

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Messverfahren untersucht, bei dem mittels eines Hochfrequenzsignals, der Vorwärtsübertragungsfunktion die Beladung eines 3-Wege-Katalysators erfasst wird. Dafür musste ein Versuchsaufbau für die Aufnahme des Katalysators konstruiert und mit einer Heizung versehen werden, um die Betriebstemperatur des Katalysators zu erreichen. Der Netzwerkanalysator mit Hochfrequenzkabeln sowie zwei Hochfrequenzleitungen am Katalysatorgehäuse und den beiden Hochfrequenzantennen im Gehäuse stellen das Hochfrequenzmessequipment dar. Die elektromagnetische Welle wird über eine der Hochfrequenzleitungen und Hochfrequenzantennen in das Katalysatorgehäuse, das als Resonator ausgeführt ist, eingekoppelt und über die zweite Antenne wieder ausgekoppelt. Das Verhältnis der Amplituden von empfangener zu ausgesandter Welle ist die Vorwärtsübertragungsfunktion.

Um das Verhalten des Hochfrequenzsignals in Abhängigkeit der Luftzahl zu messen, wurde der Katalysator mit mager-fett-Wechseln mittels der Gasanlage beaufschlagt. Zusätzlich zur Vorwärtsübertragungsfunktion wurde die Luftzahl konventionell über λ -Sonden gemessen, so dass ein bekanntes Referenzsignal zur Verfügung stand.

Wird der Verlauf der Vorwärtsübertragungsfunktion über der Frequenz von 1 - 4 GHz, betrachtet, ist festzustellen, dass die Hochfrequenzmessungen in zwei getrennten Bändern gebündelt sind, von denen eines die Hochfrequenzmessungen in mageren Phasen und eines die Hochfrequenzmessungen in fetten Phasen beinhaltet (vgl. hierzu Bilder 5-11 und 5-12, Abschnitt 5.3.2). Messungen in der Übergangszone, solange die Reaktionsfront durch den Katalysator läuft, liegen in und zwischen diesen Bändern. Die Bänder können sich schneiden, laufen aber bis auf die Ausnahme extrem magerer Bereiche nie durcheinander. Dadurch ist bewiesen, dass es zwei voneinander unterschiedliche Katalysatorzustände gibt, die durch das Messverfahren erfasst werden. Der Messeffekt wird durch das Ceroxid im Kat verursacht, das seine elektronische Leitfähigkeit in Abhängigkeit des Sauerstoffpartialdrucks um bis zu 3 Zehnerpotenzen verändert (vgl. Abschnitt 2.2, Bild 2-9).

Die Messungen in der Übergangszone wurden an einigen ausgewählten Frequenzen untersucht, indem die Vorwärtsübertragungsfunktionen bei konstanter Frequenz über der Versuchszeit aufgetragen wurden. Das Ergebnis stellte dann ein Messsignal dar, das mit dem λ -Signal korreliert (vgl. Abschnitt 5.3.2 Bilder 5-15 und 5-16). Das Ergebnis ist, dass es Resonanzfrequenzen gibt, die in fetten Phasen stärker gedämpft werden als in mageren. Dies lässt sich damit erklären, dass fette Phasen, also reduzierter Sauerstoffpartialdruck zu besserer Leitfähigkeit des Ceroxid und damit zu einer stärkeren Dämpfung des elektromagnetischen Feldes führen. Umgekehrt für steigender Sauerstoffpartialdruck zu

schlechterer Leitfähigkeit und damit zu einer geringeren Dämpfung der elektromagnetischen Welle im Katalysator.

Die Untersuchung eines einzelnen λ -Übergangs vom fetten Bereich zum mageren führte zu der Erkenntnis, dass das Messverfahren während fetter Phasen bei geringfügiger Sauerstoffzugabe keine Veränderungen erfährt (vgl. Abschnitt 5.3.2 Bild 5-20). Erst wenn $\lambda > 1$ ist, ergibt sich eine Signaländerung, da dann Sauerstoff im Katalysator eingespeichert werden kann. Ist $\lambda < 1$ wird vorhandener Sauerstoff für die Oxidation der fetten Abgasbestandteile verbraucht.

