

DIN EN ISO 12213-3

ICS 75.060

Ersatz für
DIN EN ISO 12213-3:2005-09

**Erdgas –
Berechnung von Realgasfaktoren –
Teil 3: Berechnungen basierend auf physikalischen Stoffeigenschaften
als Eingangsgrößen (ISO 12213-3:2006);
Deutsche Fassung EN ISO 12213-3:2009**

Natural gas –
Calculation of compression factor –
Part 3: Calculation using physical properties (ISO 12213-3:2006);
German version EN ISO 12213-3:2009

Gaz naturel –
Calcul du facteur de compression –
Partie 3: Calcul à partir des caractéristiques physiques (ISO 12213-3:2006);
Version allemande EN ISO 12213-3:2009

Gesamtumfang 44 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Normenausschuss Bergbau (FABERG) im DIN
Normenausschuss Gastechnik (NAGas) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 12213-3:2006, die vom Technischen Komitee ISO/TC 193 „Natural gas“ (Sekretariat: NEN) ausgearbeitet wurde.

Das zuständige nationale Gremium ist der NA 062-05-73 AA „Gasanalyse und Gasbeschaffenheit“ des Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 6976	siehe DIN EN ISO 6976
ISO 12213-1	siehe DIN EN ISO 12213-1

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 12213-3:2005-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) 4.4.1, Aufbereitetes Erdgas, wurde überarbeitet;
- b) Anhang E, Festlegungen für aufbereitetes Erdgas, wurde aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 12213-3: 2005-09

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 6976, *Erdgas — Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex aus der Zusammensetzung*

DIN EN ISO 12213-1, *Erdgas — Berechnung von Realgasfaktoren — Teil 1: Einführung und Leitfaden*

Deutsche Fassung

**Erdgas —
Berechnung von Realgasfaktoren —
Teil 3: Berechnungen basierend auf physikalischen
Stoffeigenschaften als Eingangsgrößen
(ISO 12213-3:2006)**

Natural gas —
Calculation of compression factor —
Part 3: Calculation using physical properties
(ISO 12213-3:2006)

Gaz naturel —
Calcul du facteur de compression —
Partie 3: Calcul à partir des caractéristiques physiques
(ISO 12213-3:2006)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 13. August 2009 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Berechnungsverfahren	4
4.1 Kurzbeschreibung	4
4.2 Die Gleichung SGERG-88	5
4.3 Eingangsgrößen.....	6
4.3.1 Bevorzugte Eingangsgrößenmenge	6
4.3.2 Alternative Eingangsgrößenmengen	6
4.4 Anwendungsbereiche	6
4.4.1 Aufbereitetes Erdgas.....	6
4.4.2 Erweiterte Anwendungsbereiche	7
4.5 Unsicherheit	8
4.5.1 Unsicherheit für aufbereitetes Erdgas.....	8
4.5.2 Unsicherheit für erweiterte Anwendungsbereiche.....	9
4.5.3 Einfluss der Unsicherheiten auf die Eingangsgrößen	9
4.5.4 Angabe der Ergebnisse.....	9
5 Computerprogramm	9
Anhang A (normativ) Symbole und Einheiten.....	10
Anhang B (normativ) Beschreibung des Verfahrens SGERG-88	13
B.1 Grundstruktur des Berechnungsverfahrens.....	13
B.2 Berechnung der Zwischenwerte	15
B.2.1 Iteration mit der molaren Verbrennungswärme H_{CH} (innere Schleife).....	17
B.2.2 Iteration mit dem zweiten Virialkoeffizienten B_n (äußere Schleife).....	18
B.3 Berechnung der Virialkoeffizienten	20
B.3.1 Berechnung von $B(T)$	20
B.3.2 Berechnung von $C(T)$	21
B.4 Berechnung des Realgasfaktors und der molaren Dichte	22
B.5 Konsistenzprüfungen für das SGERG-88-Verfahren	23
Anhang C (normativ) Rechenbeispiele	24
Anhang D (normativ) Umrechnungsfaktoren	25
D.1 Referenzbedingungen	25
D.2 Einheiten und Umrechnungsfaktoren für Druck und Temperatur	26
D.3 Einheiten für Brennwert und Dichte und Umrechnungen auf andere Referenzbedingungen.....	27
D.3.1 Umrechnungsfaktoren für die Einheiten	27
D.3.2 Umrechnung zwischen unterschiedlichen Referenzbedingungen.....	27
Anhang E (informativ) Festlegungen für aufbereitetes Erdgas	28
E.1 Maximale Grenzwerte für die Stoffmengenanteile	28
E.2 Konsistenzprüfung und Festlegung der Eingangsgrößen	28
Anhang F (informativ) Verhalten über erweiterte Anwendungsbereiche	31
Anhang G (informativ) Unterprogramm SGERG-88 in Fortran	36
Literaturhinweise	42

