



## **Automobilbereich**

Optische Messtechnik als Antrieb für Fortschritt  
Kompetenzfeld





## Inhalt

### Karosserie & Fahrwerk

- 8 **Karosserie**
- 12 **Bremse**
- 14 **Fahrwerk**
- 16 **Komplettfahrzeug**

### Antriebsstrang

- 20 **Antrieb**
- 22 **Ventiltrieb**
- 24 **Getriebe**

### Elektromobilität & Fahrzeugelektronik

- 28 **Elektrischer Antrieb**
- 30 **Elektronikplatinen & Steuergeräte**
- 31 **Entertainment**

### Service & Dienstleistungen

- 34 **PolyXpert Services**

## Legen Sie die Latte höher

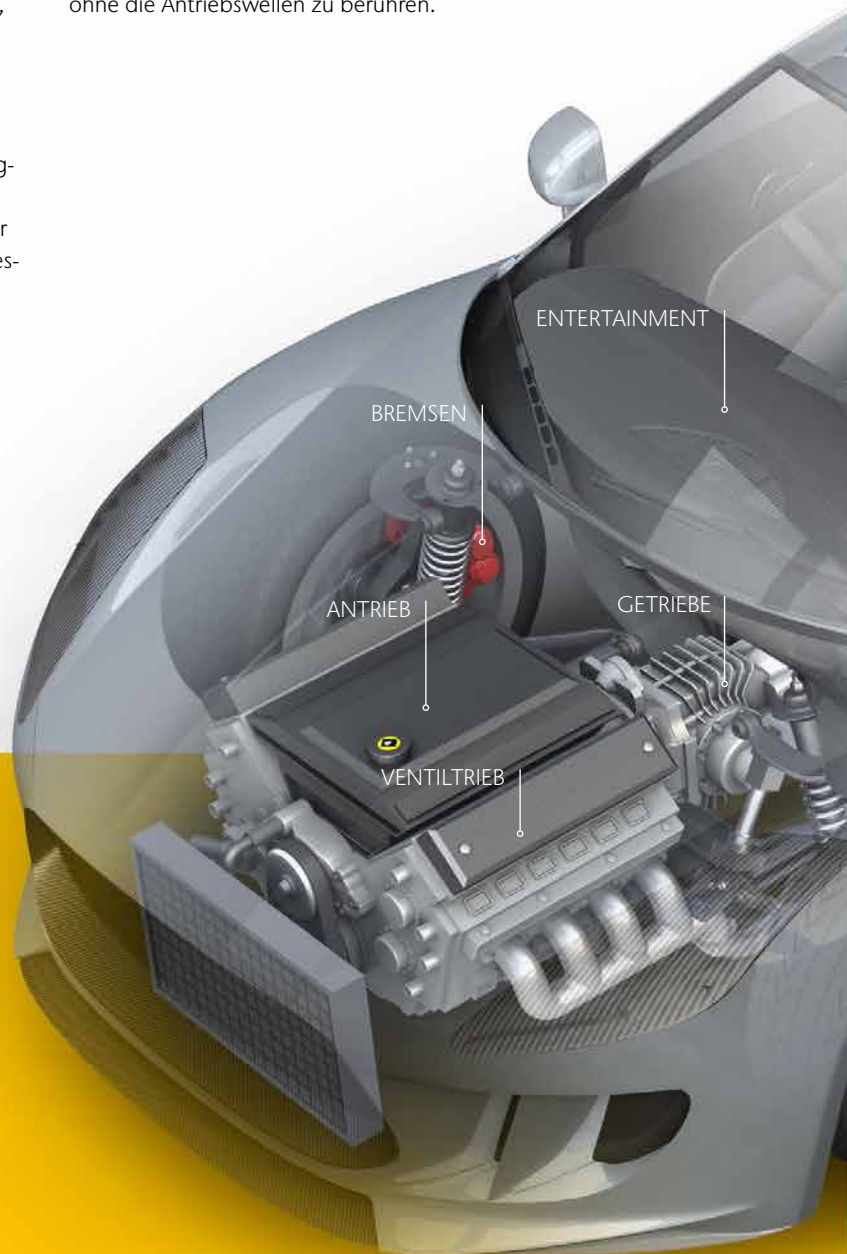
**Mobil zu sein ist ein wichtiger Teil des modernen Lebens. Laserbasierte Schwingungsmesstechnik von Polytec ist immer beteiligt, wenn Mobilität komfortabel, leise und ökonomisch ist.**

