

# Fachveröffentlichung

## Energiesparende Verflüssigungsdruckregler



Jörg Köcher,  
Produktmanager Controls

### Themenschwerpunkte:

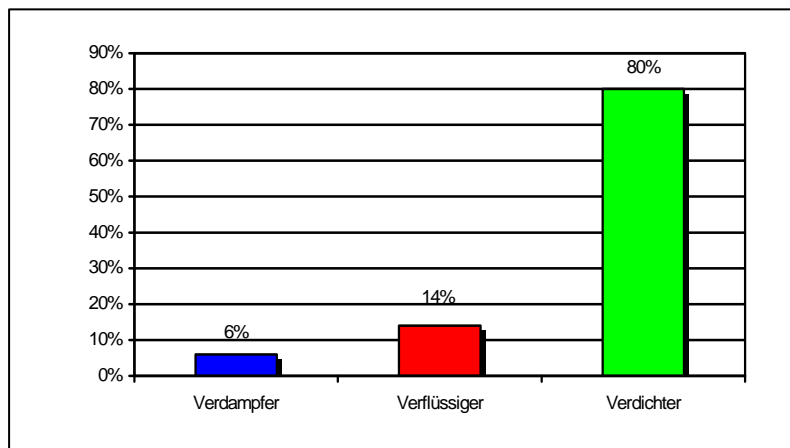
- Welche Energiesparmöglichkeiten an einer Kälteanlage können durch effiziente Regelung genutzt werden?
- Einblick in die Regelungstechnik und deren Charakteristik  
Darstellung stetiger und unstetiger Regelungen in der Kältetechnik  
Wirkungsweise von P- und I-Regelung und die Zusammenführung dieser Regelstrategien zum PI-Regler
- Welche marktüblichen Regelungskonzepte werden heute in der Kältetechnik genutzt?  
Die P-Band-Regelung; Wie arbeitet sie?  
Welche Nachteile ergeben sich daraus für den Energieverbrauch und die Anwendbarkeit dieser Strategie?  
Wie wird die P-Band-Regelung in der Praxis eingesetzt?
- Die Regelungskonzepte von Güntner Controls
- Die Systeme von energiesparenden Regelungsprodukten mit intuitiver und damit einfacher und selbsterklärender Konfigurationsphilosophie
- Güntner Controls – Kompetenz in der Regelungstechnik!
- Ihr Vorteil und Nutzen beim Einsatz der Güntner Verflüssigungsregler

## 1. Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis .....	1
2.	Welche Energiesparmöglichkeiten können wie genutzt werden? .....	1
3.	Grundlagen der Regelungstechnik .....	2
4.	Charakteristiken der Regelungstechnik .....	3
5.	Marktübliche Regelkonzepte .....	6
6.	Die Regelungskonzepte von Güntner Controls .....	7
7.	Eine innovative Bedienphilosophie für einfache Konfiguration und sicheren Anlagenbetrieb .....	8
8.	Die Systeme von energiesparenden Regelungsprodukten .....	8
9.	Güntner Controls – Kompetenz in der Regelungstechnik .....	9
10.	Zusammenfassung .....	10

## 2. Welche Energiesparmöglichkeiten können wie genutzt werden?

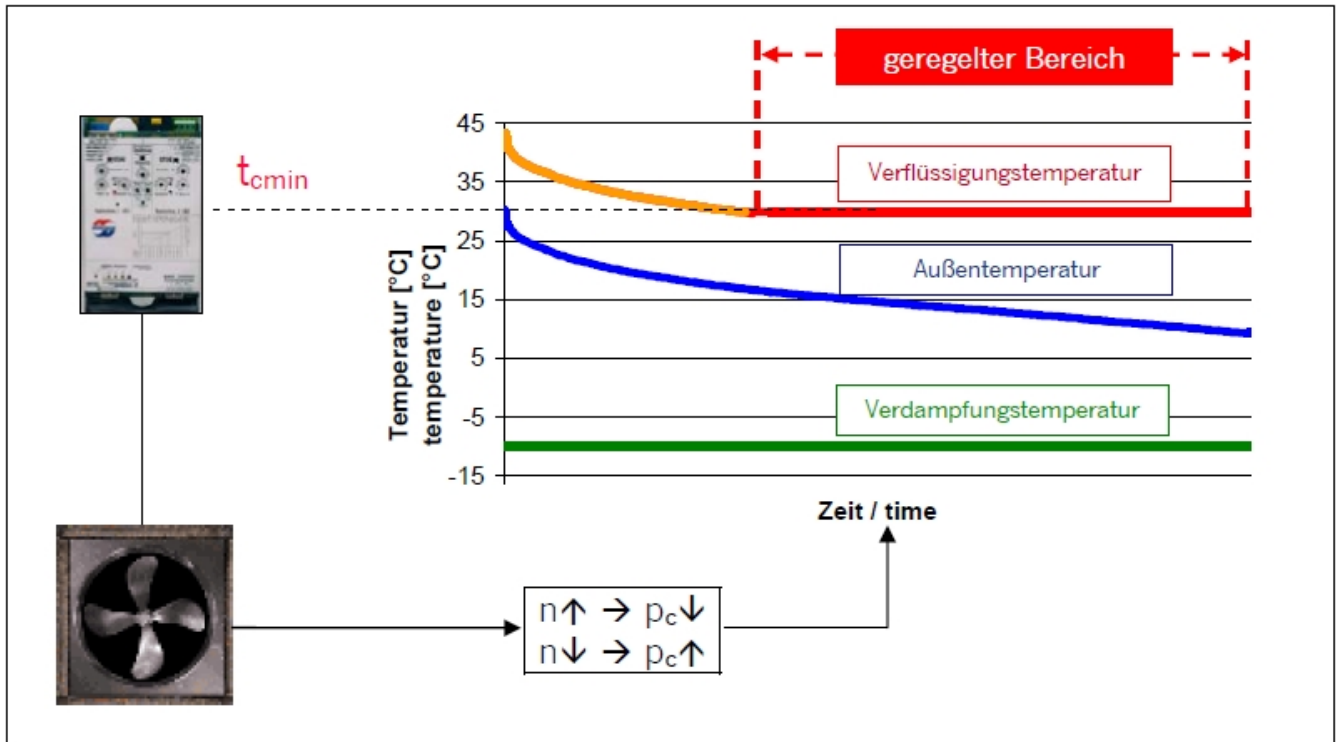
Da der Energiebedarf einen großen Anteil an den Gesamtbetriebskosten einer Kälteanlage ausmacht, liegt hier auch ein großes Einsparpotenzial. Betrachtet man die einzelnen Komponenten des Kältekreislaufs, so ist klar zu sehen, dass der Energiebedarf des Verdichters am größten ist, gefolgt von den Verflüssigerventilatoren und dem Verdampfer (Diagramm 1).



