



# **Dynamisches Verhalten von Gas-Druckregelgeräten mit Hilfsenergie**

**Dipl.-Ing. Rudolf Fischer**

Sonderdruck aus  
"gwf-Gas/Erdgas", Heft 08/1992

# Dynamisches Verhalten von Gas-Druckregelgeräten mit Hilfsenergie

Rudolf Fischer

**Schlagwörter:** Gas-Druckregelanlagen, Großverbraucher, SAV-Umlastung, Not-Abschaltung, Durchflußänderung, Druckänderungsgeschwindigkeit, Regelkreise, Stellgeschwindigkeit, Regelabweichung

Gas-Druckregelgeräte mit Hilfsenergie, die zur Versorgung von Großverbrauchern (Industriebetrieben und Kraftwerken) eingesetzt werden, müssen auch Grenzsituationen wie eine durch das Ansprechen der Sicherheitsabsperrentile (SAV) ausgelöste Umlastung von der Betriebs- auf die Reserve-schiene oder eine Not-Abschaltung des Verbrauchers beherrschen. Die Wirkung des sog. inneren Regelkreises, d. h. die direkte Aufschaltung der Regelgröße auf den Stellantrieb, gewährleistet, daß diese hochdynamischen Vorgänge mit vertretbaren Regelabweichungen ablaufen können. Bei der Anlagenplanung ist allerdings zu beachten, daß ein vom max. Durchfluß abhängiges Rohrleitungsvolumen zwischen der Einspeise- und der Verbrauchsstelle installiert wird.

Gas-Druckregelgeräte werden in die Ausführungsformen „ohne Hilfsenergie“ und „mit Hilfsenergie“ unterteilt [1].

Kennzeichnendes Merkmal der ohne Hilfsenergie arbeitenden Gas-Druckregelgeräte ist, daß die Verstellung des Stellgliedes unmittelbar über die auf den Stellantrieb wirkende Regelgröße (Ausgangsdruck) erfolgt. Geräte dieser Art werden daher auch als direktwirkende Regelgeräte bezeichnet; sie sind zumeist federbelastet ausgeführt.

Bei Gas-Druckregelgeräten mit Hilfsenergie erfolgt der Soll-/Istwert-Vergleich in einem separaten Regler. Ausgangsgröße des Reglers ist der Stelldruck, der über den Stellantrieb die erforderliche Ventilöffnung des Stellgliedes bestimmt. Geräte mit Hilfsenergie sind somit indirekt wirkende Systeme, die gegenüber den Geräten ohne Hilfsenergie ein langsames Verstellverhalten aufweisen.

Bei der Versorgung von Gas-Verbrauchseinrichtungen (Brenneranlagen) werden an die zugehörigen Regelgeräte aufgrund der schlagartigen Zu- bzw. Abschaltvorgänge und der kleinen Rohrleitungsvolumina zwischen Einspeise- und Verbrauchsstelle hohe dynamische Anforderungen gestellt. Es kommen im Normalfall federbelastete Gas-Druckregelgeräte ohne Hilfsenergie zur Anwendung, die diesen Anforderungen gerecht werden. Das dynamische Verhalten von Gas-Druckregelgeräten, die ohne Hilfsenergie arbeiten, ist in der Vergangenheit oft untersucht und in vielen Veröffentlichungen dargestellt worden [2 bis 4]. Zudem gibt es mehrere Ansätze, dieses Verhalten auch mathematisch zu beschreiben [5; 6]. Mit Hilfsenergie arbeitende Gas-Druckregelgeräte werden zumeist in Übergabe- und Verteiler-Stationen eingesetzt, denen große geometrische Rohrleitungsvolumina nachgeschaltet sind. Verbrauchs- und Eingangsdruckänderungen verlaufen zudem rel. langsam, so daß an die Dynamik der Regelgeräte keine besonders hohen Ansprüche gestellt werden müssen.

---

Dipl.-Ing. Rudolf Fischer, Regel + Meßtechnik GmbH.

