



# **Gas-Druckregelgeräte und Regelstrecken für Gasmotoren**

**Karl-Heinz Pflüger und Karl-Heinz Wagner**

Sonderdruck aus  
"GWF Gas/Erdgas" 04/1999

# Gas-Druckregelgeräte und Regelstrecken für Gasmotoren

Karl-Heinz Pflüger und Karlheinz Wagner

**Schlagwörter: Messen · Steuern · Regeln, Ausrüstung einer Gasmotorenanlage, Gas-Regelstrecke, Ausführungsarten, eingesetzte Geräte, Normen und Vorschriften**

Dezentrale Energiestationen wie z. B. BHKW mit Gasmotoren finden auf dem Energiesektor einen bedeutenden Markt, der jedoch sehr von den jeweiligen länderspezifischen Stromgesetzen abhängt. Für die Gasmotoren werden heute kompakte Gas-Regelstrecken eingesetzt. Sie sind den Normen, Vorschriften sowie örtlichen Betriebsbedingungen und dem jeweiligen Gasmotorentyp entsprechend mit allen Geräten zur Filterung, Sicherung, automatischen Gasabspernung, Druckregelung und evtl. Gasmengenzählung ausgerüstet. Der grundsätzliche Aufbau erfolgt u. a. in Anlehnung an die Norm DIN 4788 Teil 2 und ist als Teil des Gasmotors anzusehen.

The application of decentral powerplants e.g. CHPS with gas engines, will find important markets on the energy sector, nevertheless also depending on country-specific energy rules. Nowadays compact gas regulating units will be used for gas engines. They are equipped with all accessories for filtration, safety, automatic gas shut-off, pressure control and gas volume metering, if necessary, according to the standards, specifications and local operating conditions. The basic assembly follows the standard DIN 4788 part 2 and can be seen as a part of the of the gas engine.

## 1. Einleitung

Mittels Gasmotoren wird Brenngas verfeuert und in Elektrische und Wärmeenergie umgesetzt. Die Bereitstellung des Brenngases erfolgt über Sicherheitseinrichtungen, Gas-Druckregelgeräte und weitere erforderliche Geräte. Abhängig vom Gasmotorentyp, der Brenngasqualität und den jeweils vorliegenden Betriebsbedingungen müssen diese Geräte ausgelegt werden und einen sicheren und zuverlässigen Betrieb gewährleisten. Normen und Vorschriften legen zudem den grundsätzlichen Aufbau fest. Neben der vorläufigen Prüfgrundlage VP 109 [1] sind dies die TRD 412-Ausrüstung [2] und die Norm DIN 4788 Teil 2 [3]. Die Bereitstellung der Brenngase erfolgt heute grundsätzlich über Gas-Regelstrecken, in denen die vorgenannten Geräte zusammengefaßt sind.

Nachfolgend werden sowohl Anforderungen an das Umfeld einer Gasmotorenanlage als auch die eingesetzten Geräte und Gas-Regelstreckentypen beschrieben.

## 2. Allgemeine Anforderungen

Die Aufstellung von Gasmotoren erfolgt in der Regel in einem Maschinenhaus. Bestandteil einer solchen Gasmotorenanlage ist auch die Absicherung vor dem Aufstellungsraum. Nach der TRD 412-Ausrüstung ist es erforderlich, daß

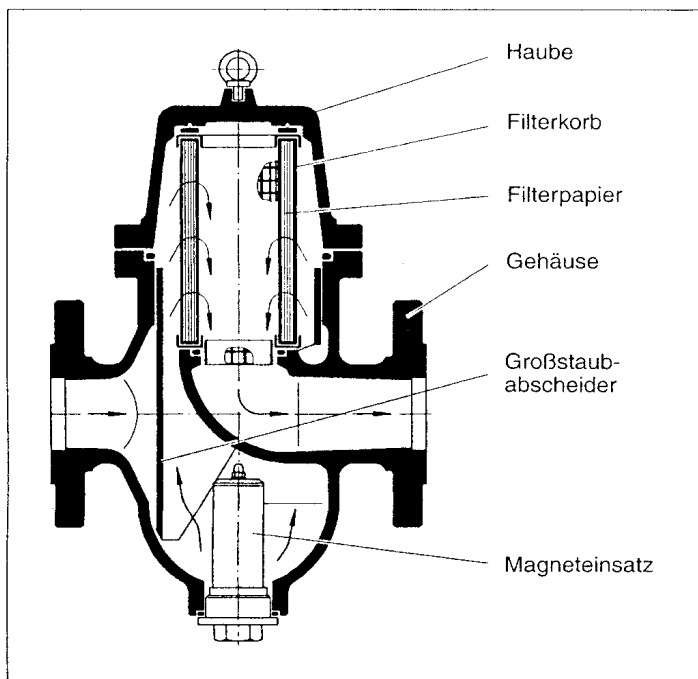
in den Gasanschlußleitungen außerhalb der Gasmotorenanlage an einer ungefährdeten Stelle eine von Hand bedienbare Absperrvorrichtung vorhanden sein muß, die – sofern in der unmittelbaren Nähe der Anlage installiert – nicht aus Leichtmetall-Legierungen bestehen darf.

Die Absperrvorrichtung muß im Gefahrenfall schnell zu schließen sein. In der Regel wird daher eine Fernbedienung vorgesehen; die Hilfsenergie zum Schließen muß ständig zur Verfügung stehen (z. B. Schließfeder). Geeignete Absperrvorrichtungen sind automatische Absperrventile nach DIN EN 161 [4] oder Gas-Druckregelgeräte mit Sicherheitsabsperreinrichtungen nach DIN 3381 [5], sofern sie in der Nähe installiert sind.

Wird in einer Gasmotorenanlage als Brenngas Klärgas, Deponiegas, Grubengas o. ä. eingesetzt, dem die korrodierend wirkenden Bestandteile nicht oder nur unzureichend entzogen wurden, so müssen die Leitungen und Geräte ausreichend gegen Korrosion geschützt werden.

Mit Rücksicht auf den geringen H<sub>2</sub>S-Anteil (Schwefelwasserstoff) im Klärgas werden u. a. Gas-Druckregelgeräte und Sicherheitseinrichtungen in einer entsprechenden Ausführung eingesetzt. Bei höheren H<sub>2</sub>S-Anteilen müssen zusätzliche Vorschriften beachtet werden. Sofern das Gas trocken bzw. genügend über den Taupunkt erwärmt ist, sind keine wesentlichen Korrosionen zu erwarten. Membranen, Dichtwerkstoffe und Führungen können verschleifen, so daß diese Teile bei Wartungsarbeiten zu erneuern sind. Bei Ausfall von Kondensat muß verstärkt mit Korrosionen gerechnet werden. Es ist auch möglich, daß dann weitere Teile angegriffen werden. Die Geräte sind bei Inspektionen immer auch auf Korrosionsschäden zu überprüfen.

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Pflüger und Dipl.-Ing. Karlheinz Wagner, RMG Regel + Meßtechnik GmbH, Osterholzstraße 45, D-34123 Kassel.



**Bild 1.** Zweistufiger Zellendurchgangsfilter mit Magnetventil (Typ RMG 906a).

### 3. Gasfilter

Um die Bauteile einer Gas-Regelstrecke und nachfolgender Einbauten einschließlich des Gasmotors vor schädlichen Verunreinigungen zu schützen, wird ein Gasfilter (*Bild 1*) eingesetzt. Es kommen Gasfilter in Anlehnung der Norm DIN 3386 [6] zur Anwendung, die eine Baumusterprüfung mit DVGW- oder CE-Registrierung besitzen. Der Filtereinsatz besteht aus einem Filterkorb aus verzinktem Stahl-Lochblech und dem Filterpapier. Für eine verbesserte Funktion stehen außerdem Gasfilter mit zusätzlicher Grobstaubabscheidung und Magneteinsätzen zur Verfügung.

### 4. Automatisches Absperrventil

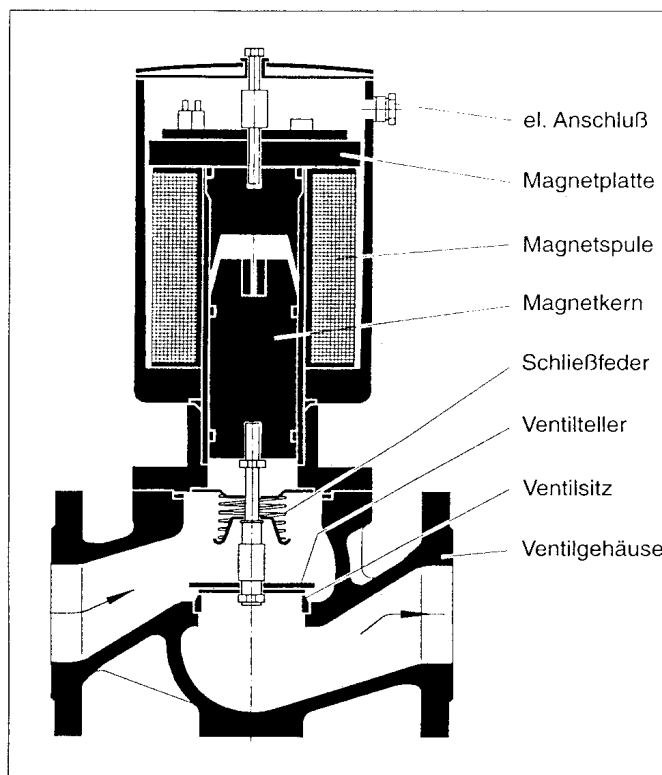
In den Gasmotoren-Anlagen werden gemäß DVGW-VP 109 [1] und TRD 412-Ausrüstung [2] automatische Absperrventile nach DIN EN 161 [4] bzw. DIN 3394 Teil 1 [7] eingesetzt.

