

Schulung Schiessl AT

CO₂ subkritisch

CO₂ – R744 als Kältemittel **Besonderheiten verstehen / sicheres Handling**

CO₂-R744 ist bereits seit über 100 Jahren als energetisch effektives Kältemittel bekannt und im Einsatz.

In der Vergangenheit war der Einsatz eher in der industriellen Kälte – aufgrund der GWP Problematik der chemischen Kältemittel ist in den letzten Jahren steigender Einsatz in der Gewerbe-Kälte zu beobachten. Die weiteste Verbreitung haben CO₂ Systeme dabei in der Supermarkt Kälte. Hier ist CO₂ zumindest für TK Anwendungen fast immer der Standard.

CO₂ unterscheidet sich jedoch in einigen Punkten von den anderen gebräuchlichen Kältemitteln.

In Bezug auf den Einsatz, die Anlagenkonzeption und einem sicheren Handling ist es wichtig, sich dieser Eigenschaften voll bewusst zu sein.

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Vorteile von CO₂









- 😊 GWP=1
- 😊 nicht brennbar
- 😊 nur bei hohen Konzentration für den Menschen schädlich
- 😊 hoher Wärmeübertragungskoeffizient
- 😊 kleines Druckverhältnis
- 😊 geringerer Einfluss von Druckabfällen
- 😊 gute Materialverträglichkeit
- 😊 günstiger Preis und einfache Verfügbarkeit



CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

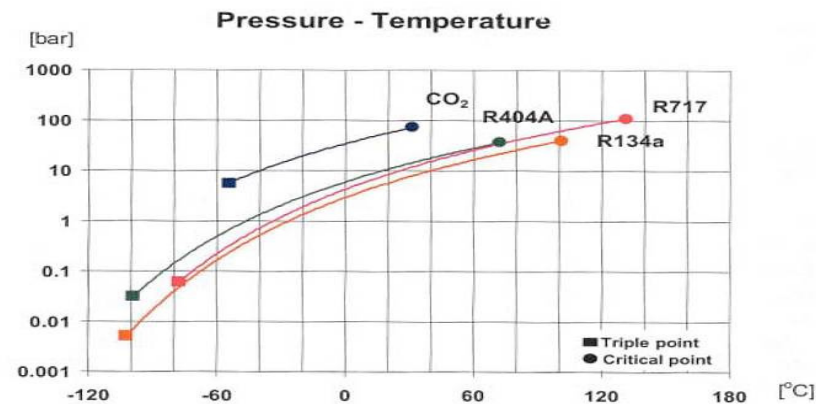
Nachteile von CO₂



-  hohe Drucklagen (bis 140 bar)
-  kritischer Punkt schon bei 31°C / 73,8 bar
deshalb ist bei höheren Umgebungstemperaturen ein transkritischer Prozess von Nöten
-  Leistungsabfall bei steigender Umgebungstemperatur
-  hoher Triplepunkt bei -56,6°C / 5,2 bar
-  Druckanstieg bei Stillstand der Anlage
-  Niedrige Löslichkeit von Wasser
-  Problematik von explosiver Dekompression bei Elastomeren
-  Schädliche Wirkung auf den Menschen bei höheren Konzentrationen

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

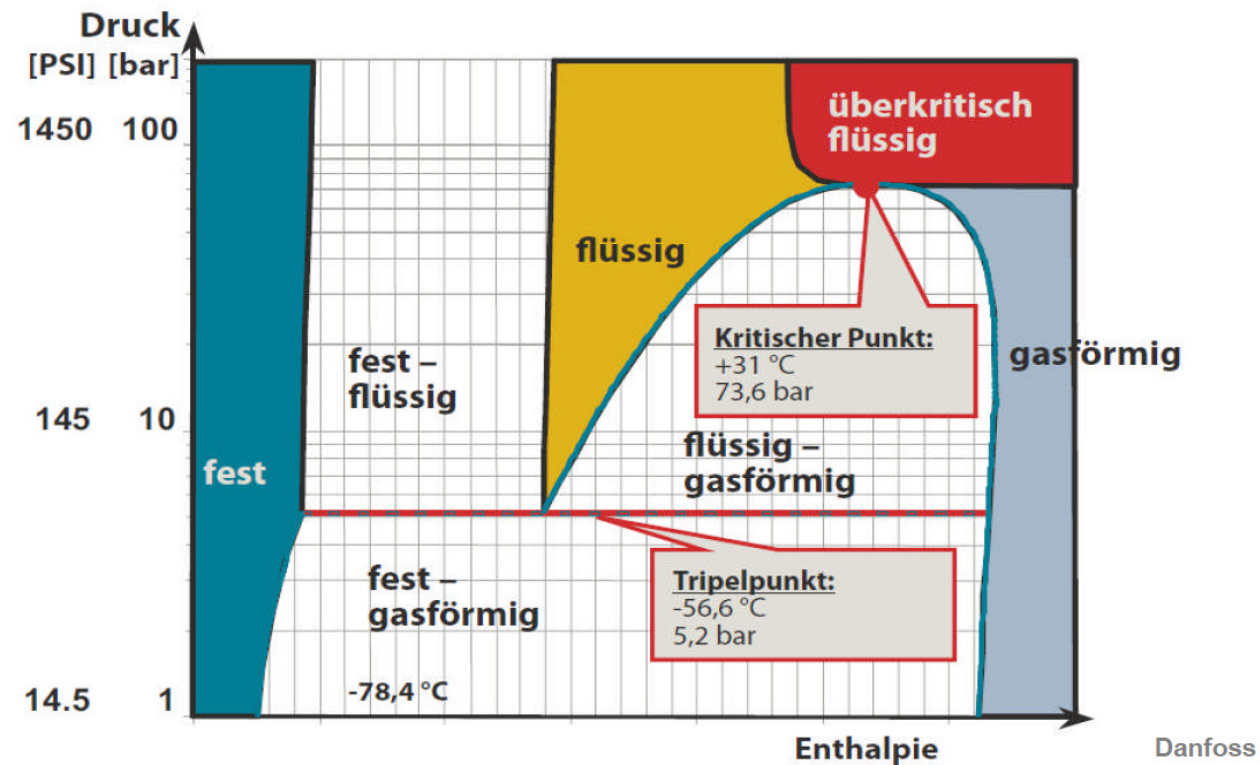
Normalerweise spielen der kritische Punkt und der Tripplle Punkt bei den herkömmlichen Kältemitteln keine entscheidende Rolle.
Wird jedoch CO₂ verwendet, so sind diese Faktoren sehr wohl von Bedeutung!



(Quelle: DKV-Tagung 2005 Vortrag N.P.Vestergaard, R. Bock Fa. Danfoss)

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling



(Quelle: Fa. Bock /CO2 Schulung)

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Anlagenkonzeption

CO₂ – Systeme können in verschiedenen Bauarten ausgeführt werden. Bis zu einem gewissen Einsatzbereich (der allerdings vom Temperaturbereich ziemlich eingeschränkt ist) bewegen wir uns im subkritischen Bereich, in dem der Kältekreislauf mit den ‚gewohnten‘ Abläufen stattfindet. Darüber hinaus bewegen wir uns im transkritischen Betrieb, bei dem doch einige Fakten völlig neu und anders sind .

