

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	v
1 Einleitung und Problem	1
1.1 Ziel und Vorgehensweise	3
2 Grundlagen	5
2.1 Gleichgewichtsthermodynamik	5
2.1.1 Phasenverhalten von Reinstoffen und binären Systemen	7
2.1.2 Phasenverhalten von Erdgasen	11
2.2 Zustandsgleichungen	15
2.2.1 Wiedergabegenauigkeit	18
2.2.2 Gemessene TEG-Phasengleichgewichte	21
2.3 Partielle Kondensation von Mehrstoffsystemen	24
2.3.1 Literaturübersicht	24
2.3.2 Phänomenologische Beschreibung der partiellen Kondensation	30
2.3.3 Gasseitige Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten	33
2.3.4 Kondensatseitiger Wärmeübergangskoeffizient	37
3 Gaslöslichkeit von Triethylenglykol in Methan und Erdgas	40
3.1 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	40
3.1.1 Messprinzip	40
3.1.2 Beschreibung der Gaslöslichkeitsanlage	41
3.1.3 Kalibrierung der Messgeräte	44
3.1.4 Versuchsdurchführung bei der Messung der Gaslöslichkeit von TEG in Methan	46

3.1.5	Versuchsdurchführung bei der Messung der Gaslöslichkeit von TEG im russischen Erdgas	52
3.2	Ergebnisse der Gaslöslichkeitsmessungen	59
3.2.1	Gaslöslichkeit von TEG im überkritischen Methan	59
3.2.2	Gaslöslichkeit von TEG im russischen Erdgas	63
3.3	Feldversuche an der FGL100-Ferngasleitung	68
3.3.1	Messprinzip	69
3.3.2	Versuchsapparatur	69
3.3.3	Versuchsdurchführung	71
3.3.4	Messdaten	72
4	Modellierung der partiellen Kondensation	75
4.1	Beurteilung der Strömungsform	75
4.2	Erhaltungsgleichungen und Schließungsmodelle	76
4.2.1	Massenbilanzen	76
4.2.2	Impulsbilanzen	78
4.2.3	Druckabfall der Einphasenströmung	80
4.2.4	Schubspannungsmodelle	81
4.2.5	Energiebilanz	85
4.3	Wärme- und Stofftransportmodelle	86
4.3.1	Wärmetransport in der Gasphase	86
4.3.2	Stofftransport in der Gasphase	87
4.3.3	Wärmetransport im Kondensatfilm	89
4.3.4	Wärmetransport im Erdreich	94
5	Ergebnisse und Diskussion	99
5.1	Parameterbereiche der Nachrechnungen	99
5.2	Druck- und Temperaturprofil	103
5.3	TEG-Kondensation	104
5.3.1	Sommerbetrieb	105
5.3.2	Winterbetrieb	108

5.4	Zusammensetzung des Gesamtkondensates	110
5.4.1	Hydratbildungsgrenzen	113
5.5	Akkumuliertes Gesamtkondensatvolumen (Worst Case Szenario)	114
5.6	Betriebsparametereinfluss auf die TEG-Kondensation (Sensitivitätsanalysen)	116
5.7	Verdampfung des Kondensates	120
5.8	Empfehlungen zur gezielten Leitungsreinigung	122
5.8.1	Kondensatausschleusung	122
5.8.2	Molchung der Ferngasleitung	123
5.8.3	Verdampfung des akkumulierten Kondensates	123
6	Zusammenfassung	125
	Anhang	144
A	Kubische Zustandsgleichungen	144
A.1	Soave-Redlich-Kwong	144
A.2	Peng-Robinson	144
A.3	Quadratische Mischungsregel	145
B	Statistische Kennzahl	145
C	Vergleich der Stoffübergangskoeffizientenmodelle	145
D	Gasanalysen des russischen Erdgases	147
E	Binäre Wechselwirkungsparameter	149
F	Physikalische Stoffeigenschaften	152
F.1	Eigenschaften der Erdgaskomponenten	152
F.2	Binärer Diffusionskoeffizient	152
F.3	Wärmeleitfähigkeit	154
F.4	Dynamische Viskosität	155
F.5	Spezifische Verdampfungsenthalpie	156
F.6	Erdreich	157
G	Rohrreibungszahlmodelle	158
H	Charakterisierung der FGL100-Ferngasleitung	160
I	Ergebnisse der Nachrechnungen des TEG-Kondensatgehaltes in der FGL100-Ferngasleitung	161