

# Möglichkeiten der Kostenreduzierung bei der Erdgasvorwärmung

*Der Erdgasvorwärmung wird große Aufmerksamkeit bei der Planung von Gasdruckregel-, Erdgasentspannungs- und Erdgasspeicheranlagen geschenkt, insbesondere der richtigen Berechnung des Wärmebedarfes und der Absicherung des Wärmeübertragers vor Gas-eintritt und Druckerhöhung im Heizsystem. Trotzdem werden bei weitem nicht alle Möglichkeiten der Senkung von Investitions- und Betriebskosten genutzt, die sich nach heutigem Stand der Technik bei der Erdgasvorwärmung bieten.*

Die Erdgasvorwärmung dient der Kompensierung der Temperaturreduzierung infolge des Joule-Thomson-Effektes – der isenthalpen Druckreduzierung/der Erdgasdrosselung bzw. infolge der polytropen Druckreduzierung – der Erdgasentspannung.

Bei diesen Prozessen besteht die Gefahr, dass das Erdgas Temperaturen annimmt, bei denen Erdgasbestandteile wie Wasser oder höhere Kohlenwasserstoffe kondensieren, es zur Bildung von Erdgashydraten kommt, die Gas führenden Rohrleitungen und Apparate von außen und innen betauen oder zusätzlich vereisen. Um diese unerwünschten Nebenerscheinungen zu minimieren, wird das Erdgas bei der Drosselung vorgewärmt oder bei der Erdgasentspannung auch zwischen- und nachgewärmt.

Dazu werden Wärmeübertragungs- und Heizsysteme installiert, die einen bedeutenden Teil der Investitions- und Betriebskosten von Gasdruckregel-, Erdgasentspannungs- und Erdgasspeicheranlagen verursachen. Es werden deshalb – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – mit dem Ziel der Kostenreduzierung verschiedene Möglichkeiten der Optimierung im Zusammenhang mit der Erdgasvorwärmung herausgearbeitet.

## I. Möglichkeiten der Senkung der Investitionskosten Ermittlung des Wärmebedarfes

Bei der Drosselung handelt es sich um einen isenthalpen Prozess, d. h. die Enthalpie des Gases ist vor und nach der Drosselung konstant. Zur Vereinfachung der Berech-

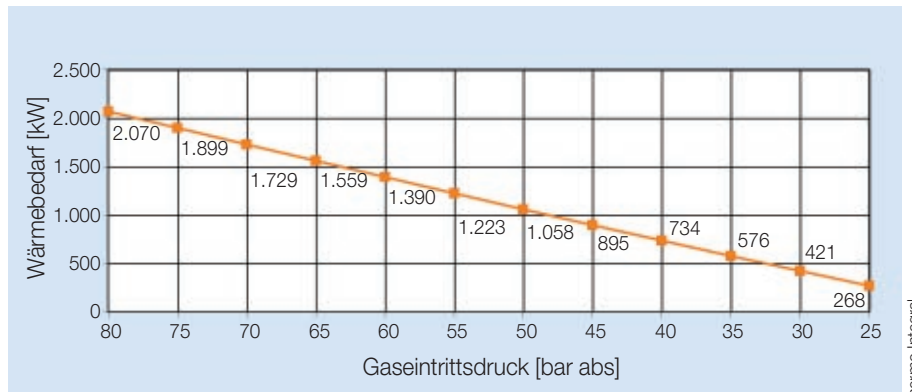


Abb. 1: Wärmebedarf in Abhängigkeit vom Gaseintrittsdruck (Nor04) (siehe S. 11)

Quelle: Thermo Integral

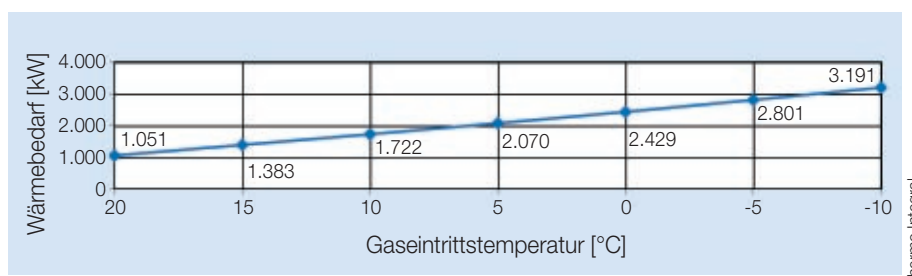


Abb. 2: Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Gaseintrittstemperatur (Nor04) (siehe S. 11)

Quelle: Thermo Integral

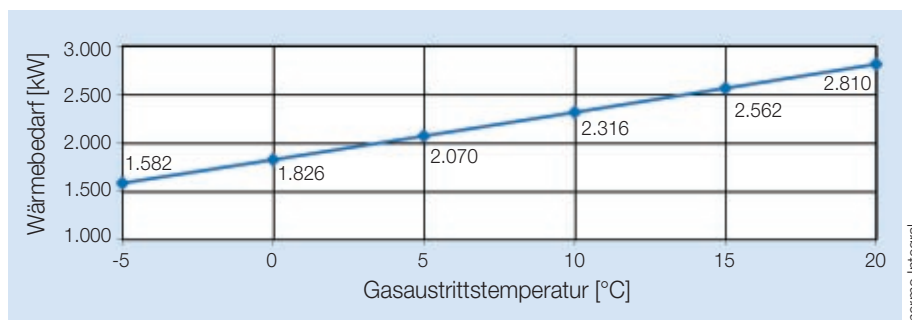


Abb. 3: Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Gasaustrittstemperatur (Nor04) (siehe S. 13)

Quelle: Thermo Integral

nung der Temperaturreduzierung bei der Drosselung greift man konventionell auf den Joule-Thomson-Koeffizienten zurück, der ein Maß für die Temperaturreduzierung je Einheit der Druckreduzierung ist. Um den Wärmebedarf für die Erwärmung des Erdgases zu ermitteln, ist zusätzlich die isobare Wärmekapazität des Erdgases erforderlich.

Beide Stoffkennwerte sind von der Zusammensetzung des Erdgases und von seinem Zustand, d. h. von dem herrschenden Prozess- bzw. Betriebsdruck und der -Temperatur, stark abhängig. Sie ändern sich also während der Erwärmung bzw. Drosselung, weshalb man bei den Berechnungen Mittelwerte benutzt [1].

