

Zylinderdruckrekonstruktion und Verbrennungsaussetzererkennung aus Körperschallsignalen für Ottomotoren

Rubén Villarino Villa
ehem. Lehrstuhl für Signaltheorie, Ruhr-Universität Bochum

Der Verbrennungsmotor wird aus technischen und wirtschaftlichen Gründen mittelfristig die dominierende Antriebstechnik im Personenkraftwagenbereich bleiben. Die Erfüllung der zunehmend strengeren Verbrauchs- und Abgasvorgaben ohne Beeinträchtigung der kundenseitigen Erwartungen an Motorleistung und Fahrkultur stellt weiterhin das zentrale Thema im Bereich der Motorentwicklung dar. Moderne Serienmotoren verfügen inzwischen über hochentwickelte Aktuatorik zur präzisen Ansteuerung des Kraftstoff- und Luftpfads der einzelnen Zylinder. Eine entsprechend leistungsfähige Sensorik ist für den effizienten Betrieb des Motorsystems unentbehrlich geworden.

Der Zylinderdruck ist eine fundamentale Größe zur Beschreibung innermotorischer Vorgänge. Die zylinderdruckbasierte thermodynamische Analyse des Verbrennungsprozesses am Prüfstand ist ein fester Bestandteil im Entwicklungsablauf geworden. Die Integration der informationsreichen Größe in das elektronische Motormanagement eröffnet neue Möglichkeiten für die effiziente Motorsteuerung und -regelung. Jedoch ist der Einsatz von Zylinderdrucksensoren im Serienfahrzeug aus Kostengründen und Bauraumbeschränkungen nicht immer möglich.

Im Hinblick darauf liefert die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur zylinderindividuellen Rekonstruktion des niederfrequenten Zylinderdruckverlaufs aus Körperschallsignalen für den Ottomotor. Hierbei bezeichnet Körperschall den sich im Motorblock ausbreitenden Schall, welcher mithilfe von an der Motoraußenfläche montierten Beschleunigungsaufnehmern erfasst wird. Das verwendete Signalmodell betrachtet den Körperschall grundsätzlich als die verrauschte Überlagerung von linear gefilterten Zylinderdrucksignalen. Der Übertragungsweg von Zylinderdruck auf Körperschall über die Motorstruktur wird hierbei mithilfe linearer, zeitvarianter Gewichtsfunktionen beschrieben, die die zyklische Änderung der Brennraumgeometrie über die Kolbdynamik berücksichtigen. Zunächst werden die a priori unbekannt Koeffizienten der Gewichtsfunktionen im Identifizierungsvorgang aus Messdaten ermittelt. Ein neuartiges parametrisches Druckmodell bestehend aus drei Musterkurven wird zur Beschreibung des Zylinderdruckverlaufs einer einzelnen Verbrennung eingeführt. Darauf aufbauend erfolgt die Schätzung der Zylinderdruckverläufe durch Minimierung des Approximationsfehlers zwischen dem gemessenen Körperschall und einem Referenzsignal, das aus der mit den Gewichtsfunktionen gefilterten Druckmusterkurven rechnerisch ermittelt wird. Das Optimierungsproblem wird mithilfe eines iterativen Schätzvorgangs gelöst, der das Körperschallsignal in einem Zwischenschritt in einzelne verbrennungsindividuelle Signalanteile zerlegt. Diese Eigenschaft wird gezielt zur Erweiterung des Rekonstruktionsansatzes auf die gemeinsame Auswertung mehrerer über die Motoraußenfläche verteilter Körperschallsensoren ausgenutzt. Zuletzt wird die Anwendbarkeit der rekonstruierten Zylinderdruckverläufe auf die Erkennung von Verbrennungsaussetzer untersucht. Dabei wird eine neuartige Testgröße eingeführt, die wiederum auf der Körperschallsignalzerlegung aufbaut und das parametrische Druckmodell explizit berücksichtigt. Die entwickelten Verfahren werden anhand von am Prüfstand gemessenen Daten erprobt.