

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Formelzeichen	VIII
Kurzfassung	XIII
Abstract	XIV
1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
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
3. Untersuchung und Optimierung der Methanisierungseinheit	33
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. Gasanalysesysteme	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 Raumgeschwindigkeit	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 Reaktortemperierung	79
3.6.5. Fazit Verfahren zur Umsatzsteigerung	82
4. Abbildung und Evaluierung der Prozessketten	85
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 ₂ -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

5. Zusammenfassung und Ausblick	111
A. Anhang	116
A.1. Grenzgehalte für H ₂ und CO ₂ bzgl. der DVGW-Einspeisevorgaben (H-Gas)	116
A.1.1. H ₂ -Grenzwert	116
A.1.2. CO ₂ -Grenzwert	116
A.2. Ermittlung der stöch. Restriktionen bzgl. der DVGW-Einspeisevorgaben	117
A.2.1. Maximale Stöchiometriezahl SN _{max}	117
A.2.2. Minimale Stöchiometriezahl SN _{min}	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 ₂ -Strom)	131
A.7.2. p2g-Prozess (Konversion Biogas-Strom)	133
A.7.3. Konversion AER-Vergasungsgas	135