

# Sound-Engineering an Motorrädern

Dirk Grundke, Wolfgang Foken; Westsächsische Hochschule Zwickau (FH)  
 Guido Bau, MZ Engineering GmbH, Zschopau-Hohndorf

## Einleitung

Motorrad-Sound – heute ein wesentliches Kriterium zur Entscheidung über den Kauf eines (welchen?) Motorrads – emotional heiß diskutiert in Biker-Kreisen – mit Begriffen belegt wie “satt” oder “kernig” – ist gegenwärtig in der Wissenschaft der Technischen Akustik noch eine Karte mit einigen weißen Flecken. Die Erwartungshaltung der potentiellen Käufer an den Motorrad-Sound ist abhängig von der Art der favorisierten Modellgruppe (Chopper, Cruiser, Sportler) über Motoren-Bauformen bis hin zu Unterschieden in den Hubraumklassen. Diesen Erwartungshaltungen zu entsprechen, ist Ziel des Sound-Engineerings.

Um Sound-Engineering effektiv zu betreiben, ist einerseits das Wissen um die physikalischen Vorgänge (Anregungs-, Übertragungs- und Abstrahlmechanismen) der akustisch relevanten Baugruppen (Ansaug- und Auspuffanlage, Motormechanik) vonnöten, andererseits sind die Erwartungshaltungen der potentiellen Käufer hinsichtlich eines erwünschten “Ziel-Sounds” zu objektivieren. Die konstruktive Umsetzung von Sound-Zielgrößen bedingt eine durchgehende Simulation der geräuschrelevanten Vorgänge innerhalb (Anregung, Übertragung) und außerhalb (Abstrahlung) der Hauptschallquellen und deren meßtechnische Verifikation. Entsprechende Simulationsprogramme werden z.Zt. entwickelt und mit dem Ziel erweitert, diese in CAD-Anwendungen einzubinden.

Sound-Zielgrößen zu objektivieren bedingt sowohl die – möglichst gehörgerechte – Aufnahme von Motorrad-Geräuschen der verschiedensten Motorrad-Klassen als auch die Durchführung von Feldversuchen mit nach demografischen Gesichtspunkten auszuwählenden Personen und Personengruppen, die ein Ranking des Sounds von Motorrädern gleicher Bauart vornehmen. Im Ergebnis sind Wichtungen von Geräuschkenngrößen zu ermitteln, die bestimmten – noch zu formulierenden – Sound-Attributen am besten entsprechen (z.B. “sportlich”, “kraftvoll” usw.). Im folgenden sind die genannten Wege und Verfahren detailliert dargestellt.

## Rechnergestützte Konstruktion - Simulation

Die rechnergestützte Konstruktion mit dem Teilziel der Umsetzung von Sound-Zielgrößen beinhaltet erstens die Simulation der geräuschrelevanten Vorgänge (Erstellung eines mathematischen Modells und programmtechnische Umsetzung), zweitens die meßtechnische Verifikation der Modelle und drittens Optimierungsrechnungen.

Gegenwärtig werden am Forschungs- und Transferzentrum (im folgenden FTZ) der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) (im folgenden WHZ) mathematische und programmtechnische Modelle zu geräuschrelevanten Vorgängen in Motorrad-Hauptschallquellen in Zusammenarbeit mit der MZ-Engineering GmbH entwickelt. Eine programmtechnische Umsetzung des mathematischen Modells beispielsweise zu mechanischen Geräuschen infolge der Interaktion spielbehafteter Bauteile im Kurbel- und Ventiltrieb erfolgte im Rechenprogramm “MecNoise”. Dieses Programm ermöglicht Optimierungsrechnungen mit Darstellung der entsprechenden Kraftwirkungen (siehe Abbildung 1) bzw. der resultierenden akustischen Wirkungen einer oder mehrerer Bauteilmodifikationen (siehe Abbildung 2).