Diese automatischen Absperrventile sind so ausgelegt, daß sie bei angelegter Spannung öffnen bzw., wenn die Spannung abgeschaltet wird, automatisch schließen. Vor Gasmotoren werden zwei hintereinander geschaltete Ventile der Gruppe „A“ eingesetzt. Nach der TRD 412-Ausrüstung muß ein Ventil die Schnellschlußfunktion mit einer Schließzeit von kleiner einer Sekunde gewährleisten. Das zweite darf eine Schließzeit von fünf Sekunden nicht überschreiten.

Die am häufigsten in Gas-Regelstrecken eingesetzten automatischen Absperrventile sind:

- Elektro-Magnetventile (*Bild 2*) und
- Elektro-Pneumatikventile (*Bild 3*).

Die Ventile dieser Bauarten sind für Gleich- oder Wechselspannung lieferbar.



**Bild 2.** Magnetventil bis 4 bar nach DIN EN 161 (Typ EVSA).

Sie müssen eine Baumusterprüfung nach DIN EN 161 oder DIN 3394 Teil 1 [7], gemäß der Gasgeräteverordnung (90/396/EWG) als Ausrüstungsteil [8] besitzen und eine (bzw. DIN-DVGW-Registrierungsnummer haben.

#### 4.1 Elektro-Magnetventil

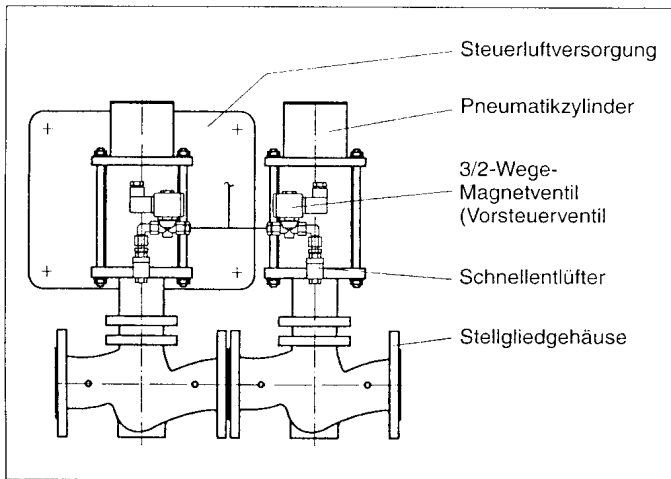
Beim Anlegen der Spannung hebt der Magnetkern eines Elektro-Magnetventils (*Bild 2*) gegen den auf dem Ventilteller lastenden Druck des Brenngases und die Schließfederkraft und gibt den Ventil-Querschnitt innerhalb von 0,3 bis Sekunden frei. Nach dem Abschalten der Spannung, z durch eine Gasmotoren-Außerbetriebnahme oder bei einer Störung bzw. bei einer Verringerung der Nennspannung um 15 %, muß das Ventil automatisch schließen. Dabei wird der Ventilteller durch die Kraft der Schließfeder auf den Ventilsitz gepreßt und sperrt den weiteren Gas-Durchfluß dicht ab.

Zum Schutz der überlagerten elektronischen Bauelemente vor den durch die Schaltung der Magnete erzeugten Spannungsspitzen werden Varistoren eingebaut.

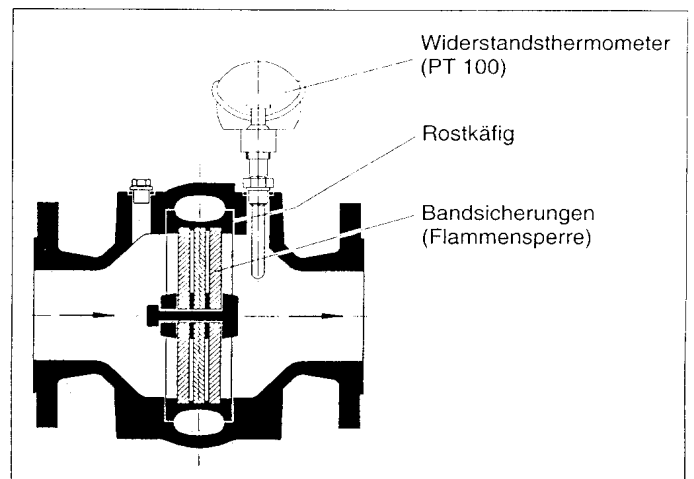
#### 4.2 Elektro-Pneumatikventil

Bei hohen Eingangsdrücken und größeren Nennweiten werden bei der Verwendung von Magnetventilen hohe elektrische Leistungen benötigt. Daher werden in diesem Anwendungsbereich in der Regel elektro-pneumatische Ventile (*Bild 3*) eingesetzt.

Die Betätigung dieser Ventile erfolgt durch ein Vorsteuerventil (3/2-Wege-Magnetventil) in der Steuerluftzuleitung. Beim Anlegen der Spannung am Vorsteuerventil wird der Antriebskolben mit Steuerluft beaufschlagt, hebt dies



**Bild 3.** Elektropneumatische Ventilkombination bis 6 bar nach DIN EN 161 mit eigener Steuerluftversorgung (Typ EPVA).



**Bild 4.** Flammendurchschlagsicherung als Explosionsrohrsicherung mit Widerstandsthermometer – dauerbrandsicher – (Typ RMG 932).

gegen den Druck des Brenngases und die Schließfederkraft an und öffnet das Ventil. Bei Abfall der Steuerspannung wird die Steuerluft vom Antrieb zur Atmosphäre über Schnellentlüftungsventile entspannt; das Ventil schließt durch die Schließfederkraft automatisch in kleiner einer Sekunde. Ist in der Gasmotoren-Anlage keine Steuerluft vorhanden, werden die elektro-pneumatischen Ventile mit einer eigenen Steuerluftversorgung ausgerüstet.

## 5. Zwischenentlüftung und Dichtheitskontrolleinrichtung

In den Gasmotoren-Anlagen sind zwei hintereinander geschaltete Ventile vorzusehen, die mit einer Zwischenlüftung (*Bild 13*) oder einer baumustergeprüften zuverlässigen Dichtheitskontrolleinrichtung (*Bild 12*) ausgerüstet sein müssen [1; 2].

Zwischenlüftungsventile und -leitungen müssen mindestens eine Nennweite von DN 15 besitzen und sind selbsttätig offenzuhalten, solange die automatischen Absperrventile geschlossen sind. Sie müssen bauteilgeprüft sein und mindestens der Gruppe „C“ nach DIN EN 161 [4] bzw. DIN 3394 [7] entsprechen.

## 6. Flammendurchschlagsicherung für Deponiegas, Klärgas und Grubengas

In der Gasleitung vor einem Gasmotor sind beim Einsatz von Deponiegas, Klärgas oder Grubengas, den Vorschriften [1; 9; 10] entsprechend, flammendurchschlagsichere Armaturen einzusetzen (*Bild 4*). Sie müssen von einer anerkannten Prüfstelle (z. B. BAM) der Bauart nach zugelassen und entsprechend den in der Zulassung enthaltenen Auflagen und Bedingungen eingesetzt werden.

Die zum Einsatz kommenden flammendurchschlagsicheren Armaturen müssen den jeweils möglichen Verbrennungsvorgängen und deren Auswirkung angepaßt und geeignet sein als:

- Explosionsrohrsicherung
- Detonationssicherung.

### 6.1 Explosionsrohrsicherung

Explosionsrohrsicherungen (*Bild 4*) halten speziell definierte Rohr- und Volumenexplosionen auf, sind jedoch nicht prinzipiell gegen Detonationen und Dauerbrand flammendurchschlagsicher. Die Prüfbedingungen sind so festgelegt, daß Zünddurchschlagsicherheit für eine nachgeschaltete Rohrleitung gegeben sein muß, deren Verhältnis von Länge (L) zu Rohrinne Durchmesser (D) – L/D-Verhältnis – den Wert 20 bis 40 (je nach BAM-Zulassung) nicht übersteigt.

Da Explosionsrohrsicherungen nicht automatisch dauerbrandsicher sind, werden diese Armaturen, wenn die Betriebsbedingungen das Entstehen eines Dauerbrandes nicht ausschließen, zusätzlich mit einer Temperaturüberwachungseinrichtung ausgerüstet, mit welcher der Gasvolumenstrom abgeschaltet wird.

Die Absicherung der Gasleitungen an Gasmotoren erfolgt im allgemeinen durch diese Explosionsrohrsicherungen mit Temperaturüberwachung, die so nah wie möglich am Gasmotor eingebaut werden, damit keine teureren Detonationssicherungen erforderlich sind.

### 6.2 Detonationssicherung

Detonationssicherungen sind – bis auf Dauerbrand – gegen alle Verbrennungsvorgänge flammendurchschlagsicher.

