

# Experimentelle Quantifizierung von Rädertriebs- und Kolbenschlaggeräuschanteilen von Verbrennungsmotoren

R. Arndt\*, A. Rust \*\*, H. Priebsch\*, D. Prezel \*

\*Akustikkompetenzzentrum, \*\*AVL List GmbH, Graz; Email: [randolf.arndt@accgraz.com](mailto:randolf.arndt@accgraz.com)

## 1 Einleitung

Durch die Entwicklung akustisch verbesserter Verbrennungsverfahren (z.B.: Common Rail) wird das bisher meist dominierende Verbrennungsgeräusch bei Dieselmotoren weiter reduziert. Damit erhalten die mechanischen Geräuschanteile eines Verbrennungsmotors eine erhöhte Bedeutung.

Dies war Anlaß für ein Forschungsprojekt zur Minderung der Geräuschabstrahlung von Motoren in Zusammenarbeit zwischen dem ACC und der AVL List GmbH. Es dabei war ein experimentelles Verfahren zur Quantifizierung der Geräuschanteile von Rädertrieb und Kolbenschlag zu entwickeln.

## 2 Kolbenschlag

### 2.1 Beschreibung des Phänomens

Der Kolbenschlag tritt durch den Anlagewechsel des Kolbens nach Zünd OT (ca. 5-10 Grad danach) als impulshaltige Kraftanregung auf:

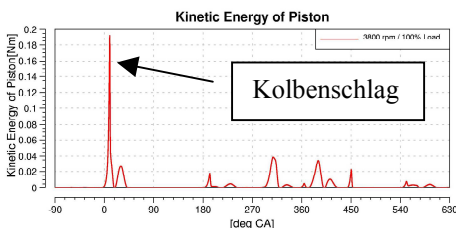


Abbildung 1: Berechnungsergebnisse Kolbenschlag mit MKS

Basierend auf errechenbaren Anregungszeitpunkten (z.B. mittels Software AVL Glide) läßt sich die Position, an der der Kolben den Zylinder und damit das Kurbelgehäuse anregt, bestimmen [1].

### 2.2 Verfahrens zur Quantifizierung

Die Impulshaltigkeit bedingt eine breitbandige Anregung im Frequenzbereich. Deshalb ist der Einsatz frequenzbasierter Verfahren (wie beispielsweise Ordnungsanalysen) hier nicht zielführend.

Zur Quantifizierung des Kolbenschlaganteils werden daher Analysen im Zeitbereich eingesetzt, wobei zusätzlich noch die Impulshaltigkeit berücksichtigt wird. Weiters wird noch die Tatsache ausgenutzt, daß Zylinderkurbelgehäuse weitgehend lineares Übertragungsverhalten haben.

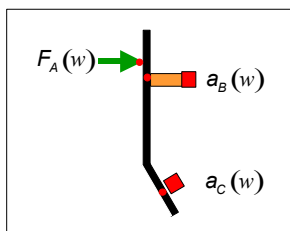


Abbildung 2: Schematische Darstellung von Kolbenschlaganregung und Beschleunigungsmesspunkten im Kurbelgehäuseschnitt

Zur Analyse wurden neben den in Abbildung 2 gezeigten Meßpositionen eine Reihe weiterer Meßpunkte verwendet. Aufgrund der

Linearität im Übertragungsverhalten wird im Vorfeld an allen Körperschallmeßpunkten unter Impulshammeranregung an der Kolbenschlagstelle die Übertragungsfunktion gemessen.

$$a_{C(Motor)}(w) = F_{A(Motor)}(w) \times FRF_{a_C/F_A}(w) \quad \text{eq. 1}$$

Hierauf wird die Kraft bei laufendem Motor mittels der zugleich gemessenen Beschleunigungen und der vorab gemessenen Übertragungsfunktion unter Impulsanregung bestimmt (eq.2)

$$F_{A(Motor)}(w) = a_{B(Motor)} / FRF_{a_B/F_A}(w) \quad \text{eq. 2}$$

Um die Impulshaltigkeit des Kraftsignals auszunutzen, wird zuerst die Gleichung 2 in den Zeitbereich umgeformt (eq.3).

$$F_{A(Motor)}(t) \hat{=} IR_{a_B/F_A}(t) = a_{B(Motor)}(t) \quad \text{eq. 3}$$

Aus dem Motorbetrieb resultierende überlagerte Anteile werden aus dem berechneten Zeitverlauf eliminiert, so daß der idealisierte Impuls ersichtlich ist.