Vorwort

Der Text von ISO 12213-3:2006 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 193 „Natural gas“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 12213-3:2009 übernommen.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2010, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 12213-3:2005

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12213-3:2006 wurde vom CEN als EN ISO 12213-3:2009 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

1 Anwendungsbereich

Die Internationale Norm ISO 12213 legt für Erdgase, Erdgase mit synthetischen Beimischungen und ähnliche Gemische Verfahren zur Berechnung der Realgasfaktoren unter Bedingungen fest, unter denen das Gemisch nur als Gas existieren kann.

In diesem Teil von ISO 12213 wird ein Verfahren zur Berechnung der Realgasfaktoren für Gase festgelegt, deren Brennwert, relative Dichte und Kohlenstoffdioxidgehalt ebenso wie die zutreffenden Drücke und Temperaturen bekannt sind. Falls Wasserstoff vorhanden ist, was bei Gasen mit einer synthetischen Beimischung häufig vorkommt, muss auch der Wasserstoffgehalt bekannt sein.

ANMERKUNG Der Realgasfaktor kann prinzipiell errechnet werden, wenn von den Parametern Brennwert, relative Dichte, Kohlenstoffdioxidgehalt und Stickstoffgehalt drei bekannt sind (üblicherweise die drei Erstgenannten); es wird jedoch davon abgeraten, den Stickstoffgehalt als Berechnungsparameter anzuwenden.

Auf aufbereitete Erdgase ist das Verfahren innerhalb der Bereiche für den Druck p und die Temperatur T , bei denen Transport- und Verteilungsvorgänge üblicherweise ablaufen, vorrangig mit einer Unsicherheit von etwa $\pm 0,1\%$ anwendbar. Für erweiterte Anwendungsbereiche erhöht sich die Ergebnisunsicherheit (siehe Anhang F).

Weitere Angaben zum Geltungs- und Anwendungsbereich des Verfahrens sind in ISO 12213-1 enthalten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 6976:1995, *Natural gas — Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition*

ISO 12213-1, *Natural gas — Calculation of compression factor — Part 1: Introduction and guidelines*

ISO 80000-4, *Quantities and units — Part 4: Mechanics*

ISO 80000-5, *Quantities and units — Part 5: Thermodynamics*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in ISO 12213-1 angegebenen Begriffe.

4 Berechnungsverfahren

4.1 Kurzbeschreibung

Das empfohlene Verfahren wendet Gleichungen an, die auf dem Konzept basieren, dass aufbereitetes Erdgas zur Berechnung seiner volumenbezogenen Eigenschaften durch eine geeignete Menge messbarer physikalischer Eigenschaften eindeutig charakterisiert werden kann. Diese Eigenschaften sowie Druck und Temperatur sind die Eingangsgrößen für das Verfahren.

Das Verfahren basiert auf folgenden physikalischen Eigenschaften: Brennwert, relative Dichte und Kohlenstoffdioxidgehalt. Es ist besonders dann von Vorteil, wenn die Ergebnisse einer vollständigen Analyse der molaren Zusammensetzung nicht verfügbar sind, darf jedoch auch wegen seiner relativ einfachen Anwendung bevorzugt ausgewählt werden. Für Gase mit einer synthetischen Beimischung muss der Wasserstoffgehalt bekannt sein.

