



Elektronische Systeme in Regelanlagen

Karl-Heinz Pflüger

Sonderdruck aus
"GWf Gas/Erdgas" 08/1993

Elektronische Systeme in Regelanlagen

Karl-Heinz Pflüger

Schlagwörter: Gas-Druckregelanlagen, Großverbraucher, Bezugsoptimierung, Netzpufferung, Anlagensicherheit, Gasnetz-sicherheit, elektrische Regelkreise, pneumatische Regelkreise

In der Vergangenheit sind viele Gas-Druckregelanlagen autark, d. h. eigenständig konzipiert und be-trieben worden. Die ihnen gestellten Regelaufgaben wurden damit erfüllt. Diese Anlagen wurden mit rein pneumatisch arbeitenden Regel- und Sicherheitsgeräten ausgerüstet, die mit dem Eigenmedium Erdgas als Hilfsenergie arbeiten. Die weitere Automatisierung hat dann dazu geführt, daß mittels elektrischer Stellantriebe eine fernwirktechnische Verstellung von Sollwerten pneumatischer Druck- und Durchflußregelungen (Blendenregelung) möglich wurde. Heutige Prozeßautomatisierungen er-fordern eine sehr viel komplexere Ausführung der Regelanlagen. Gerade im Hinblick auf die Netz-auslastung bzw. Bezugsoptimierung und Kontrolle der Anlagen über eine Prozeßleitwarte wird eine Kopplung bisheriger bewährter und DVGW-abgenommener pneumatischer Regelkreise mit überla-gerten elektronischen Regelkreisen zu einem wichtigen Faktor in der Anlagenplanung. Im nachfol-genden werden die Realisierungsmöglichkeiten solcher elektronischer überlagerter Prozeßführungen mit unterlagerten pneumatischen Regelkreisen erläutert.

1. Allgemeiner Aufbau von Anlagen

Die Anlagen zur Gas-Druckregelung sind modular auf-gebaut (s. *Bild 1*) und bestehen im wesentlichen aus den Einheiten Vorwärmung, Sicherung, Regelung, Mes-sung.

Ältere Anlagen sind meistens so konzipiert, daß der Druck pneumatisch geregelt wird und ein mechanischer Gaszähler mit Umwerter die Durchflußmenge regi-striert (s. *Bild 2*).

Zur Anlagensicherung werden druckseitig Sicherheits-absperrentile (SAV) und Sicherheitsabblasventile (SBV) verwendet. Zum Schutz des Gaszählers ist eine Blende eingebaut. Sind in älteren Anlagen Fernverstel-lungen des Sollwertes für Durchfluß erforderlich, so wird dies i. allg. durch einen elektrischen Stellantrieb realisiert, der die Sollwertschraube des Reglers verstellt. Das Differenzdruck-Signal der Blende wird einer Δp -Regelstufe aufgeschaltet, die automatisch den max. Durchfluß der Anlage überwacht [1]. Die Differenz-druckregelung erfolgt gemäß

$$q_n = K \cdot \sqrt{\Delta p \cdot p} \quad \text{für Normaldurchfluß}$$

bzw.

$$q_B = K \cdot \sqrt{\Delta p / p} \quad \text{für Betriebsdurchfluß.}$$

Man sieht, daß durch die Regelung des Differenzdruckes Δp nur dann ein definierter Durchfluß geregelt wird, wenn der Druck p konstant bleibt. Auch ist wegen des quadratischen Zusammenhanges

$$\Delta p \sim q^2$$

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Pflüger, RMG Regel + Meßtechnik GmbH.

am pneumatischen Differenzdruckregler nur ein rel. kleiner Durchflußbereich von max. 1:5 bis 1:7 einstell-bar. Der Anwendungsbereich wird unter Berücksichti-gung möglicher statischer Druckänderungen p an der Blende zusätzlich noch weiter eingeschränkt.

