



Reimund Nessel,
Kälteanlagenbauermeister
und Verkaufsberater, tätig
für die Firma Paulus AG,
Aesch (Schweiz).

Immer wieder führen niedrige Umgebungstemperaturen, denen luftgekühlte Verflüssiger und Aggregate ausgesetzt sind, zu Störungen in der Kälteanlage. Die Ursache liegt meist in einer zu kleinen Druckdifferenz über das Expansionsventil oder Kapillarrohr, bedingt durch eine niedrige Luftfeuchtigkeit am Verflüssiger. Um ein stabiles Regelverhalten des Expansionsventiles zu erhalten, muß auf konstanten Flüssigkeitsdruck geachtet werden. Da die Anstauregelung wegen ihres Mehrbedarfs an Kältemittel und dadurch auch bedingte Trägheit des Systems nicht mehr zeitgemäß ist, gewinnt die Luftmengenbegrenzung immer mehr an Bedeutung.

Die **Vorteile** sind:

- keine Einbauteile im Kältekreislauf,
- einfache Handhabung,
- Minimierung der Kältemittelmenge,
- Energieeinsparung und Verminderung des Geräuschpegels durch Abschalten bzw. Vermindern der elektrischen Antriebsleistung von Lüftern.

Nachteil

Das druckabhängige Zuschalten eines bzw. bei Stufenschaltung mehrerer Lüfter ruft jedoch bei entsprechend niedrigen Außentemperaturen ein ständiges Ein- und Ausschalten der Lüfter hervor, das zu periodischen

Verflüssigungsdruckregelung mit drehzahl-geregelten Lüftern

Reimund Nessel, Teningen

Fortsetzung aus KK 3/97

Druckschwankungen und Dampf-Flüssigkeits-Dampf-Phasen vor dem Expansionsventil führt.

In KK 3/97 wurde unter dem Titel „Druckregelung bei luftgekühlten Verflüssigern“ schon in das Thema einleitend über die Vorteile der Luftmengenbegrenzung am Verflüssiger berichtet, im heutigen Beitrag soll auf die Verflüssigungsdruckregelung mit drehzahlgeregelten Lüftern näher eingegangen werden.

Da die stufenweise Zuschaltung von Lüftern gerade nach dem Einschalten doch zu erheblichen Druckabsenkungen führen kann, war die Entwicklung der stetig wirkenden Drehzahlregler eine enorme Verbesserung. Diese relativ preiswerten Geräte funktionieren nach der Phasenanschnitt-Methode.

Funktionsweise

Ein elektronisches Bauteil (Triac) läßt je nach Einstellung früher oder später die Sinuswelle des Wechselstromes durch. In Abbildung 1–3 ist die Sinuswelle mit verschiedenen Verzögerungszeiten zu sehen. Die effektive Spannung ergibt sich aus der noch verbleibenden Fläche (schwarz). Die Verzögerungszeit wird proportional zur Abweichung vom sogenannten full voltage setpoint (FVS) eingestellt.

Begriffserklärung:

Full voltage setpoint

Punkt bei dem der Regler die maximal mögliche Spannung erreicht hat.

Proportional band

Bereich in dem der Regler in Abhängigkeit des Druckes die Spannung ver-

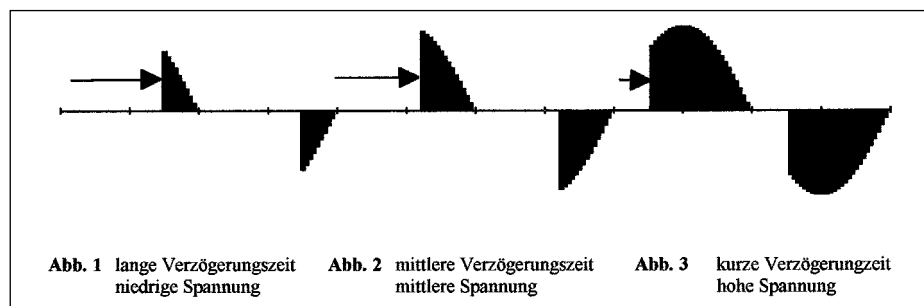


Abb. 1–3 Die unterschiedlichen Sinuswellen mit verschiedenen Verzögerungszeiten werden in der hier abgebildeten Form einmal nebeneinander zur besseren Anschaulichkeit dargestellt. Der linke Teil (Abb. 1) zeigt eine niedrige Wechselstrom-Spannung und damit eine lange Verzögerungszeit. Der mittlere Teil (Abb. 2) veranschaulicht eine mittlere Verzögerungszeit bei mittlerer Spannung. Schließlich stellt der rechte Teil (Abb. 3) eine kurze Verzögerungszeit und bei einer hohen Wechselstromspannung dar.

ändert, übliche Bandbreite 10–15 K (bei Wechselstromgeräten meist nicht veränderbar).

Min. speed

Minstdrehzahl (niedrigste Spannung) unter die der Regler nicht geht; Einstellbar von ca. 35–100 % der gesamte Spannung.