4.2 Die Gleichung SGERG-88

Das Berechnungsverfahren unter Anwendung physikalischer Eigenschaften basiert auf der genormten Virialgleichung GERG 88 (SGERG-88) für Erdgase [1], [2], [3]. Die genormte GERG-88-Virialgleichung wird aus der Master-Virialgleichung GERG 88 (MGERG-88) abgeleitet, die als Basis für ein Berechnungsverfahren unter Anwendung einer molaren Gasanalyse [4] dient.

Die Virialgleichung SGERG-88, nach der die Berechnung des Realgasfaktors Z erfolgt, darf in folgender Form dargestellt werden:

$$Z = 1 + B\rho_m + C\rho_m^2 \quad (1)$$

Dabei ist

B und C Funktionen der Eingangsgrößen, zu denen folgende Eigenschaften gehören: der Brennwert H_S , die relative Dichte d , die Gehalte der beiden inerten und brennbaren Komponenten des Gasgemisches, die keine Kohlenwasserstoffe sind (CO_2 und H_2), sowie die Temperatur T ;

ρ_m die molare Dichte, die nach folgender Gleichung bestimmt wird:

$$\rho_m = p/(ZRT) \quad (2)$$

Dabei ist

$$Z = f_1(p, T, H_S, d, x_{\text{CO}_2}, x_{\text{H}_2}) \quad (3)$$

Beim SGERG-88-Verfahren wird die Erdgasmischung intern als ein Fünf-Komponenten-Gemisch behandelt, das aus einem äquivalenten Kohlenwasserstoffgas (mit den gleichen thermodynamischen Eigenschaften wie die Summe der vorhandenen Kohlenwasserstoffe), Stickstoff, Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid besteht. Um die thermodynamischen Eigenschaften des Kohlenwasserstoffgases ausreichend zu kennzeichnen, wird auch die Verbrennungswärme H_{CH} des Kohlenwasserstoffs benötigt. Daher gilt für die Berechnung von Z :

$$Z = f_2(p, T, H_{\text{CH}}, x_{\text{CH}}, x_{\text{N}_2}, x_{\text{CO}_2}, x_{\text{H}_2}, x_{\text{CO}}) \quad (4)$$

Um Kokereigasgemische erfassen zu können, wird eine feste Relation des Stoffmengenanteils für Kohlenstoffmonoxid zum Wasserstoffgehalt vorausgesetzt. Falls kein Wasserstoff vorhanden ist ($x_{\text{H}_2} < 0,001$), wird $x_{\text{H}_2} = 0$ gesetzt. In diesem Fall wird das Erdgasgemisch bei der Berechnung als ein Drei-Komponenten-Gemisch behandelt (siehe Anhang B).

Die Berechnung erfolgt in drei Schritten.

Im ersten Schritt kann die Zusammensetzung eines Fünf-Komponenten-Gemisches nach dem in Anhang B ausführlich beschriebenen iterativen Verfahren aus den Eingangsgrößen so bestimmt werden, dass sowohl der Brennwert als auch die relative Dichte zufrieden stellend errechnet werden können.

Nachdem die Zusammensetzung bekannt ist, können im zweiten Schritt B und C bestimmt werden, wozu die Beziehungen angewendet werden, die ebenfalls in Anhang B angegeben werden.

Im dritten Schritt werden die Gleichungen (1) und (2) nach einem geeigneten numerischen Verfahren gleichzeitig für ρ_m und Z gelöst.

Bild B.1 zeigt ein Flussdiagramm für das Verfahren zur Berechnung von Z aus den Eingangsgrößen.

4.3 Eingangsgrößen

4.3.1 Bevorzugte Eingangsgrößenmenge

Die Eingangsgrößen, die in die Gleichung SGERG-88 eingesetzt werden müssen, sind der absolute Druck, die Temperatur und der (volumenbezogene) Brennwert, die relative Dichte, der Kohlenstoffdioxidgehalt und der Wasserstoffgehalt. Folglich werden als Eingangsgrößenmenge (Menge A) folgende physikalische Eigenschaften verwendet:

$$H_S, d, x_{\text{CO}_2} \text{ und } x_{\text{H}_2}.$$

Die relative Dichte bezieht sich auf Normalbedingungen (101,325 kPa und 0 °C) und der Brennwert auf Normalbedingungen (101,325 kPa und 0 °C) sowie auf eine Verbrennungstemperatur von 25 °C.