Kann beim Einsatz von Detonationssicherungen die Entstehung eines Dauerbrandes nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, wird wie bei Explosionsrohrsicherungen ebenfalls eine Temperaturüberwachungseinrichtung eingesetzt.

## 7. Gaszähler

Für die Durchflußermittlung und Gasvolumenerfassung werden in der Regel Turbinenrad-Gaszähler nach DIN 33800 [11] (*Bild 5*) eingesetzt. Das durchströmende Gasvolumen (Betriebs-Volumen) wird über das integrierende Turbinenrad erfaßt und von einem Zählwerk angezeigt.

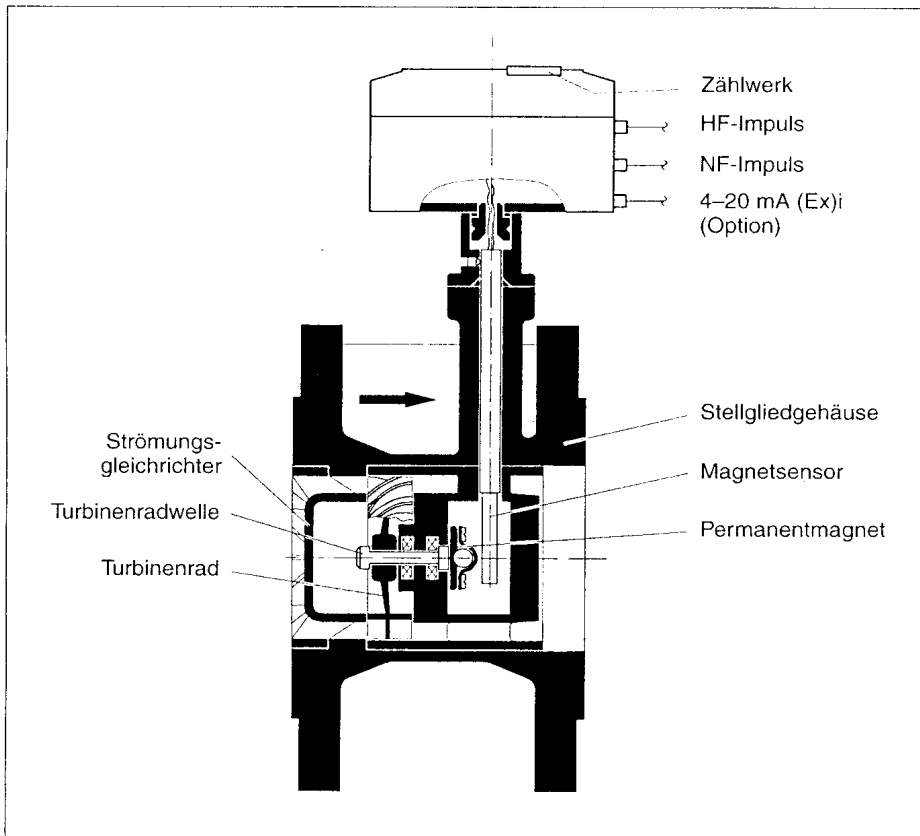


Bild 5. Elektronischer Turbinenradgaszähler (Typ TERZ 91).

Je nach den Erfordernissen kommen Gaszähler für den nicht eichpflichtigen oder eichpflichtigen Verkehr (notwendig für die Gasabrechnung) zur Anwendung.

Es stehen weiterhin elektronische Signale des Gaszählers zur Verfügung.

Zur Registrierung des Norm-Volumens (Gasabrechnung) oder die Angabe des Normdurchflusses werden die elektronischen Signale von einem Umwerter (Flow-Computer) entsprechend verarbeitet.

Zur Ermittlung dieser Daten sind außerdem Absolut-Druckaufnehmer und Temperaturlaufnehmer einzusetzen.

Die eingesetzten Gaszähler und Umwerter müssen eine Baumusterprüfung mit DVGW-Registrierung besitzen.

Der Einbau und Betrieb erfolgt in Anlehnung an das DVGW-Arbeitsblatt G 492/I [12].

## 8. Gas-Druckregelgerät (GDR), Sicherheitsabsperrenteil (SAV)

Das in einer Gas-Regelstrecke zur geregelten Druckreduzierung zu installierende Gas-Druckregelgerät (Bild 8, 9, 10) muß gemäß den Vorgaben der zuständigen Normen und Vorschriften den Anforderungen der DIN 3380 [13] bzw. DIN 33822 [14] entsprechen. Die DIN-

DVGW-Registrierung oder CE-Registrierung bestätigt dabei über eine Baumusterprüfung des Gerätes die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieser Normen.

Ein Gas-Druckregelgerät hat grundsätzlich die Aufgabe, einen vorgegebenen Ausgangsdruck durch Veränderung der Stellgliedstellung, unabhängig von Störgrößen wie schwankende Eingangsdruck oder Änderungen der Gasabnahme, innerhalb festgelegter Grenzen konstant zu halten.

Aufgrund des konstruktiven Aufbaus haben die Geräte grundsätzlich eine proportionale bleibende Abweichung vom eingestellten Sollwert, wenn sich der Eingangsdruck oder die Gasabnahme ändert. Die auftretende maximale positive und negative Regelabweichung wird im prozentualen Verhältnis zum eingestellten Sollwert als Regelgruppe RG für jeden Gerätetyp angegeben. Bei Nullabnahme stellt sich der Schließdruck ebenfalls vom Gerätetyp abhängig durch die sogenannte Schließdruckgruppe SG definiert wird (Bild 6).

Im Brenngasfach wird bei den Gas-Druckregelgeräten zwischen den beiden Ausführungsarten „ohne Hilfsenergie“ (Bild 8, 9) und „mit Hilfsenergie“ (Bild 10) unterschieden [15, 16]. Für die eingesetzten Geräte ist es typisch, daß sie grundsätzlich mit Eigenmedium arbeiten, d.h. keine Fremdenergie benötigen und für die Verstellung des Stellglieds kein Gas in die Atmosphäre abströmen lassen.

Wenn die Auslegungsbedingungen eine Druckabsicherung nachgeschalteter Systeme erforderlich machen, werden entsprechende Sicherheitsabsperrentile (SAV) eingesetzt. Sie sind bei den Gas-Regelstrecken in der Regel in das Stellgliedgehäuse des Gas-Druckregelgerätes integriert (Bild 8, 10). Die Sicherheitsabsperrentile sind nach

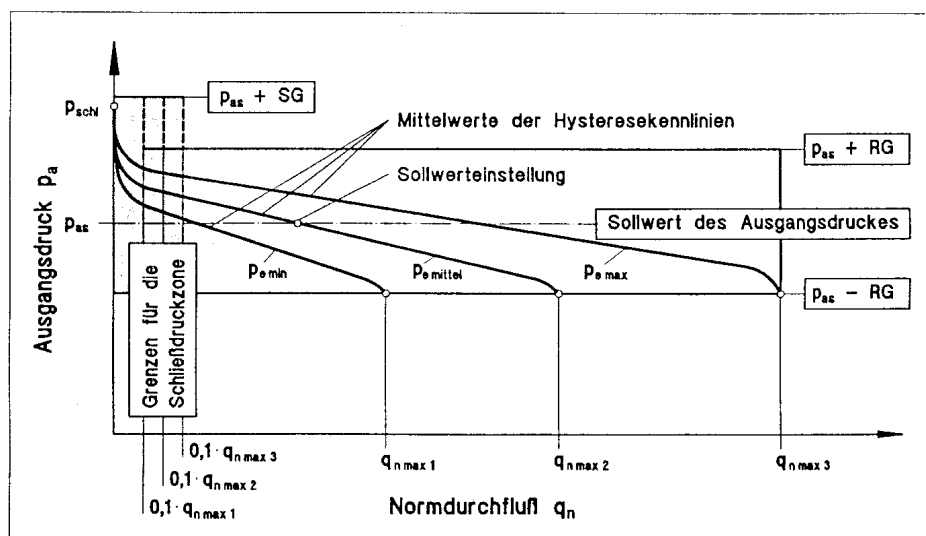


Bild 6. Kennlinien eines Gas-Druckregelgerätes.

Gasart	Normdichte $\rho_n$ in kg/m <sup>3</sup>	Umrechnungs- faktor f
Erdgas	0,83	1,00
Deponiegas	≈ 1,28	≈ 0,81
Klärgas	≈ 1,16	≈ 0,85
Grubengas	≈ 1,10	≈ 0,87
Propan	2,00	0,64

Formel für äquivalenten Erdgasdurchfluß $q_n$	Umrechnungsfaktor f für andere Gasarten
$q_n \text{ Erdgas} = \frac{q_n \text{ Gas}}{f}$	$f = \sqrt{\frac{\rho_n \text{ Erdgas}}{\rho_n \text{ Gas}}} = \sqrt{\frac{0,83}{\rho_n \text{ Gas}}}$

Bild 7. Umrechnung anderer Gasarten auf einen äquivalenten Erdgas-Durchfluß.

DIN 3381 [5] auszuführen und müssen ebenso wie die Gas-Druckregelgeräte eine Baumusterprüfung mit einer entsprechenden DIN-DVGW- oder CE-Registrierung besitzen.

Die Sicherheitsabsperrentile schließen selbsttätig, wenn der Ausgangsdruck nach dem Gas-Druckregelgerät den eingestellten Ansprechdruck erreicht (z.B. infolge einer GDR-Störung); die weitere Gaszufuhr wird damit automatisch dicht abgesperrt. Typisch für diese Art der Sicherheitseinrichtung ist, daß sie nur von Hand geöffnet werden können (nach Beseitigung der Störungsursache).