Das mathematische bzw. programmtechnische Modell von “MecNoise” wird gegenwärtig im Sinne einer durchgehenden Simulation geräuschrelevanter Vorgänge um folgende Module bzw. Parameter erweitert:

- Erweiterung auf Mehrzylindermotoren,
- Einbindung Arbeitsprozeßrechnung,

- Einbindung von FEM/BEM-Systemen zur Berechnung des Schallübertragungs- und -abstrahlverhaltens von Gehäusestrukturen,
- CAD-Anbindung.

Die aufgeführten Arbeitsschritte stellen in ihrer Reihenfolge auch den zeitlichen Ablauf der Arbeiten dar. Desweiteren werden Simulationen der geräuschrelevanten Vorgänge in Ansaug- und Abgasanlage erstellt. Verifikationen der erstellten Simulationen werden beispielhaft nachfolgend vorgestellt.

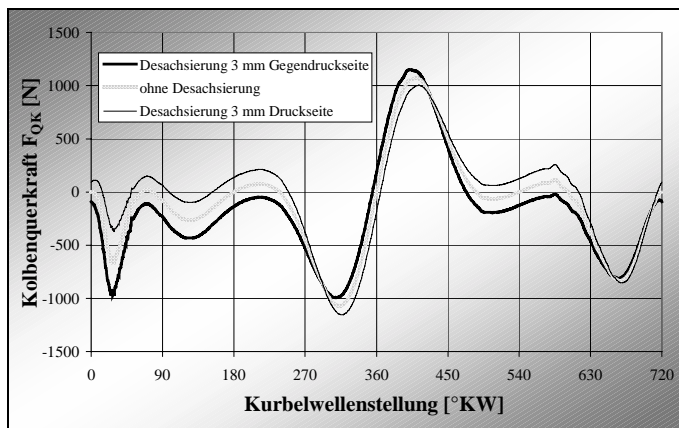


Abbildung 1: Verlauf Kolbenquerkraft bei Desachsierung Kolbenbolzen

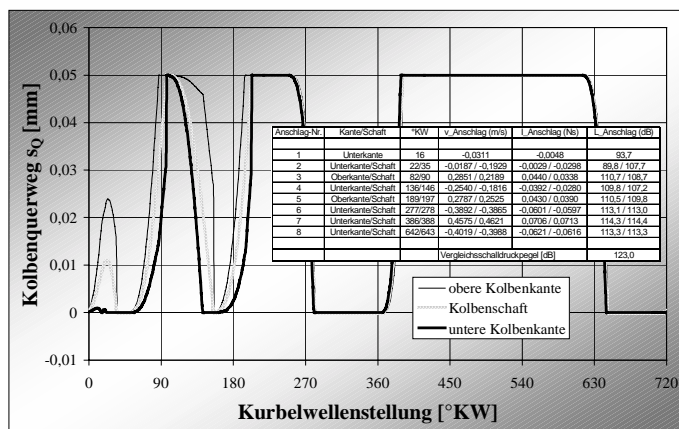


Abbildung 2: Verlauf Kolbenquerweg und zugehörige Anschlagtabelle

## Verifikation

Gegenwärtig werden am FTZ der WHZ verifizierende Messungen zur mechanischen Anregung der Motorstruktur infolge spielbehafteter Bewegungen des Kurbel- und Ventiltriebs einerseits (siehe o.g. mathematisches und programmtechnisches Modell) und Luftschallabstrahlung andererseits auf dafür konfigurierten Motorenprüfständen vorgenommen. Als Versuchsmotor ist dabei ein 125 cm<sup>3</sup> – Einzylinder- Viertaktmotor im Einsatz. Sensorik zur Aufnahme von relevanten physikalischen Größen wurde appliziert.