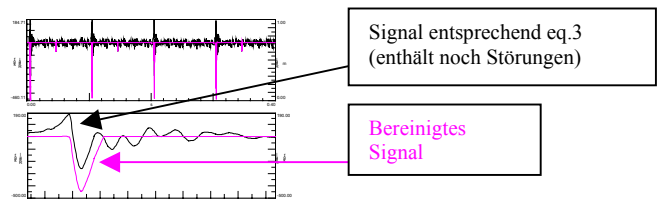


Abbildung 3: Bereinigung des berechneten Kraftsignals

### 2.3 Verifikation des Verfahrens

Die Überprüfung der Gültigkeit der Methode erfolgte an einem Motorblock, der an der Zylinderbuchse an der Stelle des Kolbenschlags nach Zünd OT mit einem Impulshammer angeregt wurde. Die Beschleunigungen wurden an verschiedenen Punkten der Motorstruktur gemessen.

Anschließend wurde der Impulsanregung eine Shakeranregung (weißes Rauschen) überlagert, die das restliche Motorgeräusch ersetzt. Mit Hilfe des unter 2.2 beschriebenen Quantifizierungsverfahrens wurde der Anteil der Impulsanregung neu berechnet

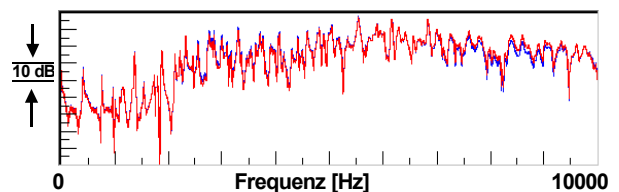


Abbildung 4: Beschleunigungen an der Struktur infolge Impuls an der Zylinderbuchse mit (blau) und ohne überlagerter Störregung (rot)

Die Übereinstimmung zwischen Beschleunigungen bei Impulsanregung allein und quantifizierten Beschleunigungen infolge Impulsanregung bei überlagerter Störregung (Shaker) bestätigte, daß das Verfahren auch am gefeuerten Motor einsetzbar ist.

### 3 Rädertrieb

#### 3.1 Beschreibung des Phänomens

Das Rädertriebsgeräusch wird durch Drehungleichförmigkeit des Motors einerseits und durch Drehmomentschwankungen in Zusatztrieben (Einspritzung, etc.) andererseits hervorgerufen. Die ungleichförmige Drehbewegung überträgt sich auf den Rädertrieb. Dabei kommt es infolge von Flankenwechseln im Zahnspiel zu impulsartigen Anregungen.

Im Gegensatz zum Kolbensschlag tritt diese Anregung (stochastisch) zu sehr vielen Zeitpunkten auf.

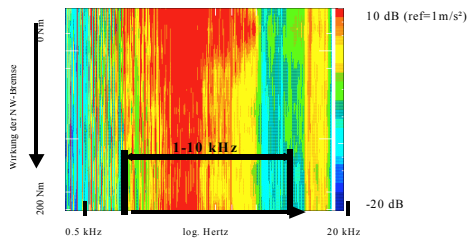


Abbildung 5: Wirkung eines externen konstanten Zusatzmomentes auf das Rädertriebsgeräusch (Körperschall), Variation 0 bis 200 Nm

In einem Test wurde die Wirkung einer externen Bremse am Nockenwellenrad untersucht, deren konstantes Moment (einstellbar zwischen 0 und 200 Nm) die Drehungleichförmigkeit und damit das Rädertriebsgeräusch deutlich reduziert. Abbildung 5 zeigt, daß die Reduktion mit steigendem Bremsmoment zunimmt.

