1 Lernfeld 11: Auswählen und Montieren von Wärmeaustauschern, Drosselorganen und Bauteilen

1.1 Drosselorgane und Flüssigkeitsverteiler

1.1.1 Drosselorgane

1. Nennen Sie die Bedeutung folgender Kurzbezeichnungen: p_0, t_0, t_{01}, t_{02}, t_{o2h}, t_{oh}, p_c, t_c, t_{ch}, t_{c1h} , t_{V1}, t_{V2}, t_2, t_{c2u}, t_{cu}, t_{E1}, t_{Eu}, t_{E2}, Δt_{oh}, Δt_{ch}, Δt_{cu}, Δt_{Eu}, Δt_{ohS}, $\Delta t_{ohÖ}$, Δt_{ohA}.
2. Welche Aufgabe hat das Drosselorgan innerhalb des Kältemittelkreislaufs?
3. Was verstehen Sie unter *Drosseldampf*?
4. Beim Drosselvorgang sinkt die Temperatur des Kältemittels, obwohl die spezif. Enthalpie konstant bleibt. Wie ist das zu erklären?
5. Im lg p,h-Diagramm in Abbildung 1.1 sind zwei Kältemittelkreisprozesse eingetragen. Werten Sie den Einfluss der deutlich veränderten Betriebskenngrößen auf den Betrag des Drosseldampfgehaltes x.
6. Welchen Einfluss hat eine verstärkte Drosselwirkung (z. B. Verkleinerung des Düsenringspaltes) auf die Höhe des Verdampfungsdruckes p_0, die Zusammensetzung des Nassdampfs am Ventilausgang und auf die Überhitzung Δt_{0h} am Verdampferausgang?
7. Abbildung 1.2 zeigt ein *Automatisches Expansionsventil* (AEV). Welche Betriebskenngröße wird durch ein AEV geregelt? Wie verhält es sich bei Betrieb (Anlage läuft), wie im Stillstand?
8. Beschreiben Sie die Reaktion eines Automatischen Expansionsventils (AEV) bei steigender Kühllast. Wie wirkt sich das auf die Verdampferbeaufschlagung aus? Wie werten Sie dieses Regelverhalten?
9. Mit welchem Schaltgerät darf eine Kälteanlage, deren Verdampfer mit AEV gespeist wird, nur gesteuert werden?
10. Abbildung 1.3 zeigt ein *Thermostatisches Expansionsventil* (TEV). Welche Be-

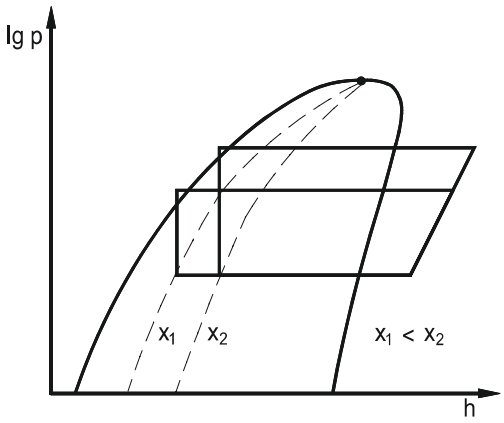

Abb. 1.1 Beeinflussung des Drosseldampfgehaltes x am Drosselorganaustritt

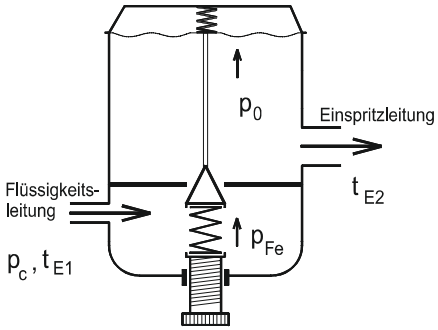

Abb. 1.2 Automatisches Expansionsventil (AEV)

triebskenngrößen sind beim TEV bei der Erklärung des Regelungsverhaltens im Betriebszustand und im Anlagenstillstand auszuwerten? Welche Einflussgrößen bewirken Schließen und welche bewirken Öffnen des Ventils?