CO₂ – R744 als Kältemittel **Besonderheiten verstehen / sicheres Handling**

Anlagenkonzeption

Nur subkritischer Betrieb:

😊 NK / TK Kaskadenanlage mit HFKW (HFO Mix) / CO₂

😊 Wasser- bzw. Sole gekühlte CO₂ Anlage

transkritischer Betrieb:

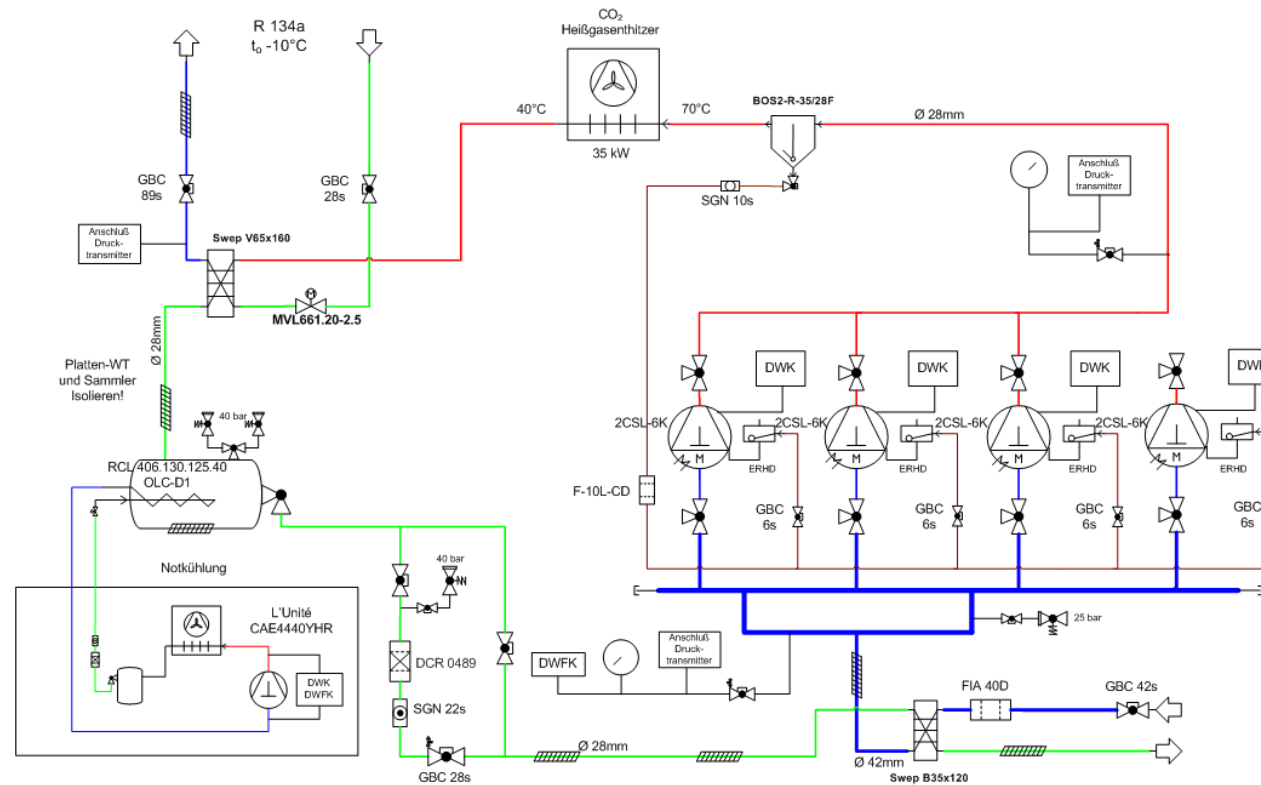
😊 NK / TK Kaskadenanlage nur mit CO₂

😊 NK / TK Boosteranlage nur mit CO₂

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

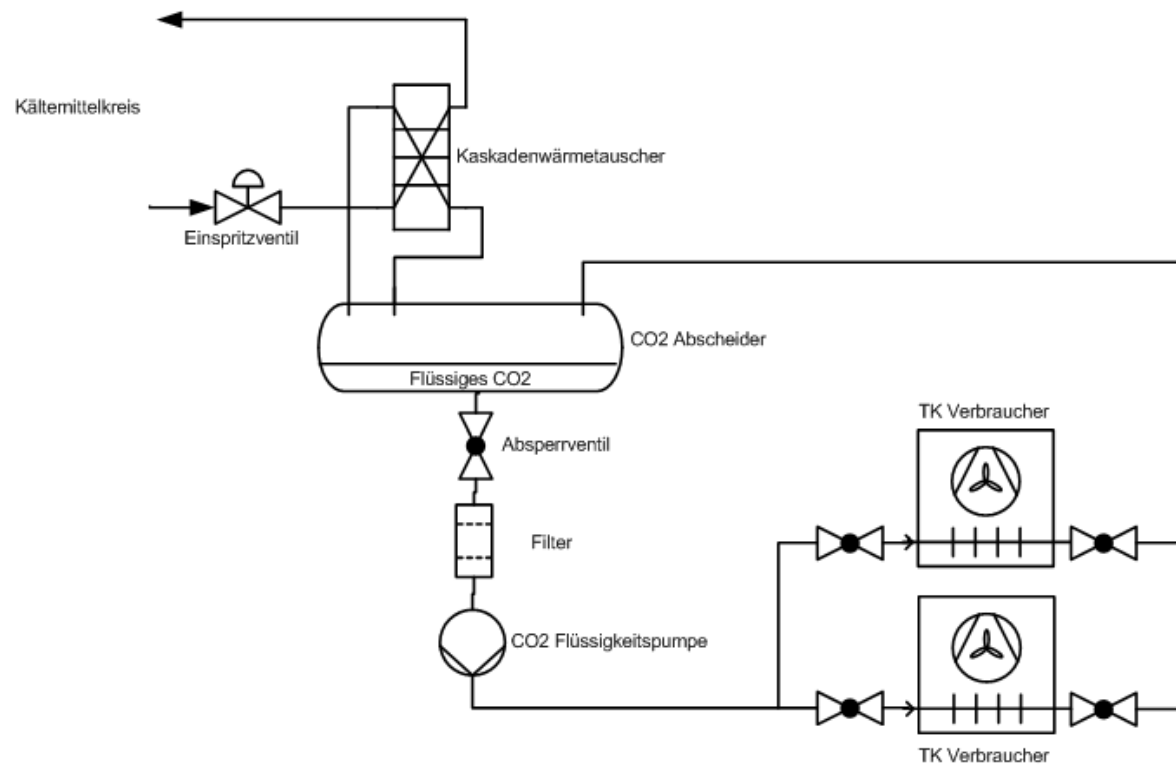
Anlagenkonzeption: Subkritisches TK-System als Kaskade



CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Anlagenkonzeption: CO₂ als Sekundärfluid

