

DIN EN ISO 20765-5



ICS 75.060

Einsprüche bis 2020-07-08

Entwurf

**Erdgas –
Berechnung der thermodynamischen Eigenschaften –
Teil 5: Berechnung der Viskosität, Joule-Thomson-Koeffizient und
Isentropenexponent (ISO/DIS 20765-5:2020);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 20765-5:2020**

Natural gas –

Calculation of thermodynamic properties –

Part 5: Calculation of viscosity, Joule-Thomson coefficient, and isentropic exponent
(ISO/DIS 20765-5:2020);

German and English version prEN ISO 20765-5:2020

Gaz naturel –

Calcul des propriétés thermodynamiques –

Partie 5: Calcul de la viscosité, du coefficient de Joule-Thomson et de l'exposant isentropique
(ISO/DIS 20765-5:2020);

Version allemande et anglaise prEN ISO 20765-5:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-05-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 46 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)
DIN-Normenausschuss Gastechnik (NAGas)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument legt ein Verfahren fest zur Berechnung der Viskosität und anderen Eigenschaften, jedoch nicht die Dichte, zur Anwendung bei der Messung von Erdgasströmen.

Dieses Dokument wurde vom internationalen Technischen Komitee ISO/TC 193/SC 1 „Analysis of natural gas“ (Sekretariat: NEN, Niederlande) gemeinsam mit dem europäischen Technischen Komitee CEN/TC 238 „Prüfgase, Prüfdrücke, Gerätekategorien und Gasgerätearten“ (Sekretariat: AFNOR, Frankreich) erarbeitet.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 14532	siehe	DIN EN ISO 14532
ISO 20765-1	siehe	DIN EN ISO 20765-1
ISO 20765-2	siehe	DIN EN ISO 20765-2
ISO 80000-5:2007	siehe	DIN EN ISO 80000-5:2013-08

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 14532, *Erdgas — Begriffe*

DIN EN ISO 20765-1, *Erdgas — Berechnung thermodynamischer Eigenschaften — Teil 1: Eigenschaften der Gasphase für Zwecke des Transports und der Verteilung*

DIN EN ISO 20765-2, *Erdgas — Berechnung thermodynamischer Eigenschaften — Teil 2: Einphaseneigenschaften (gasförmig, flüssig und dickflüssig) für den erweiterten Anwendungsbereich*

DIN EN ISO 80000-5:2013-08, *Größen und Einheiten — Teil 5: Thermodynamik (ISO 80000-5:2007); Deutsche Fassung EN ISO 80000-5:2013*

Erdgas — Berechnung der thermodynamischen Eigenschaften — Teil 5: Berechnung der Viskosität, Joule-Thomson-Koeffizient und Isentropenexponent (ISO/DIS 20765-5:2020)

Gaz naturel — Calcul des propriétés thermodynamiques — Partie 5 : Calcul de la viscosité, du coefficient de Joule-Thomson et de l'exposant isentropique (ISO/DIS 20765-5:2020)

Natural gas — Calculation of thermodynamic properties — Part 5: Calculation of viscosity, Joule-Thomson coefficient, and isentropic exponent (ISO/DIS 20765-5:2020)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.10b

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Hintergrund	6
5 Viskosität (η)	8
5.1 Viskosität als eine Funktion von Temperatur, Druck und Zusammensetzung	8
5.2 Viskosität als eine Funktion von Temperatur und Massendichte	11
6 Andere Eigenschaften	12
6.1 Präambel	12
6.2 Joule-Thomson-Koeffizient (μ)	14
6.3 Isentropenexponent (κ)	15
6.4 Schallgeschwindigkeit (W)	16
7 Beispielberechnungen	17
8 Schlussfolgerungen	17
9 Angabe von Ergebnissen	17
Anhang A (normativ) Symbole und Einheiten	18
Anhang B (informativ) Beispiel-LBC-Viskositätsfunktion	19
Anhang C (informativ) Beispielroutine zur Umrechnung von CV , RD und CO_2 -Stoffmengenanteil in ein äquivalentes C_1 - C_3 - N_2 - CO_2 -Gemisch	21
Anhang D (informativ) Viskosität von Methan	22
Literaturhinweise	23