11. Welche Aufgabe haben *statische Überhitzung* und *Öffnungsüberhitzung* beim TEV?
12. An einem Verdampfer messen Sie bei Volllast 7 K Überhitzung, bei Teillast 5 K. Die Werkseinstellung der statischen Überhitzung beträgt 4 K. Wie viel Prozent der Nennleistung werden bei Teillast genutzt?
13. Wie hoch stellt sich die Öffnungsüberhitzung ein?
14. Wann verfügt ein TEV über eine hohe Ansprechempfindlichkeit?
15. Warum ist die *Arbeitsüberhitzung* am Verdampferausgang zur Funktion des TEVs notwendig?

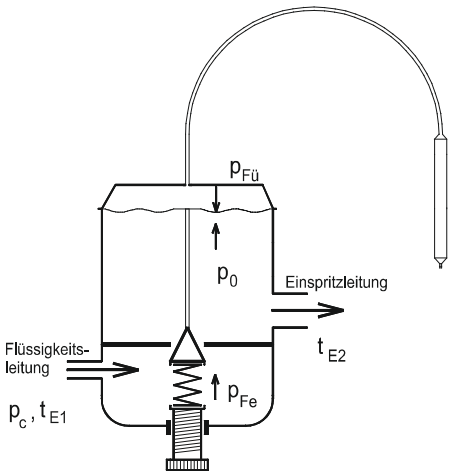

Abb. 1.3 Thermostatisches Expansionsventil (TEV)Abb

16. Zeichnen Sie ein TEV mit äußerem Druckausgleich und benennen Sie alle Drücke, Temperaturen, Dampfzustände, Anschlussleitungen und die regelungstechnische Zielstellung des Ventils.
17. Erklären Sie den wesentlichen Unterschied zwischen einem TEV mit innerem und einem TEV mit äußerem Druckausgleich.
18. Wie verändert sich die effektiv in Erscheinung tretende Werkseinstellung der statischen Überhitzung bei einem TEV mit innerem Druckausgleich, wenn der zu speisende Verdampfer einen großen Druckabfall hat?
19. Unter welcher Voraussetzung ist der Einsatz eines TEVs mit äußerem Druckausgleich angezeigt?
20. Begründen Sie, ob durch Verstellung eines TEVs eine bestimmte Verdampfungstemperatur eingestellt werden kann.
21. Bestimmen Sie anhand des in Abbildung 1.4 dargestellten Temperaturverlaufs eines Verdampfers den Druckabfall des Verdampfers in K, die Verdampfungstemperatur am Verdampferende t_{02} und die Überhitzungstemperatur am Fühler des TEVs t_{02h}. Begründen Sie, ob ein TEV mit innerem oder äußerem Druckausgleich

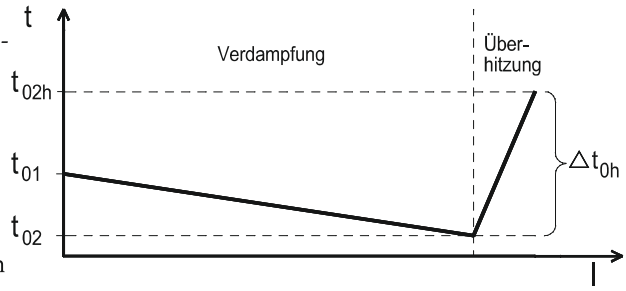

Abb. 1.4 Temperaturverlauf im Verdampfer mit 0,248 bar Druckabfall

verwendet wurde. Weitere Angaben: Kältemittel R-134a; t_{01} = -7 °C; p_{01} = 2,256 bar; Δp_{Vda} = 0,248 bar;
(–10 °C ⊞ 2,008 bar); Δt_{0hA} = 7 K, (hohe Kühllast).

22. Welcher Verdampfungstemperatur-Wert bildet den Ausgangspunkt für die Berechnung der Arbeitsüberhitzung am Verdampferausgang?

    a) t_{E2} b) t_{01} c) t_{02}

23. Nennen Sie die Formel, nach der Sie die *Arbeitsüberhitzung* Δt_{0hA} am Verdampferausgang messtechnisch bestimmen. Mit welchem Messgerät und an welchem Messort bestimmen Sie die dafür notwendigen Ausgangsinformationen?

