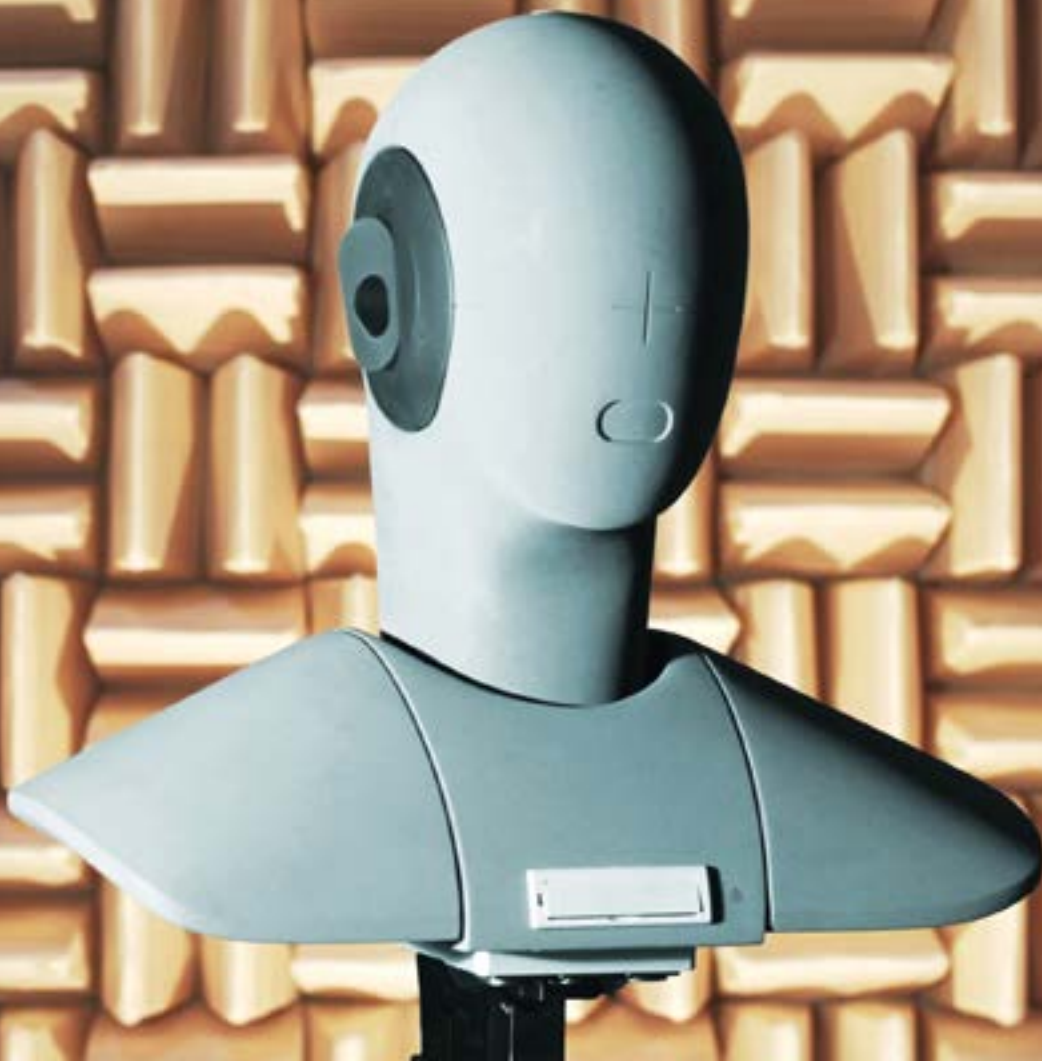


TECHNISCHE AKUSTIK





TECHNISCHE AKUSTIK – SO KLINGT ZUKUNFT

Die Technische Akustik ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die sich mit den mathematischen und physikalischen Grundlagen der akustischen Phänomene von Schallentstehung, -erzeugung und -ausbreitung sowie der Beeinflussung von Schall in unterschiedlichen Medien beschäftigt. Dabei spielt neben der eigentlichen Analyse von Schallereignissen auch die Wahrnehmung durch das menschliche Gehör sowie die Wirkung auf den menschlichen Organismus eine wichtige Rolle.