Mit der dargestellten Meßkonfiguration lassen sich erstens Messungen zur Verifikation der durch das Programm “MecNoise” berechneten Zielgrößen (z.B. Anschläge bzw. Verlagerungen von Bauteilen) durchführen, zweitens werden Eingangsparameter für das Rechenprogramm ermittelt (z.B. Zylinderdruckverlauf). Beispielfhaft sind die Ergebnisse der Messungen in Abbildung 3 dargestellt.

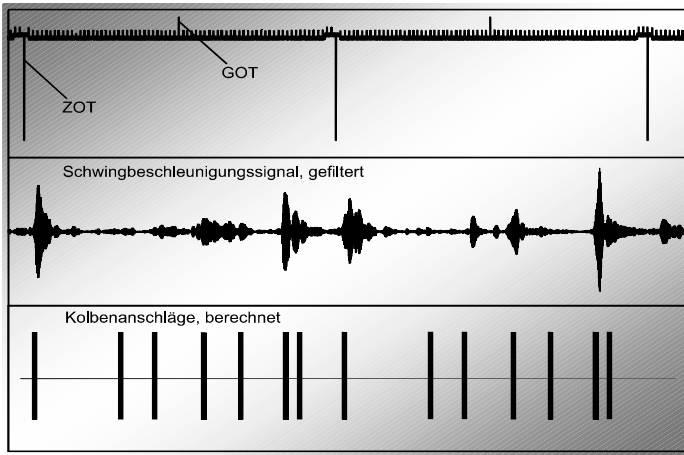


Abbildung 3: Schwingbeschleunigungssignale Kolbenanschläge

### Optimierung

Mit der erfolgreichen Verifikation der mathematischen bzw. programmtechnischen Modelle sind Optimierungsrechnungen der schalltechnisch relevanten Baugruppen möglich. Bei Variation von konstruktiven und betriebstechnischen Kenngrößen des jeweiligen Motors sind Veränderungen des Anregungs-, Übertragungs- und Abstrahlverhaltens z.B. der Motormechnik zu prognostizieren. Dies verkürzt den Entwicklungsaufwand hinsichtlich der Geräuschreduktion (bzw. des angestrebten Sound-Designs) erheblich. Die konstruktive Umsetzung der rechnerisch optimierten Teilschallquellen erfolgt durch (beabsichtigte) CAD-Anbindungen der Simulationsprogramme. Dabei sind weitere Randbedingungen z.B. der Motorenentwicklung hinsichtlich der Zielgrößen (Leistungsparameter, Schadstoffemission usw.) und der unweigerlich auftretenden Zielkonflikte bereits in der Konstruktionsphase zu erkennen. Bestimmte Zielkonflikte zwischen Geräuschminderung, Sound-Design und weiteren Zielgrößen sind somit in kürzerer Zeit mit geringerem (vor allem versuchstechnischem) Aufwand lösbar.

### Ermittlung Sound-Zielparameter

Als Bestandteil des Sound-Engineerings hat das Sound-Design das Ziel, das Geräusch (den Sound) von Motorrädern der Erwartungshaltung des potentiellen Kunden anzupassen. Neben Simulationen zur Erkenntnisgewinnung über die relevanten physikalischen Vorgänge ist es daher notwendig, die Erwartungshaltung des potentiellen Kunden zum Motorrad-Sound mittels objektiver Parameter zu formulieren. Dabei wird der im folgenden beschriebene Weg beschrritten. Der erste Schritt zur Objektivierung von Sound-Zielgrößen stellt die gehörgerechte meßtechnische Erfassung von Motorradgeräuschen unter den in Tabelle 1 aufgeführten Kenngrößen und Randbedingungen dar.