Im Gegensatz zu einer Differenzdruckregelung mit Blende mit einem Arbeitsbereich von kleiner 1:7 haben Zähler einen Durchflußbereich von 1:20 und mehr.

Diese Diskrepanz zwischen dem Arbeitsbereich eines Zählers und dem eingeschränkten Arbeitsbereich einer Blende hat dazu geführt, daß die bei den modernen neuen elektronischen Gaszählern und Umwertern (Flowcomputern) vorhandenen elektronischen Signale selbst für regelungstechnische Zwecke verwendet wer-den.

Die heute aufgrund hoher Anforderungen der Gasnetz-führung oft notwendige „Prozeßführung“ von einer zentralen Leitwarte aus erfordert zudem eine neue Kon-zeption der Kopplung elektronischer Führungen mit unterlagerten pneumatischen Regelkreisen in Gasanla-gen.

2. Aufbau einer Gas-Druckregelanlage mit moderner elektronischer Prozeßführung

Die elektronische Prozeßführung ist aufgrund gestiege-ner Anforderungen (wie z. B. Netzauslastung, Bezugsoptimierung [2], Zählerschutz) in vielen Gas-Druckre-gelanlagen, auch Altanlagen, erforderlich geworden.

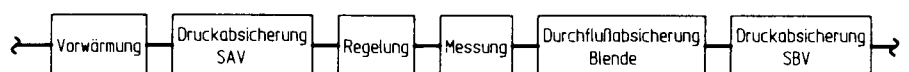


Bild 1. Modularer Aufbau einer Gas-Druckregelanlage (Prinzipieller Aufbau einer Schiene).

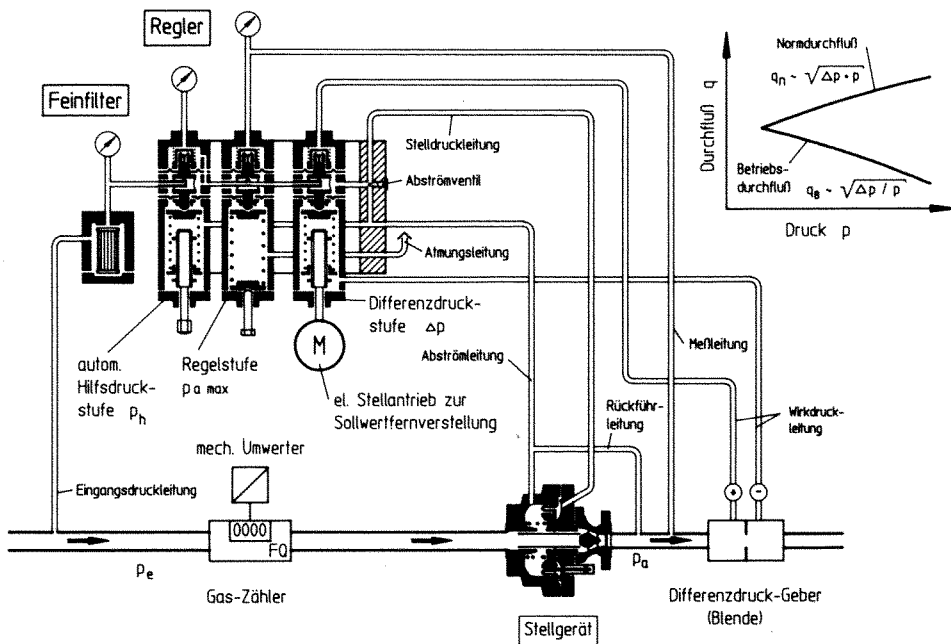


Bild 2. Gas-Druckregelgerät mit Druck- und Differenzdruckregelung mit Sollwert-Fernverstellung.

Der allgemeine regelungstechnische Aufbau einer solchen Gas-Druckregelanlage ist nachfolgend dargestellt und wird im weiteren beschrieben (s. Bild 3).

