SVK ASF ATF
Schweizerischer Verband
für Kältetechnik

Kältetechnik Grundlagen

Vorbereitung praktische Fachbewilligungsprüfung stationäre Kälteanlagen



SVK ASF ATF | Schweizerischer Verband für Kältetechnik
Eichistrasse 1 | 6055 Alpnach Dorf | 041 670 30 45 | info@svk.ch | www.svk.ch

Impressum

Herausgeber/Bezugsquelle:

Schweizerischer Verband für Kältetechnik SVK
Eichistrasse 1
6055 Alpnach Dorf
www.svk.ch, info@svk.ch
Tel. 041 670 30 45

Stückpreis: Fr. 35.— zuzüglich Porti, Verpackung und MWST

Alle Rechte vorbehalten. Die Übernahme von Teilen dieses Lehrmittels setzt die schriftliche Bewilligung des Herausgebers voraus.

Im gesamten Lehrmittel wird die männliche Form verwendet. Dies dient der einfacheren Lesbarkeit und soll keinesfalls die weiblichen Fachpersonen (von denen es in technischen Berufen leider immer noch zu wenige gibt) diskriminieren.

Inhaltsverzeichnis

1	**Physikalische Grundlagen**	**4**
1.1	Druck	4
1.2	Temperatur	6
1.3	Aggregatzustandsänderungen / Verdampfen und Verflüssigen	7
1.4	Zusammenfassung physikalischer Grundlagen	9
2	**Hauptkomponenten im Kältekreislauf**	**10**
3	**Kältemittelverdichter**	**12**
3.1	Übersicht	12
3.2	Verdichterbauarten	13
3.3	Hubkolbenverdichter	14
3.4	Rollkolbenverdichter	18
3.5	Swingverdichter	19
3.6	Scrollverdichter	19
4	**Wärmeaustauscher**	**23**
5	**Komponenten im Kältekreislauf**	**27**
6	**Druckmess-Schalteinrichtung**	**32**
7	**Drosselorgane**	**33**
8	**Der Kältekreislauf**	**39**
8.1	Der einfache Kältekreislauf	39
8.2	Messungen am Kältekreislauf	42
8.3	Manometerbrücke und Anschlussmöglichkeiten	42
8.4	Messungen am Kältetrainer	48
9	**Inbetriebsetzung und Instandsetzung**	**52**
9.1	Kältemittel in Sammler absaugen	52
9.2	Absaug-Recyclingstation	53
9.3	Inbetriebsetzung und Instandsetzung	56
9.4	Kältesystem vakuumieren	56
9.5	Vakuumpumpen	58
9.6	Wartung von Vakuumpumpen, Vakuumpumpenöl	59
9.7	Druckverlauf beim Vakuumieren	61
9.8	Druckmessgeräte	63
9.9	Kältemittel einfüllen oder nachfüllen	65
9.10	Dichtigkeitskontrolle	71
9.11	Dichtigkeitskontrolle gemäss Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)	72
9.12	Elektronische Lecksuchgeräte	73

1 Physikalische Grundlagen

1.1 Druck

Definition und Einheiten

Der Druck ist definiert als Kraft pro Fläche

$p = \frac{F}{A}$ $[N/m^2]$ = Pascal [Pa]

Die Einheit Pascal entspricht einem sehr kleinen Druck. Für den technischen Bereich wurde die Einheit bar eingeführt:

1 bar = 100 000 Pa
1 mbar = 100 Pa

Aus der Luftdruckmessung mittels Quecksilber-Barometer stammt die Druckeinheit Torr:

1 Torr = 1 mm HG
1 Torr = 1,33 mbar
1 Micron = 1 mTorr = 1,33 x 10^{-3} mbar

Druckfortpflanzung (Gesetz von Pascal, 1623/1662)

Für Flüssigkeiten und Gase gilt:

In einem geschlossenen System breitet sich der Druck in allen Richtungen gleichmässig fort.

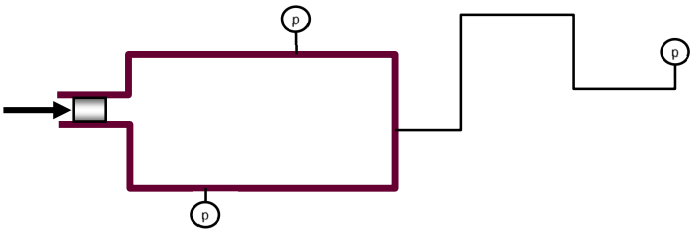


Abb. 1.1

Absoluter Druck

Die Druckskala beginnt mit 0 beim absoluten Vakuum (es sind keine Moleküle vorhanden). Angaben in Druck absolut sind unabhängig vom Umgebungsdruck.

Atmosphärischer Luftdruck

Der Luftdruck ist abhängig von der Höhe über Meer. Er schwankt infolge von Wettereinflüssen um ca. 5 % um die Mittelwerte.

Norm-Atmosphäre:

Der Druck von 1,013 bar wird als **Normalluftdruck** bezeichnet. In vielen Fällen wird der Luftdruck vereinfachend als = 1 bar angenommen.

m ü. Meer	Druck in bar
0	1,013
200	0,989
500	0,955
1000	0,899
2000	0,795
4000	0,616
10’000	0,264

Überdruck, relativer Druck

Weil die meisten Manometer den zu messenden Druck mit dem Umgebungsdruck vergleichen, liegt der Nullpunkt beim Umgebungsdruck und das absolute Vakuum liegt bei -1 bar. Drücke über dem Umgebungsdruck sind positiv, solche unter dem Umgebungsdruck (Unterdruck, Vakuumbereich) sind negativ.

Druckangaben in Überdruck müssen als solche gekennzeichnet werden, z.B. «4 bar Überdruck».

Manometerskalen für Absolutdruck und Überdruck

Umrechnungsformeln:

Überdruck = Absolutdruck - 1
Absolutdruck = Überdruck + 1

Obige Formeln sind nur gültig, wenn der Luftdruck ca. 1 bar beträgt.

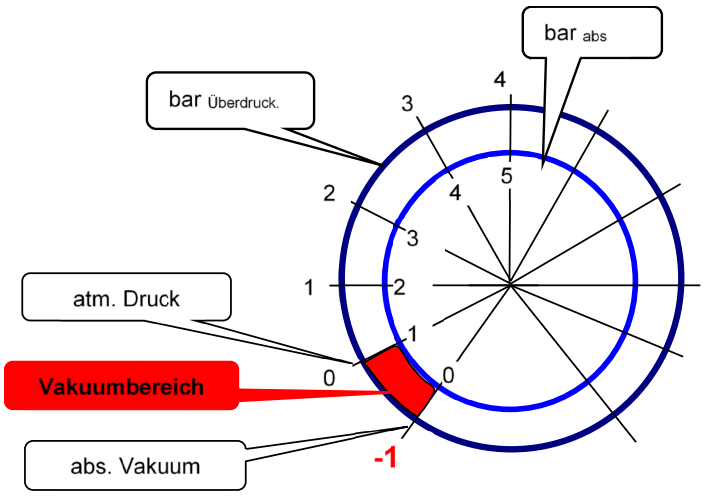


Abb. 1.2



Überdruckmanometer nachstellen

Überdruckmanometer müssen vor dem Anschliessen am Kältesystem entsprechend dem atmosphärischen Druck nachgestellt werden!

Die Manometer sollen daher eine einfache, rasche und zuverlässige Justierung der Zeiger zulassen.



Abb. 1.3: Überduckmanometer für Niederdruck



Abb. 1.4: Überduckmanometer für Hochdruck



Abb. 1.5: Elektronische Monteurhilfe für Absolutdruck und Überduckmessung

1.2 Temperatur

Die Temperaturskala nach Celsius

Celsius (schwedischer Astronom, 1701/1744) teilte die Temperaturskala zwischen dem Schmelzpunkt und dem Siedepunkt des Wassers in 100 Teilstriche ein.

Die beiden Fixpunkte der Celsiusskala sind somit:

0 °C **Schmelzpunkt des Wassers**
100 °C **Siedepunkt des Wassers bei 1,013 bar**

0 °C kann mit entmineralisiertem schmelzendem Eis und unabhängig vom Luftdruck bequem und genau erzeugt werden. Dieser Punkt eignet sich sehr gut für die Justierung von Messeinrichtungen.

Der Siedepunkt des Wassers hingegen ist abhängig vom Luftdruck und somit anhängig von der Höhe über Meer.

Die Temperaturskala nach Kelvin

Aufgrund theoretischer Überlegungen konnte der absolute Temperaturnullpunkt mit -273,15 °C berechnet werden.

Die nach Kelvin benannte Skala weist die gleiche Gradeinteilung auf wie die Celsiusskala, beginnt jedoch mit 0 K beim absoluten Nullpunkt. Die Kelvinskala weist keine negativen Werte auf.

0 K = -273,15 °C
0 °C = 273,15 K

Für thermodynamische Berechnungen muss immer die Kelvinskala verwendet werden!

Temperaturdifferenzen werden immer in K angegeben.

Beispiel:	Aussentemperatur	t_a	-10 °C
	Raumtemperatur	t_i	+21 °C
	Differenz	ΔT	31 K

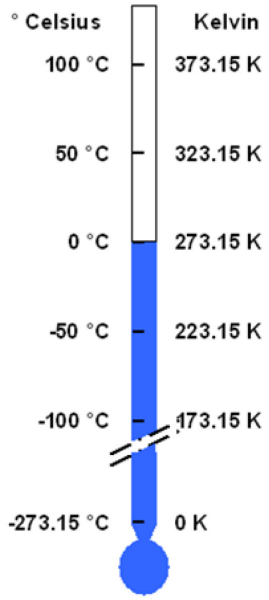


Abb. 1.6: Temperaturskalen

1.3 Aggregatzustandsänderungen / Verdampfen und Verflüssigen

Der Zweiphasenzustand

Im Zweiphasenbereich, wo Flüssigkeit und Gas nebeneinander bestehen, herrscht immer ein Gleichgewicht zwischen Druck und Temperatur.

Die Temperatur ist vom Druck abhängig oder der Druck ist von der Temperatur abhängig.

Dieser eindeutige Zustand gilt für strömende wie auch für ruhende Systeme.

Die Temperaturmessung mit dem Manometer

Dieser Zusammenhang verhilft zu einer neuen Temperaturmessmethode:

Mit Manometer und Dampfdrucktabelle kann die Temperatur gemessen werden. Im Kälteanlagenbau sind darum die Manometer mit den entsprechenden Temperaturskalen ausgestattet.

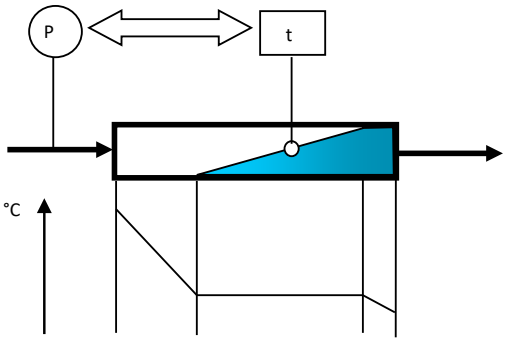


Abb. 1.7: Temperaturverlauf im Verflüssiger

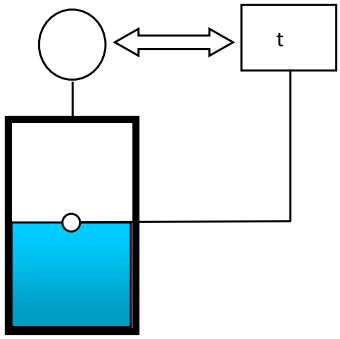


Abb. 1.8: z.B. Kältemittelzylinder

Der Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur gilt nur, wo Flüssigkeit und Gas aneinandergrenzen.

Im Kältekreislauf werden Verflüssigungs- und Verdampfungstemperaturen aufgrund der Druckmessungen bestimmt.

Der Kältefachmann misst sehr häufig Temperaturen mit Hilfe des Manometers und drückt sich für Aussenstehende einigermassen merkwürdig aus:

«Ich messe einen **Druck** von **40 °C**!»

Dabei handelt es sich immer um einen Druck, welcher jedoch in der äquivalenten Temperatur angegeben wird. Daneben werden auch im Kälteanlagenbau Temperaturen wie üblich mit Thermometern gemessen. So kann zum Beispiel die Temperatur einer Heissgas- oder einer Saugleitung nur mit einem Thermometer festgestellt werden.

1.4 Zusammenfassung physikalischer Grundlagen

Druck

- Mit einem Manometer werden relative Drücke gemessen: Überdruck und Unterdruck.

Temperatur

- Temperaturdifferenzen werden in K angegeben.

Aggregatzustandsänderungen

Vorgang	Auswirkungen im Kältekreislauf	Auswirkungen an der Umgebung
Verdampfen des Kältemittels	⇨ Wärmeaufnahme	⇨ Abkühlung
Verflüssigen des Kältemittels	⇨ Wärmeabgabe	⇨ Erwärmung

Beim Verdampfen und beim Verflüssigen bleibt die Temperatur konstant.

Wo Flüssigkeit und Gas aneinandergrenzen, herrscht ein Gleichgewicht zwischen Druck und Temperatur.

Kältemittel wandert (kondensiert) zum kältesten Ort.

Beispiele:

- Kältemittel umfüllen mittels Temperaturdifferenz zwischen zwei Behältern.
- Unerwünschte Kältemittelverlagerungen im Stillstand einer Anlage.
- Der Fühler eines Thermostats (ohne Adsorptionsfüllung) muss sich am kälteren Ort befinden.

Wichtige Begriffe

- überhitzt: wärmer als Verdampfungstemperatur und somit gasförmig
- unterkühlt: kälter als Verflüssigungstemperatur und somit flüssig

2 Hauptkomponenten im Kältekreislauf

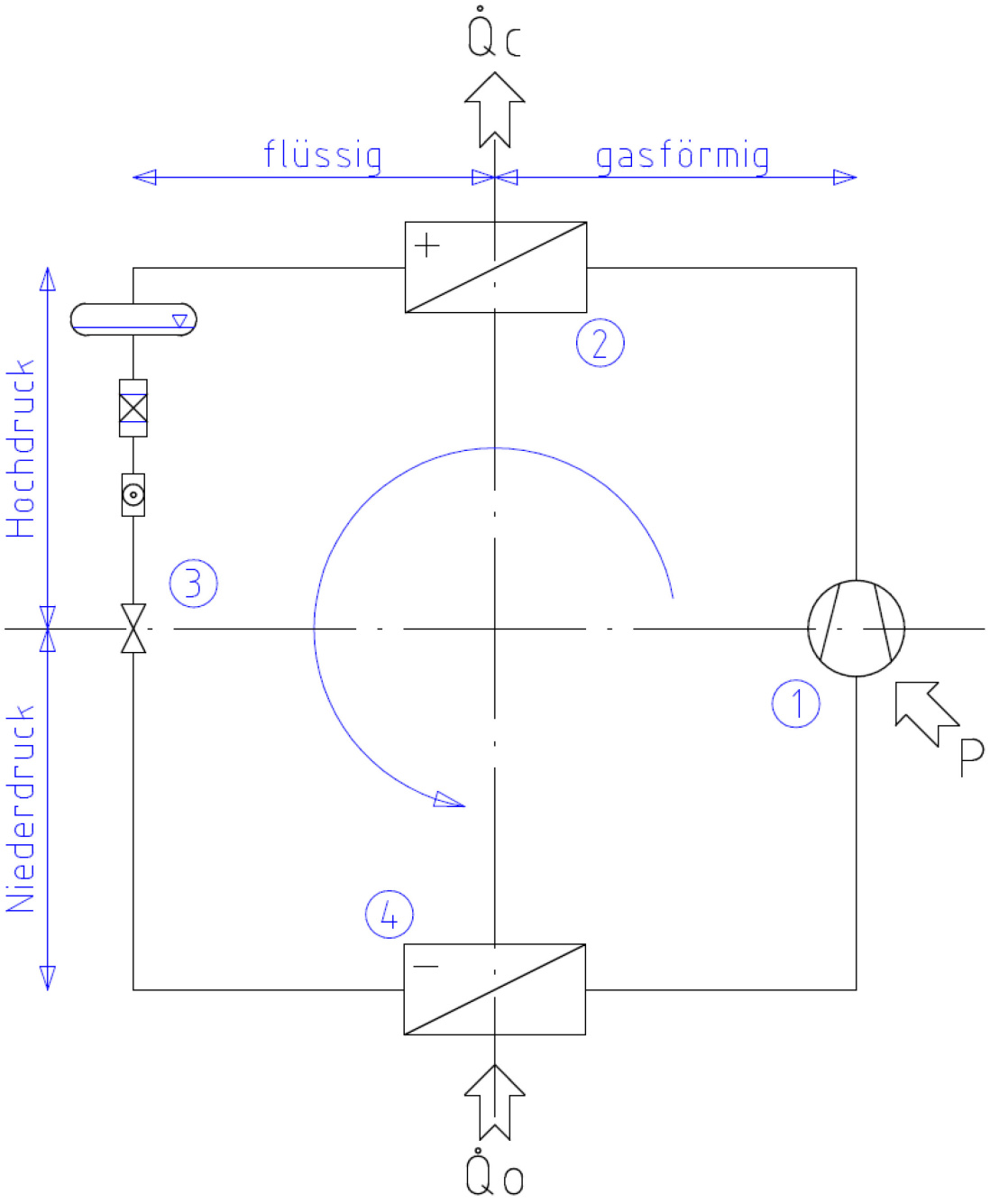
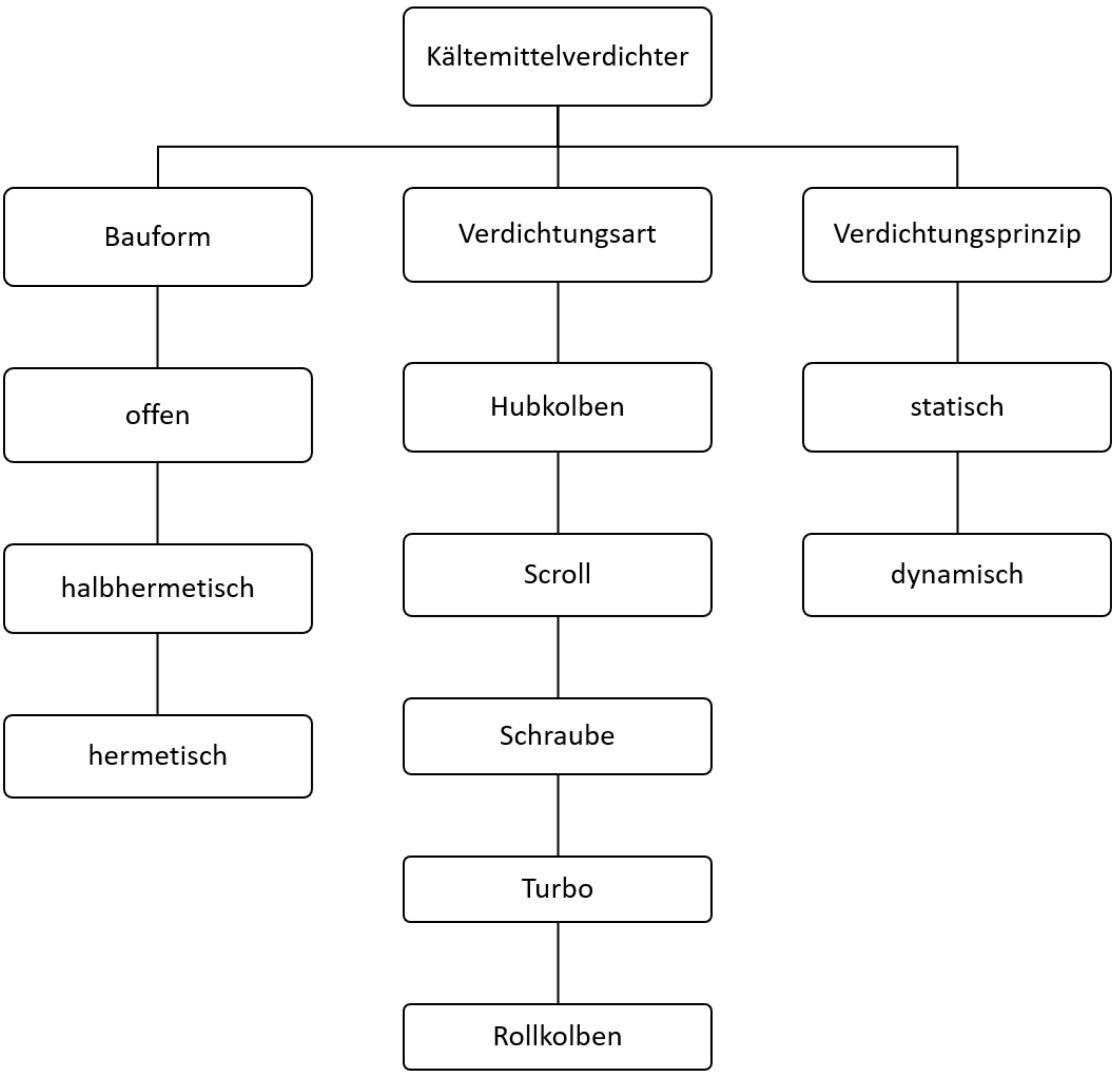


Abb. 2.1

Nr.	Bauteil	Aufgabe
1	Verdichter	
2	Verflüssiger	
3	Drosselorgan	
4	Verdampfer	

3 Kältemittelverdichter

3.1 Übersicht



3.2 Verdichterbauarten

- Offene Verdichter mit Gleitringdichtung, Antrieb direkt oder über Keilriemen. Ab einer gewissen Baugrösse sind Verdichter nur in offener Ausführung erhältlich.



