



GER Retail-Lösungen für CO₂-Anwendunge

Inhalt

1. WARUM CO₂ ALS KÄLTEMITTEL?	5
1.1 Thermodynamische Eigenschaften	5
1.2 Subkritischer Prozess.....	5
1.3 Transkritischer Prozess.....	5
2. SUBKRITISCHE CO₂-KASKADENANLAGEN	7
2.1 CAREL-Lösung.....	7
2.2 Besonderheiten der Anlage.....	10
2.2.1 DSS: Double System Synchronization	10
2.2.2 EEVS: Electronic Expansion Valve Synchronization.....	10
3. TRANSKRITISCHE CO₂-BOOSTERANLAGEN	12
3.1 CAREL-Lösung.....	13
3.2 Besonderheiten der Anlage.....	15
3.2.1 DSS: Double System Synchronization	16
3.3 Transkritischer CO ₂ -Verflüssigungssatz	16
4. SUBKRITISCHE CO₂-PUMPENANLAGEN	18
3.4 CAREL-Lösung.....	18
5. GEMEINSAME KOMPONENTEN	20



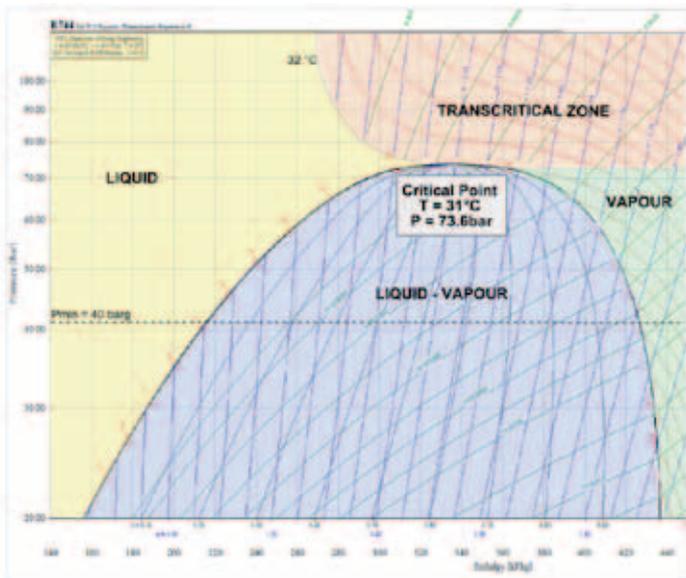
1. WARUM CO₂ ALS KÄLTEMITTEL?

Kohlenstoff wird bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts verwendet. Als Kältemittel hat es sich allerdings erst in den letzten Jahren durchgesetzt. Zuzuschreiben ist diese Entwicklung dem wachsenden Interesse an natürlichen Kältemitteln sowie der Gesetzgebung, die vor allem in Europa den Einsatz von synthetischen Kältemitteln einschränken will.

CO₂ ist in großen Mengen und überall verfügbar - auch als Abprodukt aus anderen Prozessen. Daher ist es viel preisgünstiger als konventionelle Kältemittel. Außerdem trägt es nur in vernachlässigbar geringem Maße zum Treibhauseffekt bei (GWP = 1, Ozonabbau Potenzial = 0), ist nicht giftig, nicht entflammbar und muss am Lebensende der Anlage nicht recycelt werden.

1.1 Thermodynamische Eigenschaften

Neben den wirtschaftlichen, politischen und ökologischen Vorteilen besitzt CO₂ thermodynamische Eigenschaften, die in zahlreichen Anwendungen eine effiziente Alternative zu den konventionellen Kältemitteln darstellen.



Der Hauptunterschied zwischen Kohlendioxid und den synthetischen Kältemitteln ist der kritische Punkt: 31.1 °C, eine Temperatur, die in vielen Klimaregionen der Welt erreicht wird. Am kritischen Punkt sind die Dichten der gesättigten Flüssigkeit und des Sattdampfes dieselben. Bei höheren Temperaturen existieren keine Unterschiede zwischen den beiden Aggregatzuständen mehr: Man spricht von der überkritischen Phase. Druck und Temperatur sind also nicht mehr aneinander gebunden. Für ihre Überwachung, die Optimierung des Wärmeaustausches und die Maximierung der Effizienz sind also Vorkehrungen erforderlich.

Flüssigk.	Kritische Temp. (°C)	Kritischer Druck (bar)	Sättigungsdruck (bar)		Latente Wärme bei -20 °C (kJ/m ³)
			-20 °C	+30 °C	
CO ₂	31.06	73.84	19.7	72.1	14592
R22	96.15	49.9	2.4	11.9	2371
R134a	101.06	40.59	1.3	7.7	1444
R410A	71.36	49.03	4	18.9	3756
R404A	72.1	36.2	3.1	14.3	2820
NH3	132.25	113.33	1.9	11.7	2131

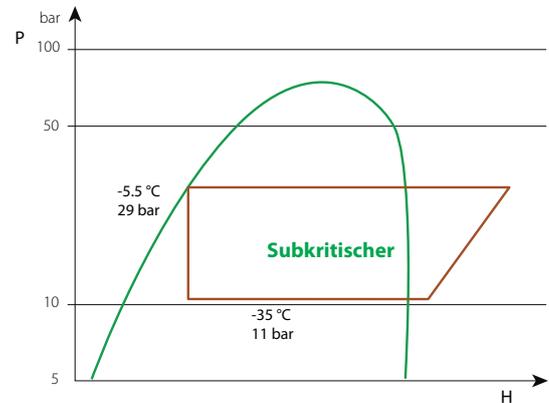
Die größte Herausforderung für die Anlagenkomponenten (Verdichter, Ventile, Leitungen) sind die hohen Arbeitsdrücke. Höhere Drücke ermöglichen allerdings auch geringere Leitungsdurchmesser, ein niedrigeres Kompressionsverhältnis und ergeben weniger Druckverlustprobleme.

Das CO₂ kennzeichnet sich durch einen hohen latenten Wärmeanteil pro Volumeneinheit. Dies zeigt sich von Vorteil für die Wärmetauschergröße, die Anzahl der Kreisläufe und die Kältemittelmenge.

1.2 Subkritischer Prozess

Die einfachste kältetechnische CO₂-Anwendung ist der subkritische Betrieb: Das CO₂ wird dabei für die sekundäre Tiefkühlung verwendet (sowohl mit Dampfkompression (Kaskadenanlagen) als auch in Flüssig-CO₂-Kreisläufen mit Zirkulationspumpe).

Subkritische Kühlung

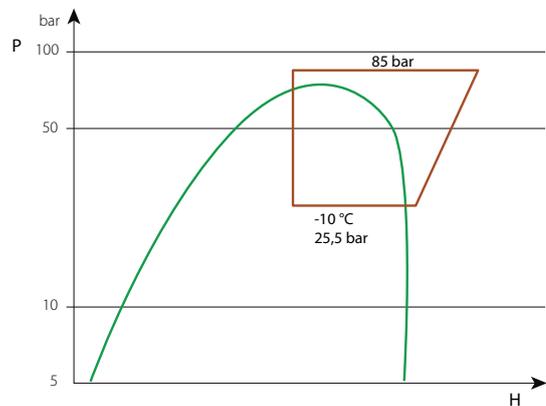


Der Primärprozess läuft über ein herkömmliches Kältemittel. Er hat die Aufgabe, die CO₂-Verflüssigungstemperatur unter dem kritischen Punkt zu halten, allgemein zwischen -5 und -10 °C.

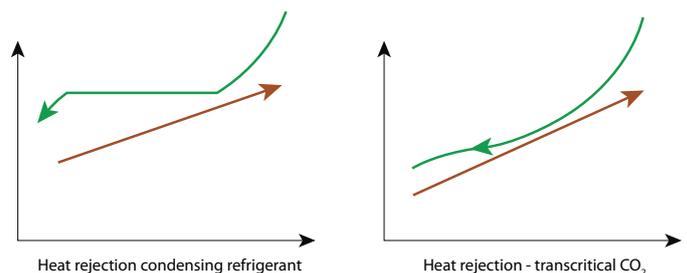
1.3 Transkritischer Prozess

Das CO₂ kann auch für den Wärmeaustausch mit der Außenumgebung verwendet werden. In diesem Fall spricht man von einer transkritischen Prozessführung, weil die Umgebungstemperatur zu bestimmten Jahreszeiten den kritischen Punkt von 31.1 °C übersteigen kann.

Transkritische Kühlung



Der Hauptunterschied zwischen der transkritischen Kühlung und dem normalen Kühlprozess besteht in der Kühlung des komprimierten Gases, die keine Verflüssigung bei konstanter Temperatur wie in den konventionellen Prozessen ist.



Bei der Verflüssigung findet die Zustandsänderung des Gases unter konstantem Druck statt. Im transkritischen Prozess erfolgt die Zustandsänderung des überkritischen Gases unter konstanter Absenkung der Temperatur.