24. Welchen Überhitzungswert misst der Kälteanlagenbauer in der beruflichen Praxis und welcher Überhitzungswert wird in den Katalogblättern der Regelventilhersteller angegeben?

25. Bearbeiten Sie folgende Aufgaben zum dargestellten Regelkreis Drosselorgan-Verdampfer (Abb. 1.5):

    a) Ermitteln Sie das verwendete Kältemittel.

    b) Warum wurde ein TEV m. ä. D. verwendet?

    c) Welche Aufgabe hat die mittlere Trennwand im Ventil?

    d) Überprüfen Sie das an der Membran wirkende Kräftegleichgewicht.

    e) Welche Arbeitsüberhitzung hat sich eingestellt?

    f) Welchen Rückschluss ziehen Sie auf die Höhe der Kühllast, wenn die statische Überhitzung Δt_{0hS} auf 4 K eingestellt ist?

26. Skizzieren Sie die Kennlinie eines TEVs. Kennzeichnen Sie dabei Δt_{0hS}, $\Delta t_{0hÖ}$, Δt_{0hA}, Nennleistung und Leistungsreserve.

27. Erklären Sie die in Abbildung 1.6 dargestellten Einstellungen der statischen Überhitzung an einem TEV und deren Auswirkungen auf das Regelverhalten.

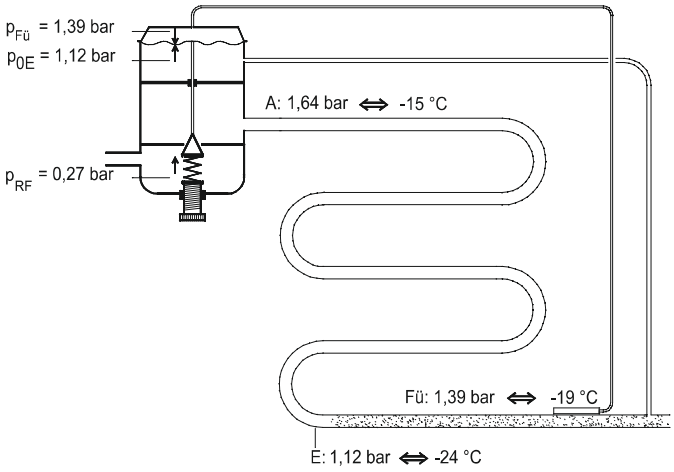

Abb. 1.5 TEV mit äußerem Druckausgleich an einem Verdampfer mit hohem Druckabfall

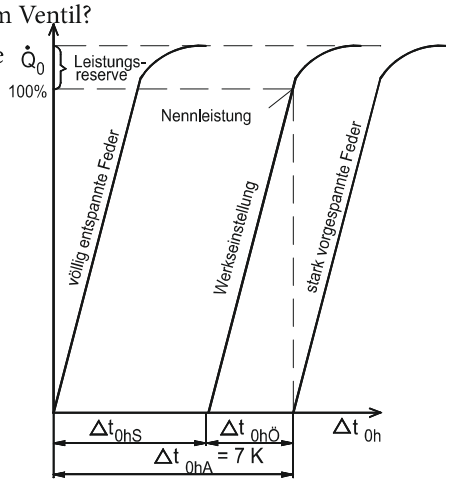

Abb. 1.6 Extreme Veränderung der Werkseinstellung der stat. Überhitzung

28. Begründen Sie das Verhalten eines TEVs bei fallender Kühllast. Wie verändern sich Verdampfungsdruck p_0, Arbeitsüberhitzung Δt_{0hA}, Öffnungsüberhitzung $\Delta t_{0hÖ}$ sowie die Ventilkälteleistung?
29. Begründen Sie die Reaktion eines TEVs bei steigender Kühllast und die sich bei fortbestehender hoher Kühllast einstellenden Werte der Arbeitsüberhitzung Δt_{0hA} und des Verdampfungsdruckes p_0.
30. Wie reagieren AEV und TEV nach dem Ausschalten des Verdichters durch einen Temperaturwächter?
31. Wie reagiert ein für R-134a vorgesehene TEV in einer R-404A-Anlage?
32. Nennen Sie Gesichtspunkte für die Fühlermontage bei Thermostatischen Expansionsventilen.
33. Erklären Sie die unter „Falsch“ vorhandenen Fehler 1 – 3 (Abb. 1.7 und 1.8).