Lärm als unerwünschter und unangenehmer Schall wird vom Menschen bewusst oder unterbewusst allgegenwärtig wahrgenommen und kann eine gesundheitsbeeinträchtigende Wirkung haben. Hersteller von geräuschemittierenden Maschinen, Fahrzeugen, Motoren und Anlagen sind daher immer in der Verantwortung, die Lärmemissionen ihrer Produkte durch geeignete technische Lösungen auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Gerade im Automobilbau sind Themen wie die Geräuschreduktion, die Störgeräuschbeseitigung oder das Design eines fahrzeug- und kundenspezifischen Geräuschcharakters (Sounddesign) zu einem wesentlichen Bestandteil der Serienentwicklung geworden. Bereits im frühen Produktstadium ist es deshalb erforderlich, Informationen über Schallquellen und deren Position und Beitrag am Gesamtgeräusch zu erlangen, um möglichst frühzeitig Geräuschoptimierungsmaßnahmen in den Konstruktionsprozess einsteuern zu können.

Die Abteilung Technische Akustik des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU beschäftigt sich mit akustischen und schwingungstechnischen Forschungsthemen unter anderem in den Bereichen:

- Maschinenakustik
- Fahrzeugakustik
- Bahnakustik
- Bau- und Raumakustik
- Psychoakustik

Am Institutsteil in Dresden stehen auf einer Gesamtfläche von ca. 1000 Quadratmetern mehrere Akustiklabore und -prüfstände sowie eine umfangreiche Ausstattung an akustischen Mess- und Analysesystemen für die Bearbeitung von Forschungsprojekten zur Verfügung.

BILD Schallquellenortung an einem Klimagerät eines Hochgeschwindigkeitszuges mithilfe von Mikrofonarraytechniken.



Forschungsthemen

Unsere Forschungsarbeiten fokussieren auf folgende Themen:

■ Antriebsstrang- und Getriebeakustik

Die akustischen Eigenschaften von Antriebssträngen gewinnen als Qualitätsmerkmal mehr und mehr an Bedeutung. Aktuelle Entwicklungen in der Antriebstechnik zielen darauf ab, mit möglichst geringem Ressourceneinsatz höchste Leistungen bei der Erzeugung und Übertragung von Bewegungsenergie zu erreichen. Dabei kommt alternativen Antriebskonzepten wie Hybrid- und Elektroantrieben eine besondere Aufmerksamkeit zu.

Zur Realisierung von Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Getriebe- und Verzahnungsakustik setzen wir verschiedene Mess- und Simulationsverfahren ein, mit denen wir akustische Phänomene erfassen und abbilden können. Der Einsatz neuester Simulationsverfahren ermöglicht es uns, fertigungsabhängige akustische Eigenschaften bereits im Entwicklungsprozess zu bewerten, zu optimieren oder vorhandene Strukturen gezielt zu beeinflussen. Die detaillierten Simulationsmodelle nutzen wir darüber hinaus, um Toleranzschwankungen aufgrund von Fertigungs- und Montageabweichungen akustisch zu bewerten oder beispielsweise aktive Systeme zur Schwingungsreduktion auf Transferpfaden auszulegen.

■ Akustik elektrischer Antriebssysteme

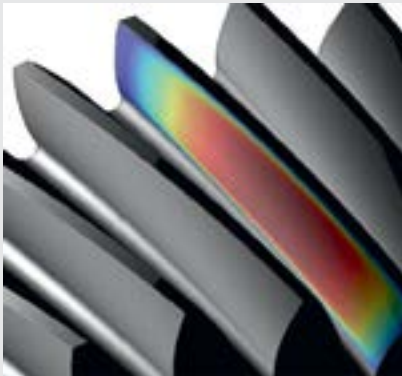
Radiale und tangentielle dynamische Kraftkomponenten aus dem Magnetkreis der elektrischen Maschine sind ein wesentlicher Anregungsmechanismus für die Erzeugung von Geräuschen und Schwingungen. Sowohl die Schallabstrahlung der Maschine selbst als auch die Momentenwelligkeit des Antriebs und hieraus resultierende Lagerreaktionskräfte lassen sich durch Magnetkreisoptimierungen und eine Maschinenregelung deutlich reduzieren. Für eine ganzheitliche Reduktion werden angekoppelte Lasten und dynamische Eigenschaften sowohl in Maschinenmodellen als auch in

Prüfaufbauten abstrahiert nachgebildet. Hierzu nutzen wir numerische Magnetfeldsimulationen mit Werkzeugen der Finite-Elemente-Methode (FEM) oder analytische Verfahren der Magnetkreisberechnung. Durch die Abstraktion in leistungsorientierte Schnittstellen der Teilsysteme wird die Überführung in multidomäne Gesamtsysteme ermöglicht. Die messtechnische Validierung erfolgt sowohl mit klassischen Modalanalysen als auch an akustischen Sonderprüfständen für Gesamt- und Teilsysteme. Simulierte Optimierungen können wir unter anderem mit echtzeitfähigem Rapid Control Prototyping der Antriebsregelung realisieren und nachweisen.

