2 Lernfeld 12: Auswählen und Montieren von Verdichtern

Technologie

1. Welche Aufgabe hat der Verdichter innerhalb des Kältemittelkreislaufs?
2. Warum muss das Kältemittel vor dem Verflüssigen verdichtet werden?
3. Bei Kältemittelverdichtern unterscheidet man nach der Bauart grundsätzlich Strömungs- und Verdrängungsverdichter.
   a) Wie wird bei diesen Maschinen jeweils die Druckerhöhung erzielt?
   b) Geben Sie für beide Bauarten je ein Beispiel an.
4. Tragen Sie folgende Verdichtertypen bzw. Oberbegriffe in die Übersicht (Abb. 2.1) ein: Sonstige Verdichter, Spiralverdichter, Strahlverdichter, Schraubenverdichter, Hubkolbenverdichter, Turboverdichter, Rotations(kolben)verdichter.

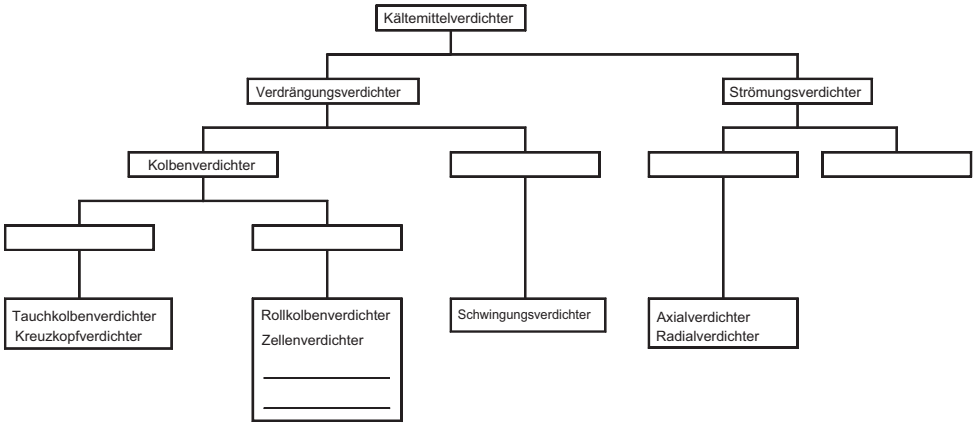

Abb. 2.1

5. Ordnen Sie die Bauarten Hubkolben-, Turbo- und Schraubenverdichter nach Leistungsbereichen (ungefähre Angabe des erreichbaren Hubvolumenstroms in m^3/h).
6. Nach dem Arbeitsprinzip werden bei Hubkolbenverdichtern Gleichstrom- und Wechselstromverdichter unterschieden.
   a) Wie unterscheiden sich diese beiden Prinzipien? Fertigen Sie eine Skizze an.
   b) Welche Vor- und Nachteile sind mit ihnen verbunden?
7. Abbildung 2.2 zeigt den prinzipiellen Verlauf des Drucks im Zylinder eines Hubkolbenverdichters während einer Kurbelwellenumdrehung (p,V-Diagramm):
   a) Benennen Sie die einzelnen Abschnitte, und geben Sie jeweils die Stellung von Saug- und Druckventil an.

b) Wie ist das Volumen zwischen O. T. und U. T. zu bezeichnen? Was bedeuten diese Abkürzungen?

c) Wie ist der Raum zwischen O. T. und der Ventilplatte zu bezeichnen?

d) Geben Sie an, wo der Verflüssigungsdruck p_c und der Verdampfungsdruck p_0 im Diagramm anzutreffen sind. Was bedeuten die kleinen Bögen im Diagramm bei den Punkten 4 und 2?

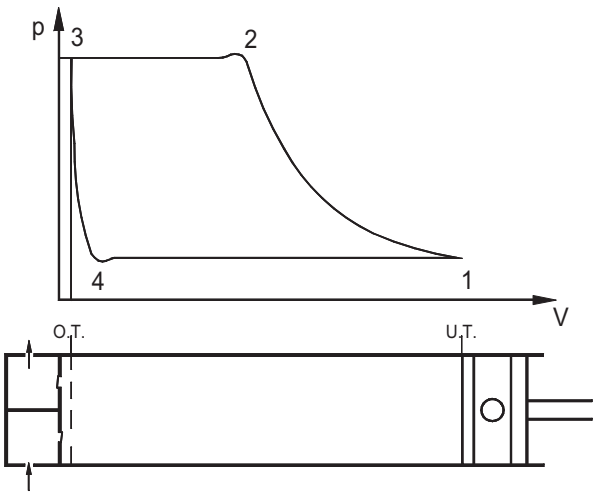

Abb. 2.2

8. Wodurch werden die Ventile eines Verdichters gesteuert?
9. Abbildung 2.3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Druckventils in Lamellenform.
   a) Benennen Sie die einzelnen Positionen.
   b) Wodurch wird die Lamelle befedert?
   c) Welche Funktion hat Position 2?
10. Geben Sie mindestens drei Anzeichen für schadhafte Ventile an.
11. Was versteht man unter dem *Druckverhältnis*? Wie verändert es sich bei sinkender Verdampfungstemperatur?