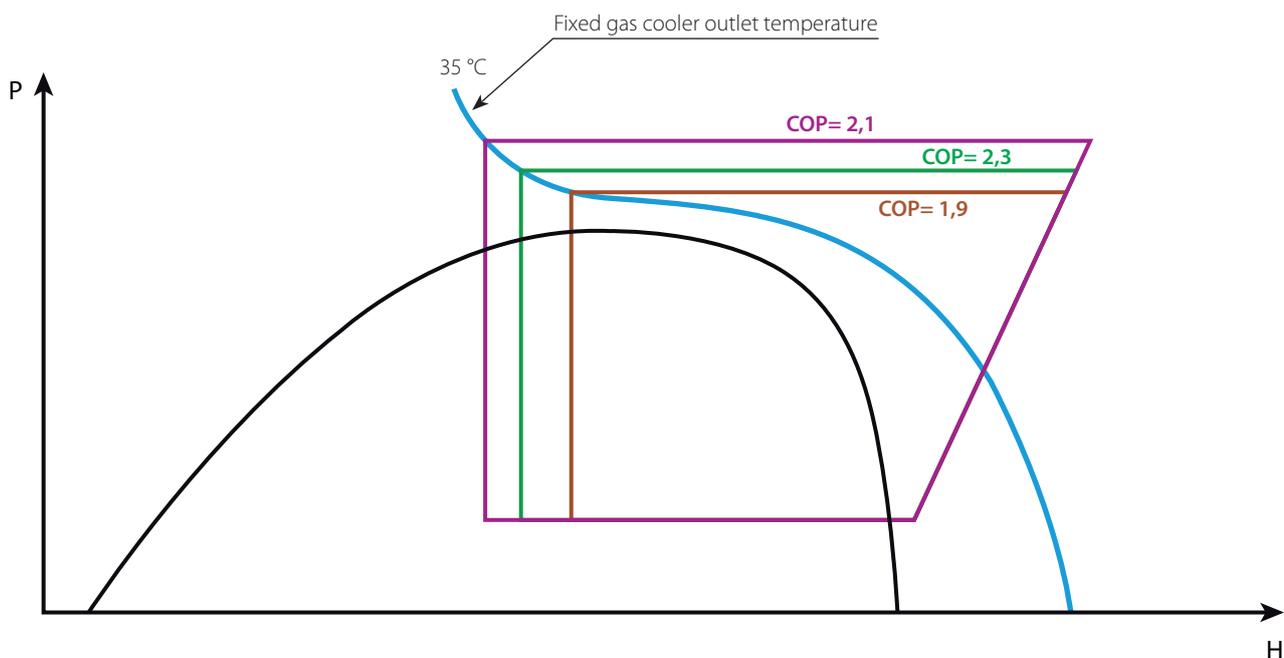
Aus diesem Grund ist die Bauform des Hochdruckwärmetauschers eine andere. Man spricht von Gaskühler, nicht von Verflüssiger.

Das Kohlendioxid begünstigt den Wärmeaustausch, weil beide Flüssigkeiten in jeder Phase der Zustandsänderung analogere Temperaturen als bei der herkömmlichen Verflüssigung aufweisen. Dieser Vorteil kann in den Wärmepumpen für höhere Leistungszahlen als in den konventionellen Maschinen genutzt werden.

Für die Prozesseffizienz spielt die Druckregelung am Gaskühleraustritt eine wichtige Rolle.

Im Diagramm p-h sind bei einer festen Gaskühleraustrittstemperatur (in Blau dargestellt) verschiedene druckabhängige Prozesse ersichtlich. Für den in Braun gezeichneten Prozess ergibt sich bei zunehmendem Druck eine höhere Kälteleistung (Δh_{EVAP}) als Verdichtungsarbeit (Δh_{COMP}): Die Kältezah steigt. Nach Erreichen des Drucks des in Grün dargestellten Prozesses erhöht sich die Verdichtungsarbeit mehr als die Kälteleistung, was die Kältezahl vermindert (in Violett).

Für jede Gaskühleraustrittstemperatur lässt sich also ein optimaler Druck mit effizienzoptimierter Kältezahl bestimmen.

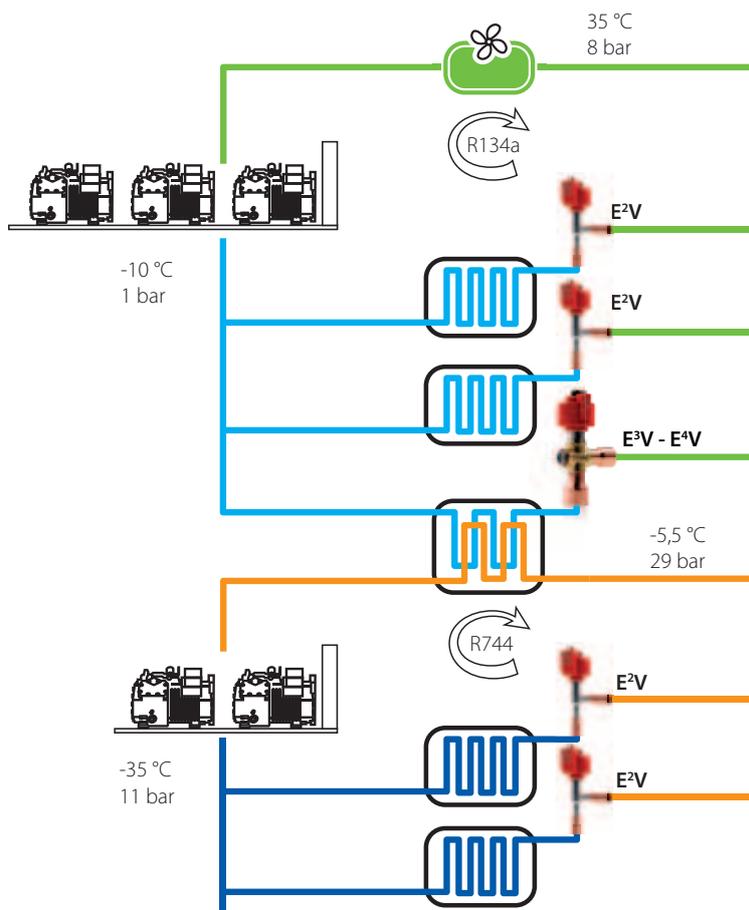


2. SUBKRITISCHE CO₂-KASKADENANLAGEN

Die subkritischen CO₂-Anlagen mit Kaskadenschaltung eignen sich besonders für Anwendungen in Regionen mit mittleren bis hohen Temperaturen. Sie werden also allgemein in warmen Klimazonen oder für den Ersteinstieg in CO₂-Anwendungen verwendet.

Kaskadenanlagen bestehen aus zwei Kältekreisläufen: 1 für die Normalkühlung (NK) (allgemein R134a, R404a und NH₃) und 1 für die Tiefkühlung (TK) (R744). Sie sind durch einen oder zwei Plattenwärmetauscher gekoppelt, die auf der einen Seite das CO₂ verflüssigen, auf der anderen Seite als normale Verdampfer für den Normkühlbetrieb arbeiten.

Beispiel einer subkritischen CO₂-Kaskadenanlage



PRO

- System vergleichbar mit einer konventionellen Anlage (R404)
- Betriebsdrücke vergleichbar mit den konventionellen Drücken (max. 45 barg)
- Durchschnittlicher FKW-Gasgehalt
- Anlageneffizienz besser im Vergleich zu FKW-Standards; auf alle Klimaregionen anwendbar

KONTRA

- Falls nicht Ammoniak verwendet wird: keine komplett „grüne“ Anlage
- Falls Ammoniak verwendet wird, kann die NK-Verbundanlage nicht in allen Klimaregionen für die Versorgung der Normkühlstellen eingesetzt werden

2.1 CAREL-Lösung

pRack pR300: Verbundsteuerung

pRack pR300 steuert sowohl die NK- als auch die TK-Verbundanlage an. Abhängig von der Verbundanlagengröße sind eine oder mehrere Steuerungen erforderlich. Die Steuerung übernimmt die Aktivierung und Sicherung der TK- und NK-Verdichter (Inverter, Laststufen und Verdichter unterschiedlicher Leistung), des NK-Verflüssigers (bürstenlose Ventilatoren),



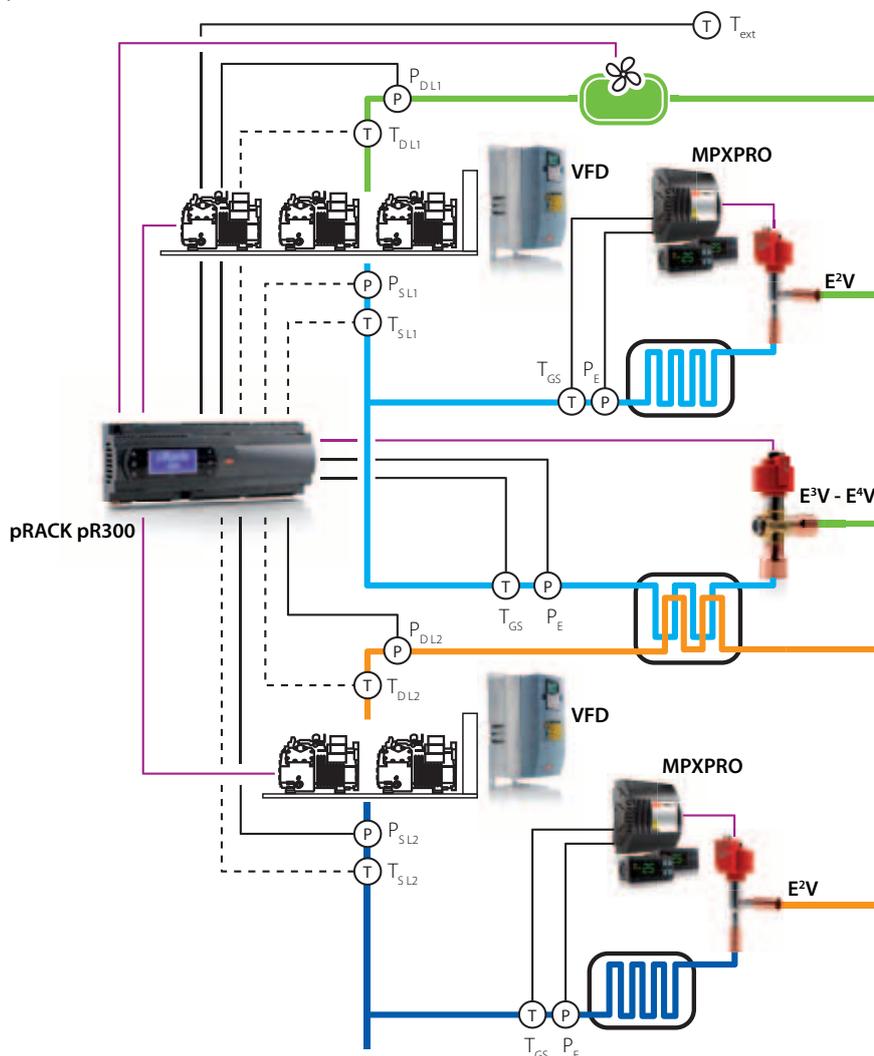
pRACK pR300



Inverter, Stufen), der eventuellen Unterkühlungssysteme sowie die Synchronisierung der beiden Verbundanlagen und die Kommunikation mit den E-Ventiltreibern des Kaskaden-Wärmetauschers.