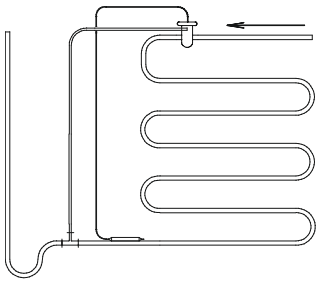

Abb. 1.7 Richtig

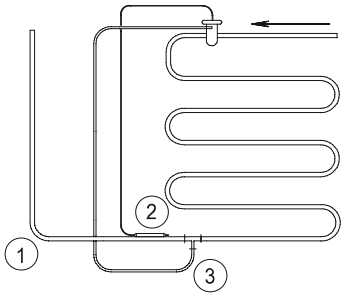

Abb. 1.8 Falsch

34. Welche drei Grundfüllungen in Fühlern Thermostatischer Expansionsventile sind Ihnen bekannt?
35. Warum muss bei einem TEV mit Gasfüllung der Fühler stets die kälteste Stelle des Thermosystems sein?
36. Warum sind TEV mit Adsorptionsfüllung gegenüber starker Unterkühlung des flüssigen Kältemittels unempfindlich?
37. Welche Wirkung zeigt ein thermostatisches System mit Gas-Ballast-Füllung ?
38. Warum reagieren Flüssigfüllungen träge?
39. Welchen Vorteil haben Kreuzfüllungen gegenüber Parallelfüllungen?
40. Was versteht man unter einem *MOP-Ventil*?
41. Welchem Zweck dient ein TEV mit MOP und wie hoch sollte der maximale Öffnungsdruck (MOP) festgelegt werden?
42. Werten Sie den Einfluss der Fühlertemperatur auf die Größe des Fühlerdrucks als Öffnungskraft beim TEV mit MOP.
43. Erläutern Sie die Besonderheiten im Betriebsverhalten eines TEV mit MOP beim Anfahren.
44. Welche Auswirkungen ergeben sich durch einen zu tief gewählten MOP?
45. Wie verändert sich die Lage des MOP, wenn die Werkseinstellung der statischen Überhitzung verkleinert wird?

46. Was verstehen Sie unter einem Biflow-Thermoventil? (Danfoss)
47. Welche Aussagen liefert das Grenzwertliniendiagramm (MSS-Kennlinie) eines Verdampfers?
48. Bewerten Sie die im dargestellten Grenzwertliniendiagramm eines Verdampfers vorgenommenen Ventilzuordnungen a) bis d) (Abb. 1.9).
49. Was versteht man unter *Hunting*? Wie ist es zu erklären? Wie kann es abgestellt werden?
50. Begründen Sie, warum die Verdampferspeisung mit einem TEV trotz richtiger Anpassung der Kälteleistung des TEVs an die Kälteleistung des Verdampfers im Teillastbereich bei verringerter Kühllast nicht optimal im Sinne bestmöglicher Verdampferauslastung erfolgen kann.
51. Welchen Vorteil bringt ein elektronisches Expansionsventil als Drosselorgan gegenüber einem TEV bezüglich der Verdampferausnutzung, der Kälteleistungszahl, der Luftentfeuchtung und der Abtauhäufigkeit?
52. Warum eignen sich elektronische Drosselorgane (EEV) besonders bei Waren, die vor Austrocknung geschützt werden sollen?

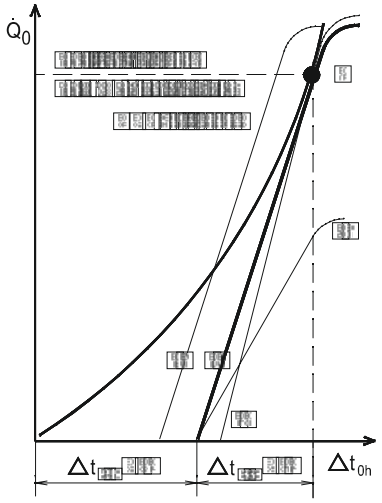

Abb. 1.9 Verdampfer mit verschiedenen Ventilzuordnungen

53. Warum ermöglicht ein elektronisches Drosselorgan auch bei niedrigerem Verflüssigungsdruck p_c eine ausreichende Verdampferbefüllung?
54. Werten Sie in dem vom AKC-Regler (Baureihe Danfoss ADAP-KOOL®) aufgezeichneten Trend-Log (Abb. 1.10) den regelungstechnischen Zustand der geregelten Medientempera-