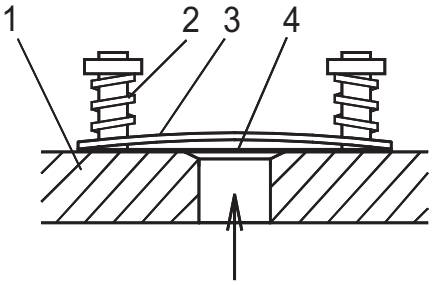

Abb. 2.3 Lamellenventil – prinzipieller Aufbau

12. Was versteht man unter *Rückexpansion*? Wie wird sie vom Druckverhältnis beeinflusst? Welche negativen Folgen gehen von ihr aus?
13. Was versteht man unter dem relativen *schädlichen Raum* σ („Sigma“, nach DIN: schädliches Volumen, bezogen auf Hubvolumen)? Welchen Einfluss hat diese Größe auf die Rückexpansion?
14. Kleine und mittlere Hubkolbenverdichter haben meistens Lamellenventile, größere meistens konzentrische Ringplattenventile. Wie groß ist jeweils ungefähr der relative schädliche Raum σ für diese Ventilbauformen (%)? Wie ist der Unterschied zu erklären?
15. Was versteht man unter dem *geometrischen Hubvolumenstrom* $\dot{V}_g$? Wie wird er berechnet? In welchen Einheiten wird er üblicherweise angegeben?
16. Geben Sie mindestens drei Gründe dafür an, dass der *tatsächliche Hubvolumenstrom* $\dot{V}_{V1}$ kleiner ist als der geometrische $\dot{V}_g$.
17. Wie ist der *Liefergrad* λ („Lambda“) definiert? Wovon ist er abhängig, wie kann man λ bestimmen?

18. Wie beeinflussen das Druckverhältnis, der relative schädliche Raum σ und die Zylindergröße den Liefergrad λ?
19. Wie beeinflussen schadhafte Ventile den Liefergrad λ eines Verdichters?
20. Was versteht man bei einem Hubkolbenverdichter unter *Ölwurf*? Wie groß ist er, bezogen auf den Kältemittelmassenstrom?
21. Was versteht man unter einer *Druckumlaufschmierung*? Beschreiben Sie den Kreislauf des Öls in einem Verdichter mit Druckumlaufschmierung.
22. Kleinere Verdichter haben auch eine *Schleuderschmierung*. Was ist darunter zu verstehen?
23. Was versteht man unter einer *Zentrifugalschmierung*? Wo wird sie angewendet?
24. Welche Aufgabe hat eine *Ölheizung* (Kurbelgehäuseheizung)? Wann ist sie in Betrieb?
25. Welche Aufgabe hat ein *Öldruckdifferenz-Begrenzer* (Öldruck-Sicherheitsschalter)? Wie wird er angeschlossen?
26. Öldruckdifferenz-Begrenzer sind mit einer Zeitverzögerung ausgestattet. Welcher Zweck wird damit verfolgt?
27. Öldruckdifferenz-Begrenzer können nur von Hand wieder eingeschaltet werden. Warum ist das sinnvoll?
28. Warum kann ein Ausfall der Ölheizung ein Abschalten des Verdichters im Anfahrvorgang durch den *Öldruckdifferenz-Pressostaten* zur Folge haben?
29. Geben Sie weitere mögliche Ursachen für ein Auslösen des Öldruckdifferenz-Pressostaten an.
30. Welcher Druck herrscht im Kurbelgehäuse eines Hubkolbenverdichters, solange er in Betrieb ist?
31. Warum ist der Anschluss eines Verdichters für die Druckleitung durchweg kleiner im Durchmesser als der für die Saugleitung?
32. Verdichter werden nach drei Bauformen unterschieden. Wie heißen diese Bauformen? Wodurch sind sie gekennzeichnet?
33. Welche Vor-/Nachteile haben offene Verdichter?
34. Welche Vor-/Nachteile haben halbhermetische Verdichter?
35. Welche Vor-/Nachteile haben hermetische Verdichter?
36. Warum sind normale hermetische Verdichter nicht für Ammoniak geeignet?
37. Erklären Sie das Prinzip des *Trennhaubenverdichters*. Welche Vorteile bietet diese Bauform?
38. Ein Verdichter ist *sauggasgekühlt*. Was bedeutet das? Folgen?
39. Was versteht man bei Verdichtern unter einer *Zusatzkühlung*? Wie kann sie erfolgen? Nennen Sie ein Anwendungsbeispiel.
40. Bei welcher Verdichter-Bauform ist eine *Gleitringdichtung* erforderlich, welche Aufgabe hat sie?
41. Warum müssen Gleitringdichtungen ständig geölt werden und stets eine geringe Ölleckage aufweisen?
42. Was ist bei der Montage von Gleitringdichtungen zu beachten?