Anders sieht es aus, wenn diese Geräte bei Großverbrauchern, z. B. zur Versorgung von Fabrikations- und Kraftwerksanlagen, zum Einsatz kommen:

Für den Normalbetrieb der Verbrauchseinrichtungen ergeben sich erfahrungsgemäß keine Probleme. Die Geräte müssen aber auch Grenzsituationen wie z. B. eine Not-Abschaltung oder eine Umlastung von der Betriebs- auf die Reserveschiene infolge SAV-Schluß beherrschen. Dabei ist u. U. der gesamte Stellweg des Gas-Druckregelgerätes in wenigen Sekunden zu durchfahren.

### 1. Gas-Druckregelgerät mit Hilfsenergie

Bei den mit Hilfsenergie arbeitenden Gas-Druckregelgeräten (s. Bilder 1 und 2) sind zwei überlagerte Regelkreise bekannt. Dabei bestimmt der äußere Regelkreis die Genauigkeit und der innere Regelkreis die Stellgeschwindigkeit.

Durch die Vermaschung der beiden Regelkreise ist ein sehr komplexes pneumatisches System gegeben. Die bei schnellen Stellbewegungen ablaufenden Vorgänge lassen sich mathematisch nur sehr schwierig beschreiben. Darauf wird aber auch innerhalb dieser Veröffentlichung nicht eingegangen; vielmehr sollen dem Planer praktische Hinweise gegeben werden.

Maßnahmen zur Beherrschung extremer dynamischer Vorgänge sind nämlich bereits bei der Planung der Gesamtanlage zu berücksichtigen. Bei bestehenden Anlagen hat der Betreiber nur noch begrenzte Möglichkeiten, auf die Stellgeschwindigkeit Einfluß zu nehmen.

Der Regler eines mit Hilfsenergie arbeitenden Gas-Druckregelgerätes beinhaltet alle Elemente, mit denen der Praktiker das Verhalten des Gerätes an die Gegebenheiten der Regelstrecke anpassen kann:

- Höhe des Hilfsdruckes,
- Größe der Steuergas-Abströmung,
- Härte (Federrate) der Sollwertfeder.

Mit diesen Eingriffsmöglichkeiten kann die Regelkreisverstärkung verändert und damit in erster Linie Einfluß auf die Regelgenauigkeit genommen werden [7].

Die Stellgeschwindigkeit des Regelgerätes ist damit aber wegen der rel.

kleinen Verstärkerdüsen im Regler und der großen Stelldruckräume im Stellgerät nur in einem sehr begrenzten Maße zu beeinflussen.

### 2. Wirkung des inneren Regelkreises

Wie bereits ausgesagt, ist bei Gas-Druckregelgeräten, die mit Hilfsenergie arbeiten, der innere Regelkreis bestimmend für das Verhalten bei sehr schnell verlaufenden Vorgängen.

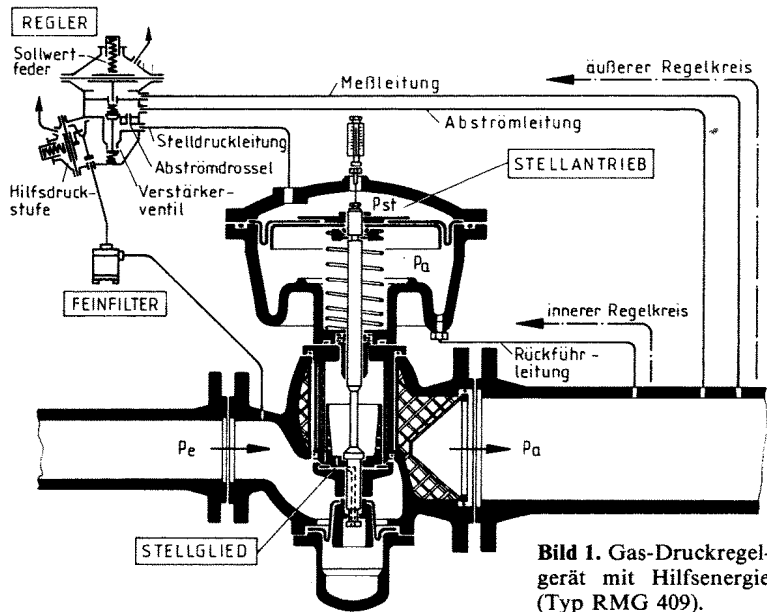


Bild 1. Gas-Druckregelgerät mit Hilfsenergie (Typ RMG 409).