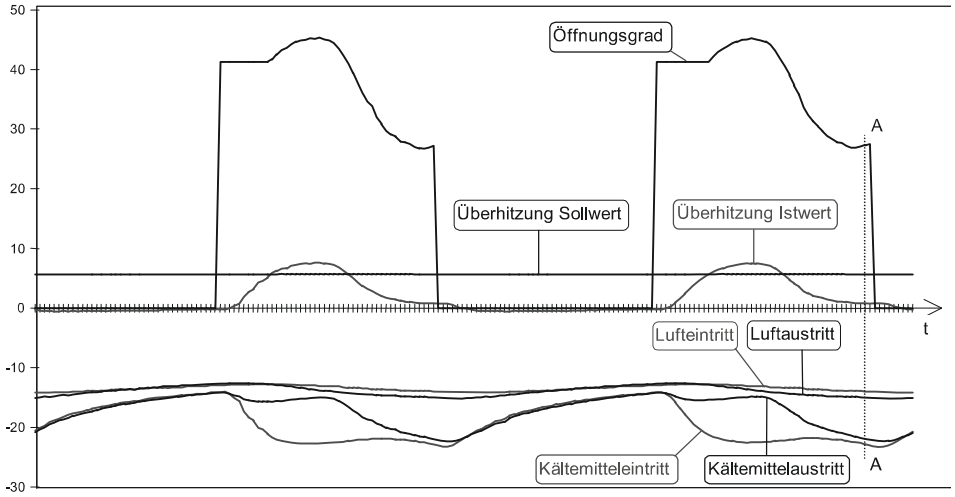

Abb. 1.10 Trend-Log eines elektronischen Reglers AKC (Baureihe Danfoss ADAP-KOOL®)

1.5 Lösungen zu: Drosselorgane und Flüssigkeitsverteiler

1.5.1 zu: Drosselorgane

1. **Tab. 1.4**

p_0	= Verdampfungsdruck	
t_0	= Verdampfungstemperatur	
t_{01}	= Verdampfungstemperatur am Verdampfereingang	
t_{02}	= Verdampfungstemperatur am Verdampferende	
t_{02h}	= Überhitzungstemperatur am Verdampferausgang am Sitz des TEV-Fühlers	
t_{0h}	= Überhitzungstemperatur in der Saugseite	
p_c	= Verflüssigungsdruck	
t_c	= Verflüssigungstemperatur	
t_{ch}	= Überhitzungstemperatur in der Druckseite	
t_{c1h}	= Überhitzungstemperatur am Verflüssigereingang	
t_{V1}	= Überhitzungstemperatur am Verdichtereingang	
t_{V2}	= Überhitzungstemperatur am Verdichterausgang	
t_2	= Verdichtungsendtemperatur am Druckarbeitsventil (höchste Überhitzungstemperatur)	
t_{c2u}	= Unterkühlungstemperatur am Verflüssigerausgang	
t_{cu}	= Unterkühlungstemperatur in der Flüssigkeitsleitung	
t_{E1}= t_{Eu}	= Unterkühlungstemperatur am Eingang in das Expansionsventil	
t_{E2}	= Verdampfungstemperatur am Ausgang des Expansionsventils ($t_{E2} = t_{01}$, wenn Einfach-einspritzung ohne Flüssigkeitsverteiler gegeben ist.)	
Δt_{0h}	= Überhitzung des Saugdampfs	$\Delta t_{0h} = t_{0h} - t_0$
Δt_{ch}	= Überhitzung des Druckgases	$\Delta t_{ch} = t_{ch} - t_c$
Δt_{cu}	= Unterkühlung des flüssigen Kältemittels	$\Delta t_{cu} = t_c - t_{cu}$
Δt_{Eu}	= Unterkühlung des flüssigen Kältemittels vor dem Expansions-ventil	$\Delta t_{Eu} = t_c - t_{Eu}$
Δt_{ohS}	= statische Überhitzung des TEV	
$\Delta t_{ohÖ}$	= Öffnungsüberhitzung des TEV	
Δt_{ohA}	= Arbeitsüberhitzung des TEV	$\Delta t_{ohA} = \Delta t_{ohS} + \Delta t_{ohÖ}$