**Diagramm 1:** Verbrauch elektrischer Energie im Kältekreislauf

Der Energiebedarf des Verdichters ist direkt proportional zu der zu überwindenden Druckdifferenz zwischen Verdampfer und Verflüssiger. Durch das Absenken der Verflüssigungstemperatur bzw. des Verflüssigungsdrucks sinkt der Energiebedarf. Das Absenken der Verflüssigungstemperatur ist jedoch nur bis zur minimalen Verflüssigungstemperatur möglich. Um die Betriebssicherheit und die Verfügbarkeit der Kälteanlage zu gewährleisten, darf diese minimale Verflüssigungstemperatur nicht unterschritten werden (Bild 1).

*Genau für diese Aufgabe wird eine effiziente Regelung benötigt, die das optimale Verhältnis zwischen energiesparender Betriebsweise und Anlagensicherheit herstellt.*



**Bild 1:** Prinzip - Regelung der Verflüssigungstemperatur

### 3. Grundlagen der Regelungstechnik

In der Regelungstechnik wird zwischen **unstetigen** und **stetigen** Reglern unterschieden.

#### Unstetige Regler

Unstetige Regler sind Regler, die nur voreingestellte Schaltzustände einnehmen können. Da der Reglerausgang bzw. die Stellgröße nur in groben Stufen änderbar ist, können unstetige Regler die Regelgröße nur angenähert konstant halten. Die Regelgröße schwankt um einen Mittelwert.

Beispiele:

Spannungsumschaltung mittels Stern-/Dreieck-Schaltung zur Drehzahländerung bei spannungsregelbaren Motoren

Stufenschaltung

1. Variante: Ventilatoren bzw. Ventilatorgruppen werden zugeschaltet
2. Variante: Ventilatoren werden über Stufentrafos geschaltet

Unstetige Regler werden in Anwendungen eingesetzt, die kein genaues Ausregeln der Regelabweichung erfordern.

#### Stetige Regler

Stetige Regler können jeden beliebigen Wert annehmen und ein genaues Einhalten des Sollwertes erreichen, da die Änderung der Stellgröße exakt der auftretenden Regelabweichung angepasst werden kann.

Beispiele:

- Phasenanschnitt
- Frequenzumrichtung
- Güntner Sinusregler
- EC-Motoren (Gleichstrommotoren)

Stetige Regler werden in Anwendungen eingesetzt, die **ein genaues Ausregeln** der Anwendung erfordern.

#### 4. Charakteristiken der Regelungstechnik

Die Bezeichnungen *unstetige Regler* und *stetige Regler* beschreiben die Ausgänge der Regler bzw. den Leistungsteil eines Regelsystems.

Die Regelcharakteristik bzw. das Regelungsverhalten des Reglers ist für den effizienten und energiesparenden Betrieb einer Anlage von genauso großer Bedeutung wie das Konzept auf der Leistungsseite.

Die Charakteristik eines Reglers legt fest, wie aus der gemessenen Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert (Soll-Verflüssigerdruck und Ist-Verflüssigerdruck) die Stellgröße (Drehzahl Ventilator) bestimmt wird.

Im Bereich *stetige Systeme* stehen folgende elementare Regler zur Verfügung:

- Proportional-Regler     **P-Regler**
- Integral-Regler       **I-Regler**
- Differential-Regler    **D-Regler**

##### P-Regler - Proportionalregler

Die Stellgröße berechnet sich direkt aus der Abweichung zwischen Sollwert und Istwert.

Diese Abweichung (Differenz) wird mit dem P-Faktor multipliziert. Das Ergebnis wird am Reglerausgang als Stellsignal ausgegeben.

Im folgenden Beispiel wird der Verlauf einer P-Regelung dargestellt.