4.3.2 Alternative Eingangsgrößenmengen

Für die genormte GERG-Virialgleichung dürfen anstelle der bevorzugten (siehe 4.3.1) drei alternative Eingangsgrößenmengen angewendet werden:

$$x_{\text{N}_2}, H_S, d \text{ und } x_{\text{H}_2} \text{ (Menge B)}$$

$$x_{\text{N}_2}, x_{\text{CO}_2}, d \text{ und } x_{\text{H}_2} \text{ (Menge C)}$$

$$x_{\text{N}_2}, x_{\text{CO}_2}, H_S \text{ und } x_{\text{H}_2} \text{ (Menge D)}$$

Die alternativen Eingangsgrößenmengen werden vollständig in GERG Technical Monograph TM5 [3] behandelt. Die Anwendung der alternativen Eingangsgrößenmengen führt zu Ergebnissen, die an der vierten Dezimalstelle eine Abweichung zeigen können. Dieser Teil von ISO 12213 empfiehlt die Anwendung der Eingangsgrößenmenge A.

4.4 Anwendungsbereiche

4.4.1 Aufbereitetes Erdgas

Für aufbereitetes Erdgas werden folgende Anwendungsbereiche festgelegt:

Absoluter Druck	0 MPa	$\leq p \leq$	12 MPa
Temperatur	263 K	$\leq T \leq$	338 K
Stoffmengenanteil Kohlenstoffdioxid	0	$\leq x_{\text{CO}_2} \leq$	0,20
Stoffmengenanteil Wasserstoff	0	$\leq x_{\text{H}_2} \leq$	0,10
Brennwert	$30 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$	$\leq H_S \leq$	$45 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$
Relative Dichte	0,55	$\leq d \leq$	0,80

Die Stoffmengenanteile für die übrigen Erdgaskomponenten werden als Eingangsgrößen nicht benötigt. Diese Stoffmengenanteile müssen jedoch innerhalb folgender Bereiche liegen (das Verhältnis der aufeinander folgenden Stoffmengenanteile in der homologen Reihe der Alkane beträgt üblicherweise 3 : 1 — siehe Anhang E):

Methan	0,7	$\leq x_{\text{CH}_4} \leq$	1,00
Stickstoff	0	$\leq x_{\text{N}_2} \leq$	0,20
Ethan	0	$\leq x_{\text{C}_2\text{H}_6} \leq$	0,10

Propan	0	$\leq x_{\text{C}_3\text{H}_8} \leq$	0,035
Butane	0	$\leq x_{\text{C}_4\text{H}_{10}} \leq$	0,015
Pentane	0	$\leq x_{\text{C}_5\text{H}_{12}} \leq$	0,005
Hexane	0	$\leq x_{\text{C}_6} \leq$	0,001
Heptane	0	$\leq x_{\text{C}_7} \leq$	0,000 5
Octane plus höhere Kohlenwasserstoffe	0	$\leq x_{\text{C}_{8+}} \leq$	0,000 5
Kohlenstoffmonooxid	0	$\leq x_{\text{CO}} \leq$	0,03
Helium	0	$\leq x_{\text{He}} \leq$	0,005
Wasser	0	$\leq x_{\text{H}_2\text{O}} \leq$	0,000 15

Das Verfahren gilt nur für Gemische, die unter den interessierenden Bedingungen für Temperatur und Druck einen einphasigen gasförmigen Zustand (oberhalb des Taupunktes) aufweisen. Für aufbereitetes Erdgas ist das Verfahren auf erweiterte Temperatur- und Druckbereiche anwendbar, jedoch bei zunehmender Unsicherheit (siehe Bild 1). Für die Realisierung der Berechnung am Computer wird die untere Temperaturgrenze auf 250 K festgelegt.