Gewöhnlich werden die Stoffkennwerte dem DVGW-Merkblatt G 499 [2] entnommen. Dies kann jedoch nur für überschlägige Berechnungen genügen. Voraussetzung für die optimale Auslegung einer Gasvorwärmanlage ist eine möglichst genaue Ermittlung des maximalen Wärmebedarfes. Deshalb sollte die Enthalpie selbst als Stoffkennwert herangezogen werden. Über die Konstanz der Enthalpie vor und nach der Drosselung kann mit entsprechender Software in iterativen Näherungsverfahren äußerst genau die erforderliche Erdgastemperatur vor der Drosselung ermittelt werden, die zu der gewünschten Gasaustrittstemperatur führt.

$$h(P_{\text{WW}}; t_{\text{WW}}) = h(P_{\text{aus}}; t_{\text{aus}})$$

Die Enthalpiedifferenz zwischen den Erdgastemperaturen vor und nach der Erwärmung stellt den spezifischen Wärmebedarf je Kilogramm Erdgas für dessen Erwärmung dar.

$$q = h(P_{\text{WW}}; t_{\text{WW}}) - h(P_{\text{ein}}; t_{\text{ein}})$$

Der Gesamtwärmebedarf ergibt sich aus dem Produkt des spezifischen Wärmebedarfes und der durchgesetzten Gasmenge.

$$Q = q \cdot m$$

Die durchgesetzte Gasmenge wiederum ist ein Produkt aus Gasvolumenstrom und Gasdichte im Normzustand ( $P_N = 1,01325 \text{ bar abs}$ ;  $t_N = 0 \text{ °C}$ ).

$$m = v_N \cdot \rho_N$$

Anhand des Beispiels einer Gasdruckregelanlage mit einem maximalen Normdurchsatz von  $100.000 \text{ m}^3/\text{h}$  sollen beide Berechnungsverfahren gegenübergestellt werden.

Als Gasart wurde Erdgas H aus der Nordsee mit der durchschnittlichen Zusammensetzung im Netz der E.ON-Ruhrgas AG im Jahr 2004 (Nor04) mit einer Normdichte von  $\rho_N = 0,8334 \text{ kg/m}^3$  zu Grunde gelegt [3].

Zunächst das herkömmliche Berechnungsverfahren. Zur Ermittlung eines ersten Näherungswertes wird der mittlere Joule-Thomson-Koeffizient für den Ein- und Austrittszustand der Gasdruckregel-

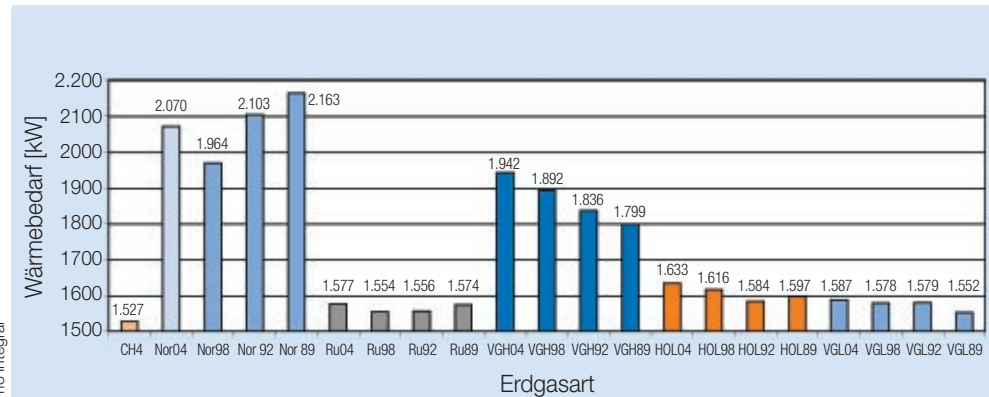


Abb. 4: Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Gasart (siehe S. 13)

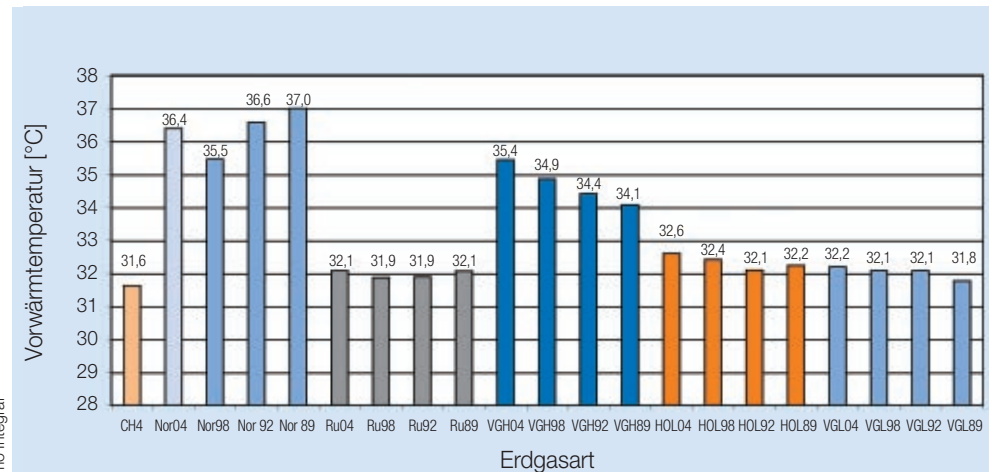


Abb. 5: Gasvorwärmtemperatur in Abhängigkeit von der Gasart (siehe S. 14)

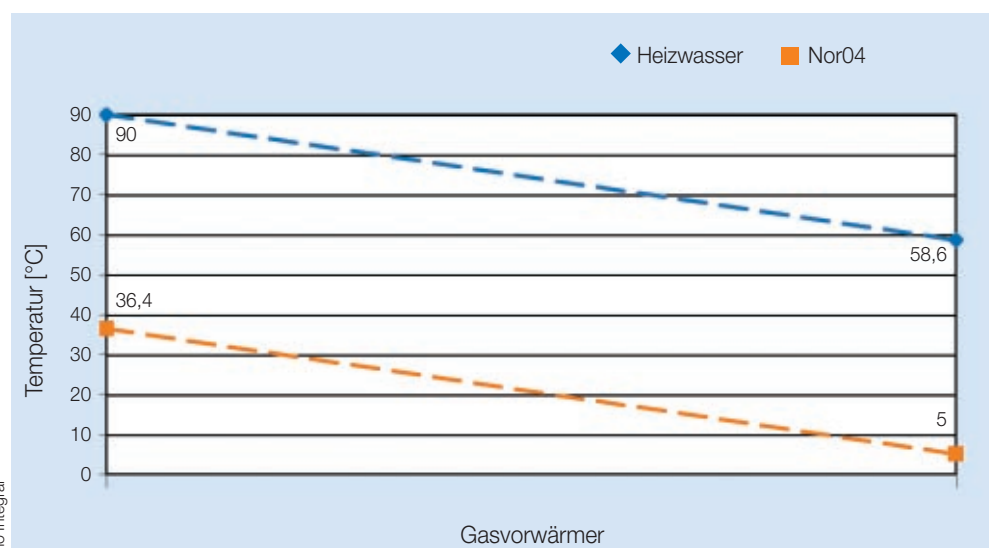


Abb. 6: Temperaturen an einem Gasvorwärmer (siehe S. 15)

anlage ermittelt. Interessenthalber werden die Mittelwerte aus den Stoffkennwerten am Anfang und am Ende des Prozesses den Mittelwerten für die mittleren Prozesstemperaturen und -Drücke gegenübergestellt (Tab. 1). Mit dem Mittelwert des Joule-Thomson-Koeffizienten ergibt sich die für die weiteren Berechnungen zu Grunde gelegte Gasvorwärmtemperatur:

$$t_{\text{VW}} = t_{\text{aus}} + \mu_j \cdot \Delta P$$

$$t_{\text{VW}} = 5 \text{ °C} + 5,364 \text{ K/MPa} \cdot 6,4 \text{ MPa} = \underline{39,33 \text{ °C}}$$

$$t_{\text{VW}}^* = 5 \text{ °C} + 5,607 \text{ K/MPa} \cdot 6,4 \text{ MPa} = \underline{40,88 \text{ °C}}$$

In der zweiten Näherung werden die Stoffkennwerte präzisiert (Tab. 2). Daraus ergibt sich die präzisierte Gasvorwärmtemperatur:

$$t_{\text{VW}} = 5 \text{ °C} + 4,606 \text{ K/MPa} \cdot 6,4 \text{ MPa} = \underline{34,48 \text{ °C}}$$

$$t_{\text{VW}}^* = 5 \text{ °C} + 4,886 \text{ K/MPa} \cdot 6,4 \text{ MPa} = \underline{36,27 \text{ °C}}$$

Nach dem Berechnungsverfahren der Konstanz der Enthalpien ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Werte.

