



# **Absicherung des Wärmetauschers bei der Erdgas-Vorwärmung**

**Dipl.-Ing. Rudolf Fischer**

Sonderdruck aus  
"gwf-Gas/Erdgas", Heft 05/1994

# Absicherung des Wärmeaustauschers bei der Erdgas-Vorwärmung

Rudolf Fischer

**Schlagwörter:** Gasentspannung, Joule-Thomson-Effekt, Gasabkühlung, Wärmeaustauscher, Wärmeträgersystem, Wärmeerzeuger, Sicherheitsabblaseventil, Sicherheitsabsperrventil, Druckstaffelung, Funktionsprüfung, Leckgas-Überwachung

Erdgas kühlt sich bei der Druckreduzierung ab. Geringe Gastemperaturen können Vereisung, Kondensatabscheidung und Hydratbildung zur Folge haben und damit Funktionsstörungen in der Gas-Druckregel-Anlage bewirken. Um solche Störungen zu vermeiden, wird das Erdgas vor dem Druckregelgerät aufgeheizt. Die dazu verwendeten Vorwärmanlagen müssen mit Sicherheitseinrichtungen ausgestattet werden, die einen unzulässigen Druckaufbau auf der Gas- und auch auf der Wärmeträgerseite verhindern. Die im neuen DVGW-Merkblatt G 499 empfohlenen Sicherheitseinrichtungen werden nachfolgend beschrieben.

Bei der Entspannung von Erdgas findet eine deutliche Abkühlung statt. Diese Temperaturreduzierung wird als Joule-Thomson-Effekt bezeichnet; sie ist abhängig von der Gaszusammensetzung sowie von den Zustandsgrößen „Druck“ und „Temperatur“.

Die Abkühlung des Erdgases beim Drosselvorgang kann durch Kondensatabscheidung, durch Hydratbildung oder Vereisung zu Funktionsstörungen in den Gas-Druckregelanlagen oder auch in Anlagen der Gas-mengenmessung führen. Um Störungen dieser Art zu verhindern, wird das Erdgas vor der Drosselstelle aufgeheizt [1].

Im neuen DVGW-Merkblatt G 499 [2] wurden erstmals die in der Vergangenheit mit Vorwärmanlagen gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse zusammengestellt und Vorgaben für die Planung, Fertigung und die Errichtung solcher Anlagen gemacht. Die Entwurfsfassung des Merkblattes wurde bereits der Fachöffentlichkeit vorgestellt und durchlief im Juni 1993 die Ein-spruchsverhandlung. Mit der Herausgabe der G 499 ist Mitte 1994 zu rechnen.

Das Grundprinzip einer Erdgas-Vorwärmanlage ist im *Bild 1* dargestellt. In der Kesselanlage wird das Wärmeträgermedium – zumeist Wasser – aufgeheizt und über die Umwälzpumpe und das Mischerventil dem Wärmeaustauscher zugeleitet. Vom Temperaturregler wird das Mischerventil so angesteuert, daß unabhängig vom Druckgefälle und vom Gas-Volumenstrom die vorgege-

bene Temperatur des Gases konstant gehalten werden kann. Im Wärmeaustauscher treffen – getrennt durch die Wandungen der Wärmeaustauscherrohre – zwei Systeme mit unterschiedlichen zulässigen Betriebsdrücken aufeinander. Dabei ist die Kesselanlage für einen Betriebsdruck ausgelegt, der wesentlich geringer ist als der höchstmögliche Gasdruck. Das Wärmeträgersystem ist daher mit Sicherheitseinrichtungen auszustatten, die verhindern müssen, daß es bei Undichtheiten an den Wärmeaustauscherrohren zum Überschreiten des höchstzulässigen Betriebsdruckes kommt.

Bei den Absicherungs-Maßnahmen ist weiterhin zu beachten, daß es sich beim Wärmeaustauscher zumeist um einen absperrbaren Anlagenbereich handelt: Wird bei geschlossenen Absperrarmaturen die Gastemperatur erhöht, so hat dieser Vorgang einen entsprechenden Druckanstieg zur Folge. Auch hier muß durch geeignete Maßnahmen verhindert werden, daß es zu einer unzulässigen Beanspruchung der mit dem Gasdruck beaufschlagten Bauteile kommt.