Cut off speed/min. speed

Umschalter mit dem man zwischen einer Minstdrehzahl oder einem Minstdruck wählen kann. Ist cut off eingestellt, wird am min. speed trimmer der cut off Punkt eingestellt. Solange der Druck unterhalb dieses Punktes liegt, ist die Spannung abgeschaltet. Wird er überschritten, springt die Spannung auf den am min. speed trimmer

Abb. 4 Einstelldiagramm Drehzahlregler.

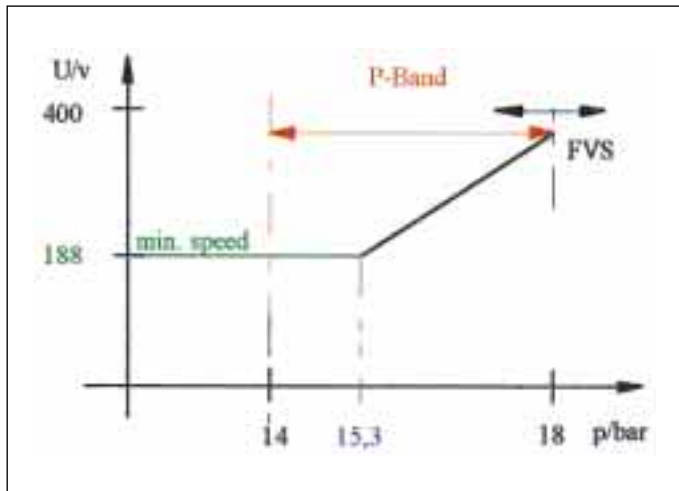
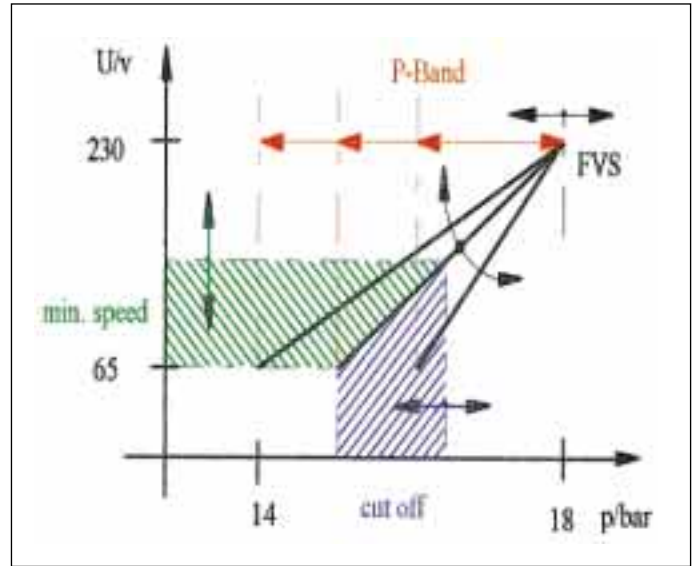


Abb. 5 Umschalter steht auf „min. speed“. Mindestspannung von 188 V bis 15,3 bar, danach Spannung entsprechend dem P-Band.

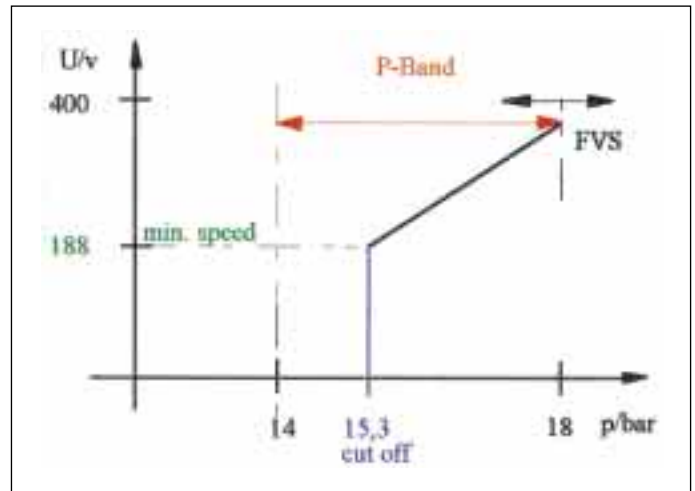


Abb. 6 Umschalter steht auf „cut off“. Bei 15,3 bar Sprung auf 188 V, danach Spannung entsprechend dem P-Band.