**Abweichung**

$$\Delta t_{\text{VW}} = |t_{\text{VW } h=\text{const.}} - t_{\text{VW } \mu_j}|$$

$$\Delta t_{\text{VW}} = |36,38 \text{ °C} - 34,48 \text{ °C}| = 1,90 \text{ K}$$

$$\Delta t_{\text{VW}}^* = |36,38 \text{ °C} - 36,27 \text{ °C}| = 0,11 \text{ K}$$

**Wärmebedarf**

Zunächst wieder das herkömmliche Berechnungsverfahren:

$$q_{\text{VW}} = c_p \cdot (t_{\text{VW}} - t_{\text{ein}})$$

$$q_{\text{VW}} = 2,935 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \cdot (34,48 - 5) \text{ K} = \underline{86,52 \text{ kJ/kg}}$$

$$Q_{\text{VW}} = 100.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,8334 \text{ kg/m}^3 \cdot 86,52 \text{ kJ/kg} / 3600 \text{ s/h} = \underline{2002,9 \text{ kW}}$$

$$q_{\text{VW}}^* = 2,827 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \cdot (36,27 - 5) \text{ K} = \underline{88,4 \text{ kJ/kg}}$$

$$Q_{\text{VW}}^* = 100.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,8334 \text{ kg/m}^3 \cdot 88,4 \text{ kJ/kg} / 3600 \text{ s/h} = \underline{2046,5 \text{ kW}}$$

\* Mittelwerte für Prozessdruck und -Temperatur und Stoffkennwerte dafür, wie es in der aktuellen Fassung des DVGW-Merkblattes G 499 [2] empfohlen wird.

**Tabelle 1: Erste Näherung: Joule-Thomson-Koeffizient für den Ein- und Austrittszustand**

		Eingang →	Gasvorwärmer	Mittelwert →	Drossel	Ausgang →
Druck	P [bar a]	80,00		48,00*		16,00
Temperatur	t [°C]	5,00		5,00*		5,00
Joule-Thomson-Koeff.	$\mu_j$ [K/MPa]	4,797	←	<b>5,364</b> 5,607*	→	5,931

\* Mittelwerte für Prozessdruck und -Temperatur und Stoffkennwerte dafür, wie es in der aktuellen Fassung des DVGW-Merkblattes G 499 [2] empfohlen wird

Quelle: Thermo Integral

**Tabelle 2: Zweite Näherung: Präzisierung der Stoffkennwerte**

		Eingang →	Mittelwert* Vorwärmer	Gasvorwärmer	Mittelwert* Drossel	Ausgang →
Druck	P [bar a]	80,00	80,00	80,00	48,00	16,00
Temperatur	t [°C]	5,00	22,165	<b>39,33</b>	22,165	5,00
Joule-Thomson-Koeff.	$\mu_j$ [K/MPa]	4,797	← 4,039 → 4,266*	3,281	← <b>4,606</b> → 4,886*	5,931
spez. Wärmekapazität	cp [kJ/kg · K]	3,070	← <b>2,935</b> → 2,827*	2,799	← 2,468 → 2,447*	2,136

\* Mittelwerte für Prozessdruck und -Temperatur und Stoffkennwerte dafür, wie es in der aktuellen Fassung des DVGW-Merkblattes G 499 [2] empfohlen wird

Quelle: Thermo Integral

**Tabelle 3: Berechnungsverfahren der Konstanz der Enthalpien**

		Eingang →	Gasvorwärmer	Mittelwert →	Drossel	Ausgang →
Druck	P [bar a]	80,00		80,00		16,00
Temperatur	t [°C]	5,00		<b>36,38</b>		5,00
Enthalpie	h [kJ/kg]	405,5		494,92		494,92
Wärmebedarf	q [kJ/kg]		89,42			

Quelle: Thermo Integral

Nach dem Berechnungsverfahren der Konstanz der Enthalpien ergibt sich:

$$Q_{\text{VW}} = 100.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,8334 \text{ kg/m}^3 \cdot 89,42 \text{ kJ/kg} / 3600 \text{ s/h} = \underline{2070,1 \text{ kW}}$$

**Abweichung**

$$\Delta Q_{\text{VW}} = |Q_{\text{VW } h=\text{const.}} - Q_{\text{VW } \mu_j}|$$

$$\Delta Q_{\text{VW}} = |2070,1 \text{ kW} - 2002,9 \text{ kW}| = \underline{67,2 \text{ kW} \hat{=} 3,2 \%}$$

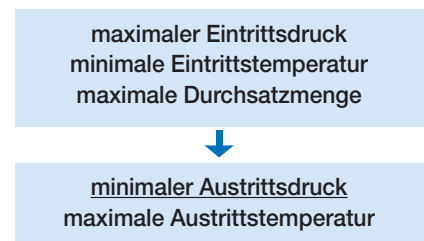
$$\Delta Q_{\text{VW}}^* = |2070,1 \text{ kW} - 2046,5 \text{ kW}| = \underline{23,6 \text{ kW} \hat{=} 1,1 \%}$$

Dieser Fehler lässt sich durch weitere Iterationen der Stoffkennwerte nochmals reduzieren. Bei der Ermittlung der Stoffkennwerte für die Mittelwerte von Prozessdruck und -Temperatur kompensieren sich in diesem Fall die Fehler für Joule-Thomson-Koeffizient und spezifische Wärmekapazität. Im Interesse der Verringerung des Fehlers im herkömmlichen Berechnungsverfahren sollten jedoch die Mittelwerte der Stoffkennwerte

und nicht die Stoffkennwerte für die Mittelwerte von Prozessdruck und -Temperatur benutzt werden.

**Genauere Ermittlung der kritischen Ein- und Austrittsparameter**

Gewöhnlich wird der Wärmebedarf der Gasvorwärmung für die Extremwerte ausgelegt:



Geht man davon aus, dass der Gasaustrittsdruck an Gasdruckregelanlagen vorgegeben ist, so unterliegen die übrigen Parameter der Festlegung.

Der maximale Gaseintrittsdruck kann entsprechend dem maximal zulässigen Betriebsdruck der angeschlossenen Fern-

gasleitung ausgewählt werden, also zum Beispiel 80 bar, 64 bar, 25 bar. Dieser Druck liegt an einer Gasdruckregelanlage jedoch u. a. nur dann an,

- wenn diese sich unmittelbar hinter einer vorgelagerten Übergabestation oder einer Verdichterstation befindet oder
- wenn die Gasabnahme vergleichsweise gering ist.