Gas-Druckregelgeräte arbeiten normalerweise ohne Fremdenergie. Die zum Verstellen des Stellgliedes erforderliche Leistung wird der Regelstrecke bzw. dem Druckgefälle zwischen Ein- und Ausgang des Gas-Druckregelgerätes entnommen.

Die überlagerte elektronische Prozeßführung der Leitwarte sowie die elektronischen Signale von Druckaufnehmern, Zählersignalen usw. in der Anlage selbst verlangen Schnittstellenanpassungen zwischen der Elektronik und den pneumatisch arbeitenden Gas-Druckregelgeräten.

Der Aufbau sieht vor, daß die jeweilige Anlage regelungstechnisch weitgehend autark arbeitet und nur von der Netzleitwarte geführt wird. Bei Ausfall der Führungssignale arbeitet die Anlage selbständig weiter; dazu sind alle erforderlichen elektronischen Regelkreise in der Anlage selbst integriert.

Die Anwendung moderner elektronischer Regler in der Anlage ermöglicht eine weitgehend individuelle Anpassung an die gestellten Regelaufgaben. Vorhandene Standard-Software kann leicht an die besonderen Aufgaben einer Anlage angepaßt werden. Diese Software wird in einem EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), also einer elektrisch löschbaren Schreib-Leseinheit, abgelegt. Notwendige Änderungen aufgrund neuer Vorgaben können somit kurzfristig erfolgen, ohne daß an der Gesamtstruktur etwas geändert werden muß.

Alle notwendigen Signale wie Normdurchfluß für bspw. Bezugsoptimierung sowie Betriebsdurchfluß zum Zählerschutz und Druck zur Druckregelung werden den elektronischen Reglern zur Verfügung gestellt, die aufgrund der Auswertung Soll-/Ist-Wert Stellsignale

erzeugen, die eine Angleichung des Ist-Wertes an den jeweiligen Sollwert zur Folge haben.

Diese Stellsignale werden einem Auswahlrelais zugeführt, welches entscheidet, welcher Regelkreis Vorrang hat und damit z. Z. aktiv arbeitet. Alle anderen Regler arbeiten selbstverständlich im Hintergrund weiter, so daß sie bei Bedarf direkt eingreifen können.

Ein automatischer Übergang zwischen den einzelnen Regelkreisen ist somit jederzeit gegeben.

Mittels einer besonderen Schaltung der elektronischen Regler wird dafür gesorgt, daß alle Stellsignale der z. Z. nicht aktiven Regler nur um wenige Prozent von dem zur Zeit aktiven Stellsignal entfernt stehen. Die

sonst durch den Integralanteil der nicht aktiven Regler auftretende Integralsättigung der zugehörigen Stellsignale wird damit wirksam verhindert. Ein schneller Eingriff beim Übergang von einem auf einen anderen Regler ist somit jederzeit gewährleistet.

Für die Weiterverarbeitung des ausgefilterten Stellsignals wurden neue Bausteine, bestehend aus einem Pulspausenmodulator und einer elektro-pneumatischen Stelldruckstufe, entwickelt. Die Anwendung elektronischer Regler in Verbindung mit einem Pulspausenmodulator und einer elektropneumatischen Stelldruckstufe sowie den pneumatischen Begrenzungsreglern weist einige Besonderheiten auf:

Bei vorübergehendem Ausfall des Fernwirksignals der Netzleitwarte wird der letzte Sollwert gespeichert und mit diesem dann internen Soll-Wert weitergefahren. Die Rückschaltung erfolgt automatisch.

Bei der Verbindung der überlagerten elektronischen Regelkreise mit der pneumatischen Funktionsweise eines Gas-Druckregelgerätes bleibt die Netzsicherheit selbst bei Ausfall der Stromversorgung in der Station durch die pneumatischen Komponenten erhalten. Hierbei wird ein unterer Druck-Grenzwert (Versorgungssicherheit) und ein oberer Druck-Grenzwert (max. Betriebsdruck) von herkömmlicher DIN-DVGW-zugelassener Technik überwacht.