Die Auslegung von Gas-Druckregelgeräten (auch mit integriertem SAV) erfolgt über den Ventil-Durchflußkoeffizienten  $K_G$ . Er ist definiert als der Normdurchfluß  $q_n$  bei vollgeöffnetem Ventil bei einem absoluten Eingangsdruck von  $p_e = 2 \text{ bar}$  und einem absoluten Ausgangsdruck von  $p_a = 1 \text{ bar}$ . Er wird im Erdgasfach auf eine Normdichte von  $\rho_n = 0,83 \text{ kg/m}^3$  bezogen. Je nach Betriebsbedingungen am Gas-Druckregelgerät erfolgt die Ermittlung mit der unterkritischen bzw. überkritischen Näherungsformel oder auch über Diagramme. Für die Ermittlung sind der minimale Eingangsdruck  $p_{emin}$ , der maximale Ausgangsdruck  $p_{amax}$  und der maximale Normdurchfluß  $q_{nmax}$  zu verwenden.

Für die Ermittlung sind die Betriebsdaten am Gerät maßgebend und nicht etwa z.B. ein vorgegebener Versorgungsdruck eines BHKWs (Druckverluste vorgelagerter Geräte und Rohrleitungssysteme berücksichtigen).

Es ist zu beachten, daß in den Näherungsformeln alle Drücke als Absolutdrücke eingesetzt werden.

$K_G$ -Wert bei unterkritischem Druckverhältnis

$$\frac{p_a}{p_e} \geq 0,5 \quad K_{G_{\text{erf}}} = \frac{q_n}{\sqrt{p_a \cdot (p_e - p_a)}} \quad \text{in m}^3/\text{h}$$

$K_G$ -Wert bei überkritischen Druckverhältnis

$$\frac{p_a}{p_e} \leq 0,5 \quad K_{G_{\text{erf}}} = \frac{2 \cdot q_n}{p_e} \quad \text{in m}^3/\text{h}$$

Der Ventil-Durchflußkoeffizient des gewählten Gerätes muß ca. 10–20% über dem erforderlichen  $K_G$ -Wert liegen, damit eine ausreichende Reserve für Regelvorgänge zur Verfügung steht.

Die Strömungsgeschwindigkeit im Ausgang von Gas-Druckregelgeräten mit integriertem Meßanschluß sollte 20 m/s nicht überschreiten. Wenn andere Gasarten wie z.B. Deponiegas, Klärgas, Grubengas usw. eingesetzt werden, muß über die Normdichte  $\rho_n$  zunächst auf einen äquivalenten Erdgasdurchfluß umgerechnet werden, bevor der erforderliche Ventil-Durchflußkoeffizient  $K_{G_{\text{erf}}}$  ermittelt wird. Für einige Gase sind in Bild 7 die entsprechenden Korrekturfaktoren f aufgeführt.

### 8.1 Gas-Druckregelgerät ohne Hilfsenergie und Sicherheitsabsperrentil

Bei mehreren Gasmotoren oder höheren Versorgungsdrücken wird in einer ersten Stufe der Druck in der Regel über ein Regelgerät (Bild 8) reduziert. Zur Anwendung kom-

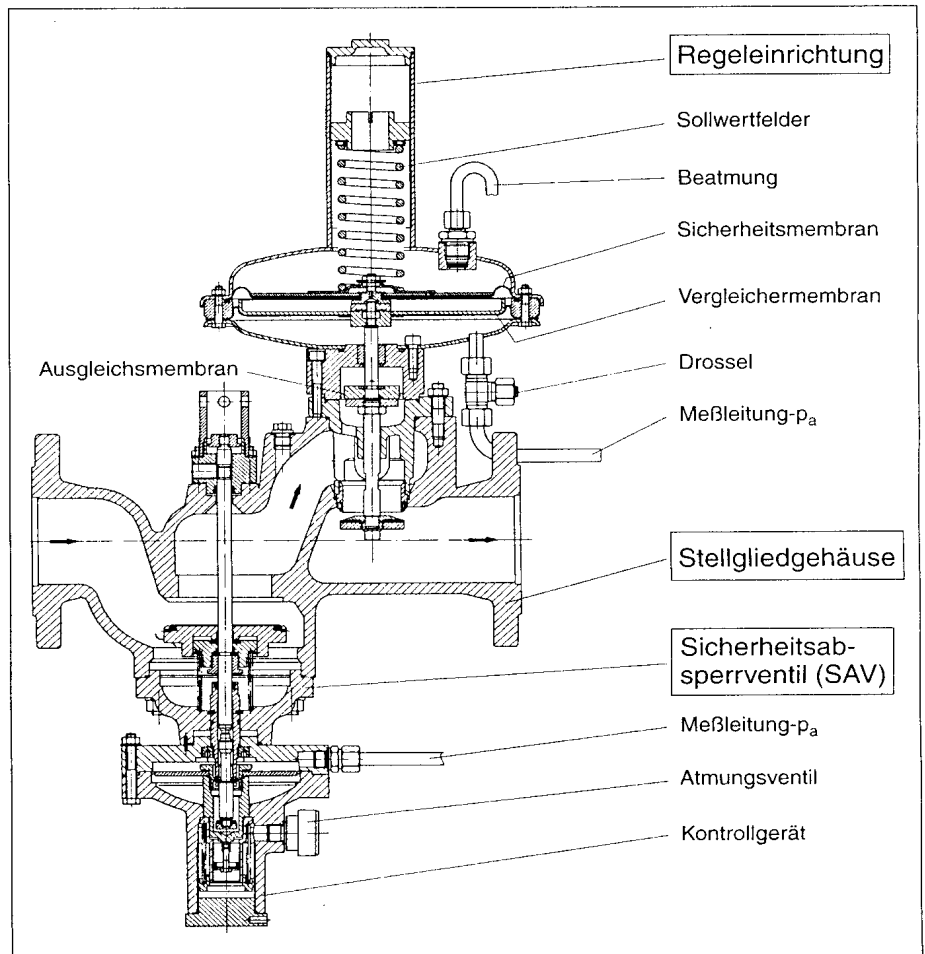
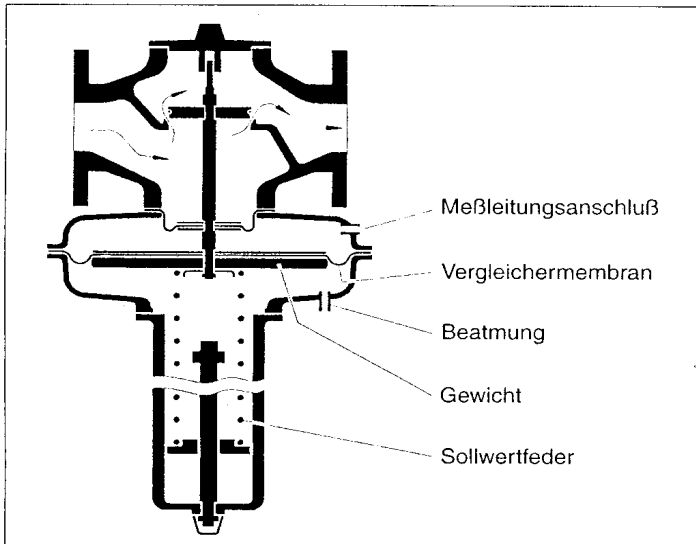


Bild 8. Gas-Druckregelgerät mit Sicherheitsmembran und integriertem Sicherheitsabsperrentil nach DIN 3381 (Typ RMG 330).



**Bild 9.** Gas-Druckregelgerät für Nulldruck mit Gewichtsbelastung und Sollwertfeder (Typ BD 226 ZSO).

men hier schnellreagierende Gas-Druckregelgeräte, ohne Hilfsenergie arbeiten (GDR ohne Hilfsenergie, a federbelastetes oder direkt wirkendes Gas-Druckregelge

Wenn ausgangsseitige Anlagenteile nicht über den maximal möglichen Eingangsdruck belastet werden dürfen, v gemäß den DVGW-Arbeitsblätter [17; 18] in das Stellgl gehäuse des Gas-Druckregelgerätes ein Sicherheitsabsperrventil nach DIN 3381 integriert.

Damit in der Anlage auf die aufwendige und teure Verlegung von Atmungsleitungen verzichtet werden kann kommt für die Regeleinrichtung eine Sicherheitsmembran und für das Sicherheitsabsperrentil ein Atmungsventil Anwendung (Bild 8).