In letzterem Falle braucht dieser maximale Ruhedruck jedoch nicht zur Auslegung der Vorwärmleistung herangezogen zu werden, denn ein solcher Betriebszustand kann eigentlich nur dann auftreten, wenn:

- die Gasdruckregelanlage sich im Sommerbetrieb befindet,
- die Gasdruckregelanlage sich in der Erstinbetriebnahme befindet und zur Beanspruchung des nachgeordneten Rohrleitungsabschnittes genutzt wird.

Im Sommerbetrieb kommt es jedoch in der Regel nicht zur Maximalabnahme. Bei Erstinbetriebnahme kann der Gasdurch-

fluss per Hand oder automatisch unter Orientierung an den zulässigen Durchsatzmengen der installierten Filter, Mengemessgeräte und/oder Regelgeräte und auch der vorgesehenen Vorwärmleistung begrenzt werden.

Die Abhängigkeit der Vorwärmleistung vom Gaseintrittsdruck wird in **Abbildung 1** (80 bar/16 bar; 5 °C/5 °C; 100.000 m<sup>3</sup>/h; Gasart Nor04) gezeigt. Ein um 5 bar niedrigerer Gaseintrittsdruck lässt den Wärmebedarf um 8,2 Prozent bis 7,4 Prozent sinken.

Die minimale Gaseintrittstemperatur liegt im Winter an, wo auch die maximale Gasabnahme erfolgt. Selbst wenn sich die Gasdruckregelanlage am Ende einer überregionalen Ferngasleitung befindet, liegt die Gastemperatur nicht unter der minimalen Bodentemperatur in Verlegetiefe der Gasleitung. Für Deutschland können hier minimal ca. 2 °C angenommen werden.

Befindet sich die Gasdruckregelanlage jedoch unmittelbar hinter einer vorgelagerten

Übergabestation oder gar einer Verdichteranlage, so sollte die Gaseintrittstemperatur sorgfältig ermittelt und gegebenenfalls vertraglich gebunden werden, denn diese hat bedeutenden Einfluss auf die Vorwärmleistung (**Abb. 2**). Eine um 5 Kelvin niedrigere Gaseintrittstemperatur lässt den Wärmebedarf um 31,6 Prozent bis 37,1 Prozent ansteigen.

Die maximale Gasaustrittstemperatur kann durch mehrere Faktoren bestimmt werden:

- **Wasserdampftaupunkt und Hydratbildungstemperatur des Erdgases:** Bei Unterschreitung des Wasserdampftaupunktes im Erdgas kann es zu Flüssigkeitsansammlungen und Korrosionserscheinungen in der Rohrleitung und bei weiterer Absenkung zur Unterschreitung der Hydratbildungstemperatur des Erdgases und zu Verstopfungen in der Gasleitung kommen.
- **Kohlenwasserstofftaupunkt des Erdgases:** Höhere Kohlenwasserstoffe können in der Gasleitung retrograd kondensieren und zu Ablagerungen an Tief- ►

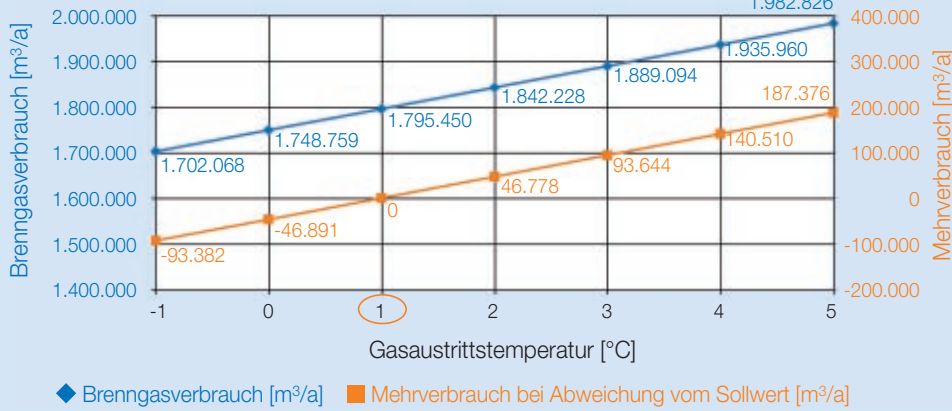


Abb. 7: Brenngasverbrauch in Abhängigkeit von der Regelgenauigkeit der Gasaustrittstemperatur (Nor04) (siehe S. 15)

Quelle: Thermo Integral

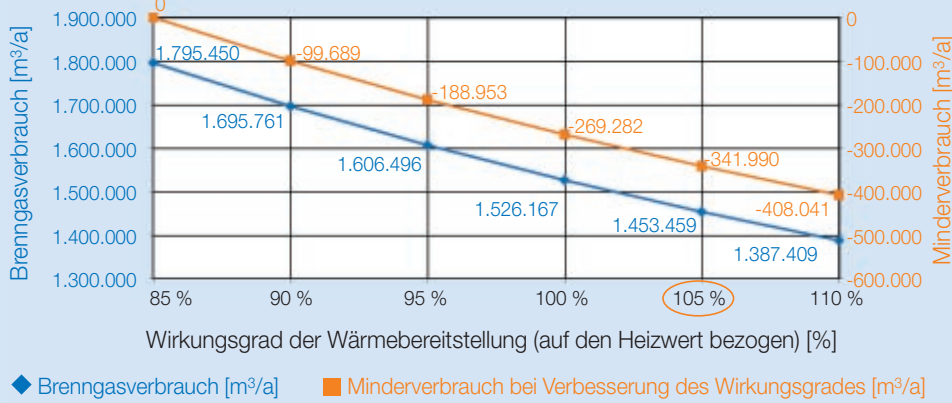


Abb. 8: Brenngasverbrauch in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad des Heizkessels (Nor04) (siehe S. 15)

Quelle: Thermo Integral

lungsluft, die minimale Bodentemperatur in Verlegetiefe oder der Gefrierpunkt des Wassers von Bedeutung für die Festlegung der Gasaustrittstemperatur. Geht man davon aus, dass es energetisch wenig sinnvoll ist, am Austritt der Gasdruckregelanlage mit der Gastemperatur die niedrigste Bodentemperatur in Verlegetiefe zu überschreiten (in Deutschland also maximal ca. 2 °C; s. o.), so bleibt die Frage, ob bei dieser Temperatur gegebenenfalls der Taupunkt des Wasserdampfes in der Umgebungsluft unterschritten wird.

Legt man Klimadurchschnittswerte zu Grunde (DIN 4710), so ist dies bereits im Winter bei einer Lufttemperatur von über 5 °C und einer mittleren Luftfeuchte von 78,7 Prozent der Fall (Taupunkt 1,6 °C). Bei allen Lufttemperaturen darüber wird außen an den kalten Oberflächen der Gasdruckregelanlage (mit im Winter minimal auftretender Bodentemperatur von 2 °C) der Wasserdampftaupunkt unterschritten. Im Sommer kann der Wasserdampftaupunkt fast 17 °C erreichen (16,6 °C Taupunkt bei 32 °C/39,6 Prozent mittlerer r. F.). Daran wird deutlich, dass es verfehlt wäre, die Gasaustrittstemperatur an dem Taupunkt der Umgebungsluft auszurichten.