Für die CO₂-Verflüssigung können maximal zwei Plattenwärmetauscher eingesetzt werden. Die Expansionsventile können mit dem in pRack pR300 integrierten Treiber oder mit externen EVD EVO-Treibern per RS485-Feldbus-Kommunikation geregelt werden.

Regelschema mit einzelner pRack-Platine und einzelinem Built-in-Treiber



Anschlüsse pRACK

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T _{ext}	Außentemperatur	NTC - HP	
P _{DL1}	Druckgasdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-18,2 barg	
T _{D,L1}	Druckgastemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P _{SL1}	Saugdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-7 barg	Könnte als Backup von PE verwendet werden
T _{S,L1}	Saugtemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)
P _E	Verdampfungsdruck Wärmetauscher	Ratiometrisch -1-9,3 barg	
T _{GS}	Temperatur überhitztes Gas Wärmetauscher	NTC - HF	
P _{DL2}	Druckgasdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T _{D,L2}	Druckgastemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P _{SL2}	Saugdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T _{S,L2}	Saugtemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)

MPXPRO & E²V: Kühlstellensteuerung und elektronische Schrittmotor-Expansionsventile

Aufgrund der Kältemittelgeschwindigkeit des CO₂ ist die Verdampferregelung ausschlaggebend für einen guten Anlagenbetrieb. Die elektronischen Schrittmotor-Expansionsventile E²V von CAREL gewährleisten hierzu eine gute Anlagenstabilität. Mit seiner Ultracap-Technologie sorgt das System MPXPRO + E²V für die perfekte Schließung der Anlage ohne Bedarf an zusätzlichen Magnetventilen.



MPXPRO & E²V

E³V: Elektronische Expansionsventile

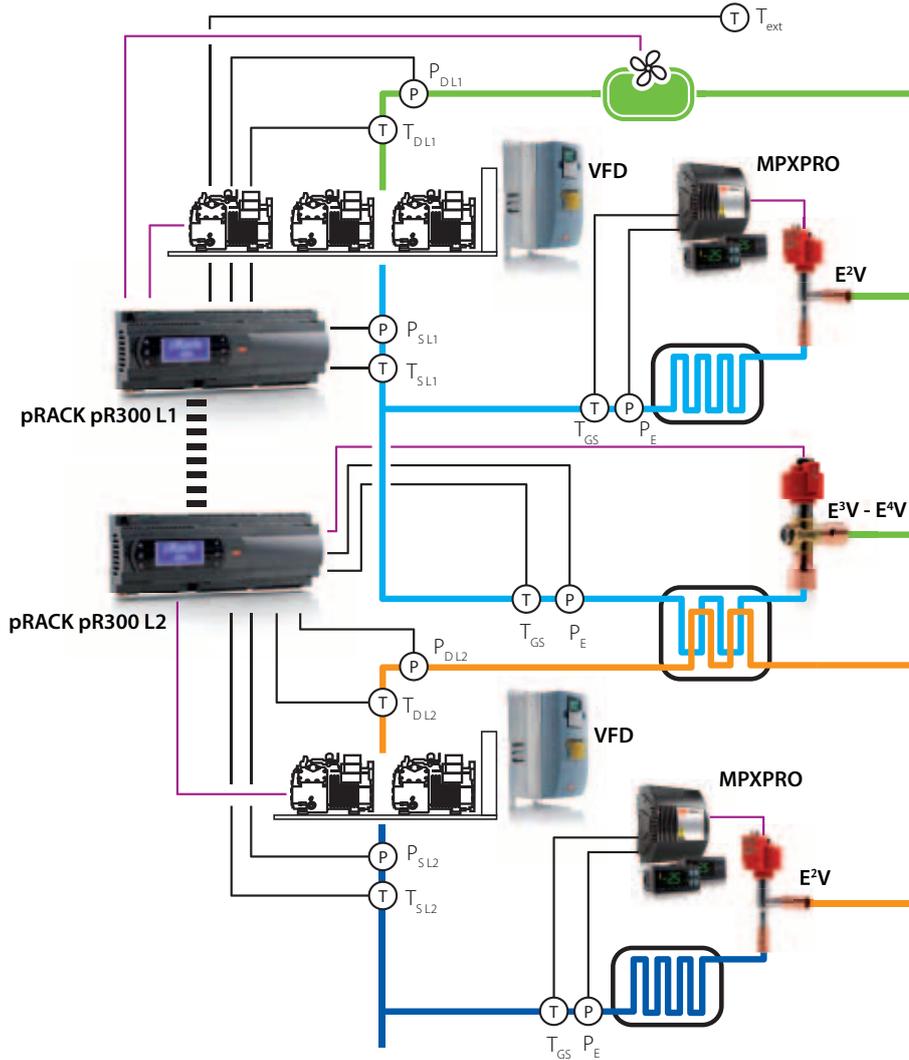
Entscheidendes Element für diese Art von Anlage ist der Kaskaden-Wärmetauscher, allgemein ein Plattenwärmetauscher, der die CO₂-Verflüssigung der Anlage regelt. Für eine bessere Regelung bei niedriger Last und für mehr Sicherheit werden oft zwei Plattenwärmetauscher eingebaut. Sie werden von elektronischen Schrittmotor-Expansionsventilen E³V angesteuert (elektronische PWM-Ventile garantieren in diesen Anwendungen nicht optimale Leistungen).

Neben der herkömmlichen saugseitigen Überhitzungsregelung sorgen sie in diesen Anwendungen für die Direktkommunikation mit der TK-Verbundanlage, falls der Treiber in die TK-Verbundsteuerung integriert ist, oder für die serielle Kommunikation im Falle eines externen EVD EVO-Treibers. Für gute Leistungen muss das verflüssigte CO₂ überwacht werden.



Elektronische Expansionsventile E³V

Regelschema mit doppelter pRack-Platine und einzelem Built-in-Treiber



Anschlüsse pRack L1

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T _{ext}	Außentemperatur	NTC - HP	
P _{DL1}	Druckgasdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-18,2 barg	
T _{DL1}	Druckgastemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P _{SL1}	Saugdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-7 barg	Könnte als Backup von PE verwendet werden
T _{SL1}	Saugtemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
P _E	Verdampfungsdruck Wärmetauscher	Ratiometrisch -1-9,3 barg	
T _{GS}	Temperatur überhitztes Gas Wärmetauscher	NTC - HF	
P _{DL2}	Druckgasdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20mA 0-44,8 barg	
T _{DL2}	Druckgastemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P _{SL2}	Saugdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T _{SL2}	Saugtemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)



2.2 Besonderheiten der Anlage

2.2.1 DSS: Double System Synchronization

Kommunikationssystem zwischen NK-Verbundanlage und TK-Verbundanlage
Der TK-Kreislauf arbeitet bei nicht-betriebenen NK-Kreislauf nicht korrekt.
Zur Synchronisierung der beiden Verbundanlagen und Anpassung der Betriebsdynamiken ist eine Kommunikation der beiden unerlässlich.

Hierbei:

- kann der Betrieb der NK-Anlage - falls die TK-Anlage in Betrieb ist - sowohl beim Start als auch beim Regelbetrieb zwangsgeschaltet werden;
- kann die TK-Anlage deaktiviert werden, falls die NK-Anlage nicht korrekt arbeitet;
- können gleichzeitige Verdichteranläufe der beiden Verbundanlagen zur Reduzierung der Stromaufnahmespitzen vermieden werden.

2.2.2 EEVS: Electronic Expansion Valve Synchronization

Kommunikationssystem zwischen der TK-Verbundanlage (pRack pR300) und dem E-Expansionsventiltreiber des in pRack pR300 integrierten Plattenwärmetauschers oder dem externen EVD EVO-Treiber

Die TK-Verbundanlage kann dem Treiber Kälteleistungsänderungen mitteilen und die Verdampferleistung auf der Grundlage des CO₂-Verflüssigungsdrucks modulieren. Auf diese Weise wird die Installation zusätzlicher Fühler vermieden und kann der Verflüssigungsdruck fein und präzise geregelt werden. Durch den Informationsaustausch zwischen Verbundanlage und Wärmetauscher werden neben der traditionellen Überhitzungsregelung auch grundlegende Parameter wie die Kälteleistungsänderung der TK-Anlage und der CO₂-Verflüssigungsdruckverlauf übertragen.

Für den Fall von stabilitätsbeeinträchtigenden Bedingungen sind Sicherheitsverfahren vorgesehen.

Verfügbar sowohl für einzelnen als auch doppelten Wärmetauscher.