Zwischen diesen beiden Grenzen können beliebige, von elektronischen Regelkreisen vorgegebene Durchfluß- oder Druckregelaufgaben erfüllt werden.

Das Zeitverhalten (Druckänderungsgeschwindigkeit) des zur Speicherung verwendeten Gasnetzes ist im wesentlichen von der Differenz zwischen Einspeise- und Abnahme-Volumenstrom und dem Netzvolumen abhängig [3].

Die Bestimmung der Druckänderungsgeschwindigkeit im Netzvolumen läßt Rückschlüsse über das dynami-

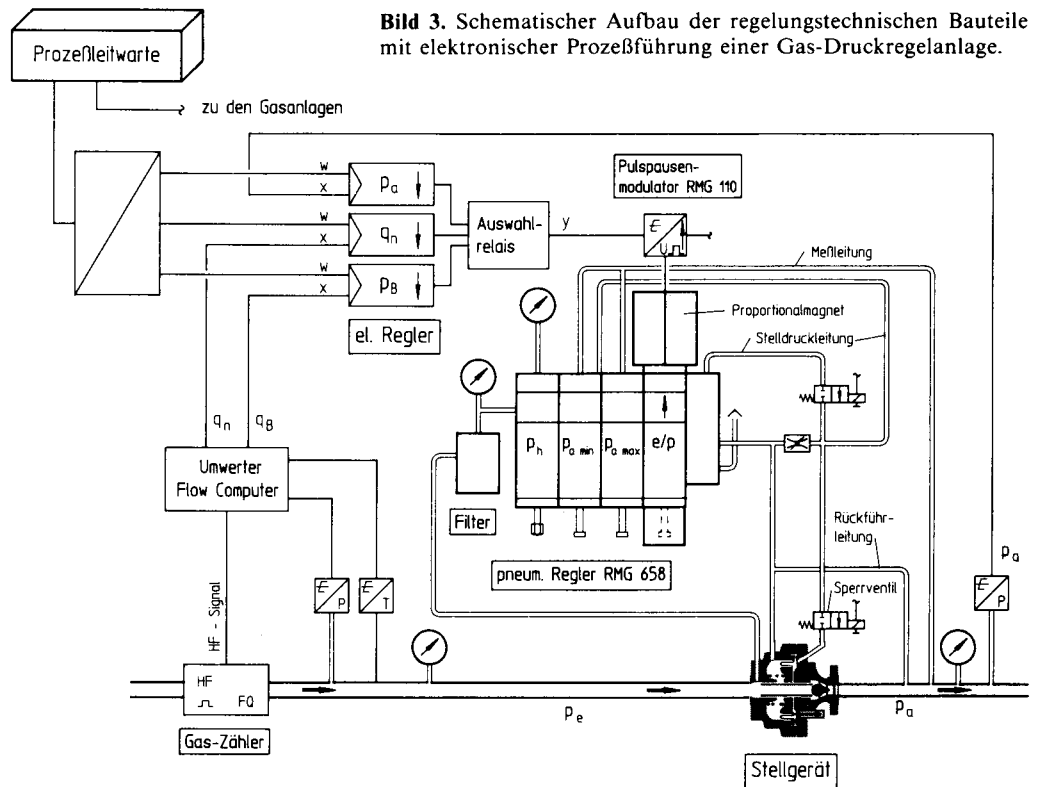


Bild 3. Schematischer Aufbau der regelungstechnischen Bauteile mit elektronischer Prozeßführung einer Gas-Druckregelanlage.

sche Verhalten der Gaspufferung zu. Für die Ermittlung der Druckänderungsgeschwindigkeit kann die Näherungsformel

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \approx 0,3 \frac{q_n \text{ Einspeisung} - q_n \text{ Abnahme}}{V}$$

$$\frac{\Delta p [\text{mbar}]}{\Delta t [\text{sec}]} \approx 0,3 \frac{(q_n) \text{ Einspeisung} - (q_n) \text{ Abnahme} [\text{m}^3/\text{h}]}{V [\text{m}^3]}$$

verwendet werden.