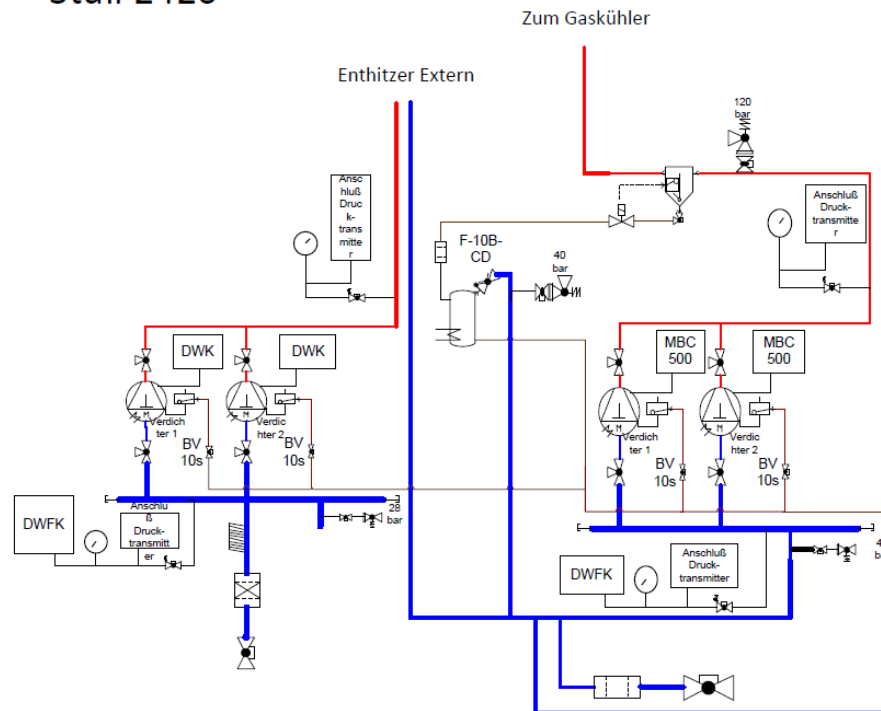


CO₂ – R744 als Kältemittel

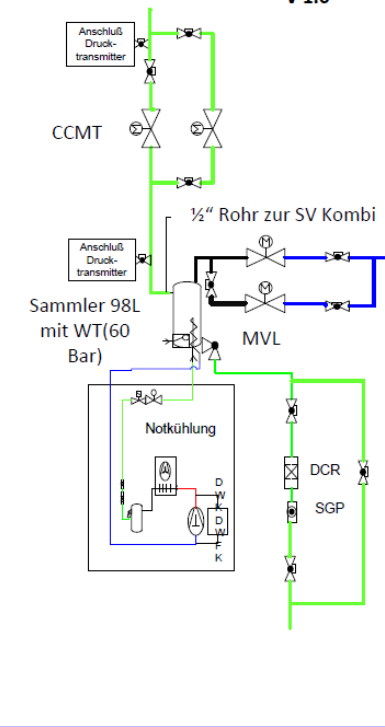
Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Anlagenkonzeption: CO₂ NK-TK Booster

Stüli 2420







V 1.0



CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Feuchtigkeit im System vermeiden

-  Die Wasseraufnahmefähigkeit bei CO₂ ist gegenüber anderen Kältemittel wesentlich geringer
 -  Feuchte kann zu Eiskristallen in der Anlage führen (Festsetzen von z.B. TEV, Magnetventilen)
 -  Feuchte kann chemische Reaktionen hervorrufen
 -  Sorgfältige Montage und Evakuieren auch im Wartungsfall
-

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Geeignetes Kältemittel

- 😊 Verwenden Sie mindestens CO₂ der **Qualität 4.5** oder als **R744** gekennzeichnetes CO₂
 - 😞 CO₂ minderer Qualität ist zwar etwas günstiger, hat aber schon einen zu großen Feuchtigkeitsanteil. Da hilft dann auch ein sorgfältiges Trocknen nach der Montage nicht.
-

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Feuchtigkeit

- 😊 Neben einem sorgfältigen Vakuum ziehen und mehrfachen Brechen des Vakuums mit getrocknetem Stickstoff sollte auf jeden Fall ein großzügig dimensionierter Filtertrockner eingebaut werden.
 - 😊 Bei dem Filtertrockner kann ein handelsüblicher Trockner (mit dem entsprechenden Druckbereich) eingesetzt werden.
 - 😊 Der Einbau des Trockners kann wie gewohnt in der Flüssigkeitsleitung erfolgen. Bei einer Flüssigkeitstemperatur im Minusbereich ist der Trockner jedoch entsprechend zu isolieren!
Die Überwachung des Feuchtegehalts kann über ein geeignetes Schauglas mit Feuchteindikator erfolgen.
-

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

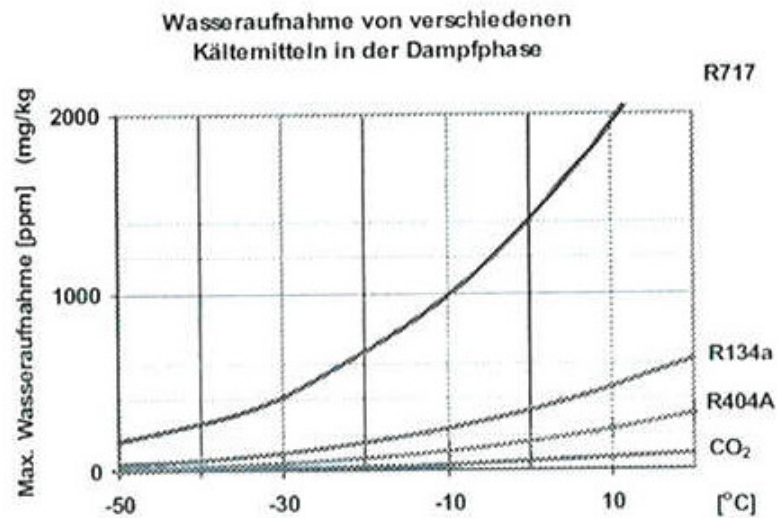


Abb. 8: Wasseraufnahme von verschiedenen Kältemitteln

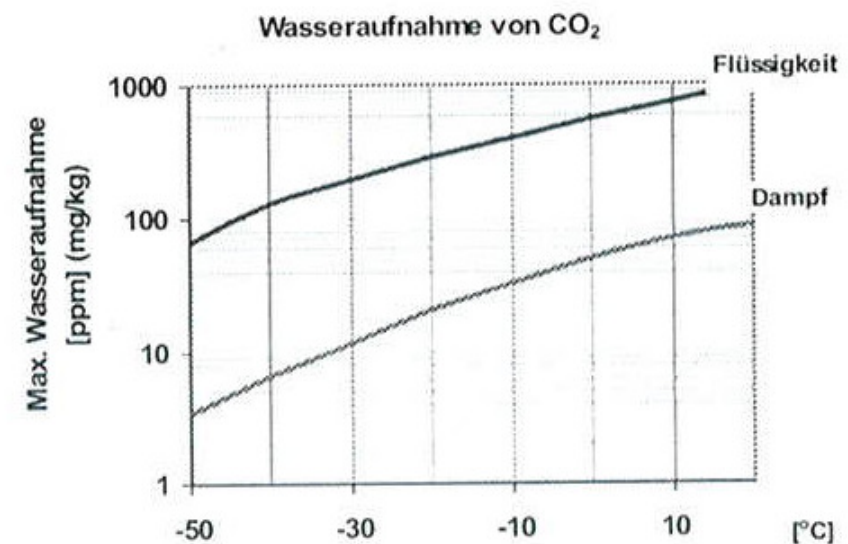


Abb. 9: Wasseraufnahme von CO₂

(Quelle: DKV-Tagung 2005 Vortrag N.P.Vestergaard, R. Bock Fa. Danfoss)

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Sicherheitsvorkehrungen gegen unbeabsichtigten Druckanstieg

 Eingeschlossene Flüssigkeit kann zum Bersten der Leitung führen.

Die Volumenvergrößerung bzw. Druckanstieg ist bei CO₂ um ein Vielfaches höher!!

 Jeder Leitungsabschnitt, der beidseitig absperrbar ist, muss durch eine geeignete Druckentlastungs-Vorrichtung geschützt werden.