*Reglereingänge:*

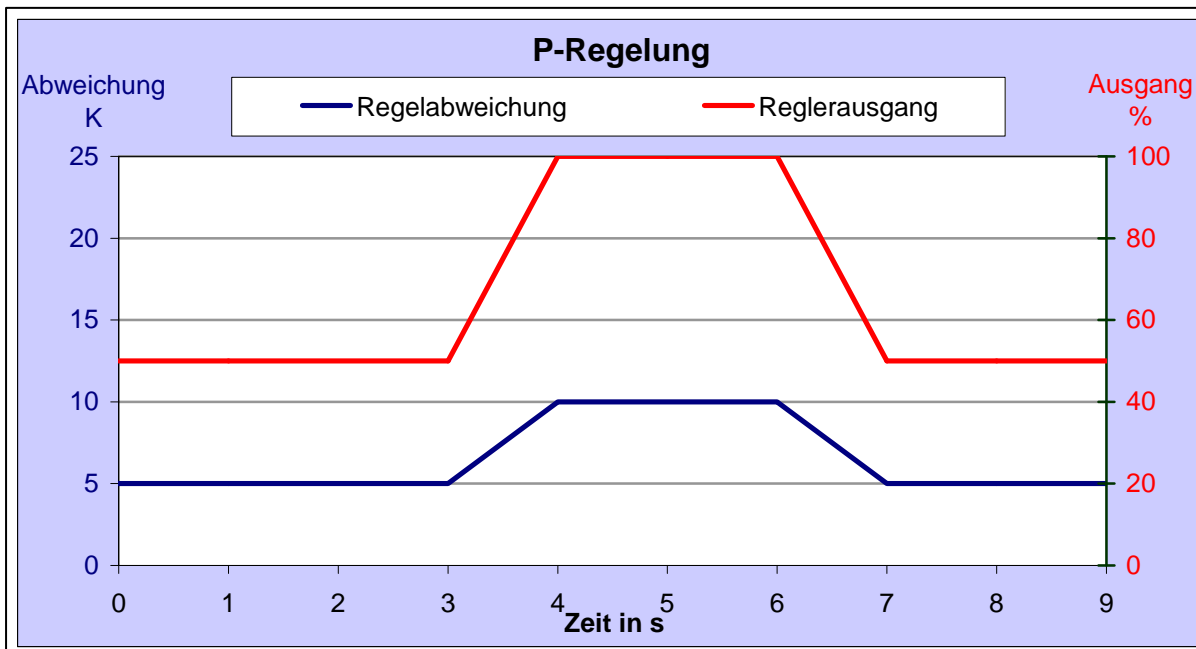
Sollwert:	W	= 25 °C	(z. B. die gewünschte min. Verflüssigungstemperatur $t_{cmin}$ )
Istwert:	X	= 20 °C	(z. B. die gemessene Verflüssigungstemperatur $t_c$ )
Abweichung	e	= 5 K	(Soll-Istwert)

*Reglereinstellungen:*

P-Faktor	Kp	= 10	(Faktor, mit dem die Abweichung multipliziert wird)
----------	----	------	---

*Reglerausgang:*

Stellsignal	Y	= 50 %	(Faktor x Abweichung 10 x 5 = 50)
-------------	---	--------	-----------------------------------



**Diagramm 2:** Verlauf einer P-Regelung

**Vorteil:**

Der P-Regler reagiert unmittelbar und schnell auf eine Veränderung der Regelgröße. Er ist über die gesamte Regelstrecke sehr stabil.

**Nachteil:**

Der P-Regler kann Störungen der Regelstrecke nicht komplett ausregeln. Es bleibt **immer** eine Regeldifferenz zwischen Soll- und Istwert.

**Eine Regelung mit einem P-Regler hat eine bleibende Regelabweichung!**

**I-Regler – Integralregler**

Die Stellgröße berechnet sich aus der Abweichung zwischen Soll- und Istwert. Diese Abweichung wird in festen zeitlichen Abständen erfasst und aufaddiert (integriert). Dieser Wert (I-Anteil) wird dann als Stellgröße Y am Reglerausgang ausgegeben.

Im folgenden Beispiel wird der Verlauf einer I-Regelung dargestellt.

*Reglereingänge:*

Sollwert: W = 25 °C (z.B. die gewünschte min. Verflüssigungstemperatur)  
 Istwert: X = 20 °C (z.B. die gemessene Verflüssigungstemperatur)  
 Abweichung e = 5 K (Soll-Istwert)

