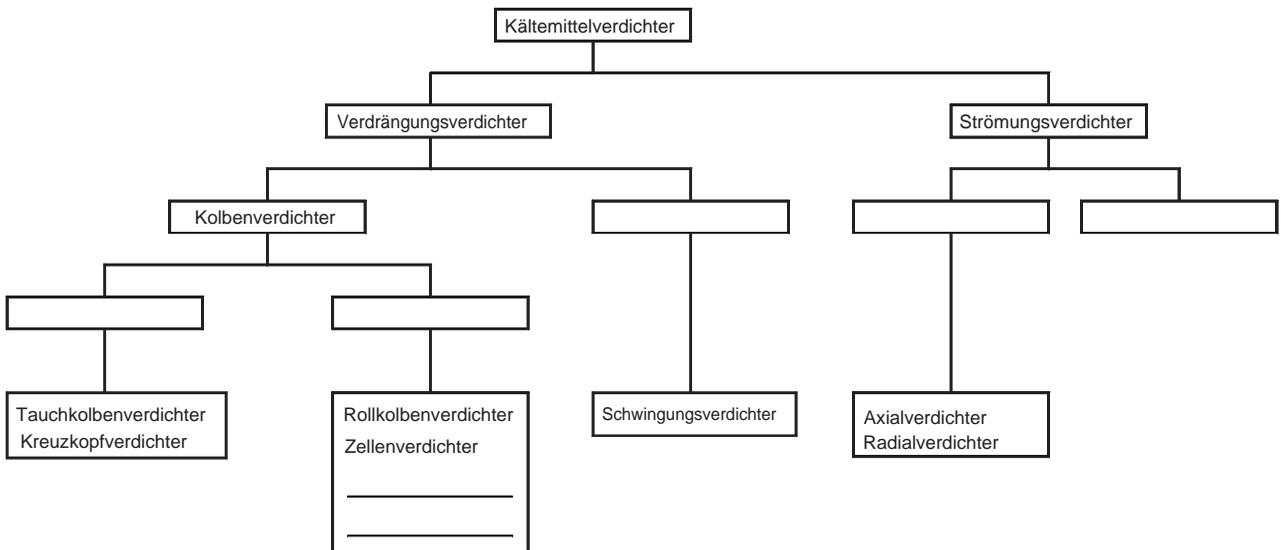


# Lernfeld 12: Auswählen und Montieren von Verdichtern

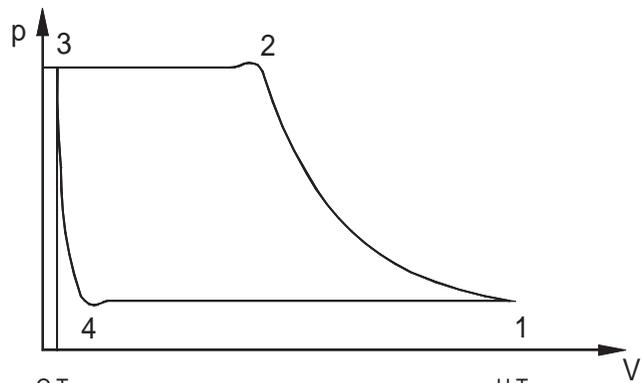
## 1. Technologie

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

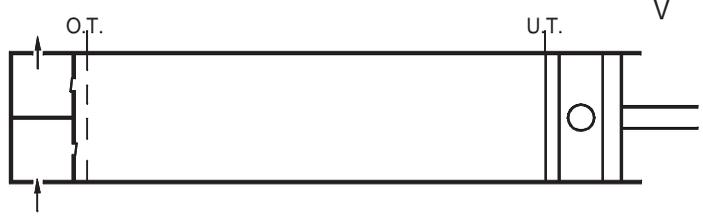


- Ordnen Sie die Bauarten Hubkolben-, Turbo- und Schraubenverdichter nach Leistungsbereichen (ungefähre Angabe des erreichbaren Hubvolumenstroms in  $\text{m}^3/\text{h}$ ).

