

Diesel Impulshaltigkeit Teil I: Blickwinkel des Kunden

Martin R uth¹, Ralf Heinrichs¹, Markus Bodden²

¹ Ford Werke GmbH, Spassartstrasse, 50725 Köln, Deutschland, Email: mrueth@ford.com

² Product Sound – Ing.büro Dr. Bodden, Ursulastr. 21, 45131 Essen, Deutschland, Email: db@product-sound.de

1. Einleitung

In den meisten Veröffentlichungen bezuglich Diesel Geräusch Qualität wurde die Wichtigkeit des "Dieselnagelns" für den Kunden bereits deutlich gemacht [1]. Zahlreiche Experimente zeigten, dass das metallische, impulshaltige Geräusch vieler Dieselfahrzeuge von den Kunden nicht gemocht wird und dass sie in naher Zukunft einer benziner-ähnlich klingenden Motor erwarten. Im Rahmen der derzeitigen CO2 Diskussion, welche eine immer bessere Ausnützung des Treibstoffes nach sich zieht, ist das eine ziemliche Herausforderung. Die gesetzlichen Bestimmungen im Rahmen von EURO IV bringen NVH in eine schwierige Situation. So führt z.B. ein immer höherer Druck in der Einspritzleitung zu kritischeren, impulshaltigen Geräuschen. Daher ist es jetzt noch wichtiger die Akzeptanzschwelle des Kunden für Dieselimpulshaltigkeit (DI) zu kennen und geeignete Metriken zu haben, welche die Impulshaltigkeit (DI) physikalisch beschreiben. Ziel dieser Veröffentlichung ist es, den subjektiven Eindruck des Dieselnagelns mit einer objektiven Messgröße zu verbinden und die damit verbundenen Entwicklungsmöglichkeiten vorzustellen.

2. Diesel Geräuschqualität im Leerlauf

2.1. Diesel Impulshaltigkeit (DI) als Hauptanteil

Mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) für 12 Attribute wie z.B. Lautheit, Klangfarbe, Dieseligkeit, Kultiviertheit, etc. konnte gezeigt werden, dass sich die meisten Attribute den zwei Hauptfaktoren "Pleasantness" und "Powerfulness" zuordnen lassen. Die Verbindung dieser Attribute zu den zwei Faktoren und den Fahrbedingungen (Leerlauf, 2^{ter} Gang Vollast, Ampelstart, etc.) macht deutlich, dass die Diesel Impulshaltigkeit (DI) besonders kritisch bezuglich des Faktors "Pleasantness" ist und so weit wie möglich reduziert werden muss.

2.2. Diesel Knocking Index (DKI)

Um die Impulshaltigkeitswahrnehmung des Kunden objektiv zu beschreiben, wurde als ein Einzahlwert der Diesel Knocking Index (DKI) basierend auf der Schmalband Modulationsanalyse (NBMA) entwickelt [2],[3],[4].

Abbildung 1 zeigt die DKI-Gleichung welche die gewichtete Summe aller relevanten Modulationen mDKI und den Schalldruckpegel (SPL) umfasst.

$$mDKI = \left[\frac{1}{n_o} \sum_{i=0.5}^{O(step=0.5)} w_{eo} \cdot M_{i,o} \right]^c \quad DKI = \frac{\left[\frac{1}{n_o} \sum_{i=0.5}^{O(step=0.5)} w_{eo} \cdot M_{i,o} \right]^c}{N / dB} \cdot L_{fu-\beta}$$

Abbildung 1: Gleichung für mDKI/DKI

2.3. Kurven gleichem DKI's

Passend zu dem wahrnehmungsgesteuertem DKI beschreibt der mDKI die reine physikalische Impulshaltigkeit (modulierter Diesel Knocking Index) des gemessenen Geräusches, folglich unabhängig von dessen Pegel. Die beiden orthogonalen Größen mDKI und SPL (Schalldruckpegel) und ihr Beitrag zur Impulshaltigkeitswahrnehmung sind in Abbildung 2 den Kurven gleichem DKI's dargestellt.