Tabelle 1: Auswahl-Parameter bei gehörgerechten Messungen von Motorrad-Geräuschen

gehörgerechte Geräuscherfassung in Abhängigkeit von ...	
<b>Motorradart:</b>	Cruiser, Chopper, Tourer, Sporttourer, Sportler, Enduro, Reiseenduro, Naked Bike, Funbike
<b>Hubraumklasse:</b>	bis 125 cm <sup>3</sup> , bis 500 cm <sup>3</sup> , bis 750 cm <sup>3</sup> , bis 1000 cm <sup>3</sup> , über 1000 cm <sup>3</sup>
<b>Geräuschart:</b>	Vorbeifahrtgeräusch, Leerlauf-Standgeräusch

Der zweite Schritt beinhaltet die Erarbeitung von objektiven Kriterien zur Beurteilung der Sound-Qualität von gegenwärtig auf dem Markt existierenden Motorrädern. In Tabelle 2 sind die dazu notwendigen Arbeitsschritte aufgeführt.

Tabelle 2: Kriterien zur Sound-Qualität von Motorrädern

gehörgerechte Geräuschwiedergabe und Ranking	
<b>Erarbeitung von Ranking-Software</b>	Möglichkeit des online-rankings (in Abhängigkeit von Motorradart, ...); Möglichkeit von komfortablen Bedienfunktionen (Wiederholungen, Gegenüberstellungen, etc.)
<b>Auswahl Probanden</b>	Zielgruppen definieren; Probanden auswählen
<b>Durchführung Ranking-Versuch</b>	gehörgerechte Wiedergabe von Motorradgeräuschen (in Abhängigkeit von Motorradart,...); online-ranking durch Probanden
<b>Erarbeitung von Kriterien zur Soundqualität</b>	Versuchsauswertung; statistische Analyse (Anzahl Probanden, Korrelationen); Kriteriendefinition (in Abhängigkeit von Motorradart, Hubraumklasse, Geräuschart); Zuordnung typischer Sounds

Der dritte Schritt innerhalb der Sound-Design-Untersuchungen beinhaltet die Formulierung von objektivierten Sound-Zielgrößen. An dieser Stelle findet die Verknüpfung von durch Simulationen analytisch gewonnenen Erkenntnissen zu akustisch relevanten physikalischen Vorgängen mit den Erkenntnissen zur Soundqualität von Motorrädern statt. Tabelle 3 zeigt die Vorgehensweise und die Randbedingungen der durchzuführenden Untersuchungen.

Tabelle 3: Ermittlung von motorradspezifischen Sound-Zielgrößen

Ziel: Motorrad- (und Marken?-) spezifischer Sound	
<b>Untersuchungen zur Soundspezifisch verschiedener Baugruppen</b>	Ansauggeräusch; Auspuffgeräusch; mechanische Geräusche (Primär- und Sekundärtrieb, Kurbeltrieb, Ventiltrieb, periphere Aggregate) unter Einbeziehung von Simulationsprogrammen (z.B. „MecNoise“)
<b>Erarbeitung Sound-Zielgrößen</b>	künstlicher Ziel-Sound des Gesamtmotorrades in Abhängigkeit der Motorradart, Hubraumklasse, Motorbauart, Geräuschart; künstlicher Ziel-Sound der Baugruppen; Wichtung der Teilschallquellen; Wertung des Sound-Änderungspotentials
<b>Untersuchungen zur technischen Umsetzbarkeit des Baugruppen-Ziel-Sounds</b>	Geräuschuntersuchungen bei Variation von konstruktiven und betriebstechnischen Parametern der einzelnen Baugruppen; Möglichkeiten und Grenzen der Variationen

### Konstruktive Umsetzung

Die konstruktive Umsetzung der rechnerisch optimierten Teilschallquellen erfolgt wiederum durch CAD-Anbindungen der Simulationsprogramme. Mit dem Wissen um Sound-Effekte bei Änderung von konstruktiven und betriebstechnischen Kenngrößen z.B. der Motormechnik und dem Wissen um gewünschte Ziel-Sounds bestünde nunmehr die Möglichkeit, entsprechende Modifikationen am Motorrad bereits in der Konstruktionsphase vornehmen zu können.