Abb. 3.1: offener Hubkolbenverdichter (Bock)

- Halbhermetische Verdichter (zugänglich hermetisch): Elektromotor im Gehäuse integriert



Abb. 3.2: Halbhermetischer Hubkolbenverdichter (Bitzer)



Abb. 3.3: Halbhermetischer Kompaktschraubenverdichter (Bitzer)

- (Voll-)hermetische Verdichter mit Drehzahl 3'000 1/min, in geschweisstem Gehäuse.

In Folge steigender Anforderungen an die Dichtigkeit von Anlagen werden für kleine und mittlere Leistungen vorwiegend hermetische Verdichter eingesetzt.



Abb. 3.4: Hermetischer Hubkolbenverdichter (Embraco)



Abb. 3.5: Hermetischer Scrollverdichter (Danfoss)

3.3 Hubkolbenverdichter

Wenn im Folgenden vom «Verdichter» die Rede ist, ist in der Regel die Kombination aus Verdichter und Elektromotor gemeint, also von hermetischen oder halbhermetischen Verdichtern.

Die meisten Aussagen gelten auch für die anderen Verdichtungsprinzipien.

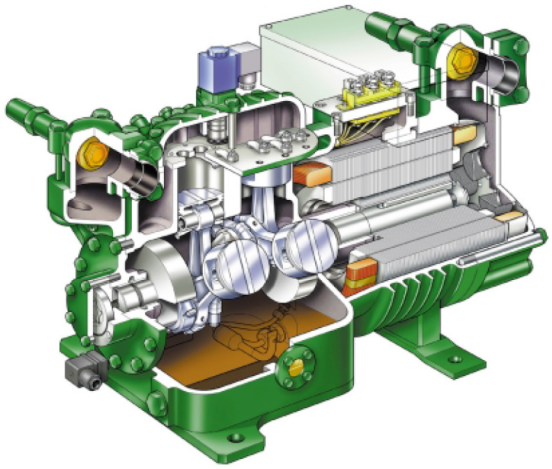


Abb. 3.6: Schnitt halbhermetischer Hubkolbenverdichter (Bitzer)



Abb. 3.7: Schnitt vollhermetischer Hubkolbenverdichter (Danfoss / Maneurop)



Abb. 3.8: Vollhermetische Hubkolbenverdichter (Danfoss / Maneurop)

Prinzip eines Hubkolbenverdichters

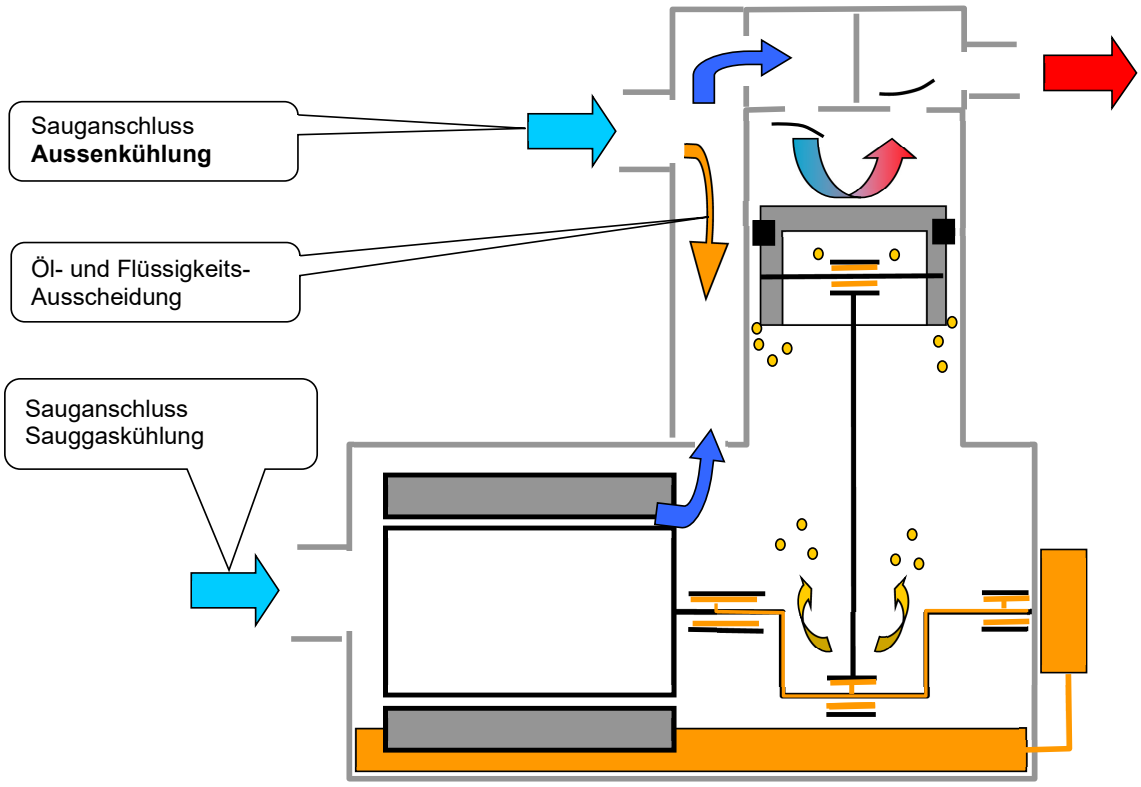


Abb. 3.9

Die Bauteile eines Hubkolbenverdichters

- Gehäuse
- statische Dichtungen
- Zylinderdeckel
- Ventilplatte
- Saug- und Druckventile (Zungen- oder Ringplattenventile)
- Zylinder
- Kolben, Kolbenbolzen, Kolbenringe
- Pleuelstange
- Kurbelwelle
- Ölpumpe, Ölfilter, Ölbohrungen
- Gleitringdichtung bei offenen Verdichtern
- **Gleitlager mit dynamischer Ölschmierung**
- **Ölrücklauf, Ölrückführung**
  Das ausgeworfene Öl muss zurückgeführt werden.
  Das zurückgeführte Öl muss im Verdichter ausgeschieden werden.
  Das Kurbelwellengehäuse steht unter Niederdruck.
- Ölsumpf, Carter
- Carterheizung

Zwei wichtige Forderungen

Eine Abnützung der bewegten Teile findet im Wesentlichen nur beim Anfahren und beim Anhalten statt.

Beim Anfahren muss sich die Schmierung zuerst aufbauen und beim Anhalten bricht der Ölfilm der dynamischen Ölschmierung zusammen.

Ein Verdichter, der nie ein- und ausschalten würde, hätte die längste Lebensdauer! Zur Verlängerung der Verdichterlebensdauer müssen zwei Forderungen erfüllt werden:

1. Maximale Schalthäufigkeit: ca. 6 pro Stunde (Wärmepumpen 3 pro Stunde).
2. Minimale Laufzeit pro Schaltspiel, je nach Verdichtergrösse: 5 bis 15 Minuten.

Verdichterkühlung

Insbesondere für die Motor-Verdichter-Kombination können folgende Kühlungsarten unterschieden werden:

Aussenkühlung mit	- Luft - Wasser - Zylinderkopf-Kühlung
Sauggaskühlung	optimale Kühlung der Elektromotoren mit hohem Wirkungsgrad nach oben begrenzter Einsatz
Ölkühlung	für Kleinstverdichter und v.a. für Schraubenverdichter

Ölhaushalt, Ölverhalten

Im System
Ausser bei ölfreien Verdichtern wird immer ein Teil Öl mit dem Druckgas ausgestossen.

Eine wichtige Anforderung an den Anlagenbau ist deshalb die Ölrückführung!

Das Öl absorbiert immer eine gewisse Menge Kältemittel. Dieser Anteil reduziert die Viskosität, was insbesondere in der Saugleitung den Ölrücklauf begünstigt.

Im Verdichter
Das Öl im Ölsumpf befindet sich unter Saugdruck, im Stillstand entsprechend der Temperatur der kältesten Kühlstelle.

Insbesondere im Stillstand absorbiert das Öl Kältemittelgas. Die Absorption nimmt mit sinkender Temperatur und zunehmendem Druck zu.

Im Ölsumpf führt dies bei Stillstandstemperaturen unter ca. +10 °C bzw. bei längeren Stillstandzeiten zu unerwünschten Folgen beim Start:

- fehlende Schmierung
- aufschäumen des Öls und eindringen von Ölschaum in den Hubraum
- Öl- / Flüssigkeitsschläge

Um Schäden am Verdichter zu verhindern, wird der Ölsumpf im Stillstand mit einer Carterheizung erwärmt, wodurch die Absorption von Kältemittel deutlich reduziert wird. Der Einbau einer Carterheizung ist obligatorisch, wenn sich der Verdichter auf unter ca. 10 °C abkühlen kann oder bei längeren Stillstandzeiten.

Die Absaugsteuerung reduziert die Schaumbildung.

Die Folgen von Flüssigkeit in der Saugleitung

Bei fehlender oder zu geringer Überhitzung gelangt flüssiges Kältemittel zum Verdichter. Obwohl ein direktes Eindringen von Flüssigkeit in den Hubraum in der Regel durch die Ölabscheidung verhindert wird, verursacht eine längere Dauer dieses Zustandes schwerwiegende Schäden:

1. Die Verdünnung des Öles verschlechtert die Schmierung.
2. Das Öl schäumt dauernd auf, wodurch die Schmierung zusätzlich verschlechtert wird.
3. Der Ölschaum kann saugseitig in den Hubraum eindringen, wodurch:

   a) wesentlich mehr Öl ausgestossen wird und

   b) Öl-Flüssigkeitsschläge auftreten können.
4. Arbeitsventile können schwer beschädigt werden. Deformation bis Reissen von Zungenventilen ist möglich.

Ein Beispiel für die mechanische Zerstörung von Ventilen und Kolben aufgrund von Öl-Flüssigkeitsschlägen ist aus den folgenden drei Bildern ersichtlich.

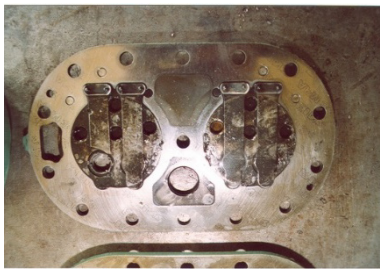


Abb. 3.10

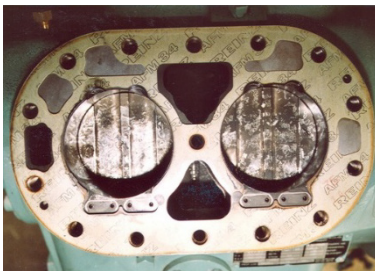


Abb. 3.11

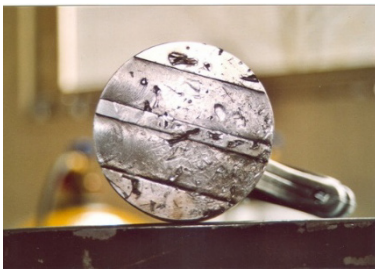


Abb. 3.12

3.4 Rollkolbenverdichter

Rollkolbenverdichter sind bekannt aus der Klimakälte. Splitklimageräte im kleinen Leistungsbereich werden oft mit Rollkolbenverdichtern ausgestattet. Sie werden vorwiegend in vollhermetischer Ausführung eingesetzt. Rollkolbenverdichter werden vermehrt auch in Wärmepumpen eingesetzt.



Abb. 3.13: Schnitt Doppelrollkolbenverdichter (Toshiba)



Abb. 3.14: Rollkolbenverdichter (Sanyo)



Abb. 3.15

Prinzip:
Das Kältemittel wird von einem exzentrisch drehenden Rollkolben verdichtet. Die Trennung zwischen Hochdruck und Niederdruck wird von einem Trennschieber übernommen.

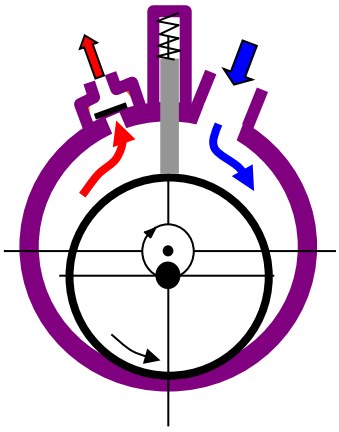


Abb. 3.16

3.5 Swingverdichter

Das Prinzip des Swingverdichters gleicht dem Rollkolbenverdichter sehr stark. Allerdings wurde die mögliche Schwachstelle des Rollkolbenverdichters, nämlich die auftretende Leckage zwischen Rollkolben und Trennschieber, durch eine neue Konstruktion umgangen. Kolben und Trennschieber werden aus einem Teil gefertigt. Dadurch ist natürlich keine Rotation des Kolbens mehr möglich und es entsteht die «Swing»-Bewegung. Einzig ein Exzenter treibt den Schwingkolben an.

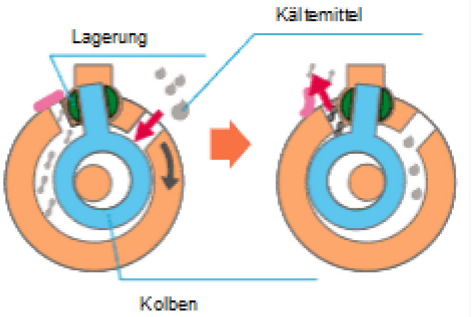


Abb. 3.17

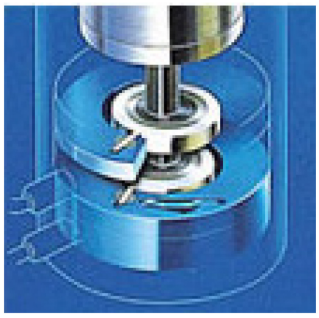


Abb. 3.18: Swingverdichter (Daikin)

3.6 Scrollverdichter

Der Scrollverdichter, als wichtiger Verdichter für kleine bis mittlere Leistungen, wird hier an der Ausführung von Copeland beschrieben.



Abb. 3.19: vollhermetische Scrollverdichter (Copeland)

Mit spiralförmigen Stegen (Evolventen), einer festen und einer orbitierenden Scheibe.

Im Stillstand, bei zu hohen Drücken oder zu grossem Flüssigkeitsanteil zentriert sich die orbitierende Scheibe.

Druckloser Anlauf.

Keine Ventile, aber Rückschlagventil zur Verhinderung des Turbineneffektes.

Weniger Vibrationen als beim Hubkolbenverdichter.

obere, feste Scheibe



untere, orbitierende Scheibe

Abb. 3.20

Im Gegensatz zum Hubkolbenverdichter weist der Scrollverdichter ein fixes Volumenverhältnis auf:

Bei zu hohem Saugdruck wird das Gas vor dem Ausstossen «überverdichtet».
Bei zu tiefem Saugdruck muss der Verdichter zusätzlich orbitieren, um den erforderlichen Verflüssigungsdruck zu erreichen.

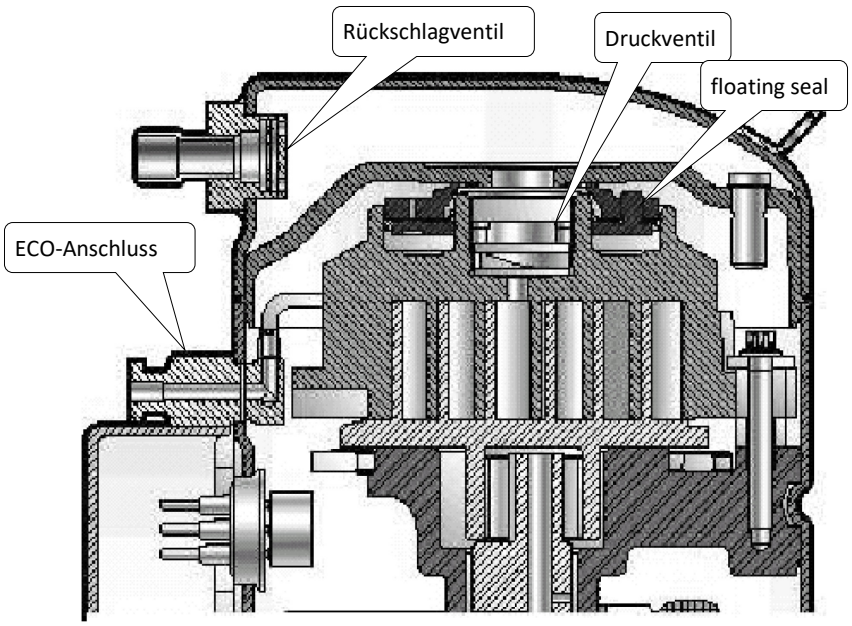


Abb. 3.21: Schnitt: Kältescroll (Copeland)

Allgemeines

- Gleitlager
- Geringer Ölausstoss < 0,5 % (Kolben 2 bis 5 %): Schmierung Scroll über Ölanteil Sauggas
- Keine radiale Reibung: Abwälzbewegung der Berührungslinie (Evolvente)
- Rückschlagventil im Druckanschluss zur Verhinderung des Turbineneffektes
- In der Regel kein Muffler erforderlich
- Verdichtung drehrichtungsabhängig, kurzfristig unempfindlich auf falsche Drehrichtung (Kontrolle mit Manometerbrücke)

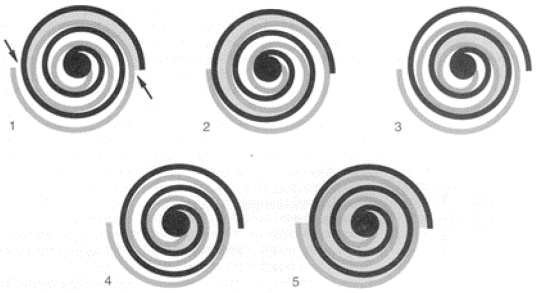
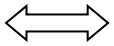


Abb. 3.22: Verdichtungsprinzip Scrollverdichter (Copeland)

Radiale Beweglichkeit der orbitierenden Scheibe



- Die Dichtwirkung zwischen den Stegen entsteht durch Zentrifugalkraft.
- Im Betrieb schleifen sich die Flächen ein und die Dichtwirkung verbessert sich.
- Unempfindlich gegenüber gelegentlichem zu hohem Flüssigkeitsanteil (aber nicht gegen dauernden Flüssigkeitsanteil) oder zu hohem Enddruck.
- Unempfindlicher gegenüber Aufschäumen des Öles beim Start, insbesondere nach längerem Stillstand (Carterheizung trotzdem erforderlich).
- Unempfindlich gegenüber umgekehrten Druckverhältnissen bei Anlagen mit Umkehrbetrieb.
- Entlasteter Anlauf.
- Wegen der fehlenden Formschlüssigkeit wird die Drehzahlregulierung durch Copeland nicht empfohlen.

Axiale Beweglichkeit der festen Scheibe



- Die schwimmende Dichtung (floating seal) bewirkt einen weitgehend konstanten axialen Anpressdruck der festen auf die bewegliche Scheibe auch bei unterschiedlichen Druckdifferenzen: optimale axiale Dichtung bei minimaler Abnützung.
- Zusätzlicher Schutz gegenüber zu hohem Flüssigkeitsanteil oder zu hohem Enddruck.
- Die Leistungsregulierung «Digital» nutzt die axiale Beweglichkeit durch impulsweises Abheben der festen Scheibe.

Zusätzliche Elemente beim Kälte- und WP-Scroll

- Anschluss zu Bohrungen im Mitteldruckbereich der festen Scheibe für den ECO-Betrieb
- (EVI) oder die Flüssigkeitseinspritzung mit DTC-Ventil
- Druckventil im Austrittsbereich der festen Scheibe für den vorzeitigen Ausstoss des Gases bei Überverdichtung, um die Verdichtungsarbeit zu reduzieren

Die vier wichtigsten Einsatzgrenzen

Einsatzgrenzen		Grund
1.	max. Kondensationsdruck	je nach Kältemittel: **28 bar**, 32 bar, 42/43 bar, 46 bar, 53 bar, 160 bar Mechanik und Endverdichtungstemperatur
2.	min. Kondensationsdruck	in der Regel ca. 20 °C. Bei tieferem Kondensationsdruck können die Ventile durch den zu grossen Volumenstrom überlastet werden. Bei tiefer Kurbelwellengehäusetemperatur kann Öl schäumen. Rücksprache mit Verdichterhersteller erforderlich. min. Druckgasüberhitzung 25 K.
3.	min. Saugdruck	Kühlung und Endverdichtungstemperatur
4.	max. Saugdruck	Leistungsaufnahme des Elektromotors Einsatzbereiche Klima, Kühlung oder Tiefkühlung
Zusätzliche Einsatzgrenzen		
5.	max. Sauggastemperatur	Kühlung und Endverdichtungstemperatur
6.	max. Heissgastemperatur	ca. 120 °C, thermische Stabilität des Öles Verkohlung des Öles Bei Einhaltung der ersten drei Einsatzgrenzen wird die zulässige Druckrohrtemperatur nicht überschritten.

Hinweise:

- Die Einsatzgrenzen können in Richtung grösserer Druckverhältnisse durch Verwendung einer zusätzlichen **Zylinderkopfkühlung** (Luft oder Wasser) erweitert werden.
- Im Anlagenbau wird der **min. Saugdruck auf 0,2 bar$_{ü}$ begrenzt**, um bei Undichtigkeiten das Eindringen von Luft und Feuchtigkeit zu verhindern.
- Motorverdichter mit Leistungsregulierung mittels **Zylinderabschaltung** weisen im leistungsgeregelten Betrieb einen höheren min. Saugdruck auf.

