

FORTSCHRITT- BERICHTE **VDI**

Dr. rer. nat. Manfred Jaeschke, Dorsten,
Federal Republic of Germany

Lic. Sc. Phys. Patricia van Caneghem, Bruxelles, Belgium

Ing. (ENCP) Marc Fauveau, La Plaine St. Denis Cedex,
France

Dr. Anthony E. Humphreys, London, United Kingdom

Dr. Renée Janssen-van Rosmalen, Groningen, Netherlands

Ing. Quinto Pellei, San Donato Milanese, Italy

GERG Round-Robin Test of Z-Meters, Burnett Apparatus and an Interferometric Device for pVT Measurements

Reihe **6**: Energieerzeugung

Nr. **238**

VDI VERLAG

Dr. rer. nat. Manfred Jaeschke, Dorsten,
Federal Republic of Germany

Lic. Sc. Phys. Patricia van Caneghem, Bruxelles, Belgium

Ing. (ENCP) Marc Fauveau, La Plaine St. Denis Cedex,
France

Dr. Anthony E. Humphreys, London, United Kingdom

Dr. Renée Janssen-van Rosmalen, Groningen, Netherlands

Ing. Quinto Pellei, San Donato Milanese, Italy

GERG Round-Robin Test of Z-Meters, Burnett Apparatus and an Interferometric Device for pVT Measurements

Reihe **6**: Energieerzeugung

Nr. **238**

VDI VERLAG

Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure · Düsseldorf



Jaeschke, Manfred, et al.

GERG Round-Robin Test of Z-Meters, Burnett Apparatus and an Interferometric Device for pVT Measurements

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 6 Nr. 238. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
84 Seiten, 8 Bilder, 8 Tabellen.

Keywords: Binary Mixture (methane + nitrogen) — Burnett Apparatus — Compressibility Factor — Density — Interferometric Device — Round-Robin Test — Ternary Mixture (methane + ethane + propane) — Z-Meter

The European Gas Research Group (GERG, Groupe Européen de Recherches Gazières) has undertaken a round-robin test of six Z-meters manufactured by Desgranges et Huot, with two Burnett apparatus and an interferometric device used to complement the pVT data from the Z-meters. Two gas mixtures were measured. One mixture contained 49.7 mole % of methane and 50.3 % of nitrogen, the second mixture 81.3 mole % of methane, 16.4 mole % of ethane and 2.3 mole % of propane. The test temperatures were between 280 and 320 K and pressures up to 12 MPa. The experimental compressibility factors Z from the six Z-meters are generally in agreement within $\pm 0.05\%$. The agreement with the reference data from the Burnett apparatus and the interferometric device (which measures refractive index) is also within $\pm 0.05\%$.

Die Reihen der FORTSCHRITT-BERICHTE VDI:

- | | |
|--|---|
| 1 Konstruktionstechnik/Maschinenelemente | 12 Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik |
| 2 Fertigungstechnik | 13 Fördertechnik |
| 3 Verfahrenstechnik | 14 Landtechnik/Lebensmitteltechnik |
| 4 Bauingenieurwesen | 15 Umwelttechnik |
| 5 Grund- und Werkstoffe | 16 Technik und Wirtschaft |
| 6 Energieerzeugung | 17 Biotechnik |
| 7 Strömungstechnik | 18 Mechanik/Bruchmechanik |
| 8 Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik | 19 Wärmetechnik/Kältetechnik |
| 9 Elektronik | 20 Rechnerunterstützte Verfahren
(CAD, CAM, CAE, CAP, CAQ, CIM, ...) |
| 10 Informatik/Kommunikationstechnik | 21 Elektrotechnik |
| 11 Schwingungstechnik | |

© VDI-Verlag GmbH · Düsseldorf 1989

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9414

ISBN 3-18-143806-5

GERG TECHNICAL MONOGRAPH 3 (1989)