Es wird bei dieser neuen Ausführung keine zusätzliche pneumatische Hilfsenergieversorgung benötigt, und es tritt bei der Umsetzung der elektrischen Signale auf pneumatische Signale kein Verlustgas auf, weil die Signalumsetzung direkt erfolgt.

Der pneumatische 4stufige Regler ist modular aufgebaut und besteht aus einzelnen Funktionsbausteinen, die auf einer gemeinsamen Grundplatte angeordnet sind (s. Bild 4).

Die pneumatischen Druckregelstufen überwachen die vorgegebenen Grenzwerte. Werden diese Grenzwerte durch die Betriebsweise der Anlage erreicht, so treten sie automatisch in Regelfunktion und halten dann den Ausgangsdruck konstant (Begrenzungsregler).

Der Übergang zwischen der von der elektronischen Regelung gesteuerten elektro-pneumatischen Stelldruckstufe und den Druckbegrenzungsreglern erfolgt in beiden Richtungen selbständig und stoßfrei.

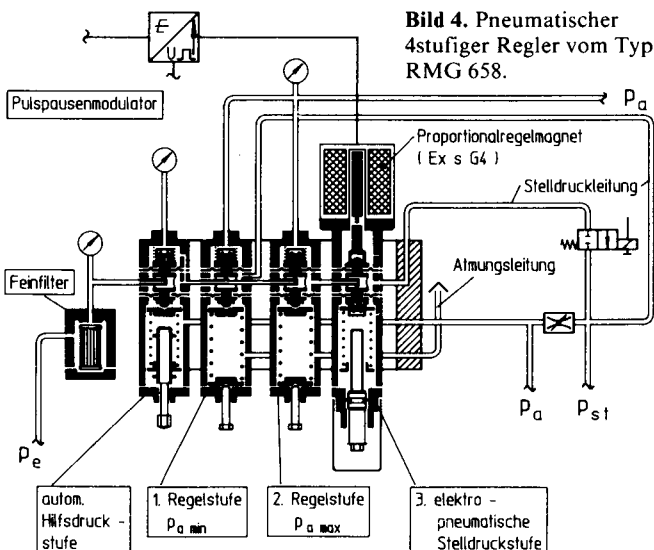


Bild 4. Pneumatischer 4stufiger Regler vom Typ RMG 658.

3. Funktion der Schnittstellenbausteine – elektro-pneumatische Stelldruckstufe und Puls-pausenmodulator –

Die elektro-pneumatische Stelldruckstufe ist mit einem Proportionalmagneten ausgerüstet, der auf ein Düse-Prallplattensystem mit Doppelmembran einwirkt (s. Bild 5).

Die Kraft des Proportionalmagneten erzeugt mittels einer vorgespannten Druckfeder einen proportionalen Hub des Düse-Prallplattensystems und bewirkt damit die für die Regelaufgabe benötigte Stelldruckeinstellung.

Der Arbeitspunkt (Ansprechen der Stelldruckstufe) kann feinfühlig über ein Differentialgewinde an der elektro-pneumatischen Stelldruckstufe eingestellt werden.

Mittels eines Meßkoeffers erfolgt die Einstellung am Pulsphasenmodulator für den Arbeitsbereich des Proportionalmagneten.

Zur Ansteuerung des Proportionalmagneten an der elektro-pneumatischen Stelldruckstufe kommt ein Pulsphasensignal zur Anwendung, welches von einem Pulsphasenmodulator mit einem mA-Signal eines elektronischen Reglers erzeugt wird (s. Bild 6).

Das Pulsphasensignal arbeitet zwischen 0 V und 24 V mit ca. 2000 Hz Taktfrequenz. Durch die hohe Frequenz ist weitgehend ein hysteresefreies Arbeiten des Proportionalmagneten gewährleistet. Innerhalb der einzelnen Takte wird in Abhängigkeit des Eingangssignales nur für eine bestimmte Zeit Spannung aufgegeben. Dadurch ergibt sich für den Proportionalmagneten eine definierte Energiezuführung, welche dann in eine proportionale Kraft umgewandelt wird.

