

# 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:  $p_0$ ,  $t_0$ ,  $t_{01}$ ,  $t_{02}$ ,  $t_{o2h}$ ,  $t_{oh}$ ,  $p_c$ ,  $t_c$ ,  $t_{ch}$ ,  $t_{c1h}$ ,  $t_{V1}$ ,  $t_{V2}$ ,  $t_2$ ,  $t_{c2u}$ ,  $t_{cu}$ ,  $t_{E1}$ ,  $t_{Eu}$ ,  $t_{E2}$ ,  $\Delta t_{oh}$ ,  $\Delta t_{ch}$ ,  $\Delta t_{cu}$ ,  $\Delta t_{Eu}$ ,  $\Delta t_{ohS}$ ,  $\Delta t_{ohÖ}$ ,  $\Delta t_{ohA}$ .
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  $\Delta t_{oh}$  am Verdampferausgang?

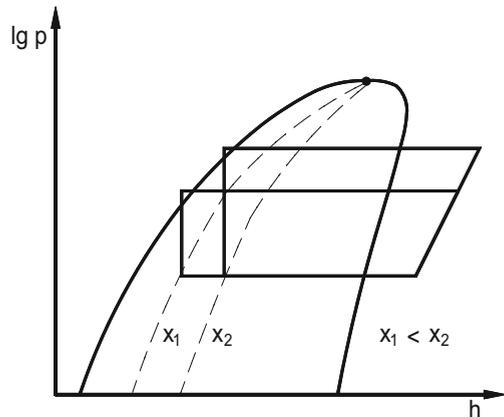


Abb. 1.1 Beeinflussung des Drosseldampfgehaltes  $x$  am Drosselorganaustritt

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-

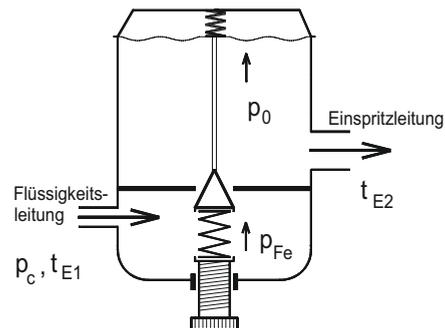


Abb. 1.2 Automatisches Expansionsventil (AEV)

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?
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

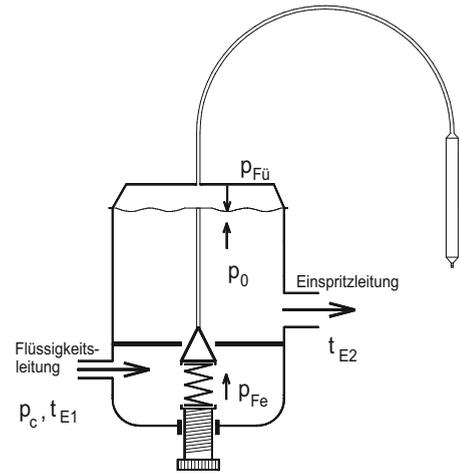


Abb. 1.3 Thermostatisches Expansionsventil (TEV)Abb

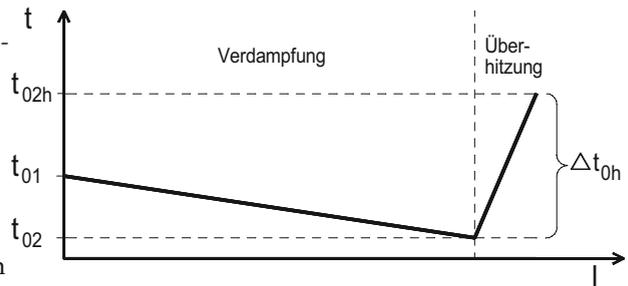
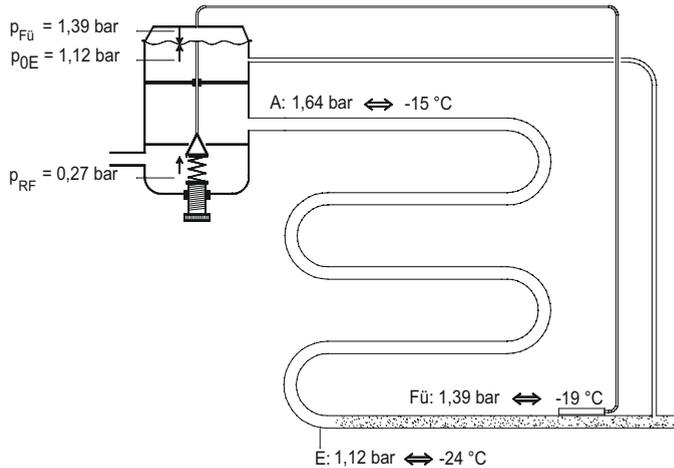


Abb. 1.4 Temperaturverlauf im Verdampfer mit 0,248 bar Druckabfall

verwendet wurde. Weitere Angaben: Kältemittel R-134a;  $t_{01} = -7\text{ °C}$ ;  $p_{01} = 2,256\text{ bar}$ ;  $\Delta p_{\text{Vda}} = 0,248\text{ bar}$ ;  $(-10\text{ °C} \Leftrightarrow 2,008\text{ bar})$ ;  $\Delta t_{0hA} = 7\text{ K}$ , (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*  $\Delta t_{0hA}$  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 Katalogblätter 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 **Abb. 1.5** TEV mit äußerem Druckausgleich an einem Verdampfer mit hohem Druckabfall m. ä. D. verwendet?

