

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>III</b>
<b>Formelzeichen</b>	<b>VIII</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1. Grundlagen der Methansynthese . . . . .	3
2.1.1. Methanisierungsreaktionen . . . . .	4
2.1.2. Reaktorsysteme . . . . .	6
2.1.3. Katalysatoren für die Methansynthese . . . . .	13
2.2. Methanisierung als Teil von Gesamtprozessketten . . . . .	19
2.2.1. Konversion von Produktgasen der Biomassevergasung . . . . .	19
2.2.2. Methansynthese im Power-to-Gas-Prozess . . . . .	21
2.3. Spezifikation für Erdgassubstitute . . . . .	22
2.4. Grundlagen Prozesssimulation . . . . .	24
2.4.1. Berechnung des chem. Gleichgewichts . . . . .	25
2.4.2. Modelle zur Abbildung des Reaktionsfortschritts . . . . .	26
2.5. Charakteristische Größen . . . . .	28
2.5.1. Betriebsparameter . . . . .	28
2.5.2. Wirkungsgrade . . . . .	30
2.5.3. Brenntechnische Kenndaten . . . . .	31
<b>3. Untersuchung und Optimierung der Methanisierungseinheit</b>	<b>33</b>
3.1. Anforderungen an Betriebsparameter . . . . .	33
3.1.1. Stöchiometrie . . . . .	33
3.1.2. Betriebsdruck und -temperatur . . . . .	35

## *Inhaltsverzeichnis*

3.1.3.	Vermeidung Kohlenstoffbildung . . . . .	37
3.2.	Experimentelle Einrichtungen . . . . .	41
3.2.1.	Verfahrenstechnische Verschaltung . . . . .	41
3.2.2.	Gasanalyzesysteme . . . . .	42
3.2.3.	Reaktorsysteme . . . . .	43
3.3.	Eingesetzte Katalysatoren . . . . .	46
3.4.	Eduktgasgemische . . . . .	47
3.5.	Methoden zur thermischen Kontrolle der Reaktion . . . . .	48
3.5.1.	Absenken der Kühlmedientemperatur . . . . .	49
3.5.2.	Verringerung der Eduktgastemperatur . . . . .	50
3.5.3.	Veränderung Reaktordurchmesser . . . . .	51
3.5.4.	Dampfmoderation . . . . .	53
3.5.5.	Erhöhung der Raumeschwindigkeit . . . . .	55
3.5.6.	Inertisierung der Katalysatorschüttung . . . . .	57
3.5.7.	Produktgas-Rückführung . . . . .	59
3.5.8.	Gestufte Eduktzugabe . . . . .	65
3.5.9.	Fazit Verfahren thermische Kontrolle . . . . .	68
3.6.	Methoden zur Maximierung des Methanertrages . . . . .	70
3.6.1.	Erhöhung des Betriebsdrucks . . . . .	70
3.6.2.	Anpassung der Eduktgas-Stöchiometrie . . . . .	73
3.6.3.	Reduzierung Edukt-Wassergehalt . . . . .	74
3.6.4.	Optimierung der Reaktortemperatur . . . . .	79
3.6.5.	Fazit Verfahren zur Umsatzsteigerung . . . . .	82
<b>4.</b>	<b>Abbildung und Evaluierung der Prozessketten</b>	<b>85</b>
4.1.	Methodik der Prozesssimulation . . . . .	85
4.1.1.	Ermittlung des Reaktionsumsatzes der Methansynthese . . . . .	86
4.1.2.	Modellerstellung und Bewertung . . . . .	86
4.2.	Power-to-Gas-Prozess . . . . .	88
4.2.1.	Methanisierung eines CO <sub>2</sub> -Stroms . . . . .	90
4.2.2.	Methanisierung eines Biogas-Stroms . . . . .	95
4.3.	Konversion von Produktgasen der AER-Biomassevergasung . . . . .	98
4.4.	Parametervariation . . . . .	102
4.4.1.	Gleichgewichtsabweichung der Methanisierungsreaktionen . . . . .	103
4.4.2.	Druck Methanisierungsreaktor . . . . .	104
4.4.3.	Methangehalt im Biogas . . . . .	106
4.4.4.	Elektrolysewirkungsgrad . . . . .	108

<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>111</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>116</b>
A.1. Grenzgehalte für H <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> bzgl. der DVGW-Einspeisevorgaben (H-Gas) .	116
A.1.1. H <sub>2</sub> -Grenzwert . . . . .	116
A.1.2. CO <sub>2</sub> -Grenzwert . . . . .	116
A.2. Ermittlung der stöch. Restriktionen bzgl. der DVGW-Einspeisevorgaben . .	117
A.2.1. Maximale Stöchiometriezahl SN <sub>max</sub> . . . . .	117
A.2.2. Minimale Stöchiometriezahl SN <sub>min</sub> . . . . .	118
A.3. Thermisches Reaktormodell zur Untersuchung der Schüttungstemperaturen .	119
A.3.1. Modellbeschreibung . . . . .	119
A.3.2. Fit der experimentellen Daten . . . . .	121
A.4. Messgenauigkeit Gasanalyse . . . . .	122
A.5. Vergleichsversuche im Screening-Reaktor . . . . .	122
A.5.1. Vergleich Katalysatoren . . . . .	122
A.5.2. Vergleich Eduktgasgemische . . . . .	124
A.6. Rahmenbedingungen Prozesssimulation . . . . .	128
A.6.1. Umsatzmodell Methansynthesereaktor . . . . .	128
A.6.2. Spezifizierte Parameter der Prozesssimulationen . . . . .	130
A.7. Wärmeströme Wärmeintegrationsanalyse . . . . .	131
A.7.1. p2g-Prozess (Konversion CO <sub>2</sub> -Strom) . . . . .	131
A.7.2. p2g-Prozess (Konversion Biogas-Strom) . . . . .	133
A.7.3. Konversion AER-Vergasungsgas . . . . .	135