

## Getriebe- und Systemakustik

Dr. Harald Naunheimer<sup>1</sup>,

Dr. Thomas Bischof<sup>2</sup>, Dieter Doberauer<sup>3</sup>, Norbert Inerle<sup>4</sup>,  
Axel Mors<sup>5</sup>, Tobias Vöhringer<sup>6</sup>, Uwe Zeisberger<sup>7</sup>

ZF Friedrichshafen AG 88038 Friedrichshafen,

<sup>1</sup> [harald.naunheimer@zf.com](mailto:harald.naunheimer@zf.com),

<sup>2</sup> [thomas.bischof@zf.com](mailto:thomas.bischof@zf.com), <sup>3</sup> [dieter.doberauer@zf.com](mailto:dieter.doberauer@zf.com), <sup>4</sup> [norbert.inerle@zf.com](mailto:norbert.inerle@zf.com),

<sup>5</sup> [axel.mors@zf.com](mailto:axel.mors@zf.com), <sup>6</sup> [uwe.zeisberger@zf.com](mailto:uwe.zeisberger@zf.com), <sup>7</sup> [tobias.voehringer@zf.com](mailto:tobias.voehringer@zf.com)

### Einleitung

Die Geräuschminderung ist ein wichtiges Ziel der Entwicklung von Kraftfahrzeugen. Fahrzeuggeräusche beeinflussen nicht nur das Wohlbefinden und die Gesundheit von Fahrer und Fahrgästen, auch die Umwelt wird vom Verkehrslärm beeinträchtigt. Das Erreichen eines optimalen NVH-Verhaltens der Komponenten und Systeme der Antriebs- und Fahrwerktechnik ist daher eine wesentliche Aufgabe.

### Geschichte

Bereits die Firmengründung der ZF Friedrichshafen AG 1915 hatte einen akustischen Anlass. Bei den Zeppelin-Luftschiffen war eine Geräuschoptimierung notwendig. Ziele der Entwicklung von Luftschiffgetrieben waren:

- Optimale Drehzahlanpassung Motor – Propeller
- Zuverlässige Leistungübertragung
- **Laufruhe**

Im Automobilsektor brachte das Aphon-Getriebe den Erfolg:



Abbildung 1: Aphon-Getriebe von 1929.

Die hohe **Laufruhe** dieses ersten schrägverzahnten Getriebes konnten Kunden ab 1929 in hochpreisigen Automobilen erleben. Die wesentlichen Merkmale zur Laufruhe:

- Geschliffene Verzahnungen
- Einzellagerung der Zahnräder
- Schrägverzahnung

In einem Film aus den 30er Jahren formulierte der Sprecher das Ziel der Getriebeakustik, das bis heute Gültigkeit hat wie folgt: „Das Getriebe verrichtet seine Arbeit im Fahrzeug. Und die beste Arbeit ist die, von der man nichts hört.“

### Fokus: Komfort und Umwelt

In gleichem Maße wie die Komfortansprüche des Autofahrers steigen, müssen störende Geräusche aus dem Fahrambiente beseitigt werden. Komfort im Pkw-Innenraum bedeutet daher nicht *Sound Design*, sondern *Sound Cleaning*.

Die aktuellen Herausforderungen der Systemakustik beschränken sich jedoch keineswegs auf den Pkw-Innenraum. Im Zuge des Lärmschutzes werden die EU-Vorbeifahrt-Geräuschgrenzwerte kontinuierlich abgesenkt – das macht eine gezielte Geräuschoptimierung aller Teilschallquellen insbesondere bei Nutzfahrzeugen notwendig.