43. Nennen Sie typische Ausfallursachen für Gleitringdichtungen.
44. Wie groß ist ein *Schraubenverdichter* relativ zu einem Hubkolbenverdichter gleicher Leistung?
45. Welche weiteren Vorteile hat ein Schraubenverdichter gegenüber einem Hubkolbenverdichter?
46. Warum wird bei einem Schraubenverdichter Öl in das Rotorgehäuse eingespritzt?
47. Wovon ist das „eingebaute" Druckverhältnis eines Schraubenverdichters abhängig? Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für den Einsatzbereich von Schraubenverdichtern?
48. Warum hat ein Schraubenverdichter (bei gleichem Druckverhältnis) einen besseren Liefergrad als ein Hubkolbenverdichter?
49. Vergleichen Sie Spiralverdichter (Scroll) und Hubkolbenverdichter.
50. Erklären Sie das Funktionsprinzip des Spiralverdichters.
51. Abbildung 2.4 zeigt das Funktionsprinzip des *Rollkolbenverdichters*.
    a) Benennen Sie die einzelnen Positionen.
    b) Erklären Sie das Funktionsprinzip.
    c) Welche Vorteile bietet dieses Prinzip?
    d) Nennen Sie ein Einsatzgebiet für Rollkolbenverdichter.
52. Abbildung 2.5 zeigt das Funktionsprinzip des *Umlauf-* oder *Zellenverdichters*.
    a) Benennen Sie die einzelnen Positionen.
    b) Erklären Sie das Funktionsprinzip.
    c) Welche Vorteile bietet dieses Prinzip?
    d) Nennen Sie ein Einsatzgebiet für Zellenverdichter.
53. Abbildung 2.6 zeigt einen offenen Verdichter, der von einem Elektromotor angetrieben wird. Der Antrieb erfolgt über starre Kupplung oder Keilriemen. Der Elektromotor nimmt aus dem Netz die Klemmenleistung P_{Kl} auf. Der Verdichter nimmt mit dem Sauggas die Kälteleistung $\dot{Q}_0$ auf und gibt über die Druckleitung die Verflüssigungsleistung $\dot{Q}_c$ ab, die sich in erster Näherung aus der Kälteleistung $\dot{Q}_0$ und der indizierten Verdichtungsleistung $P_i = \frac{P_{is}}{\eta_i} = \frac{\dot{m}_R \cdot (h_2 - h_1)}{\eta_i}$ zusammensetzt.

    Erläutern Sie, an welchen Stellen des Energieflusses vom Netz bis zum Kältemittel Verluste auftreten bzw.

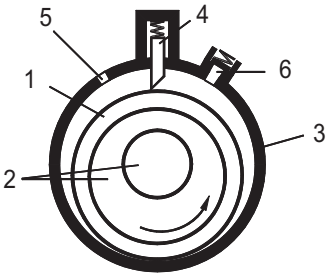

Abb. 2.4 Rollkolbenverdichter (Prinzip)

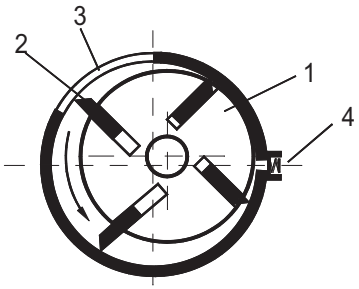

Abb. 2.5 Umlauf- oder Zellenverdichter (Prinzip)

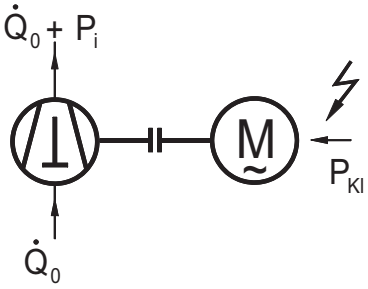

Abb. 2.6 Energiefluss beim offenen Verdichter

2.1 Lösungen zu: Auswählen und Montieren von Verdichtern

Technologie

1. Der Verdichter hat die Aufgabe, die Druckdifferenz zwischen Verdampfungsdruck p_0 und Verflüssigungsdruck p_c aufrechtzuerhalten (also den Kältemitteldampf aus dem Verdampfer abzusaugen und zum Verflüssiger zu schieben) sowie die Strömungswiderstände des Rohrleitungssystems der Kälteanlage zu überwinden.
2. Das Kältemittel soll die im Verdampfer aufgenommene Wärme beim Verflüssigen an die Umgebung (Luft oder Wasser) abgeben. Dazu muss der Verflüssigungsdruck p_c so hoch sein, dass die Verflüssigungstemperatur t_c oberhalb der Umgebungstemperatur liegt.