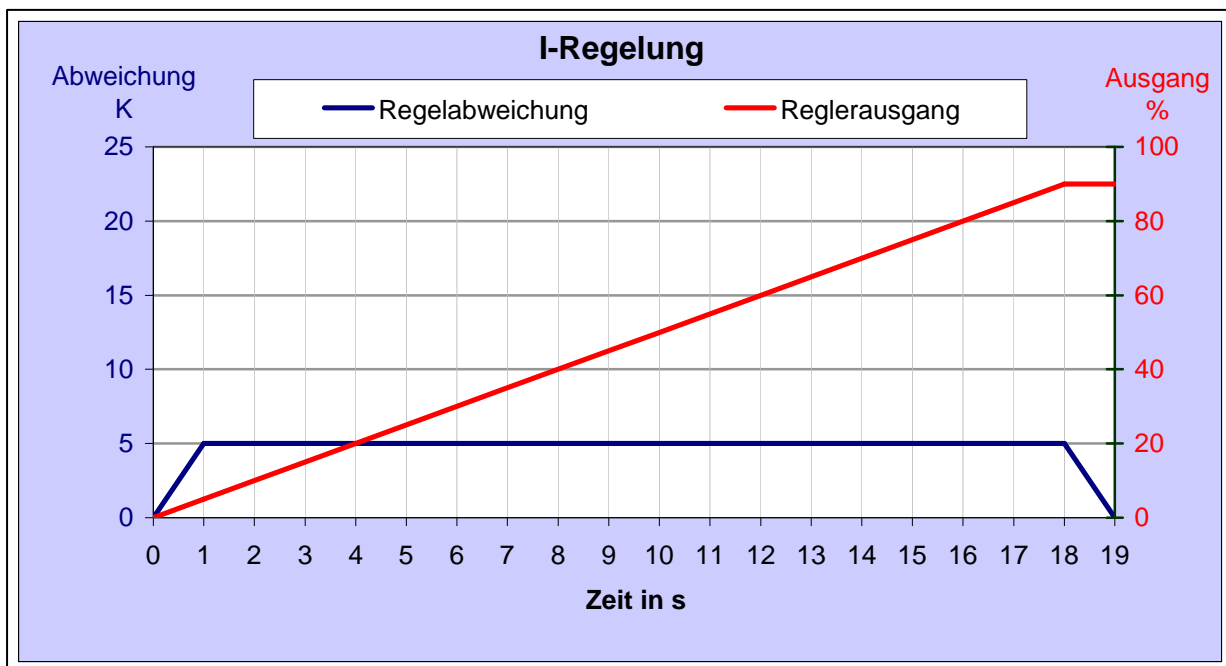
*Reglereinstellungen:*

Nachstellzeit I = 1 s (Nachstellzeit, in der der Regler die Abweichung aufaddiert)

*Reglerausgang:*

Stellsignal (1 s) Y = 5 % (Abweichung nach 1 s  $1 \text{ s} \times 5 = 5$ )  
 Stellsignal (10 s) Y = 50 % (Abweichung nach 10 s  $10 \text{ s} \times 5 = 50$ )

Der Regler addiert in diesem Beispiel pro 1 Sekunde die Abweichung von 5 K auf das Ausgangssignal.



**Diagramm 3:** Verlauf einer I-Regelung

**Vorteil:**

Der I-Regler stellt die Regelgröße exakt auf die Führungsgröße (den Sollwert) ein. Somit ist er in der Lage, die Regelabweichung komplett auszuregeln.

**Nachteil:**

Der I-Regler benötigt mehr Zeit für den Regelvorgang als ein P-Regler.

Somit kann er schnellen Veränderungen (z. B. Störungen) nicht zeitnah entgegenwirken. Des Weiteren kann ein I-Regler zu Schwingungen neigen.

**Eine Regelung mit einem I-Regler regelt sehr präzise und hat keine bleibende Regelabweichung!**

**PI-Regler - Proportionalregler + Integralregler**

Der PI-Regler ist eine Kombination aus dem Elementarregler P und dem Elementarregler I. Die Stellgröße berechnet sich aus beiden Teilen.

Die Abweichung zwischen Soll- und Istwert wird mit dem P-Faktor multipliziert. Dies ergibt den **P-Anteil** in der Stellgröße Y. Nun wird die Abweichung zwischen Soll- und Istwert in festen zeitlichen Abständen erfasst und aufaddiert. Dieser Wert, der sog. **I-Anteil**, wird dann ebenfalls zur berechneten Stellgröße Y addiert. Der Regelausgang ist somit immer die Summe beider Teile!

Im folgenden Beispiel (Diagramm 4) wird der Verlauf einer PI-Regelung dargestellt.

Reglereingänge:

Abweichung  $e = 5 \text{ K}$  (Soll-Istwert) 1 bis 10 s

Reglereinstellungen:

P-Faktor  $K_p = 10$  (Faktor, mit dem die Abweichung multipliziert wird)

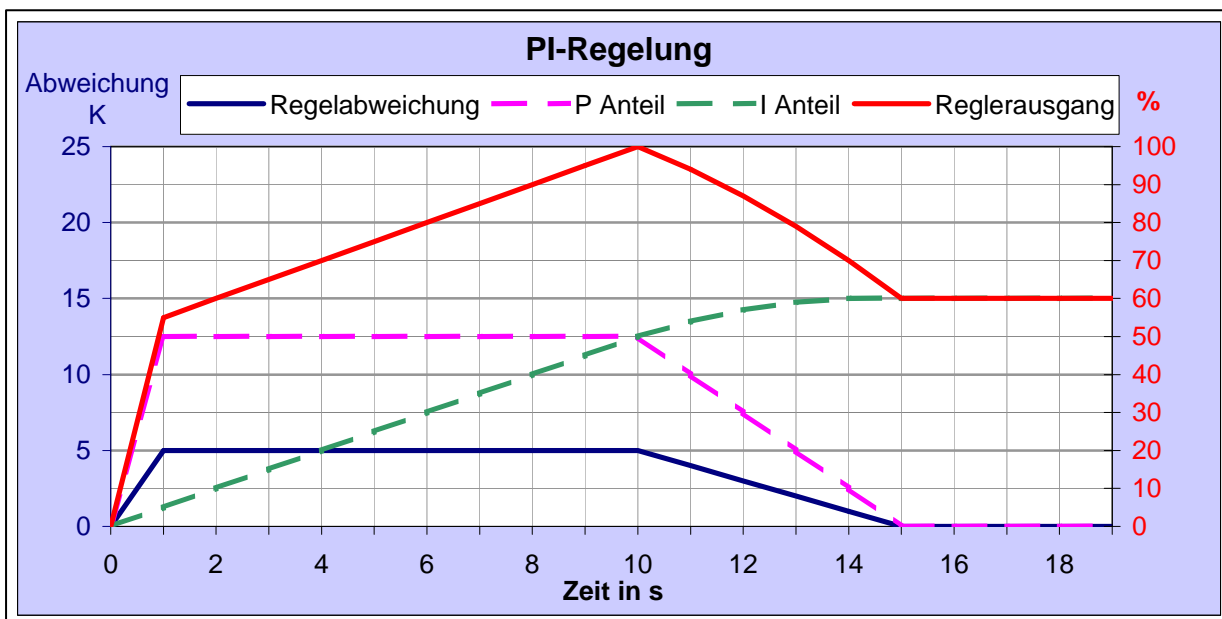
Nachstellzeit  $I = 16 \text{ s}$  (Nachstellzeit, in welcher der Regler die Abweichung aufaddiert)