■ Strukturdynamik

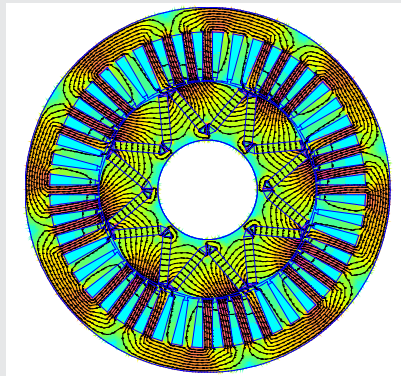
Damit Geräusche und Schwingungen effektiv reduziert werden können, ist neben dem Verständnis des Anregungsmechanismus häufig auch eine Optimierung der Übertragungswege und des Abstrahlverhaltens von Bauteilen erforderlich. Mit einer akustischen Bauteiloptimierung lassen sich beispielsweise unerwünschte Geräusche reduzieren. Das kann zum einen mit passiven Maßnahmen wie dem Einbringen von Verrippungen oder einer Entkopplung erfolgen, zum anderen sind auch aktive Lösungen wie zum Beispiel Active Vibration Control (AVC) möglich.

Zur Auslegung aktiver oder passiver Geräuschmaßnahmen verwenden wir je nach zu betrachtendem Frequenzbereich unterschiedliche Simulationsmethoden. Neben der klassischen Finite-Elemente-Methode oder der Modellierung von Mehrkörpersystemen (MKS) gehören dazu auch analytische Berechnungsansätze (zum Beispiel Vierpoltheorie) oder leistungsorientierte Simulationen (Statistische Energieanalyse – SEA, Strukturintensität – STI), die am Fraunhofer IWU entwickelt und mit Messdaten validiert werden.



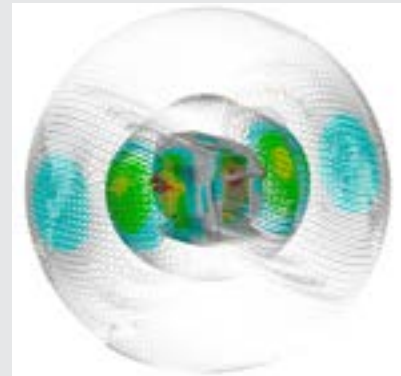
Getriebe

- Verzahnungsauslegung und -optimierung
- Transferpfade und Komponenten



E-Maschine

- Ansteuerverfahren
- Magnetkreisoptimierung
- Wechselwirkungen



Strukturdynamik

- Materialeigenschaften
- Bauteiloptimierung
- Schallübertragung und -abstrahlung

Akustische Methoden am Fraunhofer IWU

Aktive und passive Systeme



Mess- und Analyseverfahren



Modellbildung und Simulationsmethoden



Fertigungseinflüsse und Qualitätssicherung



BILD An einem multiaxialen Schwingungsprüfstand werden Schallabstrahlungsuntersuchungen am Reifen durchgeführt.

ANTRIEBSSTRANG- UND GETRIEBEAKUSTIK

Unser Leistungsangebot

Unser Leistungsportfolio umfasst die messtechnische Erfassung, die simulationsbasierte Abbildung sowie die Optimierung der akustischen Eigenschaften von Antriebssträngen und Getrieben. Neben der numerischen und experimentellen Untersuchung von Gesamtsystemen führen wir Grundlagenuntersuchungen zur Beschreibung von Übertragungseigenschaften einzelner Systemkomponenten und Anregungsquellen durch, wie zum Beispiel dem Zahneingriff bei Zahnradgetrieben.

Unsere Kompetenzen

Messungen

- Analyse von Getrieben durch umfangreiche vibroakustische Messungen, zum Beispiel Betriebsschwingformanalyse (ODS)
- Erfassung abstrahlungsrelevanter Oberflächen
- Ordnungsanalyse, auch unter Berücksichtigung von Welligkeiten auf der Zahnflanke («Geisterordnungen»)
- Experimentelle Modalanalyse (EMA)
- Model-Updating

Simulation

- Analyse von Getrieben durch multiphysikalische Simulation (Finite-Elemente-Simulation – FEM, Mehrkörpersimulation – MKS, analytische Ansätze)
- Akustische Optimierung unter Beachtung von Wirkungsgrad und Festigkeit
- Anregungsprognose und Lastverteilungsrechnungen unter Berücksichtigung des elastischen Verhaltens von Wellen, Lagern und Getriebegehäuse
- Optimierung der Zahnflankentopologie zur Geräuschminimierung und Steigerung der Tragfähigkeit
- Akustische Optimierung der Radkörpergeometrie
- Simulationsbasierende Untersuchung des Einflusses von Parametervariationen aufgrund von Fertigungs- und Montageabweichungen
- Schallabstrahlungsberechnung von Getrieben