4.4.2 Erweiterte Anwendungsbereiche

Über die in 4.4.1 angegebenen Grenzwerte hinaus werden folgende Anwendungsbereiche geprüft:

Absoluter Druck	0 MPa	$\leq p \leq$	12 MPa
Temperatur	263 K	$\leq T \leq$	338 K
Stoffmengenanteil Kohlenstoffdioxid	0	$\leq x_{\text{CO}_2} \leq$	0,30
Stoffmengenanteil Wasserstoff	0	$\leq x_{\text{H}_2} \leq$	0,10
Brennwert	20 MJ · m ⁻³	$\leq H_S \leq$	48 MJ · m ⁻³
Relative Dichte	0,55	$\leq d \leq$	0,90

Die zulässigen Stoffmengenanteile für die übrigen Hauptkomponenten des Erdgases sind erweitert auf:

Methan	0,5	$\leq x_{\text{CH}_4} \leq$	1,0
Stickstoff	0	$\leq x_{\text{N}_2} \leq$	0,50
Ethan	0	$\leq x_{\text{C}_2\text{H}_6} \leq$	0,20
Propan	0	$\leq x_{\text{C}_3\text{H}_8} \leq$	0,05

Für weitere Nebenkomponten des Gases gelten als Grenzwerte die in 4.4.1 für aufbereitetes Erdgas angegebenen Werte.

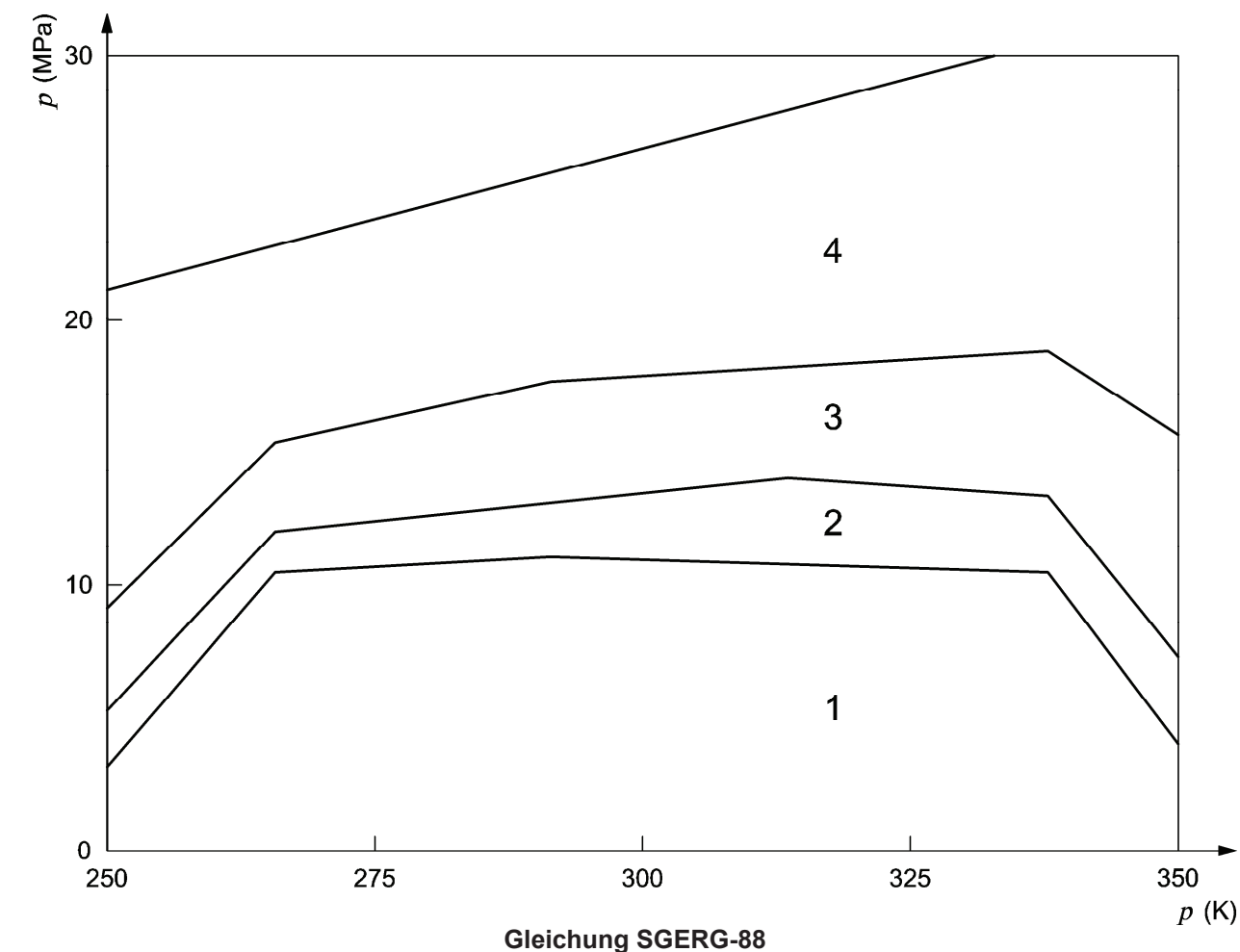
Außerhalb dieser Bereiche ist das Verfahren nicht anwendbar; die in Anhang B beschriebene Realisierung der Berechnung mit einem Computer lässt keine Überschreitung der Grenzwerte für die angegebene Zusammensetzung zu.