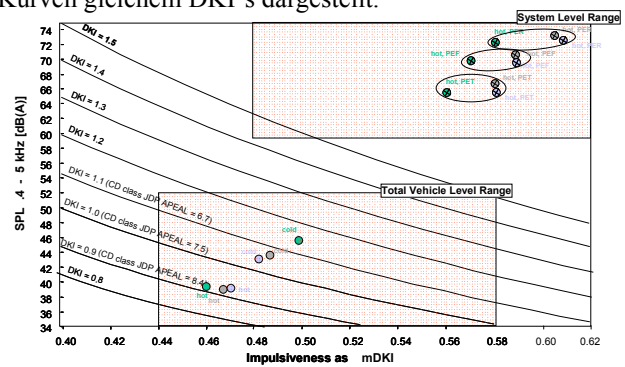


Abbildung 2: Kurven gleichem DKI's für drei Fahrzeug auf Fahrzeug und Systemebene

Wie in den Kurven gleichem DKI's zu sehen ist, kann eine bestimmte Impulshaltigkeitswahrnehmung mit verschiedenen Pegel (SPL) und mDKI Konstellationen erreicht werden. Für Entwicklungszwecke ist dies manchmal nützlich, da mit diesen zwei Parametern eine geeignete Abstimmung durchgeführt werden kann.

2.4. Korrelation des DKI's zu JD Power APEAL Punktzahl

J.D.Power, ein weltweit operierendes Umfrageinstitut, f hrt standardisierte Kundenzufriedenheitsstudien durch, welche auch in Europa immer populärer werden. Die JD Power APEAL Frage aus dem Jahr 2005 "Motorgeräusch im Leerlauf" wurde ausgewählt, um die Bedeutung der Dieselimpulshaltigkeit für die Motorger uschqualit t zu bestätigen und geeignete kundenorientierte, objektive Zielwerte zu definieren.

Abbildung 3 zeigt, dass der Diesel Knocking Index DKI mit den Ergebnissen der Umfrage korreliert. Ferner stellt sich heraus, dass Kunden der CD-Klasse mittlerweile ein v olles Fehlen des Dieselnagelns erwarten.

Abbildung 2 zeigt auch, dass z.B. 8.4 JD Power APEAL Punkte mit verschiedenen Pegel-Impulshaltigkeitskombinationen erreichbar sind. Man braucht entweder ein sehr leises Fahrzeuginnenger uschen mit etwas Impulshaltigkeit oder etwas mehr Schalldruckpegel mit sehr wenig

Nageln, um dieses sehr gute JD Power Ergebnis zu erreichen.

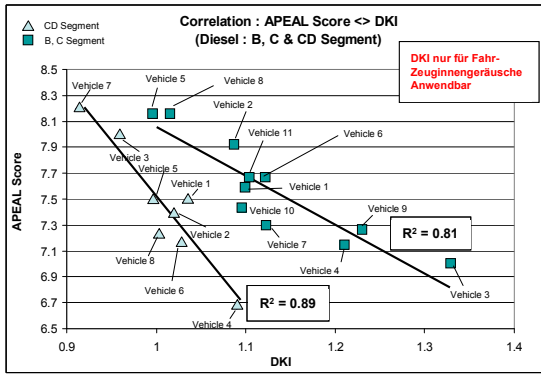


Abbildung 3: JD Power APEAL Punkte Korrelation mit dem DKI für die Frage: "Wie klingt der Motor im Leerlauf"

Mit diesem Wissen ist der Automobilhersteller jetzt in der Lage Zielwerte zu definieren, die seiner Marketingstrategie entsprechen.

3. Diesel Geräuschqualität für weitere Betriebszustände

3.1. Diesel Impulshaltigkeitskarten (DI-Maps)

Die NBMA (Schmalbandmodulationsanalyse) hat für Betriebszustände neben Leerlauf bestimmte Einschränkungen. Da die Trägerfrequenzauflösung des Modulationsspektrums ziemlich hoch ist, sind Messdaten mit konstanter Motordrehzahl notwendig, um mDKI/DKI zu berechnen. Diese Angelegenheit kann mit der so genannten Lasthochlaufmethode bewältigt werden. Für die Messungen, die entweder auf Fahrzeug oder Antriebsstrang Prüfständen durchgeführt werden, muss sicher gestellt sein, dass die Motordrehzahl während der kontinuierlichen Laststeigerung bis zum maximalen Drehmoment in 30 sec sehr konstant gehalten wird. Alle 1.5 Sekunden wird der zugehörige mDKI berechnet und farbcodiert dargestellt. Pink oder sogar weiße Regionen lassen auf sehr hohe Impulshaltigkeit schließen während die grünen Gebiete sehr glatt klingen.