- Ableitung von Maßnahmen zur Schwingungs-/Lärminderung
- Auslegung aktiver Systeme zur Schwingungsdämpfung auf relevanten Transferpfaden (TPA)

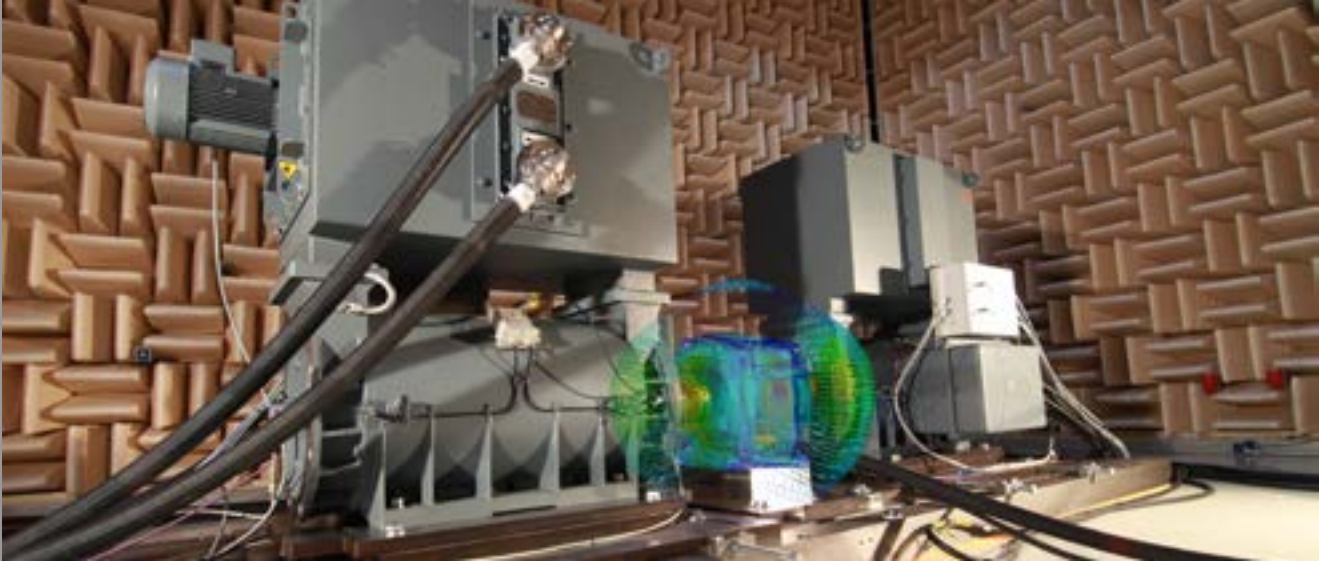
Prüfung

Getriebeprüfstand

- Grundlagenuntersuchungen an schnelllaufenden Fahrzeug- und Industriegetrieben (Gerad- und Schrägverzahnung) mit beliebigen Last- und Drehzahlprofilen
- Quasistatische Vermessung von Drehungleichförmigkeiten aus dem Zahneingriff
- Wirkungsgraduntersuchung durch hochgenaue an- und abtriebsseitige Drehmomenterfassung (Verlustleistung)
- Analyse von Luft- und Körperschall in verschiedenen Betriebspunkten (zum Beispiel mithilfe von Laser-Vibrometrie oder Schallkartierung mit Mikrofonarrayverfahren)
- Betriebsfestigkeitsuntersuchungen (Bauteil-Wöhlerlinien, Untersuchung von Schadensarten wie Fressen, Grauflecken, Grübchen, Verschleiß und Zahnbruch in Abhängigkeit von unterschiedlichen Systemparametern)

Technische Daten Getriebeprüfstand

- Maximaldrehzahl: 10000 min⁻¹
- Maximaldrehmoment dauerhaft: 1100 Nm (bis 1650 min⁻¹)
- Maximalleistung: ca. 190 kW
- Hochgenaue Drehwinkelmessung
- Flexibler Aufbau:
 - Aufbau 1: Achsvariables Prüfgehäuse zur Aufnahme verschiedenster Stirnradverzahnungen mit temperierter Einspritzschmierung
 - Aufbau 2: Aufnahme eines externen Getriebes
 - Aufbau 3: Aufnahme eines kompletten E-Antriebsstrangs inklusive Fahrzeugmotor und Aufbringen des jeweiligen Radabtriebsmoments
- Fahrzeugenergiesystem für 3-E-Betrieb (Aufbau 3) mit Möglichkeit zur Batteriesimulation (200 kW, 8-800 VDC)
- Optionaler Standort: reflexionsarmer Halbfreifeldraum



Referenzprojekte

Verzahnungsanregung

Die akustische Bewertung von Leistungsgetrieben erfordert die detaillierte Betrachtung der Eingriffsverhältnisse im Zahnkontakt sowie die Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Peripherie, wie zum Beispiel von Lagern, Wellen und Getriebegehäusen. Wir nutzen moderne Berechnungsansätze, um diese Einflüsse zu erfassen und deren Auswirkungen auf die Verzahnungsanregung zu bewerten. Unser Ziel ist die Anregungsminimierung, was unter anderem durch die gezielte Anwendung von Flankenkorrekturen erreicht werden kann.