- Nach dem Arbeitsprinzip werden bei Hubkolbenverdichtern Gleichstrom- und Wechselstromverdichter unterschieden.
  - Wie unterscheiden sich diese beiden Prinzipien? (Skizze)
  - Welche Vor- und Nachteile sind mit ihnen verbunden?



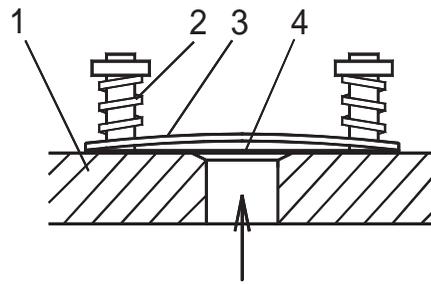
- Die Abbildung zeigt den prinzipiellen Verlauf des Drucks im Zylinder eines Hubkolbenverdichters während einer Kurbelwellenumdrehung (p, V-Diagramm):



- Benennen Sie die einzelnen Abschnitte, und geben Sie jeweils die Stellung von Saug- und Druckventil an.
  - Wie ist das Volumen zwischen O.T. und U.T. zu bezeichnen? Was bedeuten diese Abkürzungen?
  - Wie ist der Raum zwischen O.T. und der Ventilplatte zu bezeichnen?
  - 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?
- Wodurch werden die Ventile eines Verdichters gesteuert?

9. Die Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Druckventils in Lamellenform.

- Benennen Sie die einzelnen Positionen.
- Wodurch wird die Lamelle befedert?
- Welche Funktion hat Position 2?



Lamellenventil - prinzipieller Aufbau

10. Geben sie mindestens drei Anzeichen für schadhafte Ventile an.

11. Was versteht man unter dem **Druckverhältnis**? Wie verändert es sich bei sinkender Verdampfungstemperatur?

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**  $\sigma$  („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  $\sigma$  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**  $\lambda$  („Lambda“) definiert? Wovon ist er abhängig, wie kann man  $\lambda$  bestimmen?

18. Wie beeinflussen das Druckverhältnis, der relative schädliche Raum  $\sigma$  und die Zylindergröße den Liefergrad  $\lambda$ ?

19. Wie beeinflussen schadhafte Ventile den Liefergrad  $\lambda$  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?

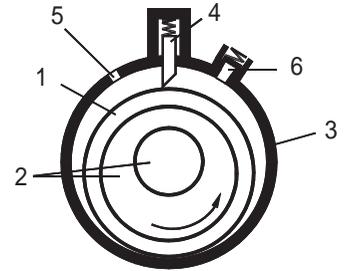
36. Warum sind normale hermetische Verdichter nicht für Ammoniak geeignet?

37. Erklären Sie das Prinzip des **Trennhubenverdichters**. Welche Vorteile bietet diese Bauform?

38. Ein Verdichter ist **sauggasgekühlt**. Was bedeutet das? Folgen?

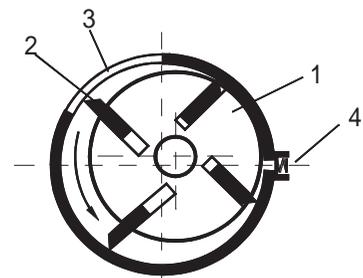
## Lernfeld 12 Verdichter

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?



Rollkolbenverdichter (Prinzip)

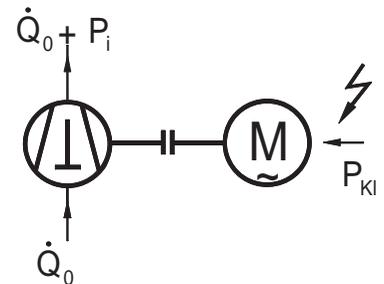
47. Wovon ist das "eingebaute" Druckverhältnis eines Schraubenverdichters abhängig? Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für den Einsatzbereich von Schraubenverdichtern?
48. Warum hat ein Schraubenverdichter (bei gleichem Druckverhältnis) einen besseren Liefergrad als ein Hubkolbenverdichter?
49. Vergleichen Sie **Spiralverdichter** (Scroll) und Hubkolbenverdichter.
50. Erklären Sie das Funktionsprinzip des Spiralverdichters.
51. Die Abbildung zeigt das Funktionsprinzip des **Rollkolbenverdichters**.