   (Prinzipiell könnte man das gerade bei p_0/t_0 verdampfte Kältemittel auch bei gleichem Druck verflüssigen. Man bräuchte nur ein Kühlmittel, dessen Temperatur unterhalb der Verdampfungstemperatur t_0 liegt. Wenn man das hätte, bräuchte man allerdings keine Kälteanlage, um die Kühlraumtemperatur t_{KR} aufrechtzuerhalten.)
3. a) Bei Strömungsverdichtern wird zunächst die Geschwindigkeit des Kältemitteldampfs erhöht, diese (kinetische) Energie anschließend in Druck umgewandelt. Bei Verdrängungsverdichtern wird der Kältemitteldampf in einen geschlossenen Arbeitsraum gebracht. Dort wird der Druck durch Verkleinerung des Volumens erhöht.

   b) Strömungsverdichter: z. B. Turboverdichter; Verdrängungsverdichter: z. B. Hubkolbenverdichter
4. S. Abb. 2.10

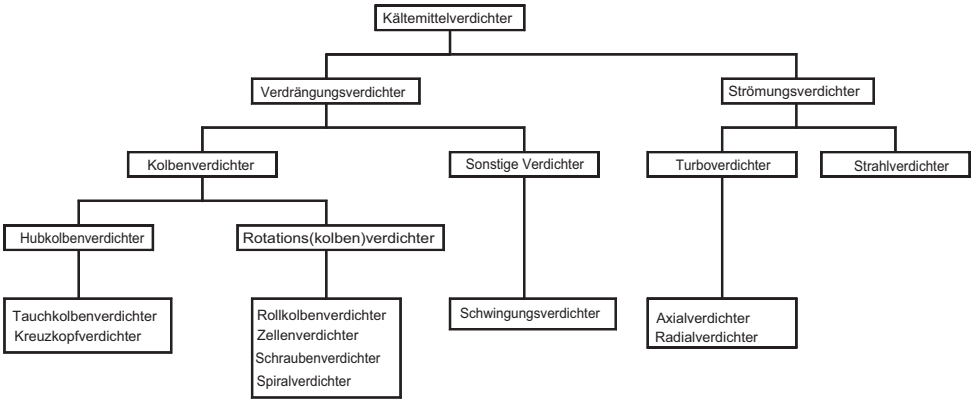

Abb. 2.10

5. **Tab. 2.3**

Bauart	Hubvolumenstrom in m^3/h ca.
Hubkolbenverdichter	bis 1500
Schraubenverdichter	50 bis 10000
Turboverdichter	500 bis über 10000

6. a) Beim Gleichstromverdichter (s. Abb. 2.11) strömt das Sauggas bei der Abwärtsbewegung des Kolbens aus dem Kurbelgehäuse durch das Saugventil im Kolbenboden in den Zylinderraum. Der Ausschub erfolgt über das Druckventil in der Ventilplatte, sodass das Gas im Zylinder seine Strömungsrichtung nicht ändert (Gleichstrom). Der Wechselstromverdichter (s. Abb. 2.12) hat Saug- und Druckventil gemeinsam in einer Ventilplatte, sodass eine Umkehr der Strömungsrichtung erfolgt.

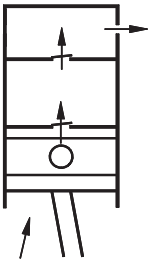

Abb. 2.11 Gleichstromprinzip

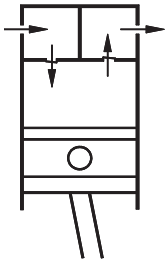

Abb. 2.12 Wechselstromprinzip

b) Gleichstromverdichter sind die ältere Bauart, haben einen höheren Liefergrad, aber auch einen höheren Ölwurf. Wegen der hohen Massenkräfte (schwerer Kolben mit Saugventil) sind sie in der Drehzahl bis auf ca. 600 min^{-1} begrenzt (außerdem noch keine Leichtmetallkolben). Wechselstromverdichter erreichen Drehzahlen bis zu 2900 min^{-1} (am 60-Hz-Netz bis 3500 min^{-1}), wodurch kompaktere Verdichter möglich werden. Die Ventile auf der gemeinsamen Ventilplatte sind im Reparaturfall leichter auszutauschen.