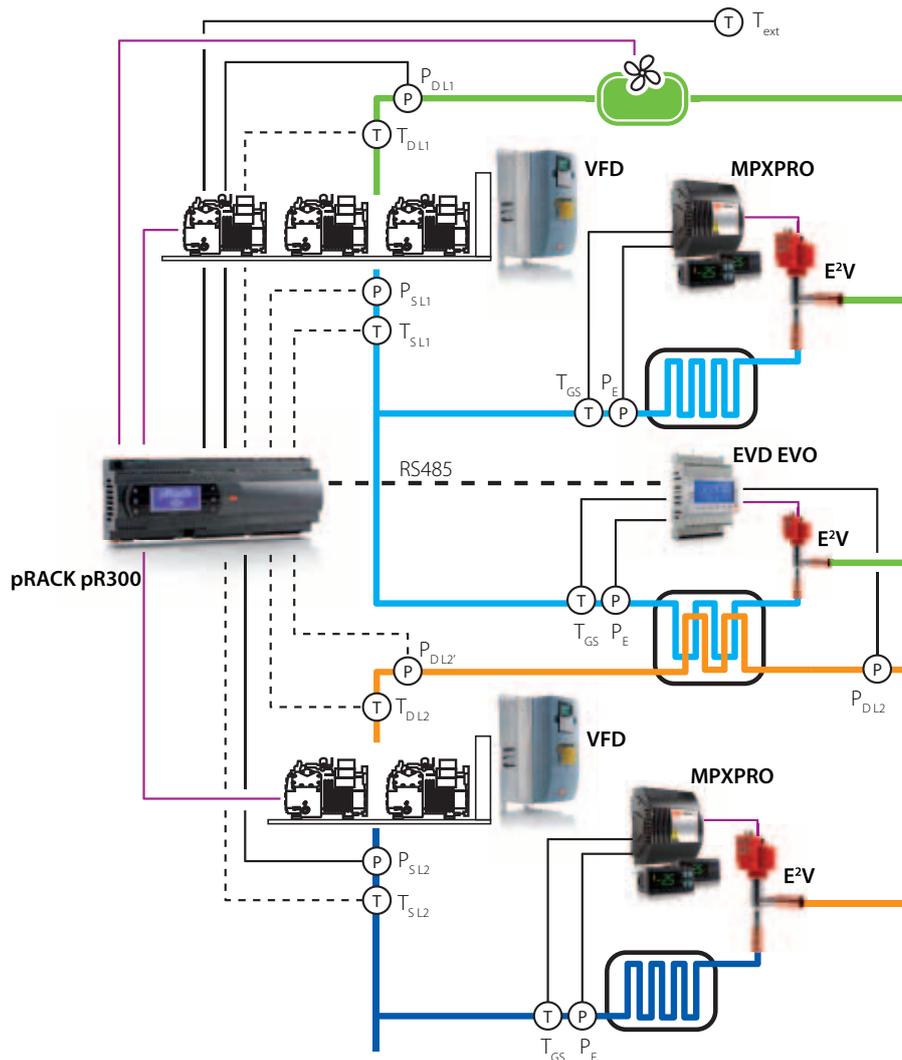
In Verwendung eines oder mehrerer Einzeltreiber kann der Verflüssigungsdruckfühler direkt an den EVD EVO-Treiber angeschlossen werden. Auf diese Weise unterliegt die Ventilregelung direkt einem Sicherheitsverfahren, bei dem das Ventil bei zu hohem CO₂-Verflüssigungsdruck geöffnet wird. In diesem Fall ist der an pRack angeschlossene CO₂-Verflüssigungsdruck optional.

Diese Funktion ist in folgenden Fällen anwendbar:

- bei pRack pR300 mit integriertem Treiber und einem einzigen Wärmetauscher
- bei pRack pR300 mit individuellem, externem EVD EVO-Treiber
- bei pRack pR300 mit zwei individuellen, externen EVD EVO-Treibern

Nicht anwendbar ist die Funktion im Falle von zwei Ventilen mit integriertem Treiber oder EVD EVO twin-Treiber.

Regelschema mit einzelner pRack-Platine und integriertem, individuellem externem Treiber mit CO₂-Hochdruckschutz



Anschlüsse pRack

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T_{ext}	Außentemperatur	NTC - HP	
P_{DL1}	Druckgasdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-18,2 barg	
T_{DL1}	Druckgastemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P_{SL1}	Saugdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-7 barg	Könnte als Backup von PE verwendet werden
T_{SL1}	Saugtemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)
P_{DL2}	Druckgasdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	Könnte als Backup von PD L2 verwendet werden
T_{DL2}	Druckgastemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P_{SL2}	Saugdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T_{SL2}	Saugtemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)

Anschlüsse EVD EVO

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
P_{DL2}	Druckgasdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
P_E	Verdampfungsdruck Wärmetauscher	Ratiometrisch -1-9,3 barg	
T_{GS}	Temperatur überhitztes Gas Wärmetauscher	NTC - HF	



3. TRANSKRITISCHE CO₂-BOOSTERANLAGEN

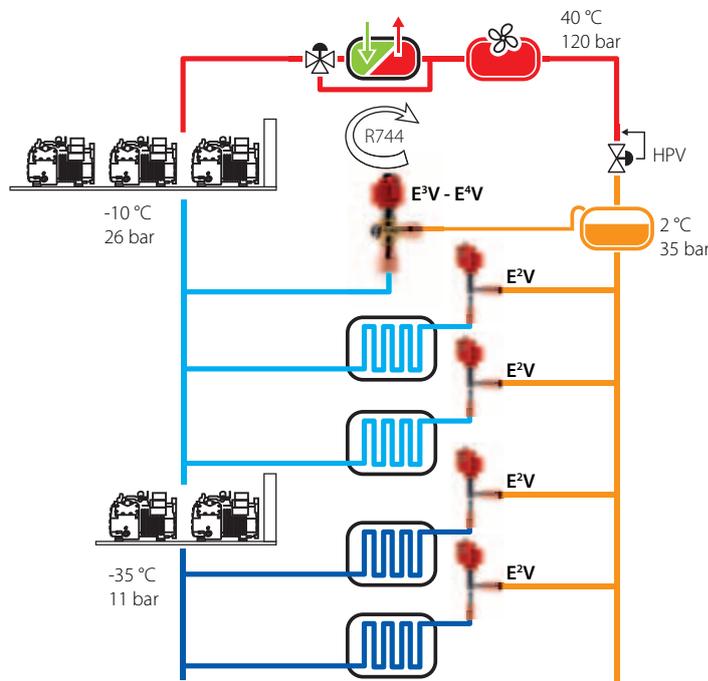
Transkritische CO₂-Anlagen sind die vielversprechendsten Anwendungen mit natürlichen Kältemitteln, weil sie im Retailbereich vor allem in nicht zu warmen Klimaregionen eingesetzt werden können.

Sie bestehen allgemein aus verschiedenen Bereichen, die sich durch ihre Arbeitsdrücke unterscheiden:

- Hochdruck: der Bereich von der Druckseite der NK-Verdichter zum HPV-Ventil (in Rot)
- Zwischendruck: der Bereich vom HPV-Ventil zu allen Expansionsventilen (Orange)
- Mitteldruck: der Bereich von den NK-Verdampfern hinter den Expansionsventilen bis zur Saugseite der NK-Verdichter (Blau)
- Niederdruck: der Bereich von den TK-Verdampfern hinter den Druckventilen bis zur Saugseite der TK-Verdichter (Dunkelblau)

Eine einfache konventionelle Anlage ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt. Die am Markt erhältlichen Varianten unterscheiden sich vor allem in den Plattenwärmetauschern, die die Systemeffizienz erhöhen und/oder den Betrieb unterstützen. Da sie allgemein nicht unter die globale Betriebslogik des Systems fallen, werden sie hier nicht in Betracht gezogen.

Beispiel einer transkritischen CO₂-Anlage



Das von den NK-Verdichtern bei einem Druck von rund 26 barg (Höchstdruck 40-60 barg) an der Verdichterdruckseite angesaugte Gas durchquert allgemein ein (mehr oder weniger komplexes) Wärmerückgewinnungssystem, das grundlegend für die Anlagengesamtleistung und den Gaskühler ist. In diesem Bereich hängt der Arbeitsdruck im Wesentlichen von der Außentemperatur ab. Er kann von Mindestwerten von rund 40-45 barg (abhängig von den Verdichtern) bis 120 barg (Höchstdruck der Sicherheitsventile) variieren. Der Name Gaskühler beruht darauf, dass der Verflüssiger aufgrund der Klimaverhältnisse nicht immer imstande ist, das CO₂ zu verflüssigen; es gelangt zum HPV-Hochdruckventil in Form eines dichten Gases. Das Hochdruckventil (HPV) ist das zentrale Anlagenbauteil und bestimmt die Effizienz der Anlage. Es hat den Anlagenbetrieb auf die jeweils günstigsten Verhältnisse abzustimmen, den Arbeitsdruck folglich bis auf 35-40 barg des nachgeschalteten Sammlers abzusenken und somit das CO₂ zu verflüssigen. Die Druckregulierung des Empfängers erfolgt über das RPRV-Ventil, welches die Aufgabe hat, einen Teil des Gases zu umgehen, um so einen konstanten Druck aus dem Empfänger zu erhalten.

Die Flüssigkeit tritt unter allen Anwendungsbedingungen, sei es bei mittlerem oder niedrigem Druck, aus dem Empfänger heraus. Die aus den Ventilen der Niederdruckverdampfer expandierte Flüssigkeit wird von den LT-Kompressoren angesogen und anschließend mit dem Gas aus den Mitteldruckverdampfern und Steuerventilen des Empfängers vermischt (in diesem Bereich kann der Maximaldruck zwischen 25 und 60 Bar liegen).

Diese Gase von unterschiedlicher Temperatur werden anschließend von den

Kompressoren von mittlerer Temperatur angesogen.