4 Wärmeaustauscher

Anwendungen von Wärmeaustauschern mit Kältemittel sind:
Enthitzer, Verflüssiger, Unterkühler, Verdampfer und Überhitzer

Anwendungen für Wärmeaustauscher mit sekundären Kreisläufen sind:
Kühler und Rückkühler

Nachfolgend werden die Wärmeaustauscher nach ihrer Konstruktion eingeteilt und dargestellt.

Rippenrohr-Wärmeaustauscher

Der Wärmedurchgangswert (U-Wert) wird mit 30 bis 40 W/m^{2}K von der Luftseite her beeinflusst.

Luftgekühlte Verflüssiger



Abb. 4.1

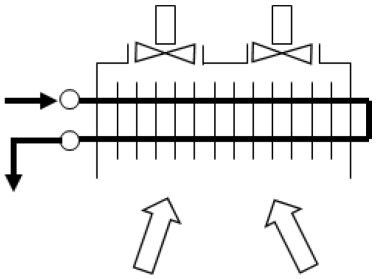


Abb. 4.2: Prinzip luftgekühlter Verflüssiger

Verdampfer für Luftkühlung



Abb. 4.3



Abb. 4.4: Hochleistungs-Luftkühler



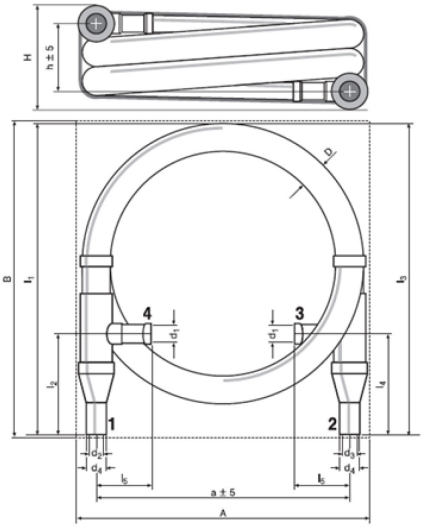
Abb. 4.5: Wärmepumpenverdampfer für Splitbauweise

Koaxial-Wärmeaustauscher

- Als Verdampfer und Verflüssiger einsetzbar
- Wendelförmig gewickelter Gegenstromwärmetaustauscher



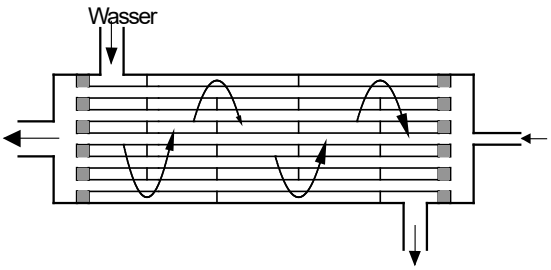
Abb. 4.6



1 Kühlmittelaustritt
2 Kühlmitteleintritt
3 Kältemittelaustritt
4 Kältemitteleintritt

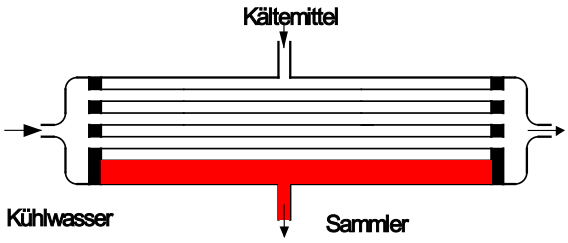
Abb. 4.7: Prinzip Koaxialverdampfer

Rohrbündel-Wärmeaustauscher



- Kältemittel in den Rohren
- Wasser im Mantelraum

Abb. 4.8: Rohrbündelverdampfer



- Kältemittel im Mantelraum
- Wasser in den Rohren

Abb. 4.9: Rohrbündelverflüssiger



Abb. 4.10:Rohrbündelverdampfer in zweikreisiger Ausführung



Abb. 4.11: Rohrbündelverflüssiger

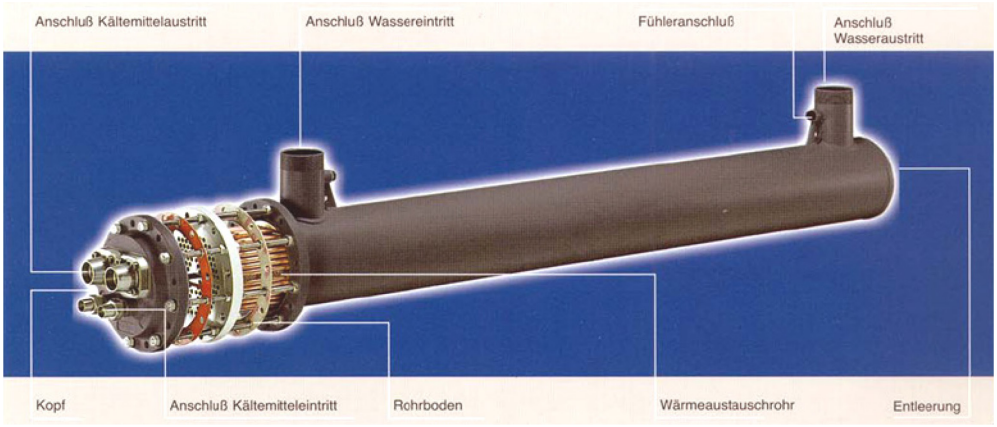


Abb. 4.12: Aufbau Rohrbündelverdampfer

Topfverflüssiger

Topfkondensatoren bestehen aus einem zylindrischen Gehäuse aus Stahl, in das ein Wärmetauscher aus Kupfer eingebaut ist. Der Kältemitteldampf wird oben in den Mantelraum des stehend angeordneten Gehäuses eingeleitet und kondensiert an den Rippen- oder Glattrohrspiralen. Das abtropfende Kondensat sammelt sich im unteren Teil des Gehäuses. Das Kühlmedium strömt von unten eintretend durch die Rohrspiralen.

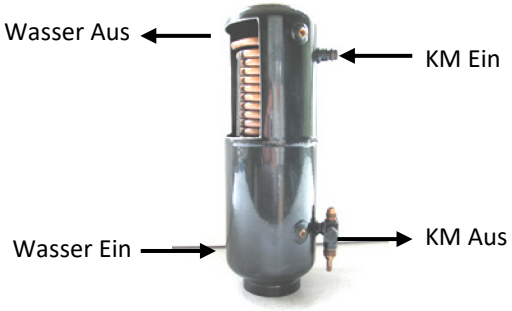


Abb. 4.13: Topfverflüssiger

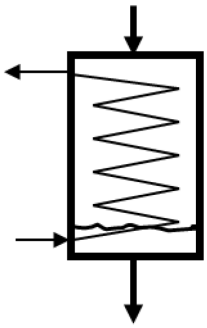


Abb. 4.14: Prinzip Topfverflüssiger

Platten-Wärmeaustauscher

Gelötete Plattenwärmeaustauscher werden in Kältesystemen sehr oft als Verdampfer und als Verflüssiger eingesetzt.



Abb. 4.15: Plattenwärmeaustauscher als Verflüssiger



Abb. 4.16: Plattenwärmeaustauscher als Verdampfer

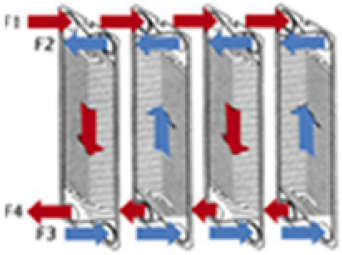


Abb. 4.17: Prinzip Plattenwärmeaustauscher

5 Komponenten im Kältekreislauf

Filtertrockner in der Flüssigkeitsleitung

- Verunreinigungen (Fremdkörper), Feuchtigkeit, Wasser und Säure aus dem flüssigen Kältemittel filtern und absorbieren.
- Bindet Feuchtigkeit mit Molekularsieben, zeitlich unbeschränkt.
- Bindet Säure je nach Filtereinsatz.
- Wird nach jedem Eingriff im Kältesystem ersetzt.



Abb. 5.1

Säurefilter / Saugfilter in der Saugleitung

- Verunreinigungen (Fremdkörper), Feuchtigkeit, Wasser und Säure aus dem gasförmigen Kältemittel filtern und absorbieren.
- Einsatz bei festgestellter Säure im System
- Einsatz nach verbrannter Motorwicklung (Burn-Out)
- Bei grösseren Systemen Einbau eines Filtergehäuses mit Flansch
- Filtereinsatz für die Inbetriebnahme
- Molekularsiebeinsatz bei grossem Feuchtigkeitsanfall
- Säureeinsatz (Burn-out-Einsatz) nach Wicklungsschäden



Abb. 5.2

Wichtig: Um einen dauernden Druckverlust zu vermeiden, sind die Einsätze nach Erfüllung ihrer Funktion zu entfernen.



Abb. 5.3

Schauglas

- Feuchtigkeitsanzeige durch den Feuchtigkeitsindikator
- Nach dem Sammler, zur Bestimmung der Kältemittelfüllmenge bei der Inbetriebnahme
- Vor dem Expansionsventil, zur Feststellung von Flashgas



Abb. 5.4

Wichtig: Schaugläser sollen nur bei laufendem System im Beharrungszustand kontrolliert werden. Schwankende Betriebsbedingungen können zu Änderungen des Kältemittelzustands führen.

Kugelabsperrhahnen

- ohne Druckverlust
- hermetische Ausführung
- für die Wartung, zur Absperrung wichtiger Apparategruppen oder zum Bypassen von Abwärmetauschern während der Entkalkung
- als Einfüllventile
- zum Schutz druckempfindlicher Messgeräte



Abb. 5.5

Rotalockventile

- Absperrventile an Verdichtern und Sammlern, mit drei Stellungen:

  1. Hauptdurchgang offen
  2. Hauptdurchgang geschlossen
  3. Mittelstellung: Hauptdurchgang und externer Anschluss offen

- Erhältlich mit nicht absperrbarem Zusatzanschluss!



Abb. 5.6

Achtung: Vor Betätigung der Spindel muss die Spindeldichtung leicht gelöst werden. Nach Betätigung muss die Spindeldichtung wieder festgezogen werden! Kappen müssen stets mit Werkzeug festgezogen werden.

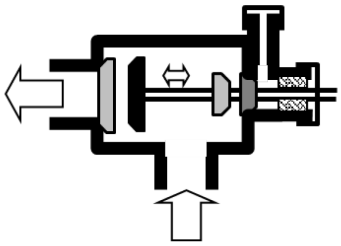


Abb. 5.7

Schraderventile

- Allgemein für Druckmessungen erforderlich



Abb. 5.8

Achtung: Sie sind eine wichtige Undichtigkeitsquelle. Gummidichtungen müssen ersetzt werden durch Hutmuttern und Kupferkappeneinsatz.

Magnetventile

Direktgesteuerte Magnetventile

Nur für kleine Dimensionen geeignet, weil die Magnetkraft beim Öffnen die volle Druckdifferenz überwinden muss.

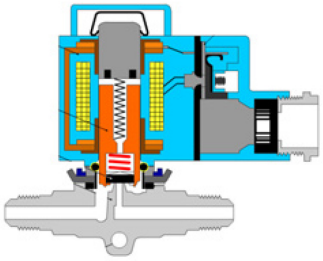


Abb. 5.9

Indirektgesteuerte Magnetventile

Das Ventil arbeitet nach dem Servoprinzip. Mit kleiner Magnetkraft können grössere Querschnitte geöffnet oder geschlossen werden. Mit dem Magneten wird nur die kleine **Pilotdüse** geöffnet oder geschlossen.

Die Schliesskraft entsteht durch den Druckaufbau über der Membrane durch die **Druckausgleichsbohrung**.

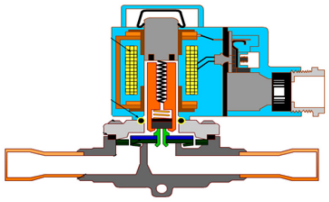


Abb. 5.10

Die Ventilplatte kann allerdings nur korrekt offen bleiben bzw. richtig schliessen, wenn im geöffneten Zustand der Eingangsdruck grösser als der Ausgangsdruck ist.

→ **Das Ventil muss somit einen minimalen Druckverlust aufweisen!**

Beim Öffnen baut sich der Schliessdruck über die Pilotdüse schneller ab, als er sich über die Ausgleichsbohrung aufbauen kann.

Vierwege-Umkehrventil

- Kreislaufumkehrung durch Umschaltung von Saugleitung und Heissgasleitung
- Anwendung zur Abtauung von Luft-Wasser Wärmepumpen oder Umkehrung von Heiz- und Kühlbetrieb
- Der Kolben des Umstellschiebers im Ventil wird pilotgesteuert bewegt. Mit Hilfe des Hochdrucks wird durch die Öffnung des Pilot-Magnetventils eine Kraft an den Kolben gelegt und dieser bewegt. Für die Rückwärtsbewegung muss das Gas im Zylinder entlastet und zum Niederdruck abgeleitet werden.
- Die Pilotsteuerung bewirkt eine geringe interne Leckage.

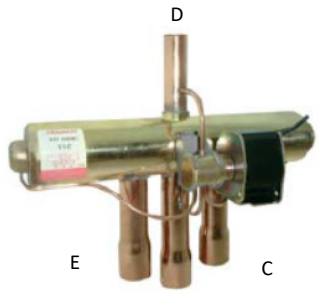


Abb. 5.11

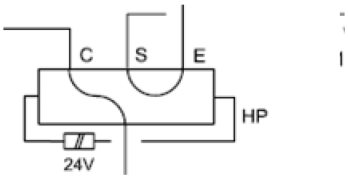
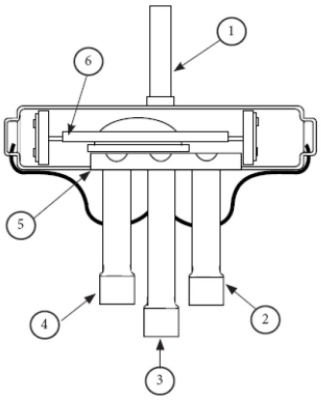


Abb. 5.13



1 Druckrohranschluss
2 Anschluss zu Verdampfer / Verflüssiger
3 Sauggasanschluss
4 Anschluss zu Verflüssiger / Verdampfer
5 Ventilkörper
6 Kolben

Abb. 5.12

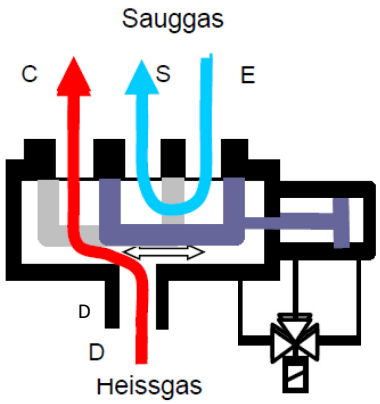


Abb. 5.14

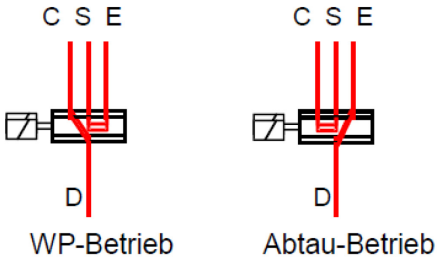


Abb. 5.15

Dreiweg-Magnetventil

- Dient häufig der Umschaltung zwischen Heizungs- und Brauchwarmwasserverflüssiger in der Heissgasleitung.
- Dreiwegventile werden pilotgesteuert mit internem Kolben bewegt.
- Die Verbindung zum Niederdruck muss extern hergestellt werden.
- Grössere Ventile benötigen Revision der Kolbeneinheit.



Abb. 5.16

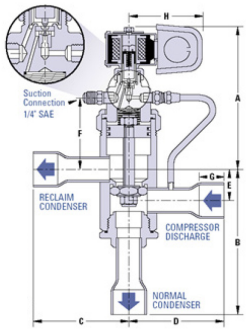


Abb. 5.17

Rückschlagventile

- Verhinderung von Kältemittelverlagerungen, welche durch Druck- oder Temperaturunterschiede möglich werden.
- Bei diversen Anwendungen, in Wärmepumpen bei Heissgasabtauungen
- Bei der Inbetriebnahme oder bei Reparaturen muss das Kältesystem zwingend vor und nach dem Rückschlagventil vakuumiert werden.



Abb. 5.18

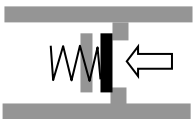


Abb. 5.19

Vibrationsabsorber

- Können Vibrationen des Verdichters in axialer Richtung aufnehmen.
- Werden immer in Richtung der Verdichter-Kurbelwelle eingebaut.

Muffler (Pulsationsdämpfer)

- Absorbieren der Pulsationen im Heissgas, welche durch Kolbenbewegungen entstehen.
- Einbaulage und Befestigung müssen beachtet werden!
- Bei Scrollverdichtern normalerweise nicht erforderlich.

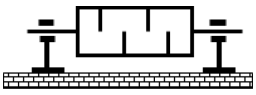


Abb. 5.20

Flüssigkeitssammler

- Nimmt bei Reparaturen die gesamte Kältemittel-Füllmenge auf.
- Trennt gasförmiges und flüssiges Kältemittel.
- Wirkt als Ausgleichsbehälter bei Kältemittelverlagerung oder Laständerungen.

Flüssigkeitsabscheider

- Wird auch Saugakkumulator genannt.
- Muss kurzzeitig flüssiges Kältemittel in der Saugleitung vor dem Verdichter abscheiden.
- Das Rückhaltevolumen ist von der Anlagenfüllmenge abhängig.
- Einsatz oft bei Heissgas-Abtausystemen.
- Ölrückführung erfolgt über eine kleine Düse.
- Erhältlich mit eingebautem Wärmeaustauscher.

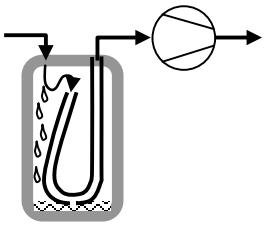


Abb. 5.21

Interner Wärmeaustauscher

- Wird zur Unterkühlung des flüssigen Kältemittels bei gleichzeitiger Überhitzung des Sauggases eingesetzt → interner Wärmeaustauscher.
- Wärmeaustauscher im Gegenstrom- oder Gleichstromprinzip.
- Auch andere Anwendungen möglich.

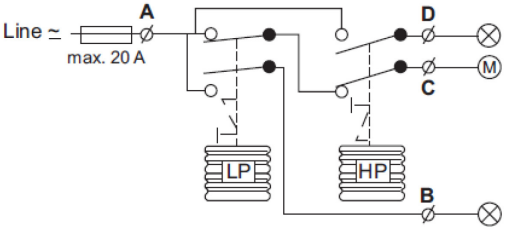


Abb. 5.22

6 Druckmess-Schalteinrichtung

Druckschalter (Pressostat)

- Sicherheitseinrichtung für die Kälteanlage
- Steuerungseinrichtung Verdichter



A Eingangsspannung
B Bereit
C Betrieb (Verdichter)
D Hochdruckstörung



Abb. 6.1



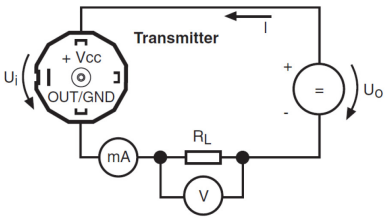
Abb. 6.2

Drucktransmitter

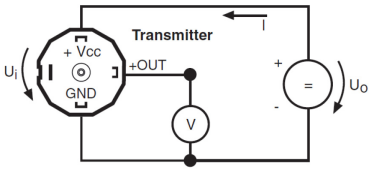
- Messumformer Druck → analoges Signal (0 – 10 Volt, 4 – 20 mA etc.)
- Druckeinsatzbereich ist zu beachten.
- Nachkalibrierung einsatzbedingt (1 x jährlich empfohlen)



Abb. 6.3



2-Leiter



3-Leiter

7 Drosselorgane

Allgemeines, Hauptfunktion

Drosselorgane erzeugen einen Druckabfall zwischen Hoch- und Niederdruckseite. Im einfachsten Fall handelt es sich um eine Blende oder eine Düse.



Abb. 7.1: Düse mit Filtereinsatz

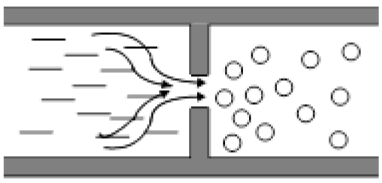


Abb. 7.2

- Die Druckabsenkung ist ein Drosselvorgang bei konstanter Enthalpie.
- Die Druckabsenkung führt gleichzeitig zu einer Temperaturabsenkung,
- Dabei muss ein Teil des Kältemittels unmittelbar nach der Blende **verdampfen**, um sich selber auf die entsprechende Verdampfungstemperatur abzukühlen. Dampfanteil x [kg Dampf pro kg Kältemittel]

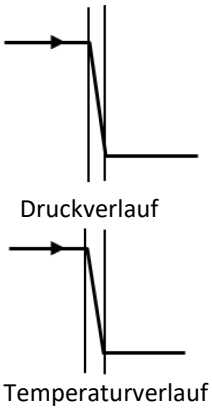


Abb. 7.3

Kapillarrohre

Kapillarrohre sind dünne Kupferrohre mit einem Durchmesser von 1 bis 3 mm und einer Länge von 1 bis 3 m.