7. a) S. Abb. 2.13 und Tab. 2.4

b) Das Volumen zwischen **O. T.** (**o**berer **T**otpunkt) und **U. T.** (**u**nterer **T**otpunkt) ist das *Hubvolumen* des Kolbens.

c) Der Raum zwischen O. T. und Ventilplatte wird als *schädliches Volumen* V_S bezeichnet. Hier verbleibt verdichtetes Kältemittel, das nicht ausgeschoben wird.

d) Die obere Waagerechte (Ausschub) liegt in erster Näherung in Höhe des Verflüssigungsdrucks p_c, die untere beim Verdampfungsdruck p_0. Bei 2 muss das Druckventil durch Überschreiten des Verflüssi-

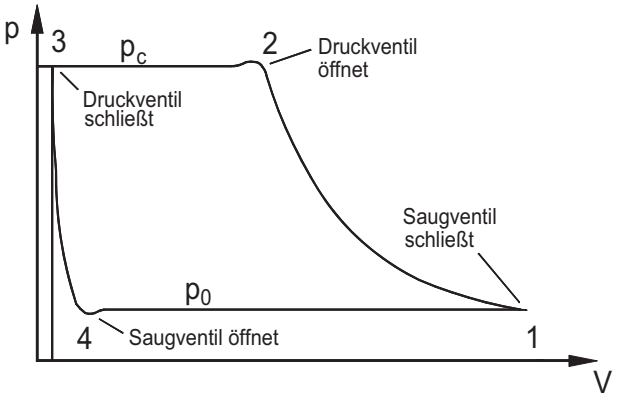

Abb. 2.13

Tab. 2.4

		Saugventil	Druckventil
1 – 2	Verdichten	zu	zu
2 – 3	Ausschub	zu	auf
3 – 4	Rückexpansion	zu	zu
4 – 1	Ansaugen	auf	zu

11 Kältesteuerung 12

Die Projekte in diesem Kapitel decken folgende Lernfelder ab:

Lernfeld 3: Untersuchen und Prüfen der Funktion von elektrischen Anlagenteilen in Kälte- und Klimaanlagen

Lernfeld 9: Herstellen und Prüfen von elektromechanischen und elektronischen Steuerungen

Lernfeld 13: Auswählen und Anschließen von elektrischen Betriebsmitteln an das Dreiphasenwechselstromnetz

Lernfeld 14: Installieren, Einstellen und Prüfen von elektronischen Steuerungen und Regelungen

11.1 Leistungsregelung mittels Frequenzumrichter

Aus den hier dargestellten Technischen Mitteilungen und Informationen soll in einem Kältelabor zu Testzwecken eine Kältesteuerung entworfen werden, die die folgenden Komponenten enthält:

- Drehzahlgeregelter halbhermetischer Schraubenverdichter mit Teilwicklungsmotor
- Frequenzumformer zur Leistungsregelung (20 bis 87 Hz)
- Elektronischer Kühlstellenregler
- Elektronisches Expansionsventil

Auf die Darstellung des Verdampferlüfters und der elektrischen Abtauheizung im Lastkreis soll verzichtet werden. Im Steuerstromkreis sind die Schützspulen dieser Komponenten einzuzeichnen.

Technische Informationen zur Ansteuerung von Schraubenverdichtern s.
https://www.vde-verlag.de/buecher/download/495178.zip