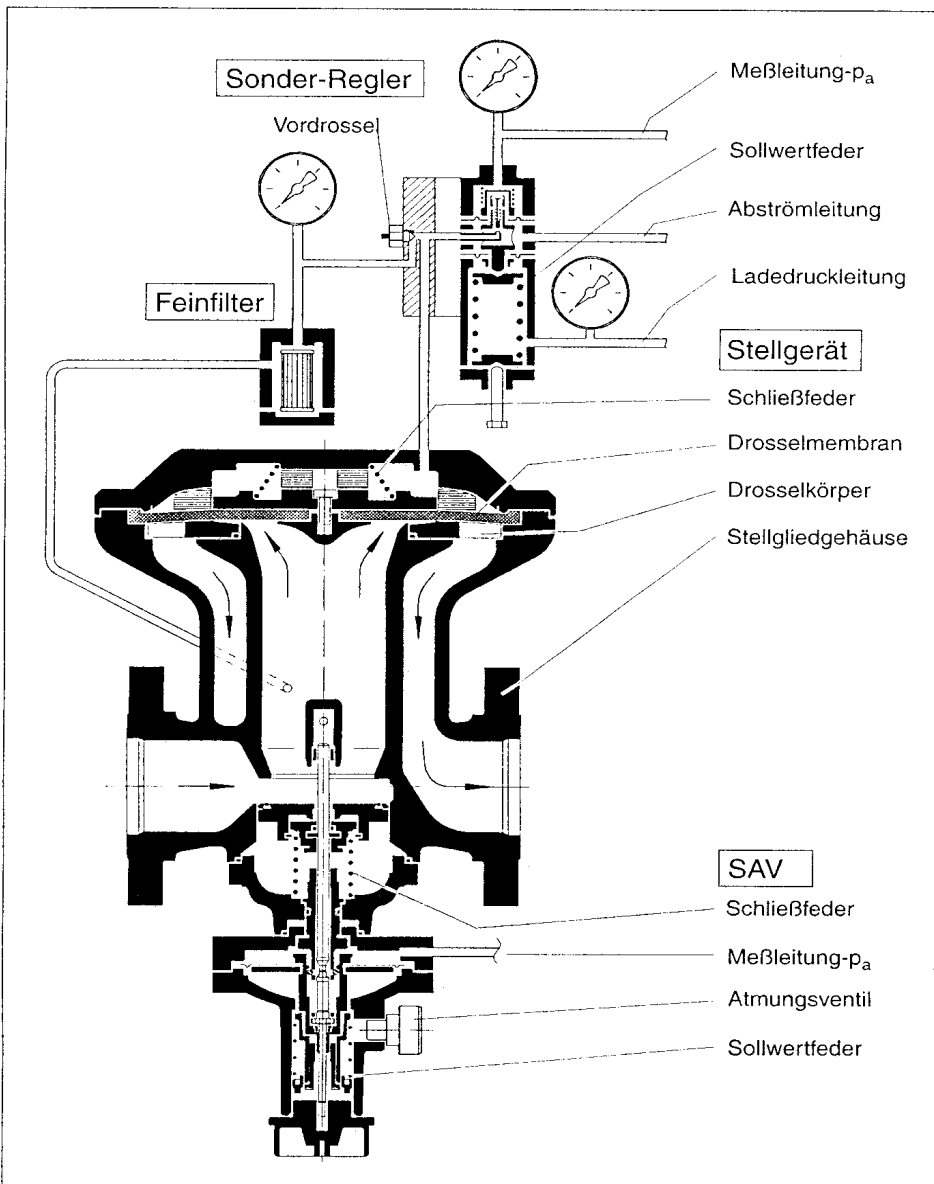
Für die Anforderungen von Gasmotoren werden weiterhin Gas-Druckregelgeräte ohne Hilfsenergie eingesetzt, einen Ausgangsdruck regeln, der etwa dem umgebenden Atmosphärendruck entspricht. Man spricht hier von „Nulldruck-Regelgeräten“ (Bild 9). Diese Geräte besitzen eine „Unterdruckfeder“, oder die „Unterdruckvorgabe“ wird durch Drehen des Gerätes und einer entsprechenden Gewichtsbelastung erreicht. Mittels einer einstellbaren „Sollwertfeder“ kann der erforderliche „Nulldruck“ eingestellt werden. Der Sollwertbereich eines solchen Gerätes beträgt z.B.  $\pm 3$  mbar. Für eine sichere Funktion insbesondere bei Gasmotorenstart ist eine geringe Hysterese, kleine Regelabweichung des Regelgerätes und die richtige Einstellung des Sollwertes sehr wichtig.

Wenn im Gasmotorenbetrieb eine kontinuierliche Gasumlagerung wie von Deponiegas auf Erdgas erforderlich ist, stehen Gas-Druckregelgeräte mit einer motorischen Sollwertverstellung zur Verfügung. Mittels der Sollwertverstellung wird der Ausgangsdruck kontinuierlich so eingestellt, dass eine stetige Lastübernahme zwischen den zwei Gasarten erfolgt [19].

Wenn im Gasmotorenbetrieb eine kontinuierliche Gasumlagerung wie von Deponiegas auf Erdgas erforderlich ist, stehen Gas-Druckregelgeräte mit einer motorischen Sollwertverstellung zur Verfügung. Mittels der Sollwertverstellung wird der Ausgangsdruck kontinuierlich so eingestellt, dass eine stetige Lastübernahme zwischen den zwei Gasarten erfolgt [19].

### 8.2 Gas-Druckregelgerät mit Hilfsenergie und Sicherheitsabsperrentil

Das eingesetzte Gas-Druckregelgerät mit Hilfsenergie zeichnet sich durch seinen besonderen konstruktiven Aufbau aus (Bild 10). Die Ventilöffnung erfolgt bei diesem Gerätetyp über eine Drosselmembran. Oberhalb der Drosselmembran wirkt direkt der Druck eines Reglers durch den Sollwertgleich vorgegebene Stelldruck. Die Drosselmembran ist also gleichzeitig Teil des Stellgliedes und des Stellantbes. Durch dieses Konstruktionsprinzip wirken sich, abweichend zu den normalen Stellgliedkonstruktionen, Fe



**Bild 10.** Gas-Druckregelgerät mit Sonder-Regler und SAV (Typ RMG 402).

gungstoleranzen nicht auf den Kleinlastbereich des Gerätes aus (hohes Stellverhältnis). Diese Geräteausführung ist kompakt und sehr wartungsfreundlich.

Der eingesetzte pneumatische Sonderregler ist für die Forderungen von Gasmotoren mit Vorkammer konzipiert. Die Ausgangsdruck-Regelstufe hat eine Fest-Sollwertvorgabe über die Sollwertfeder. Gleichzeitig wird auf den Sollwertfederraum ein pneumatischer Folge-Sollwert aufgeschaltet. Dieser Folge-Sollwert ist entweder direkt das Ladedruck-Signal des Gasmotors oder eine pneumatische Abbildung dieses Druckes.

Der Regler und damit das Gas-Druckregelgerät regelt einen Ausgangsdruck  $p_a$ , der von der Einstellung der Sollwertfeder und von dem pneumatischen Folge-Sollwert vorgegeben wird.

$$p_a = p_{a \text{ Feder}} + p_{a \text{ Folge-Sollwert}}$$

Die pneumatische Abbildung des Ladedrucksignals erfolgt mittels:

- Umformung des Ladedrucksignals in ein elektronisches Signal (z. B. 4–20 mA)
- Verarbeitung des elektronischen Signals mit evtl. erforderlicher Korrektur (z. B. über eine SPS)
- Umformung des elektronischen Signals in ein pneumatisches Drucksignal (z. B. 0–4 bar Folge-Sollwert).

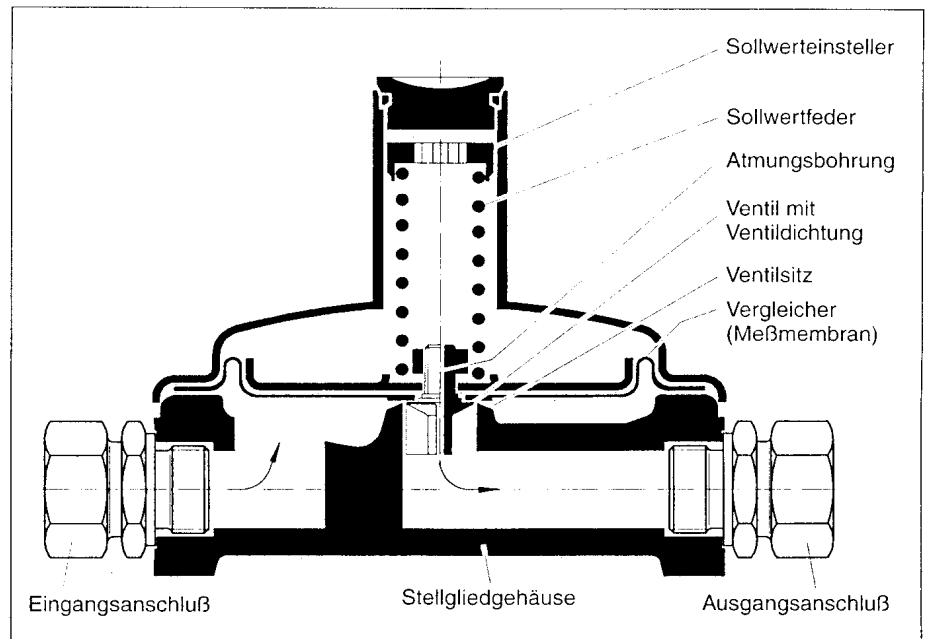
Dieser Aufbau mit der Zwischenschaltung der Elektronik hat den entscheidenden Vorteil, daß über den gesamten Lastbereich des Gasmotors die optimale Einstellung des erforderlichen Ausgangsdruckes abgeglichen werden kann. Auch können auftretende Proportionalabweichungen (entsprechend der Regelgruppe RG des Regelgerätes) und auch Druckverluste nachgeschalteter Geräte, Rohrleitungen usw. ausgeglichen werden.