Ein sehr einfaches und zuverlässiges Drosselorgan, welches jedoch nur bei Serienprodukten mit kleinen Leistungen eingesetzt wird. Durchmesser, Länge und Kältemittelfüllung müssen durch sorgfältige Versuche aufeinander abgestimmt werden.

Merkmale eines Kältesystems mit Kapillarrohreinspritzung sind:



Abb. 7.4: Kapillarrohr mit Filtertrockner

- Kein Sammler, kleine Kältemittelfüllung, kein Magnetventil.
- Das Kapillarrohr dient als Flüssigkeitsleitung und wird in der Regel mit der Saugleitung zusammengelötet (Wärmeaustausch).
- Die ganze Kältemittelfüllung muss im Verdampfer Platz haben.
- Einspritzung unten in den Verdampfer.
- Bei Reparaturen muss die Kältemittelfüllung sehr genau und nach Gewicht nachgefüllt werden.
- Da bei ausreichender Stillstandszeit ein Druckausgleich erfolgt, können Motorverdichter mit niedrigem Anlaufdrehmoment eingesetzt werden.

Überhitzungsregler, thermostatische Expansionsventile



Abb. 7.5: Thermostatisches Expansionsventil mit internem Druckausgleich (Danfoss)



Abb. 7.6: Thermostatisches Expansionsventil mit externem Druckausgleich (Honeywell)



Abb. 7.7: Thermostatisches Expansionsventil mit externem Druckausgleich (Sporlan)

Als wichtiges Drosselorgan für Kältesysteme mit Trockenverdampfung wird das thermostatische Expansionsventil eingesetzt.

Die Druckabsenkung wird in der Düse des Expansionsventils erzwungen. Die thermostatische Funktion des Expansionsventils ermöglicht eine bedarfsgerechte Anpassung der Kältemittelzufuhr zum Verdampfer.

Das thermostatische Expansionsventil hat also eine Regulierungsaufgabe, nämlich die Regulierung der Überhitzung des Kältemitteldampfes am Austritt des Verdampfers. Die Überhitzung ist die Regelgrösse für die Funktion des Expansionsventils.

Elektronische Expansionsventile

Als elektronisch geregelte Expansionsventile gelten Regelorgane, welche durch elektrische Signale betätigt werden. Für die Überhitzungsregelung ist eine elektronische Regulierung erforderlich.

Als Antriebe für die Expansionsventile haben sich vor allem Schrittmotoren und Magnetantriebe durchgesetzt.



Abb. 7.8: Carel / Schrittmotor



Abb. 7.9



Abb. 7.10: Alco / Schrittmotor



Abb. 7.11: Alco / Magnetantrieb



Abb. 7.12: Siemens / Magnetantrieb



Abb. 7.13: Danfoss / Magnetantrieb

Je nach System werden für die Erfassung der Überhitzung verschiedene Methoden angewendet.

- Erfassen des Verdampfungsdruckes am Verdampferausgang mit einem Drucksensor und Erfassen der Sauggastemperatur mit einem Temperaturfühler am Verdampferausgang.
- Erfassen der Temperaturen an Verdampfereintritt und Verdampferaustritt.

Aus den erfassten Messgrössen wird die Überhitzung durch ein Regelgerät berechnet. Dieses sendet anschliessend entsprechende elektrische Signale aus, um den Antrieb zu betätigten.

Die elektronischen Regelgeräte bieten diverse weitere Funktionen für die gesamte Kühlstellenregulierung. Einige Geräte sind vorgesehen für die Vernetzung von gesamten Kältesystemen und erlauben auch einen Fernzugriff über eine Datenleitung.

Mit verschiedenen verfügbaren Regelparametern und durch die vernetzte Betriebsweise der Regulierungen können energetisch optimierte Kältesysteme realisiert werden.

Die Bedeutung der Überhitzungsregelung

Die Regelung der Überhitzung gewährleistet:

1. unter allen Betriebsbedingungen eine optimale Ausnützung des Verdampfers und

2. dass keine Flüssigkeit durch die Saugleitung zum Verdichter gelangt.

Wichtig:
Thermostatische Expansionsventile (TEV) sind Überhitzungsregler.
Mit thermostatischen Expansionsventilen kann daher auch nur die Überhitzung reguliert werden.

Wir definieren:

Überhitzungstemperatur $t_{ü}$	in °C	=	Temperatur des überhitzten Kältemitteldampfes (Messung auf der Rohroberfläche der Saugleitung am Verdampferaustritt)
Überhitzung $\Delta T_{ü}$	in K	=	Differenz zwischen Verdampfungstemperatur und Überhitzungstemperatur

Symbole

Thermostatisches Expansionsventil mit internem Druckausgleich

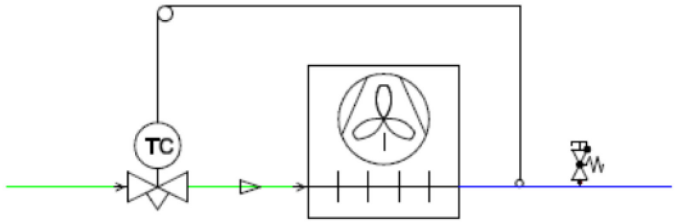


Abb. 7.14

Thermostatisches Expansionsventil mit äusserem Druckausgleich

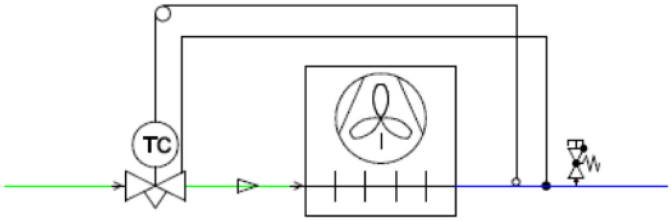


Abb. 7.15

Funktion

Thermostatische Expansionsventile werden immer entsprechend dem Kältemittel im System eingesetzt. Denn im Fühler befindet sich ein Kältemittel mit gleichen (ähnlichen) Eigenschaften wie das Kreislaufkältemittel (Parallelfüllung).

Im Fühlersystem herrscht ein Druck, welcher gemäss Dampfdruckkurve der Temperatur am Verdampferausgang entspricht = $t_ü$.

Im Gleichgewichtszustand, welches vom Regelsystem immer angestrebt wird, gilt:

Verdampfungsdruckkraft + Federkraft = Fühlerdruckkraft

Zur Korrektur der Überhitzung kann mit der Einstellspindel die Federkraft beeinflusst werden. Dabei wird die Arbeitsüberhitzung des Ventils eingestellt.

Mit der Federkraft kann die Arbeitsüberhitzung **eingestellt werden:**

Federkraft vergrössern	→	**Überhitzung vergrössern**	**«schliessen»**
Federkraft verkleinern	→	**Überhitzung verkleinern**	**«öffnen»**

Wegen der langen Regelstrecke ist die Überhitzung periodischen Regelschwankungen unterworfen!

Die Messung der Überhitzung

Wegen der langen Regelstrecke weist die Überhitzungstemperatur periodische und – bei richtiger Einstellung – regelmässige Schwankungen auf. Das Öffnen und Schliessen des TEV verursacht auch Schwankungen des Verdampfungsdruckes.

Aufbau der Messeinrichtungen:

1. Manometer am Verdampferausgang
   → Messung der Verdampfungstemperatur t_o
2. Thermometer beim Fühler des Expansionsventils
   → Messung der überhitzten Saugdampftemperatur $t_ü$

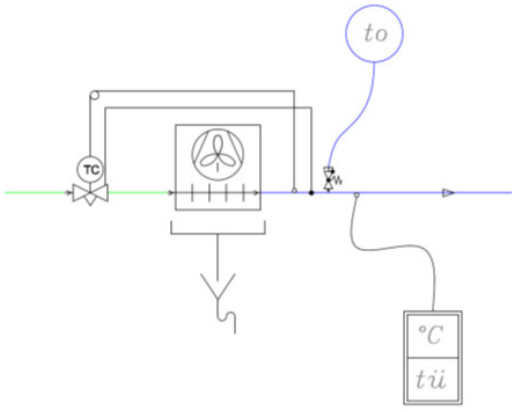


Abb. 7.16

Regelverhalten

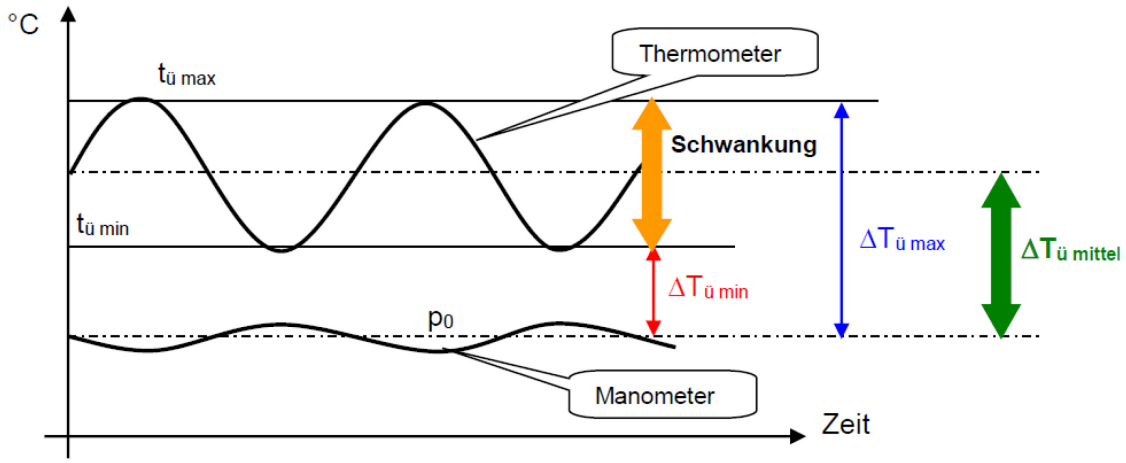


Abb. 7.17

1. Mit dem Manometer wird die durchschnittliche **Verdampfungstemperatur** p_0 in °C gemessen.
2. Mit dem Thermometer werden die **minimale** und die **maximale Überhitzungstemperatur** gemessen. Der Temperaturfühler muss sorgfältig und **isoliert** befestigt werden.
3. Daraus lässt sich die **Schwankung** der Überhitzungstemperatur ermitteln.
4. Aus obigen Werten werden die minimale und die maximale Überhitzung berechnet und daraus die **durchschnittliche Überhitzung** berechnet. Im Folgenden wird nur dieser Wert beachtet.

$$\Delta T_{ü_m} = \frac{\Delta T_{ü_{min}} + \Delta T_{ü_{max}}}{2}$$

8 Der Kältekreislauf

8.1 Der einfache Kältekreislauf

Bezeichnen Sie im Kälteschema (Gewerbe) die Hauptkomponenten und die Kälteleitungen:

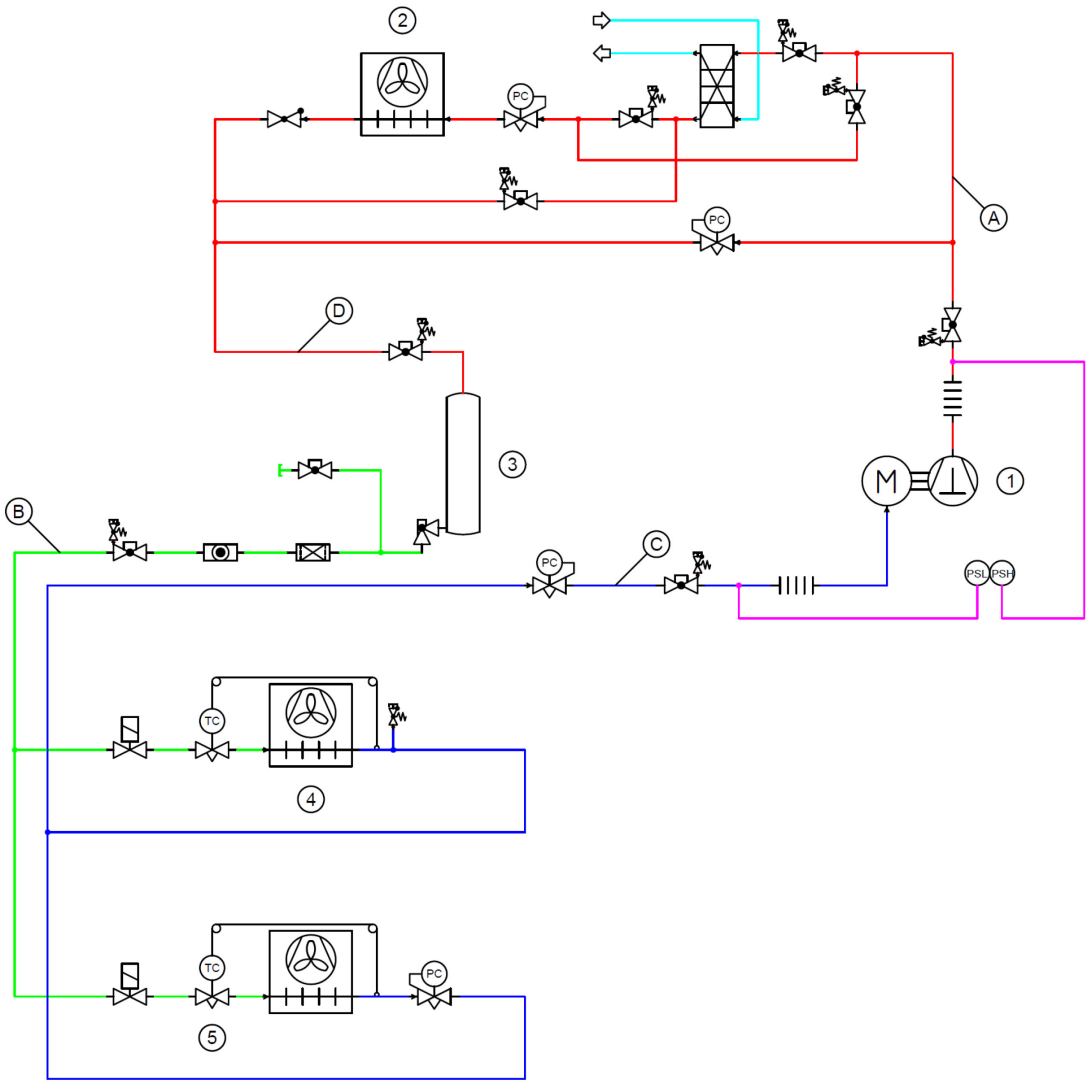


Abb. 8.1

In welchem Zustand befindet sich das Kältemittel an den bezeichneten Stellen im Kältekreislauf?

1: _____ A: _____

2: _____ B: _____

3: _____ C: _____

4: _____ D: _____

5: _____

Bezeichnen Sie im Kälteschema (Wärmepumpe) die Hauptkomponenten und die Kälteleitungen:

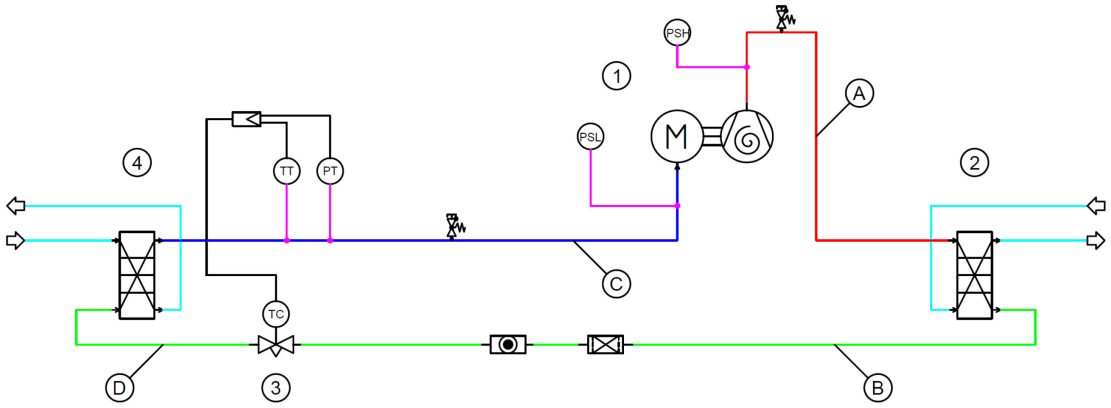


Abb. 8.2

In welchem Zustand befindet sich das Kältemittel an den bezeichneten Stellen im Kältekreislauf?

1: _____ A: _____

2: _____ B: _____

3: _____ C: _____

4: _____ D: _____

Bezeichnen Sie im Kälteschema (Split-Klima) die Hauptkomponenten und die Kälteleitungen:

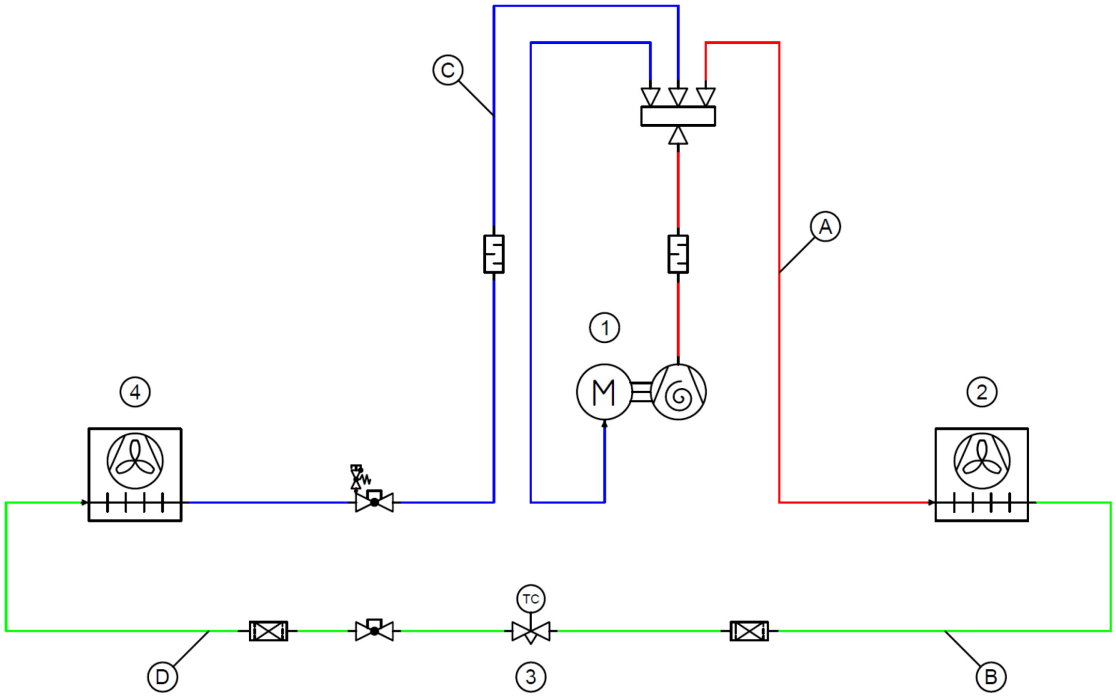


Abb. 8.3

In welchem Zustand befindet sich das Kältemittel an den bezeichneten Stellen im Kältekreislauf?

1: _____ A: _____

2: _____ B: _____

3: _____ C: _____

4: _____ D: _____

8.2 Messungen am Kältekreislauf

Für Messungen an einem einfachen Kältekreislauf sind folgende Messgeräte erforderlich:

- Manometerbrücke mit Hochdruck- und Niederdruckmanometern
- Niederdruckmanometer einzeln
- Thermometer (z. B. Temperaturmessgerät mit Thermoelement-Fühlern)



Abb. 8.4: Manometerbrücke

Die wichtigsten Messgrössen im Kältekreislauf sind:

pc	Verflüssigungsdruck am Manometer in $bar_ü$
tc	Verflüssigungstemperatur in °C *(Messung am Sammlerausgang anstelle dem Verdichteraustritt ergibt ein ruhigeres Drucksignal.)*
t_{HG}	Heissgastemperatur am Verdichteraustritt in °C
t_{FL}	Flüssigkeitstemperatur am Expansionsventileintritt in °C
po	Verdampfungsdruck am Manometer in $bar_ü$
to	Verdampfungstemperatur in °C
tü	überhitzte Saugdampftemperatur am Verdampferaustritt in °C
tSD	überhitzte Saugdampftemperatur am Verdichtereintritt in °C



Abb. 8.5: Niederdruck-Manometer

Daraus ergeben sich weitere wichtige Grössen:

ΔTu	Unterkühlungstemperaturdifferenz	= tc - t_{FL} in K
ΔTü	Überhitzungstemperaturdifferenz	= tü - to in K



Abb. 8.6: Temperaturmessgerät für Thermoelementfühler

8.3 Manometerbrücke und Anschlussmöglichkeiten

Folgende Ausführungen werden für Messungen an Kältesystemen bevorzugt eingesetzt:

- 2-Wege-Manometerbrücke analog oder digital
- 4-Wege-Manometerbrücke analog oder digital

Als Anschlussstellen für die Druckmessung stehen Schraderanschlüsse (Messnippel) oder Rotalockabsperrventile mit abschliessbarem Messanschluss zur Verfügung.