### Anforderungen an die Getriebeentwicklung:

Die Getriebeentwicklung ist, speziell was Akustik-Anforderungen angeht, von Anfang an gekennzeichnet von Zielkonflikten, die (Kompromiss-) Lösungen erfordern:

#### Entwicklungsziel

#### Zielkonflikte

Verzahnung: extreme Laufruhe ⇔ hohe Lebensdauer

Gehäuse: steif und massiv ⇔ Leichtbauweise

Drehz.: geringes Drehzahlniveau ⇔ hohe Leistungsdichte

Kosten: Akustikmaßnahmen ⇔ kostengünstige Lösung

### Von der Getriebe- zur System-Akustik

In beiden Aufgabenfeldern, Innen- wie Außengeräusch, wird der gleiche methodische Weg verfolgt. Es beginnt bei der FE- und MKS-Simulation im frühen Getriebedesign-Stadium. Getriebe-Prototypen werden danach auf dem Prüfstand untersucht. Dann folgt der Ergebnisabgleich Messung – Rechnung. Der Übergang zur Systemakustik erfolgt unter Berücksichtigung der Systeminformationen (Betriebsbedingungen, Übertragungseigenschaften, usw.). Dies ist von hoher Bedeutung für die Bewertung der akustischen Zielsituation des Fahrzeugs

- Fahrer-/Mitfahrer-Ohr
- Mikrophon in 7,5m Abstand

**Getriebe**

Die Getriebeakustik orientiert sich an der Grundgleichung der Maschinenakustik nach Prof. Kollmann:

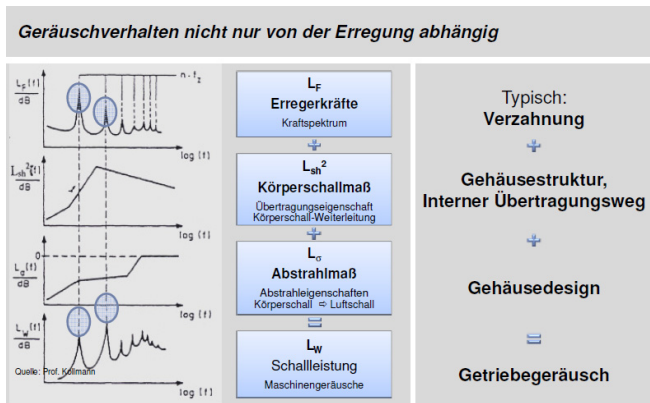


Abbildung 2: Maschinenakustische Grundgleichung.

Auf dem Weg von den vielen und noch dazu gleichzeitig arbeitenden Geräuscherregern (typisch Zahneingriffe) geht es weiter über viele verschiedene Übertragungswege (Pfade) zu den Schnittstellen in das Gesamtsystem (Fahrzeug):

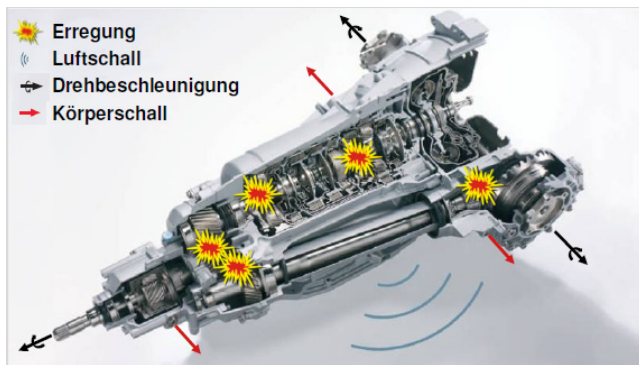


Abbildung 3: Übertragungswege.

Zentrale Frage hierbei ist: Was ist relevant? Dominiert Luftschall oder Körperschall oder Drehbeschleunigung oder spielen alle Pfade mit unterschiedlichen Prioritäten in diesem Übertragungskonzert mit?