Der funktionelle Aufbau gilt sowohl für das Gas-Druckregelgerät der Haupt-Gasstrecke als auch für die Vorkammerstrecke (Bild 13).

Wenn die Aufbauten nach der Gas-Regelstrecke gegen den maximal möglichen Eingangsdruck abgesichert werden müssen, wird in das Stellgliedgehäuse des Gas-Druckregelgerätes ein Sicherheitsabsperventil nach DIN 3381 [5] integriert.

### 8.3 Sicherheitsabblaseventil (SBV) für Leckgasmengen und Leckmengenanzeiger

Sicherheitsabblaseventile werden in einer Gas-Regelstrecke im Ausgangsdruckraum, hinter dem Gas-Druckregelgerät, installiert. Sie werden nach der Norm DIN 3381 [5] ausgeführt und sind im normalen Betrieb geschlossen. Ihre Aufgabe ist es, einen Rest-Gasstrom (Leckmenge) aus dem abzusichernden Leitungssystem ins Freie abzublasen, sobald der Druck einen vorgegebenen Ansprechdruckwert erreicht. Fällt der Druck wieder unter den Ansprechwert ab, schließt



**Bild 11.** Sicherheitsabblaseventil (SBV) für Leckgasmengen (Typ RMG 835).

das Ventil selbsttätig. Nach der Norm DIN 3381 muß das SBV bei einer Druckabsenkung um 10 % unter den eingestellten Ansprechdruck wieder dicht schließen.

Nach den DVGW-Arbeitsblättern G 490/I/G 491 [17; 18] sollen Sicherheitsabblaseventile verhindern, daß bereits bei kleinen Leckageströmen eines Regelgerätes, oder bei dynamischen Druckanstiegen z. B. durch das schnelle Schließen von automatischen Absperrventilen, das Sicherheitsabsperventil der zugehörigen Regelstrecke anspricht und schließt.

Bei der im Bild 11 dargestellten Geräteausführung wird der zu überwachende Druck auf die Unterseite der Meßmembran geführt. Der Vergleich der so erzeugten Druckkraft mit der Kraft der Sollwertfeder betätigt das Ventil. Erreicht der zu überwachende Druck (Istwert) den eingestellten Sollwert, dann erfolgt mittels der Vergleichermembran die Öffnung des Ventils, das überschüssige Leckmengengas wird über eine angeschlossene Abblaseleitung ins Freie abgeleitet.

Die Beatmung des Raumes über der Antriebsmembran erfolgt direkt über die Abblaseleitung und eine zentrale Bohrung im Ventilteller. Auf den Anschluß einer Atmungsleitung kann also bei dieser Geräteausführung verzichtet werden.

Das Ansprechen eines Sicherheitsabblaseventiles muß über eine entsprechende Vorrichtung bleibend signalisiert werden.

## 9. Gas-Regelstrecke

Vor den Gasmotoren werden Gas-Regelstrecken (Bild 12, 13) eingesetzt, die mit Geräten zum Filtern, Absichern und Regeln ausgerüstet sind. Der Aufbau erfolgt u. a. in Anlehnung an DIN 4788 Teil 2 [3], ZH1/178 [10], VP 109 [1], TRD 412-Ausrüstung [2] und VDE-Vorschriften [19] und ist als Teil des Gasmotors anzusehen.

Für die Geräte sind die entsprechenden Normen und Vorschriften wie z. B. DIN EN 161 [4], DIN 3380 [13] und DIN 3381

[5] zu beachten. Die Geräte müssen den Normen entsprechen sowie eine Baumusterprüfung mit entsprechender Zertifizierung (z.B. DVGW-Registrierung) besitzen.

Für die Brenngasarten Deponiegas, Klärgas und Erdgas ist außerdem die Anwendung von Flammensicherungen zu berücksichtigen.

Installationsseitig gelten u.a. die DVGW-Arbeitsblätter G 600 (DVGW-TRGI) [20] bzw. G 490/I/G 491 [17; 18] für die Zuführung der Gasleitung bis zur bauseits zu stellenden Absperrinrichtung. Für die Herstellung einer Gas-Regelstrecke sind von der Fachfirma die Qualifikationskriterien nach dem DVGW Arbeitsblatt G 493/I [21] zu erfüllen.

Im folgenden wird der Aufbau von Gas-Regelstrecken (Bild 12, 13) unter Berücksichtigung der vorgenannten Normen und Vorschriften beschrieben.

Das Brenngas wird anwendungsspezifisch mit einem vorgegebenen Versorgungsdruck z.B. über ein Erdgas-Netz oder bei Klärgas, Deponiegas oder Grubengas über einen Verdichter, zur Verfügung gestellt. Der eingangsseitig installierte Kugelhahn wird zum Absperrn bei Wartungsarbeiten benötigt.

Um Störungen durch Verschmutzungen nachgeschalteter Geräte zu vermeiden, wird grundsätzlich ein Gasfilter eingesetzt. Für eine verbesserte Filterung wird bei Gasmotoren mit Vorkammer ein Gasfilter mit Magneteinsatz verwendet (Bild 1).

Im Eingangsdruckbereich ist ein „MIN“-Druckwächter angeordnet, der über elektrische Kontakte eine sichere Abschaltung der Anlage bei Druckunterschreitung bewirkt. Bei Anwendung eines elektrischen Druckaufnehmers mit 4–20-mA-Signal erfolgt über nachgeschaltete elektrische Bauelemente eine entsprechende Auswertung (Grenzwertschalter) des „MIN“-Druckes. Im weiteren werden nach den Vorgaben der TRD 412-Ausrüstung [2] und VP 109 [1] zwei automatische Absperrventile nach DIN EN 161 [4] verwendet. Diese Ventile sperren die Brenngasversorgung automatisch bei Außerbetriebnahme der Gasmotorenanlage oder bei einer Störung dicht ab.

Die Bauart dieser Ventile gestattet abweichend zu Sicherheitsabsperrventilen nach DIN 3381 [5] ein selbsttätiges Öffnen zur Inbetriebnahme eines Gasmotors.

Je nach Anwendungsfall (Druck, Gasmotorenleistung, zur Verfügung stehende Spannung u.a.) kommen unterschiedliche Ausführungen der automatischen Absperrventile zum Einsatz (Bild 2, 3).

Um einen beim Schließen der Ventile auftretenden unzulässigen Druckaufbau zu vermeiden, wird ein Sicherheitsabblaseventil (Bild 11) oder ein elektromagnetisches Entspannungsventil eingesetzt. Bei Anwendung des Ent-

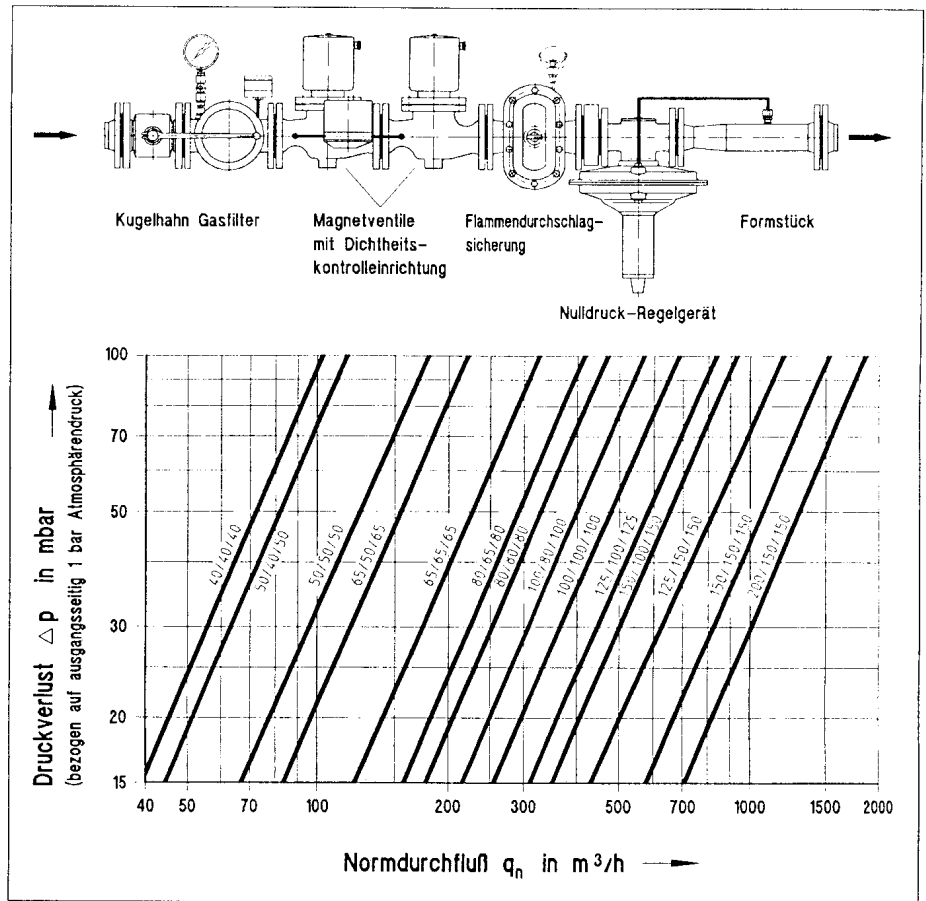


Bild 12. Deponiegas-Regelstrecke und Auswahl-Diagramm.

spannungsventiles ist besonders darauf zu achten, daß es vorübergehend mindestens zeitgleich oder früher öffnet, bevor die automatischen Absperrventile schließen.