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 20765-5:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 193 „Natural gas“, Unterkomitee SC 1 „Analysis of Natural gas“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 238 „Prüfgase, Prüfdrücke, Gerätekategorien und Gasgerätearten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 20765-5:2020 wurde von CEN als prEN ISO 20765-5:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 193, *Natural gas*, Unterkomitee SC 1, *Analysis of natural gas*, erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 20765 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Dieses Dokument enthält vereinfachte Verfahren zur Berechnung der (dynamischen) Viskosität, des Joule-Thomson-Koeffizienten und des Isentropenexponenten zur Anwendung bei Erdgasberechnungen im Temperaturbereich von -20 °C bis 40 °C mit absoluten Drücken bis zu 10 MPa in der Gasphase. Für den Joule-Thomson-Koeffizienten und den Isentropenexponenten ist die Unsicherheit der angegebenen Gleichungen größer als diejenige, die sich aus einer vollständigen Zustandsgleichung wie der GERG-2008-Gleichung (1) [ISO 20765-2 [2]] ergibt, wird jedoch als geeignet für den Zweck betrachtet. Die hier angegebenen Gleichungen sind sehr einfach.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 20765 legt ein Verfahren fest zur Berechnung der Viskosität und anderen Eigenschaften, jedoch nicht die Dichte, zur Anwendung bei der Messung von Erdgasströmen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 7504, *Gas analysis — Vocabulary*

ISO 14532, *Natural gas — Vocabulary*

ISO 20765-1, *Natural gas — Calculation of thermodynamic properties — Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution applications*

ISO 20765-2, *Natural gas — Calculation of thermodynamic properties — Part 2: Single-phase properties (gas, liquid, and dense fluid) for extended ranges of application*

ISO 80000-5:2007, *Quantities and units — Part 5: Thermodynamics*

3 Begriffe

In diesem Dokument werden keine Begriffe aufgeführt.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

4 Hintergrund

Die Hauptmotivation für diese Norm besteht darin, vereinfachte Verfahren für die Berechnungen bereitzustellen, die nach ISO 5167 für die Messung des Durchflusses von Hochdruck-Erdgas mit einem Wirkdruckgaszähler erforderlich sind.

Hilfreiche Verweisungen für die hierin enthaltenen Arbeiten sind nachfolgend aufgeführt:

- a) ISO 5167-1:1991, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Part 1. Pressure differential devices — Section 1.1: Specification for square-edged orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full*, (BS 1042:Section 1.1:1992).
- b) ISO 5167-1:1997, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full*, (BS 1042-1.1:1992 unnummeriert, enthält Änderung Nr. 1 (Umnummerierung der BS in BS EN ISO 5167-1:1997), und Änderung Nr. 1 zu BS EN ISO 5167-1:1997)
- c) ISO 5167-1:2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements*

- d) ISO 5167-2:2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 2: Orifice plates*

Die grundlegende Gleichung für den Massendurchfluss ist:

$$q = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho} \quad (1)$$

Dabei ist

C eine Funktion von β , Re , und der Art der Blenden zur Druckentnahme;

ε eine Funktion von β , P , ΔP und κ .

Die Formelzeichen sind in Anhang A festgelegt. Die oben genannten Normen unterscheiden sich in den Funktionen für C und ε . Obwohl q durch Gleichung (1) gegeben ist, ist eine Iteration erforderlich, da C eine Funktion von Re ist und Re eine Funktion von q ist. In ähnlicher Weise ergibt die Angabe von q in Gleichung (1) nicht direkt ΔP , da ε eine Funktion von ΔP ist.

Die Anwendung der Gleichungen in ISO 5167 (2003) zur Berechnung des Durchflusses (q) für einen Wirkdruckgaszähler über einen typischen Eingangsbereich von Temperatur, Druck, Differenzdruck und Gaszusammensetzung ergibt die folgende Unsicherheitsgleichung (wenn die einzige Quelle von Unsicherheiten in der Berechnung der erforderlichen thermophysikalischen Gaseigenschaften liegt):

$$\begin{aligned} [u(q)/q]^2 &= [0,5 \pm 0,000\,2]^2 \cdot [u(\rho)/\rho]^2 && \text{(molare oder Massendichte)} \\ &+ [0,000\,6 \pm 0,000\,2]^2 \cdot [u(\eta)/\eta]^2 && \text{(Viskosität)} \\ &+ [0,002 \pm 0,001\,2]^2 \cdot [u(\kappa)/\kappa]^2 && \text{(Isentropenexponent)} \\ &+ [-0,000\,4 \pm 0,000\,2]^2 \cdot [u(\mu)/\mu]^2 && \text{(Joule-Thomson-Koeffizient)} \end{aligned} \quad (2)$$

Diese Gleichung kann verwendet werden, um die erforderliche Unsicherheit der Berechnung der Eigenschaften zu schätzen, die Teil dieser Norm sind.