Zu den meist verwendeten Varianten gehören:

- Gaskühler für die Kühlung des Gases an der TK-Verdichterdruckseite
- Plattenwärmetauscher zwischen dem vom RPRV-Ventil stammenden Gas und der Flüssigkeitsleitung mit dem zweifachen Zweck der Unterkühlung der Flüssigkeit in Richtung Verdampfer und zur Beschränkung der vom Flash-Ventil erzeugten Erwärmung
- Plattenwärmetauscher zwischen der NK-Saugseite und dem Gaskühleraustritt mit dem zweifachen Zweck der Unterstützung der erneuten Vermischung der verschiedenen Gase an der Verdichtersaugseite und zur zusätzlichen Kühlung des Gases am Gaskühleraustritt

PRO

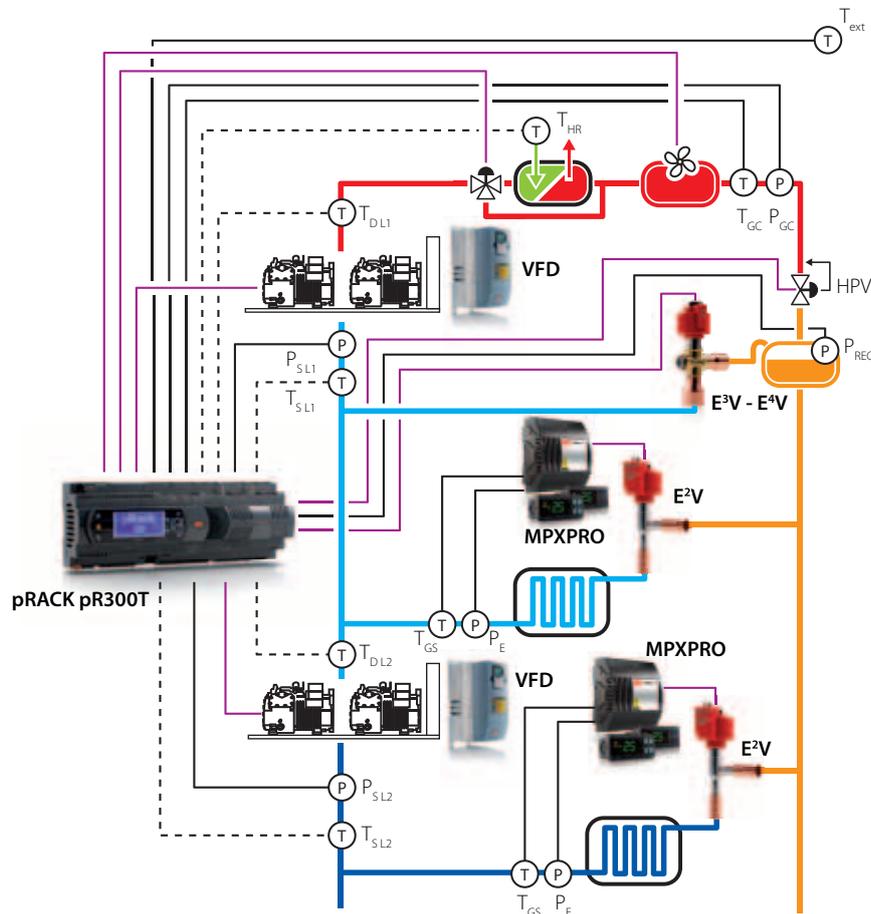
- Vollständig mit natürlichen Kältemitteln (CO_2) betriebene Anlage
- Verschiedene Studien erweisen eine höhere Effizienz im Vergleich zu jeder anderen Anlage (konventionelles r404a oder subkritisches CO_2) bei einer durchschnittlichen Umgebungstemperatur unter 15°C
- Technologie in Standardisierung, Kosten im Rückgang

KONTRA

- Hohe Betriebsdrücke (bis zu 120 barg)
- Komplexere Anlagen als die herkömmlichen Anlagen
- In warmen Klimazonen noch nicht vollständig anwendbar, niedrige Effizienz

3.1 CAREL-Lösung

Regelschema mit einzelner pRack-Platine und integriertem Twin-Treiber



Anschlüsse pRack pR300T

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T_{ext}	Außentemperatur	NTC - HP	
P_{GC}	Gaskühlerdruck	4-20 mA 0-150 barg	
T_{GC}	Gaskühleraustrittstemperatur	NTC - HF	
T_{HR}	Wärmerückgewinnungstemperatur	NTC - HF	Zur Regelung des Wärmerückgewinnungssystems (optional)
P_{REC}	Flüssigkeitssammlerdruck	4-20 mA 0-60 barg	
P_{SL1}	Saugdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T_{SL1}	Saugtemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)
T_{DL2}	Druckgastemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P_{SL2}	Saugdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T_{SL2}	Saugtemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)



pRack pR300T: Transkritische CO₂-Verbundsteuerung

pRack pR300T steuert kleine bis mittel-große transkritische CO₂-Anlagen in Einzel- oder Mehrfachplatten-Ausführung an. Die Steuerung übernimmt die Aktivierung und Sicherung der TK- und NK-Verdichter, der eventuellen Wärmerückgewinnungssysteme, des Gaskühlers, der Ölrückführung, des Hochdruckventils (HPV) und des Flüssigkeitssammler-Druckregelventils (RPRV).

Die HPV- und RPRV-Ventile können direkt von pRack pR300T mit integriertem Treiber oder mit externem EVD EVO-Treiber verwaltet werden. Beide Treiber sind mit allen am Markt erhältlichen Ventilen kompatibel.



pRack pR300T

MPXPRO & E²V: Kühlstellensteuerung und elektronische Schrittmotor-Expansionsventile

Aufgrund der Kältemittelgeschwindigkeit des CO₂ ist die Verdampferregelung ausschlaggebend für einen guten Anlagenbetrieb. Die elektronischen Schrittmotor-Expansionsventile E²V von CAREL gewährleisten hierzu eine gute Anlagenstabilität. Mit seiner Ultracap-Technologie sorgt das System MPXPRO+E²V für die perfekte Schließung der Anlage ohne Bedarf an zusätzlichen Magnetventilen.



MPXPRO & E²V

E²V: Elektronische Expansionsventile

Die Standard-Schrittmotor-Expansionsventile E²V von CAREL arbeiten mit einem Höchstdruck von 45 barg; sie können also allgemein (als Expansionsventile in Kühlmöbeln und als Flashgas-Ventile (RPRV)) in allen Anlagen verwendet werden, in denen der Höchstdruck des Flüssigkeitssammlers 45 barg beträgt.

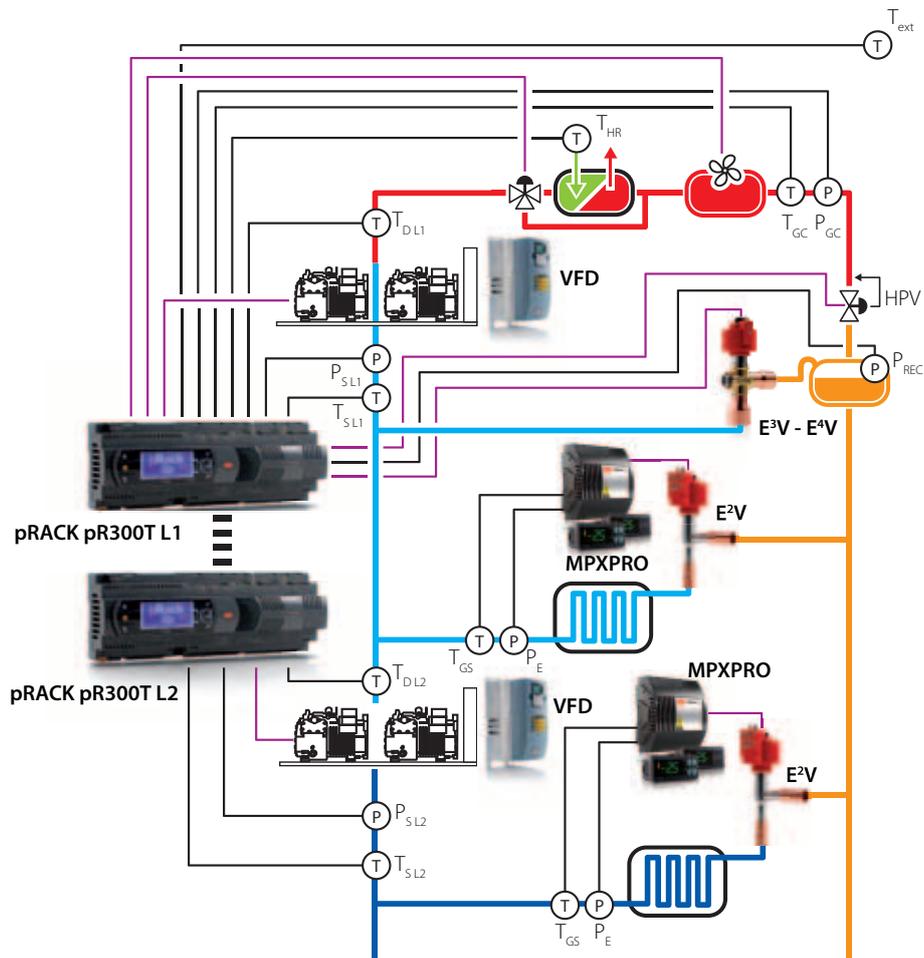
Für höhere Höchstdrücke des Flüssigkeitssammlers eignet sich die Serie E2V*CS*, die für transkritische CO₂-Anwendungen mit 140 barg Höchstdruck entwickelt wurde.

In kleinen Verbundkälteanlagen können diese Ventile als Hochdruckventil (HPV) und Flashgas-Ventil (RPRV) eingesetzt werden.