Technologie

1. Ergänzen Sie die Legende des in Abbildung 11.1 dargestellten Stromlaufplans.

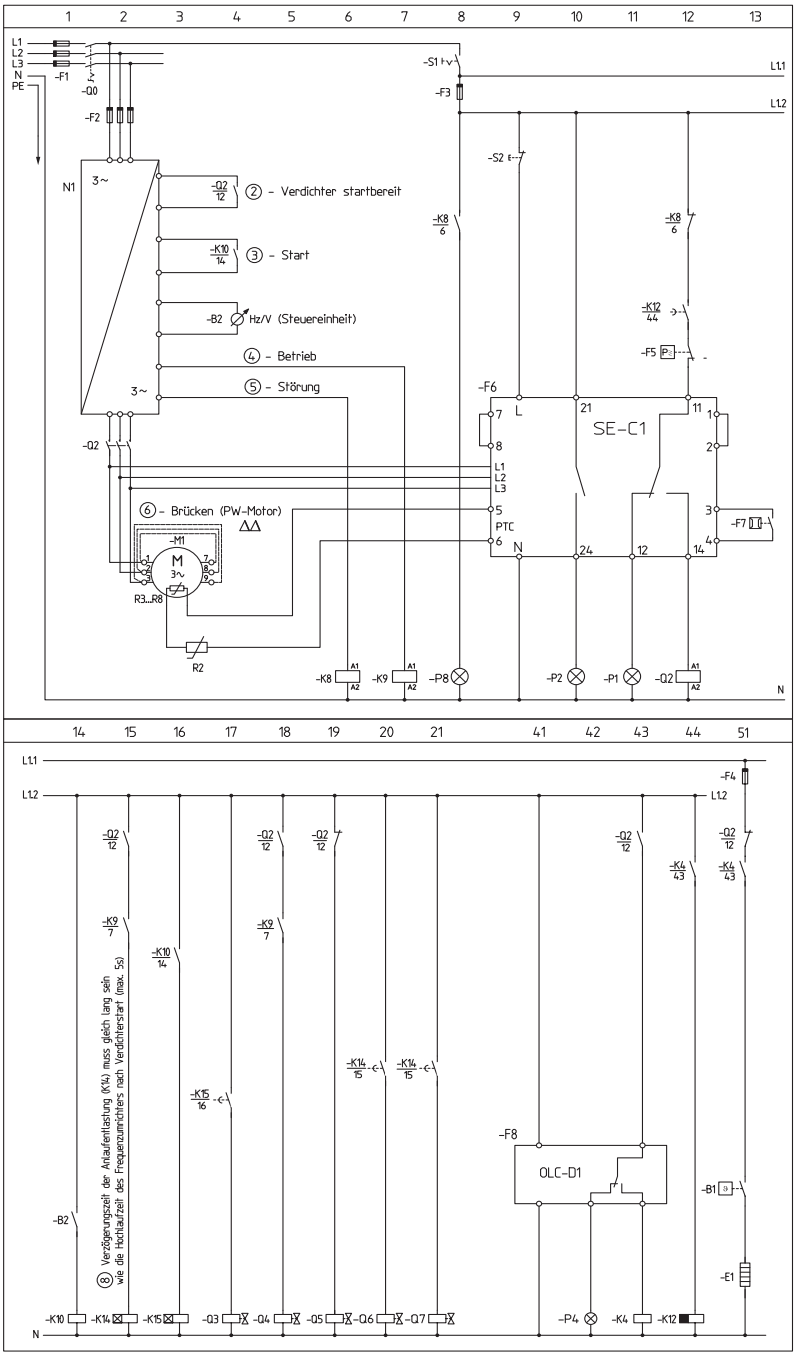

Abb. 11.1 Ansteuerung von halbhermetischen Schraubenverdichtern

Legende zu Abbildung 11.1:

B1	Ölthermostat	M1	
B2	Steuereinheit (FU)	N1	
E1	Ölheizung	P1	
F1		P2	Leuchte ‚Pausenzeit'
F2		P4	Leuchte ‚Ölniveau'
F3		P8	Leuchte ‚FU-Störung'
F4	Sicherung Ölheizung	Q0	
F5		Q2	
F6	Ölversorgungsüberwachung	Q3	MV ‚Öleinspritzung'
F7	Öldurchflusswächter	Q4	
F8	Ölniveauwächter	Q5	MV ‚Stillstands-Bypass
K4	Hilfsrelais Ölniveau	Q6	MV ‚LR 1'
K8		Q7	MV ‚LR 2'
K9		R2	'Druckgasüberhitzung'
K10	Hilfrel. Verdichter-Start	R3-8	
K12	Zeitrelais ‚Ölniveauwächter'	S1	
K14	Zeitrel. Anlaufentlastung (FU)	S2	Reset ‚Öl u. Motor'
K15	Zeitrel. Öleinspritzung		

2. Warum ist bei Schraubenverdichtern eine Bypass-Anlaufentlastung nicht zulässig?
3. Wozu dient der „Stillstands-Bypass" bei Schraubenverdichtern und an welcher Stelle wird er eingebaut?
4. Beschreiben Sie die Funktion des SE-C1 in dieser Steuerung.
5. Von welchen Größen wird die Drehzahl eines Asynchronmotors beeinflusst?