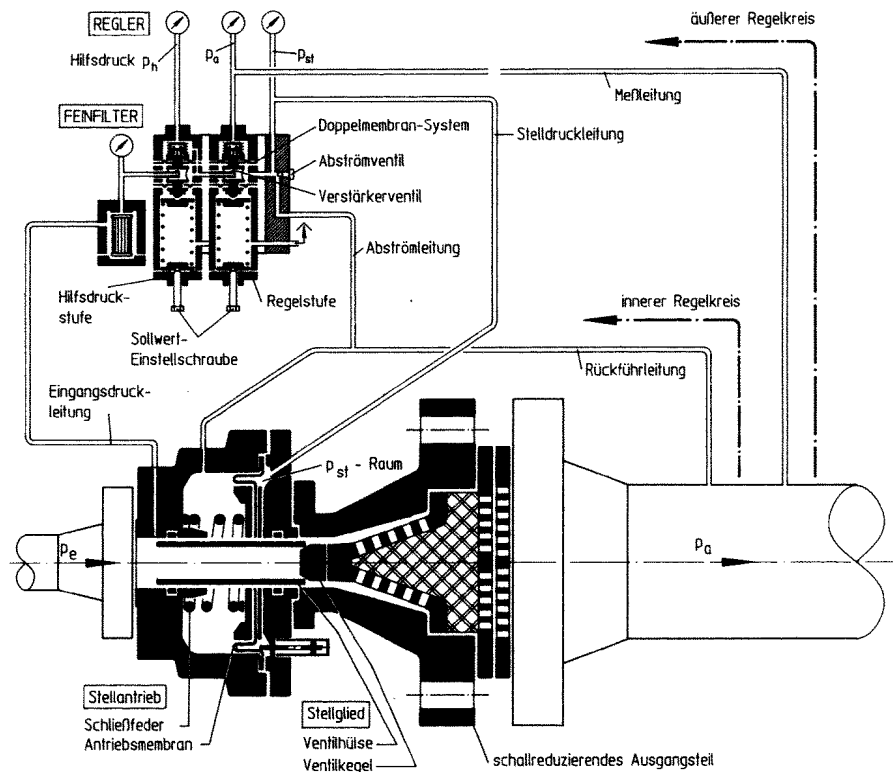
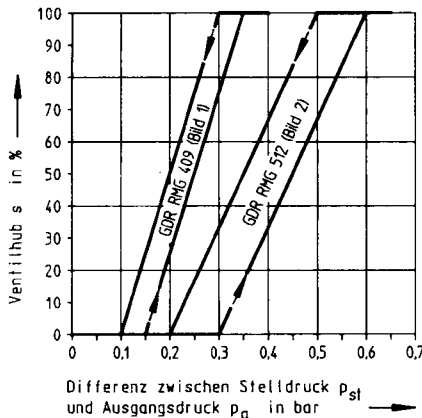


Bild 2. Gas-Druckregelgerät mit Hilfsenergie (Typ RMG 512 - Stellglied mit axialem Durchgang).



**Bild 3.** Stelldruck-Hub-Kennlinien der Gas-Druckregelgeräte gem. Bild 1 und Bild 2.

Im inneren Regelkreis wird der Ausgangsdruck auf die in Schließrichtung wirkende Seite des Stellantriebes rückgeführt. Die andere Seite wird vom Stelldruck (erzeugt im äußeren Regelkreis) beaufschlagt.

