

# Korrelation Verzahnungsgeräusch Getriebe zwischen Fahrzeug und EOL-Prüfstand

Randolf Arndt<sup>1</sup>, Eugen Baron<sup>2</sup>, Rüdiger Polacek<sup>2</sup>, Nils Krohn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> VEBAS e.U., A-8321 St. Margarethen, E-Mail: randolf.arndt@vebas.at

<sup>2</sup> VW AG Standort Kassel, 34219 Baunatal, E-Mail: eugen.baron@volkswagen.de

## Einleitung

Nachdem in den vergangenen Jahren Motoren- und Abrollgeräusch bei modernen PKW deutlich reduziert wurden, erlangte das Getriebegetöse eine erhöhte Bedeutung. Während ein spezielles Motorengeräusch als Sound teilweise besonders gewünscht wird, sollte Verzahnungsgeräusch durch das Getriebe möglichst nicht für die Fahrinsassen wahrnehmbar sein.

Am End-Of-Line-Prüfstand (EOL) wird daher jedes Getriebe in einen genau definierten Lastzyklus akustisch vermessen und aufgrund des Messergebnisses wird danach entschieden, ob das Getriebe so in ein Fahrzeug verbaut werden darf oder ob noch Nachbesserungen erforderlich sind.

Eine gute Korrelation zwischen dem Ergebnis der EOL-Messung des Getriebes und der subjektiven Bewertung des Getriebes im Fahrzeug ist dabei die Voraussetzung dafür, dass die Kunden nur Fahrzeuge erhalten, bei denen Getriebegetöse nicht störend ist. Reklamationen bezüglich Getriebeakustik gibt es seitens der Kunden selten, aber auffälliges Verzahnungsgeräusch führt zu einer Unzufriedenheit der Kunden und ist daher unbedingt zu vermeiden.

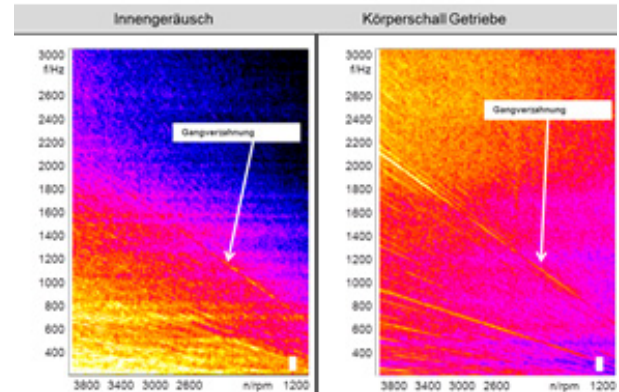
Damit einerseits dieses Ziel erreicht wird und andererseits auch die Prüfung so kurz und automatisiert ablaufen kann, dass dies wirtschaftlich umsetzbar ist, sind vielfältige Maßnahmen in der Adaption der EOL-Prüfung und umfangreiche vergleichende Untersuchungen im Fahrzeug erforderlich.

## Verzahnungsgeräusch im Fahrzeug

Getriebeverzahnungsgeräusch tritt im Innenraum störend auf, wenn zumindest eine der folgenden Voraussetzungen erfüllt ist:

1. Auslegung der Verzahnung aus akustischer Sicht nicht optimal
2. Fahrzeug besonders empfindlich bezüglich der Übertragung von Verzahnungsgeräusch
3. Verzahnung zwar akustisch gut ausgelegt, aber die Vorgaben werden in Produktion nicht eingehalten

Die ersten beiden Punkte sind Gegenstand der akustischen Entwicklungstätigkeit von Getriebe und Fahrzeug. Die Überwachung der Einhaltung der Vorgaben (siehe 3. Punkt) ist Aufgabe der Qualitätssicherung und Inhalt dieses Papers.



**Abbildung 1:** Luft- und Körperschall des Verzahnungsgeräusches im Fahrzeug

Im linken Teil von Abbildung 1 wird deutlich, dass das Verzahnungsgeräusch sich nicht durch besonders hohe Absolutpegel auszeichnet (das Motorgeräusch ist im Frequenzbereich unterhalb von 800 Hz dominant), sondern dadurch, dass im höheren Frequenzbereich ein deutlicher Abstand zum eher geringen Störgeräusch vorhanden ist.

Die Bereiche mit der Pegelüberhöhung im Innengeräusch (linkes Bild bei Abbildung 1) werden auch subjektiv als sehr störend empfunden.

Die Bereiche mit Überhöhungen und Störungen im Innengeräusch weisen auch Pegelüberhöhungen im Körperschall am Getriebe auf.