GERG ROUND-ROBIN TEST OF Z-METERS,
BURNETT APPARATUS AND AN INTERFEROMETRIC
DEVICE FOR pVT MEASUREMENTS

prepared by

M. JAESCHKE	Ruhrgas AG, Federal Republic of Germany (Convenor, GERG Working Group 1.1 (1987-88))
P. VAN CANEGHEM	Distrigaz S.A., Belgium
M. FAUVEAU	Gaz de France, France
A.E. HUMPHREYS	British Gas plc, United Kingdom
R. JANSSEN-VAN ROSMALEN	N.V. Nederlandse Gasunie, The Netherlands
Q. PELLEI	SNAM S.p.A., Italy

on behalf of

Programme Committee No. 1
- Production, Supply and Gas Properties -
GROUPE EUROPEEN DE RECHERCHES GAZIERES (GERG)

GERG

GERG TM 3 (1989)

CONTENTS

Abstract/Résumé/Zusammenfassung/Riassunto	page ..	v
Acknowledgements		viii
1. <u>INTRODUCTION</u>		1
2. <u>ROUND-ROBIN TEST</u>		3
3. <u>EXPERIMENTAL METHODS</u>		5
3.1 The Z-Meter		5
3.1.1 The Z-Meter Principle		5
3.1.2 Description of the Apparatus		8
3.1.3 Determination of A		13
3.2 Burnett Apparatus and Grating Interferometer		15
4. <u>UNCERTAINTIES</u>		17
4.1 Uncertainties in Z-Meter Measurements		17
4.2 Uncertainties in Results from Burnett Apparatus and Grating Interferometer		19
4.3 Uncertainties in Sample Compositions		19
4.3.1 Methane + Nitrogen Mixture		19
4.3.2 Methane + Ethane + Propane Mixture		22
5. <u>RESULTS</u>		24
5.1 Methane + Nitrogen Mixture		26
5.2 Methane + Ethane + Propane Mixture		30
5.3 Natural Gas Mixtures		34
6. <u>CONCLUSIONS</u>		37
7. <u>REFERENCES</u>		39
8. <u>GLOSSARY</u>		45
8.1 Symbols and Units		45
8.2 Abbreviations		47
<u>APPENDICES</u>		49

Abstract

The European Gas Research Group (GERG, Groupe Européen de Recherches Gazières) has undertaken a round-robin test of six Z-meters manufactured by Desgranges et Huot, with two Burnett apparatus and an interferometric device used to complement the pVT data from the Z-meters. Two gas mixtures were measured. One mixture contained 49.7 mole % of methane and 50.3 mole % of nitrogen, the second mixture 81.3 mole % of methane, 16.4 mole % of ethane and 2.3 mole % of propane. The test temperatures were mainly 280 and 300 K for the first mixture and 290 and 320 K for the second mixture. The maximum pressures were 8 MPa for Z-meters, and 12 MPa for the Burnett apparatus and the grating interferometer.

The experimental compressibility factors Z from the six Z-meters are generally in agreement within ± 0.05 %. The agreement with the reference data from the Burnett apparatus and the interferometric device (which measures refractive index) is also within ± 0.05 %. Only one isotherm for the binary mixture differs by as much as about 0.1 % from the other data. Recent natural gas measurements show substantially the same general behaviour.

It is concluded that the use of a combination of Z-meter, Burnett and interferometer data in the development of the GERG virial equation of state does not prejudice its expected predictive accuracy of ± 0.1 %.

This Monograph gives a fuller account of the work presented, in an abbreviated form, at the 10th International Symposium on Thermophysical Properties (Gaithersburg, 1988) and in the International Journal of Thermophysics (1989).

Résumé

Le Groupe Européen de Recherches Gazières (GERG) a entrepris un test circulaire pour comparer les mesures obtenues par six Z-mètres Desgranges et Huot. Les données pVT ainsi obtenues ont été de plus confrontées aux mesures obtenues avec deux appareils de Burnett et un interféromètre. Les mesures ont été effectuées sur deux mélanges de gaz dont les compositions étaient: 49,7% de méthane, 50,3% d'azote pour le premier et 81,3% de méthane, 16,4% d'éthane, 2,3% de propane pour le second. Les températures de mesure étaient principalement 280 et 300 K pour le premier mélange, 290 et 320 K pour le second. Les pressions étaient au maximum de 8 MPa pour les Z-mètres, 12 MPa pour les appareils de Burnett et l'interféromètre.