Damit die erweiterte Unsicherheit (U) des Massendurchflusses (Erweiterungsfaktor $k = 2$, mit einem 95 % Vertrauensbereich) weniger als 0,1 % beträgt, ist erforderlich, dass

$$\begin{aligned} U(\rho)/\rho &< 0,1 \% \\ U(\eta)/\eta &< 85 \% \\ U(\kappa)/\kappa &< 25 \% \\ U(\mu)/\mu &< 125 \% \end{aligned} \quad (3)$$

Damit der Unsicherheitsbeitrag weniger als 0,02 % beträgt, ist erforderlich, dass

$$\begin{aligned} U(\rho)/\rho &< 0,02 \% \\ U(\eta)/\eta &< 17 \% \\ U(\kappa)/\kappa &< 5 \% \\ U(\mu)/\mu &< 25 \% \end{aligned} \quad (4)$$

Daher muss die Dichte so genau wie möglich berechnet werden, während die Unsicherheit bei der Berechnung der anderen Eigenschaften viel höher sein kann, mit einer Zielunsicherheit von nicht besser als etwa 25 % bei einer Unsicherheit von 0,1 % im Durchfluss ($k = 2$). Die Anwendung der GERG-2008-Zustandsgleichung stellt Berechnungen der Dichte bereit, die allgemein innerhalb der erforderlichen Unsicherheit von 0,1 % liegen.

5 Viskosität (η)

5.1 Viskosität als eine Funktion von Temperatur, Druck und Zusammensetzung

Es gibt viele Verfahren zur Berechnung der (dynamischen) Gasphasenviskosität, von denen einige, die theoretisch begründet sind, recht kompliziert sind (siehe Verweisung 11 für Einzelheiten). Das Lohrenz-Bray-Clark-Verfahren ist relativ einfach, erfordert minimale Komponentendaten und ist ein weit verbreitetes Verfahren, das hier empfohlen wird. Ein Nachteil ist die Empfindlichkeit gegenüber der Eingangsdichte; allerdings werden für die hier betrachtete Anwendung genaue Dichten zur Verfügung stehen. Die ursprüngliche Verweisung ist in [3] angegeben.

Dieses Verfahren erfordert, dass die Gaszusammensetzung verfügbar ist. Mit den Eingängen von Temperatur, Druck und Zusammensetzung kann die GERG-2008-Zustandsgleichung (ISO 20765-2) [1], [2] verwendet werden, um die in den nachfolgenden Gleichungen geforderte molare Dichte zu erhalten. Wenn die Zusammensetzung nicht bekannt ist, können die Verfahren nach 3.2 verwendet werden.

Die Gleichungen, die zur Implementierung dieses Verfahrens erforderlich sind, werden nachfolgend dargelegt (Anhang B enthält ein Visual Basic-Beispielprogramm), wobei die erforderlichen Parameter aus den folgenden Werten reiner Flüssigkeiten bestehen:

molare Masse	M_i	[g/mol]
kritische Temperatur	$T_{c,i}$	[K]
kritischer Druck	$P_{c,i}$	[MPa]
kritische Dichte	$\rho_{c,i}$	[mol/dm ³]

Diese Gemisch-Parameter können mit den folgenden Gleichungen geschätzt werden:

$$M_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^N x_i M_i \quad (5)$$

$$T_{c,\text{mix}} = \sum_{i=1}^N x_i T_{c,i} \quad (6)$$

$$P_{c,\text{mix}} = \sum_{i=1}^N x_i P_{c,i} \quad (7)$$

$$V_{c,\text{mix}} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\rho_{c,i}} \quad (8)$$

Die Werte reiner Flüssigkeit können von jeder geeigneten Quelle, z. B. ISO 20765-2 (Anhang B), bezogen werden.

