

Checkliste für die Inbetriebnahme von R744-Boosteranlagen

Druckfestigkeit und Dichtheit prüfen, Sicherheitsventile montieren:		
Druck- und Dichtheitsprüfung nur mit getrocknetem Stickstoff, nicht mit Luft oder Sauerstoff!		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verdichter: <ul style="list-style-type: none"> – wurden bereits im Werk einer Prüfung auf Druckfestigkeit unterzogen. Eine Dichtheitsprüfung ist deshalb ausreichend. – Prüfdrücke dürfen die maximalen Werte auf dem Typenschild des Verdichters nicht überschreiten! Dabei Hoch- und Niederdruckseite unterscheiden! 	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rohrleitungen: <ul style="list-style-type: none"> – Druckfestigkeit nach EN 378-2: MOP x 1,43 bzw. min. 1,1 (≥ Kategorie II) // subsequent EN12799 (Hartlötverbindungen), EN12517 (Schweißverbindungen). 	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzelne Abschnitte der Anlage isolieren, Druck und Temperatur aufzeichnen (messen). 	<input type="checkbox"/>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicherheitsventile montieren: <ul style="list-style-type: none"> – HP, MOP _____ Seriennummer(n): _____ – MP, MOP _____ Seriennummer(n): _____ – NK LP, MOP _____ Seriennummer(n): _____ – TK LP, MOP _____ Seriennummer(n): _____ 	<input type="checkbox"/>	
Öl in Ölabscheider und Ölreservoir einfüllen:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Öl BSE85K (POE) oder BSG68K (PAG) verwenden, POE- und PAG-Öl nicht mischen! ▪ Öl BSE60K für Verdichter der Tiefkühl-Verdichterstufe in Booster-Anlagen nicht zulässig! ▪ Öltyp und Menge der Ölfüllung dokumentieren. 	<input type="checkbox"/>	
Filtertrocknereinsätze installieren:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Typ 48-DM 	<input type="checkbox"/>	
Evakuieren:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Allein durch Evakuieren lassen sich Anlagen nur schwer trocknen. Verdampfen von Wasser durch Evakuieren ist zeitintensiv. <u>Daher:</u> Das Vakuum von 20 mbar im Verlauf des Evakuierungsprozesses 2-3x mit getrocknetem Stickstoff brechen. ▪ Eisbildung in der Anlage vermeiden (Tripelpunkt) – keine Temperaturen unter 0°C! 	<input type="checkbox"/>	
Empfehlung für "stehendes" Vakuum: ca. 0,7 mbar (500 microns).		<input type="checkbox"/>
Ölheizung(en) einschalten (Verdichter <u>nicht</u> einschalten!)		
Ölsumpftemperatur(en) bei 35 .. 40°C, mindestens aber 20 K über der Umgebungstemperatur.		<input type="checkbox"/>
Ölstand im Verdichter prüfen.		<input type="checkbox"/>
Vakuum mit gasförmigem R744 brechen:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ R744-Kältemittelflasche mit Druckminderer + geeigneten Füllleitungen an die Anlage anschließen. ▪ Füllleitungen evakuieren oder mit gasförmigem R744 spülen. ▪ Füllanschluss öffnen, Vakuum mit gasförmigen R744 bis auf ca.10 bar (-40°C) brechen. ▪ Bei Entnahme von gasförmigem R744 aus Flaschen, Druckminderer verwenden (keine Entnahme über Steigrohr!) ▪ Bei starker Abkühlung der Kältemittelflasche, die Flasche im Wasserbad bei max. 40°C erwärmen. ▪ Druck- und Saugabsperrventile der Verdichter der Normalkühl- und Tiefkühl-Verdichterstufe schließen. 	<input type="checkbox"/>	