Bestimmend für die Offenstellung des Stellgliedes ist immer die Differenz zwischen Stell- und Ausgangsdruck. Um z. B. eine Öffnungsbewegung einzuleiten, ist es daher gleichgültig, ob der Stelldruck ansteigt oder der Ausgangsdruck abfällt.

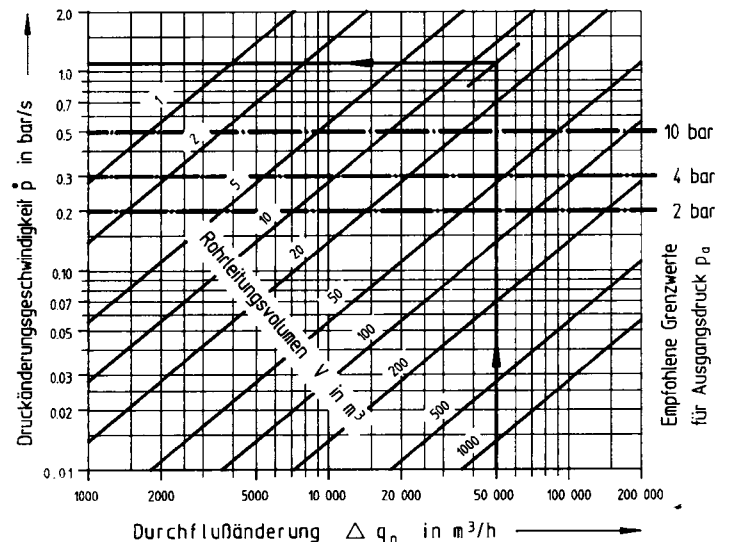
Ausgangsdruckänderungen nehmen also direkten Einfluß auf die Stellgliedstellung. Der innere Regelkreis erfüllt somit die Merkmale eines ohne Hilfsenergie arbeitenden Regelgerätes, das sich durch ein sehr schnelles Stellverhalten auszeichnet.

Der positive Einfluß des inneren Regelkreises auf die Stellgeschwindigkeit des mit Hilfsenergie arbeitenden Regelgerätes ist allerdings nur dann gegeben, wenn während der Verstellvorgänge größere Regelabweichungen zugelassen werden. Dabei wird der Zusammenhang zwischen Ausgangsdruckänderung und direkter Beeinflussung der Stellgliedstellung von der Stelldruck-Hub-Kennlinie des jeweiligen Stellgerätes bestimmt.

Aus Bild 3 kann abgelesen werden, daß der Gerätetyp gem. Bild 1 deutlich früher auf Ausgangsdruckänderungen reagiert als der Gerätetyp gem. Bild 2. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die Rückführleitung so groß dimensioniert wurde, daß die in der Regelstrecke gegebenen Druckwerte ohne wesentliche Zeitverzögerung dem Stellantrieb zugeschaltet werden. Zudem muß man sich aber auch im klaren darüber sein, daß die vom inneren Regelkreis beeinflussten Vorgänge nicht zeitlos ablaufen können.

### 3. Druckänderungs-Geschwindigkeit

Für die Beurteilung, ob in einer Gas-Druckregelanlage bei extremen Vorgängen Probleme zu erwarten sind, kann Bild 4 herangezogen werden. In diesem Diagramm ist der Zusammenhang zwischen einer plötzlichen Durchflußänderung und der Geschwindigkeit dar-



**Bild 4.** Druckänderungsgeschwindigkeit in einer Rohrleitung bei plötzlicher Durchflußänderung.

gestellt, mit der der Ausgangsdruck nach einer solchen Änderung beginnt anzusteigen oder abzufallen.

Am Beispiel eines Kraftwerkes, das von einer Gas-Druckregelanlage versorgt wird, die auf dem Kraftwerksgelände angeordnet ist, soll die Aussagefähigkeit des Diagrammes erläutert werden:

Die Regelanlage arbeitet mit folgenden Betriebsdaten:

Ausgangsdruck der Betriebsschiene  $p_a = 4$  bar,  
 Ausgangsdruck der Reserveschiene  $p_a = 3,5$  bar,  
 max. Durchfluß  $q_n = 50000$  m<sup>3</sup>/h.