Die Gasaustrittstemperatur sollte deshalb auf keinen Fall über, sondern vielmehr mit etwa 1 °C geringfügig unter der Erdbodentemperatur in Verlegetiefe der Rohrleitung (und über dem Gefrierpunkt des Wassers) liegen, da diese ohnehin vom Gas nach einer geringen Entfernung durch Wärmeübergang an der Rohrwand angenommen wird.

Um den Effekt der äußeren Wasserdampfkondensation und seine möglichen negativen Begleiterscheinungen auszuschließen, wurde in der Vergangenheit vorgeschlagen und es vereinzelt auch in die Praxis umgesetzt, die Luft in Gasdruckregelanlagen so weit zu trocknen, dass in keinem Fall der Taupunkt unterschritten werden kann [4]. Der dafür erforderliche Energiebedarf ist geringer als für eine entsprechende Gasvorwärmung. Allerdings sind Trocknungsgeräte in explosionsgeschützter Ausführung erforderlich, der Druckverlust in den Trocknungsgeräten muss mit Ventilatoren künstlich überwunden werden, ein Ausfall der Elektroenergieversorgung führt auch zu einem Ausfall der Lufttrocknung und es entsteht zusätzlicher Wartungs- und Reparaturaufwand. Dennoch bleibt ein positives Ergebnis.

punkten, zu Störungen an Gasverbrauchseinrichtungen bis hin zu kapitalen Schäden, z. B. an Gasturbinen durch das gefürchtete „Flashback“, führen.

- **Wasserdampftaupunkt der Umgebungsluft** um die Gasdruckregler, nachgeschalteten Rohrleitungen und Armaturen: Ein Unterschreiten des Wasserdampftaupunktes kann zu unschönen Kondensationserscheinungen, zu Wasseransammlungen auf dem Fußboden, weiters zu Korrosionsbildung an den Außenflächen der Druck tragenden Gasleitungen und zu möglichen gefährlichen Folgeschäden führen.
- **minimale Bodentemperatur in Verlegetiefe** der Gasleitung (2 °C; s. o.): Eine Anhebung der Gastemperatur über die minimale Bodentemperatur in Verlegetiefe der Gasleitung ist aus energetischen Gesichtspunkten wenig sinnvoll, weil dies lediglich zu einer Aufheizung der Umgebung führen würde.
- **Gefrierpunkt des Wassers** bei 0 °C innerhalb und außerhalb der Rohrleitung: Ei-

ne Absenkung der Gastemperatur unter 0 °C führt nicht nur zu Kondensationserscheinungen, es führt darüber hinaus zu Umfrierungen an Reglern, Rohrleitungen und Armaturen bis hin zu Einschränkungen der Beweglichkeit sicherheitsrelevanter Einrichtungen. Der Erdboden um die Rohrleitung gefriert wegen seiner Feuchte monolith. Dies kann zu Schäden an der Rohrisolierung, zu Frostaufbrüchen an Fundamenten, Straßen, Beeinträchtigungen der Flora usw. führen.

Der Wasserdampf- und Kohlenwasserstofftaupunkt des Erdgases wird normalerweise nur auf Erdgaslagerstätten und -Speichern oberhalb der o. a. Grenztemperaturen der Umgebung der Rohrleitung liegen. Diese Spezialfälle sind jeweils gesondert zu betrachten.

In Gasdruckregel- und Erdgasentspannungsanlagen liegt bereits getrocknetes Erdgas an, und hier sind lediglich der Taupunkt des Wasserdampfes in der Umge-

Eine Isolierung der kalten Oberflächen des Gasdruckreglers, der nachgeschalteten Rohrleitungen und Armaturen kann die Kondensation ebenfalls unterbinden. Diese Isolierung muss jedoch ähnlich fachmännisch wie in der Kältetechnik ausgeführt werden, um einer Diffusion des Wasserdampfes durch das Dämmmaterial und einer verdeckten Korrosion darunter sicher vorzubeugen. In der Kühl- und Kältetechnik wird für die gefährdeten Rohrleitungsabschnitte deshalb häufig Edelstahl verwendet.

Um die schnelle Zugänglichkeit zu Armaturen weiter zu gewährleisten, können vorgefertigte Dämmhalbschalen verwendet werden. In Frankreich ist es seit Jahrzehnten üblich, Armaturen in Gasdruckregelanlagen mit Kunststofffolienmänteln ähnlich den allseits bekannten Kleidersäcken zu umhüllen. Die darin eingesperrte Luftfeuchte ist begrenzt und richtet keinen nennenswerten Schaden an, die Luft ist ein guter Isolator, und mit Reißverschlüssen ist ein ausgezeichneter Zugang zu Bedien- und Wartungszwecken gewährleistet.

Welch große Bedeutung die Gasaustrittstemperatur auf den Wärmebedarf hat, wird nochmals für das vorhergehende Beispiel in **Abbildung 3** dargestellt. Eine um 5 Kelvin höhere Gasaustrittstemperatur lässt den Wärmebedarf um 15,4 Prozent bis 15,7 Prozent ansteigen.

Die Gasdurchsatzmenge selbst wirkt direkt proportional auf den Wärmebedarf der Gasvorwärmung. Es lohnt sich also, den Gaseintrittsdruck und die Gaseintrittstemperatur für die kritische Versorgungssituation der maximalen Gasabnahme im Winter exakt zu ermitteln.

Die Auslegung der Gasvorwärmung einer Gasdruckregelanlage sollte deshalb für die folgenden kritischen Parameter erfolgen:

tatsächlicher Eintrittsdruck  
tatsächliche Eintrittstemperatur  
bei maximaler Durchsatzmenge



tatsächlicher Austrittsdruck  
Austrittstemperatur =  
Bodentemperatur -  $\Delta \approx 1 \text{ }^\circ\text{C}$

### Auswahl der vorzuwärmenden Gasart

Von großem Einfluss auf den Wärmebedarf ist die Zusammensetzung des zu drosselnden Erdgases. Für das oben angeführte Beispiel wird in **Abbildung 4** der Wär- ►

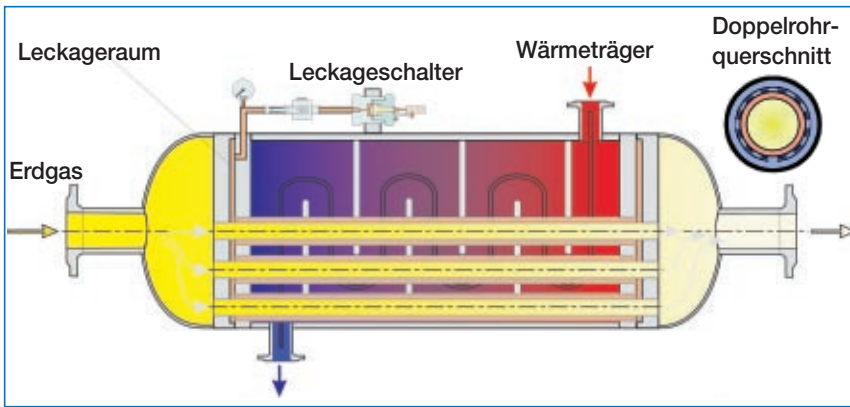


Abb. 9: Schematische Darstellung eines Doppelrohrsicherheitswärmeübertragers (DSWÜ) (siehe S. 16)

Quelle: Thermo Integral

verkoken, sodass die Vorlauftemperatur auf etwa 90 °C begrenzt werden sollte. Die den Erstarrungspunkt senkende Wirkung ist regelmäßig zu überprüfen. Verbrauchte Frostschutzmittel sind zu entsorgen. Im Betrieb ist ebenfalls das Entweichen von Frostschutzmitteln in die Umwelt durch geeignete Maßnahmen zu verhindern.