Die nachfolgenden Parameter des Pulsphasenmodulators sind u. a. einstellbar:

Eingang: 0/4–20 mA; 0–10 V,
Ausgang: Pulsphasensignal (24 V),
Kennlinie: steigend oder fallend.

Für die elektro-pneumatische Stelldruckstufe steht ebenfalls eine Ausführung „Kennlinie fallend“ sowie „Kennlinie steigend“ zur Verfügung. Durch die Wahl der Kennlinie kann das Verhalten der Anlage bei Störungen bestimmt werden (z. B. bei Ausfall der elektrischen Energie soll das Gas-Druckregelgerät schließen, aber nur so lange, bis der pneumatische untere Grenzwert des Begrenzungsreglers p_{amin} erreicht wird).

Der gesamte schematische Wirkzusammenhang des Pulsphasenmodulators und der elektro-pneumatischen Stelldruckstufe ist in Bild 7 dargestellt.

Selbstverständlich kann auch für einfachere Anlagenschaltungen das mA-Signal eines Gaszählers oder Umwerterers direkt als Meßsignal zur Ansteuerung eines Pulsphasenmodulators mit nachfolgenden elektro-pneumatischen Regelstufe verwendet werden.

4. Schaltungsbeispiel

Im nachfolgenden wird ein Schaltungsbeispiel einer Anlage beschreiben, die mittels Bezugsoptimierung von einer Prozeßleitwarte mit Normdurchfluß q_n geführt wird und bei der ebenfalls ein Betriebsdurchflußregler q_B als Durchflußbegrenzer für den Zählerschutz sorgt. Die Anlage soll mit pneumatischen Reglern für p_{amin} (Versorgungssicherheit) und p_{max} (max. Betriebsdruck) abgesichert werden (Begrenzungsregler).

Zudem soll die Möglichkeit bestehen, bei einer Störung vorübergehend den letzten Durchfluß weiterzufahren.

Der Gas-Druckregelanlage ist ein großvolumiges Rohrnetz zur Netz-Speicherung nachgeschaltet.

Grundlage der Beschreibung ist das Bild 3, jedoch ohne elektronische Druckregelung.

Über das externe Signal eines Prozeßrechners (z. B. Bezugsoptimierung) wird am elektronischen Regler ein

Bild 5. Elektro-pneumatische (e/p) Stelldruckstufe.

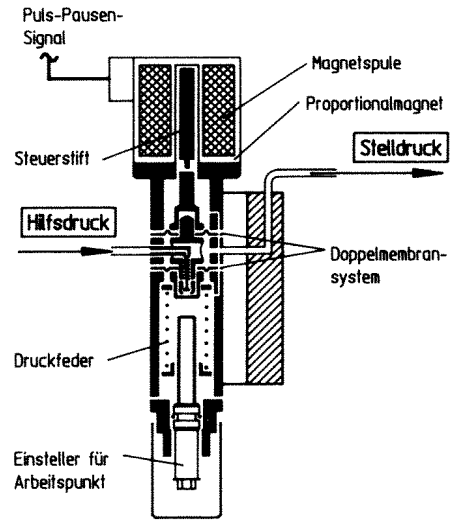


Bild 6. Kennlinie des Pulsphasenmodulators RMG 110.