Sicherheits- und Regelkomponenten überprüfen:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laptop mit Verbundregler verbinden (FRIGO DATA, Plant Visor, Service Tool etc.). ▪ Verbundregelung digital auf „on“ schalten. Laststromkreise der Verdichter bleiben ausgeschaltet (Sicherungen entfernt). ▪ Druckaufnehmer und Temperaturfühler kalibrieren. ▪ Signaltests der analogen und digitalen Ein- und Ausgänge. ▪ Zuordnung Temperaturfühler prüfen (Kältespray). ▪ Bei Bedarf Verdrahtung und elektrische Anschlüsse kontrollieren. ▪ Korrekte Montage des Temperaturfühlers am Gaskühler überprüfen. ▪ Korrekte Montage der Druckaufnehmer und Temperaturfühler an den Verdampfern überprüfen. ▪ Drehrichtung des Gaskühlerventilators überprüfen. ▪ Drehrichtung Verdampferventilator überprüfen. ▪ Parameter der Überhitzungsregelung an den Kühlstellen überprüfen. <ul style="list-style-type: none"> – Schutzfunktion „Schließen der Expansionsventile bei MOP + minimaler Überhitzung“ aktivieren. – Parameter für MOP einstellen/prüfen. – Parameter für minimale Überhitzung einstellen/prüfen. 	<input type="checkbox"/>	

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parameter der Saugdruckregelung am Verbundregler überprüfen. – Kurze Zeitverzögerungen für die Verdichter in der Phase der Erst-Inbetriebnahme einplanen. 	<input type="checkbox"/>
Weiteres Befüllen mit Kältemittel (kleine bis mittelgroße Anlagen, keine Anlagen mit großen Leistungen und langen Rohrleitungsstrecken zwischen Verdampfern und Verdichtern)	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kühlstellen digital auf „off“ stellen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Absperrventile am Ausgang des Mitteldruckbehälters schließen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weiteres Befüllen der Anlage mit flüssigem R744 in den Mitteldruckbehälter. Bei R744-Entnahme aus Flaschen über Steigrohr, <u>keinen</u> Druckminderer verwenden! Ev. Stillstandskühlung einschalten. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bevor der erste Verdampfer in Betrieb geht, muss das minimale Flüssigkeitsniveau im Mitteldruckbehälter erreicht sein. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Füllvorgang in den Mitteldruckbehälter bei 30 bar stoppen (abhängig vom Design (MOP) der Anlage in dieser Druckstufe) und sicherstellen, dass der Druck unterhalb des Sollwertes für das Flash-Gas-Bypass-Ventil bleibt. 	<input type="checkbox"/>
In Betrieb nehmen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Druck-, Saug- und Ölabsperrentile der Verdichter öffnen, Laststromkreis der Verdichter einschalten. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verdichter in "Automatik-Mode" betriebsbereit schalten. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Absperrventil der Flüssigkeitsleitung vom Mitteldruckbehälter langsam öffnen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kühlstellen der Normalkühlung nacheinander im "Automatik-Mode" in Betrieb nehmen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> – Leistung Kühlstelle(n) zu Leistung Verdichter beachten! Zuschalten der Last in 3 bis 5 Schritten anteilig zur nominellen Verdampferleistung. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> – Nach Inbetriebnahme einer Kühlstelle abwarten, wie sich die Regelparameter verändern und einstellen. 	