- c) Welche Aufgabe hat die mittlere Trennwand im Ventil?

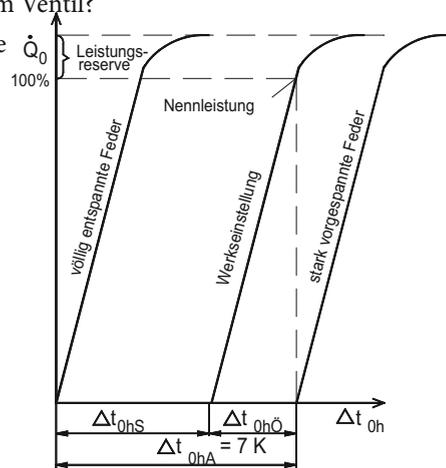
- d) Überprüfen Sie das an der Membran wirkende Kräftegleichgewicht.

- e) Welche Arbeitsüberhitzung hat sich eingestellt?

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

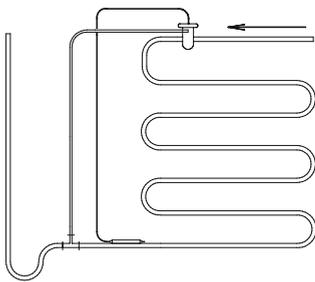
26. Skizzieren Sie die Kennlinie eines TEVs. Kennzeichnen Sie dabei  $\Delta t_{0hS}$ ,  $\Delta t_{0hO}$ ,  $\Delta t_{0hA}$ , Nennleistung und Leistungsreserve.

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

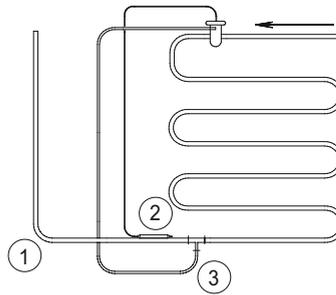


**Abb. 1.6** Extreme Veränderung der Werkseinstellung der stat. Überhitzung

28. Begründen Sie das Verhalten eines TEVs bei fallender Kühllast. Wie verändern sich Verdampfungsdruck  $p_0$ , Arbeitsüberhitzung  $\Delta t_{0hA}$ , Öffnungsüberhitzung  $\Delta t_{0hO}$  sowie die Ventilkälteleistung?
29. Begründen Sie die Reaktion eines TEVs bei steigender Kühllast und die sich bei fortbestehender hoher Kühllast einstellenden Werte der Arbeitsüberhitzung  $\Delta t_{0hA}$  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 Thermostats 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-Thermoverventil? (Danfoss)
47. Welche Aussagen liefert das Grenzwertliniendiagramm (MSS-Kennlinie) eines Verdampfers?
48. Bewerten Sie die im dargestellten Grenzwertliniendiagramm eines Verdampfers vorgenommenen Ventizuordnungen 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 Abtauhaftigkeit?
52. Warum eignen sich elektronische Drosselorgane (EEV) besonders bei Waren, die vor Austrocknung geschützt werden sollen?
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 Medientemperatur

