

Analytische Bewertung der Geräuschqualität von Nebenaggregaten in End-of-Line-Prüfständen

Sebastian Roßberg¹

¹ HEAD acoustics GmbH, 52134 Herzogenrath, E-Mail: Sebastian.Roßberg@head-acoustics.de

Einleitung

Die Geräusch- und Vibrationsqualität von Nebenaggregaten stehen zunehmend im Fokus bei der Fahrzeugentwicklung. Je leiser die Fahrzeuge werden, desto deutlicher werden die verschiedenen Betriebsgeräusche einzelner Komponenten wahrgenommen. Vor allem bei Hybrid- und rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ergeben sich aufgrund von fehlender Maskierung und von Betriebsstrategien, die vom Fahrzustand unabhängig sind, neue Geräuschszenarien. In Folge dessen sehen sich auch die Hersteller von Nebenaggregaten mit Anforderungen an die Geräuschqualität ihrer Produkte konfrontiert. Die Zulieferer können jedoch häufig nur auf geringe NVH-Erfahrungen zurückgreifen und unterschätzen daher die Komplexität der Aufgabe. Dieser Artikel soll dafür sensibilisieren, dass es oft nicht genügt, Funktionsprüfstände anzupassen, sondern ein Aufbau an entsprechender NVH-Kompetenz notwendig ist, um direkt effiziente Lösungen zu erarbeiten.

Herausforderungen

Die Qualität einer Komponente wird vom Kunden meist rein auditiv im Fahrzeug bewertet, das heißt, im eingebauten Zustand unter Wirkung der jeweiligen Übertragungspfade bis in den Innenraum. Die End-of-Line-Prüfung wird jedoch direkt an der einzelnen Komponente durchgeführt. Daher gilt es, für eine adäquate Korrelation zwischen den Innengeräuschen und den Messdaten eines End-of-Line-Prüfstands zu sorgen.

Darauf aufbauend müssen dann die im Fahrzeug beanstandeten Geräuschphänomene in den End-of-Line-Messungen quantifiziert werden können. Dafür genügen aber nicht einfache globale Größen wie der Schalldruckpegel. Meist wird das Komponentengeräusch eher subtil wahrgenommen und dessen Qualität über Eigenschaften wie Auffälligkeit oder Wertigkeit beurteilt. Es müssen also adäquate psychoakustische und speziell entwickelte Analysen zur Quantifizierung dieser Wahrnehmungen herangezogen werden.

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, hat sich ein dreistufiges Vorgehen aus Prüfstandsevaluation, Kennwertbestimmung und Umsetzung als zielführend erwiesen (**Erreur! Source du renvoi introuvable.**). Die ersten beiden Punkte werden zu einer Machbarkeitsstudie zusammengefasst, auf deren Umsetzung im Folgenden eingegangen wird.

Prüfstandsevaluation

Im ersten Schritt gilt es also zu klären, unter welchen Voraussetzungen die relevanten akustischen Phänomene, die

im Innengeräusch zu Beanstandungen führen, auch auf einem End-of-Line-Prüfstand detektiert werden können.

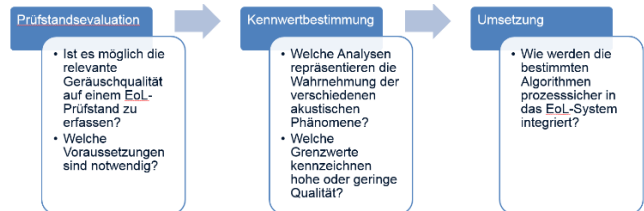


Abbildung 1: Drei Stufen zur effektiven und umfassenden EoL-Beurteilung: Die ersten beiden Schritte werden zur hier dargestellten Machbarkeitsstudie kombiniert.

Im Fahrzeug wird in der Regel der wahrgenommene Luftschall beurteilt. Dies ist jedoch in einer Produktionsumgebung nur mit großem Aufwand möglich, da hierfür spezielle isolierte Messkabinen erforderlich sind. Daher wird die Beurteilung über weniger störanfällige Größen angestrebt. Oft sind dies Bauteilschwingungen, die mit Hilfe von Beschleunigungsaufnehmern oder berührungslos über ein Laservibrometer erfasst werden, oder andere Betriebsgrößen, wie zum Beispiel Steuerspannungen oder -ströme. In diesen Fällen muss durch entsprechende Untersuchungen sichergestellt werden, dass die Korrelation zwischen den unterschiedlichen Messgrößen ausreichend für die Detektion der relevanten akustischen Phänomene ist. Um eine gute Korrelation zu erreichen, empfiehlt es sich, auf dem Prüfstand vergleichbare Ankopplungen und Betriebszustände wie im Fahrzeug herzustellen und Messgrößen zu wählen, die ursächlich mit der Geräuschabstrahlung zusammenhängen.