Schraderventile

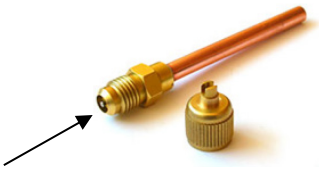


Abb. 8.7: Schraderanschluss mit eingesetztem Kern und einfachem Ventilkern-Schlüssel



Abb. 8.8: Ventilkerne



Abb. 8.9: Schraderventil-Durchgangsöffner



Abb. 8.10: Schraderventil-Schnellkupplung

Das Schraderventil ist allgemein bekannt aus den Ventilen von Autopneus. Es ist eine Art Rückschlagventil, welches den Systemdruck gegen Atmosphäre verschliesst. Das Schraderventil in Kältesystemen ist allerdings kürzer gebaut und wird etwas anders bedient als bei Pneus.

Damit für Arbeiten am Kältekreislauf der Anschluss geöffnet ist, muss an der Schlauchverschraubung ein «Schraderöffner» eingesetzt sein, welcher auf das Schraderventil drückt und somit den Durchgang freimacht. Der Schrader wird also mit dem Aufschrauben des Schlauchs geöffnet und beim Abschrauben entfernt.

Entweichendes Kältemittel beim Öffnen und Schliessen der Schraderverbindung ist möglichst zu vermeiden. Dafür werden zusätzliche Rückschlagventilkupplungen oder Absperrventile als Schraderöffner eingesetzt.

Schrader-Anschlüsse sind immer dicht zu verschliessen mit Messingmutter und eingesetzter Kupferkappe. Abdeckkappen mit Gummidichtung sind undicht!

Rotalockventile



Abb. 8.11

Absperrventile an Verdichtern und Sammlern. Die Absperrventile weisen drei Stellungen auf:

1. Hauptdurchgang offen
2. Hauptdurchgang geschlossen
3. Mittelstellung: Hauptdurchgang und externer Anschluss offen

Achtung: Wird auch mit nicht absperrbarem Zusatzanschluss eingesetzt!

Achtung: Vor Betätigung der Spindel muss die Spindeldichtung leicht gelöst werden. Nach Betätigung muss die Spindeldichtung wieder festgezogen werden! Kappen müssen stets mit Werkzeug festgezogen werden.

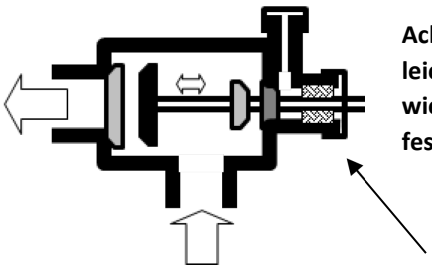


Abb. 8.12



Abb. 8.13: Ventilratsche für Rotalockventile

2-Wege-Manometerbrücke

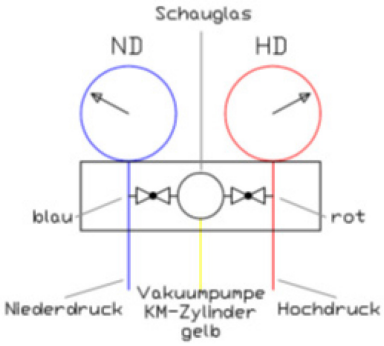


Abb. 8.14



Abb. 8.15: 2-Wege-Manometerbrücke analog



Abb. 8.16: 2-Wege-Manometerbrücke digital

Arbeitsschritte zum Anschliessen der Manometerbrücke

Anschluss an Anlage mit Schraderanschlüssen (ohne Rotalockventile)

- Messbrücke drucklos machen: Schläuche lösen, Ventile öffnen.
- Manometer justieren (Zeiger auf 0 bar einstellen).
- Alle Ventile schliessen.
- Kappen der HD und ND-Anschlussstellen lösen (Entgegenhalten mit Schraubenschlüssel!).
- ND-Schlauch anschliessen.
  (Variante mit Rückschlagventiladapter: am HD-Anschluss Rückschlagventil-Adapter aufschrauben, Gegenstück am HD-Schlauchende einschrauben.)
- HD-Schlauch mit Schraderöffner-Adapter anschliessen.
- Verbindungsschläuche und Messbrücke vakuumieren.
- Durchgang zum Schrader mit Schraderöffner öffnen.
- Messbrücke bereit für Messungen.

Arbeitsschritte zum Abhängen der Manometerbrücke

(Kältemittel im HD-Schlauch wird auf die ND-Seite abgesaugt)

- Durchgang zum HD-Schrader am Schraderöffner schliessen.
- Gelben Schlauch dicht verschliessen.
- Öffnen des ND-Ventils an der Messbrücke.
- Langsames Öffnen des HD-Ventils an der Messbrücke.
- Falls eine Absaugsteuerung (Pump-down) zur Verfügung steht, den Niederdruck durch Absaugen absenken bis 0,2 bar.
- HD- und ND-Ventile schliessen, sobald Druckausgleich herrscht.
- HD-Schlauch abhängen.
- ND-Schlauch abhängen.
- Schläuche dicht verschliessen.
- Kappen an den Anschlussstellen dicht verschliessen.
- Anschlussstellen mit Lecksuchgerät absuchen.

4-Wege-Manometerbrücke

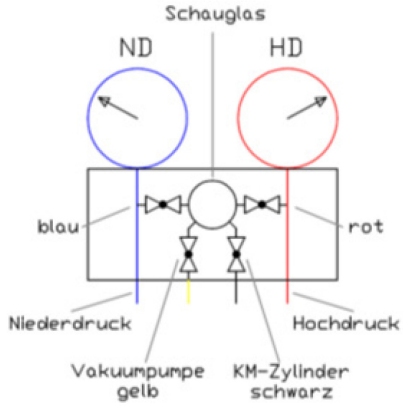


Abb. 8.17



Abb. 8.18: 4-Wege-Manometer-brücke analog



Abb. 8.19: 4-Wege-Mano-meterbrücke digital

Arbeitsschritte zum Anschliessen der Manometerbrücke

Anschluss an Anlage mit Rotalockventilen

- Messbrücke drucklos machen: Schläuche lösen, Ventile öffnen.
- Manometer justieren (Zeiger auf 0 bar einstellen).
- Alle Ventile an der Manometerbrücke schliessen.
- Kappen der Rotalockventile vorsichtig lösen und entfernen; bei undichten Ventilspindeln kann sich Druck in der Kappe aufbauen.
- Spindeln an ND- und HD-Rotalockventilen in den Rücksitz drehen (Messanschlüsse dicht verschliessen).
- Kappen der Anschlussstellen entfernen.
- ND-Schlauch anschliessen, HD-Schlauch anschliessen.
- Zusatzschlauch dicht verschliessen.
- Verbindungsschläuche und Messbrücke vakuumieren.
- Alle Absperrventile der Manometerbrücke schliessen.
- Mit Ventilrätsche Spindel am ND-Rotalockventil ca. 1 Umdrehung eindrehen (Messanschluss öffnen durch Rechtsdrehen).
- Mit Ventilrätsche Spindel am HD-Rotalockventil ca. 1 Umdrehung eindrehen (Messanschluss öffnen durch Rechtsdrehen).
- Messbrücke bereit für Messungen.

Arbeitsschritte zum Abhängen der Manometerbrücke

(Kältemittel im HD-Schlauch wird auf die ND-Seite abgesaugt)

- Mit Ventilrätsche Spindel am HD-Rotalockventil in Rücksitz drehen (Messanschluss schliessen durch Linksdrehen).
- An Manometerbrücke rotes und blaues Absperrventil langsam öffnen, Leersaugen des HD-Schlauches.
- Falls eine Absaugsteuerung (Pump-down) zur Verfügung steht, den Niederdruck durch Absaugen absenken bis 0,2 bar.
- HD- und ND-Ventile an der Manometerbrücke schliessen, sobald Druckausgleich herrscht.
- Mit Ventilrätsche Spindel am ND-Rotalockventil in Rücksitz drehen (Messanschluss schliessen durch Linksdrehen).
- HD-Schlauch abhängen, ND-Schlauch abhängen.
- Schläuche dicht verschliessen.
- Kappen an den Anschlussstellen dicht verschliessen.
- Kappen der Rotalockventile montieren.
- Anschlussstellen mit Lecksuchgerät absuchen.

Anschlussmöglichkeiten Messbrücke an Schulungsanlagen

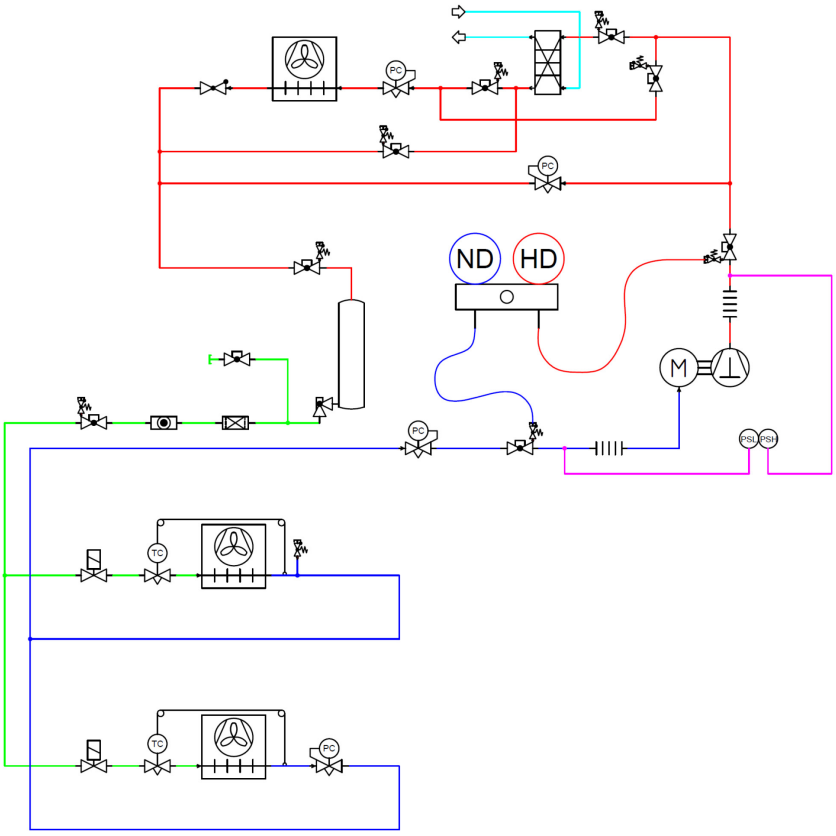


Abb. 8.20 Anschlussschema Gewerbe

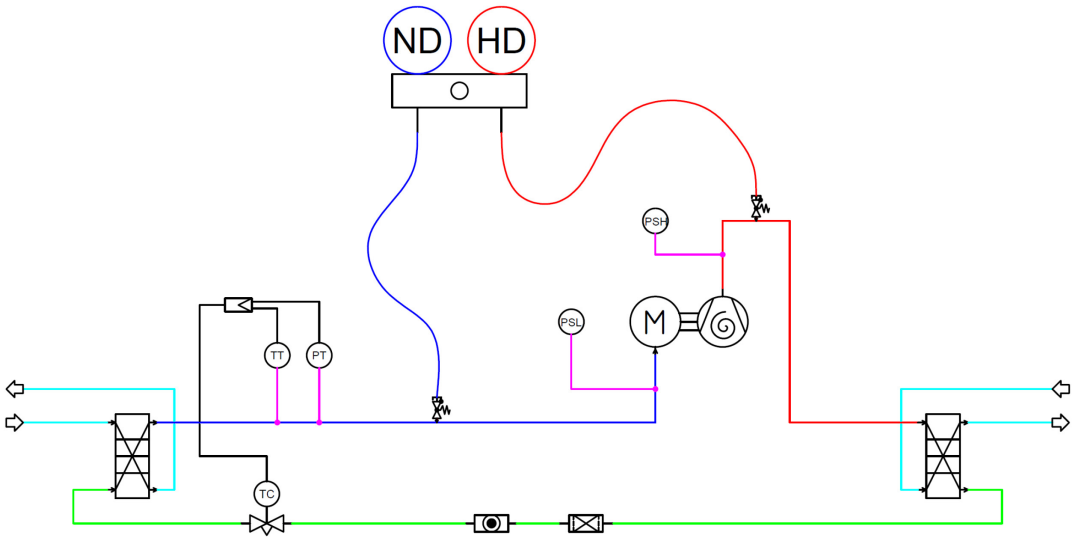


Abb. 8.21 Anschlussschema Wärmepumpe

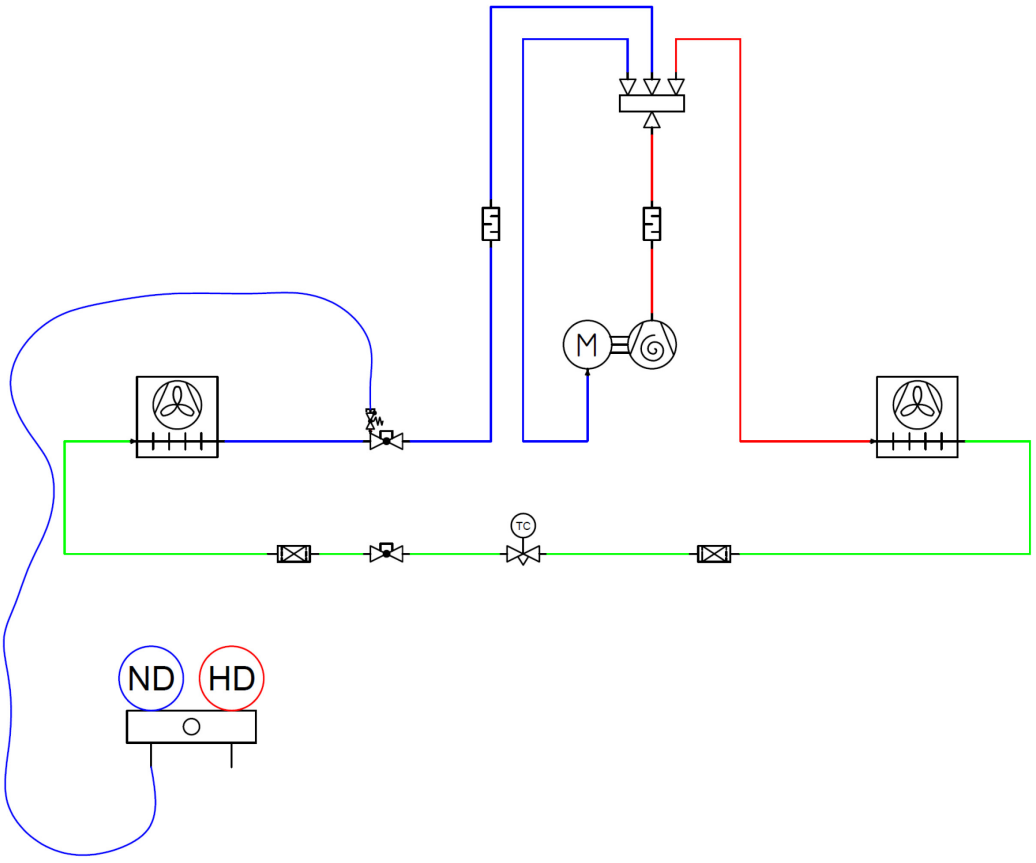


Abb. 8.22 Anschlussschema Split-Klima

8.4 Messungen am Kältetrainer

Auftrag:

- Nehmen Sie das Kälte-Prinzipschema zum Kältetrainer.
- Tragen Sie im Schema alle Messorte zum Erfassen der vorgehend genannten Messgrössen ein. Die Überhitzung bestimmen Sie am Verdampfer.
- Erstellen Sie ein Messprotokoll.

Kälteschema (Gewerbe)

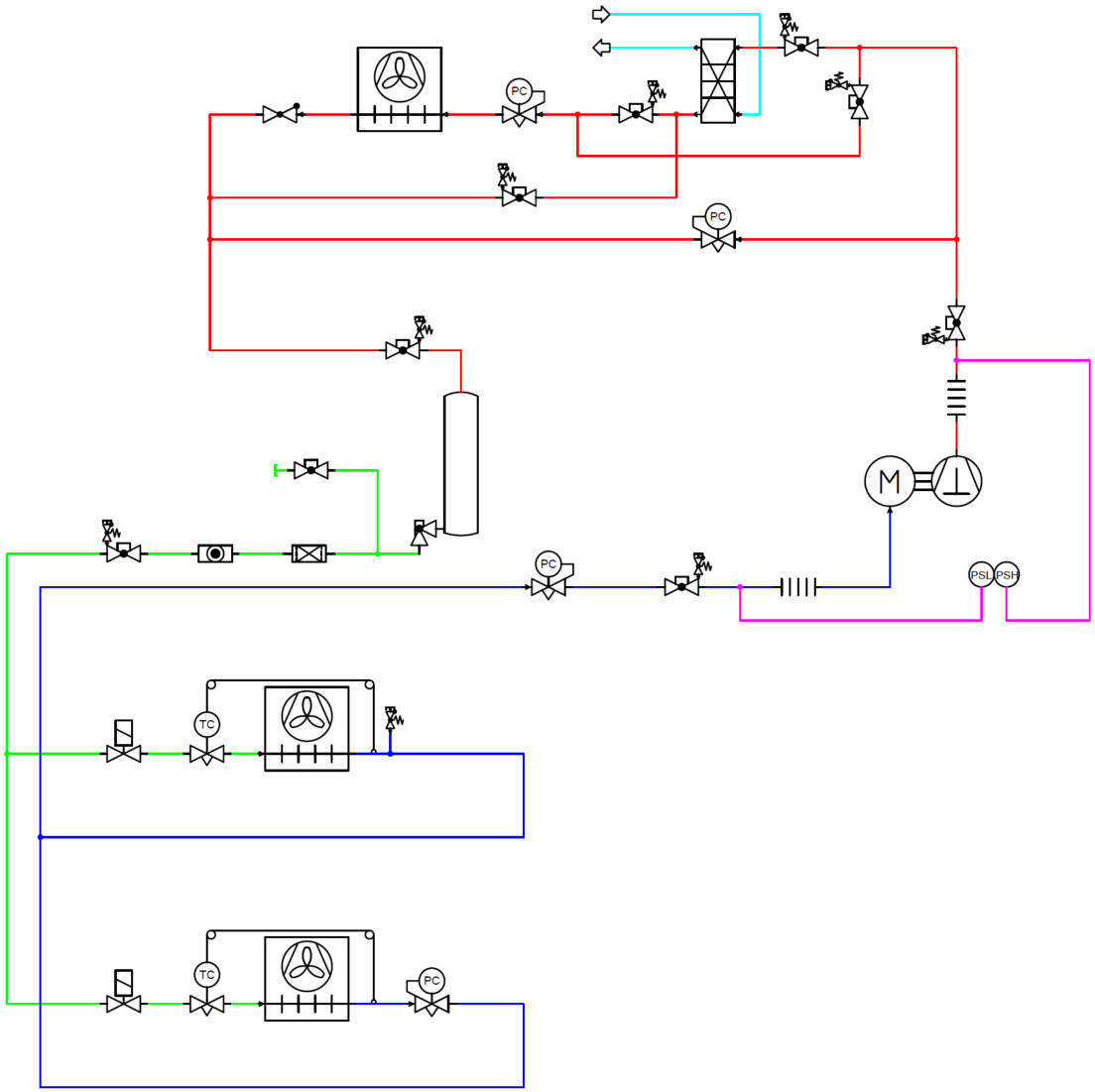


Abb. 8.23

Messprotokoll:

Nr.	Verflüssigung		Verdampfung		Überhitzung		Unterkühlung	
1		°C		°C		K		K
2		°C		°C		K		K
3		°C		°C		K		K
4		°C		°C		K		K
5		°C		°C		K		K

Kälteschema (Wärmepumpe)

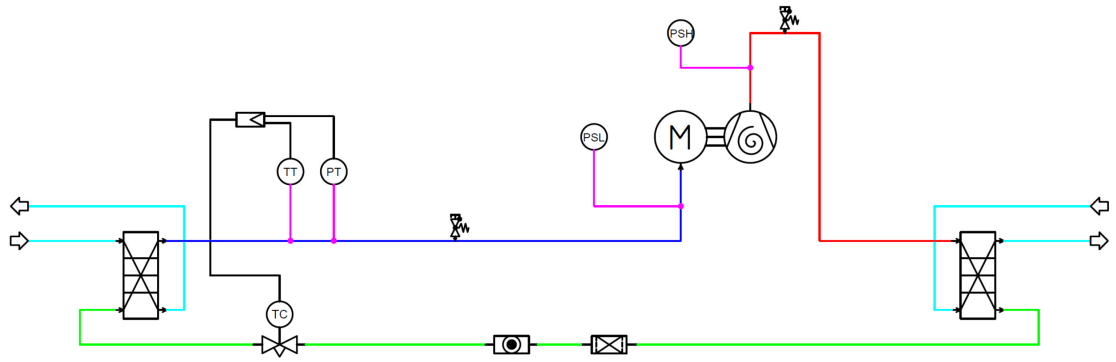


Abb. 8.24

Messprotokoll:

Nr.	Verflüssigung		Verdampfung		Überhitzung		Unterkühlung	
1		°C		°C		K		K
2		°C		°C		K		K
3		°C		°C		K		K
4		°C		°C		K		K
5		°C		°C		K		K

Kälteschema (Split-Klima)

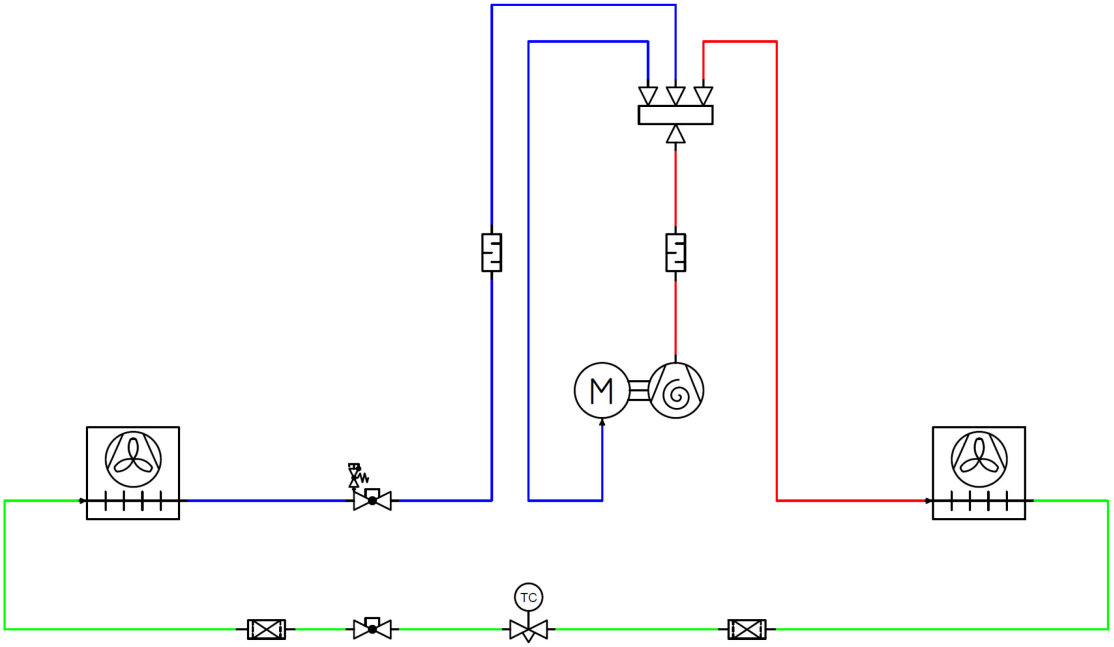


Abb. 8.25

Messprotokoll:

Nr.	Verflüssigung		Verdampfung		Überhitzung		Unterkühlung	
1		°C		°C		K		K
2		°C		°C		K		K
3		°C		°C		K		K
4		°C		°C		K		K
5		°C		°C		K		K

9 Inbetriebsetzung und Instandsetzung

9.1 Kältemittel in Sammler absaugen

Zum Arbeiten am Kältekreislauf ist das Absaugen des Kältemittels in den Sammler zweckmässig. Der Sammler muss dazu allerdings einen Absperrhahnen am Austritt und einen genügend grossen Inhalt aufweisen.