Die Viskosität eines Erdgas-Gemischs kann berechnet werden als

$$\eta = \eta_{\text{mix}} + \xi (\delta^4 - 1) \quad (9)$$

Die verallgemeinerte Gemisch-Viskosität, die auf den Viskositäten reiner Flüssigkeiten basiert, ist

$$\eta_{\text{mix}} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \eta_i \sqrt{M_i}}{\sum_{i=1}^N x_i \sqrt{M_i}} \quad (10)$$

Dabei ist

x_i Stoffmengenanteil jeder Komponente.

Der Parameter ξ ist nur von der molaren Masse und der kritischen Temperatur und dem Druck abhängig und wird angegeben als

$$\xi = u_\eta \left(\frac{M_{\text{mix}}}{u_M} \right)^{1/2} \left(\frac{T_{\text{c,mix}}}{u_T} \right)^{-1/6} \left(\frac{P_{\text{c,mix}}}{u_p} \right)^{2/3} \quad (11)$$

Diese Gleichung wird durch die Anwendung der folgenden Konstanten dimensionslos gemacht:

$$u_\eta = 0,000 \text{ 1 mPa} \cdot \text{s}$$

$$u_M = 1 \text{ g/mol}$$

$$u_T = 1 \text{ K}$$

$$u_p = 0,101 \text{ 325 MPa} \quad (12)$$

Der Parameter δ in Gleichung 9 ist dichteabhängig und wird angegeben als

$$\delta = 1,023 + 0,233 \text{ 64 } \rho_r + 0,585 \text{ 33 } \rho_r^2 - 0,407 \text{ 58 } \rho_r^3 + 0,093 \text{ 324 } \rho_r^4 \quad (13)$$

$$\rho_r = V_{\text{c,mix}} \cdot \rho \quad (14)$$

Dabei ist

ρ die molare Dichte bei T und P , berechnet nach ISO 20765-2.

Die Viskosität der reinen Flüssigkeitskomponente ist

$$\eta_i = u_\eta \left(\frac{M_i}{u_M} \right)^{1/2} \left(\frac{T_{\text{c},i}}{u_T} \right)^{-1/6} \left(\frac{P_{\text{c},i}}{u_p} \right)^{2/3} \alpha \quad (15)$$

Dabei wird

α erhalten mit

$$T_r \leq 1,5: \alpha = 3,4 \cdot T_r^{0,94} \quad (16)$$

$$T_r > 1,5: \alpha = 1,778 \cdot (4,58 \cdot T_r - 1,67)^{0,625} \quad (17)$$

Die reduzierte Temperatur in diesen Gleichungen ist

$$T_r = T/T_{\text{c},i} \quad (18)$$

Aus den in den Verweisungen angegebenen experimentellen Daten [4] bis [10] beträgt die geschätzte Unsicherheit dieses Verfahrens etwa 4 % (95 % Vertrauensbereich). (Bias = -0,31 %, RMS = 1,59 %). Bei der Anwendung von Gleichung 9 ist zu beachten, dass es sich dabei um vorhergesehene Berechnungen handelt. Die experimentellen Daten wurden bei der Entwicklung der Gleichung nicht verwendet.

Die Anzahl der Punkte und Bereiche sind

Gesamtzahl von Punkten	721	
Temperaturbereich	260 bis 344 K	(-13 bis 71 °C)
Druckbereich	0,1 bis 12,7 MPa	

Bild 1 und Bild 2 zeigen die Verteilung der Fehler im Vergleich zu den folgenden experimentellen Daten:

- 1) N.L.Carr, Viscosities of natural gas components and mixtures, Institute of Gas Technology Research Bulletin 23, (1953)
3 Gemische, 55 Punkte
- 2) I.F. Golubev, Viscosity of Gases and Gas Mixtures: A Handbook, S.214 (1959)
1 Gemisch, 17 Punkte
- 3) M. Gonzalez, B.E. Eakin and A.L. Lee, Monograph on API Research Project 65, American Petroleum Institute (1970)
8 Gemische, 35 Punkte
- 4) H. Nabizadeh and F. Mayinger, High Temperatures-High Pressures, 31:601-612 (1999)
1 Gemisch, 32 Punkte
- 5) M.J. Assael, N.K. Dalaouti and V. Vesovic, Int. J. Thermophysics, 22:61-71 (2001)
1 Gemisch, 22 Punkte
- 6) P. Schley, M. Jaeschke, C. Kuchenmeister and E. Vogel, Int. J. Thermophysics, 25:1623-1651 (2004)
3 Gemische, 521 Punkte
- 7) L.I.Langelandsvik, S.Solvang, M.Rousselet, I.N.Metaxa and M.J.Assael, Int. J. Thermophysics, 28:1120-1130 (2007)
2 Gemische, 39 Punkte