## Korrelation Fahrzeug ⇔ EOL-Prüfstand

Für den Abgleich zum EOL-Prüfstand können folgende Werte betrachtet werden:

1. Subjektive Bewertung im Fahrzeug
2. Innengeräuschmessung im Fahrzeug
3. Körperschallmessung Getriebe im Fahrzeug
4. Körperschallmessung Getriebe am EOL-Prüfstand
5. Einzahlkennwert Getriebe am EOL-Prüfstand

Abbildung 1 verdeutlicht, dass eine Korrelation subjektive Beurteilung im Fahrzeug ⇔ Innengeräuschmessung im Fahrzeug ⇔ Körperschallmessung am Getriebe im Fahrzeug gegeben ist (Punkte 1-3 obiger Liste).

Die folgenden Korrelationsuntersuchungen betreffen den Vergleich der Punkte 1 und 5 (subjektive Bewertung im Fahrzeug ⇔ Einzahlkennwert Getriebe am EOL-Prüfstand) betrachtet.

## Ausgangssituation EOL-Prüfstand

Am Ende des Produktionsprozesses des Getriebes erfolgt an einem Prüfstand (siehe Abbildung 2) eine Funktionserprobung eines jeden produzierten Getriebes. Zur Befestigung des Getriebes wird dabei das Getriebe automatisiert an einer Platte angepresst; die Lagerung ist also anders als später im Fahrzeug. Neben reinen Funktionstests (wie beispielsweise der Schaltbarkeit) werden dabei auch die akustischen Eigenschaften des Getriebes untersucht. Dazu werden spezielle Beschleunigungsaufnehmer (Luftschallmessungen sind wegen der Störgeräusche am Prüfstand ungeeignet) an das Getriebe angedrückt.



Abbildung 2: EOL-Prüfstand

In der Lastprüfung wird der gesamte Geschwindigkeitsbereich durchfahren, wobei alle Gänge geprüft werden. Die Ergebnisse aus Fahrzeugbeurteilungen und Fahrzeugmessungen führen zur Auswahl der jeweiligen Lastzustände und Drehzahlbereiche für die Akustikmessung. Die starken Einschränkungen hinsichtlich der Leistung der EOL-Prüfstände früherer Jahre bestehen bei aktuellen EOL-Prüfständen nicht mehr.

## Bewertung Akustikmessung (bisheriges Vorgehen)

Nach der Akustikmessung erfolgt automatisiert die Ermittlung der in den jeweiligen Gängen relevanten Ordnungen (jeweils über der Drehzahl), wobei meist neben den Gangverzahnungsordnungen noch deren obere Harmonische berücksichtigt werden. Von jeder dieser Messkurven erfolgt die Bestimmung des Mittelwertes oder auch des Maximalwertes (in dB), verbunden mit dem anschließenden Vergleich mit einem vorgegebenen Grenzwert. Teilweise dienen aus Grenzkurven als Beurteilungskriterium; dabei führt bereits eine Pegelüberschreitung an einer Drehzahlstützstelle zu einem n.i.O.-Ergebnis der Getriebebewertung. Wenn bei einer dieser Prüfungen das Getriebe als „akustisch n.i.O.“ bewertet wird, wird das Getriebe so nicht verkauft, sondern es kommt zur Nacharbeit (nach erfolgter Nacharbeit erfolgt eine erneute Akustikprüfung am EOL-Prüfstand).

## Korrelation EOL-Prüfung ↔ Akustikbewertung im Fahrzeug

Die Korrelationsuntersuchungen erfolgen in 2 Stufen:

### Stufe 1: Festlegen eines Messpunktes am EOL-Prüfstand

Die akustische Vermessung und Beurteilung mehrerer Getriebe unterschiedlicher akustischer Qualität in einem Fahrzeug ist der erste Schritt im Korrelationsprozess. Die Messgrößen sind dabei das Innengeräusch am Fahrerohr und der Körperschall an mehreren Positionen des Getriebes, wobei nur solche Stellen ausgewählt werden, wo auch später am EOL-Prüfstand eine automatisierte Sensorapplikation möglich ist. Im Rahmen der Korrelationsauswertung wird dann untersucht, bei welchem Körperschallmesspunkt die beste Korrelation zur subjektiven Bewertung auf Basis der Mittelwerte in den relevanten Ordnungen vorhanden ist. Die Korrelation erfolgt dabei gemäß VDA-Richtlinie 264 (Abbildung 3), bei der jeweils 2 „laute“ und 2 „leise“ Getriebe untersucht werden.