Werden diese Untersuchungen bereits während der Prüfstandsplanung durchgeführt, hat dies den Vorteil, dass die Anforderungen an den Prüfstand (bezüglich der Sensorik, Umgebung, etc.) relativ frei definiert werden können. Unter Umständen ist in dieser Phase jedoch nur wenig Erfahrung zur Geräuschqualität vorhanden bzw. sind noch nicht alle auftretenden Beanstandungen oder Kundenvorgaben bekannt.

Im Falle eines bereits bestehenden Prüfstands, der unbefriedigende Prüfergebnisse liefert, sind dagegen die Erwartungen an die Geräuschqualität meist klar definiert. Die Zielsetzung ist eine bessere oder zusätzliche Bewertung spezieller akustischer Phänomene. Hier muss im Rahmen der Prüfstandsevaluation zunächst überprüft werden, ob dieses Ziel mit dem bestehenden Prüfstand überhaupt erreicht werden kann. Wenn dies nicht der Fall ist, sind zusätzliche Anforderungen zu definieren. Deren Relevanz für die Sicherstellung der Produktqualität muss durch den NVH-Ingenieur genau geprüft und dann auch deutlich dargestellt werden, da wesentliche Änderungen in einer bereits

laufenden Produktionsumgebung selten erwünscht und oft nur schwer umzusetzen sind.

Kennwertbestimmung

Die Entwicklung einer verlässlichen Kennwertberechnung und -klassifizierung setzt eine umfassende Datenbasis voraus, da darauf alle weiteren Analysen und Bewertungen basieren. Nur die darin enthaltenen Daten können in der späteren analytischen Evaluierung adäquat berücksichtigt werden. Fehlende Störgeräusche können nicht einbezogen werden.

Für die Datenbasis müssen alle akustischen Phänomene in ihren unterschiedlichen Ausprägungen – von nicht akzeptabel bis kaum wahrnehmbar – aufgezeichnet werden. Ebenso sollten Geräusche ohne Beanstandungen in ausreichender Anzahl als Referenz verfügbar sein. Bei den Messungen ist darauf zu achten, dass alle relevanten Größen inklusive notwendiger Führungsparameter mit aufgezeichnet werden.

Für die Erstellung der Datenbasis werden die jeweiligen Komponenten sowohl im Fahrzeug als auch auf dem Prüfstand gemessen. Dadurch kann später die Korrelation zwischen den unterschiedlichen Messgrößen hergestellt werden.

Bewertungen

Die auditive Bewertung der Fahrzeugmessungen wird für die spätere Abstimmung der Kennwertparameter und die Festlegung der Grenzwerte verwendet. Wenn keine weiteren Vorgaben vorliegen, können diese Bewertungen mit Hilfe sorgfältig vorbereiteter Hörversuche bestimmt werden [1].

In der Praxis liegen häufig jedoch spezielle Szenarien vor:

- Bewertung durch Experten parallel zu den Fahrzeugmessungen,
- i.O./n.i.O.-Bewertungen durch Mitarbeiter der Produktion,
- Lastenheftvorgaben durch den Auftraggeber oder
- gemeinsame Abstimmung der Kriterien mit dem Auftraggeber.

Auswahl geeigneter Analysen

Die Auswahl der passenden Analysen und Algorithmen zur Auswertung der Prüfstandsmessungen ist immer von den jeweilig beanstandeten Geräuschphänomenen abhängig. Einfache Korrelationsberechnungen mit einem (umfangreichen) Standardsatz an Analysen ist nicht zielführend, da auf diese Weise nicht sichergestellt ist, dass die jeweilige Charakteristik korrekt erfasst wird, und Scheinkorrelationen auftreten können.

Vielmehr empfiehlt es sich, für die einzelnen Phänomene folgende Fragen zu beantworten.

1. „Was macht diesen Anteil auffällig?“
Aufgrund der gesammelten Bewertungen und der eigenen auditiven Analyse wird eine akustische Beschreibung des Geräuschanteils erstellt. Anhaltspunkte hierfür können Zeit- und Frequenzmuster, Energieverteilung, etc. sein.

2. „Wie kann ich diese Eigenschaften abbilden?“

Anschließend müssen die oben erstellten Beschreibungen analytisch in Filter, Analysen und spezifische Berechnungen umgesetzt werden. Hier ist die Erfahrung und Kenntnis des NVH-Ingenieurs auf dem Gebiet der Signalverarbeitung gefragt.

Bei der Auswahl der analytischen Charakterisierungen gilt, dass je spezifischer eine Berechnung ist, desto genauer kann sie den entsprechenden Geräuschanteil quantifizieren. Dafür ist sie allerdings anfälliger für Streuungen der Geräuscheigenschaften oder Bauteiländerungen. Demgegenüber sind allgemeinere, globale Kennwerte robuster gegenüber Änderungen, können jedoch nur unspezifische Ausprägungen beschreiben (**Erreuer! Source du renvoi introuvable.**).

