

# Kurzfassung der Dissertation

## Elektronische Verfahren zur Optimierung der Dosierungsgenauigkeit von Kfz-Einspritzventilen

### Electronic Control for Precise Metering with Automotive Fuel Injectors

Dipl.-Ing. Holger Glasmachers  
Lehrstuhl für elektronische Mess- und Schaltungstechnik  
**Ruhr-Universität Bochum**

Der Einsatz moderner Brennverfahren im Kfz führt zu einer Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen. Diese werden durch die Kraftstoffeinspritzung direkt in den Brennraum (Direkteinspritzung) statt in den Ansaugtrakt ermöglicht. Die Direkteinspritzung stellt allerdings hohe Anforderungen an die Einspritzventile. Sie müssen einen hohen Dynamikbereich zwischen größter und kleinster Einspritzmenge aufweisen und den Kraftstoff mit hoher Dosierungsgenauigkeit einspritzen können. Insbesondere die Einspritzung sehr kleiner Massen mit geringer Streuung stellt ein Problem in der aktuellen Ventilentwicklung dar.

Derzeit sind zwei Ventiltypen für die Direkteinspritzung auf dem Markt verfügbar: Ventile mit Magnet- und seit neuestem Ventile mit Piezo-Aktor. Magnetventile weisen einen hohen Entwicklungsgrad auf, sind robust und kostengünstig. Sie können zwar für moderne Brennverfahren hinreichend kleine Kraftstoffmengen einspritzen, bei sehr kleinen Mengen steigt die Streuung der Einspritzmenge allerdings stark an. Deshalb werden die kleinsten möglichen Einspritzmengen in der Praxis nicht angefordert. Neuartige Piezo-Ventile sind speziell für die Einspritzung sehr kleiner Mengen entwickelt worden. Sie werden während der Produktion vermessen und klassifiziert. Dadurch können Piezoventile mit ähnlichen Eigenschaften in einem Motor eingesetzt werden, so dass die Streuung der Einspritzmenge gering ausfällt. Deshalb eignen sich Piezo-Ventile für moderne Brennverfahren. Die Streuung verschlechtert sich allerdings über der Lebensdauer. Da Piezo-Ventile deutlich teurer als Magnetventile sind, werden sie vorwiegend in Oberklassefahrzeugen eingesetzt. Typische minimale Einspritzmengen für Magnetventile in Direkteinspritzsystemen liegen im praktischen Einsatz bei ca. 4-5 mg, Piezo-Ventile erreichen ca. 1 mg. Ziel der Arbeit ist die Verbesserung des Einspritzverhaltens von Magnetventilen durch Optimierung der elektrischen Ansteuerung, so dass diese vergleichbar kleine Einspritzmengen wie Piezo-Ventile mit geringer Streuung einspritzen können.

Die kleinste Einspritzmenge von Magnetventilen im praktischen Einsatz kann reduziert werden, wenn die Streuung der Einspritzmenge gesenkt wird. Zur Reduktion der Streuung eignen sich am besten geregelte Verfahren. Dafür müssen Zustandsgrößen des Ventils verfügbar sein. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht ist der Einsatz zusätzlicher Sensoren am Ventil nicht möglich. In dieser Arbeit wird deshalb als neuer Ansatz die Nutzung des Ventils als Sensor untersucht.

An einem speziell für die Untersuchung von Einspritzventilen entwickelten Messstand ist festgestellt worden, dass aus dem Verlauf der Bewegung der Ventilmadel während der Einspritzung auf die aktuelle Einspritzmenge geschlossen werden kann. Die Nadelbewegung beeinflusst die Induktivität des Ventils, die ihrerseits den Zusammenhang zwischen Spannung und Strom am Ventil bestimmt. Werden die elektrischen Ansteuergrößen Ventilspannung und -strom ausgewertet, kann also auf die Einspritzmenge und wichtige Betriebsbedingungen des Ventils rückgeschlossen werden. Spannung und Strom am Ventil werden bei diesem Verfahren gleichzeitig für die Ansteuerung des Ventils und für die Detektion der Einspritzmenge genutzt. Dazu wurde eine spezielle elektronische Ansteuerschaltung entwickelt und aufgebaut. Da der Einfluss der Rückwirkung der Nadelbewegung auf die Induktivität ein geringer Effekt ist, der von weiteren dominanten Effekten überlagert wird, ist der Anspruch an die Signalverarbeitung und die Detektionsalgorithmen der Ansteuerschaltung hoch.

Die Kenntnis der Einspritzmenge ermöglicht den Einsatz geregelter Verfahren. Im geregelten Betrieb wird bei 1 mg Einspritzmenge die Streuung von über 200% auf unter 30% reduziert. Aufgrund der geringeren Streuung der Einspritzmenge kann der nutzbare Dynamikbereich der Magnetventile auf unter 1 mg erweitert werden. Zusätzlich werden die Rohemissionen gesenkt, da der Motor bei optimaler Kraftstoffdosierung weniger Schadstoffe emittiert. Damit erreichen Magnetventile bei deutlich geringeren Kosten eine ähnliche Leistungsfähigkeit wie Piezo-Ventile.

Der geregelte Betrieb von Magneteinspritzventilen ist in dieser Arbeit auch erfolgreich im Fahrzeug getestet worden. Dabei sind erstmals Kleinstmengen von 1,5 mg mit deutlich reduzierter Streuung in einem Serienmotor verbrannt worden. Die Serieneinführung des Verfahrens wird zur Zeit erprobt.