Im Entwicklungsprozess sind oft gegenläufige Ziele miteinander zu vereinbaren. Das Produkt soll leise, leicht und emissionsarm, aber trotzdem komfortabel, zuverlässig und kostengünstig sein. Wir zeigen Ihnen, wo unsere Messtechnik diesen Zielkonflikt schnell und effizient löst.

Optische, berührungslose Schwingungsmesstechnik macht dynamische Eigenschaften sichtbar und ermöglicht die schnelle Validierung von Modellen sowie effizientes Troubleshooting. Verschiedene Vibrometer ermöglichen Schwinggeschwindigkeits- und -wegmessungen entweder punktuell oder flächenhaft.

Speziell die scannende Laser-Doppler-Vibrometrie (SLDV) ist heute ein unverzichtbares Werkzeug in der Quantifizierung und Visualisierung von Betriebsschwingformen in der Strukturdynamik und Akustik.

Ein optimierter Antriebsstrang trägt zur Verbrauchsminderung, aber auch zum akustischen Komfort bei. Rotationsvibrometer ermöglichen Ordnungsanalysen ohne die Antriebswellen zu berühren.





KOMPLETTFAHRZEUG

ELEKTRONIKPLATINEN & STEUERGERÄTE

KAROSSERIE

FAHRWERK

Diese Broschüre spannt thematisch einen weiten Bogen – von klassischen NVH- (Noise, Vibration & Harshness) und Zuverlässigkeitsfragen bei Karosserie, Chassis und Antriebsstrang, bis zur Analyse von Elektronikkomponenten. Sie konzentriert sich auf die Optimierung des Entwicklungsprozesses und die Integration in den CAE-Workflow. Wie hilft berührungslose Messtechnik, die Akustik zu verstehen? Welches Automatisierungspotenzial gibt es beim experimentellen Modaltest? Eine Antwort auf diese und andere Fragen finden Sie auf den folgenden Seiten.







# Karosserie & Fahrwerk

Sicherheit und Leichtbau optimieren

# Karosserie

Das Design und die Marke eines jeden Fahrzeugs wird im Wesentlichen durch seine Karosserie geformt. Neben ansehnlichem Erscheinungsbild trägt sie maßgeblich zum Wohlbefinden der Fahrzeuginsassen bei und bildet die Grundlage für optimiertes Geräuschverhalten. Für den Hersteller ist es genauso wichtig, mit effizienten Entwicklungswerkzeugen die Konstruktion von Anfang an richtig zu machen und damit teure Iterationen zu vermeiden, wie es wichtig ist, falsche Annahmen im CAE-Modell zu korrigieren, bevor es als Grundlage für die Nachfolgeneration dient.