Ein grosser Teil der Kältemittelmenge kann so rasch in den Sammler «abgesaugt» werden:

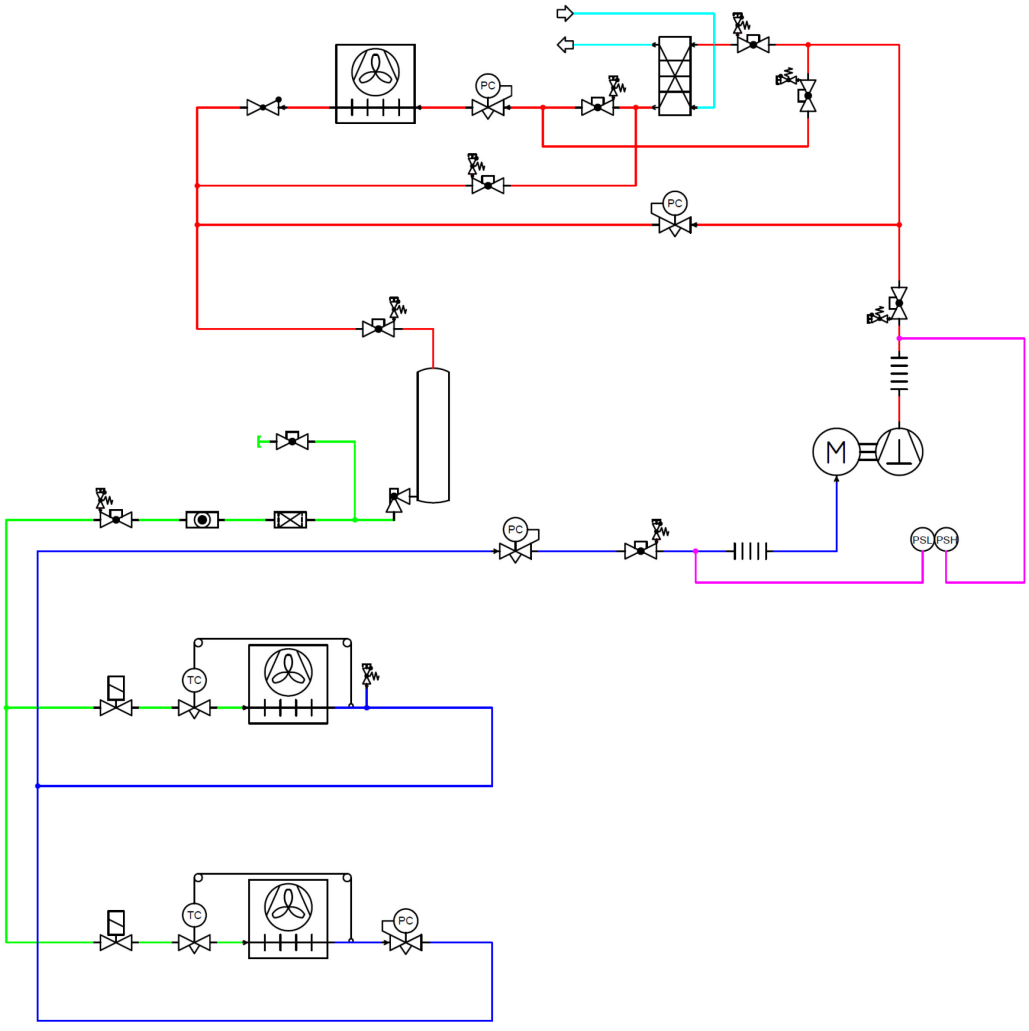


Abb. 9.1

1. Heizungspumpe einschalten (Verflüssiger beheizen).
2. **Quellenpumpe unbedingt einschalten**: Beim Absaugen bis auf ca. 0,2 bar siedet das Kältemittel bei sehr tiefer Temperatur. Bei stillstehender Pumpe würde der Verdampfer einfrieren.
3. Sammler-Austritt schliessen.
4. Evtl. Niederdruckpressostat überbrücken.

5. Absaugen bis auf ca. 0,2 bar.
6. Vorgang mehrmals wiederholen.
7. Wenn vorhanden, auch Sammler-Eintritt schliessen.

9.2 Absaug-Recyclingstation

Die Absaug- und Recyclingstation dient der emissionsfreien Kältemittelentnahme aus Kälte- und Klimaanlagen. Je nach Anwendung ist das Gerät passend anzuschliessen, damit die grösstmögliche Effizienz der Anlage genutzt werden kann.

Leistungsbeispiel REFCO ENVIRO-DUO	
Gasförmiges Kältemittel	33 kg/h
Flüssiges Kältemittel	210 kg/h
Push-Pull Betrieb	570 kg/h

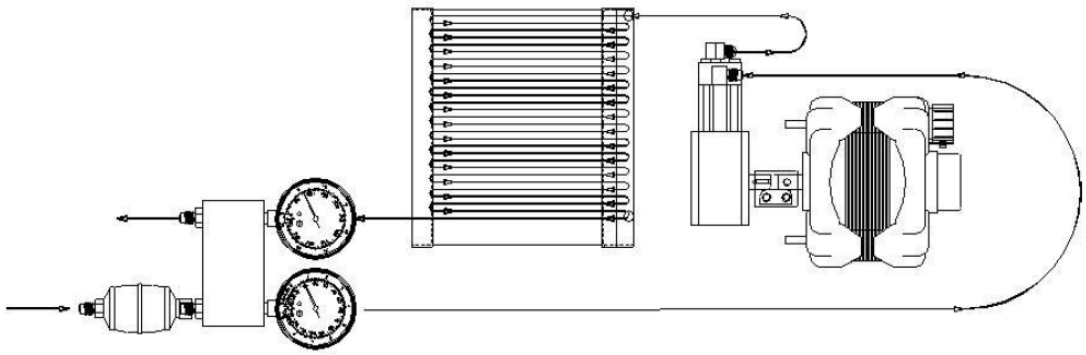


Abb. 9.2: Systemaufbau Absaug-Recyclingstation

Anwendungshinweise:

- Vor dem Gebrauch die Bedienungsanleitung lesen (jedes Gerät hat spezifische Einstellungen).
- Nicht alle Geräte sind für den Einsatz von A2 und A2L Kältemittel geeignet.
- Der Filter vor dem Einlassventil dient dem Schutz des Geräts und sollte je nach Verschmutzungsgrad und Säure-/Feuchtigkeitsbefall des Kältemittels häufiger gewechselt werden.
- Absauggeräte funktionieren mittels Verdichtungsprinzip und vertragen keine Flüssigkeitsschläge.
- Die meisten Geräte sind wartungsfrei und benötigen keinen speziellen Unterhalt.
- Beim Befüllen des Kältemittelzylinders ist immer eine Waage zu verwenden, damit die Zylinderfüllung überwacht werden kann **(Füllfaktor 0,75)**.
- Anlagen sollte bis zu einem Druck von 0,2 bar abgesaugt werden.
- Für den Push-Pull Betrieb ist ein Kältemittelzylinder mit Doppelventil notwendig.

Standard-Rückgewinnungsverfahren

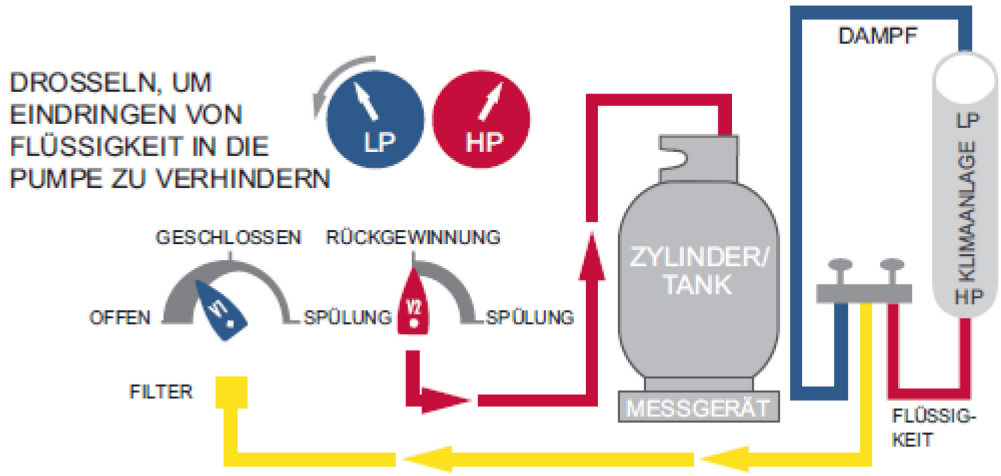


Abb. 9.3

Push-Pull Betrieb (Abpumpen von grösseren Kältemittelflüssigkeitsfüllmengen > 7 kg)

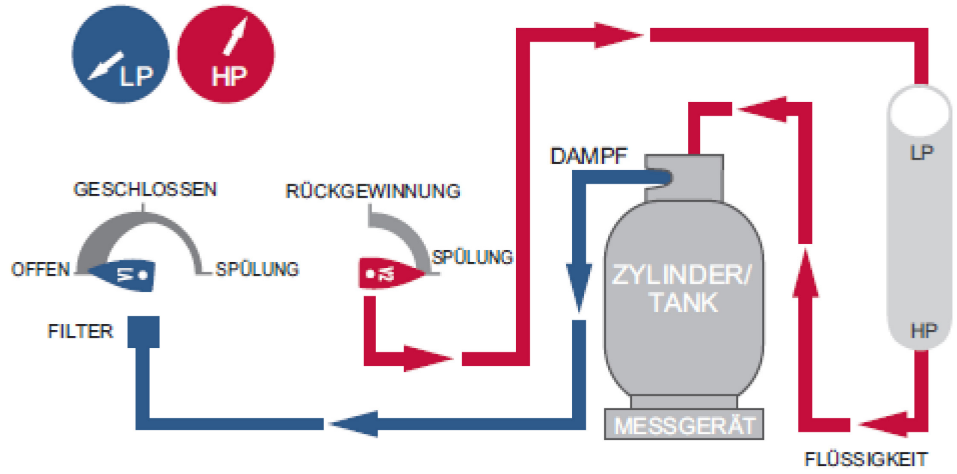


Abb. 9.4

Anlagenspülung, Entleerung

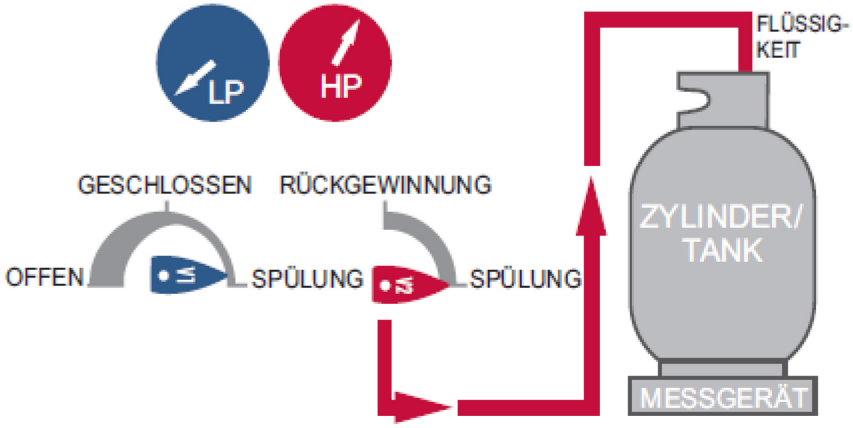


Abb. 9.5

Verbinden Sie die einzelnen Teile für das «normale Absaugen» von kleinen Kältemittel-Mengen:

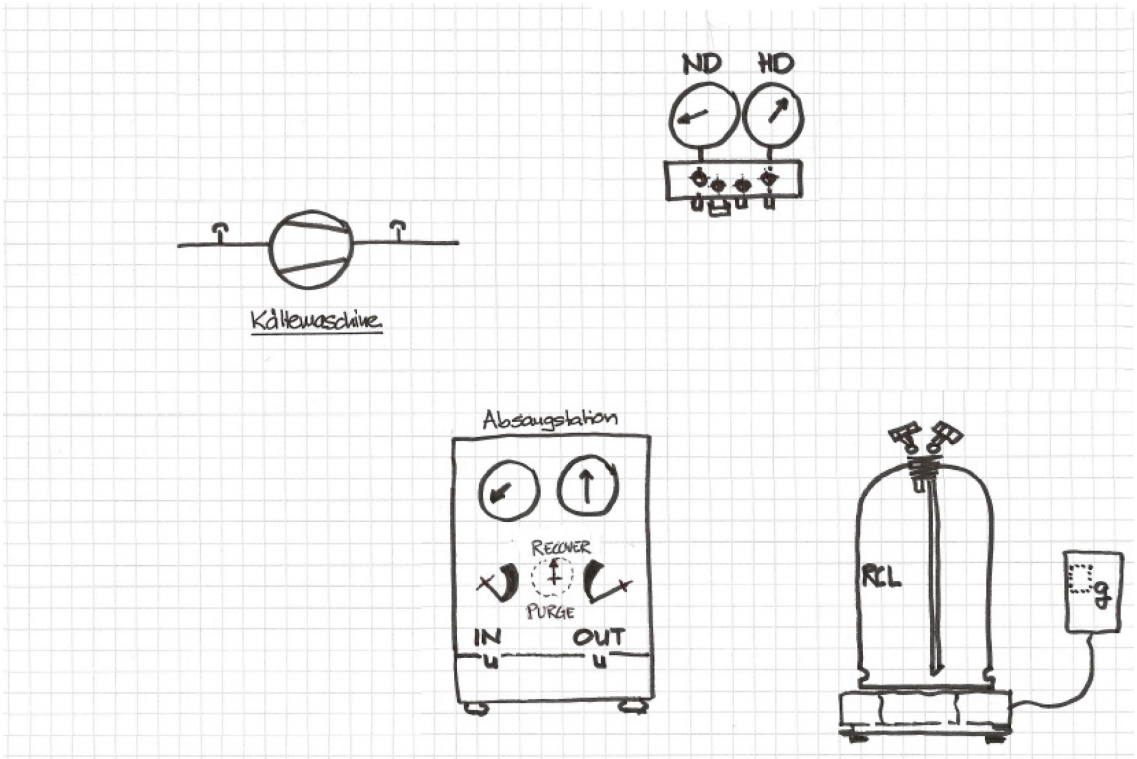


Abb. 9.6

9.3 Inbetriebsetzung und Instandsetzung

Vorgehen bei der Inbetriebsetzung oder nach Eingriffen im Kältekreislauf

- Druckprobe mit Stickstoff
- Vakuumieren
- Kältemittel einfüllen
- Inbetriebsetzung
- Dichtigkeitskontrolle mit Lecksuchgerät
- Reglagen
- Messungen
- Inbetriebsetzungsprotokoll

9.4 Kältesystem vakuumieren

Der Vakuumiervorgang folgt auf die Dichtheitskontrolle. Das Vakuumieren des Kreislaufs nimmt verhältnismässig viel Zeit in Anspruch und lohnt sich deshalb nur, wenn man Gewissheit hat, dass das System sauber verschlossen und dicht ist.

Das standardisierte Vorgehen beim manuellen Vakuumieren im Anlagenbau ist:

- Druckfestigkeitsprüfung mit Stickstoff oder Formiergas (95 % N_2 / 5 % H_2)
- Dichtigkeitsprüfung mit Stickstoff oder Formiergas (N_2/H_2), Lecksuche
- Vakuumieren
- Vakuum brechen (Filter einsetzen bei Blockeinsätzen)
- Vakuumieren
- Vakuum-Standprobe
- Kältemittel einfüllen

Zweck

- Luft und Fremdgase entfernen
- Restfeuchtigkeit entfernen (vakuumtrocknen)
- evtl. vorhandenes flüssiges Wasser ausdampfen (problematisch)

Die Folgen von Fremdgasen im Kreislauf

Fremdgase wie Luft und N_2 (Stickstoff) sind nicht verflüssigbar. Sie verdrängen das Kältemittel im ganzen Kreislauf, wodurch die aktive Oberfläche der Wärmeaustauscher reduziert wird. Dies führt – insbesondere auf der Hochdruckseite – zu hohen Drücken.

Der Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur gemäss Dampfdruckkurve ist nicht mehr gewährleistet.

Die Folgen von Feuchtigkeit im Kreislauf

- Bildung von Säuren mit langfristigen Schäden
- Einfrieren in Düsen von Expansionsventilen

Wasser (flüssig) aus dem Kreislauf entfernen

Durch Vakuumieren kann Wasser aus dem System ausgedampft werden.

Dampfdrucktabelle von Wasser

Temperatur °C	Druck mbar	Temperatur °C	Druck mbar
+20	23,4	-5	4,01
+15	17,0	-10	2,59
+10	12,2	-15	1,65
+5	8,7	-20	1,02
+0	6,1	-24	0,67

Merke:
Um eventuell vorhandenes flüssiges Wasser durch Ausdampfen zu entfernen, muss der Druck unter die entsprechende Umgebungstemperatur gesenkt werden. Die Umgebung dient als Wärmequelle. Wenn nicht Wärme zugeführt wird, sinkt die Verdampfungstemperatur und das Wasser gefriert. Unter 0 °C / 6,1 mbar sublimiert das Wasser sehr langsam.

Je kälter die Umgebung, desto tiefer der erforderliche Druck um das Wasser auszudampfen!

Bei tiefen Temperaturen (Komponenten im Freien oder im Servicefall, bei Komponenten die sich im kalten Bereich befinden) können die kalten Bereiche durch Vakuumieren nicht getrocknet werden.

- **Wasser mit Spülmittel entfernen**
  An Stelle von R11, welches als FCKW nicht mehr verwendet werden darf, bieten die Kältemittelhersteller hochsiedende Kältemittel inkl. Wiederaufbereitung zur Reinigung von Kältekreisläufen an (z.B. Nettogaz GC1, Novec HFE 7100 oder Genesolv STZ).
- Eine weitere Möglichkeit besteht in der Spülung mit heissem Stickstoff und dem Einsatz von grossvolumigen Filtertrocknern.

Wichtige Drücke beim Vakuumieren

Der absolute Druck beim Vakuumieren wird in mbar gemessen und angegeben:

1 mbar	= 0,75 Torr	= 752 Mikron	
1 Torr	= 1000 Mikron	= 1,33 mbar	= 1 mm Hg
1 Mikron	= 0,00133 mbar		

15'000 Mikron	= 19,95 mbar
(Messbeginn VG64)	
400 Mikron	= 0,53 mbar

200 Mikron	= 0,26 mbar
50 Mikron	= 0,066 mbar
20 Mikron	= 0,025 mbar

Beim Vakuumieren ist ein Enddruck von
0,25 mbar oder ca. 200 Mikron,
am von der Pumpe am weitesten entfernten Punkt gemessen, zu erreichen
(gemäss Forderungen der Verdichterhersteller).

9.5 Vakuumpumpen

Es werden zweistufige Hochvakuumpumpen (Drehschieberpumpen) mit Gasballast eingesetzt, welche einen Enddruck von 0,05 mbar (ca. 40 Mikron) erreichen.

