründlich reinigen
 - System sorgfältig trocknen
 - Schmutzfänger & Filter einsetzen

Wasserverunreinigungen in POE-Öl mit CO₂ – Ursachen & Prävention

- POE-Öl ist stark hygroskopisch und zieht Feuchtigkeit aus der Umgebung an → **Feuchtigkeit im POE-Öl kann zu Säurebildung, Korrosion und Ölabbau führen!**

Wasserverunreinigungen – Hauptursachen & Lösungen

- **Feuchtigkeitseintritt bei
Wartung**
 - Beim Öffnen des Systems kann Luftfeuchtigkeit eindringen und vom Öl aufgenommen werden
 - **Folgen:** Hydrolyse, Säurebildung, reduzierte Schmiereigenschaften.
 - **Vermeidung:** System mit trockenem Stickstoff (N₂) spülen, Expositionszeit minimieren, POE-Öl luftdicht lagern.
- **Unzureichendes Vakuum bei
Installation/Wartung**
 - Feuchtigkeit verbleibt im System, reagiert mit CO₂ und bildet Kohlensäure (H₂CO₃)
 - **Folgen:** Korrosion, Ölzerfall, Schäden an Bauteilen
 - **Vermeidung:** Tiefvakuum (<500 Mikron) verwenden, System auf Dichtheit prüfen, saubere Vakuumpumpe nutzen

Wasserverunreinigungen – Hauptursachen & Lösungen

- **Leckagen im System**

- Feuchte Luft kann über undichte Stellen ins System gelangen
- **Folgen:** Ansteigender Wassergehalt, schleichende Hydrolyse & Korrosion
- **Vermeidung:** Regelmäßige Leckage- und Druckprüfungen, hochwertige Dichtungen & CO₂-kompatible Materialien verwenden

- **Verunreinigtes oder minderwertiges Kältemittel**

- Bereits vorbelastetes CO₂ kann Feuchtigkeit ins System einbringen
- **Folgen:** Schnelle Säurebildung & Ölzerstörung
- **Vermeidung:** Nur hochreines, trockenes CO₂-Kältemittel nutzen, Feuchtigkeitsgehalt vor Befüllung prüfen

Wasserverunreinigungen – Hauptursachen & Lösungen

- **Gesättigte oder minderwertige Filtertrockner**
 - Alte oder zu kleine Filtertrockner können Feuchtigkeit nicht effektiv binden
 - **Folgen:** Kontinuierlicher Wasseranstieg, Ölabbau
 - **Vermeidung:** CO₂-kompatible Filtertrockner mit hoher Kapazität verwenden, nach Wartung/Ölwechsel erneuern
- **Restfeuchtigkeit aus früherem Öl oder Reinigungsmitteln**
 - Rückstände von altem Öl oder Reinigern können Wasser enthalten
 - **Folgen:** Frisches POE-Öl nimmt Feuchtigkeit auf → beschleunigte Hydrolyse
 - **Vermeidung:** System gründlich spülen & trocknen vor Neubefüllung

Ursachen und Prävention von Wasserverschmutzung



Ergebnis	Ursache	Wie man es erkennt	Prävention
Feuchtigkeitsaufnahme, Hydrolyse	Luftkontakt während der Wartung	Wassergehalt (ppm) steigt nach der Wartung	Luftkontakt begrenzen, Stickstoffspülung verwenden, POE-Öl richtig lagern
Schlechte Vakuumierung während der Installation	Restfeuchtigkeit verbleibt im System	Hoher Wassergehalt (ppm) ab Inbetriebnahme	Tiefvakuum (<500 Mikron) verwenden, auf Lecks prüfen
Allmählicher Anstieg des Wassergehalts (ppm)	Lecks ermöglichen das Eindringen von feuchter Luft	Wassergehalt (ppm) steigt mit der Zeit	Regelmäßige Lecksuche, Dichtungen/Gummidichtungen prüfen
Feuchtigkeit im Kältemittel	Wasser wird mit dem Kältemittel eingebracht	Hoher Wassergehalt (ppm) nach dem Befüllen	Trockenes, hochwertiges CO ₂ -Kältemittel verwenden
Gesättigter Filtertrockner	Kann keine Feuchtigkeit mehr aufnehmen	Wassergehalt (ppm) nimmt nicht ab	Hochwertige CO ₂ -kompatible Trockner verwenden, regelmäßig austauschen
Restfeuchtigkeit aus vorherigem Öl oder Reinigung	Wasser verbleibt aus altem Öl	Wassergehalt (ppm) steigt nach Ölwechsel	System vor dem Hinzufügen von neuem Öl gründlich spülen

Maßnahmen bei hohem Wassergehalt im System

Wartungshistorie prüfen

- Wurde das System kürzlich geöffnet oder repariert?

Ölfeuchtigkeit analysieren

- >50 ppm kritisch, >100 ppm erfordert sofortiges Handeln

Filtertrockner tauschen

- Falls der Wassergehalt nicht sinkt, könnte er gesättigt sein

Vakuum-Dichtheitsprüfung durchführen

- Sicherstellen, dass keine feuchte Luft eindringt

Ölwechsel erwägen

- Falls Wasser & Säurezahl steigen

Wasserverunreinigungen in POE-Öl mit CO₂ – Ursachen & Prävention

- POE-Öl ist stark hygroskopisch und zieht Feuchtigkeit aus der Umgebung an → **Feuchtigkeit im POE-Öl kann zu Säurebildung, Korrosion und Ölabbau führen!**
- Wasserkontamination lässt sich durch saubere Wartung, hochwertige Materialien und präzise Arbeitsprozesse minimieren.
- Regelmäßige Überwachung & Lecksuche sind essenziell, um Feuchtigkeit & Schäden zu vermeiden!