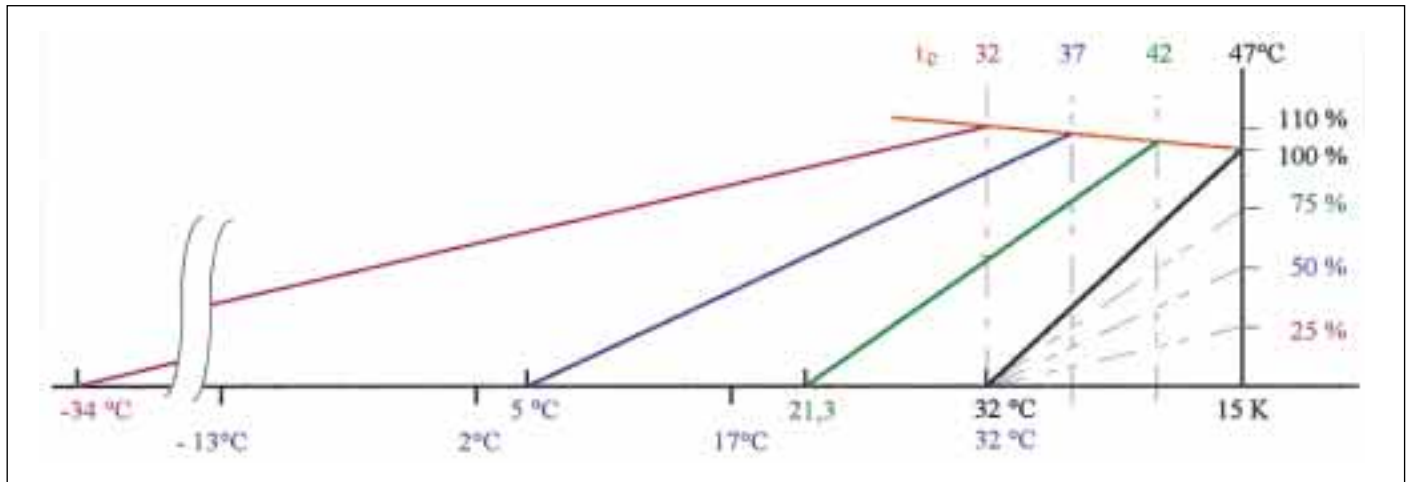


Abb. 7 Drehzahl geregelter Lüfter: Einstellung des Reglers:
P-Band = 15 K (entspricht bei R 22 = 5,5 bar),
FVS = 47 °C,
kleinste Drehzahl = 25 % der Gesamtluftmenge.

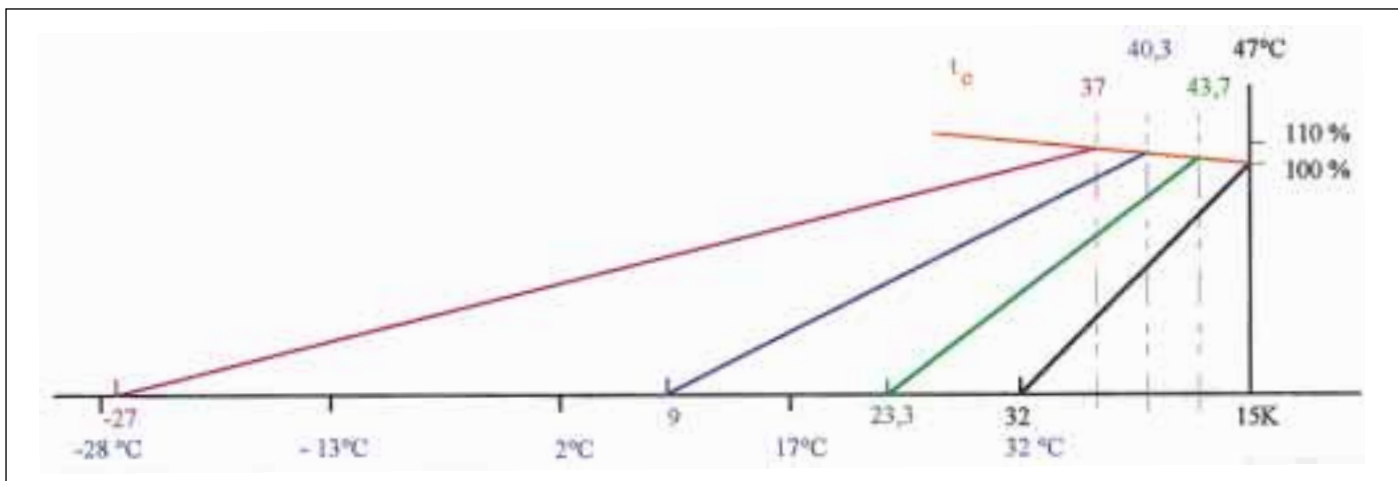


Abb. 8 Kleines P-Band, unter -27 °C schaltet der Drehzahlregler ab.

eingestellten Wert. Steigt der Druck weiter, gibt der Regler die Spannung entsprechend seines verbleibenden Proportionalbandes ab.

Abbildung 5 und 6 zeigen Drehstromregler. Bei beiden Diagrammen wurde der min. speed trimmer auf 188 V gestellt. In Abb. 5 steht der Umschalter auf min. speed das bedeutet, daß sobald die Spannungsversorgung eingeschaltet wird, der Drehzahlregler eine Spannung von 188 V abgibt. Steigt der Druck über 15,3 bar an, gibt er eine Spannung entsprechend seines restlichen P-Bandes ab. In Abb. 6 steht der Umschalter auf cut off und derselben Einstellung des min. speed trimmers wie in Abb. 5. Nach Überschreitung des Punkts von 15,3 bar springt die Spannung auf 188 V. Danach ergibt sich die Spannung genauso wie in Abb. 5 entsprechend des restlichen P-Bandes.

Da von den Geräteherstellern keine absoluten Werte angegeben werden, sind die Daten in Abb. 5 und 6 frei gewählt.

Gemeinsamer Drehzahlregler für mehrere Lüfter

Werden alle Lüfter eines Verflüssigers über einen gemeinsamen Drehzahlregler gesteuert, so ist er zu behandeln wie ein einlüftiger Verflüssiger.