Die Förderleistung richtet sich nach dem zu vakuumierenden Systeminhalt:

- Fördervolumen für kleine Systeme ca. 2 bis 6 m^3/h
- Fördervolumen für mittlere bis grosse Systeme 10 bis 30 m^3/h

Anlagengrösse nach Füllmasse	**Saugleistung der Vakuumpumpe**	**Anlagengrösse nach Füllmasse**	**Saugleistung der Vakuumpumpe**
bis 5 kg	ca. 1,5 m^3/h	bis 50 kg	ca. 10 m^3/h
bis 25 kg	ca. 5 m^3/h	bis 100 kg	ca. 20 m^3/h

Quelle: friosol, Komponentenkatalog 2010

Zweistufige Vakuumpumpe im Schnitt (CPS)



Abb. 9.7

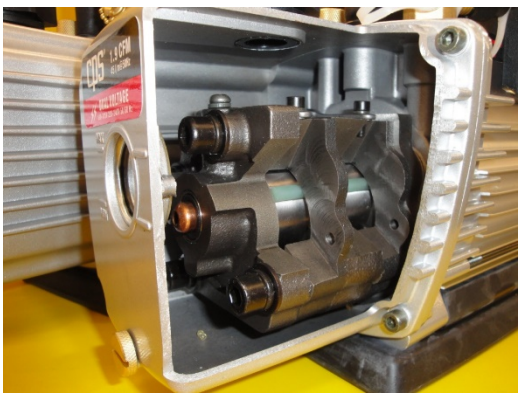


Abb. 9.8

Prinzip

zweistufige Drehschieber-Vakuumpumpe
mit Gasballastdüse

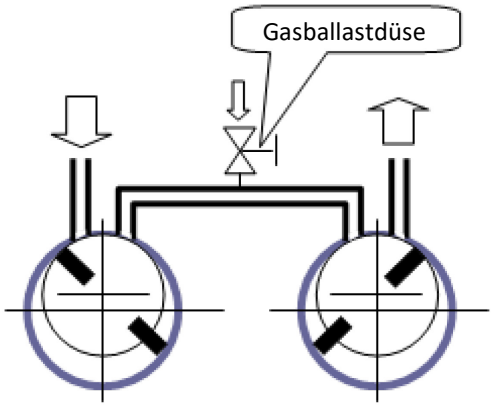


Abb. 9.9

Gasballastventil:

Bei Anwesenheit von Feuchtigkeit im System kann diese in der zweiten Stufe kondensieren, die Qualität des Vakuumpumpenöls beeinträchtigen und die Förderleistung reduzieren.

Durch Beimischung einer kleinen Aussenluftmenge vor der zweiten Stufe kann diese Erscheinung vermindert werden.

Das Gasballastventil wird beim Starten und Warmlaufen der Vakuumpumpe und in der Anfangsphase des Vakuumiervorgangs geöffnet. Der Enddruck wird nur bei geschlossener Düse erreicht. Unterhalb vom Haltedruck von ca. 10 – 15 mbar wird das Gasballastventil geschlossen.

9.6 Wartung von Vakuumpumpen, Vakuumpumpenöl

Vakuumpumpen werden mit Spezialölen betrieben, welche einen besonders tiefen Verdampfungsdruck aufweisen.

Die Aufnahme von Wasser und die Vermischung mit Kältemaschinenöl (sowie dem darin gelösten Kältemittel) können das zu erreichende Endvakuum bedeutend reduzieren.

Aus diesem Grund sind periodische Ölwechsel unumgänglich. Nach ca. 20 Betriebsstunden oder bei hoher Feuchtigkeitsbelastung auch früher ist die Ölfüllung zu ersetzen. Die Vakuumpumpe soll dazu warmgelaufen werden. Nach Entleeren des Öls nochmals ca. 5 Sekunden starten, um die Restmenge auszupumpen.

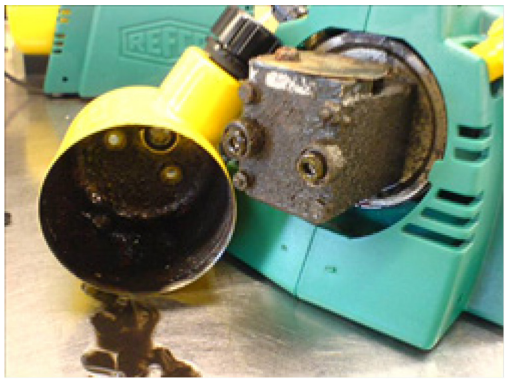


Abb. 9.10: Vakuumpumpe ohne Wartung

Beim Ölwechsel ist zwingend die vorgeschriebene Ölsorte des Herstellers zu verwenden.

Wartung/Ölwechsel

Der wichtigste Wartungsfaktor einer Vakuumpumpe ist das Öl. Dieses ist nach spätestens 20 Betriebsstunden oder nach starker Verschmutzung (dunkles oder trübes Öl) zu ersetzen. Nach dem Absaugen von verschmutzten Kältemitteln ist das Öl ebenfalls zu wechseln. Insbesondere Feuchtigkeit/Wasser, welches in der Pumpe bis zum nächsten Einsatz zurück bleibt, kann zur Beschädigung der Pumpe durch Korrosion führen.

⚠ Verschmutztes Öl kann die Vakuumpumpe beschädigen

Vorgehen bei Ölwechsel

- Pumpe auf Arbeitstemperatur warm laufen lassen, dann abschalten und Netzstecker ziehen.
- Ölnebelabscheider abschrauben. (Pos. 19)
- Das Öl bei RL-4/RL-8 durch öffnen des Ablassstopfens (Pos. 23) ablassen, oder durch Kippen der Pumpe durch die Öffnung des Ölnebelabscheiders ausgiessen (die RL-2 verfügt über kein Ölablassstopfen).
- Netzstecker einstecken - Pumpe einschalten. Circa 5-10 Sekunden mit geöffnetem Saugstutzen laufen lassen, damit Rest-Öl aus den Druckstufen heraus gedrückt wird.
- Pumpe ausschalten – Netzstecker abziehen.
- Rest-Öl ablassen oder ausgiessen.
- Ölablass-Stopfen (Pos. 23) wieder dicht einschrauben (RL-4/RL-8).
- Neues Öl bis Pegelstand „Mitte Schauglas“ einfüllen.
- Ölnebelabscheider einschrauben (Pos. 19). Pumpe kurz ein paar Sekunden einschalten.

⚠ Bei stark verschmutztem Öl empfiehlt es sich, nach einer Laufzeit von 30 Minuten den Ölwechsel zu wiederholen, um so alle Verunreinigungen auszuspülen.

Um die vorgegebenen Leistungen zu erreichen und die Pumpe nicht zu beschädigen, ist die vom Hersteller vorgegebene Ölsorte DV-44, DV-45, DV-46, DV-48 zu verwenden.

⚠ Das Altöl ist vom Pumpenbetreiber nach Vorschrift fachgerecht zu entsorgen!

Weitergehende Wartungsarbeiten sind von einem Fachbetrieb ausführen zu lassen.

Abb. 9.11

9.7 Druckverlauf beim Vakuumieren

Kältesysteme werden immer auf der Hoch- und auf der Niederdruckseite gleichzeitig vakuumiert!

- Das Vakuumieren entspricht einem Strömungsvorgang bei immer kleiner werdenden Druckdifferenzen.
- Beim Starten arbeitet die Vakuumpumpe mit geringem Druckverhältnis. Dieses steigt aber rasch an und beträgt gegen Ende des Vorgangs ca. 1000 : 1!
- Mit sinkendem Druck steigt das Dampfvolumen an, damit wird der Vorgang langsamer, weil das Volumen von der Pumpe gefördert werden muss:

Das spezifische Volumen von Wasserdampf	
1'000 mbar	1,67 m^3/kg
100 mbar	15 m^3/kg
10 mbar	130 m^3/kg
1 mbar	1'132 m^3/kg
0,1 mbar	10'450 m^3/kg

- Der Vorgang verläuft also anfänglich rasch und wird dann immer langsamer.
- Der Enddruck der Vakuumpumpe wird im System nur nach «unendlich» langer Zeit erreicht.
- An der Vakuumpumpe sinkt der Druck rascher, an entfernten Stellen und hinter Verengungen des Querschnittes deutlich langsamer.

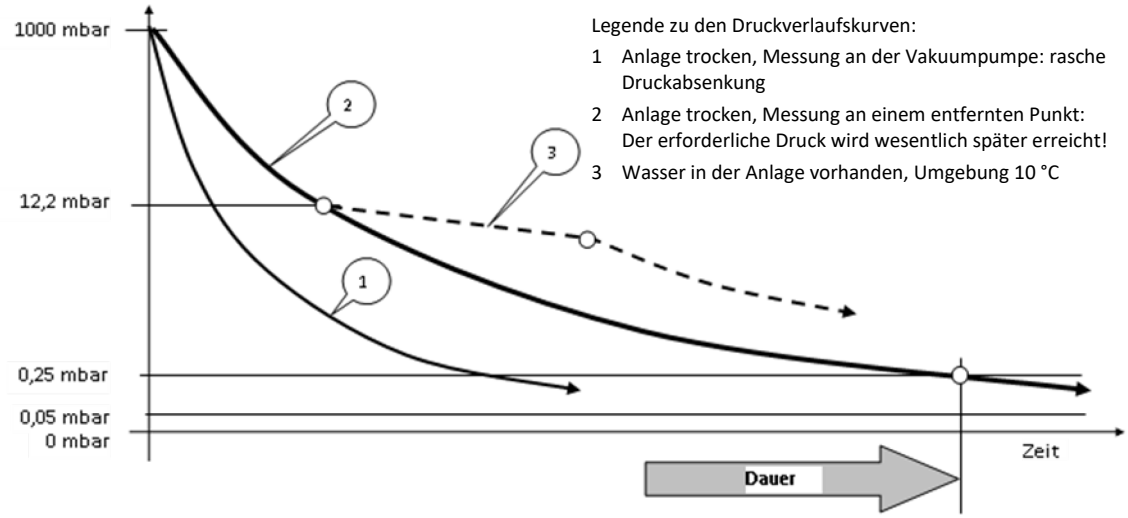


Abb. 9.12

Wenn also bei ca. 10 °C Wasser aus dem Kreislauf entfernt werden soll, muss zuerst ein Druck von 12,2 mbar erreicht werden. Dann muss das Wasser Wärme aufnehmen können, um damit zu verdampfen. Erst danach kann der Wasserdampf abgesaugt werden.

Mit dem Verdampfen des Wassers wird dieses gleichzeitig abgekühlt, womit sich wieder ein tieferer Druck einstellen wird.

Erst wenn das Wasser vollständig verdampft ist, wird eine raschere Druckabsenkung am Vakuummeter sichtbar.

Zwischenspülen / Vakuum brechen
Mit Stickstoff wird das Vakuum 1 bis 3 Mal bis zum relativen Druck von 0 bar egalisiert. Der trockene Stickstoff bindet beim Einfüllen Feuchtigkeit, verhilft möglichen Wassertropfen durch Bewegung zu grösserer Oberfläche und unterstützt eine raschere Trocknung des Systems.

Diese Methode ist speziell im Neuanlagenbau und beim Vakuumieren bei tiefen Umgebungstemperaturen anzuwenden.

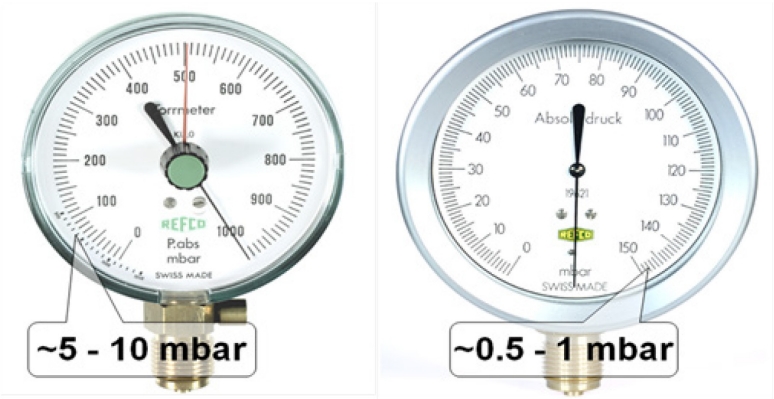
Vakuumieren nach Reparaturen
In Systemen, die bereits betrieben wurden, befindet sich überall im Kreislauf Kältemaschinenöl. Dieses enthält immer bedeutende Kältemittelanteile, welche beim Vakuumieren nur sehr langsam ausgetrieben werden. Das Erreichen des Endvakuums dauert darum wesentlich länger. Dies gilt insbesondere für Verdichter. **Nach Eingriffen im Kältekreislauf wird immer der Filtertrockner ersetzt! (Druckschalter, Druckaufnehmer oder Messstutzen sind per Definition nicht im Kältekreislauf)**

9.8 Druckmessgeräte

Das erreichte Endvakuum in einem Kältekreislauf wird durch die Druckmessung überprüft. Die angestrebten Endwerte verlangen nach präzisen Messgeräten.

Etliche Messgeräte auf dem Markt taugen nicht zu viel mehr als anzuzeigen, dass die Vakuumpumpe einen Unterdruck erzeugt. Verdichterhersteller verlangen einen Endwert von 0,25 mbar bei neuen und sauberen Systemen. Dieser Wert ist nicht immer einfach zu erreichen und noch schwieriger durch Messgeräte zu erfassen.

Mechanische Rohrfeder und Kapselfeder Manometer



Druckanzeige: absoluter Druck
Ablesegenauigkeit: entsprechend dem Skalenendwert

Abb. 9.13: Quelle REFCO

Digitale Vakuum-Messgeräte



Prinzip:	Thermistor
Druckanzeige:	absoluter Druck
Messbereich:	18‘000 bis 0 Mikron
Genauigkeit:	± 10 % bei 0 – 100 Mikrons
	± 6 % bei 101 – 750 Mikrons

Abb. 9.14: Quelle Refco



Abb. 4.20: Quelle Testo

Prinzip:	Pirani-Sensor
Druckanzeige:	absoluter Druck
Messbereich:	20‘000 bis 0 Mikron / 26,5 – 0 mbar
Genauigkeit:	± 10 % + 10 % der Anzeige



Abb. 9.15: Quelle Leybold

Prinzip:	piezoresistiv und Pirani-Sonde
Druckanzeige:	absoluter Druck
Messbereich:	Atmosphärendruck bis 0,0005 mbar (= 0,4 Mikron)
Genauigkeit:	± 0,4 % vom Anzeigewert (bei 1200 – 10 mbar) ± 10 % vom Anzeigewert (bei 10 – 0,001 mbar)

9.9 Kältemittel einfüllen oder nachfüllen

Das Einfüllen von Kältemittel geschieht immer durch die Ausnützung der Druckdifferenz zwischen Kältemittelflasche und Druck im Kältesystem.

Unmittelbar nach dem Vakuumieren ist das Einfüllen auf HD-Seite möglich. So kann flüssiges Kältemittel in den Verflüssiger eingefüllt werden. Dieses strömt durch das Expansionsventil und führt zu einem Druckanstieg auf der ND-Seite. Das Kältemittel gelangt so in verdampfter Form zum Verdichteransaug.

Der Druck in der Kältemittelflasche sinkt durch die eigene Abkühlung während dem Einfüllen ab. Gleichzeitig steigt der Druck im stehenden Kältesystem rasch an. Daraus entsteht ein Druckausgleich, welcher kein weiteres Kältemittel mehr strömen lässt.

Anschliessend muss der Flaschendruck erhöht und/oder der Systemdruck abgesenkt werden. Das Erwärmen von Kältemittelflaschen darf nie mit offenen Flammen geschehen!

Durch die Inbetriebsetzung des Kreislaufs sinkt der Niederdruck üblicherweise unter den Flaschendruck ab. So ist das Nachfüllen möglich.

Hinweise

- **Achtung: Vakuum sorgfältig mit gasförmigem Kältemittel brechen.** Flüssiges Kältemittel würde bei ca. -90 °C sieden, was Spannungsschäden verursachen könnte.
- **Verdichter dürfen nie unter Vakuum laufen:** Lichtbogengefahr, ungenügende Kühlung!
- **Vorsicht bei bereits mit Wasser gefüllten Komponenten:** Die Temperatur darf nie unter 0 °C sinken!
- **Vorsicht beim saugseitigen Füllen:** Ein zu hoher Saugdruck (Flaschendruck) kann den Verdichter überlasten.
- **Füllmengen mit Waage kontrollieren und festhalten (Inbetriebsetzungsprotokoll)**
- Im Kältemittelzylinder muss immer ein Überdruck belassen werden.

Achtung:
Zeotrope Kältemittel wie z.B. R407C, R452B, R449A und R410A müssen immer im flüssigen Zustand aus der Flasche entnommen werden!

Nur so kann gewährleistet werden, dass die Mischungs-Komponenten im Original-Mischungsverhältnis bleiben.

Kältemittelzylinder sind in verschiedenen Ausführungen im Umlauf:

Ventil für gasseitige Entnahme

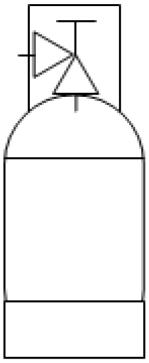


Abb. 9.16

Flasche auf den Kopf gestellt zur flüssigen Entnahme

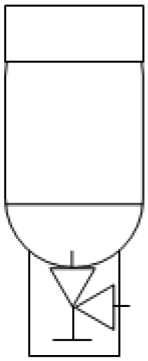


Abb. 9.17

Flasche mit Tauchrohr

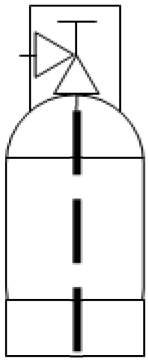


Abb. 9.18

Flasche mit RCL-Ventil Gas + Flüssig

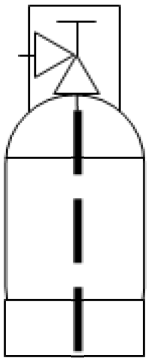


Abb. 9.19

Einfüllmethoden (Gewerbe)

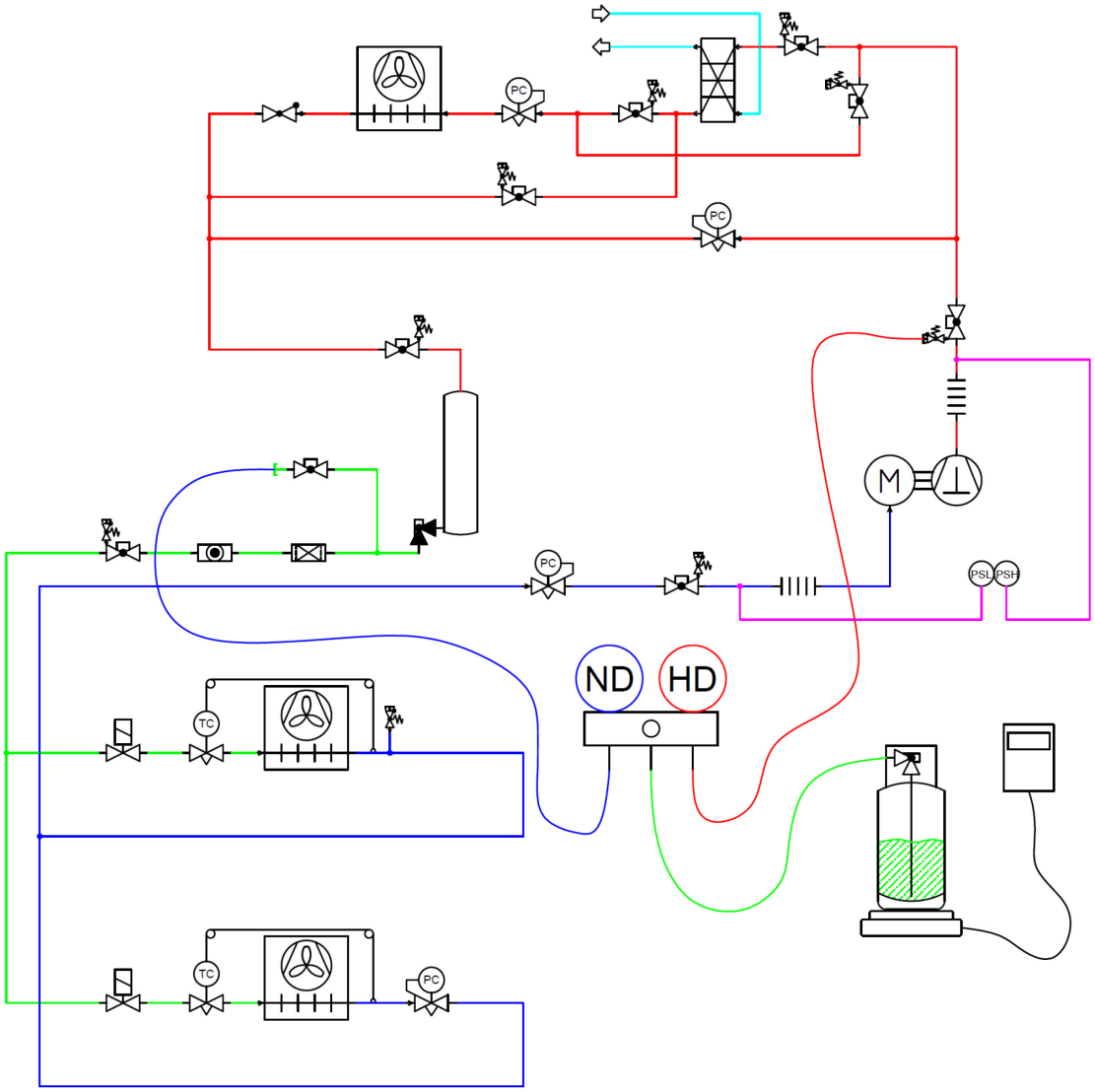


Abb. 9.20

1. **Standardmethode mit Einfüllventil nach dem Sammler:**
   (nicht möglich bei Systemen ohne Sammler bzw. ohne Absperrventil am Sammleraustritt)
   - Vakuum vorsichtig brechen (es könnte zuviel Kältemittel einströmen).
   - Sammlerausgangsventil schliessen.
   - Verdichter einschalten.
   - Mit dem Sammlerausgangsventil kann die notwendige Druckdifferenz erzeugt werden.
   - Vorsichtig und phasenweise füllen, bis die Füllmenge nach Herstellerangabe erreicht ist.
   - Die Befüllung findet immer unter Kontrolle einer Füllwaage statt.
   - Kältemittel kann flüssig eingefüllt werden.