Fertigungssimulation Verzahnungsschleifen

Vor allem in Pkw-Getrieben steigen die Anforderungen an die Tragfähigkeit und das Schwingungsverhalten. Ein Grund dafür liegt in neuen E-Motivantrieben, bei denen die Maskierung des Verbrennungsmotors entfällt und bereits aus dem Stillstand heraus enorme Drehmomente anliegen. Eine Verbesserung von Tragfähigkeit und Schwingungsverhalten wird neben der grundlegenden Verzahnungsgeometrie (Schrägungswinkel, Modul, Überdeckung) heute durch eine gezielte Anpassung der Zahnflanken-Mikrogeometrien realisiert. Fertigungsbedingte Abweichungen von der Sollgeometrie führen allerdings zu teils deutlichen Änderungen im prognostizierten Verhalten, beispielsweise durch Verschränkung. Mithilfe der Fertigungssimulation können wir diese Abweichungen ermitteln und die Prognose deutlich verbessern.

Numerische Schallabstrahlungsberechnung

Ein wichtiges Qualitätsmerkmal von Getrieben sind deren akustische Eigenschaften. Um bereits im Entwicklungsprozess dazu Aussagen treffen zu können, setzen wir ganzheitliche Simulationsmethoden ein. Diese beinhalten sowohl das Anregungs- und Übertragungsverhalten als auch die resultierende Schallabstrahlung als akustische Bewertungsgröße. Unsere Ziele sind unter anderem die frühzeitige Erkennung kritischer Betriebsbedingungen sowie die akustische Gehäuseoptimierung.

End-of-Line-Fahrzeugkorrelation

Werden Fahrzeugkomponenten, wie zum Beispiel Getriebe, auf einem Prüfstand getestet, so variiert oft das Geräuschverhalten im Vergleich zum finalen Einbauzustand. Wir entwickeln aus Korrelationsuntersuchungen mathematische Methoden, die das akustische Verhalten dieser Komponenten zwischen Prüfstand und Fahrzeug bestmöglich beschreiben. Durch eine gezielte und statistisch abgesicherte End-of-Line-Prüfsystematik (EoL) können wir schließlich eine konstant hohe akustische Qualität von Getrieben in unterschiedlichen Fahrzeug-Karosserievarianten sicherstellen.

BILD Akustischer Getriebeprüfstand

AKUSTIK ELEKTRISCHER ANTRIEBSSYSTEME

Unser Leistungsangebot

Für die akustische Analyse und Optimierung elektrischer Maschinen bieten wir valide Simulationsansätze. Dabei wird die dynamische Anregung der Maschine ganzheitlich abgebildet – in Interaktion mit der Regelung sowie der Rückwirkung angekoppelter Lasten und Lagerrandbedingungen. Für die Validierung der Modelle können wir auf eine Vielzahl von Prüfmöglichkeiten an Sonderprüfständen zurückgreifen. Zielkennwerte werden im Versuch nachgewiesen.

Unsere Kompetenzen

Messungen

- Entwicklung von Prüfungen zur Bestimmung der dynamischen Anregung von elektrischen Antrieben
- Messung der Anregung von Luft- und Körperschall in verschiedenen Betriebspunkten

Simulation

- Beschreibung multidomäner Systeme durch Abstraktion der Teilsysteme und leistungsorientierte Schnittstellendefinition, Anwendung der Vierpoltheorie und deren Erweiterung auf n-Pole für mehrdimensionale Systeme
- Numerische Magnetfeldberechnung mit FEM sowie rechenzeiteffiziente analytische Magnetkreisberechnung und Magnetkreisoptimierung
- Skalierbare E-Maschinenmodelle: Grundwellenmodell, lageabhängig erweitertes Grundwellenmodell, Oberwellencharakteristik, Schrägungseinfluss, Stromoberschwingungen durch Pulsung (THD)
- Zeitschrittssimulation zur Auslegung von Regler und Filter der Antriebsregelung sowie zu Modulationsverfahren
- Stromrichternahe Antriebs- und Maschinenregelung, Feldorientierung und direkte Verfahren, echtzeitfähige Umsetzung und Rapid Control Prototyping der Antriebsregelung