*Leichtbau ist das Ziel vieler Optimierungsmaßnahmen*



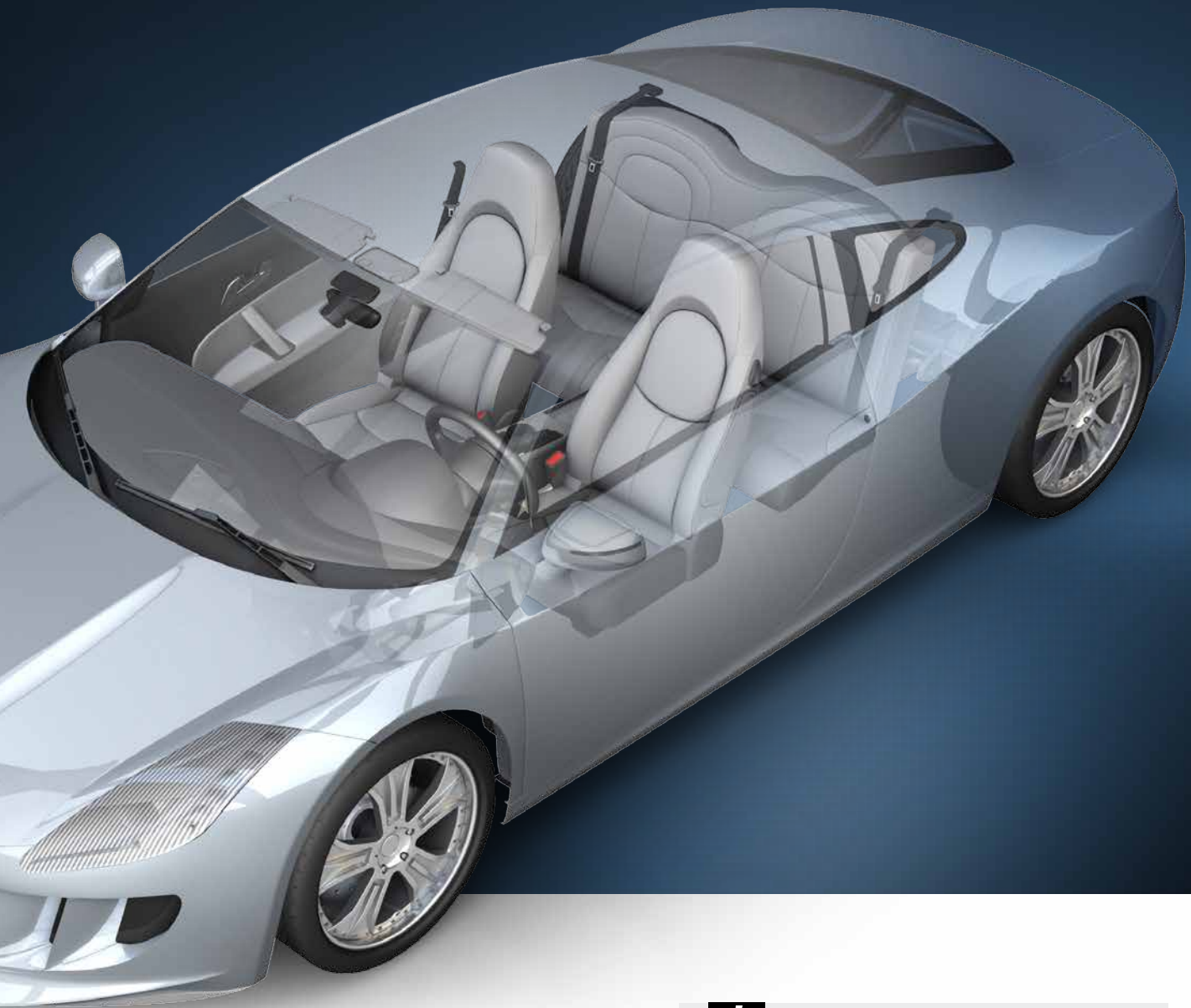
## Karosserie-Leichtbau

Mit zunehmenden Anforderungen an die Energieeffizienz ändern sich auch die ingenieurtechnischen Herangehensweisen bei der Karosserieentwicklung. Leichtbau ist das Schlüsselwort, um diese Anforderungen zu erfüllen. Allerdings bringt Leichtbau auch neue Herausforderungen mit sich, wie ein verändertes NVH-Verhalten oder neue Fügeverfahren. Was bringt eine Leichtbaukarosserie, wenn der Gewichtsvorteil durch Schwermatten zur Akustikoptimierung zunichte gemacht wird? Die Modellierung der Materialien und Fügeverfahren bringt neue Unbekannte in den Entwicklungsprozess. Deshalb sind die CAE-Validierung sowie das Model-Update für einen schlanken Entwicklungsprozess ausschlaggebend. Messtechnik und Messdienstleistungen von Polytec helfen Ihnen dabei, Ihre Entwicklungen an neue Herausforderungen anzupassen.