Reglerausgang:

Stellsignal (1 s) Y	= 55 %	P-Anteil : Abweichung 5 K x P-Faktor 10	(5x10) = 50
		I -Anteil : Abweichung 5 K nach 1 s	(1x5) = 5
		Summe:	55

Stellsignal (10 s) Y	= 55 %	P-Anteil : Abweichung 5 K x P-Faktor 10	(5x10) = 50
		I -Anteil : Abweichung 5 K nach 1 s	(10x5) = 50
		Summe:	100

Der Regler berechnet beide Teile getrennt und addiert diese. Der P-Anteil ist das Produkt aus der Abweichung 5 K und einem P-Faktor von 10. Als I-Anteil wird pro Sekunde die Abweichung von 5 K aufaddiert. Nach 10 Sekunden wird die Abweichung geringer. Das hat zur Folge, dass der P-Anteil sofort zurück geht. Der I-Anteil bleibt auf seinem Niveau und hält den Ausgang auf diesem Wert. Selbst bei einer Regelabweichung von 0 K hält der I-Anteil den Ausgang weiterhin auf 60 %.



**Diagramm 4:** Verlauf einer PI-Regelung

Der P-Regler versucht, eine auftretende Regeldifferenz schnell abzufangen. Die I-Regler-Komponente beseitigt anschließend die restliche Regelabweichung.

**Eine Regelung mit einem PI-Regler arbeitet schnell und präzise. Diese Regelung hat keine bleibende Regelabweichung!**

### 5. Marktübliche Regelkonzepte

**Marktüblich werden viele Anlagen mit dem P-Band geregelt.**

Das Regelteil arbeitet als **P-Regler in einem bestimmten Arbeitsbereich, dem P-Band**. Dies bedeutet, dass innerhalb des P-Bandes proportional zum Signalanstieg (Druck, Temperatur oder Spannung) der Ausgang des Drehzahlreglers (Spannung oder Frequenz) und damit die Motordrehzahl erhöht wird. Bei dem **P-Band-Regler** pendelt sich die Anlage auf einen Wert innerhalb des P-Bandes ein. Dieser Wert ist abhängig von der abzuführenden Wärmemenge, der Umgebungstemperatur  $t_a$  und den Wärmeübertragungseigenschaften (k-Wert) des Verflüssigers.

Als Sollwert wird der untere Wert eingestellt. Mit dem zweiten Wert (das P-Band) wird der Bereich definiert, in dem der Ventilator geregelt wird.

Temperatur am Sollwert	bedeutet	Ventilatorumdrehzahl 0 %
Temperatur Sollwert + P-Band	bedeutet	Ventilatorumdrehzahl 100 %

#### Auswirkungen auf die min. Verflüssigungstemperatur

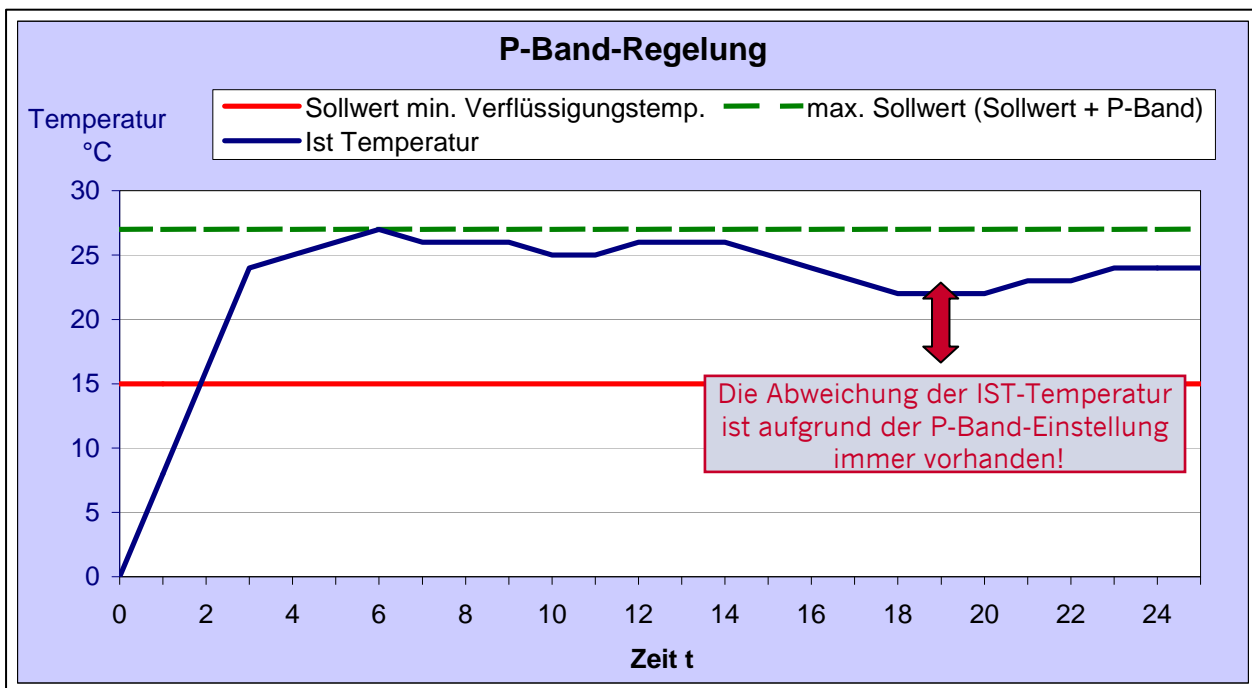
Prinzipiell bleibt bei dieser Strategie eine Regelabweichung vorhanden. Diese Abweichung lässt sich mit einem P-Band-Regler nicht vermeiden.