Einfüllmethoden (Gewerbe)

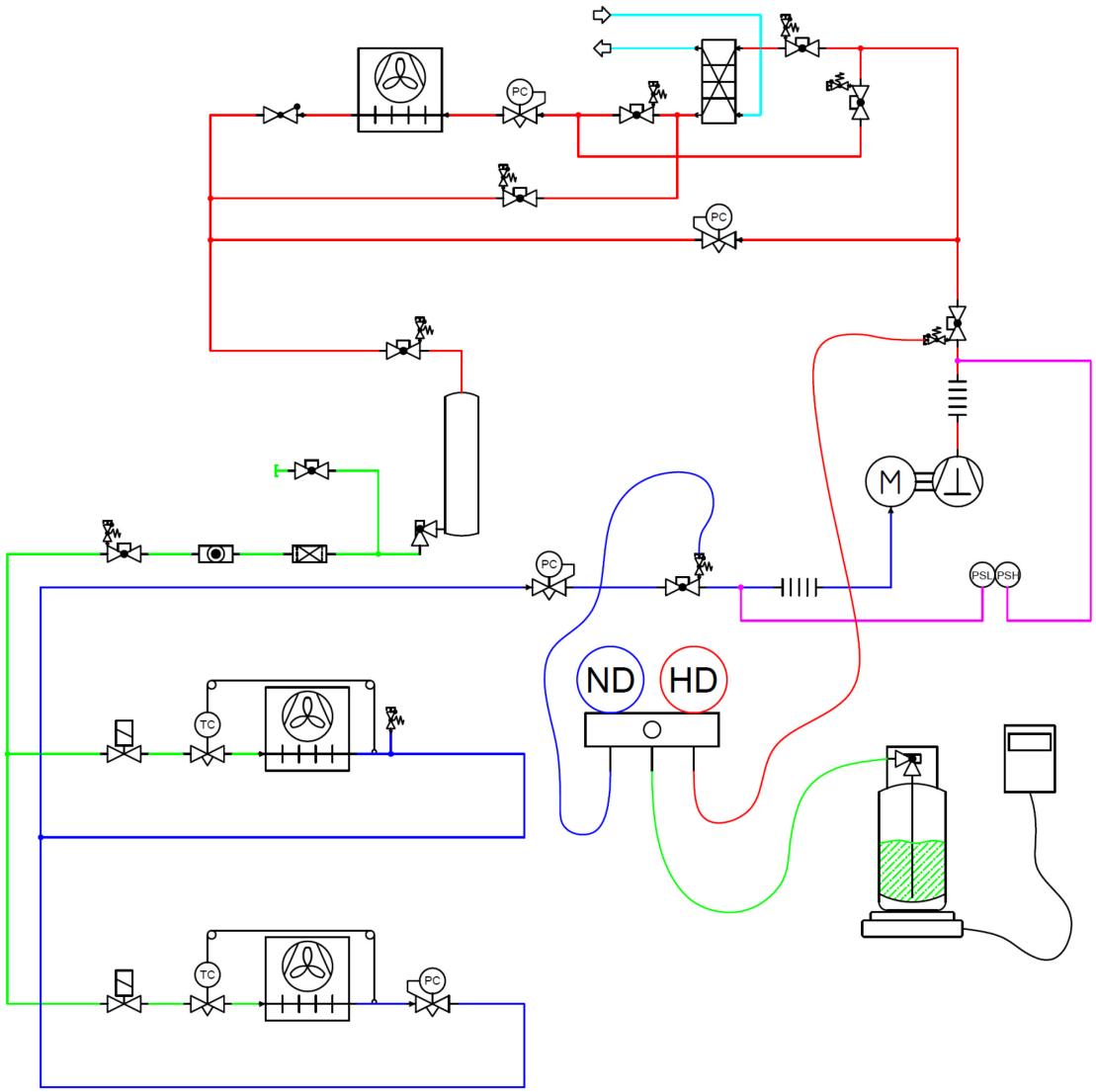


Abb. 9.21

2. Saugseitig nachfüllen:

- Nur für kleine Mengen geeignet.
- Verdichter sind für das Ansaugen von gasförmigem Kältemittel gebaut.
- Die Befüllung findet immer unter Kontrolle einer Füllwaage statt.
- Kältemittel sollte gasförmig eingefüllt werden.
  (Achtung: 400er [R449A, R410A, etc.] Reihe nur flüssig einfüllen.)

Einfüllmethoden (Wärmepumpe)

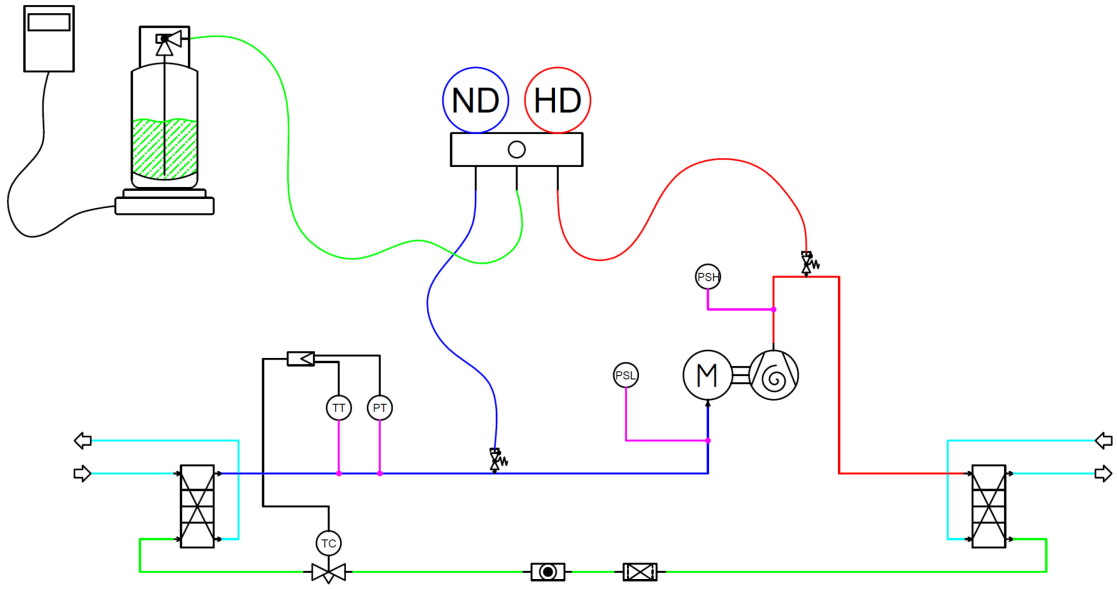


Abb. 9.22

Wichtig: Die Zirkulationspumpe beim Wärmebezug sowie bei der Wärmeabgabe müssen vor der Befüllung eingeschalten werden **(Frostgefahr!!!)**

1. **Standardmethode saugseitig nachfüllen:**
   - Nur für kleine Mengen geeignet.
   - Verdichter sind für das Ansaugen von gasförmigem Kältemittel gebaut.
   - Die Befüllung findet immer unter Kontrolle einer Füllwaage statt.
   - Kältemittel sollte gasförmig eingefüllt werden.
     (Achtung: 400er [R407C, R410A, etc.] Reihe <u>nur</u> flüssig einfüllen.)

Einfüllmethoden (Split-Klima)

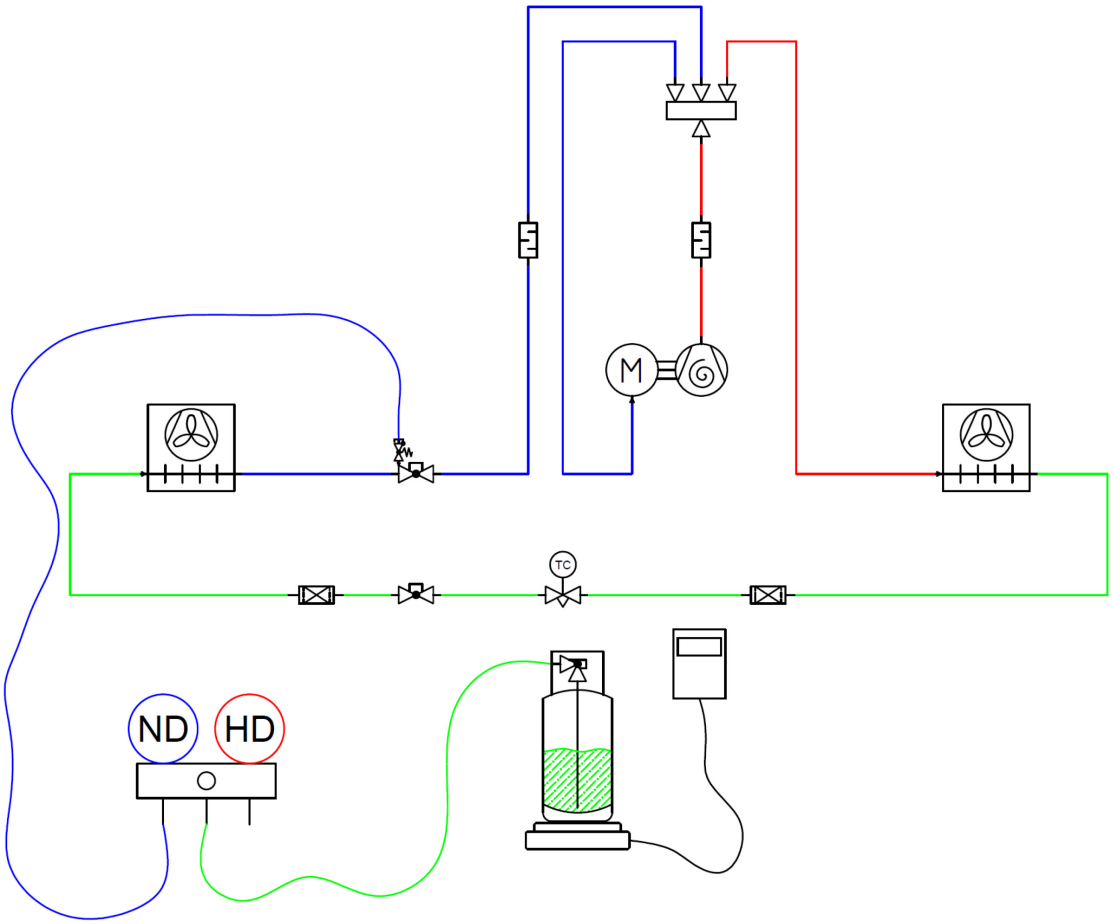


Abb. 9.23

Wichtig: Split Klimaanlagen sind meistens werkseitig befüllt und müssen nur in Abhängigkeit der verbauten Rohrleitungslängen mit Kältemittel nachgefüllt werden.

1. **Standardmethode saugseitig nachfüllen (Split-Klima):**
   - Nur für kleine Mengen geeignet.
   - Verdichter sind für das Ansaugen von gasförmigem Kältemittel gebaut.
   - Die Befüllung findet immer unter Kontrolle einer Füllwaage statt.
   - Kältemittel sollte gasförmig eingefüllt werden.
     (Achtung: 400er [R407C, R410A, etc.] Reihe nur flüssig einfüllen.)

9.10 Dichtigkeitskontrolle

Die absolute Dichtigkeit gibt es leider nicht. Aber die sorgfältige Arbeitsweise hilft beim Erzielen hoher Dichtigkeit!

Die Nachweisempfindlichkeit der Messmethode ist entscheidend bei der Kontrolle der Dichtheit. Im Folgenden ist die Nachweisempfindlichkeit der verschiedenen Methoden aufgeführt. Sie wird als nachweisbare Leckrate in Gramm Kältemittelverlust pro Jahr angegeben, bezogen auf das Kältemittel R134a.

Ohne Kältemittel im System

- Druckstandprobe mit Stickstoffüberdruck 15 bar (Praxiswert)
  und Beobachtung der Druckabsenkung am Manometer
  ACHTUNG: Max. Betriebsdruck beachten!

Nachweisbare Leckrate	250'000 g/a

  Diese Methode alleine ist nicht brauchbar!

- Stickstoffüberdruck 15 bar (Praxiswert) und Seifenspray
  Achtung: Max. Betriebsdruck beachten!

Nachweisbare Leckrate	250 g/a

- Formiergasüberdruck 10 bar (Praxiswert) und Leckdetektor
  Achtung: Max. Betriebsdruck beachten!

Nachweisbare Leckrate	0,2 bis 20 g/a

Mit Kältemittel im System

- Seifenspray

Nachweisbare Leckrate	250 g/a

- Leckdetektor

Nachweisbare Leckrate	0,2 bis 20 g/a

  Es stehen heute Geräte mit geringer Querempfindlichkeit zur Verfügung.

- **Fluoreszierender Prüfstoff** im Kältemittelöl und absuchen mit Ultraviolett-Lampe

Nachweisbare Leckrate	ca. 2 g/a

  Nur für beobachtbare Bereiche geeignet.
  Verdichterhersteller lehnen Garantie ab.

9.11 Dichtigkeitskontrolle gemäss Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)

Für stationäre Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittelinhalt gilt eine Meldepflicht an das BAFU.

1. Meldepflicht bei Inbetriebnahme und Ausserbetriebsetzung.
2. Bewilligungspflicht für neue stationäre Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittelfüllung.
3. Wartungsheft für Geräte und Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittelfüllung.
4. **Regelmässige Dichtigkeitskontrolle für Geräte und Anlagen mit in der Luft stabilen Kältemitteln, deren Füllmenge mehr als 3 kg oder 5 Tonnen CO_2-Äquivalent entspricht.**

   Bsp.: Anlagenfüllmenge 5 kg R134a (GWP 1‘430) = 7‘150 CO_2-Äquivalent
5. Nach Inbetriebnahme muss die Dichtigkeit eines Geräts oder einer Anlage nach jedem Eingriff in den Kältekreislauf und bei jeder Wartung geprüft werden.
6. Die Behebung von festgestellten Undichtigkeiten ist obligatorisch!

Dichtigkeitskontrolle Intervall (nach ChemRRV)

	Am Standort zusammengebaute Anlagen	**Werksfertige Kompaktanlagen und -geräte**
1. Kontrolle nach der Inbetriebnahme	2 Jahre	6 Jahre
2. Kontrolle nach der Inbetriebnahme	1 Jahr nach der Erstkontrolle	4 Jahre nach der Erstkontrolle
Weitere Kontrollen	jährlich	alle 2 Jahre

9.12 Elektronische Lecksuchgeräte

Zur einfachen und schnellen Dichtigkeitskontrolle von Anlagen und Systemen sind elektronische Lecksuchgeräte gut geeignet.

Lecksuchgerät mit Infrarotsensor

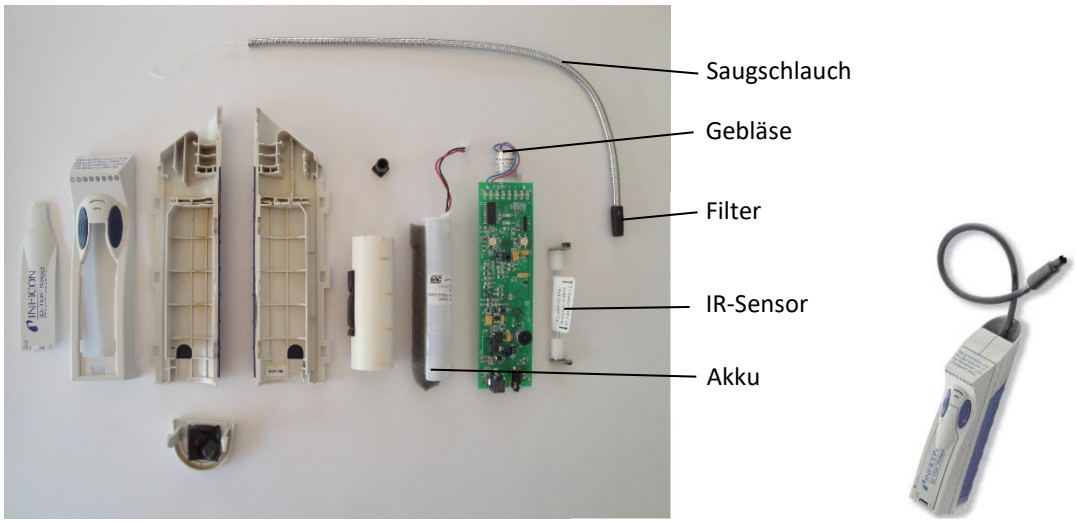
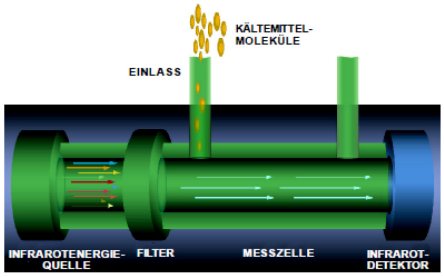
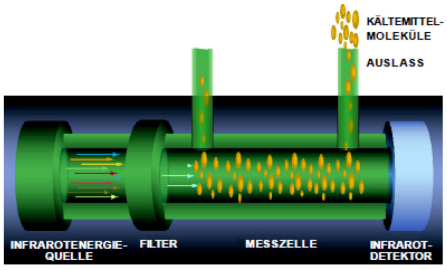


Abb. 9.24



Die gefilterte Infrarotenergie geht die Messzelle hindurch und trifft auf den Infrarotdetektor auf. D-TEK Select ist zum Erkennen eines jeden Kältemittels bereit.

Abb. 9.25



Gefilterte Infrarotenergie wird von dem in der Messzelle vorhandenen Kältemittel absorbiert, worauf der D-TEK Select ein Alarmsignal ausgibt.

Abb. 9.26

Lecksuchgeräte mit beheizter Diode oder beheizter Pentode

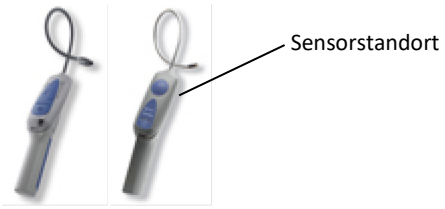


Abb. 9.27

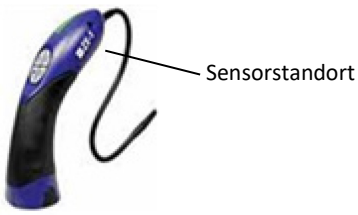


Abb. 9.28

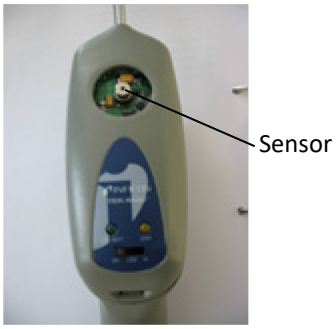


Abb. 9.29

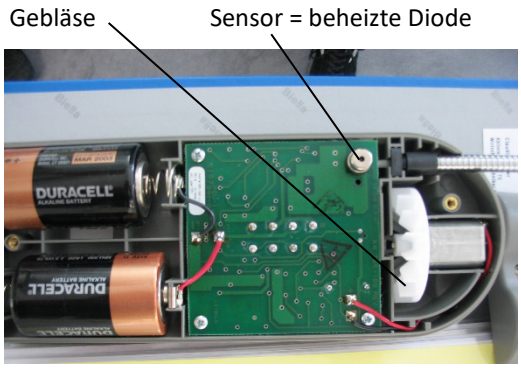


Abb. 9.30

Anwendungshinweise:

- Mindest-Sensorsensibilität 3 g/Jahr.
- Nicht alle Geräte sind für den Einsatz von A2 und A2L Kältemittel geeignet.
- Das Gerät sollte an einer nicht mit Kältemittel kontaminierten Örtlichkeit eingeschaltet und justiert werden.
- Vor dem Absuchen muss das Gerät auf korrekte Funktion hin überprüft werden (Prüfleck).
- Während dem Absuchen soll der Ansaug des Lecksuchgeräts mit ca. **2,5 bis 5 cm/s** entlang den möglichen Undichtheiten vorwärts bewegt werden.
- Die Messspitze soll ca. 5 mm von einem vermuteten Leck entfernt sein.
- Durch die automatische Justierung des Geräts kann bei einer Leckmeldung das Signal abfallen und schwächer werden → nicht zu lange am Leck verbleiben.
- Sensoren altern! Gute Geräte melden den Sensorfehler. Allerdings sind auch Geräte erhältlich, welche keine Reaktion auslösen! Die Lebensdauer des Sensors ist Herstellerabhängig.