Um sich das stetige Regeln besser vorstellen zu können, denkt man sich viele kleine Lüfter, die nacheinander ein- bzw. ausgeschaltet werden.

Die kleinste Stufe stellt die Drehzahl dar, die sich unter der minimalsten Spannung, die der Regler abgibt, einstellt. Um ein sicheres Anlaufen der Motoren zu gewährleisten, darf die Spannung nicht zu niedrig sein. Wech-

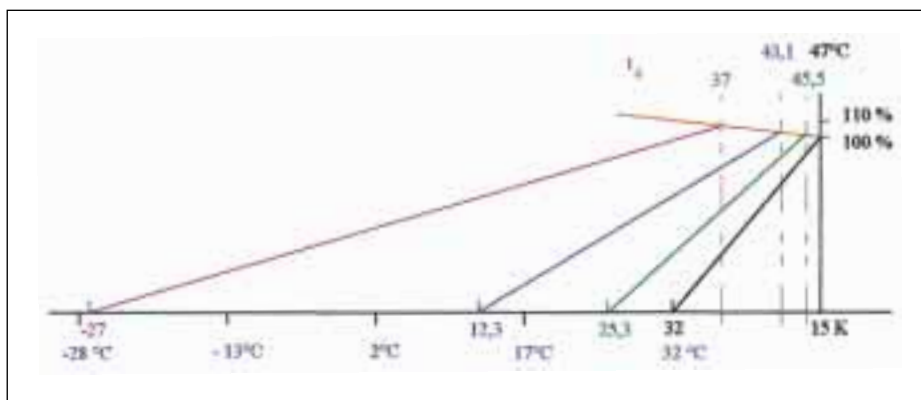


Abb. 9 Progressiver Verlauf des P-Bandes bewirkt gleiches Stellverhältnis über den gesamten Bereich.

selstromgeräte beginnen bei ca. 70 V, Drehstromgeräte bei ca. 95 V.

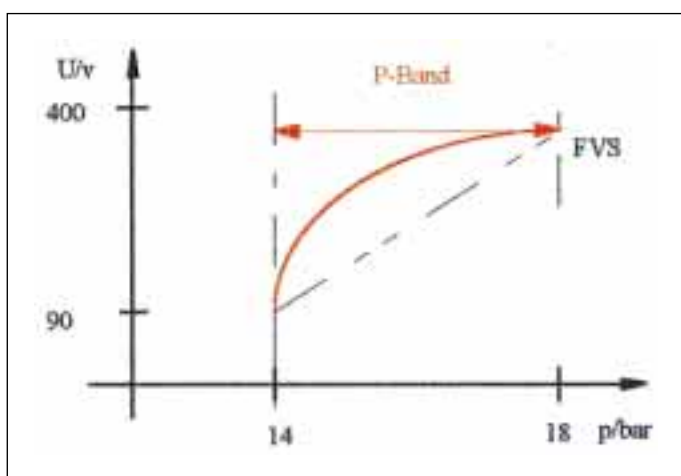
Da es keine Veröffentlichungen seitens der Verflüssigerhersteller gibt, welchen Luftmengen dies entspricht, liegt den Diagrammen eine Luftmenge, die sich proportional zur effektiven Spannung verhält, zugrunde. Bei Wechselstromreglern ist die kleinste Stufe ungefähr

1/3, bei Drehstromregler 1/4 der Gesamtluftmenge.

In Abb. 7 sind die Scharen der Verflüssigerleistung bei verschiedenen Lufteintrittstemperaturen und den zugehörigen Verflüssigungstemperaturen aufgetragen.

Zur besseren Übersicht wurden nur vier Punkte des gesamten Bereiches

Abb. 10 Verlauf der Spannung zu Abb. 9.