Aus diesem Grund wird als **Sollwert nicht die min. Verflüssigungstemperatur  $t_{\text{cmin}}$**  eingestellt, sondern ein Wert, der über dieser liegt. Das hat einen schlechteren COP zur Folge, wodurch Energie verschwendet wird.

Bei der P-Band-Regelung wird die Verflüssigungstemperatur nur im Bereich des P-Bandes geregelt. Dieses Verhalten ist in Diagramm 5 zu erkennen.

Die minimale Verflüssigungstemperatur liegt in dem Beispiel bei 15 °C. Diese wurde als Sollwert eingestellt. Für das P-Band wurden 10 K eingegeben.

Die Verflüssigungstemperatur schwankt nun weit über dem optimalen Wert von 15 °C.



**Diagramm 5:** P-Band-Regelung, Verlauf der Verflüssigungstemperatur

## 6. Die Regelungskonzepte von Güntner Controls

### Warum effiziente Regler, welches Ziel wird damit verfolgt?

Die Regler von Güntner Controls wurden mit dem Ziel entwickelt, den COP der Kälteanlagen bei maximaler Betriebssicherheit zu verbessern. Das Reduzieren des Energieverbrauchs und die damit verbundene Senkung der Betriebskosten werden durch die genaue und effiziente Regelung der Verflüssigungstemperatur erreicht. Dieses geschieht natürlich ohne Einschränkungen bei der Verfügbarkeit und Betriebssicherheit der Anlage. Auch die Transparenz bei der Inbetriebnahme und im Anlagenbetrieb steht im Fokus, um die Bedienbarkeit weiter zu verbessern.

### Effiziente Regelungskonzepte

Effiziente Regelungskonzepte bedeuten zum Einen eine innovative Bedienphilosophie und zum Anderen das Nutzen der positiven Eigenschaften von P- und I-Regelung.

#### Positiv bei der P-Regelung

Dieser P-Anteil **reagiert schnell auf Änderung** am Eingangssignal. Eine Änderung des Istwertes (hier Druck bzw. Temperatur) hat eine schnelle Änderung am Ausgang zur Folge. Die Drehzahl des Ventilators wird sofort und zeitnah angepasst.

#### Positiv bei der I-Regelung

Dieser I-Anteil hält das Ausgangssignal des Reglers und damit die Drehzahl des Ventilators auf einem berechneten Niveau, so dass auch **kleinste Abweichungen** zwischen Soll- und Istwert **ausgeregelt** werden können. Somit ist es möglich, dass der Regler einen Wert ausgibt, obwohl die Differenz zwischen Soll- und Istwert gleich Null ist.

Diese Güntner PI-Regler erfüllen die Anforderungen, um eine konstante Verflüssigungstemperatur zu erzielen. In Diagramm 6 ist der Verlauf von Soll-Verflüssigungstemperatur und Ist-Verflüssigungs-temperatur dargestellt.