Wie aus den nachfolgenden Grundbeziehungen für die Auslegung von Wärmeübertragern zu ersehen ist, wird ein Wärmeübertrager u. a. umso kleiner, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträger und Erdgas ist (**Infokasten**).

mebedarf für die verschiedenen Gasarten im Netz der Ruhrgas/E.ON-Ruhrgas [3] – für H-Gase aus der Nordsee (Nor..) und aus Russland (Ru..), L-Gase aus Holland (Hol..) und Mischgas H (VGH..) und L (VGL..) im Vergleich zu reinem Methan (CH4) dargestellt.

Das russische Erdgas (Ru04) hatte den geringsten Wärmebedarf sowohl unter den H- als auch im Vergleich zu den L- Gasen. Das Erdgas aus der Nordsee (Nor04, Nor89, Nor92, Nor98) hatte den höchsten Wärmebedarf, er war 2004 um 31,3 Prozent höher als bei russischem Erdgas. Dabei ist der Heizwert des Nordsee-Erdgases im Vergleich zu russischem Erdgas lediglich um 7,4 Prozent höher (10,765 kWh/m<sup>3</sup>/10,026 kWh/m<sup>3</sup>).

Interessant ist auch die mit den Veränderungen der Gaszusammensetzung in den Lagerstätten verbundene Entwicklung des Wärmebedarfes für die Erdgase gleicher Herkunft in den zurückliegenden 15 Jahren. Für das betrachtete Beispiel ist der Wärmebedarf für Nordsee-Erdgas von 1989 bis 1998 um 9,2 Prozent gefallen, bis 2004 aber wieder um 5,4 Prozent gestiegen, für Mischerdgas H durchgängig um 7,9 Prozent gestiegen. Ein Trend lässt sich hier nicht ableiten.

Ähnlich unterschiedlich sind auch die erforderlichen Gasvorwärmtemperaturen für die einzelnen Erdgase (Abb. 5).

**Auswahl des Wärmeträgers und seiner Parameter**

Der Wärmeträger hat einen bedeutenden Einfluss auf die Größe des Wärmeübertragers. Frostschutzmittel haben gegenüber Wasser schlechtere Stoffeigenschaften, was zu einer größeren Wärmeübertragungsfläche und zusätzlich auch zu größeren Pumpen und einem höheren Elektroenergieverbrauch für deren Umwälzung führt. Häufig

wird aber aus Gründen der Verfügbarkeit dennoch auf Frostschutzmittel zurückgegriffen. Die verwendete Konzentration im Gemisch mit Wasser sollte jedoch so gering wie möglich bzw. so hoch wie nötig sein, um dessen negativen Einfluss zu begrenzen.

Negativ ist ebenfalls: Frostschutzmittel altern durch thermische Zersetzung, ihr organischer Anteil kann an der Kesselwand

Dies ist gegeben, wenn der Wärmeübertrager konstruktiv einem Gegenstromapparat möglichst nahe kommt. Die Vor- und Rücklauftemperaturen des Wärmeträgers sollten möglichst hoch sein – eine Überschneidung der Austrittstemperaturen von Wärmeträger und Erdgas ist zu vermeiden. Zu optimieren sind die Parameter der Wärmeträgerseite unter Berücksichtigung der gegenläufigen Anforderungen des Gesamtsystems, d. h.

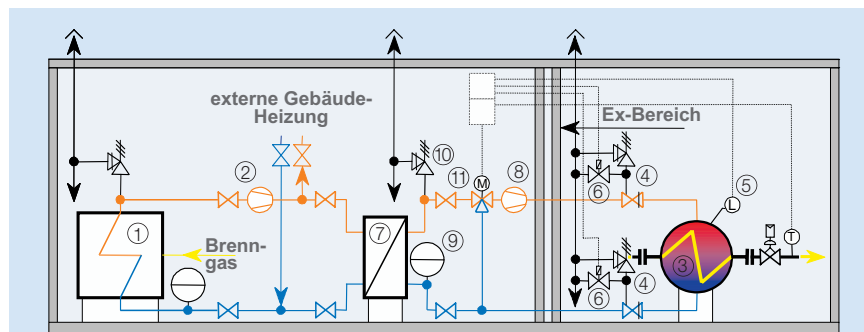


Abb. 10: Beispiel einer Erdgasvorwärmanlage mit zusätzlicher Wärmeauskopplung für Gebäudeheizung außerhalb des Anlagenbereichs: Wärmeversorgung in Standardausführung mit Heizkessel mit unregelmäßigem Brenner (1) und unregelmäßig umwälzender Umwälzpumpe (2). Absicherung nach DVGW G 499 [2] mit Wärmeübertrager mit vordruckfestem Mantel (3) und fremdenergiefrei wirkenden Absperrventilen (4) an den Wärmeübertrageranschlüssen, Leckgassensor (5) mit Magnetventilen (6) zur Auslösung der Absperrventile, mit hydraulischer Trennung zur Absicherung der externen Gebäudeheizung vor Leckgaseintritt durch Zwischenkreislauf – zusätzlich mit Wärmeübertrager (7), Umwälzpumpe (8), Ausdehnungsgefäß (9), Sicherheitsventil (10), Dreiweg-Regelventil (11) (siehe S. 16)

Quelle: Thermo Integral

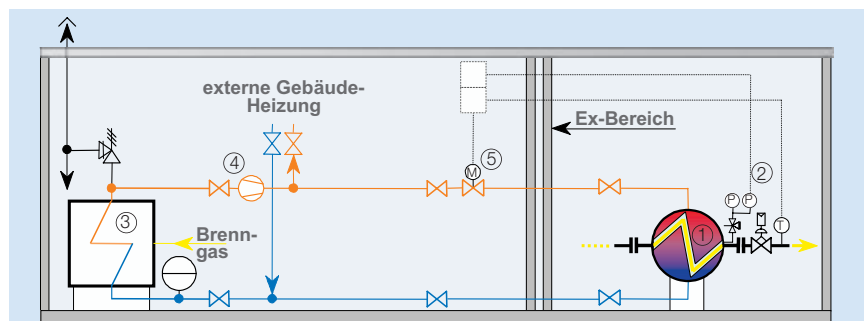


Abb. 11: Erdgasvorwärmanlage mit DSWÜ (1) mit Sicherheitsleckageschalter (2), Brennwertkessel mit Kondensatableitung und modulierendem Brenner (3), drehzahlregelter Umwälzpumpe (4) und Zweiwege-Regelventil (5) (siehe S. 16)

Quelle: Thermo Integral

der zur Überwindung des Druckverlustes bei der Umwälzung erforderlichen Elektroenergie (erfordert eine möglichst geringe Durchsatzmenge) und der Anforderungen des Wärmeerzeugers zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades (erfordert niedrige Wärmeträgertemperaturen) und langer Lebensdauer (bei bestimmten Kesselarten ist die Rücklauftemperatur über der Kondensationstemperatur der Abgase zu halten). Ein guter Kompromiss wird meist erzielt, wenn das Wärmeäquivalent und damit auch die Temperaturdifferenz des Wärmeträgers denen des Erdgases angenähert werden.