Die für beide Fälle möglichen Absicherungseinrichtungen wurden bereits in *Bild 1* dargestellt; sie sind zusätzlich noch einmal in der Übersicht *Bild 2* zusammengefaßt.

## 1. Absicherung der Gasseite

Wie bereits ausgesagt, ergibt sich die Notwendigkeit von Absicherungseinrichtungen auf der Gasseite aus der Tatsache, daß die Erhöhung der Temperatur eines abgeschlossenen Gassystems eine entsprechende Erhöhung des Gasdruckes zur Folge hat.

Das Gasvolumen im Wärmeaustauscher kann durch Schließen der ein- und ausgangseitigen Absperrarmaturen eingekammert werden. Erfährt das Gas jetzt über den Wärmeträger eine Aufheizung, ergibt sich zwangsläufig auch eine Druckerhöhung. Dabei ist entsprechend der allgemeinen Zustandsgleichung für Gase folgender Zusammenhang gegeben (Druck und Temperatur sind mit den Absolutwerten einzusetzen):

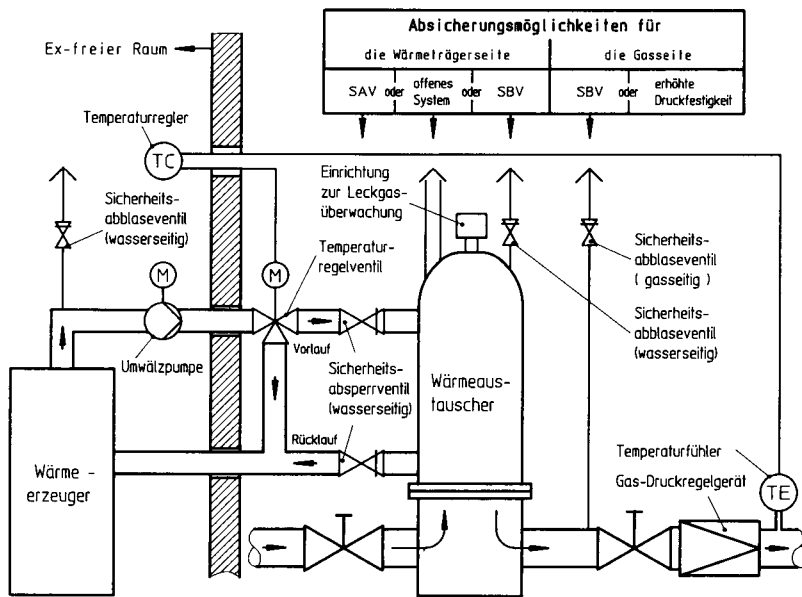
$$p_1 \cdot \frac{V_1}{T_1} = p_2 \cdot \frac{V_2}{T_2}$$

Mit  $V_1 = V_2$  errechnet sich der Gasdruck  $p_2$ , der sich durch Temperaturerhöhung von  $T_1$  nach  $T_2$  einstellt, wie folgt:

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

Würde z.B. das mit einem absoluten Druck von  $p_1 = 81$  bar im Wärmeaustauscher gekammerte Gas von  $5^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 278$  K) auf  $75^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 348$  K) aufgeheizt, so erhöhte sich der absolute Gasdruck  $p_2 = 101,4$  bar.

Würde die Gasseite des Wärmeaustauschers einschl. der zugehörigen druckbeaufschlagten Bauteile für den höchstmöglichen Druck ausgelegt, der sich unter Temperatureinwirkung einstellen kann, so sind zusätzliche Sicherheitseinrichtungen nicht erforderlich.



**Bild 1.** Grundprinzip einer Erdgas-Vorwärmanlage.

Da die max. Temperatur, auf die sich das Gas im ungünstigsten Fall aufheizen kann, nicht immer eindeutig bestimmbar ist und die Berechnung oft die nächsthöhere Druckstufe für den Wärmeaustauscher verlangt (s. obiges Beispiel), wird zur Absicherung sehr häufig ein Sicherheitsabblaseventil (SBV) eingesetzt.

In der Regel müssen hohe Drücke überwacht werden; es ist daher zweckmäßig, für diesen Anwendungsfall ein membranloses SBV vorzusehen (s. Bild 3).