## Rohkarosserie

Das größte Potenzial für den Leichtbau bietet die Rohkarosserie. Sie ist für alle wesentlichen Leistungs- und Sicherheitsmerkmale des Fahrzeugs verantwortlich. Jede Materialeinsparung verändert diese Merkmale. Leichtbau-Werkstoffe und neue Verbindungstechniken wie Kleben und Nieten sind große Herausforderungen bei der Entwicklung. Dabei beruhen Berechnungstechniken nur auf Annahmen. Diese Annahmen muss ein Test des Rohkarosserie-Prototyps bestätigen. Gerade wenn es schnell gehen muss und bestehende Konstruktionen auf ihr Gewicht hin optimiert werden, müssen die Ausgangsmodelle validiert sein. Die Unsicherheit reduziert sich dadurch auf die Modifikationen. Die 3D-Laser-Doppler-Scanning-Technologie ist das richtige Werkzeug, um schnell die notwendigen tiefen Einblicke in die Strukturmechanik aus Sicht des CAE-Prozesses zu erhalten. Die Verwendung von





FE-Knoten-Geometrien im numerischen wie im experimentellen Modaltest stellt die Konsistenz der zur Validierung notwendigen Daten durch den Testprozess sicher. Das vermeidet teure Fehler.

Neben Leichtbaukonzepten zur Kraftstoffreduzierung sind NVH und Fahrzeugakustik auch maßgebliche Eigenschaften, um die eigene Marke zu positionieren. Der moderne Fahrer fordert beides, was die Designabteilungen vor große Aufgaben stellt. Bei Leichtbaukarosserien sind NVH-Phänomene bis in den mittleren Frequenzbereich zu betrachten. Wo früher zusätzliche Massen eingebracht wurden, um die Geräuschübertragung einzudämmen, sind im Leichtbau ganz andere Kniffe erforderlich.



#### **Fortschritt gestalten mit Laser-Vibrometrie:**

- **Verlässliche Vorhersagen:** durch validierte FE-Modelle
- **Verlässliche Daten:** keine Massebeladung auf Leichtbau-Komponenten
- **Verringerte Fehler:** keine Abweichungen des Sensor-Koordinaten-Systems
- **Zeiteinsparung:** Licht als Sensor ermöglicht automatisierte Modaltests
- **Zukunftsweisend:** Hohe räumliche Auflösung entdeckt kritische, lokale Moden und vermeidet Troubleshooting
- **Überzeugende Resultate:** Testergebnisse mit FE-Auflösung



#### Optimierung mit RoboVib®

- Automatisierte Modalanalyse
- Beschleunigung des gesamten Entwicklungsprozesses
- Stark verkürzte Testzeit der Prototypen
- Hohe räumliche Auflösung und Messpunktdichte dank Laser
- Relevante Daten für Strukturdynamik und Akustik aus einer Messung

*Automatisierte experimentelle Modalanalyse an einer Rohkarosserie im RoboVib® Test Center in Waldbronn.*

Eine integrierte Entwicklungsstrategie sorgt dafür, dass der Kunde keine Kompromisse zwischen Komfort und Verbrauch eingehen muss. Mit den Leichtbau-Karosserien rückt der mittlere Frequenzbereich mehr in den Fokus. Hier ist es kontraproduktiv, störende Vibrationen durch zusätzliche Massen am Bauteil zu kompensieren. Ähnliches gilt auch für die Messtechnik: Schwingungen berührungslos mit Licht zu messen vermeidet massebedingte Messfehler. Intensive Kontrollen der Stoß- und Fügestellen vermeiden Kundenbeschwerden auf Grund von Quietschen und Klappern (Squeak & Rattle, kurz S&R), gerade auch bei genieteten Strukturen. Die somit früh detektierten Problemstellen bieten die Möglichkeit, rechtzeitig gegenzusteuern und somit kostspielige Garantieansprüche zu verhindern.

Automatisierte Testverfahren erlauben es dem Entwicklungsingenieur, Messdaten der In-Plane-Schwingungen (in der Bauteilebene) mit hoher Auflösung an den Fügestellen zu erfassen und damit die Modelle zu validieren. Die Automatisierung erlaubt unterschiedliche Ansätze zur NVH-Optimierung schnell miteinander zu vergleichen. Am Ende stehen validierte Modelle, die eine bessere Voraussage nicht nur der Strukturdynamik, sondern auch des NVH-Verhaltens ermöglichen. Das spart Zeit, benötigt weniger Nacharbeit vor dem Produktionsstart und steigert die Kundenzufriedenheit.