- Kompensationsverfahren zur Reduktion der Drehmomentwelligkeit und Radialkraftanregung im Sinne eines verbesserten vibroakustischen Antriebsverhaltens

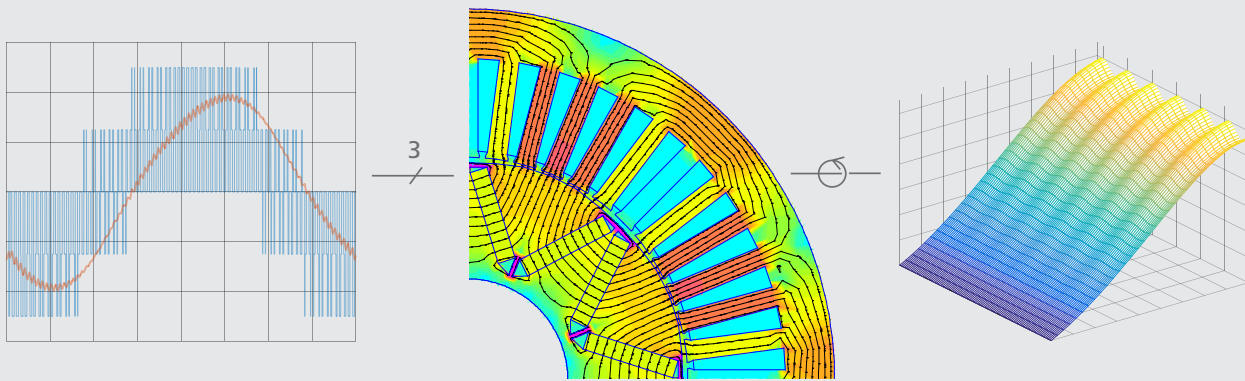
Prüfung

Prüfstände

- Prüfaufbauten für Antriebssysteme (Gesamt- oder Teilsysteme)
- Lastenheftprüfung zur Erfassung von Luft- und Körperschall sowie Erweiterung um zum Beispiel elektrische, hydraulische und mechanische Kennwerte
- Nebenaggregate- und akustische Sonderprüfstände
- Fahrtriebsprüfstand für elektrische Achsantriebssysteme

Prüfmöglichkeiten

- Messung der Lagerkräfte nach dem »Blocked Force«-Prinzip
- Bestimmung der freien Lagerschwingschnellen der einzelnen DOF der Komponente
- Bestimmung der abgestrahlten Schalleistung mit Hüllflächenverfahren oder Schallintensitätssonde
- Bewertung des Körperschalls durch Messung der Betriebschwingschnelle und laservibrometrische 3D-Schwingformanalyse
- Kombinierte An- und Abtriebprüfstände für die Separierung von akustischen Effekten an Teilsystemen von Nebenaggregaten
- Akustik-Belastungsprüfstände für elektrische Kleinantriebe
- Bestimmung von Leistungskennwerten und Wirkungsgradkennfeldern
- Bestimmung elektrischer Kenngrößen wie Blind- und Scheinleistung, Leistungsfaktor, Stromoberschwingungen, Pulsmuster, THD-Werte
- Bestimmung akustischer Kenngrößen wie Drehmomentwelligkeit und Oberflächenschwingschnelle



Referenzprojekte

Multidomäne Gesamtsimulation und Schnittstellenbeschreibung

Wird der elektrische Antrieb separiert betrachtet, sind die Leistungselektronik, der Magnetkreis und die mechanische Struktur Systembestandteile verschiedener physikalischer Domänen. Weitere Systeme, wie zum Beispiel Zahnradgetriebe, Lüfterrad oder Linearführung, können an den Antrieb angekoppelt werden. Alle einzelnen Bestandteile des mechatronischen Systems beeinflussen dessen akustisches Verhalten und können miteinander in Wechselwirkung stehen. Zur Beschreibung des Gesamtsystems müssen daher die akustisch relevanten Effekte jeder physikalischen Domäne identifiziert und abgebildet werden. Wir bilden rückwirkungsfreie Subsysteme, in denen die relevanten Einzeleffekte abstrahiert beschreibbar sind. Anschließend werden die Subsysteme leistungsorientiert in Form einer Fluss- und einer Differenzgröße gekoppelt und so das gesamte mechatronische System beschrieben.

