

Diesel Impulshaltigkeit II: Technischer Prozess

Markus Bodden*, Ralf Heinrichs**, Martin R uth**

*Product-Sound - Ingenieurbüro Dr. Bodden, Ursulastr. 21, 45131 Essen; email: db@product-sound.de

**Ford Werke GmbH, Acoustic Centre Cologne, Spessartstra e, 50725 Köln; email: rheinri1@ford.com

Einleitung

Die Narrow Band Modulation Analysis (NBMA) erlaubt eine umfassende Identifikation, Analyse und Quantifizierung wahrnehmungsrelevanter Signaleigenschaften von Diesel-Impulshaltigkeit. Ausgehend von der kundenrelevanten Bewertung von Fahrzeuginnenger uschen ([1] und [2]) kann die Methode dazu genutzt werden die Diesel-Impulshaltigkeit über Luft- und K rperschallpfade bis hin zum Motor herunterzubrechen. Die Anwendung auf Signale vom Motorprüfstand bis hin zu gemessenen Zylinderdruckverl ufen schließt den Kreis von der Anregung des Verbrennungsprozesses bis hin zum Fahrerohr. Die Anwendung der Methode und der Metriken erlaubt eine Zielwertsetzung auf allen Ebenen (Fahrzeug und System) sowie eine umfassende Erfassung und Bewertung des gesamten Fahrzeugs ([3]).

Metriken zur Quantifizierung von Diesel-Impulshaltigkeit - der orthogonale Ansatz

Die Wahrnehmung der Diesel-Impulshaltigkeit (DI) wird durch zwei orthogonale Dimensionen bestimmt:

- die *physikalische Diesel-Impulshaltigkeit*, bestimmt durch die Zeitstruktur des Geräusches (Notwendigkeit);
- den *Pegel* der Geräusche. Er kann eine vorhandene Impulshaltigkeit nurverst rken (Moderator).

Diese beiden Einflussgrößen werden entsprechend durch die folgenden orthogonalen Metriken quantifiziert:

- *mDKI*: physikalische Diesel-Impulshaltigkeit;
- *Pegel*: Moderator der DI.

Um eine Gesamtbewertung zu ermöglichen wurde der DKII als Kombination der beiden Metriken entwickelt.

Durch diesen orthogonalen Ansatz wird die Wahrnehmung der DI tatsächlich auch entsprechend nachgebildet - die Quantifizierung durch den mDKI zeigt, wie stark die Signale physikalisch impulshaltig sind, und der Pegel zeigt den Einfluss der Lautstärke. Jede Veränderung eines Zustandes kann damit auch darauf zurückgeführt werden ob sich tatsächlich die Impulshaltigkeit geändert hat oder lediglich der Pegel verändert wurde.

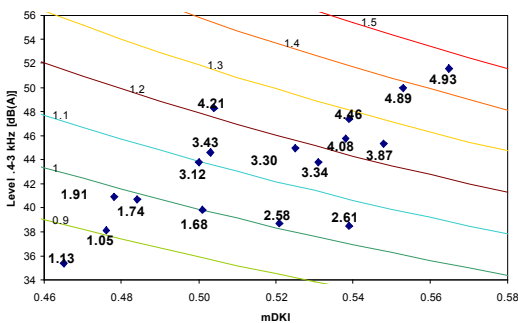


Abb. 1 Kurven gleicher Diesel-Impulshaltigkeit für die orthogonalen Größen mDKI und Pegel.

Der Zusammenhang zwischen den Metriken kann in sog. Kurven gleicher Diesel-Impulshaltigkeit (Abb. 1) dargestellt werden. Hier ist erkennbar, mit welcher Kombination aus physikalischer Impulshaltigkeit und Pegel eine gewünschte Diesel-Impulshaltigkeitswahrnehmung erzielt werden kann.

Analysemethoden der NBMA

Basisanalysen

Das grundlegende Analyseergebnis der NBMA ist das Schmalband-Modulationspektrum (Abb. 2).

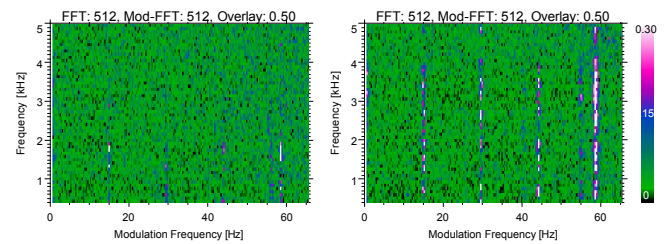


Abb. 2 NBMA Ergebnisplot. Luftschall, Motor auf Prüfstand bei 1750 rpm. Links: Last 30 Nm; rechts: 200 Nm.