Les facteurs de compressibilité expérimentaux obtenus avec les six Z-mètres sont généralement en bon accord et se trouvent à l'intérieur d'une fourchette de $\pm 0,05\%$. L'accord avec les données de référence provenant des appareils de Burnett et de l'interféromètre (mesure de l'indice de réfraction) est également à $\pm 0,05\%$. Seulement un isotherme pour le mélange binaire s'écarte d'environ 0,1% des autres données. Les mesures les plus récentes sur des gaz naturels ont donné en substance les mêmes résultats.

L'utilisation de données provenant de ces trois dispositifs expérimentaux différents (Z-mètre, appareil de Burnett et interféromètre) pour le développement de l'équation de viriel du GERG ne portera donc pas préjudice à la précision attendue de 0,1%.

Cette monographie vise à présenter un compte-rendu complet du travail déjà présenté, sous une forme abrégée, au "10th Symposium on Thermophysical Properties" (Gaithersburg, 1988) et dans l'"International Journal of Thermophysics" (1989).

Zusammenfassung

Die europäische Gasforschungsgruppe (GERG, Groupe Européen de Recherches Gazières) hat einen Ringversuch mit sechs Z-Meßgeräten, die von Desgranges et Huot hergestellt wurden, unternommen. Die pVT-Daten von den Z-Meßgeräten wurden ergänzt durch Messungen mit zwei Burnett-Apparaten und einer interferometrischen Versuchsanlage. Zwei Gasgemische wurden vermessen. Ein Gemisch enthielt 49,7 mol.-% Methan und 50,3 mol.-% Stickstoff, während das zweite Gemisch aus 81,3 mol.-% Methan, 16,4 mol.-% Ethan und 2,3 mol.-% Propan bestand. Gemessen wurde im wesentlichen auf den Isothermen 280 und 300 K für das erste Gemisch und 290 und 320 K für das zweite Gemisch. Der maximale Druck betrug für die Messungen mit dem Z-Meßgerät 8 MPa und 12 MPa für die Messungen mit den beiden Burnett-Apparaturen und der interferometrischen Versuchsanlage.

Die experimentellen Realgasfaktoren Z der sechs Z-Meßgeräte weichen im allgemeinen um weniger als $\pm 0,05\%$ voneinander ab. Die Übereinstimmung mit den Referenzdaten von den Burnett-Apparaturen und der interferometrischen Versuchsanlage, welche primär den Brechungsindex mißt, ist ebenfalls besser als $\pm 0,05\%$. Nur eine Isotherme für das binäre Gemisch weicht um mehr als 0,1% von den anderen Daten ab. Für die neueren Erdgasmessungen wird im wesentlichen ein ähnliches Verhalten beobachtet.

Als Ergebnis läßt sich festhalten, daß die für die Entwicklung der GERG-Virialzustandsgleichung ausgewählten Realgasfaktoren gemessen mit den Z-Meßgeräten, den Bur-

nett-Apparaturen oder interferometrischen Versuchsanlagen die erwartete Rechengenauigkeit von $\pm 0,1\%$ nicht beeinträchtigt.

Diese Monographie ist ein ausführlicherer Bericht über die Arbeit, die in gekürzter Form auf dem "10th International Symposium on Thermophysical Properties" (Gaithersburg, 1988) und im "International Journal of Thermophysics" (1989) dargestellt worden ist.

Riassunto

Il Gruppo Europeo Ricerca Gas (GERG) ha intrapreso un giro di prove su sei misuratori di Z costruiti dalla Desgranges & Huot, più due apparecchiature Burnett ed un dispositivo interferometrico usati come complemento dei dati pVT ottenuti da misuratori di Z .