End-of-Line-Prüfung zur Produktionsfehlerdetektion an elektrischen Fahrzeugantrieben

Für die automatisierte End-of-Line (EoL)-Prüfung von elektrischen Fahrzeugantrieben mit integriertem Getriebe und Umrichter sind die Auswahl der Sensoren, Messpositionen und des eigentlichen Prüfprogramms sowie die Festlegung von Grenzkurven eine Herausforderung. Innerhalb der engen Produktionstaktzeit sind möglichst alle Fehler zu erfassen, die auftreten können. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter katalogisieren dazu beim Hersteller alle in Frage kommenden Produktionsfehler, identifizieren deren charakteristische Fehlermuster durch Messung und Simulation und ordnen diese im Idealfall dem entsprechenden Verursacher aus der Produktion zu. Anschließend unterstützen wir den Hersteller bei der Entwicklung einer kompletten Prüfmethodik und des Prüfprogramms. Für die Auswertung der EOL-Messung werden Strategien untersucht, die zum einen dynamische Grenzwertkurven beinhalten, zum anderen schleichende Grenzwertüberschreitungen zuverlässig detektieren.

Regelungstechnische Minimierung schwingungsanregender Motorordnungen im elektrischen Fahrentrieb

Die subjektive Geräuschwahrnehmung von Elektrofahrzeugen kann ungewohnt und unangenehm sein, da der Verbrennungsmotor als Geräuschquelle wegfällt und stattdessen vermehrt höherfrequente Geräusche auftreten. Diese entstehen durch dynamische Kräfte in der E-Maschine, die die Gehäusestrukturen und die Getriebestufe zum Schwingen anregen. Die harmonischen Kraftordnungen resultieren aus der Geometrie des Magnetkreises und wirken sich sowohl radial als auch tangential aus. Sie können durch Einprägung von schwingungsdämpfenden Stromharmonischen reduziert werden, wodurch ein vibrationsarmer Lauf des Fahrentriebs erreicht wird.

In einem mehrjährigen Forschungsprojekt werden über eine numerische Magnetfeldberechnung und Optimierung die Amplituden und Phasen der einzuprägenden Stromharmonischen bestimmt sowie die Antriebsregelung so erweitert, dass diese in der Ständerwicklung eingepreßt werden können. Darüber hinaus ermitteln wir die Einflüsse des Verfahrens auf die relevanten Kenngrößen der E-Maschine wie Wirkungsgrad und Drehmomentwelligkeit und nehmen eine messtechnische Validierung mit Körperschallsensoren am Antriebsprüfstand vor.

BILD Multidomäne Analyse –
Ansteuerung, Magnetkreis,
Strukturanregung

STRUKTURDYNAMIK

Unser Leistungsangebot

Zur akustischen Analyse und Optimierung der Strukturodynamik von Systemen bieten wir ein breites Lösungsportfolio an. Neben klassischen strukturdynamischen Optimierungen prüfen wir auch den Einsatz aktiver Systeme zur Schall- und Schwingungsreduktion.

Unsere Kompetenzen

Messungen

- Ermittlung von dynamischen Größen (Kräfte, Beschleunigungen, Auslenkungen, Schalldruck, Schallleistung, Schallintensität etc.) auf Basis verschiedenster Messprinzipien
- Experimentelle Modalanalyse und Betriebsschwingformanalyse
- Experimentelle Untersuchung von effektiven Maßnahmen zur Schall- und Schwingungsreduktion
- Binaurale Messungen mit Kunstkopf
- Schallquellenortung mithilfe von bildgebenden Verfahren
- Bestimmung von vibroakustischen Transferpfaden

Simulation

- Simulation des dynamischen Verhaltens von Systemen (numerische Modalanalyse, Betriebsschwingformanalyse etc.)
- Simulationsbasierte Auslegung von Maßnahmen zur Schall- und Schwingungsreduktion sowie Prognose deren absoluter Wirkung auf Basis unterschiedlichster Simulationmethoden (FEM, BEM, MKS, analytische Ansätze)
- Simulation der Schallabstrahlung von Systemen
- Optimierungsalgorithmen zur Anpassung der dynamischen Eigenschaften (Eigenfrequenzen, Abstrahlverhalten, etc.)
- Simulation von aktiven Systemen und deren dynamischem Verhalten im Gesamtsystem
- Sensitivitätsanalysen bezüglich optimaler Anregungspositionen aktiver Systeme
- Simulation von Körperschallenergieflüssen mithilfe unterschiedlicher Verfahren (Strukturintensität – STI, Statistische Energieanalyse – SEA etc.)