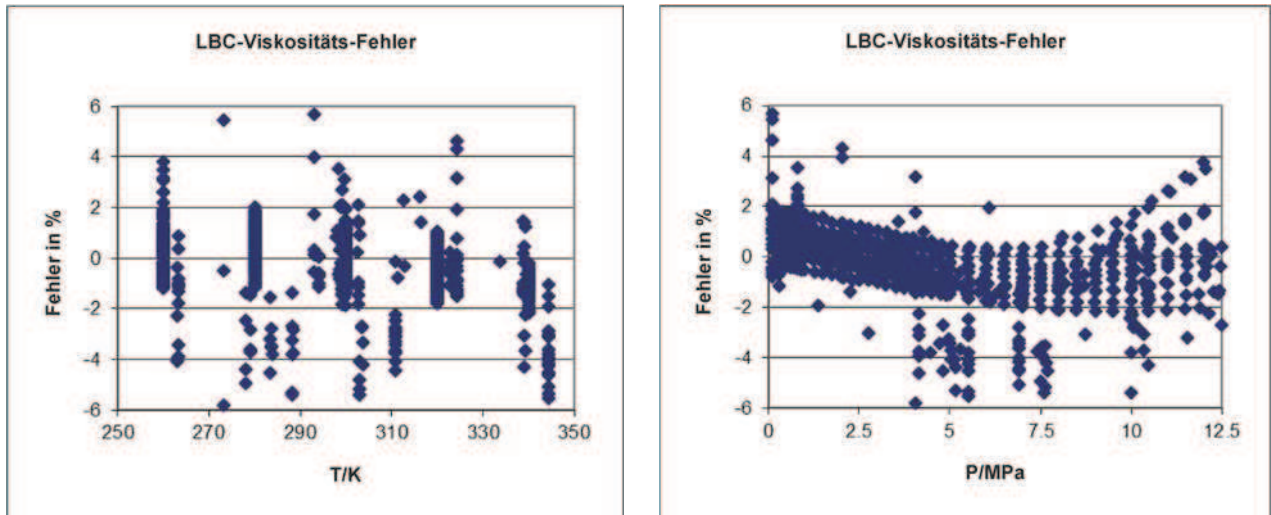


Bild 1 und Bild 2 — Vergleiche der mit dem Lohrenz-Bray-Clark-Verfahren berechneten Viskositäten (Gleichung 9) mit experimentellen Daten als eine Funktion von Temperatur (Bild 1) und Druck (Bild 2)

Wenn nur Masseeigenschaften statt einer genauen Zusammensetzung verfügbar sind, z. B. Brenn- und Heizwert (CV , en: caloric value), relative Dichte (RD) und CO_2 -Stoffmengenanteil ($x(CO_2)$), dann kann ein äquivalentes $N_2/CO_2/CH_4/C_3H_8$ -Gemisch in Gleichung 9 für die Viskosität verwendet werden. Dieses äquivalente Vier-Komponenten-Gemisch hat zwei unbekannte Stoffmengenanteile (für N_2 und C_3H_8), wobei der CO_2 -Stoffmengenanteil angegeben und der CH_4 -Stoffmengenanteil $= 1 - x(N_2) - x(CO_2) - x(C_3H_8)$ ist. Diese beiden Unbekannten werden aus dem CV und dem RD bestimmt. Das Verfahren setzt ein initiales Z (z. B. 0,997 5) voraus und löst die linearisierten CV - und RD -Gleichungen. Eine iterative Routine aktualisiert Z , bis das Verfahren konvergiert ist, was schnell erfolgt, da sich Z mit der Erdgaszusammensetzung nicht sehr verändert. (Ein Implementierungsbeispiel zur Berechnung des äquivalenten Gemischs ist in Anhang C angegeben).

5.2 Viskosität als eine Funktion von Temperatur und Massendichte

Wenn nur Temperatur und Massendichte bekannt sind (d. h. die Gaszusammensetzung ist nicht bekannt), kann folgende einfache Gleichung verwendet werden

$$\eta = 0,010\,36 + 0,000\,033 \cdot t + 0,000\,021 \cdot D + 0,000\,000\,17 \cdot D^2 \quad (19)$$

Dabei ist

t angegeben in $^{\circ}C$;

D angegeben in kg/m^3 ($= g/dm^3$);

η angegeben in $mPa \cdot s$.