Die Rohrleitung zwischen der Regelanlage und den Brennern hat ein geometrisches Volumen von ca. 12,5 m<sup>3</sup> (Nennweite DN 400, Länge 100 m).

Es wird ein SAV-Schluß in der Betriebsschiene bei max. Kraftwerksleistung angenommen. Damit wird die Einspeisung schlagartig unterbrochen, die Auspeisung aus dem Rohrleitungsvolumen geht unverändert weiter. Die Versorgung des Kraftwerkes muß von der Reserveschiene übernommen werden. Das Kraftwerk geht automatisch außer Betrieb, wenn dabei der Ausgangsdruck die Grenze von 2 bar unterschreitet (Druckmangelabschaltung).

Aus Bild 4 kann abgelesen werden, daß der Ausgangsdruck nach dem Schließen des SAVs mit einer Geschwindigkeit von 1,1 bar pro Sekunde absinkt. Vom Erreichen des Ausgangsdruck-Sollwertes, auf den das Regelgerät der Reserveschiene eingestellt ist, bis zum Grenzdruck, bei dem das Kraftwerk wegen Druckmangels abgeschaltet wird, steht also lediglich eine Zeit von 1,4 Sekunden zur Verfügung.

Es ist sofort einzusehen, daß das Regelgerät der Reserveschiene nicht in der Lage ist, innerhalb dieser kurzen Zeitspanne die Leistung von 50000 m<sup>3</sup>/h zu übernehmen.

Als Anhaltswert für die Zeit, in der eine Reserveschiene den Bedarf eines Verbrauchers problemlos übernehmen kann, gilt eine Grenze von 3 Sekunden bis 5 Sekunden.

Um in dieser Zeit den Ausgangsdruck nicht zu stark absinken zu lassen, werden für die anfängliche Druckänderungsgeschwindigkeit folgende Grenzwerte empfohlen:

- Ausgangsdruck 2 bar  $\dot{p}_{\max} = 0,2 \text{ bar/s}$ ,
- Ausgangsdruck 4 bar  $\dot{p}_{\max} = 0,3 \text{ bar/s}$ ,
- Ausgangsdruck 10 bar  $\dot{p}_{\max} = 0,5 \text{ bar/s}$ .

Die genannten Grenzgeschwindigkeiten sind dann eingehalten, wenn zwischen der Einspeise- und der Verbrauchsstelle die nachstehenden Rohrleitungsvolumina für jeweils 1000 m<sup>3</sup>/h Durchfluß installiert werden.

- Ausgangsdruck 2 bar  
normiertes Volumen ca. 1,5 m<sup>3</sup>/1000 m<sup>3</sup>/h,
- Ausgangsdruck 4 bar  
normiertes Volumen ca. 1,0 m<sup>3</sup>/1000 m<sup>3</sup>/h,
- Ausgangsdruck 10 bar  
normiertes Volumen ca. 0,6 m<sup>3</sup>/1000 m<sup>3</sup>/h.

#### 4. Praktische Messungen

Die Bilder 5 und 6 zeigen den oszillografierten Druckverlauf in zwei Gas-Druckregelanlagen bei der Umlastung der max. Leistung von der Betriebs- auf die Reserveschiene durch Schließen des Sicherheitsabsperrentventiles.

Bei der Anlage gem. Bild 5 war zwischen Einspeise- und Verbrauchsstelle ein geometrisches Rohrleitungsvolumen von ca. 120 m<sup>3</sup> gegeben. Der max. Gasbedarf betrug 83 000 m<sup>3</sup>/h. Normiert auf einen Durchfluß von 1000 m<sup>3</sup>/h stand somit ein Rohrleitungsvolumen von 1,45 m<sup>3</sup> pro 1000 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung. Ein Wert also, der sehr viel günstiger ist als die vorstehende Empfehlung von 1 m<sup>3</sup> pro 1000 m<sup>3</sup>/h bei 4 bar Ausgangsdruck.