4.5 Unsicherheit

4.5.1 Unsicherheit für aufbereitetes Erdgas

Für Erdgase mit $x_{N_2} \leq 0,20$, $x_{CO_2} \leq 0,09$, $x_{C_2H_6} \leq 0,10$ und $x_{H_2} \leq 0,10$, mit $30 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} \leq H_S \leq 45 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ sowie $0,55 \leq d \leq 0,80$ beträgt die Unsicherheit der Vorhersage für den Realgasfaktor ΔZ (für einen Temperaturbereich von 263 K bis 338 K) bei Drücken bis 10 MPa $\pm 0,1 \%$ und bei Drücken zwischen 10 MPa und 12 MPa $\pm 0,2 \%$ (siehe Bild 1).

Für Gase mit einem CO_2 -Gehalt, der einen Stoffmengenanteil von 0,09 überschreitet, wird die Unsicherheit von $\pm 0,1 \%$ für Drücke bis 6 MPa und für Temperaturen zwischen 263 K und 338 K beibehalten. Dieses Unsicherheitsniveau wird bestimmt, indem Vergleiche mit der GERG-Datenbank für Messungen des Realgasfaktors für Erdgase [5], [6] und mit Daten des Gas Research Institute [9] durchgeführt werden.



Legende

p	Druck
T	Temperatur
1	$\Delta Z \leq \pm 0,1 \%$
2	$\Delta Z \pm 0,1 \%$ bis $\pm 0,2 \%$
3	$\Delta Z \pm 0,2 \%$ bis $\pm 0,5 \%$
4	$\Delta Z \pm 0,5 \%$ bis $\pm 3,0 \%$

Bild 1 — Grenzwerte für die Unsicherheit bei Berechnung der Realgasfaktoren

(Es wird erwartet, dass die für die Unsicherheit angegebenen Grenzwerte für Erdgas und ähnliche Gase mit

$x_{N_2} \leq 0,20$, $x_{CO_2} \leq 0,09$, $x_{C_2H_6} \leq 0,10$ und $x_{H_2} \leq 0,10$ sowie für $30 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3} \leq H_S \leq 45 \text{ MJ} \times \text{m}^{-3}$ und $0,55 \leq d \leq 0,80$ gültig sind.)

4.5.2 Unsicherheit für erweiterte Anwendungsbereiche

Die bei Überschreitung der in 4.5.1 angegebenen Grenzwerte für die Berechnungen der Realgasfaktoren geschätzten Unsicherheiten werden in Anhang E erörtert.

4.5.3 Einfluss der Unsicherheiten auf die Eingangsgrößen

In Tabelle 1 werden typische Werte für die Unsicherheiten der jeweiligen Eingangsgrößen aufgeführt. Diese Werte können unter optimalen Betriebsbedingungen erreicht werden.

Als allgemeine Richtlinie gilt nur, dass bei einer Untersuchung der Fehlerfortpflanzung unter Anwendung der oben angegebenen Unsicherheiten in den Eingangsgrößen eine zusätzliche Ergebnisunsicherheit von etwa $\pm 0,1 \%$ bei 6 MPa und innerhalb des Temperaturbereichs von 263 K bis 338 K erzeugt wird. Bei einem Druck über 6 MPa vergrößern sich die zusätzlichen Unsicherheiten etwa in direkter Proportionalität zum Druck (siehe Literaturhinweis [3]).

