

Experimentelle und numerische Untersuchung der trockenen Heißgasentschwefelung von Großmotorabgas

Name Christian Harald Pfahler
Geburtsdatum und -ort 05.10.1993 in Fürstentfeldbruck

Großmotoren sind als Motorgeneratoren in Kraftwerken ein wesentlicher Bestandteil der weltweiten Energieversorgung. Die eingesetzten Motorgeneratoren werden entweder mit gasförmigen oder mit flüssigen Kraftstoffen betrieben. Flüssige Kraftstoffe, insbesondere Rückstandsöle oder schwere Heizöle, haben die charakteristische Eigenschaft neben Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen auch weitere Elemente zu enthalten. Diese Schweröle bestehen typischerweise zu einem niedrigen einstelligen Prozentsatz aus Schwefel. Dieser Schwefel oxidiert während der Verbrennung größtenteils zu Schwefeldioxid, SO_2 .

Die Emission von Schwefeloxiden stellt eine Gefahr für Mensch und Umwelt dar und ist deshalb durch nationale oder internationale Gesetze begrenzt. Ein wichtiger Grenzwert sind die EHS Guidelines der Weltbank. Die Weltbank tritt als Geldgeber für Neubauprojekte in aufstrebenden Ländern auf und legt auch die einzuhaltenden Grenzwerte fest. Der geltende SO_2 -Grenzwert wird entweder primär durch ein Schweröl mit entsprechend niedrigem Schwefelanteil oder sekundär durch eine Anlage zur Abscheidung des SO_2 eingehalten. Abgasentschwefelungsanlagen werden nach dem Wasserverbrauch in trockene Verfahren, die kein Wasser benötigen, und nasse Verfahren unterschieden. Der Temperaturbereich ist bei den trockenen Verfahren in einen Niedertemperaturbereich bis $200\text{ }^\circ\text{C}$ und einen Hochtemperaturbereich von $200\text{ }^\circ\text{C}$ bis $400\text{ }^\circ\text{C}$ eingeteilt. Die vorliegende Arbeit behandelt die trockene Entschwefelung mit dem Sorptionsmittel Natriumhydrogencarbonat, NaHCO_3 , im Hochtemperaturbereich.

Zur Erforschung der trockenen Abgasentschwefelung wurde ein Technikum neu entwickelt und an der Universität Rostock aufgebaut. Das Technikum ermöglichte einerseits die Bewertung verschiedener Filtermedien und andererseits die Messung der Entschwefelungsleistung des Natriumhydrogencarbonats. In einem ersten Schritt wurden drei Filtermedien auf Basis einer Literaturrecherche ausgewählt und anhand von Messergebnissen aus dem Technikum verglichen. Hierbei handelte es sich um ein metallisches Gewebe, in plissierter und glatter Form, sowie ein faserkeramisches Filterelement. Die Versuche verglichen die Filterzykluszeit, die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abreinigungsvorgängen. Hierbei zeigten die metallischen Gewebe ein schnelles Absinken der Filterzykluszeit und kein stabiles Filterverhalten. Das faserkeramische Filterelement zeigte nach einem anfänglichen Absinken der Filterzykluszeit ein

stabiles Filterverhalten. Eine Messung der Partikelemissionen im Reingas ergab für das glatte metallische Gewebe unter 10 mg/Nm^3 und für das faserkeramische Filterelement weniger als 1 mg/Nm^3 . Eine Filtration des Motorrußes ohne Sorbensdosierung führt zu einem schnellen hohen irreversiblen Druckanstieg der drei getesteten Filterelemente. Für die weiterführende Untersuchung der Entschwefelungsleistung wurde das faserkeramische Element ausgewählt.

Während dieser Entschwefelungsversuche wurde die Filtergeschwindigkeit und die Prozesstemperatur variiert. Hierbei zeigte sich, dass die Entschwefelungsleistung in der Rohrleitung zwischen Dosierung und Reaktoreinlass proportional zur Verweilzeit ist. Im Reaktor oder der Filteranlage ist die Entschwefelungsleistung, aufgrund der deutlich längeren Verweilzeit der Partikel unabhängig von der Filtergeschwindigkeit. Die Prozesstemperatur beeinflusst die Entschwefelungsreaktionen durch eine deutlich beschleunigte Versinterung der Partikel bei erhöhten Temperaturen. Als Folge steigt die Sorbensdosierung des NaHCO_3 bei gleichbleibender Absenkung der SO_2 -Konzentration erheblich an. Ein Einfluss eines dem Filterelement nachgeschalteten Gebläses auf den Entschwefelungsprozess konnte nicht festgestellt werden, ebenso hat die Motorlast keinen Einfluss auf die Entschwefelungsreaktionen.

Die Versuchsdaten wurden in Ansys Fluent mit einer 3D-CFD Simulation analysiert. Die Bewegungsbahn der einzelnen Partikel wurde mit einem Euler-Lagrange-Ansatz berechnet. Das Partikelvolumen wurde in zehn Zellen unterteilt und die Stoff- sowie Energierterme über ein Finite Volumen Verfahren über die einzelnen Zellen integriert. Das Haften der Partikel an den Reaktorwänden und der Filteroberfläche wurde durch die Berechnung einer kritischen Haftgeschwindigkeit je Stoßvorgang gelöst. Die an der Reaktorwand und auf der Filteroberfläche entstehenden Beläge wurden durch einen realen 1D-Strömungsrohrreaktor modelliert. Die Simulation zeigte, dass der Schwerpunkt der Entschwefelungsreaktion auf den dispergierten Partikeln liegt. Die Entschwefelungsreaktion in den Belagsaufbauten an der Reaktorwand oder der Filteroberfläche ist jedoch für die Einhaltung niedrigster Grenzwerte erforderlich. In der Simulation beschleunigen kleinere Partikeldurchmesser die SO_2 -Abscheidung durch eine weitgehende Reaktion, während die Partikel im Abgas dispergiert sind. Hingegen reagieren große Partikeldurchmesser vermehrt im Staubkuchen oder in Belägen ab. Folglich ist durch die Partikelgrößenverteilung die Geschwindigkeit der SO_2 -Abscheidung und die Zusammensetzung der Partikel bei Abscheidung an der Filteroberfläche oder Reaktorwand einstellbar. Generell zeigte die Simulation gute Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen.

Die Hochtemperaturentschwefelung ist nach einer eigenen Wirtschaftlichkeitsrechnung im Temperaturbereich von $280 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $330 \text{ }^\circ\text{C}$ Abgastemperatur und Vollast des Motors sinnvoll. Ein Betrieb in Teillast des Motors bei höheren Abgastemperaturen ist aufgrund der höheren Menge an Sorbens bei gleichbleibender Absenkung der SO_2 -Konzentration kritisch zu bewerten.