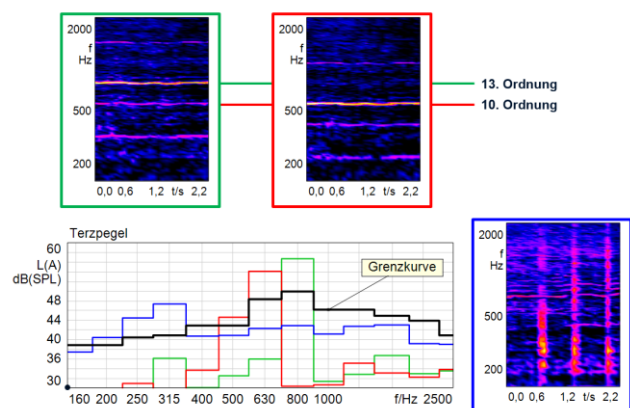


Abbildung 2: Eine spezifische Ordnungsanalyse kann den Wechsel einer Zahnradpaarung nicht kompensieren. Eine eher globale Terzpegel-Grenzkurve dafür nicht zwischen unterschiedlichen Geräuschphänomenen unterscheiden.

Kombination und Auswertung der Kennwerte

Für ein Gesamtergebnis müssen die bestimmten Kennwerte zu einer analytischen Gesamtbewertung kombiniert werden, die die Geräuschqualität der jeweiligen Komponente beschreibt (Abbildung 3).

Seriell: Die Einzelkennwerte werden zum Beispiel über eine Linearkombination zu einem globalen Kennwert kombiniert [1]. Diese bildet dann meist die ursprüngliche Beurteilungsskala aus den Hörversuchen ab, so dass die entsprechende Kategorisierung direkt abgelesen werden kann. Wie die Einzelkennwerte zu dem Gesamtergebnis beigetragen haben, ist aufgrund der unterschiedlichen Wertebereiche nicht direkt ablesbar, kann aber über zusätzliche Betrachtungen integriert werden.

Parallel: Hier wird jeder Einzelkennwert individuell evaluiert und das Gesamturteil daraus abgeleitet. Als „Worst-Case-Kriterium“ kann es zum Beispiel dem schlechtesten Einzelergebnis entsprechen. Diese Methode kommt meist zum Einsatz, wenn direkt Grenzwerte angewendet werden können und die Ursache für das Gesamturteil von Interesse ist. Aufgrund des höheren Informationsgehaltes ist der Aufwand auch höher als bei der seriellen Methode. Für jedes Geräuschphänomen bedarf es jeweiliger auditiver Beurteilungen, um daraus individuelle Skalierung bzw. Grenzwerte abzuleiten.

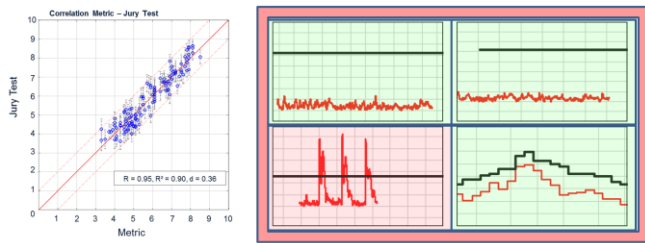


Abbildung 3: Bei der seriellen Kennwertkombination (links) wird meist die ursprüngliche Beurteilungsskala abgebildet, bei der parallelen Kombination (rechts) jeder Kennwert einzeln evaluiert und ein Gesamturteil abgeleitet (z.B. n.i.O. sobald ein Einzelkennwert n.i.O.).

Fazit

Soll die Geräuschqualität von Nebenaggregaten auf End-of-Line-Prüfständen analytisch bewertet werden, gibt es einige anspruchsvolle Herausforderungen, die aber mit der entsprechenden Methodik und NVH-Erfahrung bewältigt werden können. Zunächst gilt es die Korrelation zwischen Fahrzeug und Prüfstand sicherzustellen. Hierfür müssen die relevanten akustischen Phänomene identifiziert und die spezifischen Anforderungen an den End-of-Line-Prüfstand definiert werden. Anschließend erst können die Beanstandungen durch geeignete Analysen und Kennwerte quantifiziert werden. Dafür ist eine umfassende Datenbasis aus Messungen und auditiven Beurteilungen unerlässlich. Mit einer detaillierten Identifikation der jeweiligen Geräuscheigenschaften lassen sich entsprechende Kennwerte entwickeln und zielführend zu einem Gesamturteil kombinieren. Dabei ist auf einen optimalen Kompromiss beziehungsweise einer Kombination aus spezifischen und globalen Kennwerten zu achten, um die notwendige Genauigkeit und Robustheit zu garantieren. Auf diese Weise ist die Erstellung eines verlässlichen Analysetools zur akustischen Qualitätssicherung auf End-of-Line-Prüfständen sichergestellt.

Literatur

- [1] Fiebig, André; Genuit, Klaus: Hörversuche und Metrikentwicklung. In: Genuit, Klaus (Hrsg.): Sound-Engineering im Automobilbereich. Springer-Verlag, Berlin u. Heidelberg, 2010