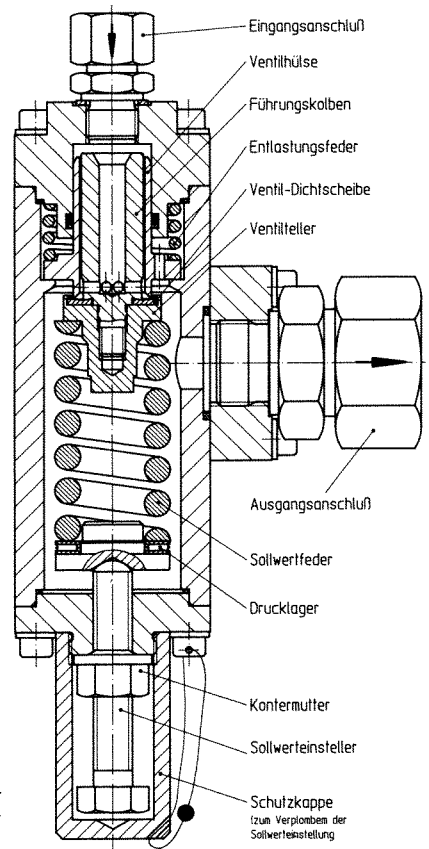
Mit dem zu überwachenden Druck wird die gesamte Fläche des Ventiltellers beaufschlagt. Die so erzeugte Kraft vergleicht sich mit der Kraft der Sollwertfeder. Übersteigt die Istkraft des Druckes den eingestellten Sollwert, wird das Stellglied geöffnet und Gas über den ausgangsseitigen Anschluß ins Freie abgeblasen.

Die Ventildüse ist angefedert, um die Ventildichtung vor unzulässiger Belastung zu schützen: Steht am Ventilteller ein Druck an, der um einen bestimmten Betrag unter dem eingestellten Sollwert liegt, so weicht die Düse soweit nach oben aus, bis der Führungskolben am Gehäuseoberteil zur Anlage kommt und so die große Kraft der Sollwertfeder ins Gehäuse abgeleitet wird.

Das Aufheizen des Gases im Wärmeaustauscher ist ein zeitbehafteter Vorgang. An die Leistungsfähigkeit des zur Absicherung eingesetzten SBV müssen daher keine besonderen Anforderungen gestellt werden.

Absicherung			
der Gasseite		der Wärmeträgerseite	
eigensicher	oder abblasen	abblasen	oder absperren
erhöhte Druckfestigkeit	SBV	offenes System oder SBV	SAV im Vorlauf und Rücklauf
Empfehlung: zusätzliche Leckgasüberwachung			

**Bild 2.** Absicherung des Wärmeaustauschers.



**Bild 3.** Sicherheitsabblaseventil (Typ RMG 873).

## 2. Absicherung der Wärmeträgerseite

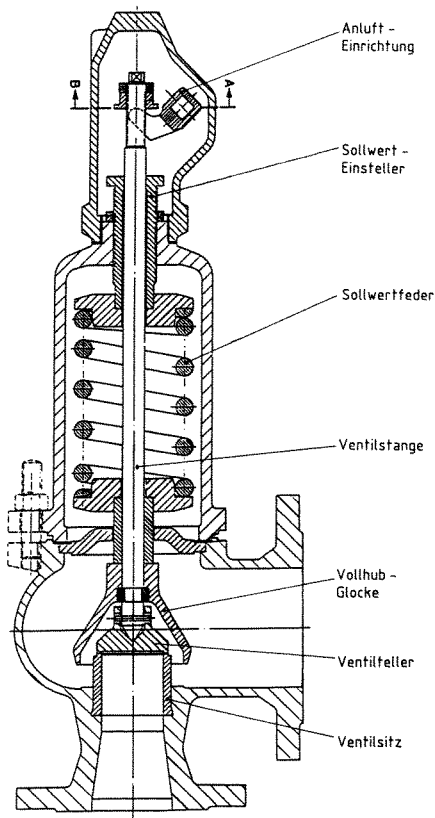
Der Wärmeaustauscher wird zum einen vom hohen Gasdruck beaufschlagt, zum anderen steht er mit dem Wärmeträgersystem in Verbindung, das für einen wesentlich geringeren Betriebsdruck ausgelegt ist.