Umlauf- oder Zellenverdichter (Prinzip)

- 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. Die Abbildung 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.

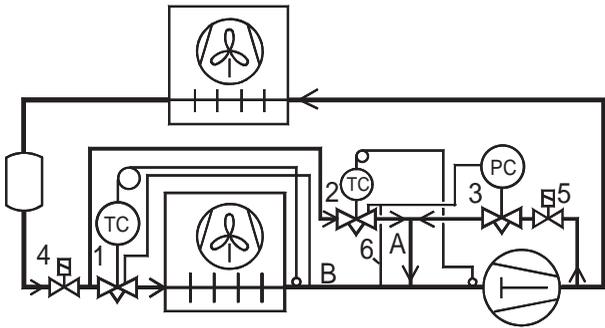
53. Die Abbildung zeigt einen offenen Verdichter, der von einem Elektromotor angetrieben wird. Der Antrieb erfolgt über starre Kupplung oder Keilriemen. Der Elektromotor nimmt aus dem Netz die Klemmenleistung  $P_{KI}$  auf. Der Verdichter nimmt mit dem Sauggas die Kälteleistung  $\dot{Q}_0$  auf und 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.



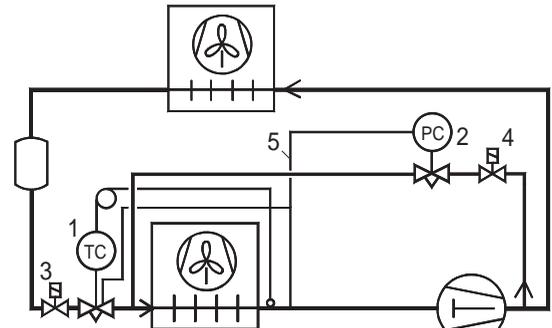
Energiefluss beim offenen Verdichter

- Erläutern Sie, an welchen Stellen des Energieflusses vom Netz bis zum Kältemittel Verluste auftreten bzw. auftreten können. Wie heißen die Wirkungsgrade, mit denen diese Verluste jeweils rechnerisch berücksichtigt werden?
54. Wie groß sind ungefähr die angegebenen Wirkungsgrade? Wovon ist ihre Größe abhängig?
55. Welches Formelzeichen hat die effektive Verdichterleistung? Wie wird sie aus der isentropen Verdichtungsleistung berechnet?
56. Nach welcher Gleichung wird die Klemmenleistung  $P_{KI}$  aus der isentropen Verdichtungsleistung  $P_{is}$  berechnet?
57. Nennen Sie mindestens fünf prinzipielle Möglichkeiten, Verdichterleistung zu regeln, und geben Sie an, ob stetige oder unstetige Regelung vorliegt.
58. Welche der in Aufgabe 57 genannten Regelungen ist energetisch besonders ungünstig (hohe Verlustleistung)?
59. Vergleichen Sie die Regelungen a - e aus Aufgabe 57 untereinander. (Kosten, Wirkungsgrad etc.)
60. Warum darf man die Verdichterdrehzahl zur Leistungsregulierung nicht beliebig absenken?

61. Nennen Sie eine bei großen Verdichtern häufig eingesetzte Methode, die Drehzahl des Antriebsmotors zu halbieren bzw. zu verdoppeln.
62. Welche Möglichkeiten gibt es, bei größeren Verdichtern Zylinderpaare abzuschalten?
63. Nennen Sie mindestens drei Möglichkeiten, Verdichterleistung durch Bypassen von Heißgas zu regeln.
64. Im Folgenden sind zwei Möglichkeiten der Heißgas-Bypass-Regelung dargestellt:

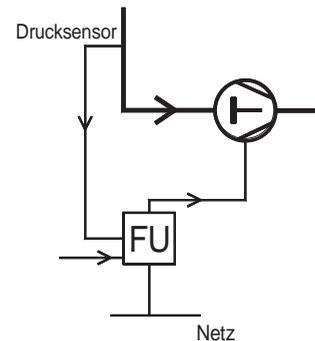


Heißgas-Bypass-Regelung - Variante A



Heißgas-Bypass-Regelung - Variante B

- a) Benennen Sie die beiden Varianten möglichst genau.
  - b) Welche Aufgabe haben die Regelungen? Wie funktionieren sie?
  - c) Benennen Sie jeweils die nummerierten Bauteile.
  - d) Wodurch werden die Heißgas-Bypass-Ventile jeweils gesteuert bzw. was regeln sie?
  - e) zu A: Wozu dient Pos.2? Was fließt in Leitung A bzw. B, wenn die Regelung arbeitet?
  - f) Welchen Vorteil hat B gegenüber A (Ölrückführung)?
  - g) Lassen sich die skizzierten Anlagen überhaupt absaugen?
  - h) zu A: Wie sollte die Leitungsführung beim Einmünden von Leitung A in Leitung B gestaltet sein? Begründen Sie.
65. Die Abbildung zeigt das Wirkprinzip eines Frequenzumrichters (FU), der einen Verdichter steuert.
- a) Wozu dient der FU?
  - b) Was ist hier Regelgröße? Wie arbeitet der FU? (Bei steigendem / fallendem ... macht er was?)
  - c) Zeichnen Sie die Buchstaben für Regelgröße, Stellgröße und Führungsgröße an die entsprechenden Wirklinien.
  - d) Bei FU-geregelten Anlagen kann es zu sogenannten Resonanzen kommen. Was versteht man darunter, was kann dagegen unternommen werden?



## 2. Technische Mathematik

1. Geometrischer Hubvolumenstrom  $\dot{V}_g$ : Berechnen Sie die in der Tabelle fehlenden Werte.

	d [mm]	$l_H$ [mm]	i [ 1 ]	n [1/min]	$\dot{V}_g$ [dm <sup>3</sup> /s]	$\dot{V}_g$ [m <sup>3</sup> /h]
a)	55	48	4	1450		
b)	61	46	6			60

2. Ein Hubkolbenverdichter hat 40 mm Bohrung bei 38 mm Hub. In seiner 8 mm starken Ventilplatte befinden sich 2 Saugventilschächte von 10 mm Durchmesser und 2 Druckventilschächte von 8 mm Durchmesser. Im O.T. hält der Kolben 0,1 mm vor der Ventilplatte. Berechnen Sie den relativen schädlichen Raum in Prozent.
3. Ein Hubkolbenverdichter hat einen geometrischen Hubvolumenstrom von  $\dot{V}_g = 77 \text{ m}^3/\text{h}$ . Welche Kälteleistung (kW) ergibt sich bei einem Liefergrad von  $\lambda = 0,8$  und einer volumetrischen Kälteleistung von  $q_{ov} = 2000 \text{ kJ/m}^3$ ?

## Lernfeld 12 Verdichter

4. Eine  $\text{NH}_3$ -Anlage (überflutete Verdampfung,  $t_0 = -10\text{ °C}$ ,  $t_c = 32\text{ °C}$ ,  $t_{cu} = 28\text{ °C}$ ), angetrieben von einem offenen Verdichter mit 12 Zylindern,  $d = 120\text{ mm}$ ,  $l_H = 90\text{ mm}$ ,  $n = 1450\text{ / min}$ , hat  $\dot{Q}_0 = 610\text{ kW}$  Kälteleistung.
- Welchen geometrischen Hubvolumenstrom hat der Verdichter ( $\text{m}^3/\text{s}$  und  $\text{m}^3/\text{h}$ )
  - Wie groß ist der spezifische Nutzkältegewinn  $q_{0e}$  in  $\text{kJ}/\text{kg}$ ?
  - Wie groß ist die volumetrische Kälteleistung ( $\text{kJ}/\text{m}^3$ ) bei 10 K Überhitzung bis zum Verdichtereingang?
  - Welche Kälteleistung ergäbe sich bei einem Liefergrad von 1?
  - Welchen Liefergrad hat der Verdichter?
5. In einem Verdampfer verdampfen  $0,05\text{ kg/s}$  R-134a bei  $t_0 = -20\text{ °C}$ ,  $t_c = 30\text{ °C}$  und einer Temperatur vor dem Regelventil von  $t_{cu} = 27\text{ °C}$  sowie  $\Delta t_{0h} = 10\text{ K}$  und  $t_1 = 0\text{ °C}$  ( $t_{v1}$  sei identisch mit  $t_1$ ).
- Tragen Sie den Kältemittelkreisprozess ins  $\lg p$ ,  $h$ -Diagramm ein, und stellen Sie alle geforderten Daten mit Einheiten in folgender Tabelle zusammen:

$h_1$		$x$		$q_{0g}$	
$h_{1e}$		$v_1$		$w_{is}$	
$h_{3/4}$		$t_2$		$p_0$	
$h_2$		$q_{0e}$		$p_c$	

Berechnen Sie

- die effektive Verdampfungsleistung  $\dot{Q}_{0e}$  einschließlich 10 K Überhitzung (Endpunkt der Nutzwärmeaufnahme, Punkt 1e)
  - den tatsächlichen Volumenstrom am Verdichtereingang  $\dot{V}_{v1}$  in  $\text{m}^3/\text{s}$  und  $\text{m}^3/\text{h}$
  - die volumetrische Kälteleistung  $q_{0v}$  in  $\text{kJ}/\text{m}^3$  (bezogen auf die eff. spezif. Nutzwärmeaufnahme  $q_{0e}$ )
  - den geometrischen Hubvolumenstrom  $\dot{V}_g$  in  $\text{m}^3/\text{h}$ , wenn der Liefergrad mit 0,74 ermittelt wurde
  - die isentrope Verdichterleistung  $P_{is}$
  - die erforderliche Antriebsleistung an der Welle  $P_e$  bei  $\eta_i = 0,8$  und  $\eta_m = 0,85$
  - die Klemmenleistung  $P_{kl}$  bei  $\eta_{\ddot{u}} = 1$  und  $\eta_{el} = 0,85$
  - den tatsächlich am Verflüssiger abzuführenden Wärmestrom (Summe aus  $\dot{Q}_{0g}$  und  $P_i$ )
  - die isentrope Kältezahl  $\varepsilon_{kis}$  (bezogen auf  $q_{0e}$ )
  - den COP, also die effektive Kältezahl  $\varepsilon_{ke}$  (bezogen auf  $P_{kl}$ )
  - die Kältezahl nach Carnot  $\varepsilon_{kc}$
6. Einem Kühlraum fließt ein Wärmestrom von 10 kW zu. Berechnen Sie für eine Kälteanlage gemäß Aufgabe 5
- den erforderlichen Kältemittelmassenstrom in  $\text{kg/s}$
  - den erforderlichen geometrischen Hubvolumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$ , wenn der Liefergrad mit  $\lambda = 0,74$  angenommen wird.
7. Gegeben ist ein 4-Zyl.-Verdichter mit 60 mm Bohrung und 40 mm Hub, der mit einer Drehzahl von 1450 / min. arbeitet. Er hat mit R-134a laut Katalog bei  $t_0 = -20\text{ °C}$  und  $t_c = 40\text{ °C}$  eine Verdichterkälteleistung von 7,62 kW.
- Tragen Sie den entsprechenden Prozess (ohne Flüssigkeitsunterkühlung, 25 °C Sauggasttemperatur) ins  $\lg p$ ,  $h$ -Diagramm ein, ermitteln Sie die erforderlichen Werte und berechnen Sie
    - den geometrischen Hubvolumenstrom  $\dot{V}_g$
    - die spezif. Gesamtkälteleistung  $q_{0g} = h_1 - h_4$  (d. h. bis 25 °C Wärmeaufnahme)
    - die volumetrische Kälteleistung  $q_{0v} = q_{0g} / v_1$
    - die theoretische Gesamtkälteleistung  $\dot{Q}_{0gth}$  (setzen Sie  $\lambda = 1$ )
  - Welcher Liefergrad ergibt sich aus dem Vergleich zwischen tatsächlicher Kälteleistung (Katalogangabe) und der berechneten theoretischen ( $\dot{Q}_{0gth}$ )?