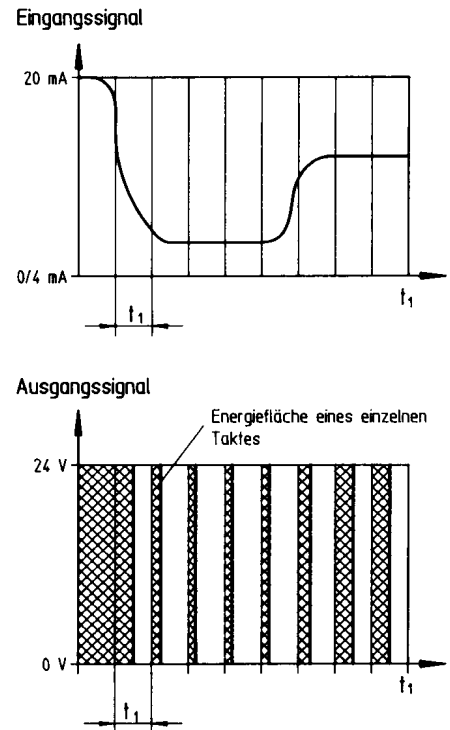
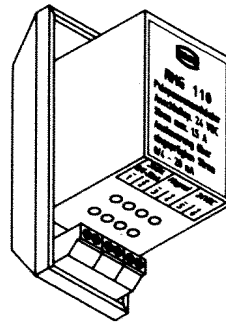
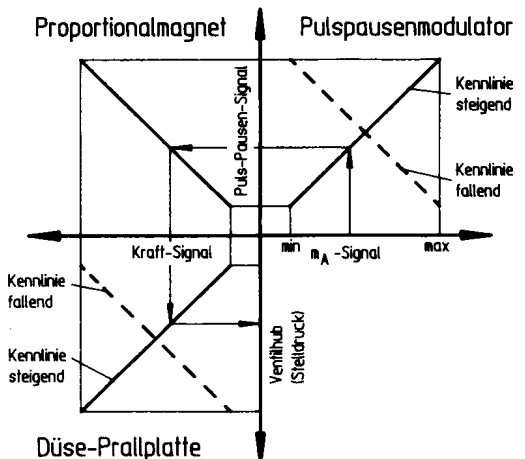


Bild 7. Schematischer Kennlinien-zusammenhang des Pulsphasenmodulators und der elektro-pneumatischen Stelldruckstufe.

$$t_1 = \text{konstant}$$

$$\text{Frequenz } f = \frac{1}{T_1} = 2 \text{ kHz}$$



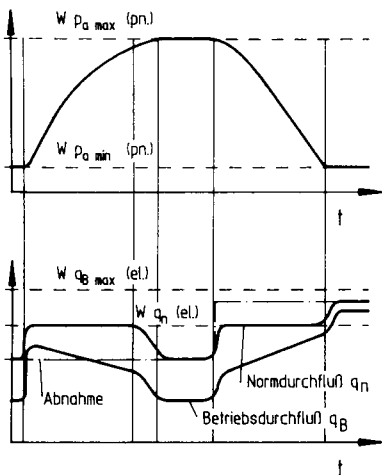


Bild 8. Beschreibung des Funktionsverhaltens einer elektronischen Norm- und Betriebsdurchflußregelung mit pneumatischen Begrenzungsreglern.

Normdurchfluß vorgegeben. Da der durch die Bezugsoptimierung vorgegebene Normdurchfluß der Einspeisung in den wenigsten Fällen mit der Abnahme übereinstimmt, wird es zu einer Druckänderung im Rohrleitungsvolumen kommen.

Wird durch diese Druckänderung ein von den pneumatischen Druckbegrenzungsreglern für obere oder untere Druckabsicherung überwachter Druck erreicht, wird automatisch dieser Druck geregelt.

Besonders zu beachten ist hierbei, daß bei Ansprechen des unteren Begrenzungsreglers eine erhöhte Leistung entsprechend der derzeitigen Abnahme eingespeist wird. Der Regler hat in bezug auf die Netzsicherheit (Versorgungssicherheit) höchste Priorität und berücksichtigt daher beim Ansprechen weder eine max. Tarifmenge noch eine mögliche Überlastung des Gaszählers. Gleiche Priorität hat natürlich auch der Begrenzungsregler für max. Betriebsdruck, jedoch geht die Leistung bei Ansprechen dieses Reglers entsprechend der derzeitigen Abnahme zurück.