Nach dem Absinken des Ausgangsdruckes auf den Sollwert der Reserveschiene ist der Stelldruckaufbau zu erkennen. Nach ca. 5 Sekunden und einem Druckabfall von ca. 0,5 bar unter den Sollwert der Reserveschiene hat sich ein Gleichgewicht zwischen Einspeisung und Verbrauch eingestellt; der Druck fällt nicht weiter ab. Nach ca. 15 Sekunden ist der Umschaltvorgang vollständig abgeschlossen.

Das Bild 5 zeigt deutlich, daß Stelldruckaufbau und Ausgangsdruckabfall gemeinsam die erforderliche Druckdifferenz am Stellantrieb für das Öffnen des Stellgerätes bewirken. Außerdem ist erkennbar, daß der Ausgangsdruck nach dem Schließen des Sicherheitsabsperrentventiles mit einer Geschwindigkeit abfällt, die auch aus Bild 4 abgelesen werden kann,

Bild 6 dokumentiert die SAV-Umlastung in einer Anlage, die ein Turbinenkraftwerk mit 23 000 m<sup>3</sup>/h versorgt. Hier ist im Vergleich zum Durchfluß ein extrem kleines Rohrleitungsvolumen von nur 3,6 m<sup>3</sup> zwischen der Einspeise- und der Entnahmestelle gegeben. Das normierte Rohrleitungsvolumen von 0,16 m<sup>3</sup> pro 1000 m<sup>3</sup>/h liegt deutlich unter den Grenzempfehlungen gem. Bild 4. Bei den gegebenen Verhältnissen wird sich anfänglich eine Druckabfallgeschwindigkeit von 1,8 bar/s einstellen.

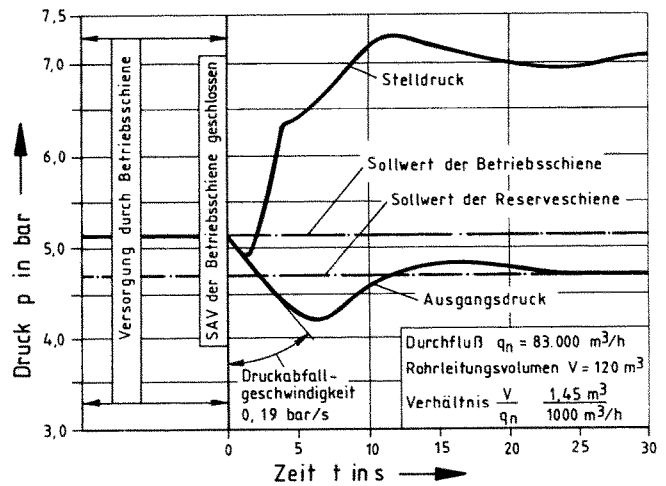


Bild 5. SAV-Umlastung bei günstigem Verhältnis zwischen Rohrleitungsvolumen und Durchfluß.