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Sicherheitsvorkehrungen gegen unbeabsichtigten Druckanstieg

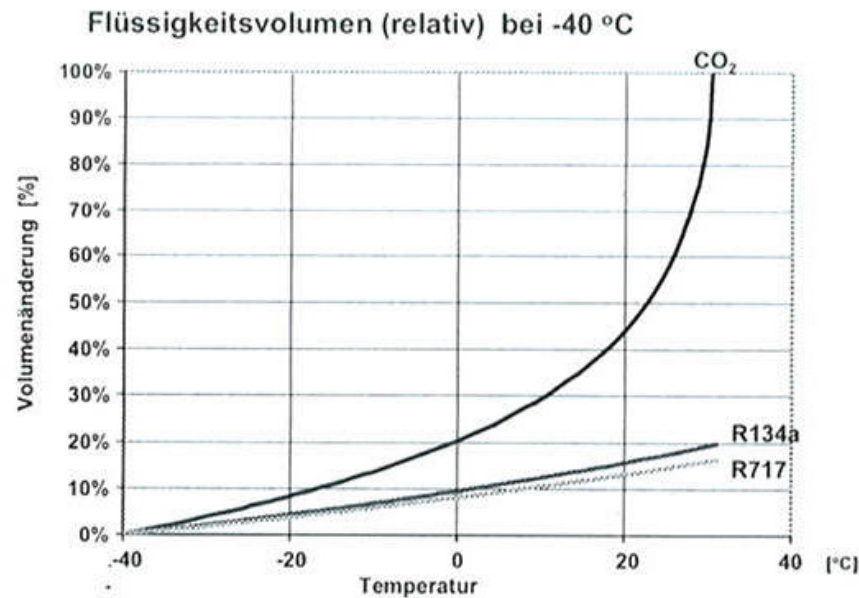


Abb. 5: Flüssigkeitsvolumen (relativ)

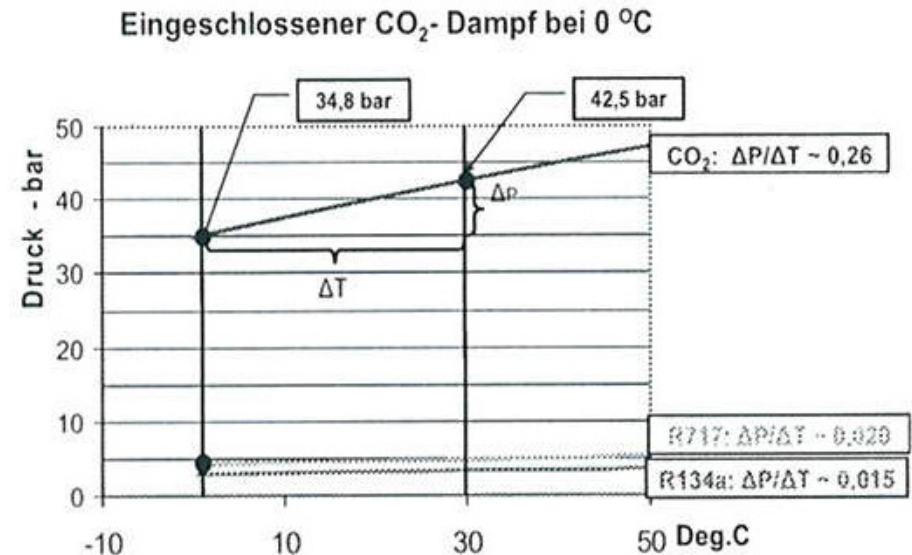


Abb. 6: Eingeschlossener CO₂-Dampf bei 0 °C

(Quelle: DKV-Tagung 2005 Vortrag N.P.Vestergaard, R. Bock Fa. Danfoss)

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Sicherheitsvorkehrungen gegen unbeabsichtigten Druckerhöhung

- 😊 Aufbau des/der Sicherheitsventile am besten außerhalb
 - 😊 Sublimation beachten, Trockeneis kann Sicherheitsventil blockieren
 - 😞 Ablaseleitungen vermeiden, bzw. groß genug dimensionieren
-

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Sicherheitsvorkehrungen gegen unbeabsichtigten Druckerhöhung im Betrieb

Bei TK Kaskaden oder NK / TK Kaskaden oder Booster-Systemen können Flüssigkeitstemperaturen erheblich unter der Umgebungstemperatur auftreten.

😊 Flüssigkeitssammler, Flüssigkeitsleitung und Komponenten isolieren

Sicherheitsvorkehrungen gegen unbeabsichtigten Druckerhöhung im Stillstand

Um im Stillstand der Anlage ein unbeabsichtigtes Abblasen von CO₂ zu vermeiden, sind entsprechende Maßnahmen erforderlich:

😊 Notkühlung des Sammler mit Brunnenwasser

😊 Notkühlung mittels Kälteaggregat

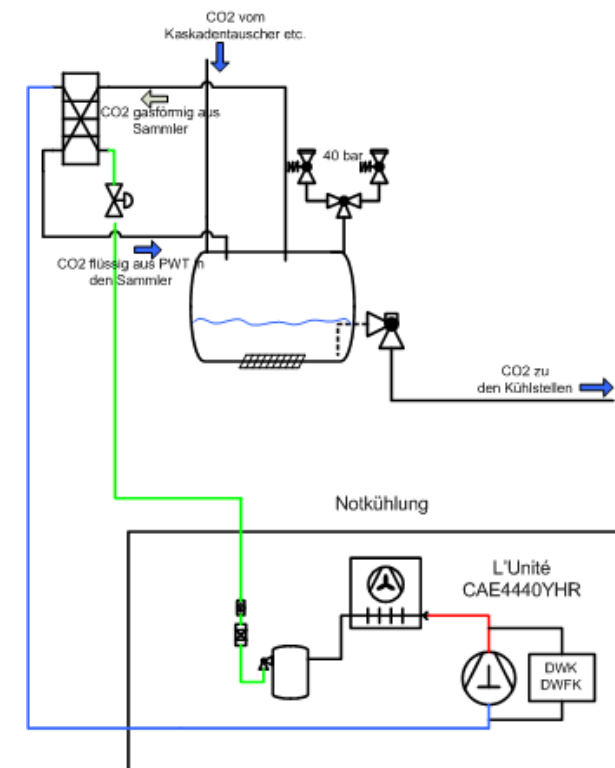
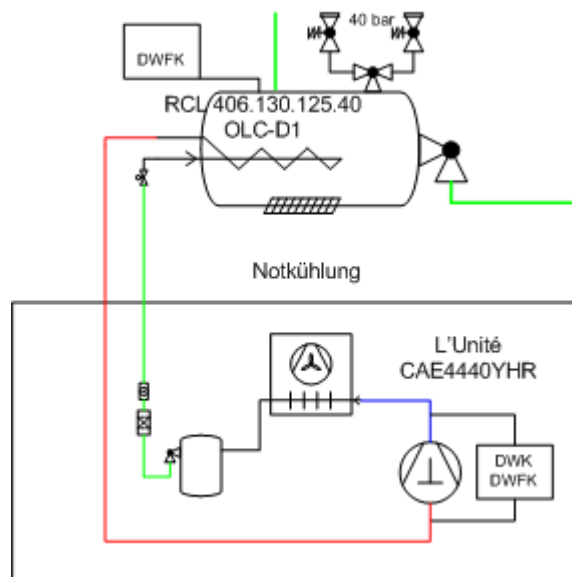
😊 Groß dimensionierter Sammler

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Sicherheitsvorkehrungen gegen unbeabsichtigten Druckerhöhung

Beispiele für Notkühlung von CO₂ Flüssigkeitsbehältern



CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Sicherheitsvorkehrungen in Bezug auf Personal

CO₂ ist ein geruch- und farbloses Gas und kann deshalb bei auftretenden Emissionen nicht einfach wahrgenommen werden.

CO₂ ist schwerer als Luft. Dieser Umstand kann besonders in tiefer gelegenen Bereichen und kleinen Räumen zu gefährlichen Situationen führen.

Der Einsatz von einer Maschinenraumbelüftung und einer Gaswarnanlage ist deshalb entsprechend einzuplanen (siehe EN 378-3).

