



**Untersuchung der Grobreinigung von Kohlenmonoxid  
mit einem Wassergas-Shift-Reaktor im Reformatgas  
eines mit Biodiesel betriebenen Dampfreformers**

Masterarbeit

von

Tino Scheuerecker

**Fakultät Maschinenbau / Umwelttechnik**

**Studiengang Umwelttechnologie**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Technische Thermodynamik

Betreuer: Dipl.-Geoökol. Dipl.-Ing. Stefan Martin

Bearbeitungszeitraum: 01.12.2012 – 31.05.2013

1. Prüfer: Prof. Dr. Peter Kurzweil

2. Prüfer: Prof. Dr. Matthias Mändl

## Inhaltsverzeichnis

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Motivation / Aufgabenstellung</b> .....                                | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Theoretische Grundlagen</b> .....                                      | <b>6</b>  |
| 3.1      | Dampf-Reformierung .....  | 6         |
| 3.2      | Wassergas-Shift-Reaktion .....  | 6         |
| 3.2.1    | Thermodynamik .....   | 6         |
| 3.2.2    | Reaktionskinetik .....  | 10        |
| 3.2.3    | Reaktionsführung .....  | 12        |
| 3.3      | CO-Konversion in der industriellen Praxis .....                           | 14        |
| 3.3.1    | Hochtemperatur-Shift .....  | 14        |
| 3.3.2    | Niedertemperatur-Shift .....  | 15        |
| 3.3.3    | CO-Feinreinigung .....  | 16        |
| <b>4</b> | <b>Experimentelle Methodik</b> .....                                      | <b>17</b> |
| 4.1      | Laborteststand .....  | 17        |
| 4.2      | Berechnungsgrundlagen und Definitionen .....                              | 20        |
| 4.3      | Voruntersuchungen .....   | 21        |
| 4.4      | Versuchsübersicht .....   | 22        |
| 4.5      | Versuchsdurchführung .....  | 23        |
| <b>5</b> | <b>Auswertung und Ergebnisse</b> .....                                    | <b>26</b> |
| 5.1      | Exemplarische Versuchsauswertung .....                                    | 26        |
| 5.1.1    | Verlauf der Produktgas-Konzentrationen .....                              | 26        |
| 5.1.2    | CO-Konzentrationen / -Umsätze bei verschiedenen<br>WGS-Temperaturen ..... | 27        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1.3 Axialer Temperaturverlauf im WGS-Katalysator .....                                      | 29        |
| 5.1.4 Axialer Temperaturverlauf im Reformier-Katalysator.....                                 | 30        |
| 5.1.5 Wasserstoffeffizienz, Volumenstrom, radiale Temperaturdifferenz<br>im Reformier .....   | 32        |
| 5.1.6 Massenbilanz und Umsatzbestimmung .....   | 33        |
| 5.2 Einfluss des Drucks auf die CO-Konversion.....  | 34        |
| 5.2.1 Druckabhängigkeit bei den Versuchen mit kurzem Reformier-<br>Katalysator .....          | 35        |
| 5.2.2 Druckabhängigkeit bei den Versuchen mit langem Reformier-<br>Katalysator .....          | 36        |
| 5.3 Einfluss der Raumgeschwindigkeit auf die CO-Konversion .....                              | 39        |
| 5.3.1 Variation der WGS-Katalysatorlänge bei einem Biodiesel-<br>Massenstrom von 5 g/h .....  | 39        |
| 5.3.2 Variation der WGS-Katalysatorlänge bei einem Biodiesel-<br>Massenstrom von 10 g/h ..... | 41        |
| 5.3.3 Versuche mit konstanter Raumgeschwindigkeit .....                                       | 42        |
| 5.4 Langzeitversuch .....   | 43        |
| 5.5 Verkokung der Katalysatoren .....   | 47        |
| 5.6 Massenbilanz und Biodiesel-Umsatz.....  | 48        |
| 5.7 Fehlerdiskussion.....   | 50        |
| <b>6 Zusammenfassung und Diskussion .....</b>   | <b>51</b> |
| <b>7 Ausblick .....</b>   | <b>53</b> |
| <b>A Graphen zu den einzelnen Versuchen.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>B Verwendete Komponenten .....</b>   | <b>84</b> |
| <b>C Berechnung der Wasser-Massenströme.....</b>  | <b>90</b> |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>91</b> |