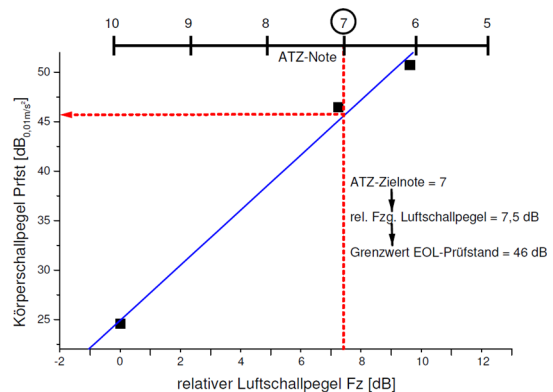


Abbildung 3: Prinzipdarstellung Grenzwertermittlung nach VDA-Empfehlung 264 (nach [1])

### Stufe 2: Korrelation EOL-Prüfstand ↔ subjektive Beurteilung im Fahrzeug

Genau nach dem gleichen Verfahren, wie unter Stufe 1 beschrieben, erfolgt schließlich auch die Korrelation zwischen EOL-Prüfstand und der subjektiven Bewertung im Fahrzeug, wobei hier dann anstatt der Körperschallmessungen im Fahrzeug nun die EOL-Messungen herangezogen werden.

Wenn bei der Korrelation ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt wird, erfolgt auf dieser Basis die Festlegung eines Grenzwertes für die EOL-Prüfung. Bei der Wahl des Grenzwertes muss darauf geachtet werden, dass einerseits nur i.O.-Getriebe ausgeliefert werden, aber andererseits darf die Grenze auch nicht „zu scharf“ sein, denn aus wirtschaftlichen Gründen, sollen auch keine Getriebe, die im Fahrzeug i.O. wären, noch einmal nachgearbeitet werden.

Bei nicht zufriedenstellender Korrelation in Stufe 2 werden aufgrund der fahrzeugrelevanten Erkenntnisse gegebenenfalls die am EOL-Prüfstand geprüften Drehzahlbereiche und

die untersuchten Lasten angepasst und danach erfolgen erneut die Untersuchungen gemäß Stufe 2.

## Gesamtbewertung bisheriges Vorgehen / Anforderungen an neues Verfahren

Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verwendung des Mittelwertes als Beurteilungskriterium einen entscheidenden Nachteil hat, der sich besonders bei Verzahnungsgeräuschen bei niedrigen Drehzahlen zeigte. Das typische Gangverzahnungsgeräusch nimmt ähnlich wie das sonstige Fahrzeuginnengeräusch mit zunehmender Drehzahl zu. Dies bedeutet, dass bei der Mittelwertbildung besonders die Pegel bei hohen Drehzahlen relevant sind. Da aber im Fahrzeug aber die Störgeräusche bei niedrigen Drehzahlen niedriger sind, kann es beispielsweise passieren, dass in einer Gangverzahnungsordnung im Schub bei 2000 rpm 40 dB(A) störend sind, wohingegen bei 5000 rpm 45 dB(A) sich als unauffällig herausstellen. Untersuchungen haben gezeigt, dass es teilweise Getriebe gibt, die nur in niedrigen Drehzahlbereichen akustisch auffällig sind. Solche Getriebe führten bisher bei der oben beschriebenen Analyseverfahren zu Beanstandungen im Fahrzeug (trotz i.O.-Prüfung am EOL-Prüfstand).

Diese Erkenntnisse waren der Anlass dafür, ein Verfahren zu entwickeln, das diese Mängel nicht aufweist.

## Beschreibung Verzahnungsakustikkennwert

Mit dem neuen Analyseverfahren wird ein Verzahnungsakustikkennwert (VAK) bestimmt:

1. Ergebnis ist Einzahlkennwert (wie auch Mittelwert)
2. Es wird eine drehzahlabhängige Referenzkurve für jede Ordnung definiert (siehe Abbildung 4). Diese Referenzkurven entsprechen einem akustisch sehr guten Getriebe (Note:9). Im Wesentlichen muss die Referenzkurve die allgemeine Drehzahlabhängigkeit des sonstigen Geräusches widerspiegeln; bisher wurden mit einfachen Referenzkurven (entsprechend Abbildung 5 gute Erfahrungen gemacht)
3. Es werden für jede Drehzahlstützstelle die Abstände zwischen Messkurve und Referenzkurve bestimmt (wenn Pegel an Messkurve niedriger als bei Referenzkurve wird Abstand an der Stelle =0 gesetzt).
4. Die Abstände werden quadratisch gemittelt und hohe Pegelüberhöhungen besonders stark zu gewichtet

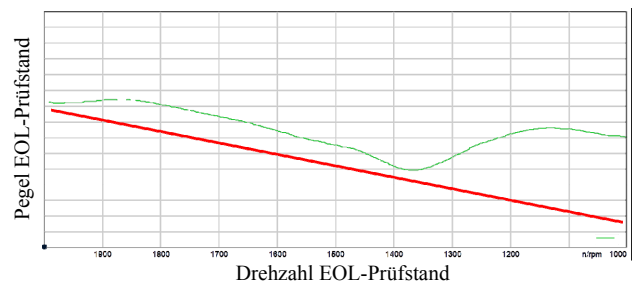


Abbildung 4: Messkurve (grün) und Referenzkurve (rot) für Verzahnungsakustikkennwert

Der so ermittelte VAK entspricht dem mittleren quadratischen Abstand der Messkurve von der Referenzkurve in dB.