**Abbildung 6** zeigt für das o. a. Beispiel die an einem optimierten Gegenstromapparat auftretenden Temperaturverhältnisse: Die Wärmeäquivalente bzw. die Temperaturdifferenzen zwischen Erdgas und Wasser stimmen überein (53,6 K). Eine Überschneidung der Austrittstemperaturen wurde vermieden ( $36,4\text{ °C} \ll 58,6\text{ °C}$ ). Die Rücklauftemperatur ist unter Berücksichtigung des Wärmeübergangs höher als die Kondensationstemperatur ( $58,6\text{ °C} + \Delta > 59\text{ °C}_{(\text{stöchiometrisch})}$ ).

## II. Möglichkeiten der Reduzierung der Betriebskosten

### Hohe Regelgenauigkeit der Gasaustrittstemperatur

Aus dem beträchtlichen Einfluss der Gasaustrittstemperatur auf den Wärmebedarf einer Gasdruckregelanlage (siehe S. 11) lässt sich leicht ableiten, dass auch die Regelgüte der Gasaustrittstemperatur einen großen Einfluss auf die Betriebskosten einer Gasdruckregelanlage hat. Die dauernde Abweichung nur um 1 Kelvin, d. h. die Einstellung einer Gasaustrittstemperatur von  $2\text{ °C}$  an Stelle von  $1\text{ °C}$  hat für das oben angeführte Beispiel bei einem Gesamtwirkungsgrad der Gasvorwärmung von 85 Prozent einen Brenngasmehrerbrauch von ca.  $46.780\text{ m}^3/\text{a}$  zur Folge, was 0,005 Prozent des Gasdurchsatzes der Gasdruckregelanlage entspricht (**Abb. 7**). Es steht deshalb außer Frage, dass die Gasaustrittstemperatur mit möglichst hoher Genauigkeit zu regeln ist. Mit Thermostatventilen kann dieser Anforderung nicht entsprochen werden, da hier eine bleibende Regelabweichung prinzipbedingt ist.

$$Q_{\text{Gas}} = W\ddot{A}_{\text{Gas}} \cdot (t_{\text{Gas aus}} - t_{\text{Gas ein}})$$

$$W\ddot{A}_{\text{Gas}} = m_{\text{Gas}} \cdot c_{\text{pm Gas}}$$

$$Q_{\text{WT}} = W\ddot{A}_{\text{WT}} \cdot (t_{\text{WT ein}} - t_{\text{WT aus}})$$

$$W\ddot{A}_{\text{WT}} = m_{\text{WT}} \cdot c_{\text{pm WT}}$$

$$Q_{\text{WÜ}} = k \cdot A_{\text{WÜ}} \cdot \Delta u_m$$

$$A_{\text{WÜ}} = \frac{Q_{\text{WÜ}}}{k \cdot \Delta u_m}$$

$$\Delta u_m = \frac{(t_{\text{WT ein}} - t_{\text{Gas aus}}) - (t_{\text{WT aus}} - t_{\text{Gas ein}})}{\ln \frac{(t_{\text{WT ein}} - t_{\text{Gas aus}})}{(t_{\text{WT aus}} - t_{\text{Gas ein}})}}$$

### Verwendete Formelzeichen und Indizes:

Q	[kJ/h]	- zu übertragende Wärmemenge
W $\ddot{A}$	[kJ/(h · K)]	- Wärmeäquivalent
m	[kg/h]	- Massenstrom
c <sub>pm</sub>	[kJ/(kg · K)]	- mittlere Wärmekapazität bei konstantem Druck
k	[kJ/(m <sup>2</sup> · K)]	- Wärmeübertragungszahl
A	[m <sup>2</sup> ]	- Wärmeübertragungsfläche
$\Delta u_m$	[K]	- mittlere logarithmische Temperaturdifferenz
Gas		- Erdgas
WT		- Wärmeträger (Wasser oder Frostschutzmittel)
WÜ		- Wärmeübertrager
ein		- am Eintritt in den Wärmeübertrager
aus		- am Austritt aus dem Wärmeübertrager
m		- mittlere/Mittelwert

### Anwendung von moderner Heiztechnik/Nutzung von (Ab)wärme zur Erdgasvorwärmung

Obleich die Gaswirtschaft den Brennwertkessel als Verkaufsargument für die besonders umweltfreundliche Energieart Erdgas propagiert, werden in ihren eigenen Anlagen relativ selten Brennwertkessel eingesetzt. Dabei ist gerade in Großanlagen mit ständigem Wärmebedarf die Anwendung von Brennwertkesseln besonders wirtschaftlich.

Wie aus **Abbildung 8** zu entnehmen ist, kann mit einem Brennwertkessel und der damit verbundenen Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades von durchschnittlich 85 Prozent auf etwa 105 Prozent (auf den Heizwert bezogen) in einer Gasdruckregelanlage nach o. a. Beispiel (Gasaustrittstemperatur  $1\text{ °C}$ ) der Brenngasverbrauch um ca.  $342.000\text{ m}^3/\text{a}$  oder um 0,039 Prozent vom Gasdurchsatz der Gasdruckregelanlage reduziert werden.

Ein Hinderungsgrund für die Anwendung dieser modernen hocheffizienten Kesselbauart kann die Ableitung des Brennwertkondensates sein, die nicht auf jeder Gasdruckregelanlage problemlos möglich ist. Neben einer regelmäßig zu wartenden Neutralisationsanlage muss auch ein öffentlicher Kanalisationsanschluss vorhanden sein, in den das Brennwertkondensat mit behördlicher Genehmigung eingeleitet werden darf. Eine Alternative kann ein leckagesicherer Erdtank sein, der regelmäßig zu entleeren ist.