Durch geeignete Sicherheitseinrichtungen muß verhindert werden, daß es bei einem Schaden an den Wärmeaustauscherrohren zu einem unzulässigen Druckanstieg im Wärmeträgersystem und damit im Wärmeerzeuger kommt. Grundsätzliche Überlegungen dazu wurden in der Veröffentlichung „Die Absicherung der Wasserseite von Vorwärmern in Gas-Druckregelanlagen“ [3] formuliert. Im DVGW-Merkblatt G 499 werden zwei unterschiedliche Verfahren zur Absicherung empfohlen:

### 2.1 Absicherung durch Abblasen

Die Absicherung durch „Abblasen“ kann durch eine ausreichende dimensionierte Sicherheitsabblaseeinrichtung am Wärmeaustauscher oder durch ein gegen die Atmosphäre offenes Wärmeträgersystem realisiert werden. Die ins Freie zu verlegende Abblaseleitung darf dabei nicht absperrenbar sein.

Zur Atmosphäre offene Wärmeträgersysteme kommen heute nur noch selten zum Einsatz. Sie finden nur dann Anwendung, wenn auf Umwälzpumpen verzichtet werden kann, das System also mit Schwerkraft-Umwälzung arbeitet. Schwerkraft-Anlagen werden eingesetzt, wenn eine nur geringe Wärmeleistung benötigt wird und wenn an das dynamische Verhalten des Wärmeaustauschers keine hohen Anforderungen gestellt werden müssen.



**Bild 4.** Federbelastetes Sicherheitsabblaseventil (Typ Bopp & Reuther SI 6302 GA).

Wird das Wärmeträgersystem durch ein SBV abgesichert, kommen Geräte gem. *Bild 4* zur Anwendung.

Wegen der hohen Temperaturen des Wärmeträgermediums ist auch in diesem Falle der Einsatz membranloser Geräte zu empfehlen. Der zu überwachende Druck wird auf den Ventilteller geschaltet. Die so erzeugte Istkraft vergleicht sich mit der Kraft der Sollwertfeder. Sobald der Druck im Wärmeträgersystem den eingestellten Grenzwert überschreitet, beginnt der Öffnungsvorgang. Die besondere Ventilkonstruktion bedingt einen Vollhub-Effekt, der gewährleistet, daß bereits bei geringer Überschreitung des Sollwertes große Abströmquerschnitte freigegeben werden.

Bei der Entscheidung für eine Absicherung des Wärmeträgersystems durch Abblasen erweist sich die richtige Dimensionierung des SBVs – und natürlich auch die Dimensionierung der Rohrleitungen bei offenen Systemen – als schwierigstes Problem. Entscheidende Frage dabei ist, welche Störung an den Wärmeaustauscherröhren für die Berechnung zugrunde gelegt werden muß.

Es ist heute vielfach angewandte Praxis, den Bruch eines Wärmeaustauscherröhres als max. mögliche Störung anzunehmen. Diese Annahme ist vornehmlich dann gerechtfertigt, wenn der Wärmeaustauscher mit der später beschriebenen Leckgas-Überwachung ausgerüstet ist.

Nachfolgend sind Dimensionierungs-Beispiele für das offene System und für das SBV dargestellt. Dabei wurden folgende Geräte- bzw. Betriebsdaten angenommen (s. auch *Bild 5*):

- Innendurchmesser der Wärmeaustauscherröhre  $d_i = 9,2 \text{ mm}$   
Gemäß DVGW-Merkblatt G 499 sollen die Rohre mindestens einen Innendurchmesser von 8 mm aufweisen.
- Maximaler Gasdruck  $p = 40 \text{ bar}$
- Zulässiger Betriebsdruck im Wärmeträgersystem  $p_{zul} = 2,5 \text{ bar}$   
Diese Grenze wird i. d. R. vom Wärmeerzeuger bestimmt.

Der über die angenommene Bruchstelle (zwei offene Rohrenden) in den Raum des Wärmeträgermediums strömende Volumenstrom  $q_{zu}$  errechnet sich in grober Annäherung mit den gebräuchlichen Durchflußformeln [4] wie folgt:

$$\begin{aligned}
 q_{n, zu} &= 2 \cdot \eta \cdot A_{zu} \cdot 173 \cdot \frac{p_e}{2} & (1) \\
 &= 2 \cdot 0,8 \cdot 0,66 \cdot 173 \cdot \frac{41}{2} \\
 &= \underline{\underline{3750 \text{ m}^3/\text{h}}}.
 \end{aligned}$$