Elektronische Expansionsventile E²V

Regelschema mit doppelter pRack-Platine und integriertem Twin-Treiber



Anschlüsse pRack pR300T L1

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T_{ext}	Außentemperatur	NTC - HP	
P_{GC}	Gaskühlerdruck	4-20 mA 0-150 barg	
T_{GC}	Gaskühleraustrittstemperatur	NTC - HF	
T_{HR}	Wärmerückgewinnungstemperatur	NTC - HF	Zur Regelung des Wärmerückgewinnungssystems (optional)
P_{REC}	Flüssigkeitssammlerdruck	4-20 mA 0-60 barg	
P_{SL1}	Saugdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T_{SL1}	Saugtemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)

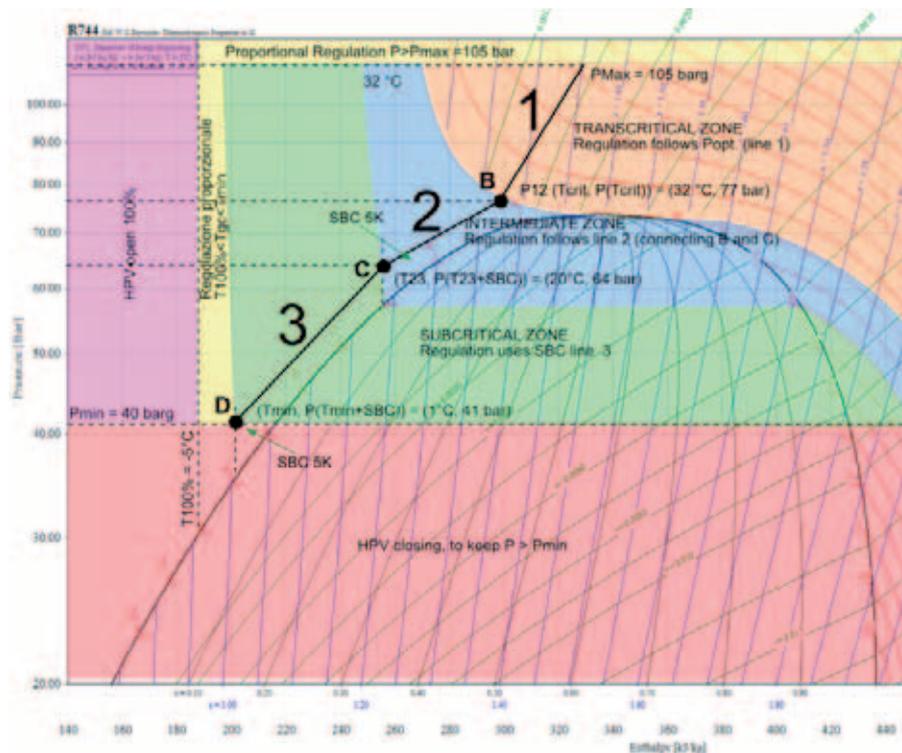
Anschlüsse pRack pR300T L2

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T_{DL2}	Druckgastemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P_{SL2}	Saugdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T_{SL2}	Saugtemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)

3.2 Besonderheiten der Anlage

Der Regelalgorithmus des HPV-Ventils in pRACK pR300T basiert auf der Gaskühleraustrittstemperatur T_{GC} und auf dem Gaskühlerdruck P_{GC} . Abhängig von den Betriebsbedingungen kann das System im:

- Transkritischer Betrieb (Linie 1): Das Gerät regelt das HPV-Ventil zur Beibehaltung des optimalen Arbeitsdrucks, der die Leistungskennzahl der Verbundanlage maximiert
- im subkritischen Betrieb fahren (Linie 3), in dem das Gerät eine bestimmte Unterkühlungslage beizubehalten versucht;
- im Übergangsbetrieb fahren (Linie 2), in dem das Gerät versucht, so sanft wie möglich vom transkritischen Betrieb auf den subkritischen Betrieb zu schalten, weil das Kältemittel in diesem Bereich weder flüssig noch gasförmig ist.

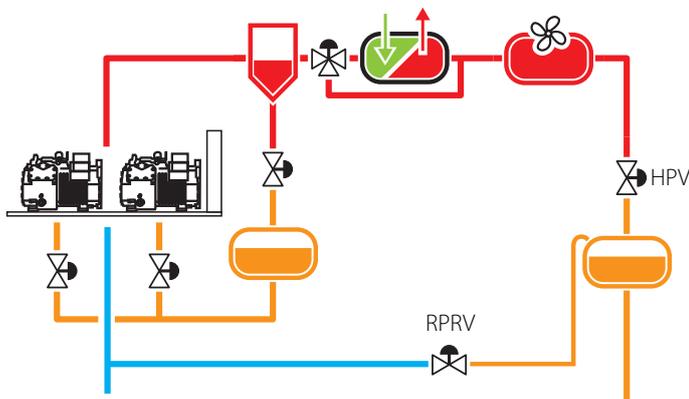


Das **Flashgas-Ventil** hält den Druck im Flüssigkeitssammler konstant auf einem voreingestellten Sollwert; unter Extrembedingungen kann es die Betriebsverhältnisse des HPV-Ventils für einen korrekten Gesamtsystembetrieb ändern.

Das **Ölrückführungssystem** verwaltet den Ölstand des Abscheiders, steuert das Einspritzventil des Flüssigkeitssammlers und regelt dessen Druckdifferenz zur Anlagenseite und übernimmt die Verdichter-Öleinspritzung mit entsprechendem Alarmmanagement bei Ölmangel.

Diese Funktion trägt wesentlich zum Anlagenbetrieb bei. Sie kann auch mit elektromechanischen Ölrückführungssystemen zur Überwachung der korrekten Anlagenfunktion verwendet werden.



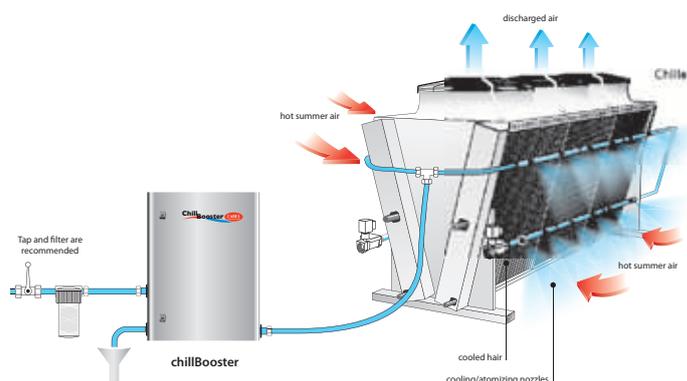


Das **Wärmerückgewinnungssystem** beeinflusst die Gesamteffizienz des Systems. Es maximiert die rückgewinnbare Wärmemenge durch Änderung der Arbeitsbedingungen des Gaskühlers und des Hochdruckventils.

ChillBooster: Adiabatisches Kühlsystem für CO₂-Gaskühler

Dieses einfache adiabatische Kühlsystem eignet sich besonders für Anlagen in gemäßigten Klimazonen, in denen die Außentemperatur nur für wenige Tage im Jahr über 30 °C steigt. Es lässt die wahrgenommene Außentemperatur des Gaskühlers um 5 bis 15 °C senken.

Das System ist also ideal für die Effizienzsteigerung in einer transkritischen Anlage bei warmen Temperaturen. Es integriert sich perfekt in pRack pR300T und lässt sich auch nur unter kritischen Bedingungen oder als Sicherheit aktivieren.



3.2.1 DSS: Double System Synchronization

Kommunikationssystem zwischen NT-Verbundanlage und TK-Verbundanlage. Der TK-Kreislauf arbeitet bei nicht-betriebener NK-Verbundanlage nicht korrekt. Zur Synchronisierung der beiden Verbundanlagen und Anpassung der Betriebsdynamiken ist eine Kommunikation der beiden unerlässlich.

Hierbei:

- kann der Betrieb der NK-Anlage - falls die TK-Anlage in Betrieb ist - sowohl beim Start als auch beim Regelbetrieb zwangsgeschaltet werden;
- kann die TK-Anlage deaktiviert werden, falls die NK-Anlage nicht korrekt arbeitet;
- können gleichzeitige Verdichteranläufe der beiden Verbundanlagen zur Reduzierung der Stromaufnahmespitzen vermieden werden.

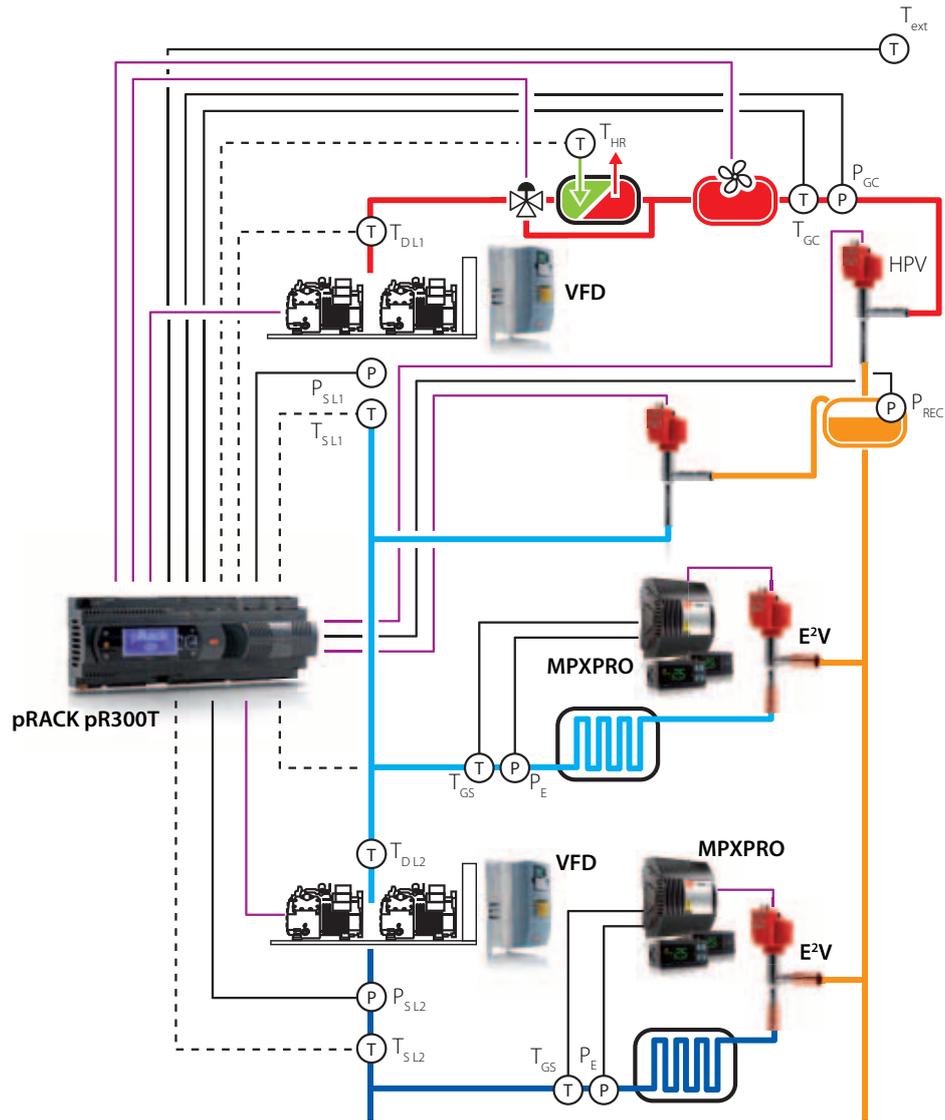
3.3 Transkritischer CO₂-Verflüssigungssatz