3.2. Typische Anwendung der DI-Maps

DI-Maps sind ideale Darstellungen, um Fahrmanöver des Kunden mit dem dabei entstehenden Geräusch bezüglich DI zu verknüpfen. In Abbildung 4 soll dies beispielhaft verdeutlicht werden:

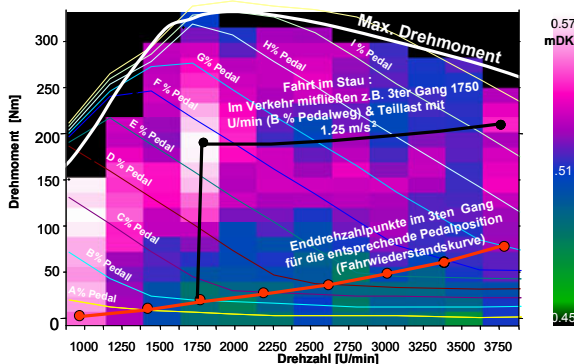


Abbildung 4: DI-Map und typische Fahrmanöver

3.3. Herunter Kaskadierung auf Systemebene

Um die kritischsten Übertragungspfade im Hinblick auf Dieselimpulshaltigkeit zu identifizieren, wurden bei den Messungen zusätzlich zum Kunstkopf, welcher die Fahrerposition des Kunden repräsentieren soll, auch noch zahlreiche Mikrofone im Motorraum und Beschleunigungsaufnehmer an möglicherweise kritischen Strukturpfaden gemessen. Basierend auf der Kunden DI Situation (Kunstkopf links / rechts) wurde ein herunter Kaskadieren zu den einzelnen DI Quellen wie z.B. den Mikrofonen der einzelnen Motorseiten im Motorraum, den Motorlagern, den Kabeln, Schläuche, etc. durchgeführt. Dadurch kann ein kritischer DI "Hot Spot" mit Hilfe der aufgezeichneten Messkanäle weiterverfolgt werden. Sind solche "Hot Spots" einmal identifiziert, helfen weitere, detailliertere Schmalband Modulationsanalysen (NBMA), die Entstehungsursache solcher Probleme zu verstehen. Weitere Details über die Prinzipien dieses Herunter-Kaskadierens der Diesel Impulshaltigkeitsübertragung können in [5] und [6] nachgelesen werden.

4. Zusammenfassung

Die Geräuschqualität von Dieselfahrzeugen ist hauptsächlich vom Fehlen des "Dieselnagelns" (DI) getrieben. Daher ist es äußerst wichtig gut korrelierte, objektive Metriken für die Diesel Impulshaltigkeit zu haben. Der mDKI/DKI ist eine Metrik, die sehr gut mit der JD Power APEAL Punktzahl zusammenpasst und daher die Kundenwahrnehmung – zumindest für Leerlauf – widerspiegelt. Der orthogonale Ansatz zwischen Lautstärke und Impulshaltigkeit in Form von Kurven gleicher Lautstärke erlaubt es die physikalischen Bestandteile Schalldruckpegel (SPL) und mDKI einzeln einzustellen. Die DI-Karten ermöglichen sowohl eine spezielle Zielwertbestimmung als auch Impulshaltigkeitsprobleme an betrachteten Übertragungspfaden auf zu spüren. Mit der NBMA erhält man mehr Einblick in die Entstehungsursache der Impulshaltigkeit, somit wird der Ingenieur unterstützt diese auf ein akzeptables Niveau zu reduzieren.

Literaturverzeichnis

- [1] R. Heinrichs, U. Groemping, "Customer Driven diesel Vehicle Sound Quality", *Proceedings of INTER-NOISE 2004*.
- [2] T. Leonhard, R. Heinrichs, K.-H. Bürger: Diesel Powertrain Sound Quality. *Aachener Kolloquium 2004*.
- [3] M. Bodden, R. Heinrichs, "Methode zur Analyse und Bewertung von Dieselgeräuschen", *Fortschritte der Akustik - DAGA 2005*
- [4] M. Bodden, R. Heinrichs, "Diesel Sound Quality analysis and evaluation", *Proceedings Forum Acusticum 2005*.
- [5] M. Bodden, R. Heinrichs, "Diesel Impulsiveness: Technical Approach", *Proceedings of INTER-NOISE 2007*
- [6] P. Sellerbeck, C. Nettelbeck, R. Heinrichs, T. Abels, "Improving Diesel Sound Quality on Engine Level and Vehicle Level - A Holistic Approach", *SAE Paper 2007*
- [7] R. Heinrichs, M. Bodden, "Diesel Impulsiveness Part 1: Customer Perspective", *Proceedings of INTER-NOISE 2007*