In dieser dreidimensionalen Darstellung kann Diesel-Impulshaltigkeit sofort erkannt und zu Motorordnungen (d.h. Modulationsfrequenzen) sowie Trägerfrequenzen zugeordnet werden. Im Bild sind zwei Zustände eines Motors dargestellt, links bei geringer und rechts bei hoher Last. Die Diesel-Impulshaltigkeit zeichnet sich deutlich als vertikale Linie bei Modulationsfrequenzen entsprechend Vielfachen der Motorordnung ab.

Auf exakt diese Modulationsfrequenzen kann die Darstellung reduziert werden, so dass der sog. Detailed Engine Order Modulation Index erhalten wird (Abb. 3). Hier ist nun

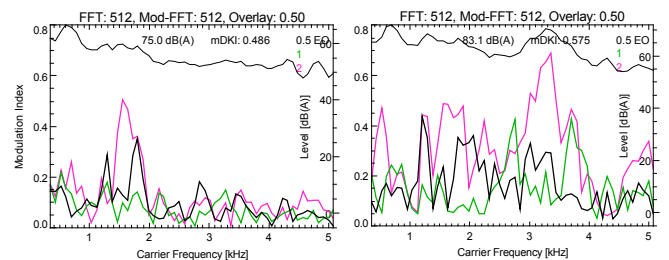


Abb. 3 Detailed Engine Order Modulation Index, Signale aus Abb. 2. Jede Kurve zeigt den Modulationsindex bei einer Motorordnung, zusätzlich ist das Spektrum eingezeichnet.

die spektrale Abhängigkeit der Diesel-Impulshaltigkeit besser erkennbar, so dass detaillierte Informationen über Ursachen und Optimierungsmöglichkeiten identifiziert werden können. Die Methoden können hierbei nicht nur auf Luft- und Körperschallsignale, sondern selbst auf die Druckverläufe in den Brennkammern der Zylinder angewendet werden. Ein Beispiel hierzu zeigt Abb. 4, wiederum für zwei unterschiedliche Lastzustände eines Motors.

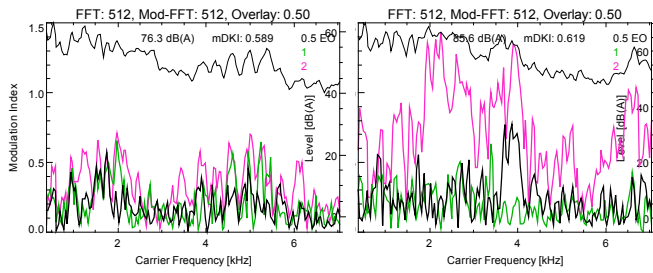


Abb. 4 Detailed Engine Order Modulation Index, Zylinderdruckverläufe, unterschiedliche Betriebszustände.

DI-Transfer

Entsprechende Analysen eignen sich dazu die Ausbreitung der Diesel-Impulshaltigkeit über die unterschiedlichen Ausbreitungspfade in den Innenraum zu untersuchen (Abb. 5). Es kann detailliert dargestellt werden welche Komponenten im Innengeräusch noch stören und über welchen Pfad diese übertragen werden. Sinnvoll ist eine Kombination mit Verfahren zur Analyse und Synthese von Transferpfaden ([5]).

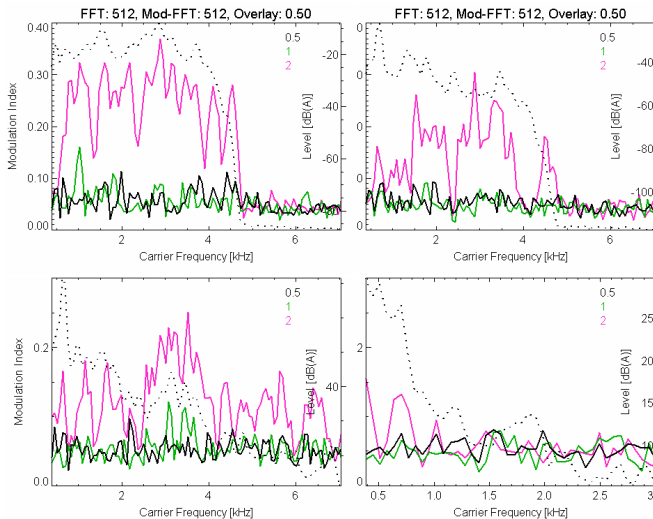


Abb. 5 Analyse des DI-Transfers. Oben: Körperschall Motor- (links) bzw. Karosserie (rechts); unten: Aussen- (links) bzw. Innengeräusch (rechts).