Prüfung

Prüfmöglichkeiten

■ Akustischer Halbfreifeldraum (Klasse 1)

- untere Grenzfrequenz: 100 Hz
- Innenmaße: 8,7 x 6,1 x 5,4 m³
- nutzbares Raumvolumen: 284 m³

■ Laser-Vibrometrie

- 3D-Laserscanningvibrometer (PSV 400)
- berührungslose Messung von Oberflächenschnellen
- Frequenzbereich: 0 bis 1 MHz
- Objektgröße: ab 1 mm²
- Auswertung im Zeit- und Frequenzbereich
- Dehnungsmessung
- Rotationsvibrometer
- hochgenaue und berührungslose Messung von Drehungleichförmigkeiten bzw. Drehschwingungen

Schallquellenortung mit Mikrofonarray

Mithilfe einer Vielzahl systematisch angeordneter Mikrofone (Mikrofonarrays) können wir Geräuschquellen in Form von Schallfeldkartierungen visualisieren. Dabei wird die farblich hervorgehobene Stärke der Schallabstrahlung mit einem optischen Bild überlagert dargestellt. Durch das Sichtbarmachen von Schallereignissen werden Schallquellen nicht nur identifiziert und lokalisiert, auch deren Teilbeiträge zum Gesamtgeräusch können quantifiziert werden. Als Ergebnis kann zum Beispiel ein sogenanntes Noise Source Ranking – eine Rangliste aller Schallquellen geordnet nach ihrer Schallleistung – berechnet werden. Durch die Kombination der zwei Verfahren »Akustische Holografie« und »Beamforming« (akustische Kamera) sind wir in der Lage, stationäre oder auch nicht stationäre Schallereignisse im Frequenzbereich von ca. 80 Hertz bis 12800 Hertz zu analysieren. Für eine große Bandbreite an Untersuchungsobjekten stehen uns verschiedene Arraygeometrien zur Verfügung.



Referenzprojekte

Aktive Lösungen zur Geräuschreduktion an Hinterachsen

In mehreren Projekten haben wir verschiedene Lösungsansätze entwickelt, um den Geräuscheintrag von Pkw-Hinterachsen – das sogenannte Hinterachsheulen – in den Fahrzeuginnenraum zu reduzieren. Dabei kamen aktive Systeme zum Einsatz, die gegenphasige dynamische Kräfte in die Hinterachsbaugruppe einleiten, um geräuschrelevante Störschwingungen auszulöschen. So bewirkt beispielsweise ein elektrodynamischer Inertialmasseaktor nahe der Hinterachsgetriebelagerung eine signifikante Reduktion der Geräuscheinleitung ins Fahrzeug. In einer Weiterentwicklung wurden piezokeramische Folien (Piezopatches) auf dem Hinterachsrahmen appliziert, um die Körperschallübertragung ins Fahrzeug und damit den Geräuschbeitrag der Hinterachse im Innenraum zu minimieren.

Beschreibung der Körperschallausbreitung in Schiffsschalldämpfern

Die Körperschallausbreitung über Schalldämpfer mit den im Schiffsbau üblichen großen Abmessungen kann mit statistischen Methoden berechnet werden. So haben wir unter anderem ein mathematisches Modell entwickelt, mit dem die verringerte Dämpfungswirkung von Schalldämpfern aufgrund von Körperschall auf Basis der Statistischen Energieanalyse (SEA) berücksichtigt wird. Die Ein- und Auskopplung sowie die Weiterleitung von Körperschall in Schalldämpferbauteilen wurden dazu mit Methoden der experimentellen und analytischen SEA untersucht und geeignete Vorhersagemodelle entwickelt. Die Validierung der Modelle erfolgte an Versuchsschalldämpfern und Schiffsschalldämpfern im Originalmaßstab.

Strukturintensität (STI) – Simulations- und Messverfahren

Die Reduktion der Schallabstrahlung von technischen Strukturen lässt sich oft am effektivsten durch eine systematische Beeinflussung des Körperschalls erreichen. Dies kann zum Beispiel durch den Einsatz von Dämpfungsbelegen oder Verrippungen realisiert werden. Damit diese Maßnahmen optimal zur Wirkung kommen können, müssen die Verteilung und der Fluss von Körperschallenergie innerhalb eines Strukturbauteils bekannt sein. In einem Forschungsprojekt untersuchen wir, wie mithilfe der Kenngröße Strukturintensität (STI) Körperschallenergieflüsse von der Anregung bis zur Schallabstrahlung quantifiziert und visualisiert werden können. Dazu haben wir verschiedene Methoden zur numerischen und experimentellen Bestimmung der Strukturintensität betrachtet. Bei der messtechnischen Ermittlung der STI wurden verschiedene Verfahren verglichen, die beispielsweise Oberflächenschwingschnellen nutzen, die mit einem 3D-Laser-Scanning-Vibrometer gemessen wurden oder auf optischen Dehnungsmessungen basieren.

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0
Fax +49 371 5397-1404
info@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

Abteilung Technische Akustik

Dipl.-Ing. Jan Troge
Telefon +49 351 4772-2322
jan.troge@iwu.fraunhofer.de

Bildquellen

Seite 11: magdal3na - Fotolia
Alle anderen Bilder: © Fraunhofer IWU

© Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen
und Umformtechnik IWU 2021