4.5.4 Angabe der Ergebnisse

Die Ergebnisse für den Realgasfaktor müssen auf vier Dezimalstellen zusammen mit den Werten für Druck und Temperatur und dem angewendeten Berechnungsverfahren (ISO 12213-3, Gleichung SGERG-88) angegeben werden. Zur Verifizierung der Berechnungsverfahren ist es hilfreich, zusätzliche Stellen zu berücksichtigen.

Tabelle 1 — Unsicherheiten der Eingangsgrößen

Eingangsgröße	Absolute Unsicherheit
Absoluter Druck	$\pm 0,02 \text{ MPa}$
Temperatur	$\pm 0,15 \text{ K}$
Stoffmengenanteil Kohlenstoffdioxid	$\pm 0,002$
Stoffmengenanteil Wasserstoff	$\pm 0,005$
Relative Dichte	$\pm 0,001 \text{ 3}$
Brennwert	$\pm 0,06 \text{ MJ} \times \text{m}^{-3}$

5 Computerprogramm

Software zur Durchführung der Berechnungen nach dieser Internationalen Norm ist vorhanden. Die Anwender des vorliegenden Teils von ISO 12213 werden gebeten, ISO/TC 193/SC1 entweder direkt oder über die für sie zuständige ISO-Mitglieds Körperschaft zu kontaktieren, um die Verfügbarkeit dieser Software zu erkunden.

Anhang A (normativ)

Symbole und Einheiten

Die in diesem Anhang festgelegten Symbole werden sowohl im Text des Hauptteils als auch im Anhang B angewendet. Die hier festgelegten Einheiten stimmen mit denjenigen überein, die Konsistenz mit den Werten der in Anhang B angegebenen Koeffizienten ergeben.

Symbol	Bedeutung	Einheit
b_{H0}	Bei Entwicklung von B_{11} [Gleichung (B.20)] ein (konstanter) Term nullter Ordnung für die molare Verbrennungswärme (H_{CH})	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$
b_{H1}	Bei Entwicklung von B_{11} [Gleichung (B.20)] ein (linearer) Term erster Ordnung für die molare Verbrennungswärme (H_{CH})	$\text{m}^3 \cdot \text{MJ}^{-1}$
b_{H2}	Bei Entwicklung von B_{11} [Gleichung (B.20)] ein (quadratischer) Term zweiter Ordnung für die molare Verbrennungswärme (H_{CH})	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol} \cdot \text{MJ}^{-2}$
$b_{H0}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von b_{H0} [Gleichung (B.21)]	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$
$b_{H0}(1)$		$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$b_{H0}(2)$		$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$
$b_{H1}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von b_{H1} [Gleichung (B.21)]	$\text{m}^3 \cdot \text{MJ}^{-1}$
$b_{H1}(1)$		$\text{m}^3 \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$b_{H1}(2)$		$\text{m}^3 \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$
$b_{H2}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von b_{H2} [Gleichung (B.21)]	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol} \cdot \text{MJ}^{-2}$
$b_{H2}(1)$		$\text{m}^3 \cdot \text{kmol} \cdot \text{MJ}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$b_{H2}(2)$		$\text{m}^3 \cdot \text{kmol} \cdot \text{MJ}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$
$b_{ij}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von b_{ij} [Gleichung (B.22)]	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$
$b_{ij}(1)$		$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$b_{ij}(2)$		$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$
B	Zweiter Virialkoeffizient [Gleichung (1)]	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$
B_{ij}	Zweiter Virialkoeffizient für die binären Wechselwirkung zwischen den Komponenten i und j [Gleichung (B.22)]	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$
c_{H0}	Bei Entwicklung von C_{111} [Gleichung (B.29)] ein (konstanter) Term nullter Ordnung für die molare Verbrennungswärme (H_{CH})	$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2}$
c_{H1}	Bei Entwicklung von C_{111} [Gleichung (B.29)] ein (linearer) Term erster Ordnung für die molare Verbrennungswärme (H_{CH})	$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1}$
c_{H2}	Bei Entwicklung von B_{11} [Gleichung (B.29)] ein (quadratischer) Term zweiter Ordnung für die molare Verbrennungswärme (H_{CH})	$\text{m}^6 \cdot \text{MJ}^{-2}$
$c_{H0}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von c_{H0} [Gleichung (B.30)]	$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2}$
$c_{H0}(1)$		$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$c_{H0}(2)$		$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$