Für kleine Anwendungen bietet CAREL eine integrierte Komplettlösung mit Schrittmotor-Ventilen E2V*CS. Diese sind im Vergleich zu den größeren Versionen am Markt einfacher zu installieren.

Die CO₂-Ventile E2V*CS von Carel arbeiten mit einem Höchstdruck von 140 barg und einem Differenzdruck von 90 bar. Sie eignen sich für diese Art von Anwendungen bis zu Höchstleistungen von 40 kW.

Die Kompaktversion sieht eine einzelne Steuerung mit integriertem Treiber und Ultracap-Technologie für die direkte Verwaltung der Ventile E2V*CS vor (verwendet als HPV und RPRV). Die skalierbare pRack-Plattform sieht für solche Anwendungen dieselbe Benutzeroberfläche mit besonderem Fokus auf Installationskosten und Benutzerfreundlichkeit vor.





Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T_{ext}	Außentemperatur	NTC - HP	
P_{GC}	Gaskühlerdruck	4-20mA 0-150 barg	
T_{GC}	Gaskühleraustrittstemperatur	NTC - HF	
T_{HR}	Wärmerückgewinnungstemperatur	NTC - HF	Zur Regelung des Wärmerückgewinnungssystems (optional)
P_{REC}	Flüssigkeitssammlerdruck	4-20mA 0-60 barg	
P_{SL1}	Saugdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20mA 0-44,8 barg	
T_{SL1}	Saugtemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)
T_{DL1}	Druckgastemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P_{SL2}	Saugdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20mA 0-44,8 barg	
T_{SL2}	Saugtemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)

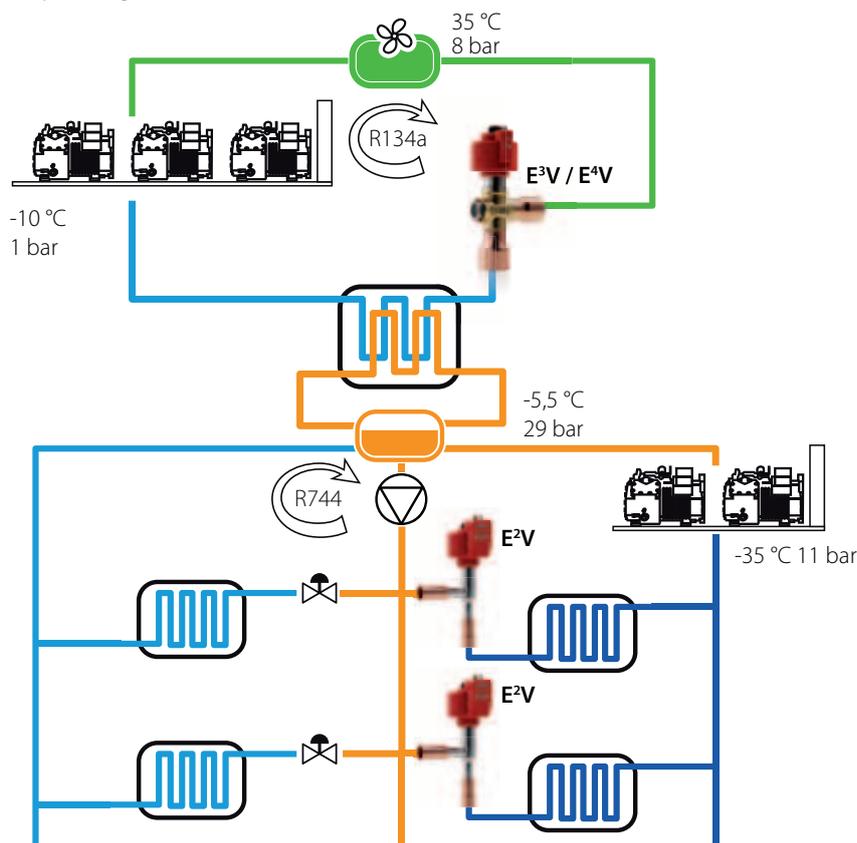


4. SUBKRITISCHE CO₂-PUMPENANLAGEN

Solche Anlagen werden weniger häufig als die subkritischen Kaskadenanlagen eingesetzt. Sie lassen die FKW-Kältemittel auf den Maschinenraum beschränken. Die Normalkühlstellen werden mit gepumptem Flüssig-CO₂ versorgt, während die Tiefkühlstellen mit Expansionsventilen ausgestattet sind. Das CO₂ wird von einem eigenen Kaltwassersatz (NH₃ oder r134a) in einem Tank mit Rohrbündelverdampfer gekühlt.

Im Vergleich den konventionellen Anlagen kommt hier die Pumpensteuerung hinzu. Die Pumpen lassen das flüssige CO₂ in den NK-Verdampfern zirkulieren, wo es sich nicht ausdehnt, sondern sich nur überhitzt und im halbflüssigen Zustand zum Kältemittelsammler zurückkehrt.

Beispiel einer subkritischen CO₂-Pumpenanlage



PRO

- Geringer Gehalt an nicht natürlichen Kältemitteln
- Mögliche Verwendung von Ammoniak (NH₃), das auf den Maschinenraum begrenzt bleibt
- Vollständige grüne Anlage in der Ausstellungsumgebung

KONTRA

- Sehr empfindlich in Bezug auf die Dimensionierung der Pumpensystemleitungen
- Zusätzlicher Energieverbrauch durch die Pumpen

3.4 CAREL-Lösung

pRack pR300: Verbundsteuerung

Steuert sowohl die Verdichter der Kaltwassersätze (die nach dem CO₂-Druck im Kältemittelsammler geregelt werden) als auch die TK-Verdichter an. Verwendet dieselben Synchronisierungsfunktionen zwischen den beiden Verbundanlagen. Wichtig für diese Art von Anlagen ist der koordinierte Betrieb der NK-Verbundanlage mit dem Rohrbündelverdampfer-Regler, um Niederdruckprobleme zu vermeiden.

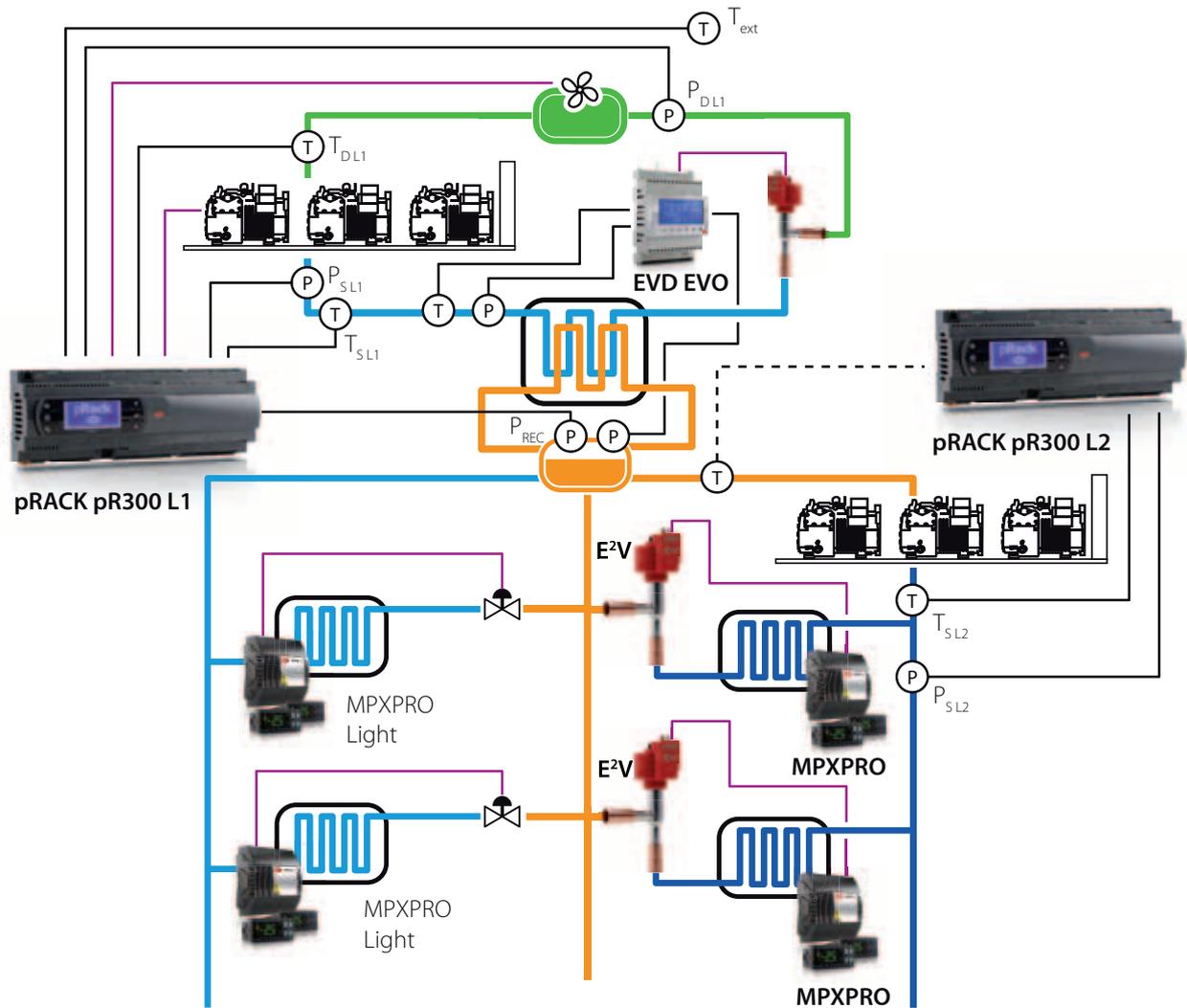
Die Hauptaufgabe ist die Druckregelung im Flüssigkeitssammler. Aufgrund der Kältemittelmenge und somit der erheblichen Trägheit müssen die Verdichter auf der Grundlage des Sammlerdrucks aktiviert werden. Der Saugdruck der NK-Anlage wird also nur zur sicherheitstechnischen Vermeidung von Niederdruckproblemen überwacht.