DI-Maps

Während die bisher beschriebenen Analysemethoden vor allem dazu geeignet sind Details herausarbeiten, kann die NBMA angewandt auf Messungen von Load-sweeps das komplette DI-Verhalten eines Fahrzeugs in allen Betriebszuständen zusammenfassen (siehe [4]). Auch hier wird der orthogonale Ansatz weitergeführt, so dass sich Maps für den mDKI und den Pegel ergeben (Abb. 6).

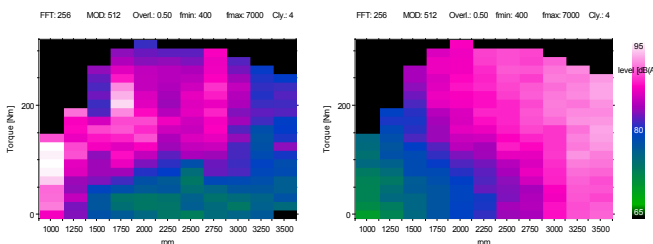


Abb. 6 Motorprüfstand. Links: mDKI-Map; rechts: Pegel-Map.

Das Beispiel verdeutlicht dass der mDKI die entscheidende Information über die Diesel-Impulshaltigkeit enthält, während der Pegel nahezu linear mit Last und Drehzahl steigt.

DI-Richtcharakteristik

Ein Anwendungsbeispiel zur Erfassung der Abstrahlcharakteristik von Diesel-Impulshaltigkeit an einem Motor zeigt Abb. 7 . Hier sind die DI-Maps für vier unterschiedliche Seiten des Motors dargestellt. Es sind deutliche Unterschiede zu erkennen, und im vorliegenden Fall wird starke DI in Richtung der Stirnwand zum Innenraum hin abgestrahlt.

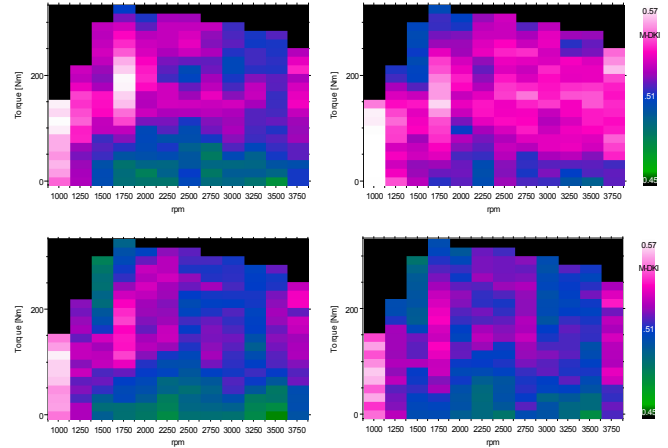


Abb. 7 DI-Maps, Motorprüfstand, Mikrophonmessung 1m. Links oben: Vorderseite; rechts oben: rechte Seite; links unten: linke Seite; rechts unten: Oberseite.

Zusammenfassung

Die Methoden der NBMA unterstützen und treiben den Diesel Sound Quality Prozess auf allen Ebenen. Von der kundenrelevanten Quantifizierung der Wahrnehmung im Innenraum kann die Diesel-Impulshaltigkeit über die unterschiedlichen Transferpfade bis hin zur Zylinderfeuerung verfolgt werden.

Die Einzahlwerte erlauben dabei eine Quantifizierung der Diesel-Impulshaltigkeit entsprechend der Wahrnehmung des Endkunden. Unterschiedliche Fahrzeuge, Komponenten und Varianten können so verglichen und Zielwerte auf allen Ebenen gesetzt werden.

Die detaillierten Analysemethoden erlauben die Diesel-Impulshaltigkeit perzeptionsrelevant auf physikalische Merkmale zurückzuführen, so dass Ursachen erkannt und eine systematische Optimierung unterstützt wird.

Literatur

[1] Bodden, M.; Heinrichs, R. (2005): Methode zur Analyse und Bewertung von Dieselgeräuschen. Fortschritte der Akustik - DAGA'05, 219-220.
 [2] Bodden, M.; Heinrichs, R. (2005): Diesel Sound Quality analysis and evaluation. Proceedings of the Forum Acusticum 2005, Budapest, 1661-1664.
 [3] Bodden, M.; Heinrichs, R. (2006): Diesel Sound Quality Engineering. Fortschritte der Akustik - DAGA'06, 503-504.
 [4] Rütth, M.; Heinrichs, R.; Bodden, M. (2008): Diesel-Impulshaltigkeit Teil I: Blickwinkel des Kunden. Fortschritte der Akustik - DAGA '08, im Druck.
 [5] Sellerbeck, P; Nettelbeck, C. (2008): Auralisation zur gehörgerechten Bewertung u. Optimierung von Dieselgeräuschen im Fahrzeuginnenraum mittels binauraler Transferpfadanalyse. Fortschritte der Akustik - DAGA '08, im Druck.