

Ein optimiertes Verfahren zur Bestimmung der Motorgeräuschanregung in Bezug auf Verbrennung und Mechanik

Randolf Arndt¹, Martin Katter¹, Franz Brandl², Jürgen Veit²

¹Akustikkompetenzzentrum, A-8010 Graz, Austria, Email: randolf.arndt@accgraz.com

²AVL List GmbH, A-8020 Graz, Austria, Email: franz.brandl@avl.com

Einleitung

Die steigenden Anforderungen an die Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Emissionen führen unter anderem zu Verbrennungsverfahren mit steilerem Druckanstieg. Damit einher geht auch der Anstieg des Verbrennungsgeräusches. Im Gegensatz dazu steht der Kundenwunsch nach Komfort und Geräuschreduktion. Um entsprechende Akustikmaßnahmen zur Motorgeräuschverringern zu bewerten, ist die Kenntnis der Anregung durch die Verbrennung sowie durch die Mechanik an Otto- und Dieselmotoren im Detail erforderlich.

Die bestehenden Verfahren zur Ermittlung des Verbrennungsgeräusches beruhen entweder auf einem offenen Steuergerät zur Modifikation der Verbrennungsanregung oder es sind komplexe Auswerteverfahren (z.B. Regressionsanalysen) notwendig. Diese Verfahren benötigen zum Einen ein hoher Zeitaufwand bzw. es ist damit nur, wie gezeigt wird, eine beschränkte Genauigkeit erreichbar.

Im Rahmen eines von AVL beauftragten Forschungsprojektes bei ACC wurde in Zusammenarbeit mit AVL ein Verfahren - basierend auf der Kohärenz zwischen Zylinderdruckanregung und Luftschall - entwickelt, mit dem auf Basis der zeitgleich gemessenen Zylinderdruckanregung und Luftschallabstrahlung die Anteile von Verbrennungs- und mechanischem Geräusch sowie die Strukturübertragungsfunktionen schnell und einfach bestimmt werden können.

Das Verfahren wurde programmtechnisch umgesetzt, so dass die Analyse von Verbrennungs- und mechanischem Geräusch an Diesel- und Ottomotoren mittels dieser Software sehr schnell und effizient vorgenommen werden kann.

Definitionen

Das Motorgeräusch setzt sich aus dem mechanischen Geräusch, dem Verbrennungsgeräusch und dem Nebenaggregategeräusch zusammen. Bei der Entwicklung unseres Verfahrens wurden die Nebenaggregate am Motor entfernt. Es wurden folgende grundsätzlich Annahmen getroffen: das **Motorgeräusch** setzt sich zusammen aus dem **Verbrennungsgeräusch** und dem **mechanischen Geräusch**. Wobei das **mechanische Geräusch** sich aus dem **Schleppgeräusch** und einem **Anstieg des Schleppgeräusches in Folge der Verbrennung** zusammensetzt. Diese Definition ist zufällig und kann im Prinzip durch andere Definitionen ersetzt werden.

Methodenentwicklung

Die Entwicklung unserer Methode wurde an einem 4 Zylinder Dieselmotor mit 2 ltr. Hubraum gestartet. In einem ersten Schritt wurde an diesem Motor das Verbrennungs- und mechanische Geräusch mittels der „konventionellen Methode“ ermittelt. Dabei wird für jede Motordrehzahl das Verbrennungsgeräusch durch Einspritzzeitpunktverstellung solange minimiert bis das gesamte Motorgeräusch konstant bleibt. Dieses konstante Motorgeräusch wird dann als „mechanisches Geräusch“ für diesen Motorbetriebszustand bezeichnet.

In einem zweiten Schritt wurde am selben Motor die Regressionsmethode angewandt, bei der eine Regression zwischen den Zyklusschwankungen in der Verbrennungsanregung und im 1m Luftschall durchgeführt wird.

Im dritten Schritt erfolgte die gegenständliche Methodenentwicklung mittels Kohärenzanalyse zwischen Verbrennungsdruckanregung und 1m Luftschall. Dazu wurden die Zeitfenster in Bezug auf die Erfassung der Brennraumdruckanregung, des 1m Luftschalls sowie die Zeitverzögerung zwischen Brennraumdruck und 1m Luftschall optimiert (Beispiel siehe Bild 1).