Die geschätzte Unsicherheit dieses Verfahrens beträgt etwa 5 % (95 % Vertrauensbereich) (Bias = 0,08 %, RMS = 2,57 %). Es ist zu beachten, dass Gleichung 19 an die experimentellen Daten angepasst wurde. Bild 3 und Bild 4 zeigen die Verteilung der Fehler für die 721 Datenpunkte.

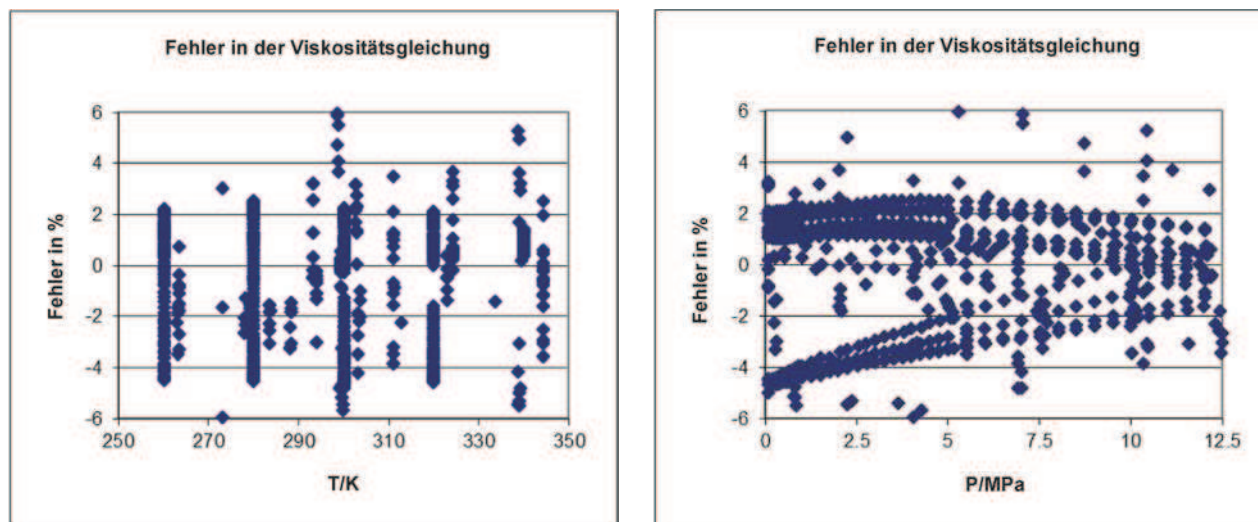


Bild 3 und Bild 4 — Vergleiche der mit Gleichung 19 berechneten Viskosität mit experimentellen Daten als eine Funktion von Temperatur (Bild 3) und Druck (Bild 4)

6 Andere Eigenschaften

6.1 Präambel

Andere Eigenschaften, einschließlich der in diesem Abschnitt aufgeführten, können mit der GERG-2008-Zustandsgleichung (wie in ISO 20765-2 beschrieben [1], [2]) genau berechnet werden. Es gibt für diese Eigenschaften keine weit verbreiteten einfachen Verfahren (im Unterschied zum oben genannten Fall der Viskosität), daher wurden neue Gleichungen abgeleitet. Um die optimalen Gleichungen zu bestimmen, wurde eine Reihe von simulierten Erdgasen (5 000 Zusammensetzungen) basierend auf den folgenden Grenzwerten erzeugt:

Komponente oder Eigenschaft	Stoffmengenanteil (%)	
	Untere Grenze	Obere Grenze
N_2	0,05	7
CO_2	0,01	4
CH_4	80	98
C_2H_6	0,25	9
C_3H_8	0,01	3,5
$n-C_4H_{10}$	0,001	1
$n-C_5H_{12}$	0,001	0,2
$n-C_6H_{14}$	0,001	0,2
$i-C_4H_{10}/n-C_4H_{10}$	0,45	0,83
$i-C_5H_{12}/n-C_5H_{12}$	0,83	1,33
$neo-C_5H_{12}/n-C_5H_{12}$	0,01	0,015
C_n/C_{n-1}	0,2	0,4
$CV \text{ (MJ/sm}^3\text{)}$	35	45