Bei der Gaswarnanlage sollte der **Voralarm bei 5000 ppm** erfolgen und der **Hauptalarm bei 10000 ppm**.

Auswirkungen auf den menschlichen Kreislauf:

3 Vol.% (30000 ppm) Erhöhung der Atemfrequenz um 100%

5 Vol.% (50000 ppm) Erhöhung der Atemfrequenz um 300%

8-10 Vol.% (80000 -100000 ppm) Schwindel, Schweißausbrüche...

> 10 Vol.% (100000 ppm) Ohnmacht und später zu Tod

> 30 Vol.% (300000 ppm) führt schnell zum Tod

CO₂ – R744 als Kältemittel

Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung von CO₂

Im Innenbereich:



Raum sofort verlassen



Andere Personen informieren und warnen



Für ausreichende Belüftung sorgen

Wenn die CO₂ Konzentration im Raum nicht geprüft werden kann, darf der Raum nur mit Umluft unabhängiger Atemschutzeinrichtung betreten werden.

Im Außenbereich:



Bereich absperren



Auf der dem Wind zugekehrten Seite aufhalten

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Sicherheitsvorkehrungen in Bezug auf Personal

Gaswarngerät Fabrikat Danfoss



*Beispiel für eine
Maschinenraumlüftung
Hier bei der Schulungs-
Anlage der GEA Bock*



CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

CO₂ Löslichkeit in Öl – Ölschmierung

Aufgrund der hohen Löslichkeit von CO₂ müssen besondere Maßnahmen getroffen werden:

- 😊 Jeder Verdichter ist mit Kurbelwannenheizung auszustatten
 - 😊 Druckgastemperatur mindestens 40K über Verflüssigungstemperatur (gilt für subkritische Anlagen)
 - 😊 Sauggastauscher vorsehen. Saugasüberhitzung sollte min. 20K betragen
-

Quelle: Bitzer

Geeignete O-Ring Materialien und Dichtungen für CO₂

Hohe Löslichkeit von CO₂ in Elastomeren

Mögliche Blasenbildung und Zerstörung der Elastomere (Dekomprimierung)

/ CR, Neoprene® (DuPont)

- Erfordert spezielle Maßnahmen zum Schutz gegen Zerstörung

/ HNBR, Therban® (BayerAG)

Teflon Dichtungen

/ Fließ-Charakteristik beachten

Schneidring (Metall) Dichtungen, Swagelok®



CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Befüllen der Anlage

- 😊 Schutzbrille und Handschuhe tragen
- 😊 Kurbelwannenheizungen aktivieren und mit dem Füllvorgang erst beginnen, wenn die Öltemperatur ca. 20 K über der Maschinenraumtemperatur liegt.
- 😊 CO₂ Flasche über einen Druckminderer und geeignete flexible Schläuche mit Druck- und Saugseite der Anlage verbinden.
- 😊 Unbedingt nur gasförmig das Vakuum bis zu einem Druck von ca. 10 bar brechen (ansonsten Bildung von Trockeneis in der Anlage, Versprödung von Werkstoffen).
- 😊 Da sich die Flasche durch die gasförmige Entnahme stark abkühlt, ist die Verwendung einer geeigneten elektrischen Heizmanschette oder eines Wasserbades (max.40 Grad!) empfohlen.

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Befüllen der Anlage

- 😊 Beim Erreichen von 10 bar sollten die Absperrventile der Verdichter geschlossen werden.
- 😊 Danach kann weiteres Kältemittel in die Anlage eingefüllt werden.
- 😞 Achtung: Niederdruckseite der Anlage nicht über 20 bar befüllen! Flüssiges Kältemittel kann in den Kaskadentauscher oder den Sammelbehälter eingefüllt werden (Flasche mit Tauchrohr verwenden).
- 😞 Bei Beendigung des Füllvorgangs auf jeden Fall CO₂ aus den Anschlußschläuchen entlüften.

CO₂ – R744 als Kältemittel Besonderheiten verstehen / sicheres Handling

Inbetriebnahme der Anlage

- 😊 Eine CO₂ Anlage sollte sehr vorsichtig in Betrieb genommen werden
 - 😊 Saugventile der Verdichter erst mal stark drosseln und erst bei Absinken des Saugdrucks entsprechend voll öffnen.
 - 😊 Stets alle Drücke und Temperaturen sorgfältig im Auge behalten.
 - 😊 Stoppen Sie die Anlage, wenn Sie diese außerhalb der Einsatzgrenze fahren.
 - 😊 Erstellen Sie gewissenhaft ein Inbetriebnahmeprotokoll mit allen Meßdaten!!
 - 😊 Ein Wechsel des Saugfilters bzw. der Trocknerpatronen wird nach ca. 200 Betriebsstunden empfohlen.
-

**CO₂ – R744 als Kältemittel
Besonderheiten verstehen / sicheres Handling**

Viel Erfolg !

Vorstellung von gebauten Anlagen

In der Produktion in Kirchheim

Gezeigt wird eine Kascadenanlage als Kaltwassersatz einer Hopfenveredelung

Kältemittel:R290 in der NK Stufe und R744 in der TK Stufe.