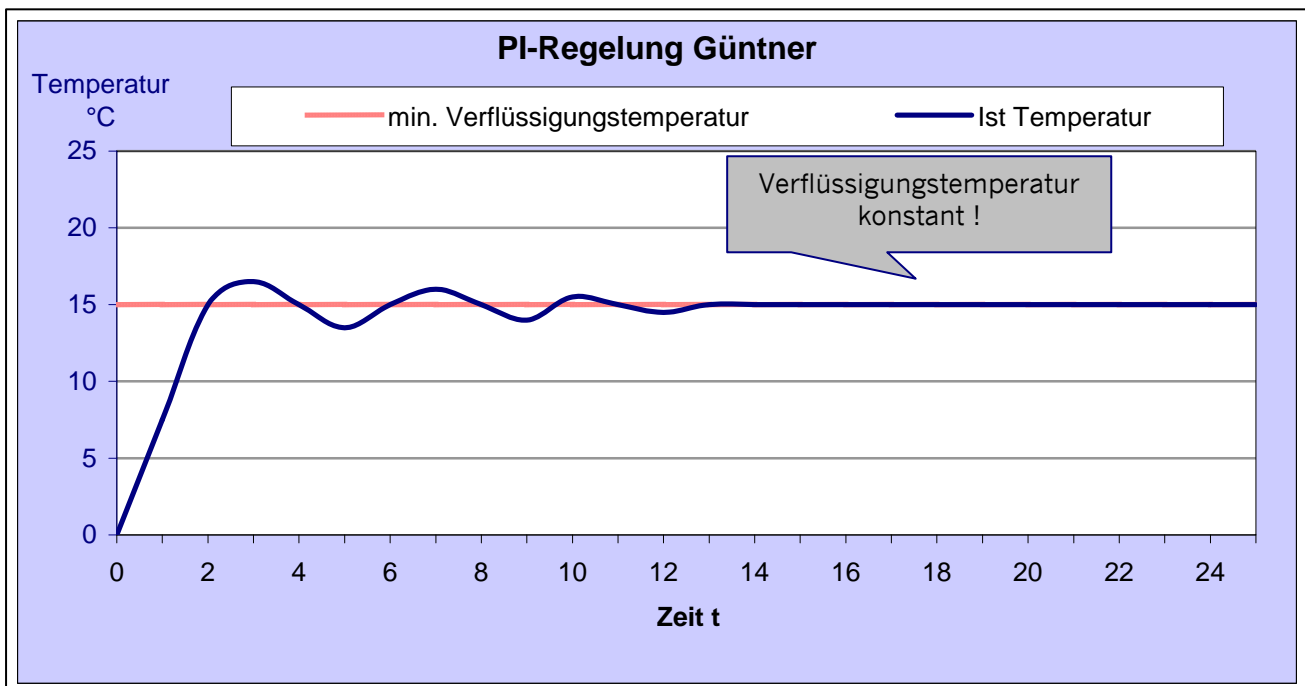


Diagramm 6: PI-Regelung Güntner, Verlauf der Verflüssigungstemperatur

Diese Regelungskonzepte bieten die Möglichkeit, einen vorgegebenen Sollwert zu erreichen. Damit ist es möglich, wenn es die Umgebungstemperatur zulässt, die min. Verflüssigungstemperatur einzuhalten und damit die erforderliche Verdichterantriebsleistung auf ein benötigtes Minimum zu reduzieren.



## **7. Eine innovative Bedienphilosophie für einfache Konfiguration und sicheren Anlagenbetrieb**

Kern der innovativen Bedienphilosophie ist ein Display, das erheblich mehr Transparenz bei der Inbetriebnahme und während des Anlagenbetriebs bietet. Alle Meldungen und Betriebszustände werden im Klartext dargestellt.

Folgende Informationen können jederzeit abgefragt werden:

- Alarmmeldungen
- Betriebszustände
- Sollwerte (z. B. min. Verflüssigungstemperatur)
- Istwerte (z. B. Verflüssigungsdruck und Verflüssigungstemperatur)

Während der Inbetriebnahme müssen nur noch folgende Parameter eingegeben werden.

Inbetriebnahme eines Verflüssigers

- Kältemittel
- min. Verflüssigungstemperatur

Inbetriebnahme eines Rückkühlers

- Sollwert für Rücklauftemperatur

**Weitere Einstellungen müssen nicht vorgenommen werden.**

*Diese einfache Konfiguration minimiert den zeitlichen Aufwand für die Inbetriebnahme.*

*Durch erheblich mehr Anlageninformation kann die Betriebssicherheit erhöht werden.*

*Beispielsweise können Wartungsintervalle optimiert und bevorstehenden Anlagenausfällen kann rechtzeitig entgegengewirkt werden.*

## **8. Die Systeme von energiesparenden Regelungsprodukten**

Egal, ob für AC-Ventilatoren oder EC-Ventilatoren, für alle gängigen Ventilatortechnologien bietet Güntner Controls die maßgeschneiderten Lösungen.

Die Güntner Motormanagements **GMM EC** und **GMM sincon** erfüllen genau die Anforderungen nach energieeffizienten Systemen, die in ihrer Bedienbarkeit einfach und übersichtlich aufgebaut sind.

Das GMM EC wurde speziell für den Einsatz mit EC-Ventilatoren entwickelt. Für AC-Ventilatoren steht das GMM sincon zur Verfügung. Beide Systeme zeichnen sich durch hocheffiziente Regelungsstrategien aus.

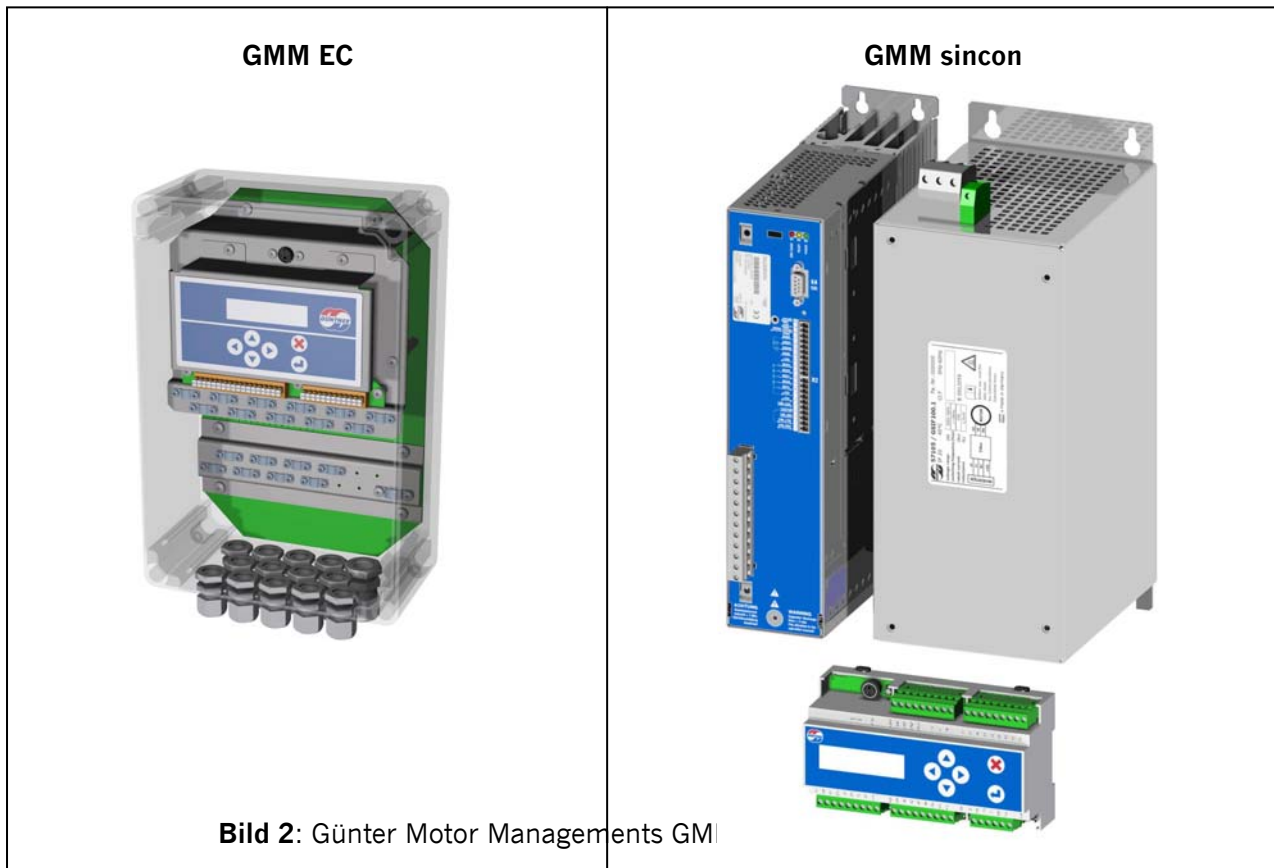
Als Systemmanager überwachen die Controller sämtliche betriebswichtigen Komponenten, von den Temperaturen der Ventilatoren über die Leistungselektronik bis hin zu Schaltschrankkomponenten (nur bei AC-Ventilatoren). Alle Leistungskomponenten des Schaltschranks bzw. die EC-Ventilatoren werden automatisch parametrieren.