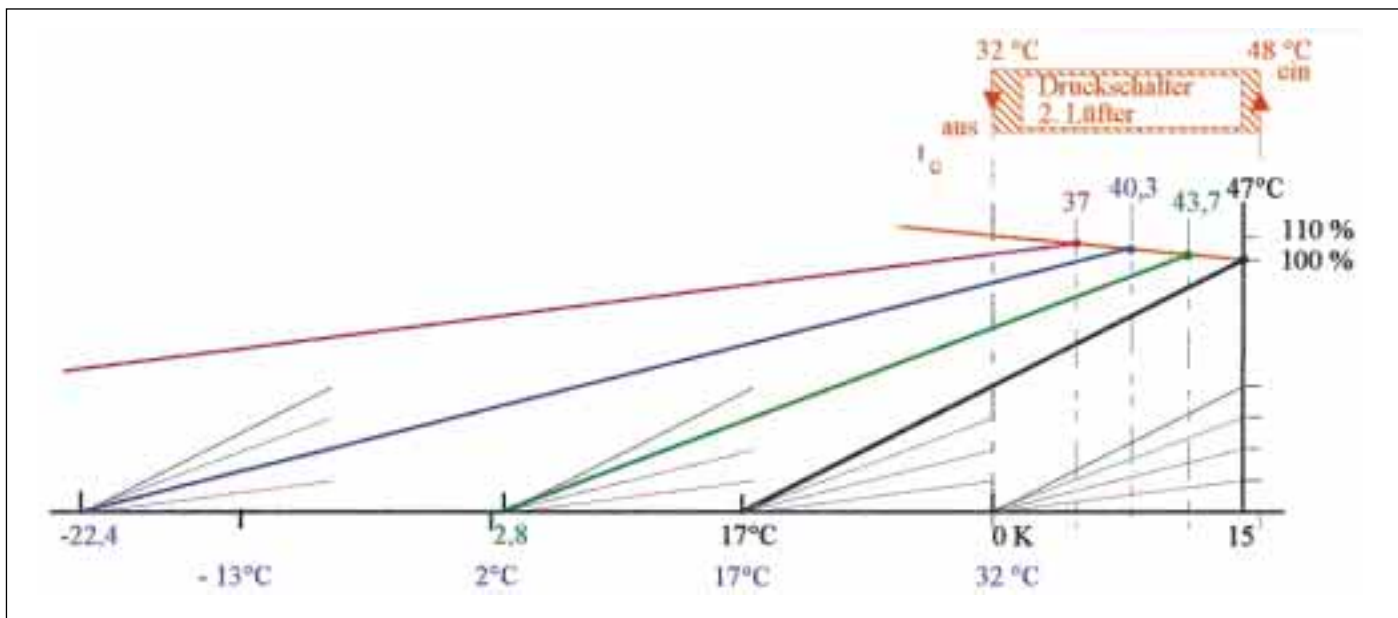


Abb. 11 Ein Lüfter läuft über Drehzahlregler, der zweite ist abgeschaltet. Zusammengehörige Funktionen und Temperaturen sind gleichfarbig.

ausgewählt und eine lineare Funktion des P-Bandes zugrunde gelegt. Bei 32 °C Lufteintritt sind die theoretischen Leistungen gestrichelt eingezeichnet, die sich einstellen würden, wenn die Luftmengen der entsprechenden Lufteintrittstemperatur beibehalten worden wäre.

- Die zusammengehörigen Werte der
- Lufteintrittstemperatur,
 - Leistung des Verflüssigers,
 - Verflüssigungstemperatur,
 - Teilleistung des Verflüssigers bei 32 °C,

sind in derselben Farbe dargestellt. Man erkennt, daß mit steigender Lufteintrittstemperatur auch die Verflüssigungstemperatur ansteigt.

In Abb. 8 wurde ein P-Band von 10 K am Drehzahlregler eingestellt. Fällt die Lufteintrittstemperatur unter -27 °C, schaltet der Regler ab. Außerdem wird deutlich, daß ein lineares Proportionalband bei hohen Lufteintrittstemperaturen ein schlechteres Stellverhältnis hat als bei niedrigen (vergleiche die Temperaturdifferenzen von t_{11} und t_c zwischen den Abstufun-

gen), Abhilfe schafft hier ein progressives Stellverhältnis.

In Abb. 9 und 10 wurde ein progressiver Verlauf des P-Bandes realisiert. Er gewährleistet ein gleichbleibendes Stellverhältnis über den gesamten Bereich.

Größere Verflüssiger

Bei größeren Verflüssigern übersteigt schnell die elektrische Leistungsaufnahme der Lüfter die maximale Belastung des Drehzahlreglers.