Innerhalb des von den Begrenzungsreglern p_{amin} und p_{amax} vorgegebenen Arbeitsfensters kann die Anlage beliebige Durchflüsse fahren. Damit jedoch bei großen Netzen beim dynamischen Ausregeln vorgegebener Sollwerte keine Überlastung des Gaszählers eintritt, begrenzt der elektronische Betriebsdurchflußregler automatisch den max. Betriebsdurchfluß (Zählerschutz). Der Übergang zwischen den einzelnen Reglern erfolgt stoßfrei in beiden Richtungen. Der interne Sollwert der elektronischen Regler kann mitgeführt werden, so daß bei vorübergehendem Ausfall des Fernwirksignales von der Leitwarte mit dem letzten gespeicherten Wert weitergefahren werden kann. Die Rückschaltung auf das Fernwirksignal erfolgt automatisch, wenn das Fernwirksignal wieder freigegeben ist.

Bei Ausfall der elektronischen Energie in der Anlage geht das Stellglied selbsttätig in die sichere Geschlos-

senstellung bis der Ausgangsdruck auf p_{amin} abgefallen ist und der Begrenzungsregler für untere Druckabsicherung die Leistung automatisch übernimmt.

Wahlweise ist es auch möglich, vorübergehend die letzte Stellgliedstellung des Stellgerätes zu sperren und dadurch den zuletzt gefahrenen Durchfluß beizubehalten. Dazu wird der Stelldruck im Stellgerät mittels eines Sperrventils (2/2-Magnetventil) eingekammert.

Im Bild 8 sind grafisch über einer Zeitachse mögliche Lastzustände aufgezeichnet.

Der vorgenannte Aufbau kann vielfältig variiert und auch für Gas-Druckregelgeräte mit Drosselmembran in ähnlicher Weise angewendet werden.

5. Zusammenfassung

Moderne Gas-Druckregelanlagen werden heute mittels einer zentralen Netzwaite geführt. Die Anlagen selbst sind in der Grundkonzeption mit bewährten DIN-DVGW-registrierten Gas-Druckregelgeräten mit pneumatischen Druckreglern, die als Begrenzungsregler für einen min. bzw. max. Druck ausgeführt sind, ausgestattet.

Für die Netzführung (z. B. Bezugsoptimierung) sind überlagerte elektronische Regler in der Anlage vorgesehen, die im Bedarfsfall auch bei vorübergehendem Ausfall des Fernwirksignals automatisch mit dem internen letzten Soll-Wert weiterfahren.

Programmierbare elektronische Regler in der Anlage ermöglichen dabei eine einfache individuelle Anpassung an die Aufgabenstellung einer Gasanlage.

Die notwendige Konfigurierung wird dazu aus Standardausführungen abgeleitet und in dem EEPROM des elektronischen Reglers abgelegt. Die Schnittstelle zwischen den elektronischen Regelungen mit Einheitsignalen wie z. B. mA-Signalen und den pneumatischen Bausteinen wird mittels moderner Bauelemente wie dem Pulspausenmodulator und einer elektro-pneumatischen Stelldruckstufe realisiert. Diese Verschaltung kommt ohne pneumatische Hilfsenergie für die Signalumsetzung aus (ohne Verlustgas) und gewährt somit eine optimale Kopplung zwischen der Elektronik und der Pneumatik.

Literatur

- [1] Fischer, R.: Regler für Gas-Druckregelgeräte mit Hilfsenergie. gwf-gas/erdgas 119 (1978) Nr. 2, S. 63/70.
- [2] Cerbe, G.: Grundlagen der Gastechnik. München/Wien: Carl Hanser Verlag. Aufl. 1992, ISBN 3-446-17049-9.
- [3] Fischer, R.: Dynamisches Verhalten von Gas-Druckregelgeräten mit Hilfsenergie. gwf-Gas/Erdgas 133 (1992) Nr. 8, S. 377/381.