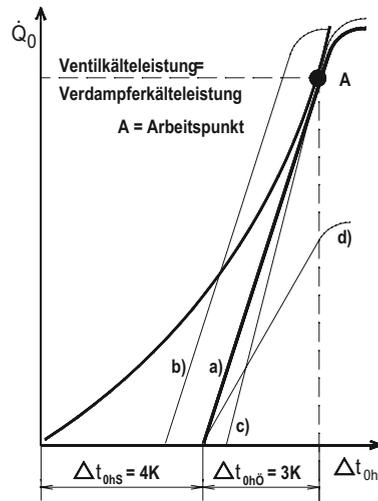


Abb. 1.9 Verdampfer mit verschiedenen Ventizuordnungen

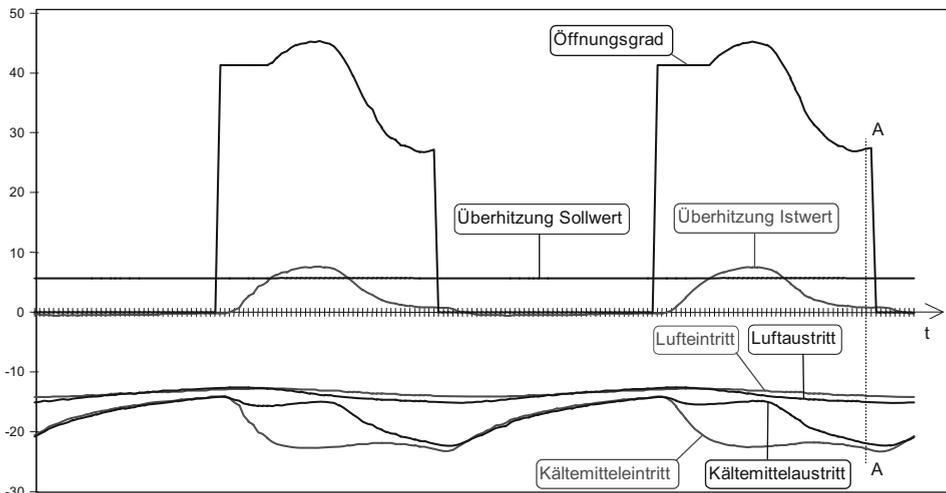


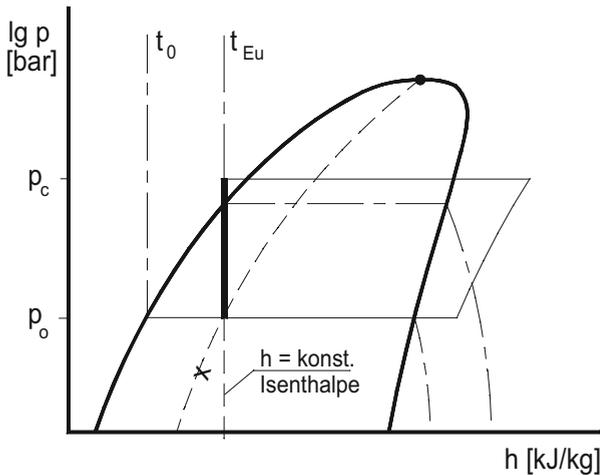
Abb. 1.10 Trend-Log eines elektronischen Reglers AKC (Baureihe Danfoss ADAP-KOOL®)

## 1.5 Lösungen zu: Drosselorgane und Flüssigkeitsverteiler

### 1.5.1 zu: Drosselorgane

#### 1. Tab. 1.4

$p_0$	= Verdampfungsdruck	
$t_0$	= Verdampfungs-temperatur	
$t_{01}$	= Verdampfungs-temperatur am Verdampfereingang	
$t_{02}$	= Verdampfungs-temperatur am Verdampferende	
$t_{02h}$	= Überhitzungs-temperatur am Verdampferausgang am Sitz des TEV-Fühlers	
$t_{0h}$	= Überhitzungs-temperatur in der Saugseite	
$p_c$	= Verflüssigungsdruck	
$t_c$	= Verflüssigungs-temperatur	
$t_{ch}$	= Überhitzungs-temperatur in der Druckseite	
$t_{c1h}$	= Überhitzungs-temperatur am Verflüssigereingang	
$t_{v1}$	= Überhitzungs-temperatur am Verdichtereingang	
$t_{v2}$	= Überhitzungs-temperatur am Verdichterausgang	
$t_2$	= Verdichtungs-temperatur am Druckarbeitsventil (höchste Überhitzungs-temperatur)	
$t_{c2u}$	= Unterkühlungs-temperatur am Verflüssigerausgang	
$t_{cu}$	= Unterkühlungs-temperatur in der Flüssigkeitsleitung	
$t_{E1} = t_{Eu}$	= Unterkühlungs-temperatur am Eingang in das Expansionsventil	
$t_{E2}$	= Verdampfungs-temperatur am Ausgang des Expansionsventils ( $t_{E2} = t_{01}$ , wenn Einfach-einspritzung ohne Flüssigkeitsverteiler gegeben ist.)	
$\Delta t_{0h}$	= Überhitzung des Saugdampfes	$\Delta t_{0h} = t_{0h} - t_0$
$\Delta t_{ch}$	= Überhitzung des Druckgases	$\Delta t_{ch} = t_{ch} - t_c$
$\Delta t_{cu}$	= Unterkühlung des flüssigen Kältemittels	$\Delta t_{cu} = t_c - t_{cu}$
$\Delta t_{Eu}$	= Unterkühlung des flüssigen Kältemittels vor dem Expansions-ventil	$\Delta t_{Eu} = t_c - t_{Eu}$
$\Delta t_{ohS}$	= statische Überhitzung des TEV	
$\Delta t_{ohÖ}$	= Öffnungsüberhitzung des TEV	
$\Delta t_{ohA}$	= 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  $p_o$  zu senken (Drosselung, Entspannung), sodass die Verdampfungstemperatur  $t_o$  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. *Kälteanlagen-technik 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. *Kälteanlagen-technik 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. *Kälteanlagen-technik 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  $p_o$ , steigt der Drosseldampfanteil  $x$  und vergrößert sich die Überhitzung  $\Delta t_{oh}$  der aus dem Verdampfer austretenden Kältemitteldämpfe.
7. Das AEV hält im Betrieb den Verdampfungsdruck  $p_o$  konstant. Im Stillstand schließt es, weil ein Teil des restlichen Kältemittels verdampft und  $p_o$  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,  $p_o$  konstant zu halten. Im Hinblick auf die Abführung hoher Kühllast reagiert es aber gerade falsch, da es in dieser Situation weiter schließt.