Wechselstromgeräte reichen in der Regel bis 8 Ampere, Drehstromgeräte

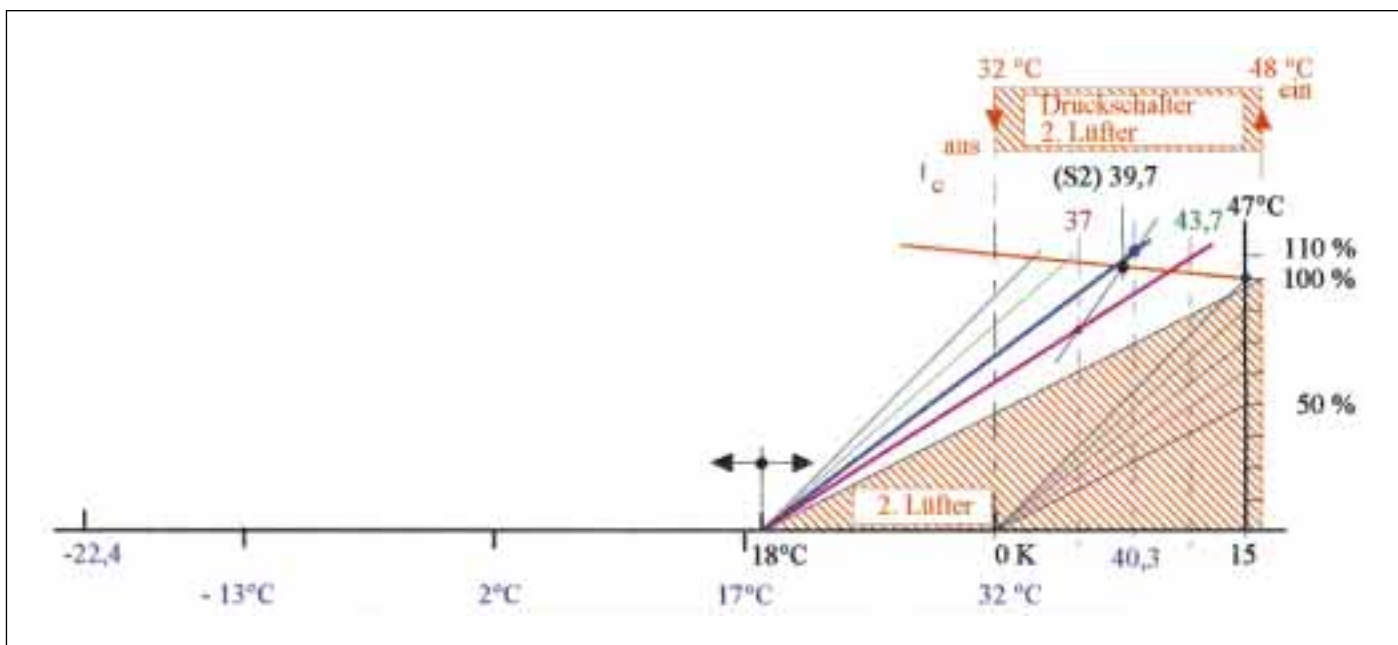


Abb. 12 Beide Lüfter laufen, $t_{11} = 18\text{ °C}$; $t_c = 39\text{K}7\text{ °C}$ (S2).

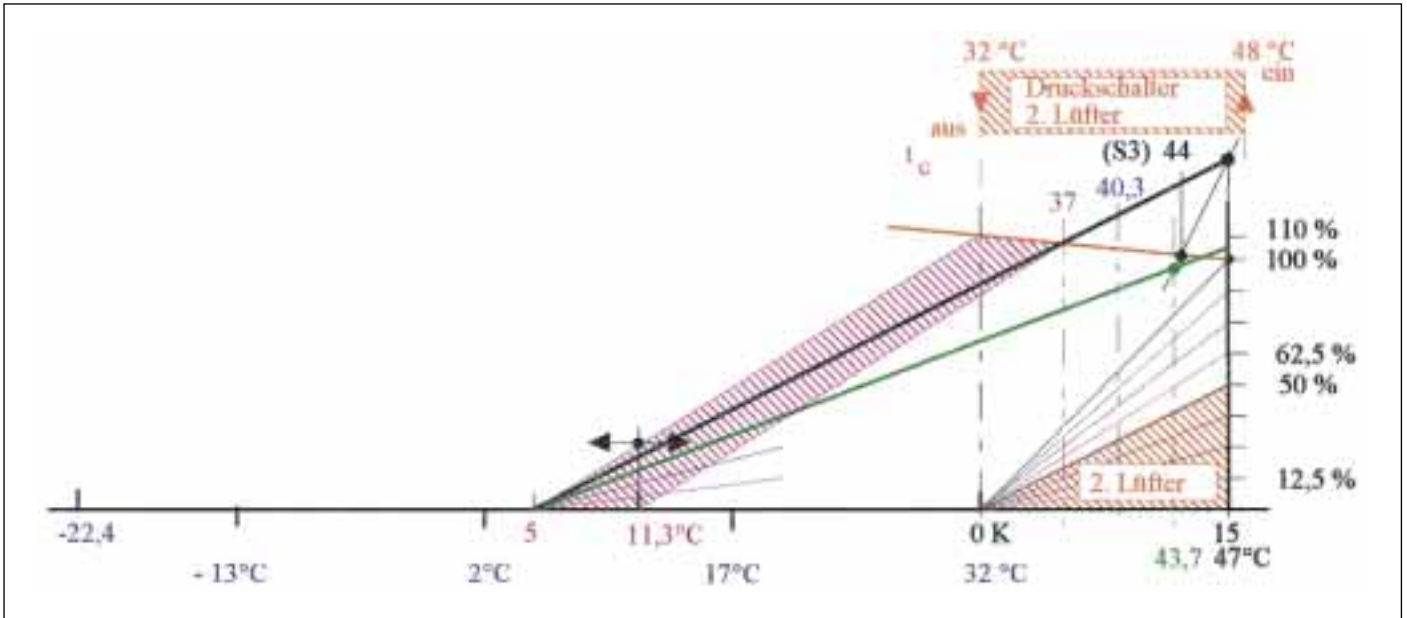


Abb. 13 Bei t_c 32 °C wird der zweite Lüfter abgeschaltet, danach stellt sich ein t_c von 44 °C (S3) ein.

bis 5 Ampere. Es gibt allerdings auch Hersteller, die Geräte für höhere Belastungen bauen, die jedoch sehr teuer sind. Eine einfache aber dennoch wirkungsvolle Methode ist die Verbindung zwischen Drehzahlregler und Druckschalter mit einer oder mehreren Stufen.

Funktionsweise

Der Drehzahlregler übernimmt die Ausregelung so vieler Lüfter entsprechend seiner maximalen elektrischen Belastung. Die restlichen Lüfter werden in Stufen zugeschaltet. Dabei darf

die Menge der gleichzeitig zugeschalteten Lüfter nicht größer sein als die Summe der Lüfter, die vom Drehzahlregler angesteuert werden. Beispiel mit folgenden technischen Daten (Abb. 11–13)

- Verflüssiger mit zwei Lüftern
- Erster Lüfter über Drehzahlregler, kleinste Drehzahl: $\frac{1}{4}$ der Nennluftmenge eines Lüfters
- P-Band = 10 K, linearer Verlauf, FVS = 47 °C
- Zweiter Lüfter über Druckschalter
- Einschaltpunkt $t_c = 48$ °C
- Ausschaltpunkt $t_c = 32$ °C

Abb. 11

Zunächst läuft nur der drehzahlregelte Lüfter. Er übernimmt die Wärmeabfuhr bis zu einer Lufttemperatur von 17 °C.