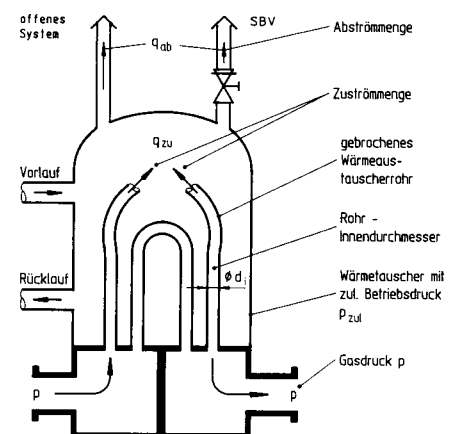
Um diesen Volumenstrom abführen zu können ( $q_{n, zu} = q_{n, ab}$ ), ohne im Wärmeträgersystem den zulässigen Betriebsdruck von  $p_{zul} = 2,5 \text{ bar}$  zu überschreiten, sind bei den abblasenden Einrichtungen folgende Dimensionen erforderlich:

#### 2.1.1 Zur Atmosphäre offenes System

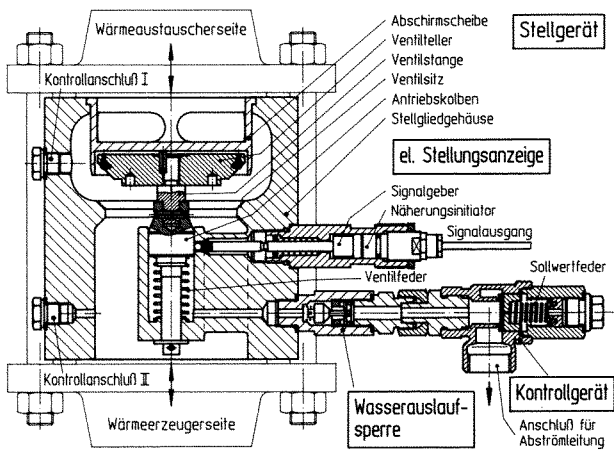
Der Abströmquerschnitt errechnet sich durch Umstellung der Gl. (1) mit

$$\begin{aligned}
 A_{ab} &= \frac{q_{n, ab} \cdot 2}{\eta \cdot 173 \cdot p_{zul}} \\
 &= \frac{3750 \cdot 2}{0,8 \cdot 173 \cdot 3,5} \\
 &= \underline{\underline{15,5 \text{ cm}^2}}.
 \end{aligned}$$

Eine ausreichende Dimensionierung ist gegeben, wenn eine Leitung der Nennweite DN 50 Anwendung findet. Leitungen mit diesem Durchmesser haben einen freien Querschnitt von ca.  $19 \text{ cm}^2$ .



**Bild 5.** Dimensionierung der Abblaseeinrichtungen.



**Bild 6.** Sicherheits-Absperrventile (Typ RMG 790) zur Absicherung von Wärmeaustauschern.

### 2.1.2 System mit SBV

Der für den Abblasevorgang erforderliche Durchflußkoeffizient läßt sich ebenfalls mit der Durchflußformel  $q_n = K_G \cdot p_e/2$  bestimmen:

$$\begin{aligned}
 K_{G \text{ erf}} &= \frac{2 \cdot q_n}{p_e} \\
 &= \frac{2 \cdot 3750}{3,5} \\
 &= \underline{\underline{2150 \text{ m}^3/\text{h}}}.
 \end{aligned}$$

Dieser  $K_G$ -Wert wird je nach Fabrikat und Ausführung von einem SBV gem. *Bild 4* der Nennweite DN 50 bzw. DN 80 erfüllt.

### 2.2 Absichern durch Absperrn

Bei der Absicherung der Wärmeträgerseite durch Sicherheitsabsperrentile (SAV) werden entsprechende Geräte am Anschlußstutzen für den Vor- und den Rücklauf angeordnet. Diese SAV überwachen den Druck im Wärmeträgersystem. Wird ein vorgegebener Grenzwert überschritten, schließen die Geräte und trennen den Wärmeaustauscher vom übrigen Wärmeträgersystem. Bei Anwendung der Sicherheitsabsperreinrichtungen muß das äußere Gehäuse des Wärmeaustauschers für den max. Druck ausgelegt werden, der auf der Gasseite auftreten kann.