6. Welche Vorteile bietet ein modular aufgebautes System zur Kühlstellenregelung (Abb. 11.2)?

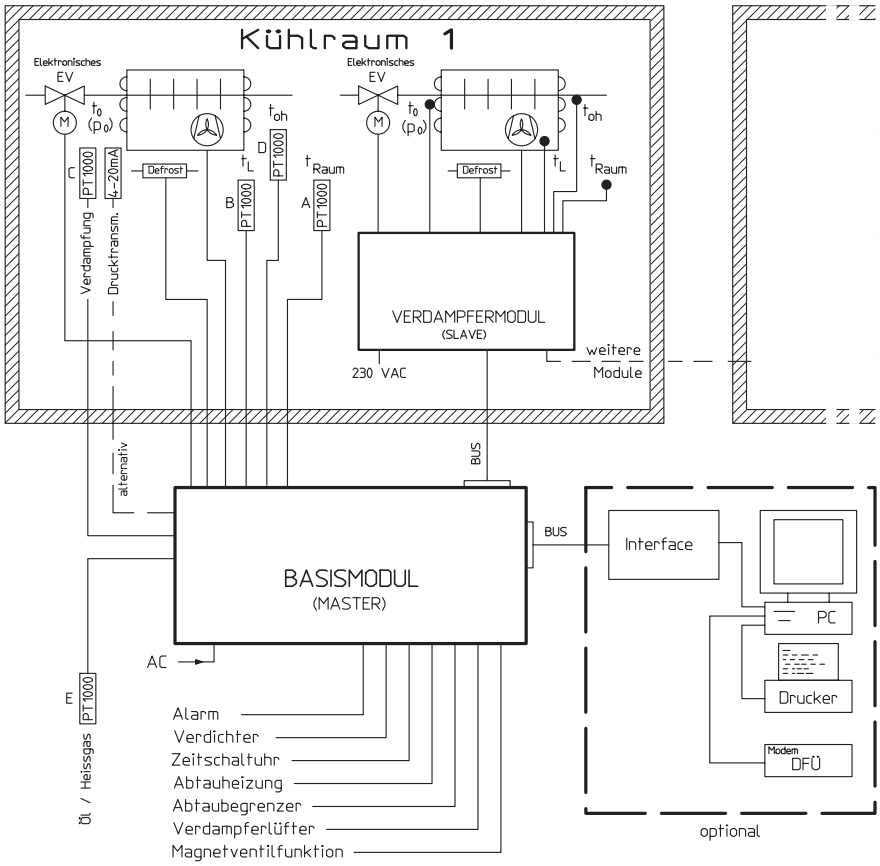

Abb. 11.2 Mikroprozessorgesteuerte Kühlstellenregelung mit elektronischem Expansionsventilsystem

7. Welche Funktionen bietet ein moderner Kühlstellenregler?
8. Welche Aufgabe haben die einzelnen Fühler - was verbirgt sich hinter der Bezeichnung „PT 1000“?
9. Wo sollten die in Abb. 11.2 dargestellten Fühler / Sensoren angebracht werden?
10. Was bedeuten Begriffe wie MC, CPU, E / A-Schaltungen und BUS-Leitungen?
11. Erklären Sie die prinzipielle Funktionsweise eines elektronischen Expansionsventils.
12. Nennen Sie Anwendungsmöglichkeiten von Frequenzumrichtern.
13. Welche Anforderungen werden an einen Frequenzumrichter gestellt?
14. Bei welchen Bauteilen der Kälteanlage ist bei Einsatz eines Frequenzumrichters Vorsicht geboten?
15. Obwohl das Drehfeld des Schraubenverdichters durch das Schutzgerät INT389R überwacht wird, empfiehlt der Hersteller einen Drehrichtungstest.

    Beschreiben Sie, wie bei einem Schraubenverdichter die vorgeschriebene Drehrichtung überprüft werden kann.

11.2 Lösungen zu: Leistungsregelung mittels Frequenzumrichter

Technologie

1. Legende zu Abbildung 11.1

B1	Ölthermostat	M1	**Verdichtermotor**
B2	Steuereinheit (FU)	N1	**Frequenzumformer**
E1	Ölheizung	P1	**Störungsleuchte**
F1	**Hauptsicherungen**	P2	Leuchte ‚Pausenzeit'
F2	**Verdichtersicherungen**	P4	Leuchte ‚Ölniveau'
F3	**Steuersicherung**	P8	Leuchte ‚FU-Störung'
F4	Sicherung Ölheizung	Q0	**Hauptschalter**
F5	Duo-Pressostat	Q2	**Verdichter-Schütz**
F6	Ölversorgungsüberwachung	Q3	MV ‚Öleinspritzung'
F7	Öldurchflusswächter	Q4	**MV Flüssigkeitsleitung**
F8	Ölniveauwächter	Q5	MV ‚Stillstands-Bypass
K4	Hilfsrelais Ölniveau	Q6	MV ‚LR 1'
K8	**Hilfsrelais FU-Störung**	Q7	MV ‚LR 2'
K9	**Hilfsrelais FU-Betrieb**	R2	Druckgasüberhitzung
K10	Hilfrel. Verdichter-Start	R3-8	**PTC-Fühler Motor**
K12	Zeitrelais ‚Ölniveauwächter'	S1	**Steuerschalter**
K14	Zeitrelais Anlaufentlastung (FU)	S2	Reset ‚Öl u. Motor'
K15	Zeitrelais Öleinspritzung		

2. Bei Schraubenverdichtern ist eine Bypass-Anlaufentlastung wegen der Gefahr von Lagerschäden nicht zulässig.
3. Ein „Stillstands-Bypass" soll während der Stillstandsperioden für Druckausgleich sorgen und eine Kältemittelkonzentration im Ölvorrat des Ölabscheiders verhindern.