Symbol	Bedeutung	Einheit
$c_{H1}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von c_{H1} [Gleichung (B.30)]	$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1}$
$c_{H1}(1)$		$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$c_{H1}(2)$		$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}$
$c_{H2}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von c_{H2} [Gleichung (B.30)]	$\text{m}^6 \cdot \text{MJ}^{-2}$
$c_{H2}(1)$		$\text{m}^6 \cdot \text{MJ}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$c_{H2}(2)$		$\text{m}^6 \cdot \text{MJ}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$
$C_{ijk}(0)$	Terme für die Temperaturentwicklung von c_{ijk} [Gleichung (B.31)]	$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2}$
$C_{ijk}(1)$		$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$C_{ijk}(2)$		$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$
C	Dritter Virialkoeffizient [Gleichung (B.1)]	$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2}$
C_{ijk}	Dritter Virialkoeffizient für ternäre Wechselwirkung zwischen den Komponenten i, j und k [Gleichung (B.31)]	$\text{m}^6 \cdot \text{kmol}^{-2}$
d	Relative Dichte [d (Luft) = 1; Gleichung (B.1)]	—
DH_{CH}	Änderung der molaren Verbrennungswärme H_{CH} während der Iteration [Gleichungen (B.10) und (B.11)]	$\text{MJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$
H_s	Brennwert [Gas unter Normalbedingungen (0 °C, 1,013 25 bar), Verbrennungstemperatur 25 °C]	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$
H	Molare Verbrennungswärme (Verbrennungstemperatur 25 °C)	$\text{MJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$
M	Molare Masse [Gleichungen (B.5) und (B.8)]	$\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$
p	Absoluter Druck	bar
R	(Universelle) Gaskonstante	$\text{m}^3 \cdot \text{bar} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
T	Absolute Temperatur	K
t	Celsius-Temperatur [= $T - 273,15$; Gleichung (B.27)]	°C
V_m	Molares Volumen (= $1/\rho_m$)	$\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$
x	Stoffmengenanteil einer Komponente	—
y	Kombinationsregel-Parameter für die Virialkoeffizienten B_{12} und B_{13} mit unterschiedlicher binärer Wechselwirkung (Tabelle B.2) und den Virialkoeffizienten C_{ijk} mit unterschiedlicher ternärer Wechselwirkung [Gleichung (B.32)]	—
Z	Realgasfaktor	—
ρ	Dichte (massenbezogen) [Gleichungen (B.8) und (B.42)]	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ρ_m	Molare Dichte (= V_m^{-1})	$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$

Weitere Indices

n	Wert unter Normalbedingungen ($T_n = 273,15 \text{ K}$, $p_n = 1,013 25 \text{ bar}$)
CH	Zur Kennzeichnung des äquivalenten Kohlenwasserstoffs
CO	Zur Kennzeichnung des Kohlenstoffmonoxids

CO ₂	Zur Kennzeichnung des Kohlenstoffdioxids
H ₂	Zur Kennzeichnung des Wasserstoffs
N ₂	Zur Kennzeichnung des Stickstoffs

Weitere Kennzeichnungsmerkmale

(Luft)	Normzusammensetzung für trockene Luft [Gleichung (B.1)]
(D)	In Gleichung (B.11) für spezielle Werte von ρ verwendet
1	Für den äquivalenten Kohlenwasserstoff [Gleichungen (B.12) und B.15)]
2	Für Stickstoff [Gleichungen (B.12) und B.16)]
3	Für Kohlenstoffdioxid [Gleichungen (B.12) und B.17)]
4	Für Wasserstoff [Gleichungen (B.12) und B.18)]
5	Für Kohlenstoffmonoxid [Gleichungen (B.12) und B.19)]
(id)	Idealgas-Zustand
(u)	Zähler bei der Iteration (B.2.1)
(v)	Zähler bei der Iteration (B.2.2)
(w)	Zähler bei der Iteration (B.4)