*Bild 6* zeigt die technische Ausführung eines solchen SAVs. Es besteht aus dem Stell- und dem Kontrollgerät. Das Stellgliedgehäuse ist flanschlos ausgeführt und wird mit Schraubenbolzen zwischen dem Anschlußflansch des Wärmeaustauschers und dem Anschlußflansch der zum Wärmeerzeuger führenden Vor- bzw. Rücklaufleitung eingespannt. Das Stellgliedgehäuse besitzt einen axialen Durchgang, wobei die Fläche des Ventilquerschnittes annähernd der Fläche der Anschluß-Nennweite entspricht.

Im normalen Betriebszustand sind alle Räume der Sicherheitsabsperreinrichtung mit dem im Wärmeträgerkreislauf herrschenden Druck beaufschlagt. Dabei

wird die Ventilplatte durch die Ventildfeder in Offenstellung gehalten. Die Ventilplatte ist durch eine Abschirmscheibe gegen Strömungskräfte des umlaufenden Wärmeträgermediums abgeschirmt, so daß ein unbeabsichtigtes Schließen verhindert wird.

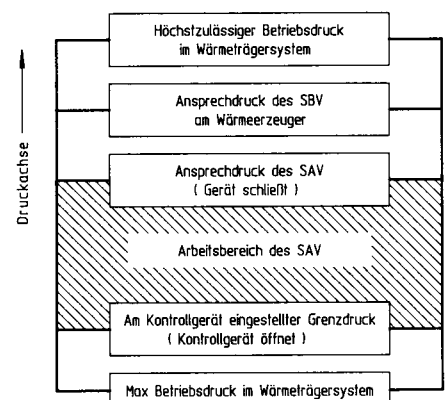
Steigt der Druck im Wärmeträgersystem infolge einer Leckage des Wärmeaustauschers an, so öffnet beim Erreichen des eingestellten Grenzdruckes das am SAV angebaute Kontrollgerät. Eine geringe Wassermenge fließt ins Freie ab; der Druck in der Kammer unterhalb des Antriebskolbens wird annähernd konstant gehalten. Steigt der Druck im Wärmeträgersystem weiter an, so wirkt auf den Antriebskolben des SAVs ein immer größerer Differenzdruck ein.

Sobald die Druckdifferenz die Vorspannkraft der Ventildfeder erreicht, schließt das SAV. Die Ventilplatte legt sich dichtend auf den Ventilsitz und sperrt den Wärmeaustauscher vom übrigen Wärmeträgersystem ab. Die Sicherheitsabsperreinrichtung öffnet erst dann wieder selbsttätig, wenn der Druck im Wärmeaustauscher – also oberhalb des Ventiltellers – auf einen Wert gebracht wird, der dem am Kontrollgerät eingestellten Grenzdruck entspricht.

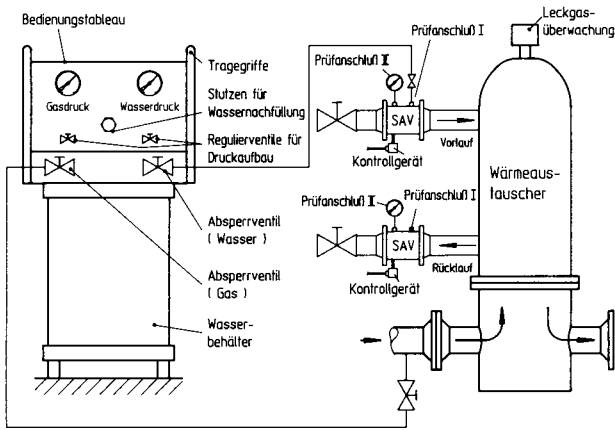
SAV haben gegenüber abblasenden Systemen den Vorteil, daß keine Überlegungen bezüglich der anzunehmenden Störung an den Wärmeaustauscherrohren angestellt werden muß. Unabhängig davon, ob dem Druckanstieg im Wärmeaustauscher eine kleine Leckage oder auch das Brechen mehrerer Wärmeaustauscherrohre zugrunde liegt: Beim Erreichen des eingestellten Ansprechdruckes wird der defekte Wärmeaustauscher vom übrigen Wärmeträgersystem getrennt [3].