Die automatischen Absperrventile müssen mittels eines Dichtheitskontrollsystems auf Dichtheit geprüft werden. Dazu kann eine zuverlässig funktionierende Dichtheitskontrollinrichtung oder ein System mit Entspannungsventil und Druckwächter eingesetzt werden.

Wenn als Brenngas Klärgas, Deponiegas oder Grubengas zur Anwendung kommt, sind Flammensicherungen als Explosionsrohrsicherungen dauerbrandsicher einzusetzen. Die Dauerbrandsicherheit wird dabei über einen Temperaturfühler erreicht, der im Brandfall anspricht und die weitere Gaszufuhr durch Schließen der automatischen Absperrventile sperrt.

Das eingesetzte Gas-Druckregelgerät regelt unabhängig von Eingangsdruckschwankungen und Abnahmeänderungen den für den Gasmotor erforderlichen Druck. Je nach Aufgabenstellung werden dafür Geräte ohne bzw. mit Hilfsenergie für einen vorgegebenen Überdruck oder für Nulldruck eingesetzt.

Können bei einer Störung der Anlage unzulässig hohe Drücke auf der Ausgangsseite nach dem Gas-Druckregelgerät auftreten, so sind Sicherheitsabsperrventile nach DIN 3381 [5] einzusetzen.

Die Auslegung einer Gas-Regelstrecke erfolgt entweder über Auswahl-Diagramme von standardisierten Gas-Regelstrecken mit Bezug auf die jeweils eingesetzte Brenngasart (Bild 12) oder es muß jede Komponente einzeln den Anforderungen entsprechend ausgelegt werden. Für die Ausle-

gung der einzelnen Geräte stehen ebenfalls Auswahldiagramme oder Kennwerte mit Näherungsformeln zur rechnerischen Ermittlung zur Verfügung.

Für die Rohrleitungsnennweite DN und die Gasfilterauslegung wird unter Zugrundelegung einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 20 m/s und einer Gastemperatur von ca. 15°C ein Auswahldiagramm oder die Formel verwendet:

$$DN \approx 4,3 \cdot \sqrt{\frac{q_{n \max}}{p_{\min \text{ abs}}}} \frac{DN}{\text{mm}}, \frac{q_{n \max}}{\text{m}^3/\text{h}}, \frac{p_{\min \text{ abs}}}{\text{bar (absolut)}}$$

In Bezug auf die Gesamtauslegung der Gas-Regelstrecke ist außerdem das Druckgefälle über den Gasfilter zu beachten.

Für automatische Absperrventile, Flammensicherungen sowie Gas-Druckregelgeräte stehen in der Regel ebenfalls Auswahldiagramme in der Form  $\Delta p = f(q_n)$  zur Verfügung oder es wird der jeweils erforderliche Ventil-Durchflußkoeffizient  $K_G$  (siehe unter Gas-Druckregelgerät) ermittelt.

Für die Auslegung der einzelnen Geräte ist das insgesamt zur Verfügung stehende Druckgefälle zwischen dem Versorgungsdruck und dem zu regelnden Ausgangsdruck zu beachten. Besonderes Augenmerk muß auf die Auslegung von automatischen Absperrventilen und anderen Druckverlustgliedern gelegt werden, wenn diese nach dem Gas-Druckregelgerät angeordnet sind.

Bei Anlagen in der Druckstufe bis 100 mbar kann für Sicherheitseinrichtungen auch der Druckbereich bis 150 mbar ausgenutzt werden, wenn das System bis zu diesem Druck auf Dichtheit geprüft wurde [17].

### 9.1 Gas-Regelstrecke für Gasmotoren mit Brenngas/Luft-Mischer

Für Gasmotoren, die mit einem Venturimischer für die Bereitstellung eines den Anforderungen entsprechenden zündfähigen Gasmischers arbeiten, werden vor dem Mischer Brenngasdrücke von ca. 0 mbar benötigt.

Die Bereitstellung dieses Druckes erfolgt hierbei über das im Ausgang der Regelstrecke integrierte Gas-Druckregelgerät. Für diese Anwendung müssen in der Gas-Regelstrecke (Bild 12) mindestens vorhanden sein: Kugelhahn, Eingangsdruckmanometer, Gasfilter, „MIN“-Druckwächter, zwei automatische Absperrventile, Dichtheitskontrollsystem, Flammensicherung (bei Klärgas, Deponiegas bzw. Grubengas) und ausgangsseitig ein Nulldruck-Regelgerät (Bild 9).

Zur Vermeidung von Druckverlusten ist die Gas-Regelstrecke möglichst nah vor dem Gasmotor anzuordnen. Bei mehreren Geräten wird grundsätzlich vor jedem Gasmotor eine Gas-Regelstrecke installiert.

Werden in einem BHKW (Blockheizkraftwerk) mehrere Gasmotoren eingesetzt oder steht ein höherer Versorgungsdruck zur Verfügung, sind Regelgeräte für eine erste Druckreduzierung einzusetzen (Bild 8).

Es kommt dann in jeder Gas-Regelstrecke (vor jedem Gasmotor) ein solches Regelgerät zur Anwendung.

Zur Kostenreduzierung (Einsparung von Installationen der Atmungsleitungen) werden üblicherweise die Geräte mit einer Sicherheitsmembran (Regeleinrichtung) und mit einem Atmungsventil (Sicherheitsabsperreinrichtung) ausgerüstet.

Die Sicherheitseinrichtungen nach DIN 3381 [5] kommen bei Druckstufen über 100 mbar zur Anwendung, wenn nachgeschaltete Einrichtungen nicht druckfest sind.

### 9.2 Gas-Regelstrecke für Gasmotoren mit Vorkammer

Den Anforderungen für das zündfähige Gasgemisch entsprechend werden bei Gasmotoren mit Vorkammer höhere Brenngasdrücke benötigt. Der dafür zu regelnde Gasdruck setzt sich zusammen aus einem an einem Gas-Druckregelgerät mit Hilfsenergie mit Sonderregler (Bild 10) eingestellten Fest-Sollwert (Sollwertfeder) und einem auf den Regler-Federdom aufgeschalteten pneumatischen Folge-Sollwert (Ladedruck).

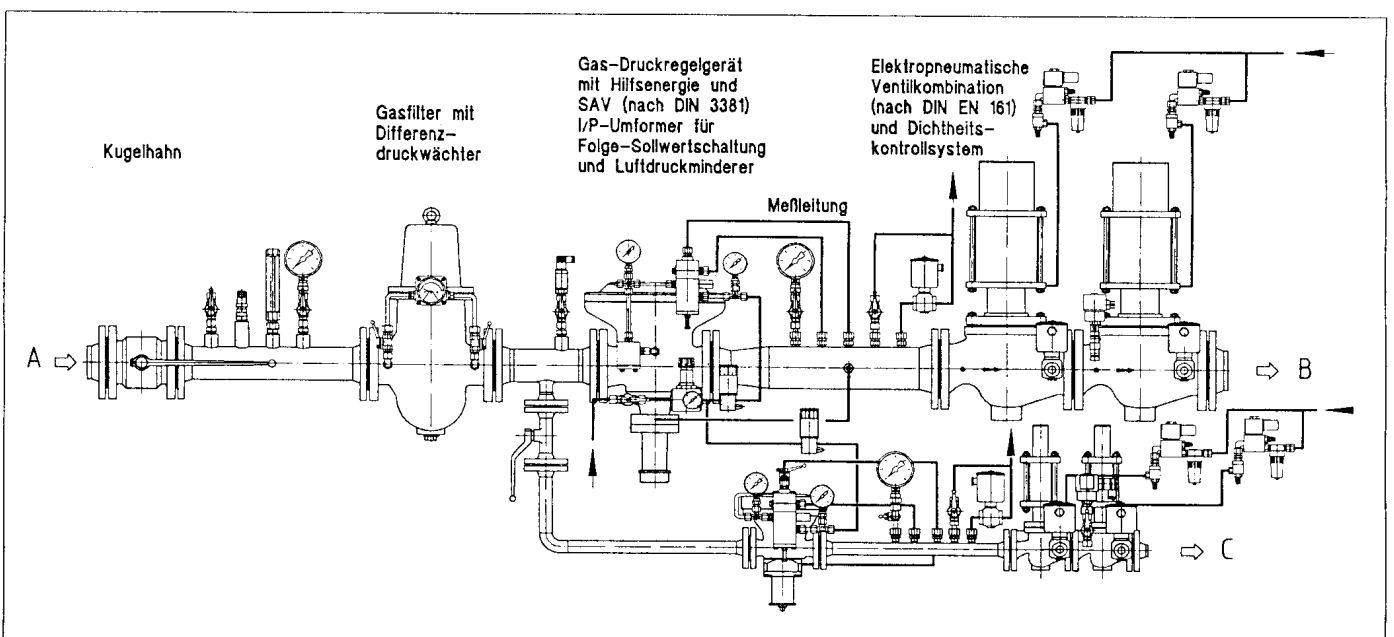


Bild 13. Gasregelstrecke mit Vorkammerstrecke.