pRack steuert auch einfache Pumpensysteme mit oder ohne Inverter an.



pRACK pR300

Regelschema mit doppelter pRack-Platine



Anschlüsse pRack pR300 L1

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T_{ext}	Außentemperatur	NTC - HP	
P_{DL1}	Verflüssigungsdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-18,2 barg	
T_{DL1}	Druckgastemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P_{SL1}	Saugdruck Leitung 1 (Normalkühlung)	4-20 mA 0-10 barg	Zur Kontrolle des Niederdruckalarms
T_{SL1}	Saugtemperatur Leitung 1 (Normalkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)
P_{REC}	Druck des CO ₂ -Sammlers	4-20 mA 0-10 barg	Zur Regelung der NK-Verdichter

Anschlüsse pRack pR300T L2

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
T_{DL2}	Druckgastemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der Druckgastemperatur (optional)
P_{SL2}	Saugdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
T_{SL2}	Saugtemperatur Leitung 2 (Tiefkühlung)	NTC - HF	Zur Regelung der saugseitigen Überhitzung (optional)

Anschlüsse EVD EVO

Abk.	Beschreibung	Fühlertyp	NB
P_{REC}	Druckgasdruck Leitung 2 (Tiefkühlung)	4-20 mA 0-44,8 barg	
P_E	Verdampfungsdruck Wärmetauscher	Ratiometrisch -1-9,3 barg	
T_{GS}	Temperatur überhitztes Gas Wärmetauscher	NTC - HF	

MPXPRO und MPXPRO light

MPXPRO Steuerung für Tiefkühlstellen mit elektronischem Expansionsventil, MPXPRO light Steuerung für Normalkühlstellen, in denen kein elektronisches Expansionsventil erforderlich ist, sondern das Kältemittel gemäß Kühlstellenbedarf geregelt wird.

MPXPRO light ist kompatibel mit der Full-Optional-Version und ermöglicht eine Standardisierung der Anlage in Bezug auf Schaltpläne und Installation.



EVD EVO-Treiber und E^{XV}

Der Rohrbündelverdampfer ist in dieser Art von Anwendungen ein kritisches Element. Die Größe des Verdampfers, die Lastträgheit und die Nähe der Verdichter erlegen eine sehr feine Regelung auf, die extrem schnell auf das Ein- und Ausschalten der Verdichter reagieren muss, graduell auf die Laständerung antworten muss, die Verdichter nicht überfluten darf und vor saugseitigen Niederdruckalarmen schützen muss.

Die EVD EVO-Treiberfunktionen wie der Schutz gegen niedrige Überhitzung, der Schutz gegen niedrigen Saugdruck und der Schutz gegen hohen CO₂-Verflüssigungsdruck müssen also gemäß den Anlagenmerkmalen kalibriert sein (Anzahl und Typ der Verdichter, Größe des Verdampfers und des Flüssigkeitssammlers, Vorhandensein von saugseitigen Sammlern, Systemdynamik).



Driver EVD EVO e E^{XV}

5. GEMEINSAME KOMPONENTEN

Neben den bereits beschriebenen Vorrichtungen bietet CAREL Retail Sistema weitere grundlegende Produkte für das Anlagenmanagement.

PVPRO: Überwachungssystem

Zugriff auf die gesamte Anlage, Fine-Tuning, ständige Überwachung und Datenaufzeichnung, Kommunikation mit außen und Alarmmanagement. Fern- und Lokalzugriff. Verschiedene Funktionen zur Anlagenoptimierung und Erhöhung der Sicherheit:

- Floating suction pressure (gleitende Saugdruckregelung): zur Optimierung des Saugsollwertes der Verbundkälteanlage gemäß reellem Bedarf
- Dew point broadcast (Taupunkt-Broadcast): zur Regelung der Antibeschlagheizungen der Kühlstellen durch Ablesen des Taupunktes der Verkaufsstelle
- Parameters Control (Parameterkontrolle): zur Überwachung (auch offline) der Grundbetriebsparameter des Systems mit Verhinderung von ungewollten Änderungen
- Energy (Energie): zur Überwachung des Anlagenenergieverbrauchs, Erstellung von geplanten Berichten zum Leistungsverlauf der Anlage
- KPI (Key performances indicator) (Leistungskennzahl): für eine schnelle und effiziente Übersicht über den Betriebszustand der verschiedenen Kühlstellen und Festlegung des Eingriffsbedarfs
- Recovery procedure (Wiederherstellungsverfahren): zur direkten Interaktion mit allen Kühlstellensteuerungen bei Störungen der Verbundanlage und zur entsprechenden Planung der Wiedereinschaltung zur Unterstützung des Systemneustarts



PVPRO: Überwachungssystem

DPWL: Kältegas-Detektoren

Diese Sensoren sind für jeden Kältemitteltyp verfügbar. Der CO₂-Detektor ist sowohl im Maschinenraum als auch in den Ausstellungsumgebungen von großer Bedeutung. Sie können mit den elektronischen Steuerungen mittels Analogsignalen oder mit dem Überwachungssystem per Modbus RTU verbunden werden. Sie überwachen den CO₂-Gehalt im Raum und erfassen unmittelbar die für den menschlichen Körper gefährlichen Gasaustritte. CO₂ ist ein Erstickung verursachendes Gas. Es ist schwerer als die Luft und sammelt sich bei einem Gasaustritt am Boden an. Die Installation von Sensoren empfiehlt sich also auf einer Bodenhöhe von 30-40 cm und in Maschinennähe.



DPWL: Kältegas-Detektor

VFD: Inverter

Die Inverter-Bandbreite VFD von CAREL ist sowohl für Verdichter als auch für Ventilatoren verfügbar und deckt alle Anwendungen inklusive CO₂-Anlagen ab. Kombiniert mit der pRack-Bandbreite sorgen die VFD für eine feine Regelung des Verdampfungsdrucks.



VFD: Inverter

Fühler und Druckwandler

Umfassende Bandbreite von verschiedensten Temperaturfühlern und Druckwandlern für alle Anwendungen mit natürlichen Kältemitteln.

- 4-20-mA-Druckfühler: empfohlen für Verbundkälteanlagen
- Ratiometrische Druckfühler: empfohlen für Kühlmöbel und Kühlräume
- NTC- und pT1000-Temperaturfühler
- NTC- und pT1000-Temperaturfühler mit Schelle: empfohlen für Installationen auf Rohrleitungen



Fühler und Druckwandler

pLoads: Lastmanagement

Vorrichtung zur Lastensteuerung auf der Grundlage des Anlagenenergieverbrauchs. Lässt die einzelnen Lasten bei Energiesparmöglichkeit zuschalten und/oder abtrennen.

Integriert in pRack pR300 lässt pLoads im Bedarfsfall die Kühlleistung der Verbundkälteanlage reduzieren.



pLoads: Lastmanagement

pChrono: Planer

Vorrichtung zur Planung der Licht-, Pumpen- und Anlagengeräteaktivierung für eine maximale Energieeinsparung (nicht nur bezogen auf die Kältetechnik, sondern auch auf die Klima- und Gebäudeleittechnik).



pChrono: Planer





Headquarters ITALY

CAREL INDUSTRIES HQs

Via dell'Industria, 11
35020 Brugine - Padova (Italy)
Tel. (+39) 0499 716611
Fax (+39) 0499 716600
carel@carel.com

Sales organization

CAREL Asia
www.carel.com

CAREL Australia
www.carel.com.au

CAREL China
www.carel-china.com

CAREL South Africa
www.carelcontrols.co.za

CAREL Deutschland
www.carel.de

CAREL France
www.carelfrence.fr

CAREL Iberica
www.carel.es

CAREL HVAC/R Korea
www.carel.com

CAREL Russia
www.carelrussia.com

CAREL India
www.carel.in

CAREL Sud America
www.carel.com.br

CAREL U.K.
www.careluk.co.uk

CAREL U.S.A.
www.carelusa.com

Affiliates

CAREL Czech & Slovakia
www.carel-cz.cz

CAREL Korea (for retail market)
www.carel.co.kr

CAREL Ireland
www.carel.com

CAREL Thailand
www.carel.co.th

CAREL Turkey
www.carel.com.tr