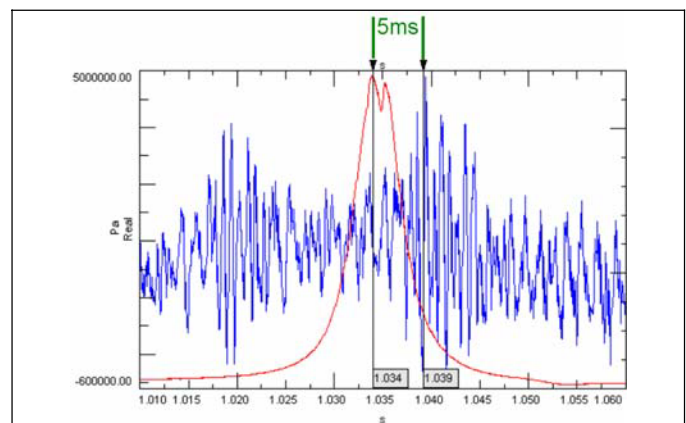


Bild 1: Zeitsignal von Brennraumdruck und 1m Luftschall mit einer Zeitverzögerung von 5 ms

Bei der Kohärenzmethode werden die gefensterten und zeitverzögerten Signale mittels folgender Beziehung bezogen auf den Zylinderdruck (x) und das jeweilige Luftschallsignal (y), analysiert:

$$C_{xy}(f) = \frac{|P_{xy}(f)|^2}{P_{xx}(f) \cdot P_{yy}(f)}$$

Erhaltene Resultate

Die an dem erwähnten 2 ltr. Dieselmotor erhaltenen Resultate wurden in Bezug auf die „konventionelle Methode“, die Regressionsmethode und die Kohärenzmethode verglichen (siehe Bild 2)

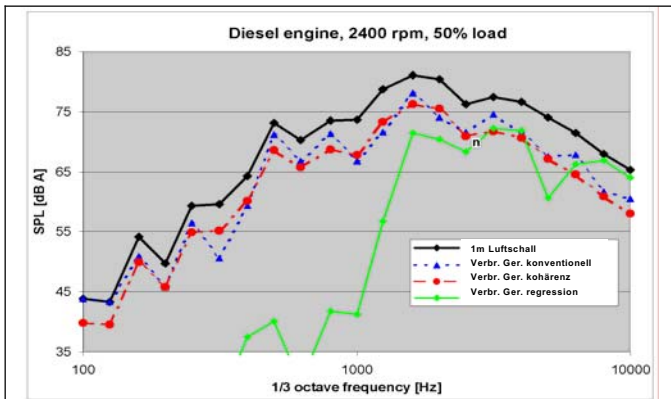


Bild 2: Vergleich der Verbrennungsgeräuschergebnisse in Bezug auf die Konventionelle-, Regressions- und Kohärenzanalyse mit Referenz zum 1m Luftschall

Wie aus den Ergebnissen ersichtlich, ergibt sich zwischen der „konventionellen“ und kohärenten Bestimmung des Verbrennungsgeräusches eine recht gute Übereinstimmung. Es ist hier allerdings zu beachten, dass das „konventionell“ bestimmte Verbrennungsgeräusch eher zu hoch ist, da das mechanische Geräusch in Folge der Reduktion des Verbrennungsgeräusches mittel Zündzeitpunktverstellung eher kleiner ist als im realen Betriebspunkt unter normaler Verbrennungsanregung.

Die Regressionsergebnisse sind im unteren Frequenzbereich unbrauchbar da bei der Dieselerverbrennung zu kleine zyklische Schwankungen zwischen den einzelnen Verbrennungen vorhanden sind und dadurch die Regressionslinien im unteren Frequenzbereich flach sind.