Der Ladedruck vom Gasmotor wird dabei entweder direkt oder unter Zwischenschaltung elektronischer Komponenten und eines I/P-Umformers (e/p-Regler) aufgeschaltet. Die Anwendung der Elektronik mit dem I/P-Umformer bietet den entscheidenden Vorteil, daß bei jedem Lastpunkt des Gasmotors eine ideale Einstellung der erforderlichen Ladedruckaufschaltung gewährleistet ist.

### 9.3 Haupt-Gasstrecke, Vorkammerstrecke

Die Gas-Regelstrecken (Bild 13) werden mit Geräten wie folgt ausgerüstet: Kugelhahn, Widerstandsthermometer (PT 100), Eingangsdruckmanometer, Gasfilter mit Magneteinsatz und Differenzdruckanzeige, Druckaufnehmer (auch für MIN-Signalisierung), Anschluß für Vorkammerstrecke, Gas-Druckregelgerät mit Hilfsenergie mit Sonderregler für Fest-Sollwert und Ladedruckaufschaltung, Druckminderer und I/P-Umformer, Entspannungsventil, zwei automatische Absperrventile mit Zwischenentlüftung und Druckwächter als Dichtheitskontrollsystem, Entspannungsventil.

Die Vorkammerstrecke ist identisch zur Haupt-Gasstrecke in kleinerer Nennweite parallel angebaut.

Alle elektrischen Anschlüsse der Geräte sind zentral in Schaltkästen aufgelegt. In den Schaltkästen sind u. a. die Auswertgeräte wie Speisegeräte, Trennverstärker eingebaut. Über mehrpolige Stecker erfolgt in einfacher Weise die kundenseitige elektrische Anbindung an die Schaltkästen.

Die Gas-Regelstrecken kommen bei speziellen Anforderungen wie z. B. Gasmotoren für Erdgas-Verdichter auch in Ex-Ausführung zur Anwendung.

### 9.4 Druck-, Dichtheits- und Funktionsprüfung

Gas-Regelstrecken werden werksseitig einer Druck-, Dichtheits- und Funktionsprüfung unterzogen. Diese Prüfungen werden mit einem Werksabnahmeprüfzeugnis – 3.1.B – nach DIN EN 10 204 [22] bescheinigt.

Die fertigmontierte Anlage ist vor der Inbetriebnahme am Aufstellungsort nach DVGW-Arbeitsblatt G 490/I/G 491 [17; 18] mit Luft oder inertem Gas einer Dichtheitsprüfung mit dem 1,1fachen des jeweils höchstzulässigen Betriebsdruckes zu unterziehen.

## 10. Instandhaltung

Bei Arbeiten an Gasleitungen ist u. a. die VBG 50 [23] und das DVGW-Arbeitsblatt G 495 [24] zu beachten. Insbesondere ist zu beachten, daß Arbeiten an einer Gas-Regelstrecke (z. B. Öffnen einer Gas-Regelstrecke, Demontage und Wartung eines Gerätes) nur im drucklosem Zustand erfolgen darf und nur von unterwiesenen und qualifizierten Fachkräften durchgeführt wird.

Eingangsdruck <sup>1)</sup> in bar	Instandhaltung			Wartung <sup>2)</sup>
	Überwachung			
	Sichtkontrolle	Inspektion <sup>2)</sup>	Funktionsprüfung <sup>2)</sup>	
bis 0,1	nach Bedarf *	nach Bedarf *	nach Bedarf *	nach Bedarf *
> 0,1 bis 4,0	nach Bedarf *	nach Bedarf *	zweijährlich	zweijährlich
> 4,0 bis 16,0	vierteljährlich	halbjährlich	jährlich	zweijährlich

\* nach betrieblichen Erfordernissen  
<sup>1)</sup> Druck, mit dem die Gasanlage maximal betrieben wird  
<sup>2)</sup> Wartung beinhaltet Funktionsprüfung, Inspektion und Sichtkontrolle;  
 Funktionsprüfung beinhaltet Inspektion und Sichtkontrolle;  
 Inspektion beinhaltet Sichtkontrolle

Bild 14. Empfehlungen für die Fristen der Instandhaltung.

Bei Arbeiten an den elektrischen Stromkreisen sind die entsprechenden VDE-Vorschriften [25] zu berücksichtigen.

Im Bild 14 sind Empfehlungen für die Fristen der Instandhaltung für Geräte von Gas-Regelstrecken aufgeführt.

Bei Betrieb mit den Gasarten Klärgas, Deponiegas, Grubengas o. ä. wird zusätzlich empfohlen:

- Mindestens halbjährlich ist die gesamte Gas-Regelstrecke an allen Dichtungs- und Verbindungsstellen auf Gasleckagen zu kontrollieren
- Sicherheitsabsperreinrichtungen, Gas-Druckregelgeräte, automatische Absperrventile und andere Schaltventile sind auf Dichtheit und Funktion zu überprüfen
- Jährlich müssen die Geräte geöffnet und auf Verschleiß- und Korrosionsschäden untersucht werden. Beschädigte Teile sind zu erneuern.

Die angegebenen Instandhaltungsintervalle der Gas-Regelstreckenbauteile sind grundsätzlich nur Durchschnittswerte und können abhängig von der jeweilig örtlich vorliegenden Gasqualität und Betriebsweise erheblich von den Empfehlungen abweichen.

Die Zeitintervalle müssen daher auf jeden Fall vom Betreiber aufgrund eigener Erfahrungen überprüft und ggf. geändert werden. Gerätespezifische Besonderheiten sind jeweils den betreffenden Wartungsanleitungen und Ersatzteilliste zu entnehmen.

## 11. Schlußbemerkung

Es wurden die Anwendungen der Geräte in den Gas-Regelstrecken vor Gasmotoren beschrieben. In Anlehnung an die dafür anzuwendenden Normen, Vorschriften sowie die jeweiligen gasmotorenspezifischen Anforderungen, die jeweiligen eingesetzten Brenngasqualität und den vor Ort vorliegenden Betriebsdaten sind die Gas-Regelstrecken entsprechend auszuführen. Es sind grundsätzlich Geräte mit einer entsprechenden Baumusterprüfung und den erforderlichen Registrierungen einzusetzen. Für Deponiegas, Klärgas, Grubengas u. ä. sind weitergehende Anforderungen, wie Anwendung von Flammensicherungen z. B., einschließlich besonderer Berücksichtigung der individuellen erforderlichen Wartungsintervalle zu beachten. Im Rahmen der immo-

größer werdenden Gasmotorenleistungen und Einsatz von Brenngasen wie z.B. Grubengas werden immer höhere Anforderungen an die Gas-Regelstrecken gestellt.

### Literatur

- [1] VP 109 „Anschlußfertige Blockheizkraftwerke“, Vorläufige Prüfgrundlage des DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn“.
- [2] TRD 412 – Ausrüstung – „Gasfeuerungen an Dampfkesseln“, Carl-Heymanns Verlag KG.
- [3] DIN 4788 Teil 2 „Gasbrenner mit Gebläse“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [4] DIN EN 161 „Automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte“ (Ersatz für DIN 3394), Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [5] DIN 3381 „Sicherheitseinrichtungen für Gas-Versorgungsanlagen mit Betriebsdrücken bis 100 bar“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [6] DIN 3386 „Filter in Gas-Innenleitungen“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [7] DIN 3394 Teil 1 „Automatische Stellgeräte, Ventile“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [8] Gasgeräteleitlinie (90/396/EWG).
- [9] G 262 „Nutzung von Deponie- und Klärgasen“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [10] ZH1/178 „Sicherheitsregeln für Deponien“, HVBG Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.
- [11] DIN 33 800 „Gaszähler – Turbinenradgaszähler“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [12] G 492/I „Anlagen für die Gasmengenmessung mit einem Betriebsdruck bis 4 bar“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [13] DIN 3380 „Gas-Druckregelgeräte mit Eingangsdrücken bis 100 bar“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [14] DIN 33 822 „Gas-Druckregelgeräte und Sicherheitseinrichtungen Gasinstallation für Eingangsdrücke bis 4 bar“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [15] Fischer, R.: Gas-Druckregelgeräte und Sicherheitseinrichtungen Gas-Verteilssystemen. Rohrleitungstechnik Nr. 6, S. 349–361.
- [16] Kütz, F.: Armaturen in der Gastechnik., Industriearmaturen, Nr. 3/19 S. 196–201.
- [17] G 490/I „Gas-Druckregelanlagen“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [18] G 491 „Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke über 4 bis 100 bar – Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [19] Pflüger, K.-H. und Stellwagen, K.: Einrichtung zur Optimierung von Gasmotorenanlagen bei unterbrechungsfreier Gasartenumschaltung und Gas-Zumischbetrieb. „gwf – Gas/Erdgas“ 137 (1996) Nr. 5. S. 632-638.
- [20] G 600 (DVGW-TRGI) „Gasinstallation“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [21] G 493/I „Qualifikationskriterien für Hersteller von Gas-Druckregel- und Meßanlagen“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [22] DIN EN 10204 „Arten von Prüfbescheinigungen“, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [23] VBG 50 „Arbeiten an Gasleitungen“, HVBG Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
- [24] G 495 „Gas-Druckregelanlagen und Anlagen für die Groß-Gasmessung – Überwachung und Wartung“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [25] VDE-Vorschriften (z. B. VBG 4)

(Manuskripteingang: 24.2.19)