Bei dem in Abbildung 4 gezeigten Beispiel ist im Fahrzeug im Schub das Getriebebesingen besonders bei ca. 1200 rpm störend. Bei der Mittelwertbildung würden aber die insgesamt höheren Pegel zwischen 2000 und 1700 rpm den Mittelwert besonders beeinflussen, während bei VAK durch den Abstand von der Messkurve zur Referenzkurve eine stärkere Gewichtung des im Fahrzeug kritischen Bereiches bei ca. 1200 rpm stärker zum Tragen kommt. Die zusätzliche Quadrierung der Abstände sorgt dann für eine zusätzliche Gewichtung besonders hoher Überhöhungen gegenüber der Referenzkurve

## Korrelation EOL-Prüfstand ⇔ Fahrzeug bei beiden Maßnahmen im Vergleich

Für den folgenden Korrelationsvergleich wurde ein Getriebe herangezogen, das im Falle von Beanstandungen vor allem bei niedrigen Drehzahlen im Schub im Fahrzeug auffällig ist. Anhand Abbildung 5 wird deutlich, dass die erwartete bessere Korrelation bei Verwendung des VAK auch aufgetreten ist.

Bei der Auswahl der Getriebe wurden die Erfahrungen auf Basis der Untersuchungen aus [2] berücksichtigt.

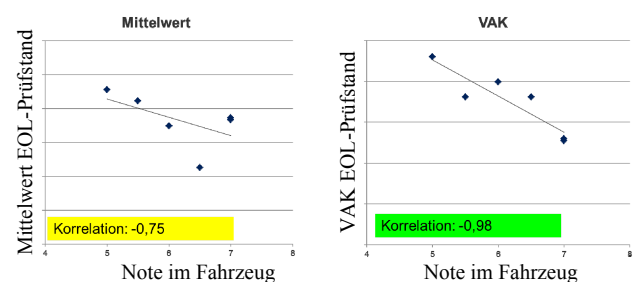


Abbildung 5: Korrelation im Vergleich: Mittelwert ⇔ VAK

Durch die erzielten Verbesserungen wird damit erreicht, dass noch besser als bisher am EOL-Prüfstand entschieden werden kann, welche Getriebe so direkt im Fahrzeug verbaut zu keinerlei Verzahnungsgeräuschbeanstandungen führen und welche nachgearbeitet werden müssen.

Neben den Verbesserungen in der Korrelation ergeben sich auch Vereinfachungen in der Anwendung, denn je nach Anwendungsfall waren bisher teilweise Kombinationen von „Mittelwert“, „Maximalwert“ und „Referenzkurve“ im

Einsatz. Durch den Verzahnungsakustikkennwert und die damit verbundenen Referenzkurve und die quadratische Gewichtung des Abstandes wird das subjektive Empfinden so gut nachgebildet, dass dieses Verfahren nun als alleiniges im Einsatz ist. Dies führt damit nicht nur zu besseren Ergebnissen sondern auch zu einer schnelleren Entwicklung des passenden Grenzwertes.

### **Zusammenfassung / weiteres Vorgehen**

Das beschriebene Verfahren wurde bisher bei mehreren Getrieben erprobt und führte stets zu Verbesserungen in der Korrelation zwischen EOL-Prüfstand und Fahrzeug und damit auch in der Folge zu mehr Kundenzufriedenheit.

Das Verfahren wird nun bei VW Kassel bei allen neu entwickelten Getrieben von Anfang an angewandt und bei bereits in Serie befindlichen Getrieben erfolgt sukzessive eine Umstellung auf die Auswertung mittels Verzahnungsakustikkennwert (VAK)

### **Literatur**

- [1] Verband der Automobilindustrie e.V.: VDA-Empfehlung 264, Frankfurt, 2003
- [2] Krohn, N., Krauß, J., Friedrich, H.: Anwendungserfahrungen mit der VDA 264-Empfehlung – Korrelation und akustische Abstimmung von Getriebeprüfständen mit dem Fahrzeug, ATZ/MTZ-Konferenz, Stuttgart, 2008