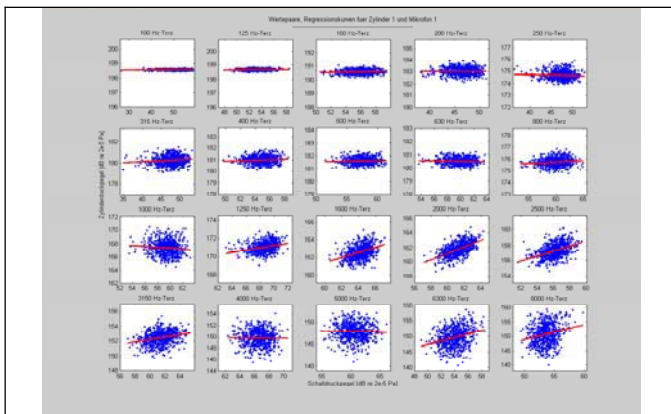


Bild 3: Ergebnis der 1/3 Oktave Regressionsanalyse zwischen Verbrennungsanregung und 1m Luftschall

Die Regressionsanalyse ergibt ein besseres Ergebnis bei der Anwendung an Ottomotoren, da dort die zyklischen Schwankungen zwischen den einzelnen Verbrennungen deutlich höher sind. Dies ist aus Bild 4 ersichtlich wo der 1m Luftschall, das mechanische Geräusch und das Verbrennungsgeräusch für einen 1,8 ltr. Ottomotor mittels Regressions- und Kohärenzanalyse gegenübergestellt sind.

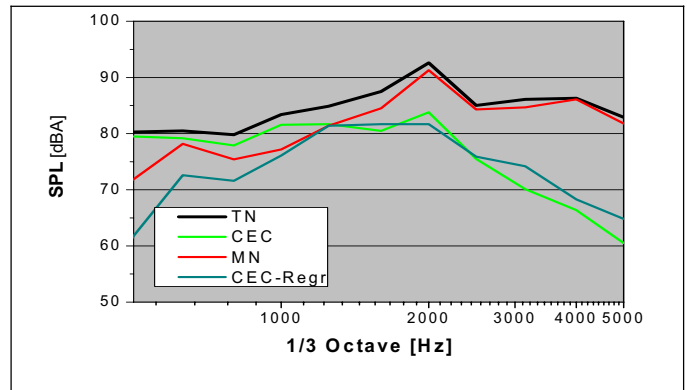


Bild 4: Ergebnisse der Verbrennungsgeräuschanalyse mittels Regression und Kohärenz an einem 1,8 ltr. Ottomotor

Strukturübertragungsmaß

Aus dem mittels Kohärenzmethode erhaltenen Verbrennungsgeräusch lässt sich sehr einfach das **Strukturübertragungsmaß** durch **Division** des **Verbrennungsgeräusches** durch die **Verbrennungsanregung** ermitteln. Ein Beispiel für ein über verschiedene Betriebszustände ermitteltes Strukturübertragungsmaß ist in Bild 5 für einen 1,9 ltr. Dieselmotor dargestellt. Wie ersichtlich beträgt die Streubreite bis zu 10 dB was auf Nichtlinearitäten zurückzuführen ist und damit auch die Genauigkeit der Kohärenzmethode dokumentiert.

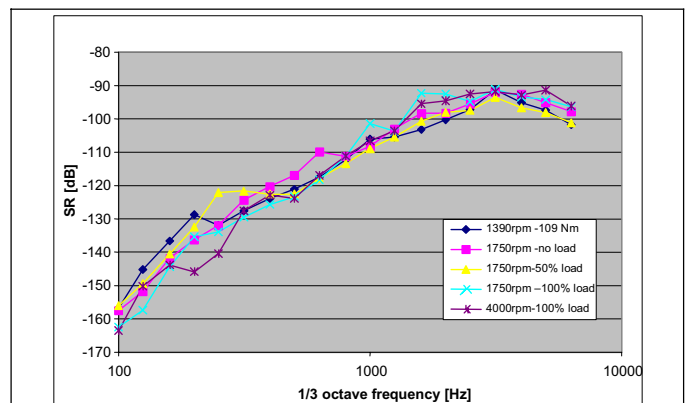


Bild 5: Strukturübertragungsmaß für einen 1,9 ltr. Dieselmotor erhalten mittels Kohärenzmethode

Zusammenfassung

Mit der dargestellten Kohärenzmethode besteht nun die Möglichkeit sehr schnell und genau das Verbrennungsgeräusch, das mechanische Geräusch sowie das Strukturübertragungsmaß für Diesel- und Ottomotoren nur durch einfache Messung der Zylinderdruckanregung und des 1m Luftschalls mittels der entwickelten Software zu bestimmen.

Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft und Arbeit, das Land Steiermark, die steirischen Wirtschaftsförderung und die Stadt Graz.