Vollständig erklären lässt sich der Messeffekt in diesem Stadium der Arbeit noch nicht, da hierfür die Verteilung des E-Feldes der Moden an den untersuchten Frequenzen genau bekannt sein muss bzw. untersucht werden müsste. Damit kann die Dämpfung des Modus durch das Stahlblechgehäuse und durch den Katalysator untersucht werden. Erst dann ist eine grundlegende Erklärung möglich. Auch lässt sich dann erklären, warum einige Resonanzfrequenzen in mageren Bereichen, die schlechtere Leitfähigkeit aufweisen, stärker gedämpft werden. Dies war jedoch nicht Gegenstand der Arbeit, da der Messeffekt in diesem Stadium nur untersucht aber nicht vollständig erklärt werden sollte.

Die Simulation des hohlen Resonators mit der Finiten-Elemente-Methode diente dazu, zu zeigen, dass die Simulation Ergebnisse in richtiger Größenordnung liefert und die Modelle die Realität richtig abbilden. Zum einen wurde die Cut-off-Frequenz bei ca. 1 GHz bestätigt und zum anderen ergaben sich Resonanzfrequenzen, die mit dem gemessenen Signal sehr gut überein stimmen. Das Problem hierbei ist, dass bis zu diesem Stand der Arbeit nur Frequenzverschiebungen betrachtet wurden, aber keine Energieverluste aufgrund Umpolarisationsverlusten und Wandströmen berücksichtigt wurden, da dies nicht Gegenstand der Arbeit war.

8 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Einspeicherung und Abgabe von Sauerstoff durch das Ceroxid im Abgaskatalysator zu einem messbaren Effekt führt, mit dem die λ -Wechsel erfasst werden können. Eine einfache Erklärung über die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit des Ceroxid und eine davon abhängige Dämpfung der elektromagnetischen Welle führt aber nicht zum Ziel einer vollständigen Aufklärung des Effektes. Hier setzen dann weiterführende Arbeiten an.

Zuerst sollte der Messaufbau strömungstechnisch analysiert und simuliert werden, so dass das Profil der Strömung und der Reaktionsfront im Katalysator abgeschätzt werden kann. Dies ist notwendig um später die Reaktionsfront im Katalysator lokalisieren zu können.

In der praktischen Anwendung wird es notwendig sein, das Messverfahren auf wenige Frequenzen zu begrenzen und nicht den gesamten Bereich von 1 bis 4 GHz abzufahren, da es ausreicht einige ausgewählte Resonanzfrequenzen zu betrachten, an denen ein besonders großer Signalunterschied auftritt. Außerdem kann dann das Messsystem mit günstigeren Komponenten verwirklicht werden. Das Messsystem, das für den Fahrzeugeinbau kompakt ausfallen muss, benötigt eine Signalquelle die elektromagnetische Wellen festgelegter Frequenz generieren kann, entsprechende Detektoren und eine Elektronik für die Signalverarbeitung.

Zum weiteren Verständnis wird es außerdem notwendig sein, die Temperaturabhängigkeit des Effektes zu untersuchen. Dies ist in der Kaltstartphase von Bedeutung solange Motor, Abgase und Katalysator noch nicht die Betriebstemperatur erreicht haben. Auch in diesem Fall muss die Abgasmessung und Abgaskonvertierung zuverlässig erfüllt werden. Extrem magere und fette Bereiche müssen ebenfalls abgefahren werden um zu überprüfen ob das Messsystem auch diese Situationen erfassen kann. Dies tritt zum Beispiel im Schubbetrieb auf.

Nach der vollständigen Erklärung des Effektes kann dieser dann auf andere Anwendungen wie den NO_x -Speicherkat und den Rußfilter übertragen werden. Parallel ist die Entwicklung oder Planung der entsprechenden Hochfrequenzschaltungen möglich. In der letzten Phase ist dann der Schritt zum Automobil als Versuchsobjekt möglich, in dem dann das Messsystem in den Regelkreis eingebunden werden kann.