

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Die Bedeutung von Ammoniak	1
1.2	Die CO ₂ -Problematik	2
1.3	Ziel der Arbeit	4
2	Grundlagen	5
2.1	Ammoniakerzeugung	5
2.1.1	Ammoniaksynthese allgemein	5
2.1.2	Haber-Bosch-Verfahren	7
2.2	Wasserstofferzeugung	10
2.2.1	Dampfreformierung	10
2.2.2	Elektrolyseverfahren	11
2.3	Stickstoffgewinnung aus der Luft	12
2.4	Techno-Ökonomie	14
2.4.1	Standardisierte Methodik des DLR	14
2.4.2	Kostenfaktormethode	15
2.4.3	Preise für CO ₂ -Emissionsrechte	18
2.5	Plasma und seine technische Bedeutung	18
2.5.1	Plasmatechnologien	20
3	Stand der Technik	23
3.1	Plasmabasierte Ammoniaksynthese	23
3.1.1	Reaktionsmechanismen	24
3.1.2	Prozessablauf	25
3.1.3	Performance in der Literatur	26
3.1.4	Verbesserungspotential	27
3.1.5	Metallische Halogenide und Kieselgel zur Abtrennung	28

3.2	Plasmabasierte Trockenreformierung von Biogas	29
3.2.1	Performance in der Literatur	30
4	Methoden	33
4.1	Generelle Vorgehensweise	33
4.2	Modellierung	34
4.2.1	Getroffene allgemeine Annahmen	34
4.2.2	Blockfließbild	35
4.2.3	Prozessregelung und Simulationsstop	35
4.2.4	Technische Modellierung und Randbedingungen	37
4.2.5	Ökonomische Randbedingungen	41
4.3	Prozess- und Parametervariationen	44
4.3.1	Szenarien verschiedener Jahre	44
4.3.2	Kieselgel zur Abtrennung	45
4.3.3	Plasmabasierte Trockenreformierung von Biogas	45
4.3.4	Variation einzelner Prozessparameter	47
4.4	Vergleich mit Haber-Bosch-Prozess	47
5	Ergebnisse und Diskussion	49
5.1	Technische Analyse	49
5.1.1	Prozessüberblick anhand der Massenströme	49
5.1.2	Leistungsverteilung	51
5.1.3	Prozesswirkungsgrade & jährliche Produktionsmengen	53
5.2	Ökonomische Analyse	54
5.2.1	Kapitalkosten	54
5.2.2	Betriebskosten	55
5.2.3	Nettoproduktionskosten NPC	56
5.3	Prozess- und Parametervariationen	60
5.3.1	Kieselgel zur Abtrennung	60
5.3.2	Plasmabasierte Trockenreformierung von Biogas	62
5.3.3	Variation der Strompreise c_s	62
5.3.4	Variation der Energiekosten des DBD-Reaktors EC_{DBD}	63
5.3.5	Variation Umsatz χ_{N_2} im DBD-Reaktor	64
5.3.6	Gemeinsame Variation von χ_{N_2} , EC_{DBD} und c_s	65

6 Zusammenfassung und Ausblick	67
6.1 Zusammenfassung	67
6.2 Ausblick	68
A Erster Anhang	71
A.1 Kostenfaktoren	71
A.2 Dreidimensionale Darstellungen	73
Tabellenverzeichnis	76
Abbildungsverzeichnis	77
Literaturverzeichnis	83
Danksagung	89