Brennwertkessel sind – wie jede andere Kesselbauart auch – mit modulierenden Brennern besonders wirtschaftlich. Denn nur selten wird der maximale Wärmebedarf, für den die Auslegung der Gasvorwärmanlage erfolgte, auch benötigt (s. o.). Modulierende Brenner sind heute durchaus auf 15 Prozent ihrer Maximalleistung regelbar. Dies kann je nach Brennerbauart zusätzlich auch den Elektroenergieverbrauch des Brenner- ►



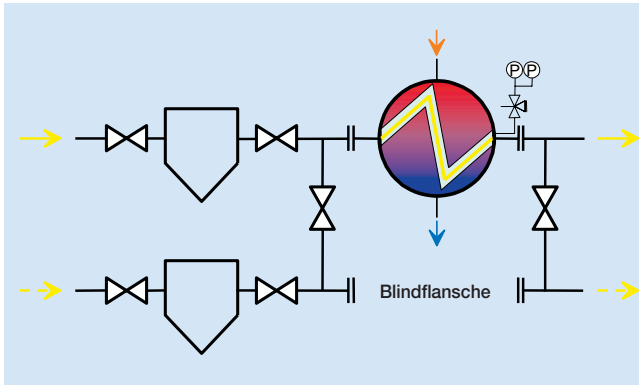


Abb. 12: Gasdruckregelanlage im Bereich der Vorwärmung mit einem DSWÜ und einer freien Einbaustelle für einen Ersatzapparat

Quelle: Thermo Integral

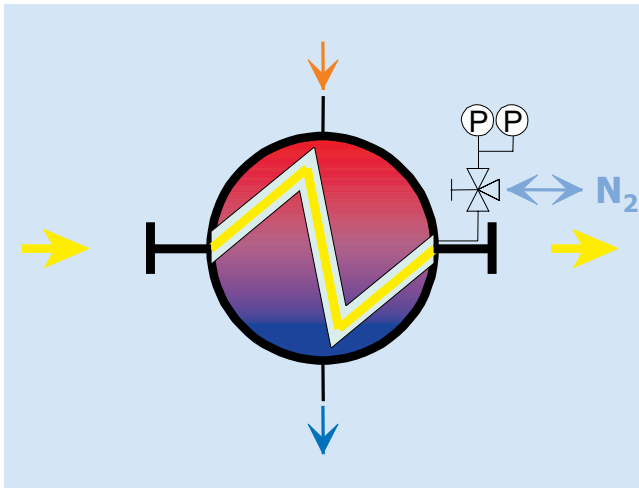


Abb. 13: DSWÜ mit wartungsfreiem Leckageschalter und Dreibege-Umschaltarmatur für Wiederholungsdruckprüfungen

Quelle: Thermo Integral

ventilators reduzieren. Der Teillastwirkungsgrad eines Brennwertkessels ist abermals höher als der bei Vollast.

Einher mit Brennwertkesseln sind natürlich auch in ihrer Drehzahl geregelte Umwälzpumpen einzusetzen, die über einen konstanten Differenzdruck oder noch besser über die erforderliche thermische Leistung zu regeln sind. Der Brennwertnutzung entgegenstehen würden auch thermische Weichen oder Dreibege-Verteilventile, wie sie heute noch in Verbindung mit gängigen Heizkesseln zur Regelung der Gasvorbereitung eingesetzt werden.

Von noch größerem Vorteil wäre die Nutzung von (Ab)wärme für die Brenngasvorwärmung. In Industrieanlagen, an Gasverdichterstationen, GuD-Kraftwerken u. a. steht meist genügend (Ab)wärme zur Verfügung, um eine Gasdruckregelanlage ganzjährig zu versorgen. Eine sichere Trennung der hydraulischen Systeme der Gasdruckregelanlage und des (Ab)wärmelieferanten muss nicht unbedingt – wie nach der aktuellen Fassung des DVGW-Merkblattes G 499 [2] gefordert – über einen Zwischenkreislauf erfolgen. Wirtschaftlicher ist die Anwendung von Doppelrohrsicherheitswärmeübertragern (DSWÜ) (Abb. 9).

In den **Abbildungen 10 und 11** wird dargestellt, welche Vereinfachungen mit einer Gasvorwärmanlage nach dem neuesten Stand der Technik im Vergleich zur herkömmlichen Ausführung möglich sind.

DSWÜ haben weitere Vorteile: Denn Voraussetzung für die Anwendung von (Ab)wärme (wie auch von Brennwertkesseln) sind niedrige Wärmeträgertemperaturen. Zwischenwärmeübertrager würden mit ihrer zusätzlichen Temperaturdifferenz dem entgegenstehen. Die für einen Zwischenkreislauf erforderliche Umwälzpumpe und der entsprechende Elektroenergieverbrauch entfallen ebenso. DSWÜ und der fest montierte Sicherheitsleckageschalter sind wartungsfrei. So entstehen mit DSWÜ zusätzliche Betriebskosteneinsparungen, die in jedem konkreten Fall – nicht nur bei der Nutzung von (Ab)wärme bei der Investitionsentscheidung zu berücksichtigen sind.

Neben der gravierenden Vereinfachung steigen die Anlagensicherheit und die Versorgungssicherheit der Gaskunden, da DSWÜ einen Eintritt von Erdgas in den hydraulischen Kreislauf und den Austritt in die Umgebung grundsätzlich verhindern und selbst nach einer Leckage noch eine gewisse Zeit weiter betrieben werden können, bevor sie repariert oder ausgetauscht werden.

Ein DSWÜ – das sind zwei Wärmeübertrager in einem Apparat vereint.

Da wohl kaum vier Wärmeübertrager einfacher Bauart parallel installiert würden, wird deutlich, dass auch die Installation von zwei DSWÜ parallel wenig sinnvoll ist. Aus diesem Grund können Gasvorwärmanlagen mit DSWÜ einschienig ausgeführt werden und dies bei höherer Verfügbarkeit (Abb. 12).

Eine weitere Vereinfachung wird möglich, wenn bei DSWÜ eine gegebenenfalls erforderliche wiederkehrende Festigkeitsprüfung vom Rohrzwischenraum her durchgeführt wird, was im eingebauten Zustand möglich wäre (Abb. 13).

### Zusammenfassung

Es konnte aufgezeigt werden, dass bei der Planung, dem Bau und im Betrieb von Erdgasvorwärmanlagen in Gasdruckregel-, Erdgasentspannungs- und Erdgasspeicheranlagen bedeutende Einsparungen möglich sind. Jeder einzelne Auslegungsparameter sollte genauestens ausgewählt und festgelegt werden. Die Wärmequelle, der Wärmeträger sowie die Ausrüstungen der Erdgasvorwärmanlagen vom Heizkessel, der Umwälzpumpe über das Regelventil bis hin zum Wärmeübertragertyp sind unter Verwendung des neuesten Standes der Technik optimierungsfähig.

Auf Grund des großen Einsparpotenzials muss diesem Teilprozess der Gaswirtschaft – der Gasvorwärmung – stets große Aufmerksamkeit gewidmet werden. Neben der Optimierung von Neubauanlagen sollten auch vorhandene Einrichtungen immer wieder auf Modernisierungsmöglichkeiten hin überprüft werden.

### Literatur:

- [1] Joule-Thomson-Koeffizienten für in der Bundesrepublik Deutschland vermarktete Erdgase, Fasold H., Wahle H., gwf 135 (1994) 4, S. 212-219.
- [2] DVGW-Merkblatt G 499 Erdgasvorwärmung in Gasanlagen, 1997.
- [3] Erdgas-Durchschnittswerte 1989, 1992, 1998 und 2004: Chemische Zusammensetzung sowie physikalische und brenntechnische Kennwerte von Erdgasen der Gruppen L und H, Quelle: Ruhrgas/E.ON-Ruhrgas.
- [4] Der Einsatz von Luftentfeuchtungsgeräten in Gasregelanlagen, Kalyta, A., Neue DELIWA-Zeitschrift (1987) 4, S. 159-162.

### Autor:

Dr.-Ing. Frank Triesch  
Thermo Integral  
Gutsparkstr. 5-9  
04328 Leipzig  
Tel.: 0341 25227-62  
Fax: 0341 25227-63  
E-Mail: triesch@gmx.de