Abb. 12

Steigt die Lufttemperatur weiter an, wird der unregelmäßige Lüfter bei t_c 48 °C über den Druckschalter eingeschaltet. Dadurch erhält der Verflüssiger jetzt plötzlich einen Leistungszuwachs, der sich in einer sinkenden Verflüssigungstemperatur widerspiegelt. Gleich-

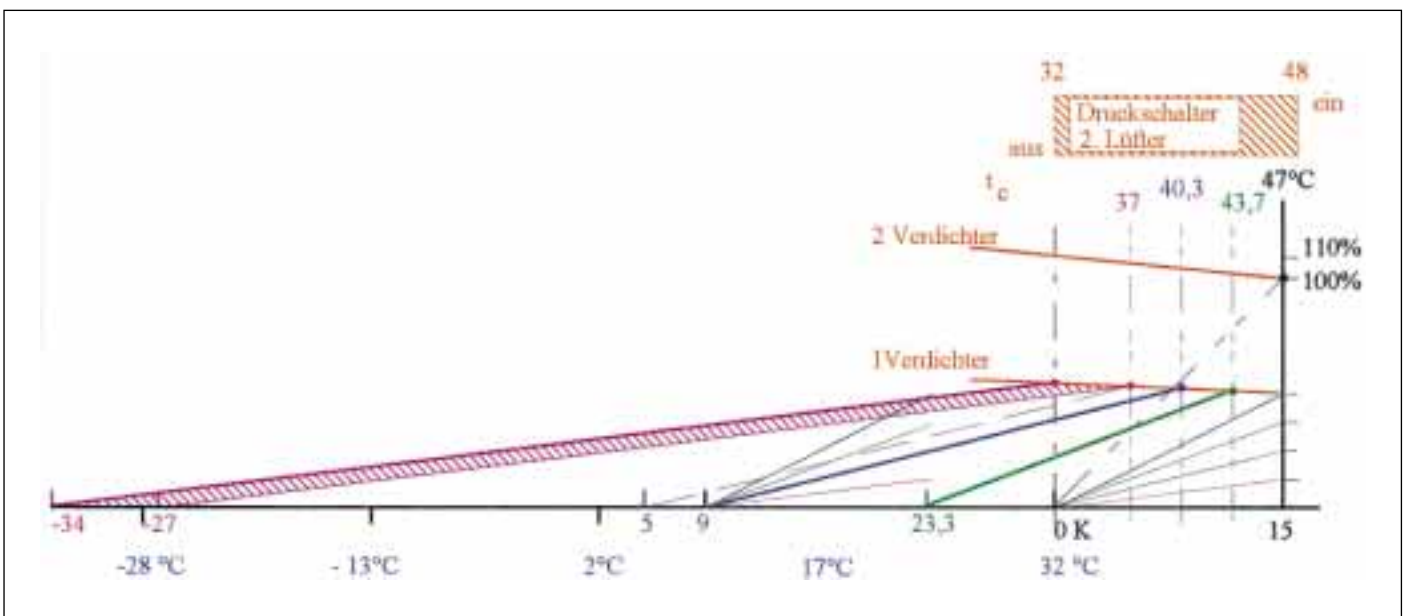


Abb. 14 Verdichter mit zwei Leistungsstufen, Verflüssiger mit zwei Lüftern, einer drehzahlregelt, der zweite über Druckschalter.

zeitig nimmt der Drehzahlregler die Spannung zurück. Die Verflüssigungstemperatur wird sich bei 39,7 °C (S2) einpendeln.

Steigt die Temperatur weiter an, wird auch der Drehzahlregler die Spannung erhöhen und bei $t_{11} = 32 \text{ °C}$ die volle Drehzahl erreicht haben.

Abb. 13

Fällt die Lufteintrittstemperatur bis auf 11,3 °C ($t_c = 37 \text{ °C}$) ab, nimmt der Regler proportional die Spannung bis auf die Mindestdrehzahl zurück und würde den Lüfter bei Unterschreiten von 11,3 °C ganz abschalten. Infolge geringerer Verflüssigerleistung steigt t_c wieder an und der Drehzahlregler würde sicher einschalten. Bei dieser Temperaturlage käme es ständig zum Ein- und Ausschalten des Drehzahlreglers. Um dies zu vermeiden, stellt man am Drehzahlregler den min. speed trimmer auf die kleinstmögliche Drehzahl ein. Lufteintrittstemperatur und Verflüssigungstemperatur liegen jetzt im pinkfarbenen gestrichelten Bereich. Erst bei Unterschreitung einer Verflüssigungstemperatur von 32 °C wird der unregelmäßige Lüfter über den Druckschalter abgeschaltet.

Die Verflüssigungstemperatur steigt an und der Drehzahlregler paßt die Luftmenge an die Erfordernisse an. Somit stellt sich eine Verflüssigungstemperatur von ca. 44 °C (Abb. 13/S3) ein.