Beim Einsatz von SAV gem. *Bild 6* ist der Druckbereich zu beachten, dessen Grenzen durch das erste Öffnen des Kontrollgerätes und das Schließen des Stellgliedes gegeben ist. Die Größe dieses Druckbereiches wird von konstruktiven Daten wie der Nennweite, aber auch von der Einbauanlage des SAVs bestimmt. Der max. Betriebsdruck im Wärmeträgermedium muß unterhalb, der Ansprechdruck des SBVs an der Kesselanlage oberhalb dieses Druckbereiches liegen (s. dazu auch *Bild 7*).

Das am Wärmeaustauscher eingesetzte SAV muß regelmäßigen Funktionsprüfungen und Wartungsarbeiten unterzogen werden. Dabei sollten die im DVGW-Ar-



**Bild 7.** Einstellung des SAV-Ansprechdruckes.



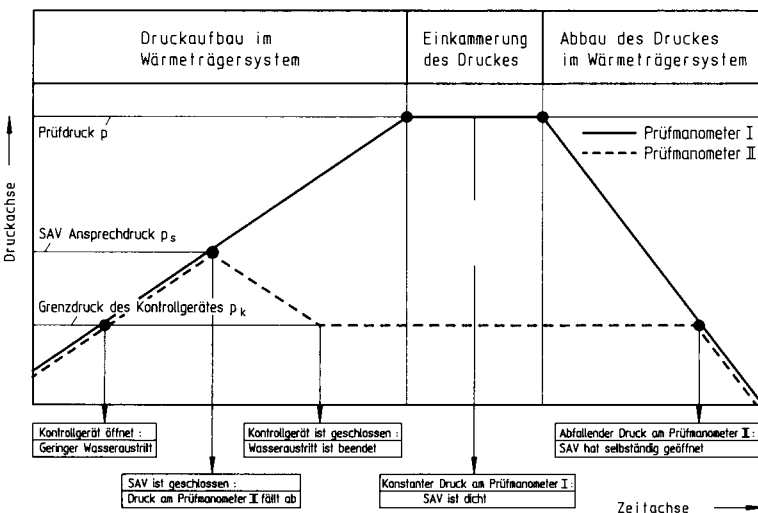
**Bild 8.** Einrichtung zur Funktionsprüfung der SAV (System RMG).

beitsblatt G 495 [5] empfohlenen Zyklen zur Anwendung kommen.

Für die Funktionsprüfung stehen Einrichtungen gem. *Bild 8* zur Verfügung: An einem SAV wird der Prüfanschluß I mit der Prüfeinrichtung verbunden. Der Prüfanschluß II ist jeweils mit einem Kontrollmanometer zu belegen.

Grundelement der Prüfeinrichtung ist der durch eine Membran in zwei Räume unterteilte Druckbehälter. Der eine Raum ist mit Wasser gefüllt, während der andere Raum über eine Ventilkombination mit Druckgas beaufschlagt werden kann. Für den Druckaufbau wird normalerweise der in der Gas-Druckregelanlage vorhandene Eingangsdruck herangezogen. Das dem Behälter zugeordnete Sicherheitsabblaseventil verhindert in Kombination mit einer Zuströmdrossel – auch bei Fehlbedienung – eine unzulässige Druckbeaufschlagung.

Beim Prüfvorgang wird der Gasdruck und damit in gleicher Weise auch der Druck im Wärmeträgersystem langsam angehoben. Das Erreichen des an den Kontrollgeräten eingestellten Grenzdruckes ist am beginnenden Wasseraustritt erkennbar. Wird der Druck je nach Einbaulage und je nach Nennweite um 0,5 bis



**Bild 9.** Druckverlauf beim Prüfvorgang.

1 bar weiter angehoben, schließt das SAV. Der Schließvorgang wird dadurch angezeigt, daß der Druck am Prüfanschluß II wieder bis auf den am Kontrollgerät eingestellten Grenzdruck abfällt (s. dazu *Bild 9*). Der Wärmeaustauscher wird jetzt durch Schließen der entsprechenden Ventile von der Prüfeinrichtung getrennt. Ein konstant bleibender Druck im Wärmeaustauscher (Manometer am Prüfanschluß I) ist Bestätigung für den dichten Abschluß beider SAV.