Verdichter NK 3X Bitzer 6H-25.2P

to-10 tc+45

Kälteleistung NK Stufe ges: 162kW

Füllung mit ca.70kg R290

Verdichter TK 3X Bitzer 4VSL-15K

to-40 tc-5

Kälteleistung TK Stufe ges: 120kW

Füllung mit ca.48kg R744

Solevorlauf -35

Leistungsaufnahme ges. ca.100kW

Cop der Kälteanlage ca.1,19

Bild der Kaskadenanlage R290/Co2

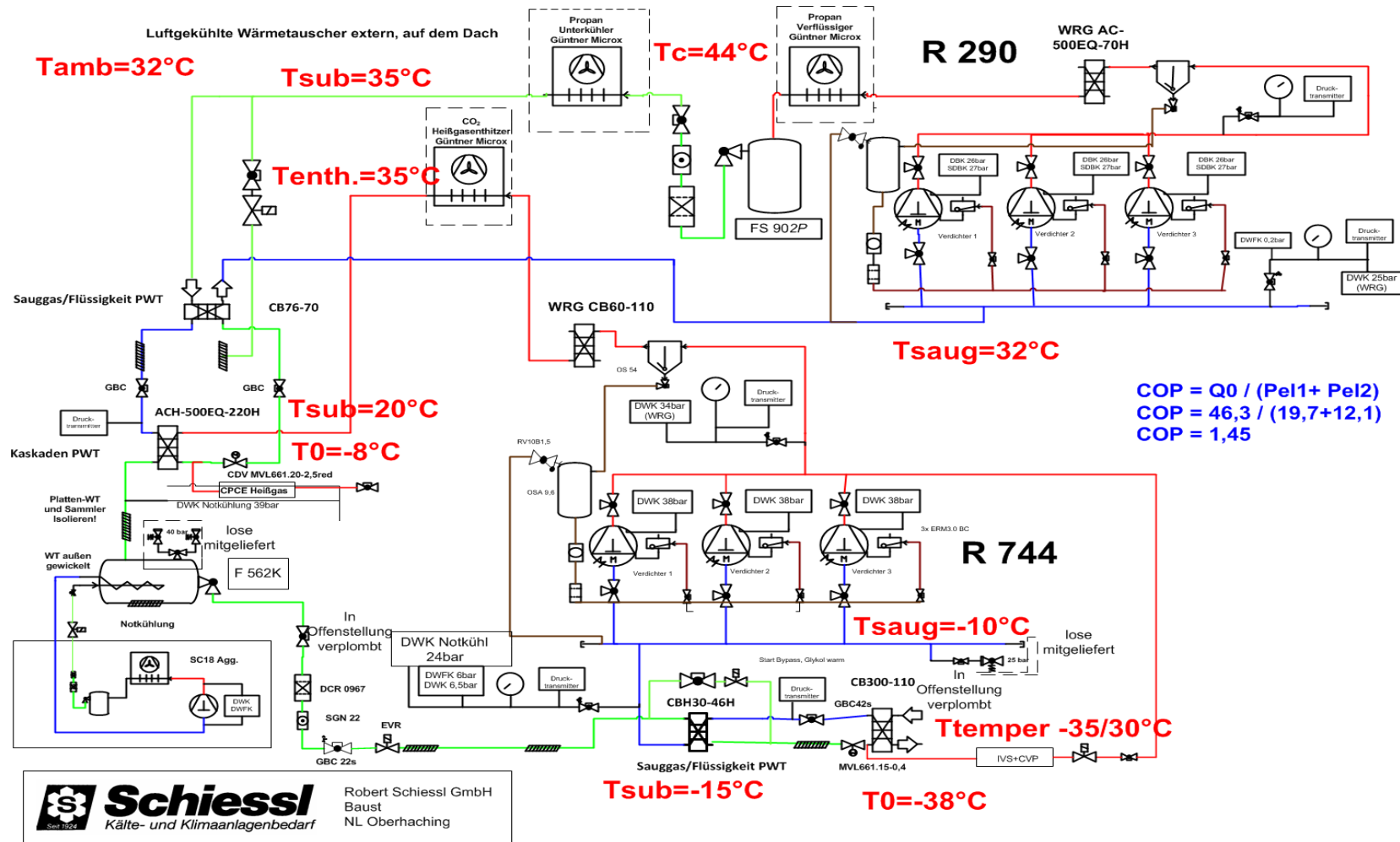


Bild der Verflüssiger, Unterkühler und Enthitzer





Fließbild der Anlage Hopfenveredlung



Gezeigt wird ein R450/R744 Kaltwassersatz für einen Fahrzeugprüfstand

Kältemittel: R450a in der NK Stufe und R744 in der TK Stufe.

Verdichter NK 2X Dorin H6000CC

Verdichter TK 2X Dorin CD2000M

Sammlerfüllmengen: R450 ca.80kg, R744 ca.60kg

Betriebspunkt 1:

Solevorlauf -27 Grad

Kälteleistung 60kW

To-35 tc-5

Leistungsaufnahme 61,4kW

Cop 0,98

Betriebspunkt 2:

Solevorlauf -1 Grad

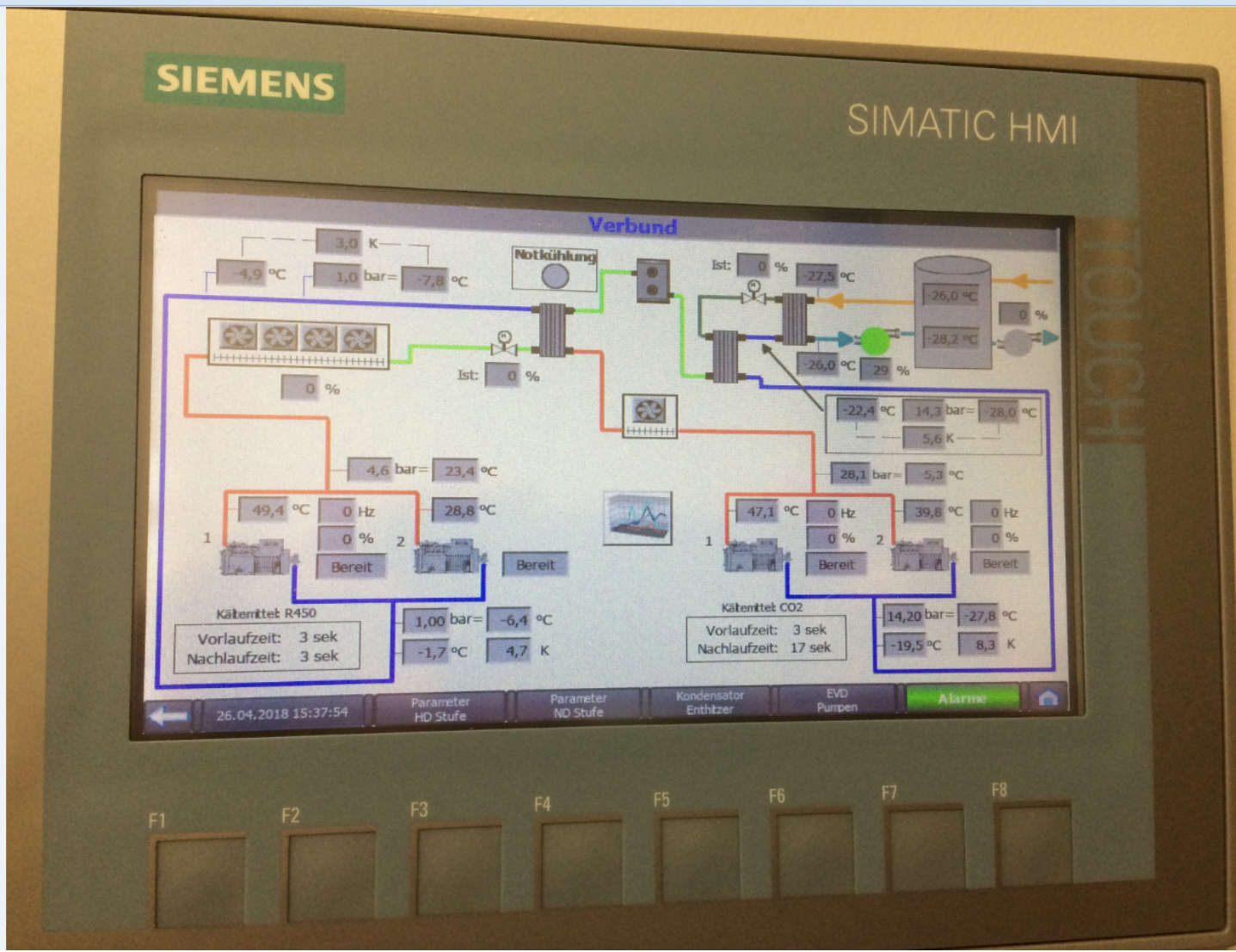
Kälteleistung 112kW

To-6 tc+10

Leistungsaufnahme 66kW

Cop 1,7

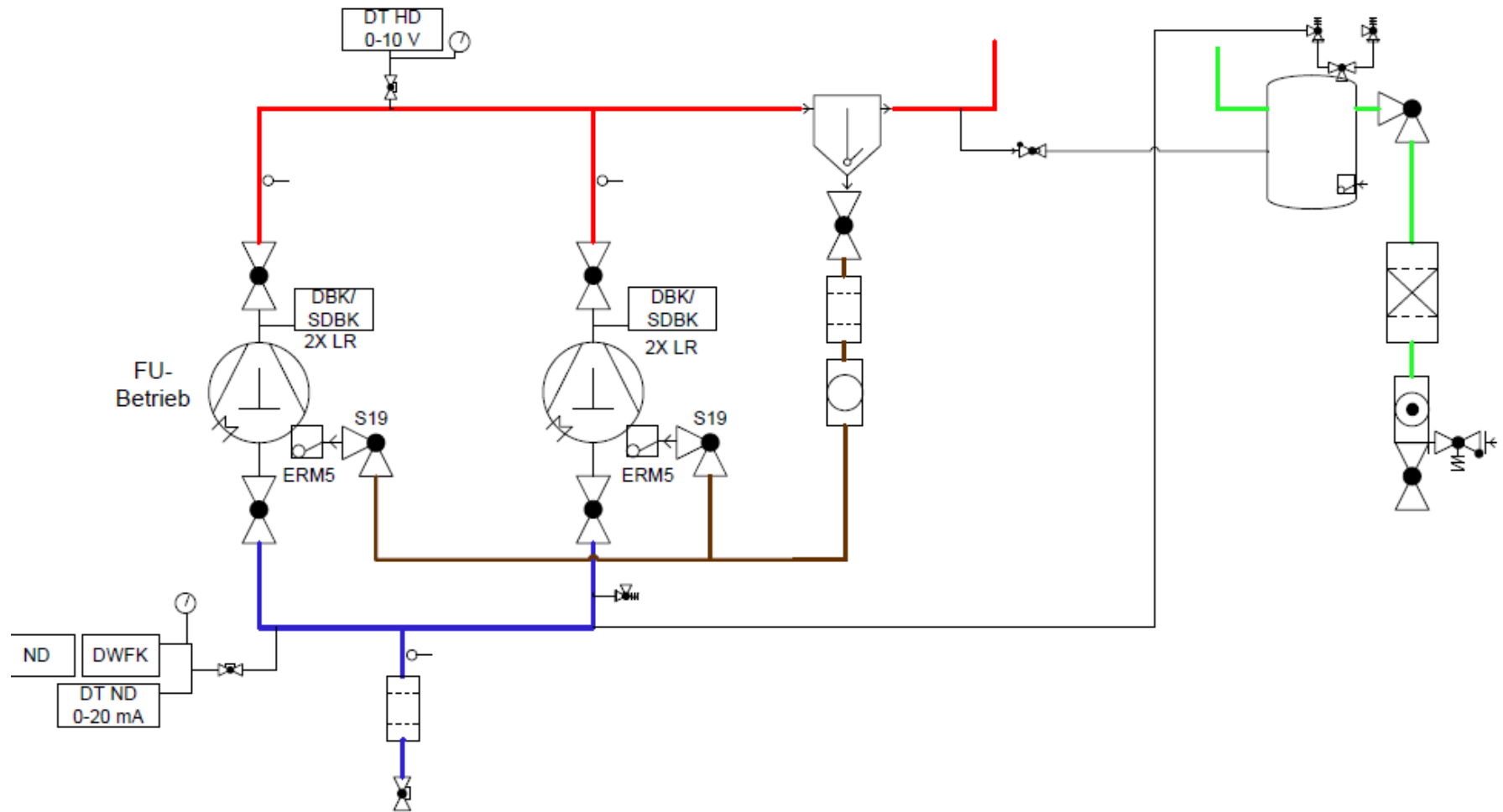
Kaltwassersatz für einen Fahrzeugprüfstand



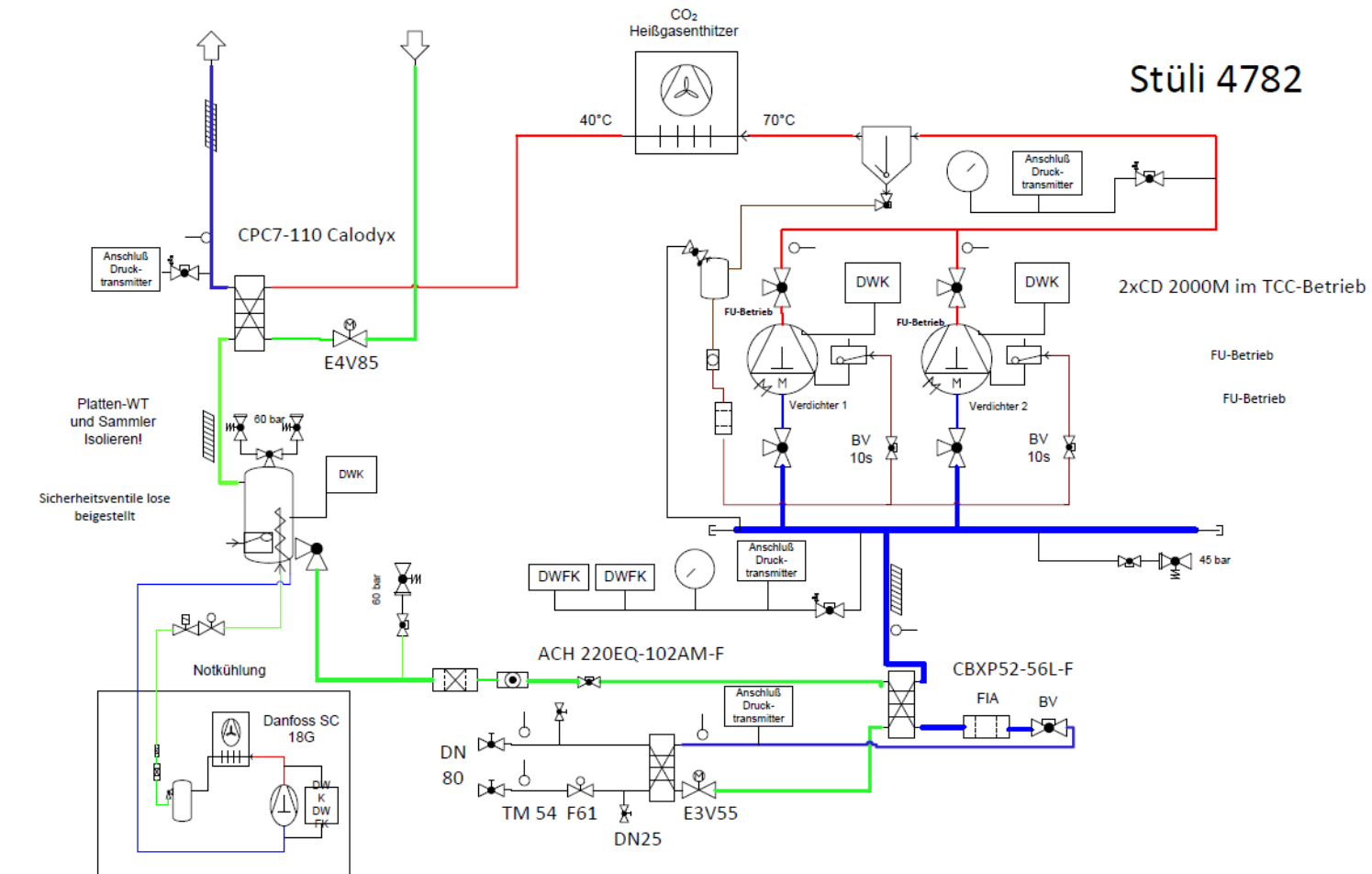
Kaltwassersatz für einen Fahrzeugprüfstand



Ri Fließbild NK Kreis (R450a)



Ri Fließbild TK Kreis (R744)



NK Seite

- Dorin halbh. Verdichter H7 H6000CC-E m.INT69 400V
- Öl-Heizung 200W/230V 2EG1090
- Dorin Leistungsregler Ersatz
- Duo DBK/SDBK P78PLM-9350
- ND Wächter P77AAW-9300 DWFK
- DT -0,5-7B/4-20mA 506.930A2310
- DT 0-25B/0-10V 506.932A22101
- Blondelle Manometer R450A ND
- Blondelle Manometer R450A ND
- ESK Ölabscheider-Sammler BOS2-R-80F
- ESK Ölfilter F-10L10mm Löt 53bar
- Parker Schauglas KSG10mmS 10mm Löt
- ESK Ölspiegelregulator elektr.ERM5-0-BC
- Eckventil S19, ODS10-SAEF1/4"
- Parker Filter-Trocknergehäuse VS9628MM 28mm Löt
- Danfoss Blockeinsatz 48-DM Universal