   Zwischen Ölabscheider und Saugleitung wird ein el. Magnetventil eingebaut.
4. Das optionale Schutzgerät SE-C1 überwacht die Motor- und Druckgastemperatur sowie Drehrichtung und Phasenausfall. Darüber hinaus überwacht es noch Phasensymmetrie, Schalthäufigkeit und Ölversorgung. Dieses Schutzgerät verriegelt sofort, wenn die maximal zulässigen Temperaturen überschritten werden. Nach Abkühlung muss es manuell entriegelt werden.

   Zudem überwacht es den PTC-Messkreis auf Kurzschluss und Leiter- bzw. Fühlerbruch. Bei Kurzschluss oder Spannungsunterbrechung verriegelt es sofort.

   Dieses Schutzgerät wird insbesondere zur Überwachung von Verdichtern im Frequenzumrichter-Betrieb eingesetzt.

Schaltungstechnik und Funktionsanalyse

1.

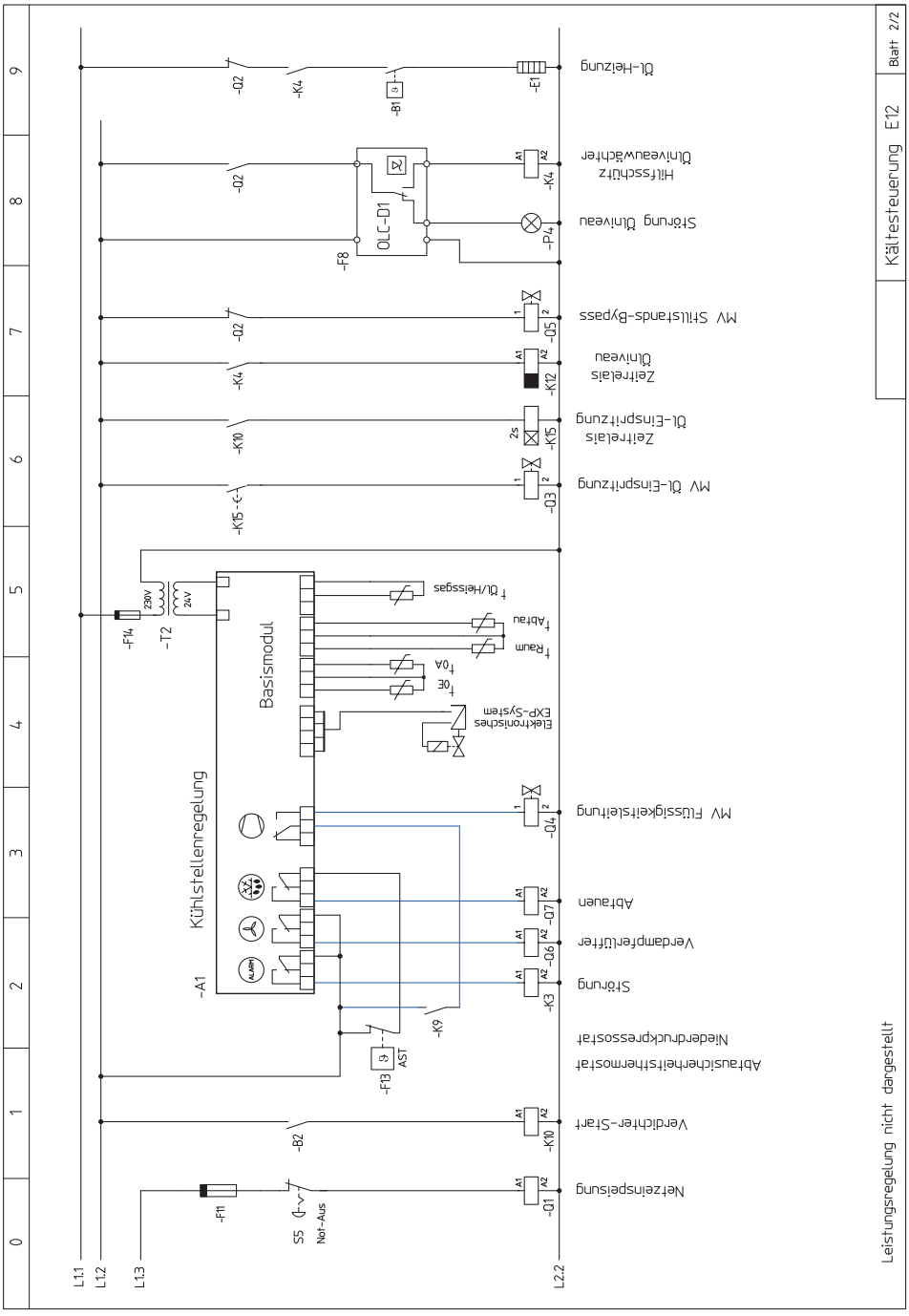

Abb. 11.9 Stromlaufplan der Steuerung