<ul style="list-style-type: none"> – Folgende Kenngrößen beobachten: Hochdruck Mitteldruck Saugdruck Normalkühl-Verdichterstufe Saugdruck Tiefkühl-Verdichterstufe Sauggastemperatur Normalkühl-Verdichterstufe Druckgastemperatur Normalkühl-Verdichterstufe Öffnungsgrad Hochdruckregelventil Öffnungsgrad Flash-Gas-Bypass-Ventil Überhitzung und Öffnungsgrad an den Kühlstellen 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> – Absenkung der Raum-/Kühlmöbeltemperatur auf ca. 10° bis 8°C, bevor die nächste Gruppe von Verdampfern zugeschaltet wird. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kühlstellen der Tiefkühlung nacheinander in Betrieb nehmen. Analog zum zuvor beschriebenen Vorgang. – Absenkung der Raum-/ Kühlmöbeltemperatur auf ca. -5°C° bis -10°C, bevor die nächste Gruppe von Verdampfern zugeschaltet wird. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> – Absenkung der Raum-/ Kühlmöbeltemperatur auf ca. -5°C° bis -10°C, bevor die nächste Gruppe von Verdampfern zugeschaltet wird. 	<input type="checkbox"/>
→ Kältemittelfüllung je nach Bedarf anpassen/ergänzen.	<input type="checkbox"/>
Nach erfolgreicher Inbetriebnahme der Anlage, Betriebsdaten überprüfen und Datenprotokoll erstellen:	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebstemperaturen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sauggastemperatur. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Druckgastemperatur > 50°C (40°C). 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Öltemperatur > 30°C (20°C). 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schalthäufigkeit. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normalkühl-Verdichterstufe: min. Zeit für 1x Anlaufen und wieder Abschalten: 10 min. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiefkühl-Verdichterstufe: min. Betriebszeit: 2 min. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maximale Anzahl der Verdichter-Anläufe pro Stunde: 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> – Normalkühl-Verdichterstufe: 6 	
<ul style="list-style-type: none"> – Tiefkühl-Verdichterstufe: 8 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spannung und Betriebsstrom in allen drei Phasen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filterwechsel: 	
<ul style="list-style-type: none"> – Saugfilter und Filtertrockner nach max. 200 h. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> – Ölabscheider nach 24..48 h. 	<input type="checkbox"/>

Folgende Hinweise nach der Inbetriebnahme unbedingt beachten, um starke Verschmutzungen in den Anlagen zu vermeiden:	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Koaleszenz-Filterelemente von Ölabscheidern sind fein abscheidend. Ausgewechselte Elemente sollten auf Verschmutzung geprüft werden. Dazu Endkappen der Elemente auf einer Seite abschneiden und Patrone mittig durchtrennen, um Rückstände in den einzelnen Filterschichten bewerten zu können. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei starker Verschmutzung der Koaleszenz-Filterelemente den Vorgang nach 24..48 h wiederholen. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Verschmutzungsgrad der eingesetzten Sauggasfilter, bzw. Filtertrockner-Einsätze auf der Saugseite der Anlage sollte nicht anhand einer abgesenkten Verdampfungstemperatur bewertet werden, da die Drucklagen bei R744 hoch sind und die Maschenweiten der Drahtgeflechte gewöhnlich zwischen 250 und 100 µm liegen. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Einsatz von neuentwickelten Saugfiltereinsätzen mit geringer Maschenweite ist hilfreich, um den Verschmutzungsgrad in den Anlagen zu reduzieren. 	<input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Besonders bei großen, weitverzweigten Rohrleitungsnetzen werden Rückstände aus der Anlage erst nach den ersten Phasen unter Vollast über die Saugseite zurückgeführt. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für alle eingesetzten Filterelemente gilt, dass ein hoher Verschmutzungsgrad zu starkem Druckabfall und zur Zerstörung des Filtereinsatzes führen kann! 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ In der ISO 4406 werden alle Partikel, die gleich oder größer als 4 µm sind, kumuliert und pro 100 ml gezählt. Die definierte Klassifikation aller Partikel erfolgt anhand der Partikelgrößen $\geq 4 \mu\text{m}$, $\geq 6 \mu\text{m}$, $\geq 14 \mu\text{m}$. Die Kategorie „Turbinenöl“ wird in der Regel für Verdichter in der Kältetechnik verwendet. Der Schlüssel der zuvor genannten Kategorie lautet 20 / 17 / 14 und ergibt gem. ISO 4406: <ul style="list-style-type: none"> - max. 500.000..1.000.000 $\geq 4 \mu\text{m}$ - max. 64.000..130.000 $\geq 6 \mu\text{m}$ - max. 8.000..160.000 $\geq 14 \mu\text{m}$ 	