Due miscele di gas sono state utilizzate. Una miscela conteneva il 49,7% molare di metano ed il 50,3% molare di azoto, la seconda miscela 81,3% molare di metano, il 16,4% molare di etano ed il 2,3% molare di propano. Le temperature di prova sono state principalmente di 280 e 300 K per la prima miscela e di 290 e 320 K per la seconda miscela. La massima pressione è stata di 8 MPa per i misuratori di Z e 12 MPa per l'apparecchiatura Burnett e l'interferometro.

I fattori sperimentali di compressibilità Z ottenuti dai misuratori di Z generalmente concordano entro il $\pm 0,05\%$. Soltanto una isoterma per la miscela binaria differisce di circa 0,1% dagli altri dati. Recenti misure su gas naturale mostrano sostanzialmente lo stesso comportamento generale.

Si è concluso che l'uso di una combinazione di dati con misuratori di Z , Burnett ed interferometro nello sviluppo dell'equazione viriale di stato GERG non pregiudica la sua prevista accuratezza stimata di $\pm 0,1\%$.

Questa monografia fornisce una relazione del lavoro presentato, in forma abbreviata, al "10th International Symposium on Thermophysical Properties" (Gaithersburg, 1989) e nel "International Journal of Thermophysics" (1989).

Samenvatting

De Europese Gas Onderzoek Groep (GERG, Groupe Européen de Recherches Gazières) heeft een ringtest uitgevoerd met zes Z -meters vervaardigd door Desgranges en Huot.

Bovendien zijn twee Burnett-apparaten en een interferometrische opstelling gebruikt om de pVT-gegevens verkregen met de Z-meters aan te vullen. De metingen zijn verricht aan twee gasmengsels: het eerste mengsel bevatte 49.7 mol% methaan en 50.3 mol% stikstof, het tweede mengsel 81.3 mol% methaan, 16.4 mol% ethaan en 2.3 mol% propaan. De testtemperaturen lagen voornamelijk tussen 280 en 300 K voor het eerste mengsel en tussen 290 en 320 K voor het tweede mengsel.

De maximum drukken waren 8 MPa voor de Z-meters, en 12 MPa voor het Burnett-apparaat en de rooster-interferometer.

De experimentele compressibiliteitsfactoren Z zoals gemeten met de zes Z-meters liggen in het algemeen binnen een range van $\pm 0.05\%$. De overeenstemming met de referentiedata gemeten met de twee Burnett-apparaten en de interferometrische opstelling (gebaseerd op de brekingsindex) ligt ook binnen $\pm 0.05\%$. Slechts één isotherm voor het binaire mengsel verschilt ongeveer 0.1% van de andere data. Recente metingen aan aardgas vertonen over het algemeen hetzelfde gedrag.

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat gebruik van de gegevens verkregen uit een combinatie van Z-meter, Burnett-apparaat en interferometer de veronderstelde nauwkeurigheid van 0.1% van de GERG-viriaalvergelijking niet negatief zal beïnvloeden.

Deze monograaf is een uitgebreide versie van het werk dat gepresenteerd is op de tiende "International Symposium on Thermophysical Properties" (Gaithersburg, 1988) en in het "International Journal of Thermophysics" (1989).

Acknowledgements

We are very grateful to Professor K.R. Hall and Professor J.C. Holste for their willingness to participate in the GERG round robin test and their guidance for the experimental work at the Texas A & M University, College Station.

We appreciate their agreement to use and list their data in this GERG Technical Monograph. We understand that the formal publication of their experimental data is in preparation.

We also wish to thank the following scientists for their various contributions to this project: H.H. Hinze, J. Jolibois, S.K. Kimpton, G. Polgatti, H.C. Reinhardus.

The main part (pages 1 to 76) of Fortschritt- Bericht VDI Reihe 6: Energieerzeugung Nr. 238 is identical with and may be found in the corresponding GERG Technical Monograph TM3 1989.