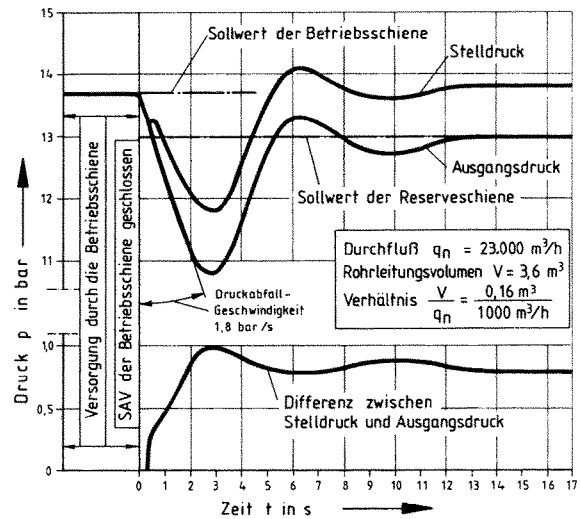


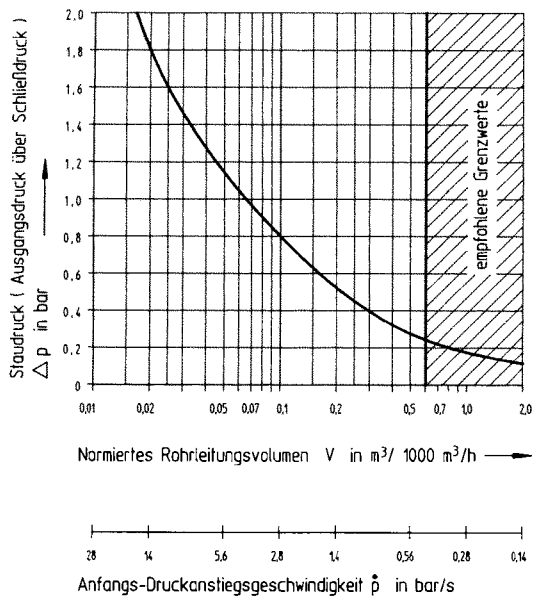
Bild 6. SAV-Umlastung bei ungünstigem Verhältnis zwischen Rohrleitungsvolumen und Durchfluß.

Das Rohrleitungsvolumen wurde in der Planungsphase zwar als sehr klein erkannt, da aber erhebliche Zugeständnisse beim zulässigen Druckabfall gemacht werden konnten, wurde eine Volumenerweiterung vom Ergebnis praktischer Messungen abhängig gemacht.

Der Druckverlauf bestätigt zunächst ebenfalls die Übereinstimmung der Druckabfallgeschwindigkeit mit den Werten gem. Bild 4. Es zeigt sich aber auch, daß hier lediglich der auf den Stellantrieb wirkende Ausgangsdruck die Ventilöffnung herbeiführt:

Beim Erreichen des Sollwertes der Reserveschiene ist ein kurzer Stelldruckaufbau zu erkennen. Der weiterhin rapide abfallende Ausgangsdruck erzeugt dann am Stellantrieb sehr schnell die für die Einleitung der Öffnungsbewegung erforderliche Druckdifferenz.

Die durch den Ausgangsdruckabfall bewirkte weitere Hubbewegung verläuft dann so rasant, daß der Regler den mit der Vergrößerung des Stelldruckraumes verbundenen Stelldruckabfall nicht ausgleichen, geschweige denn einen Stelldruckaufbau bewirken kann. Bei diesen Verhältnissen ist also einzig der starke Aus-



**Bild 7.** Anstieg des Ausgangsdruckes bei schlagartiger Reduzierung des Durchflusses auf Null.

gangsdruckabfall dafür verantwortlich, daß nach 2 Sekunden die volle Leistungsübernahme durch das Reservergerät geschehen ist. Dabei mußte allerdings eine Ausgangsdruckabweichung von fast 2,5 bar unter den Sollwert der Reserveschiene in Kauf genommen werden. Nach insgesamt 10 Sekunden war auch dieser Umlastvorgang vollständig abgeschlossen.

Aus dem Verlauf des Stelldruckes in *Bild 6* kann eine weitere Maßnahme zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens abgeleitet werden: Wie bereits ausgesagt, ist immer die Differenz zwischen Stell- und Ausgangsdruck für die Öffnung des Regelgerätes verantwortlich. Wenn es also gelingt, den Stelldruck nicht so weit abfallen zu lassen, wird auch der Ausgangsdruck nicht so weit absinken müssen.

Über den Regler selbst ist es wegen der kurzen Zeit kaum möglich, den Stelldruck zu beeinflussen. Wenn aber das Stelldruckvolumen vergrößert wird, hat die mit der Hubbewegung verbundene Volumenzunahme nicht mehr einen so starken Abfall des Stelldruckes zur Folge. Praktische Messungen haben bestätigt, daß eine deutliche Vergrößerung des Stelldruckvolumens eine wesentliche Reduzierung des normalerweise gegebenen Ausgangsdruckabfalles zur Folge hat.