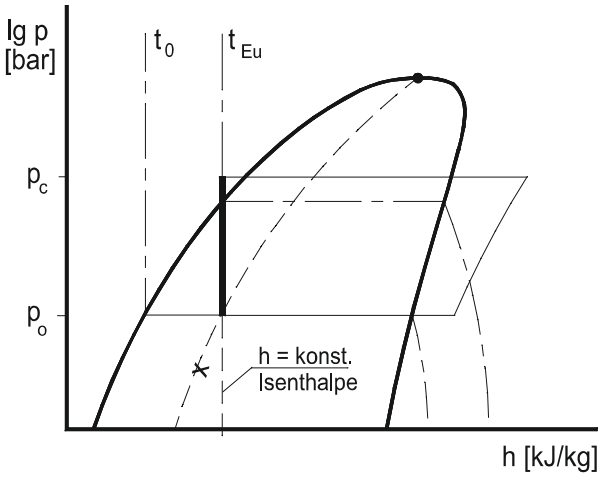

Abb. 1.36 Drosselvorgang im lg p,h-Diagramm

2. Das Drosselorgan hat die Aufgabe, den Druck des Kältemittels von Verflüssigungsdruck p_c auf Verdampfungsdruck p_0 zu senken (Drosselung, Entspannung), sodass die Verdampfungstemperatur t_0 unter der Kühlstellentemperatur liegt.
3. *Drosseldampf* entsteht als Folge der Druckabsenkung beim Durchgang des flüssigen Kältemittels durch die Drosselstelle des Drosselorgans (z. B. Düsenringspalt). Der bei dieser Teilverdampfung entstehende Dampfanteil wird Drosseldampf genannt (*vgl. Kälteanlagentechnik in Fragen und Antworten, Band 1, 7. Aufl., Kap. 4.2.2, Technologie, Aufg. 8*).
4. Die Temperaturabsenkung ist durch die Verdampfung eines Teils des Kältemittels zu erklären. Beim Drosselvorgang findet eine innere Wärmeübertragung statt (*vgl. Kälteanlagentechnik in Fragen und Antworten, Band 1, 7. Aufl., Kap. 4.2.2, Technologie, Aufg. 8*).
5. Durch größeres Druckverhältnis und kleinere Unterkühlung des flüssigen Kältemittels vergrößert sich der Dampfgehalt x des aus dem Drosselorgan austretenden Nassdampfs, man spricht von größerem Drosseldampfanteil bzw. größeren Drosselverlusten (*vgl. Kälteanlagentechnik in Fragen und Antworten, Band 1, 7. Aufl., Kap. 4.2.2, Technologie, Aufg. 9*).
6. Durch eine weitere Verengung des Düsenringspaltes fällt der Verdampfungsdruck p_0, steigt der Drosseldampfanteil x und vergrößert sich die Überhitzung Δt_{0h} der aus dem Verdampfer austretenden Kältemitteldämpfe.
7. Das AEV hält im Betrieb den Verdampfungsdruck p_0 konstant. Im Stillstand schließt es, weil ein Teil des restlichen Kältemittels verdampft und p_0 als Schließdruck unter der Ventilmembran ansteigt.
8. Das AEV schließt bei steigender Kühllast, um den ansteigenden Verdampfungsdruck konstant zu halten. Weil nun trotz gestiegenen Wärmeeinfalls weniger Kältemittel zur Verdampfung ansteht, steigt die Überhitzung an und der Verdampfer wird schlechter beaufschlagt. Die Abkühlzeit verlängert sich.

   Das AEV erfüllt zwar sein regelungstechnisches Ziel, p_0 konstant zu halten. Im Hinblick auf die Abführung hoher Kühllast reagiert es aber gerade falsch, da es in dieser Situation weiter schließt.