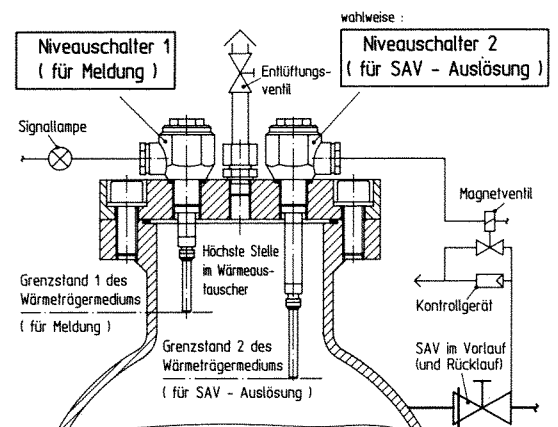
## 2.3 Leckgas-Überwachung

Im DVGW-Merkblatt G 499 wird empfohlen, die vorgeschriebenen Maßnahmen zur Absicherung der Wärmeträgerseite durch eine Leckgas-Überwachung zu unterstützen. Eine solche Einrichtung hat die Aufgabe, beginnende Undichtheiten an den Wärmeaustauscherröhren möglichst frühzeitig zu erkennen. Zur Leckgasüberwachung werden entweder Druckschalter oder Wasserstandsmelder herangezogen.

Kommt ein Druckschalter zur Anwendung, ist ein Schalterpunkt zu wählen, der oberhalb des normalen Betriebsdruckes im Wärmeträgersystem und unterhalb des Ansprechdruckes der Sicherheitseinrichtungen (vgl. dazu *Bild 7*) liegt.

Frühzeitiger als mit dem Druckschalter kann eine beginnende Leckage über einen Niveauschalter erfaßt werden. An der höchsten Stelle im Wärmeaustauscher wird entweder ein Schwimmer-Schalter oder eine Stabsonde angeordnet. Gasansammlungen im Wärmeaustauscher werden gemeldet und geben Hinweis auf mögliche Undichtheiten.

Wie in *Bild 10* dargestellt, besteht natürlich auch die Möglichkeit, den Ansprechpunkt eines zweiten Niveauschalters zu nutzen, um über ein zum Kontrollgerät parallel geschaltetes Magnetventil des Sicherheitsabsperrventil gem. *Bild 6* bereits vor einem erkennbaren Druckanstieg zu schließen.



**Bild 10.** Einrichtung zur Leckgasüberwachung.

### 3. Zusammenfassung

Die bei der Entspannung von Erdgas gegebene Abkühlung wird durch Vorwärmsysteme ausgeglichen. Dabei ist der Wärmeaustauscher Trennstelle zwischen dem hohen Gasdruck und dem für einen geringeren Betriebsdruck ausgelegten Wärmeträgersystem.

Gemäß dem neuen DVGW-Merkblatt G 499 sind am Wärmeaustauscher Einrichtungen vorzusehen, die einen unzulässigen Druckaufbau auf der Gasseite infolge Erwärmung ebenso verhindern wie einen unzulässigen Druck auf der Wärmeträgerseite durch einen Defekt an den Wärmeaustauscherrohren.

Die Absicherung der Gasseite erfolgt über erhöhte Eigensicherheit oder ein geeignetes SBV. Zur Absicherung der Wärmeträgerseite kommen entweder abblasende oder absperrende Systeme zur Anwendung.

Das SAV hat gegenüber dem SBV den Vorteil, daß jede beliebige Störung beherrscht werden kann. Beim Si-

cherheitsabblaseventil ist zudem nachteilig, daß im Schadensfall größere Gasmengen in die Atmosphäre abgeblasen werden müssen. Durch Einrichtungen zur Leckgas-Überwachung sollen beginnende Schäden möglichst frühzeitig erkannt werden.

#### Literatur

- [1] *Staudinger, W.*: Planung, Bau und Betrieb von Erdgasvorwärmanlagen. gwf-Gas/Erdgas 130 (1989) Nr. 3, S. 132/137.
- [2] DVGW-Merkblatt G 499: Erdgas-Vorwärmung in Gasanlagen (erscheint Mitte 1994).
- [3] *Weidner, G.*: Die Absicherung der Wasserseite von Vorwärmern in Gas-Druckregelanlagen. gas wärme international 27 (1978) Nr. 12, S. 717/720.
- [4] *Fischer, R.*: Gastechnischer Brief Nr. 5: Gas-Druckregelung – Grundlagen. Frankfurt: ZfGW-Verlag.
- [5] DVGW-Arbeitsblatt G 495: Gas-Druckregelanlagen und Anlagen für die Groß-Gasmessung – Überwachung und Wartung – Neufassung (erscheint im zweiten Quartal 1994).