– für eine längere Lebensdauer & höhere Betriebssicherheit!

Wechselwirkung von POE-Öl mit Metalloxiden & Nitriden

- Warum löst POE-Öl Metalloxide & Nitride?
 - Hohe Polarität → Wirkt wie ein schwaches Lösungsmittel
 - Folge: Polare Wechselwirkungen lösen Oxide & Nitride langsam auf
- Chemische Reaktion mit Verunreinigungen
 - POE-Öl reagiert mit Eisennitriden (Fe_4N , Fe_3N), Eisenoxiden (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) & Kupferoxid (Cu_2O)
 - Folge: Auflösung der Partikel
- Säurebildung & Materialabbau
 - POE + Feuchtigkeit + Sauerstoff = Carbonsäuren & Esterabbauprodukte
 - Folge: Angreifen & teilweise Auflösen von Eisenoxiden & Nitriden
- Metallkatalyse im Ölkreislauf
 - Gelöste Kupfer- & Eisenionen beschleunigen weitere Oxidationsreaktionen
 - Folge: Erhöhter Metallgehalt im Öl → beschleunigter Verschleiß

Fazit: POE-Öl kann Metallverunreinigungen lösen → erhöhter Verschleiß & Systemproblemen

Erkennung von Verunreinigungen im Kältemaschinenöl: Ölprobe entnehmen

(2x jährlich, spätestens beim jährlichen Filterwechsel)

Parameter	Sehr Gut	Grenzwertig	Kritisch	Hochkritisch	Mögliche Ursachen
Aluminium (Al, ppm)	<3 → Kein Verschleiß	3-8 → Leichte Abrasion	>8 → Bauteilverschleiß	>100 → Schwere Schäden	Verschleiß von Gehäuse, Lagern, Kolben
Eisen (Fe, ppm)	<2 → Kein signifikanter Verschleiß	2-5 → Leichte Abrasion	>5 → Erhöhter Verschleiß	>100 → Bauteilausfälle	Unsachgemäßes Löten, Verschleiß an Lagern
Kupfer (Cu, ppm)	<1 → Kein Problem	1-3 → Erste Korrosionsanzeichen	>3 → Korrosion / Lagerabrieb	>10 → Gefahr von Systemausfall	Lötfehler, Säurekorrosion
Silizium (Si, ppm)	<5 → Keine Verunreinigung	5-15 → Leichte Verschmutzung	>15 → Externe Verunreinigung	>50 → Systemverunreinigung	Dichtungsmaterial, schlechter Stickstoff
Säurezahl (TAN, mgKOH/g)	<0.05 → Frisches Öl	0.05-0.10 → Frühzeitige Alterung	>0.10 → Ölabbau	>0.20 → Sofortiger Ölwechsel nötig	Hydrolyse, Oxidation
Wasser (H₂O, ppm)	<30 → Keine Probleme	30-50 → Frühe Hydrolyse	>50 → Kritisch für POE-ÖL	>150 → Sofortiges Eingreifen nötig	Lufttritt, Feuchtigkeit im System

Schlüsseleinsichten & Maßnahmen

- **Metalle (Al, Fe, Cu):** Hinweis auf Verschleiß oder schlechte Lötverbindungen
 - Mechanische Prüfung, ggf. Öl- & Filterwechsel
 - **Silizium:** Kann aus Dichtstoffen, Staub oder minderwertigem Stickstoff stammen
 - Dichtungen & Filter prüfen
 - **Wasser:** POE-Öl ist hygroskopisch
 - Lecksuche, Filtertrockner tauschen, ggf. Ölwechsel
 - **Hohe TAN-Werte:** Öldegradation
 - TAN-Überwachung durchführen, Öl ersetzen, wenn Grenzwerte überschritten werden.
-
- Regelmäßige Ölproben, Analysen & Trendüberwachung sind essenziell, um frühzeitig Probleme zu erkennen & Schäden zu vermeiden
 - Geringe Kosten für Analysen helfen, teuren Verschleiß & Systemausfälle zu verhindern!

Schlussfolgerung & Empfehlungen

- Wechselwirkungen von POE-Öl mit Metallverbindungen sind gut erforscht
- Chromoxide (Cr_2O_3), Eisennitride (Fe_4N , Fe_3N) & Oxide (Fe_2O_3 , Cu_2O) lösen sich in POE-Öl und gelangen in den Kältekreislauf
- Hoher Wassergehalt: Säurebildung beschleunigt Metallreaktionen, beeinträchtigt die Viskosität & kann Dichtungen schädigen
- Empfohlene Maßnahmen:
 - Regelmäßige Ölanalysen & Trendüberwachung durchführen.
 - Hochwertiges Flussmittel ohne Silikate verwenden.
 - Hochreines Schutzgas nutzen → Reduziert Feuchtigkeit, Nitrid- & Chrombildung
 - Filter & Trockner jährlich austauschen
 - Feine Filter im Ölkreislauf einsetzen & regelmäßig wechseln
- Präventive Wartung = Langlebigkeit & Effizienz der Kälteanlage!

Kontakt

TEKO KÄLTETECHNIK



Carl-Benz-Straße 1-3,
63674 Altstadt -
Germany



+49 6074 – 9630 - 0



info@teko-gmbh.com



www.teko-gmbh.com