Auch bei einer plötzlichen Abnahmereduzierung, z. B. bei der Not-Abschaltung eines Kraftwerkes, erweist sich die Rückführung des Ausgangsdruckes auf den Stellantrieb als eine höchst wirksame Einrichtung. Natürlich spielt auch bei diesen Vorgängen das Verhältnis zwischen dem abgeschalteten Durchfluß und dem geometrischen Rohrleitungsvolumen zwischen dem Regelgerät und dem Verbraucher eine entscheidende Rolle.

*Bild 7* läßt erkennen, daß bei Einhaltung der im Abschn. 3 genannten Empfehlungen bezüglich der

Größe des Rohrleitungsvolumens der normale Schließdruck nur unwesentlich überschritten wird.

Je ungünstiger sich dieses Verhältnis aber darstellt, je größer also die anfängliche Druckanstiegsgeschwindigkeit ist, um so höher wird der „Staudruck“ sein, der sich in der Regelstrecke einstellt.

## 5. Zusammenfassung

Bei den in der öffentlichen Gasversorgung eingesetzten Gas-Druckregelgeräten mit Hilfsenergie erweist sich die Rückführung des Ausgangsdruckes auf den Stellantrieb in bezug auf die Stellgeschwindigkeit als eine sehr positive Maßnahme. Gegenüber den herkömmlichen, mit Einheitssignal arbeitenden pneumatischen Regelgeräten können durch die direkte Einflußnahme der Regelgröße auf die Stellgliedstellung extrem hohe Stellgeschwindigkeiten erreicht werden. Grenzsituationen wie eine SAV-Umlastung oder eine Not-Abschaltung werden daher von den Gas-Druckregelgeräten mit Hilfsenergie in Anlagen zur direkten Versorgung von Großverbrauchern sicher beherrscht, wenn zwischen Einspeise- und Verbrauchsstelle ein bestimmtes Mindestrohrleitungssystem gegeben ist. Die Größe des erforderlichen Rohrleitungsvolumens ist vom maximalen Durchfluß und vom jeweiligen Ausgangsdruck abhängig und muß bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden.

Die vorgestellten Meßergebnisse gelten natürlich zunächst nur für die in den jeweiligen Anlagen verwendeten Regelgeräte; sie können aber für vergleichbare Anlagen als Anhaltswerte dienen.

## Literatur

- [1] DIN 3380: Gas-Druckregelgeräte für Eingangsdrücke bis 100 bar. Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Ausg. Dez. 1973.
- [2] John, M.: Ausbreitung von Druckstößen beim Schließen von Stellgliedern von Gasverbrauchseinrichtungen. DVGW-Schriftenreihe Gas-Nr. 4, 1974, Seite 26/31.
- [3] Fallen, M.: Untersuchungen von Störungen von Gasbrenneranlagen; Berücksichtigung des Schließverhaltens von Magnetventilen. gwf-Gas/Erdgas 129 (1988) Nr. 9, S. 432/443.
- [4] Pigeau, M. I.: Alimentation en gaz des installations à fonctionnement cyclique, gas des chaufferies. Conférence prononcée aux journées de perfectionnement „La détente du gaz“ organisée par l'Association technique de l'industrie du gaz en France à Paris les 10 et 24 avril 1974.
- [5] Virag, Z., Doliner, Z. und Sunić, M.: Gas-Druckminderungsanlage – Analyse von Abnahmeschwankungen. GASWÄRME International 39 (1990) Nr. 12, S. 529/533.
- [6] Desprets, M. u. Stein, K.: Untersuchung der Störungen der Gasdruckverhältnisse durch die schnelle Aktion der Sicherheitsschieber bei den Anwendungen mittlerer und hoher Leistung. Association technique de l'industrie du gaz en France Congrès 1975.
- [7] Fischer, R.: Regler für Gas-Druckregelgeräte mit Hilfsenergie. gwf-gas/erdgas 119 (1978) Nr. 2, S. 63/70.