TK Seite

Dorin halbh. Verdichter CD2000M PAG68 m.INT69 400V

Öl-Heizung 200W/230V 2EG1090

Danfoss Druckschalter MBC 5100 G 1/4"

ESK Ölabscheider CO2 60bar BOS2-35F-CDM

ESK Ölsammelgefäß CO2 60bar OSA- 6-CDM

Rückschlag+ Druckventil 130bar RV2-4,5-CDH CO2 ESK

Danfoss Schauglas m.Indikator SGP 10SN 10mm Löt 52 Bar 014L

ESK Ölfilter CO2 60bar F-10L-CDM 10mm Löt

ESK Ölspiegelregulator elektr.Ölspiegelregulator ERM5-0-BC

ESK Gewindeadapter GA-DO-CDH

Eckventil S19, ODS10-SAEF1/4,, - 7/16"UNF-10mm

ESK Schauglas 60bar SSG-22-DN25-T

ESK Filtertrockner CO2 60bar FT2-22-CDM 22mm Löt

Danfoss Blockeinsatz 48-DM Universal

Parker Kugelabsperrventil BV22mm m.Schrader

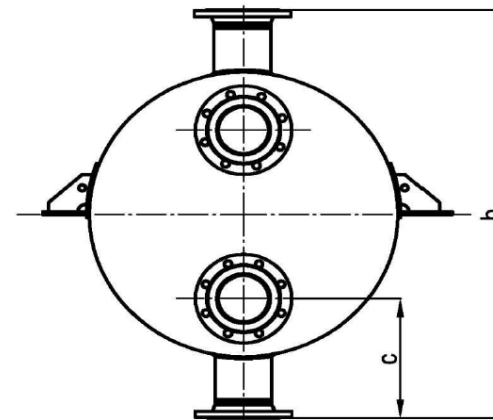
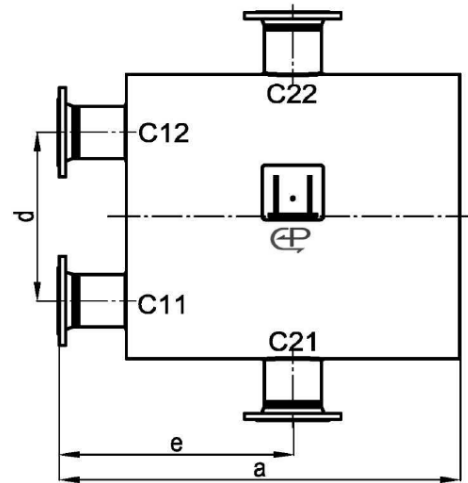
- Huba Drucktransmitter 7/16 IG DT 0-45B/4-20mA 506.940A03101
- Huba Drucktransmitter 7/16 IG DT 0-60B/4-20mA520.940S0310100N
- Carel Elektronisches E-ventil Expansionsventil E3V55CWR00
- Alfa Laval Plattenwärmetauscher ACH220EQ-102AM-F (Verdampferplatte)
- Alfa Laval Plattenwärmetauscher CBXP52-56L (Sauggastauscher)
- Thermofin CO2 Enthitzer TOCV.3-045-11-A-N-W5-ZC-08
- ESK Sammler mit WT Sammler SGS-75W-CDM 60bar
- ESK Füllstandskontrolle ENC-3-1/2"-NPT"
- ABR Wechselventil bis 60 Bar Wechselv. WV-VRU 1-1/4RT-G1/2"
- ABR Sicherheitsventil SV-D10/CS.45B G1/2/G3/4
- ABR Sicherheitsventil 60 Bar SV-D10/CS 60B G1/2 / G3/4
- Adapter Sicherheitsventil CO2 G1/2"-ODS 7/8" 1.4301
- Parker Kugelabsperrentil Kugelventil BV22mm o.Schrader
- Caloperm Plattentauscher CPC7-110 CALOPYX (Kascadentauscher)
- Danfoss Filter FIA 32 D STR 148B5544
- Danfoss Filtereinsatz 150my Einsatz FIA-INS25-40 148H3125

- Parker Kugelabsperrenteil Kugelventil BV35mm m.Schrader
- Blondelle Saugmano. -1/+80b 80mm R744 Ölgefüllt
- Blondelle Druckmanometer -1/50 DMM 80mm R744 RH 7/16UNF
- Blondelle Manometer ND/HD Befestigungsklemme Blondelle
- Notkühlaggregat Danfoss Verflüssigungssatz SC18GXBasic
- Penn Duo Hoch/Niederdruckwächter Duo Wächter P78LCW-9300 DWFK
- Magnetventil o.Spule EVR2 6mm Löt 032F1202
- Danfoss Ventilgehäuse L Ventil TEN 2 N 068Z3386
- Danfoss Düseneinsatz Düse GR.00 T/TE 2 m.Konus
- Danfoss Filtertrockner Trockner DML032 7/16"UNF
- Danfoss Schauglas m.Indikator SGP 6SN 6mm Löt 52 Bar 014L01
- STS Schwingmetallpuffer SH60 TN110 RL 450kg
- S+S Regeltechnik Temperaturmessumf. TM54-I 50MM
- Penn Strömungswächter Strömungswächter F61SB-9100
- ebro Absperrklappe HP114 in DN80 High Performance

Besonderheit Kascadentaucher von Caloperm



Caloperm GmbH



| | | |
|---|-----|----|
| a | 700 | mm |
| b | 912 | mm |
| c | 322 | mm |

| | | |
|----------|-----|----|
| d | 268 | mm |
| e | 436 | mm |
| Ø Mantel | 512 | mm |

Betriebsparameter

| | | Plattenseite | | Mantelseite | |
|---|-------------------|--------------------|--------|-----------------------|--------|
| Leistung | | kW | | 80 | |
| Fluid | | R744 | | R134a | |
| Massenstrom | gesamt | kg/h | | 1833 | |
| Dampfqualität | Eintritt Austritt | % | | 0 75 | |
| Temperatur | Eintritt Austritt | °C | | -15,0 -15,0 | |
| Kondensations- Verdampfungstemperatur | | °C | | -5,0 -15,0 | |
| Betriebsdruck | | bar(a) | | 30,5 1,6 | |
| Referenztemperatur | | °C | | -5,0 -15,0 | |
| | | gas | liquid | gas | liquid |
| Viskosität | | mPa s | | 0,010 0,317 | |
| Dichte | | kg/m ³ | | 8,287 1342,8 | |
| Wärmekapazität | | kJ/kg K | | 0,835 1,304 | |
| Wärmeleitfähigkeit | | W/m K | | 0,019 0,100 | |
| Verdampfungsenthalpie | | kJ/kg | | 245,4 209,5 | |
| log. Temperaturdifferenz | | K | | 13,0 | |
| Wärmedurchgangskoeffizient | | W/m ² K | | 456 | |
| Wärmeübertragungsfläche | | m ² | | 13,5 | |
| Flächenreserve | | % | | 80 | |
| ber. Druckverlust | | kPa | | < 2 3 | |
| Anschlußgeschwindigkeit | Eintritt Austritt | m/s | | 0,8 0,1 0,2 5,1 | |

Danfoss-Vortrag CO2 Schiessl Part I.pdf

Danfoss-Vortrag CO2 Schiessl Part II.pdf

Verbunde Bitzer Kaskaden-2016.pdf

Verbunde Dorin Slim Rack CO2.pdf

Verbunde TCC Racks 2018 V1 S X3.pdf

Sicherheitsventile Nuovo General.pdf



CO2 Produktkatalog 2016.pdf

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