Kann aus anlagentechnischen Gründen keine Mindestdrehzahl eingestellt werden, muß der Abschaltpunkt des unregelmäßigen Lüfters auf jeden Fall innerhalb des P-Bandes des Drehzahlreglers liegen. Hierfür ist ein P-Band von 15 K einzustellen und der Einschaltpunkt des Druckschalters muß mindestens 2–3 K über dem FVS des Drehzahlreglers liegen.

Anlagen mit leistungsgeregelten Verdichtern

Bei Verdichtern mit leistungsgeregelten Zylindern oder Verbundanlagen mit mehreren Verdichtern, deren im Verflüssiger abgegebene Wärmemenge stark schwankt, sind die Grenzen der in Abb. 11–13 dargestellten Methode schnell erreicht.

In Abb. 14 läuft von einem Twin-Verdichter der erste Verdichter und von einem zweilüftigen Verflüssiger der drehzahlgeregelte. Der zweite Lüfter wird wieder über einen Druckschalter zugeschaltet;

mit den Schaltpunkten: 48 °C ein
32 °C aus.

Bei einer Lufteintrittstemperatur von –27°C ergibt sich bei der langsamsten Drehzahl eine Verflüssigungstemperatur von 37 °C. Ansonsten sind die selben Verhältnisse und Einstellungen wie in Abb. 11–13 gültig.

Hätte man statt dessen einen Drehzahlregler eingesetzt, der beide Lüfter gemeinsam regelt, entspräche die niedrigste Drehzahl $\frac{1}{4}$ der gesamten Luftmenge und somit der doppelten Luftmenge gegenüber der Anlage bei der der zweite Lüfter über einen Druckschalter eingeschaltet wird.

Dies entspräche der blauen Linie in Abb. 14 wenn man sie parallel verschieben würde bis zu dem Punkt, an dem sich die Linien von t_c 37 °C und Verdichter 1 schneiden.

Schon bei Unterschreitung der Lufteintrittstemperatur von 5 °C wäre der Drehzahlregler am unteren Ende seines P-Bandes angelangt und hätte somit keine Möglichkeit mehr, die Luftmenge weiter zu reduzieren. Für eine Anlage, die auch im Winter einwandfrei funktionieren soll ist dies nicht akzeptabel.

Allgemein gilt für Kälteanlagen, die für den Winterbetrieb vorgesehen sind folgender Ansatz:

$$\frac{i_{\text{Lüfter}}}{i_{\text{Lüfter reg}} \cdot i_{\text{Verd max}}} \cdot f_2 \geq 2 \text{ besser } 3; \text{ aber } \leq 4$$

$i_{\text{Lüfter}}$ = Anzahl der Lüfter des Verflüssigers

$i_{\text{Lüfter reg}}$ = Anzahl drehzahl geregelter Lüfter

$i_{\text{Verd max}}$ = Anzahl der Verdichter oder Leistungsstufen

f_2 = Verhältnis der Wärmeleistung bei maximaler und minimaler Spannung des Drehzahlreglers. In der Re-

gel kann hier 4 als Faktor eingesetzt werden.

Berechnungsbeispiel:

Anlage mit **vierlüftigem Verflüssiger**, ausgelegt auf $\Delta t_1 = 15 \text{ K}$

2 Lüfter über einen **gemeinsamen Drehzahlsteller** und

2 Lüfter über einen **gemeinsamen Druckschalter**

Verbund mit **drei Verdichtern**, sauggasgekühlt

$f_1 = 1,1$ (Leistungssteigerung wenn t_c um 15 K fällt)

Einstellung des Drehzahlstellers:
P-Band = 15 K; FVS 47 °C; kein min. speed

Einstellung des Druckschalters: 49 °C ein
34 °C aus

Gesucht:

Die niedrigste Lufteintrittstemperatur, bei der noch ein t_c von 32 °C gehalten werden kann, wenn von drei Verdichtern einer läuft.

$$t_{11 \text{ min}} = t_{c \text{ min}} - \Delta t_1 \cdot f_1 \cdot \frac{i_{\text{Lüfter}} \cdot f_2}{i_{\text{Lüfter reg}} \cdot i_{\text{Verd max}}}$$

$$t_{11 \text{ min}} = 32 - 15 \cdot 1,1 \cdot \frac{4 \cdot 4}{2 \cdot 3}$$

$$t_{11 \text{ min}} = -12 \text{ °C}$$

Bei einer Lufteintrittstemperatur von –12 °C hat der Drehzahlsteller sein unteres Ende des P-Bandes erreicht. Sinkt die Lufteintrittstemperatur weiter ab, schaltet auch der Drehzahlsteller ständig aus und ein.

Zusammenfassung

Drehzahlsteller für Verflüssigerlüfter tragen erheblich dazu bei, den Verflüssigungsdruck stabil zu halten.

Leistungsgeregelte Verdichter und die Luftmenge, die sich bei der minimalsten Spannung einstellt, begrenzen den Arbeitsbereich des Drehzahlstellers.

Mit einem handelsüblichen Druckschalter, der die Hälfte der Lüfter ein- bzw. ausschaltet, kann der Anwendungsbereich verdoppelt werden.