Als Prozess-Regler regeln die GMM die Ventilator-Drehzahl in Abhängigkeit des Druck oder der Temperatur, steuern Prozesse und schaffen damit ein energieoptimiertes Wärmeaustauschersystem.

Natürlich werden hier Funktionen wie die PI-Regelungen eingesetzt. Darüber hinaus gibt es weitere energiesparende Funktionen wie das Low Capacity Motor Management LCMM und außentemperaturabhängige Sollwertschiebung, die einen energetisch optimalen Betrieb sicherstellen.

Als Informations-Manager bieten die GMM Kommunikationsschnittstellen zu übergeordneten Regelsystemen. Alle betriebswichtigen Informationen werden auf dem Display angezeigt und via Bussystem oder Standardschnittstelle für übergeordnete Systeme zur Verfügung gestellt. Somit können auch Energiedaten übertragen werden, die ein Einbinden der Wärmeaustauscher in Energiemanagement-Systeme ermöglichen.

Speziell für die Kältetechnik werden Funktionen wie fünf verschiedene Betriebsarten, externe Sollwertvorgabe, Nachtabsenkung und auch eine Bypass-Funktion für ein Höchstmaß an Betriebssicherheit angeboten.



## 9. Güntner Controls – Kompetenz in der Regelungstechnik

Der Geschäftsbereich Güntner Controls liefert seit Jahren leistungsfähige und qualitativ hochwertige Regler und Schaltschränke, die auf die Produktpalette der Güntner Wärmeaustauscher hervorragend abgestimmt sind. Der Einsatz der speziell für die Anforderungen in der Kältetechnik entwickelten Güntner Controls Produkte garantiert Ihnen eine lange Lebensdauer und energieeffizienten Betrieb der Anlagen.

Die Entwicklung und Fertigung der Regler gehört genauso zu unserer Kernkompetenz wie die Planung und Produktion leistungsfähiger Schaltschränke.

Das Produktportfolio von Güntner Controls gliedert sich in zwei Bereiche:

### Die Regler für AC-Ventilatoren

- Stufenregler
- Elektronischer Phasenanschnittregler für spannungsregelbare Ventilatoren
- GMM sincon – Frequenzregelung mit allpoligen Sinusfilter in Motor Management

### Die Regler für EC-Ventilatoren

- GMM EC – Drehzahlregelung und Motor Management für EC-Ventilatoren

### Die Schaltschränke mit Lastteil, mit und ohne Regler

- Kleinschaltschrank für die Leistungsklassen bis 25 A
- Wandschaltschrank für die Leistungsklassen bis 200 A
- Standschaltschrank für alle größeren Leistungsklassen



**Bild 3:** Güntner Schaltschrank

## 10. Zusammenfassung

Durch die richtige Auswahl der Regelstrategie ist es möglich, die Verflüssigungstemperatur und damit den Druck in der Kälteanlage auf ein Niveau zu regeln, welches zum Einen eine Einsparung bei den Energiekosten zur Folge hat und zum Anderen die Betriebssicherheit und hohe Anlagenverfügbarkeit sicherstellt. Diese Aufgabe wird von Güntner Verflüssigungsdruckreglern erfüllt. In diesen Reglern ist konsequent das PI-Regelungskonzept integriert. Über das Regelkonzept hinaus verfügen die Regler über eine innovative Bedienphilosophie, welche die Transparenz und damit die Bedienung und die Konfiguration erheblich verbessert.

### In der Praxis bietet dieses Konzept einige Vorteile:

Die Inbetriebnahmezeiten werden durch das einfache Einstellen und durch die Plug-and-Play-Funktionalitäten der Regler erheblich verkürzt. Diese Einstellungen können im Klartext gemacht werden. Auch Alarmsignale und Betriebsmeldungen werden dem Techniker im Display angezeigt. Somit sind schnelle Reaktionen bei Störungen möglich.

Weiterhin schafft die genaue Regelung am Verflüssiger stabilere Druckverhältnisse im Kältekreislauf, die die Betriebssicherheit der Kälteanlage erhöhen.

Ein letzter und sehr wichtiger Punkt ist die Energieeinsparung, die durch eine effiziente Regelung am Verflüssiger erzielt wird.

Mit dieser Generation von Güntner Verflüssigungsdruckreglern ist es möglich, die Anlage zu jedem Zeitpunkt im optimalen Betriebspunkt zu betreiben.