

Dr.-Ing. Thorsten Tielkes,  
Dr.-Ing. Norbert Kurzeja,  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Wagner, Bochum

**Präzisionsmessungen  
der thermischen  
Zustandsgrößen im  
kritischen Gebiet von  
Kohlendioxid**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **488**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Das kritische Gebiet reiner fluider Stoffe</b>	<b>3</b>
2.1 Schwerkrafteinfluß	3
2.2 Power Laws und kritische Exponenten	4
2.3 Klassische Theorie des kritischen Zustandes	5
2.4 Nicht-klassische Theorie des kritischen Zustandes	7
2.5 Neue Ergebnisse direkter $p\rho T$ -Messungen	10
<b>3 Technische Ausführung der <math>p\rho T</math>-Mehrzellenapparatur</b>	<b>12</b>
3.1 Meßprinzip	12
3.2 Konstruktiver Aufbau und Thermostatisierung	14
3.3 Meßtechnische Ausführung	26
3.3.1 Temperaturmessung	26
3.3.2 Absolutdruckmessung	28
3.3.3 Differenzdruckmessung	32
3.3.4 Dichtemessung	39
3.3.5 Automatisierung des Meßablaufs	47
<b>4 Entwicklung und Aufbau einer Prüfapparatur für Differenzdruckgeber bei statischen Drücken bis 10 MPa</b>	<b>49</b>
4.1 Motivation und Anforderungsprofil	49
4.2 Fundamentalmessung von Differenzdrücken	50
4.3 Gesamtüberblick über die neue Hochdruck-Prüfapparatur	52
4.4 Konstruktiver Aufbau	57
4.5 Meßtechnische Ausführung	64
4.5.1 Meßgrößen	64
4.5.2 Meßunsicherheit	67
4.5.3 Automatisierung des Meßablaufs	69
4.6 Versuchsdurchführung	71

<b>5</b>	<b>Durchführung der Messungen mit der <math>p\rho T</math>-Mehrzellenapparatur</b>	<b>74</b>
5.1	Reinheit des Meßfluids während der Messungen	74
5.1.1	Begründung der hohen Reinheitsanforderungen	74
5.1.2	Das verwendete Meßfluid	77
5.1.3	Füllen der Meßzellen	79
5.1.4	Analysen des Meßfluids nach Abschluß der Messungen	82
5.2	Dichtigkeitstests des Meßzellenblocks	82
5.3	Das durchgeführte Meßprogramm	84
5.3.1	Messungen mit dem horizontalen Meßzellenblock	84
5.3.2	Messungen mit dem vertikalen Meßzellenblock	85
<b>6</b>	<b>Auswertung und Ergebnisse der Messungen</b>	<b>89</b>
6.1	$p\rho T$ -Messungen im homogenen Zustandsgebiet	89
6.1.1	Korrektur des impliziten Schwerkrafteffektes	89
6.1.2	Absolutdruckjustierung	94
6.1.3	Der neue $p\rho T$ -Referenzdatensatz	96
6.2	Messungen auf der kritischen Isochore	105
6.2.1	Kritische Temperatur $T_c$	105
6.2.2	Absolutdruckverlauf $p(T)$ und kritischer Druck $p_c$	107
6.2.3	Dampfdrücke bei niedrigen Temperaturen	111
6.2.4	Kritischer Exponent $\gamma$	112
6.3	Messungen auf der kritischen Isotherme	122
6.4	Messungen auf der Siede- und Taulinie	125
6.4.1	Bestimmung der Sättigungstemperaturen	125
6.4.2	Korrektur des impliziten Schwerkrafteffektes	129
6.4.3	Meßwerte, kritische Dichte $\rho_c$ und kritischer Exponent $\beta$	131
6.4.4	Anschluß zu Messungen anderer Autoren	135
<b>7</b>	<b>Einordnung der Ergebnisse</b>	<b>138</b>
7.1	Kritische Parameter	138
7.2	Kritische Exponenten	143
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>148</b>

<b>Anhang</b>		<b>150</b>
Tabelle A1	<i>pρT</i> -Meßwerte im homogenen Zustandsgebiet	150
Tabelle A2	Dampfdruckmeßwerte im kritischen Gebiet	175
Tabelle A3	Dampfdruckmeßwerte bei tiefen Temperaturen	176
Tabelle A4	Kompressibilitätsmeßwerte des Differenzdruckgebers 10 während des Abwärtspfads der 2. Füllung	176
Tabelle A5	Kompressibilitätsmeßwerte des Differenzdruckgebers 1 während des Abwärtspfads der 1. Füllung	177
Tabelle A6	Kompressibilitätsmeßwerte des Differenzdruckgebers 1 während des Aufwärtspfads der 1. Füllung	178
Tabelle A7	Kompressibilitätsmeßwerte des Differenzdruckgebers 2 während des Abwärtspfads der 1. Füllung	179
Tabelle A8	Kompressibilitätsmeßwerte des Differenzdruckgebers 2 während des Aufwärtspfads der 1. Füllung	180
Tabelle A9	Meßwerte auf der Siedelinie	181
Tabelle A10	Meßwerte auf der Taulinie	181
<b>Literatur</b>		<b>182</b>