**Fahrzeug Innengeräusch**

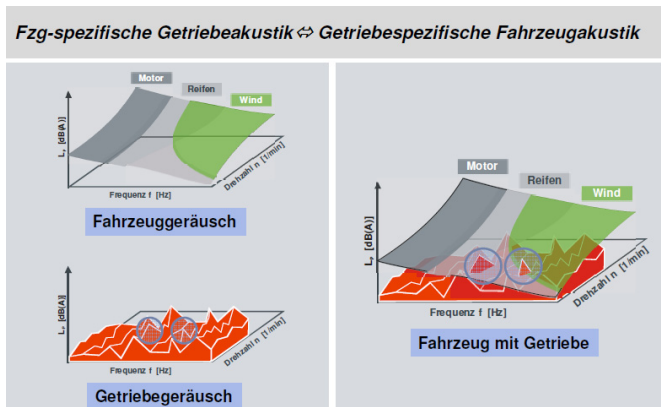


Abbildung 4: Systemakustik – Innengeräusch, Pkw

Das System Fahrzeug und dessen Konstruktion trägt mit seinem „Innen-Geräuschteppich“ entscheidend zur Wahrnehmbarkeit oder besser Nicht-Wahrnehmbarkeit von Getriebegeräuschen bei. „Maskierung“ oder „Deckendurchstoß“ entscheidet über Wahrnehmbarkeit oder Nicht-Wahrnehmbarkeit von Getriebegeräuschen.

**Fahrzeug Außengeräusch**

Das Getriebe befindet sich im System Fahrzeug beim Lkw an einer akustisch ungünstigen Stelle: Es hängt frei zugänglich im Antriebsstrang und ist nur wenig nach außen abgeschirmt durch ein dämmendes Karosseriekleid. Zudem hat der Motor eine dominierende Rolle in der Antriebsstrang-Geräuscherregung und benutzt das Getriebe als „Lautsprecher“.

Umso mehr kommt der Berücksichtigung der akustischen Anforderungen vom Konzept bis zur ausgeführten Konstruktion eine hohe Bedeutung zu.

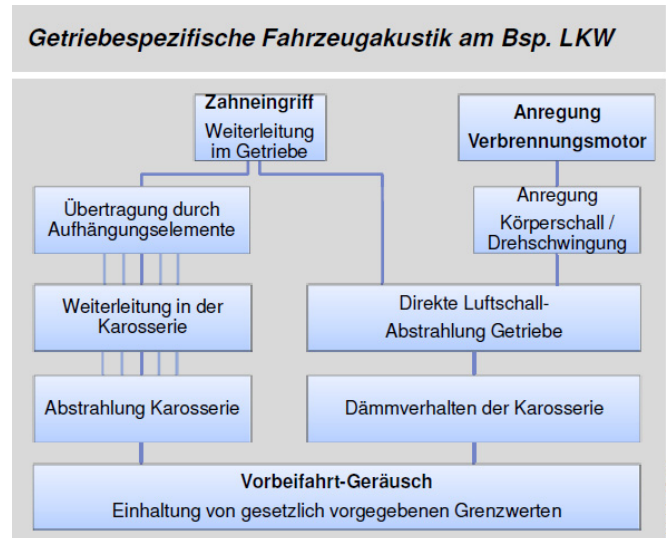


Abbildung 5: Systemakustik – Außengeräusch, Lkw.

**System-Akustik zwischen Kunde und Lieferant**

Akustik ist keine Domäne der Akustiker, sondern eine interdisziplinäre Ingenieursaufgabe. Dies gilt sowohl für die Getriebeakustik im Zusammenspiel von Verzahnungsauslegung, Konstruktion, Versuch und Berechnung, als auch für die Zusammenarbeit zwischen Zulieferer und Fahrzeughersteller. Die Optimierung kann nur im System gelingen.

**Zusammenfassung**

Die Systembetrachtung ist für die Getriebeakustik unabdingbar. Alleine durch Verzahnungsoptimierung und Getriebeanpassungen sind die Anforderungen an niedrige Geräuschniveaus nicht zu erreichen. Durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs kommen neue Herausforderungen auf die Getriebe- und Systemakustik zu.

Die gezeigte Systematik ist auf andere Anwendungsfälle übertragbar. Das gilt bspw. für Getriebe von Windkraftanlagen. Das bietet Möglichkeiten Synergien zu nutzen und Know-How zu bündeln. Getriebe- und Systemakustik bleiben auch in Zukunft bedeutende Innovationsgebiete.