#### 3.2 Verfahren zur Quantifizierung

Das entwickelte Verfahren nutzt aus, daß durch Reduktion der Drehungleichförmigkeiten der Zahnräder im Antrieb die Anregung im Flankenspiel so weit reduziert wird, daß es Bereiche am Motor gibt, wo kein Rädertriebsgeräusch mehr durch Körperschallsensoren meßbar ist, sondern nur das übrige Geräusch des Motors (hier als Grundgeräusch bezeichnet, Schema in Abbildung 6).

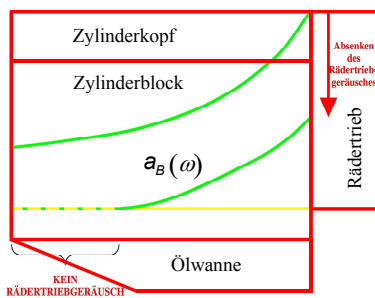


Abbildung 6: Prinzipbild zur Ermittlung des Grundgeräusches

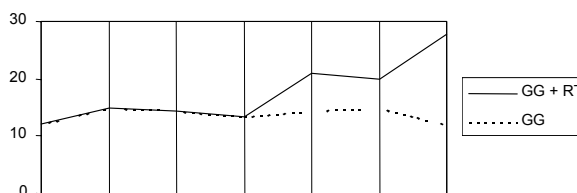


Abbildung 7: Körperschall über Motorlänge: Verlauf von Gesamtgeräusch (GG + RT) und als symmetrisch angenommenem Grundgeräusch (GG)

Unter der Annahme, daß diese Grundgeräuschverteilung am Motors symmetrisch zur Motormitte ist, erhält man die Grundgeräuschkurve (GG) der Abbildung 7. Den Rädertriebsgeräuschanteil bildet man dann durch Differenzbildung aus beiden Kurven.

### 4 Berechnen des Luftschallanteils beim Kolbensschlag und Rädertriebsgeräusch

Nach den in den Abschnitten 2 und 3 beschriebenen Verfahren sind die Geräuschanteile an Körperschallmeßpunkten ermittelt worden.

Zur Bestimmung der Luftschallanteile werden als erstes die Geräuschanteile über eine Motorfläche bestimmt. Dazu erfolgt eine Mittelung über mehrere Punkte einer Motorseite. Zusätzlich wird der Luftschall jeweils in 1 m Abstand von den einzelnen Motorflächen bestimmt.

Unter der vereinfachenden Annahme, daß der Abstrahlgrad aller Punkte je Seite gleich ist, kann so der Luftschallanteil in 1 m Abstand je Motorseite bestimmt werden.

Durch eine Mittelung über alle Flächen erhält man dann den jeweiligen Geräuschanteil für den gesamten Motor.

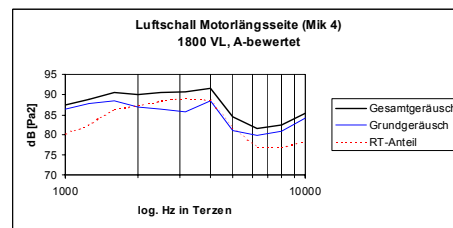


Abbildung 8: Luftschallanteil Rädertriebsgeräusch

Als Beispiel wird der ermittelte Luftschallanteil des Rädertriebsgeräusches in Abbildung 8 gezeigt.

### 5 Zusammenfassung

Es wurden Verfahren beschrieben, die es erlauben, die Anteile des Rädertriebes und des Kolbenschlages am Motorgesamtgeräusch meßtechnisch zu bestimmen. Derzeit sind die Verfahren noch nicht automatisiert, aber eine Anwendung im Rahmen von Entwicklungsprojekten ist möglich. In Zusammenarbeit zwischen AVL und ACC wird an einer weiteren Verfeinerung der Verfahren gearbeitet.

Prinzipiell sind die Verfahren zur Quantifizierung von Geräuschanteilen auch auf andere mechanische Geräusche übertragbar.

#### Literatur

[1] Offner, G.; Herbst, H.M.; Priebsch, H.H.: A Methodology to Simulate Piston Secondary Movement under Lubricated Contact Conditions, SAE Congress, Detroit, 2001

#### Danksagung

Die Arbeiten wurden durch das österr. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen der Initiative der industriellen Kompetenzzentren, durch das Land Steiermark, die steirische Wirtschaftsförderung und die Stadt Graz gefördert.