*Schwingungsprüfung  
auch im Innenraum*



### **Akustik-Auskleidung**

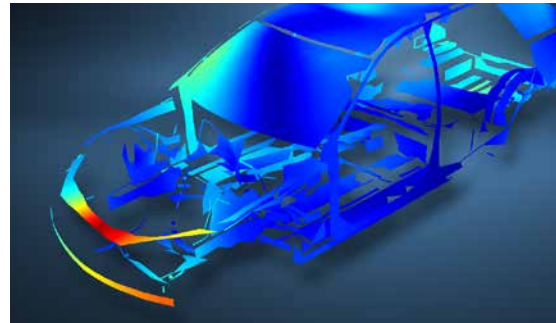
Dämm-Materialien spielen bei der Akustik eines Fahrzeugs eine entscheidende Rolle – sie sollen möglichst leicht und kostengünstig sein. Der hohen räumlichen Auflösung der Laser-Doppler-Vibrometer entgeht keine Problemstelle. Dadurch müssen nur an den Stellen des Fahrzeugs „schwere“ NVH-Maßnahmen ergriffen werden, an denen dies unbedingt notwendig ist. Langwierige Versuche gehören so der Vergangenheit an.

### **Aufsetzfertige Karosserie**

Leichtbau wirkt sich ungünstig auf das NVH-Verhalten des Fahrzeugs aus, da Transferpfade sich durch das Reduzieren von Masse verändern. Für die Insassen kann das laut werden: Dröhnen des Antriebsstrangs, Getriebeheulen, Geräusche der Klimaanlage, Umrichtergeräusche sowie Quietsch- und Knarzgeräusche reduzieren den Fahrkomfort. Im Gegensatz zu berührenden Sensoren messen Vibrometer von Polytec auch auf weichen und porösen Oberflächen und liefern wertvolle Daten für die Akustiksimulation sowie die Analyse von Quietschen und Klappern (S&R). Klimamodule (HVAC) lassen sich anhand dieser Messdaten so optimieren, dass ihr Einfluss auf den Innenraum minimiert wird. Auch in der Serienproduktion stellt die Lasertechnologie die Qualität der Klimageräte sicher. Egal ob Modaltests auf weichen Dämmmaterialien oder der Einfluss von Dichtungen auf den Flächenbeitrag von Berandungsflächen – die Testergebnisse erlauben auch bei höheren Frequenzen die zuverlässige Validierung der FE-Modelle.

### **Soundssysteme**

Ein gutes Soundsystem braucht einen ruhigen Innenraum, um seinen Klang zu entfalten. Dafür ist entscheidend, wie der Lautsprecher mit dem Innenraum, etwa mit der Türverkleidung, interagiert. Die Scanning-Vibrometrie macht kritische Resonanzen im Innenraum auf einfache Weise sichtbar. Der Akustiker erhält frequenz-selektiv die notwendigen Informationen für eine Anpassung des Gesamtsystems. Modenkopplungen zwischen Komponenten erkennt er dank der guten Visualisierung sofort.



*Schwingform der  
Rohkarosserie aus  
automatisiertem  
Test (6342 DoF)*

### **Quietschen und Klappern (S&R)**

Quietschen und Klappern verursachen störende Geräusche im Innenraum. Die Quietschgeräusche entstehen durch Relativbewegungen der Leichtbauteile in der Bauteilebene (In-Plane) und sind meist hochfrequent. Klappern entsteht, wenn benachbarte Bauteile den Spalt zwischeneinander kurzzeitig schließen. Die 3D-Scanning-Vibrometrie spürt solche Geräuschquellen zuverlässig auf.

### **Klimatisierung**

Wenn große Luftmengen durch leichte Kunststoffstrukturen strömen, entstehen Geräusche und Übertragungspfade in den Innenraum. Wenn solche Störquellen erst kurz vor Produktionsstart erkannt werden, ist schnelles Troubleshooting gefragt. Um die Quelle der störenden Emissionen rasch zu identifizieren, hilft ein kurzer Laserscan unter Betriebsbedingungen.

# Bremse



Beispielhafter Bremsenprüfstand  
(GIANT Evo NVH von HORIBA)

Rechnerisch verstehen wir die Energie-Umwandlung beim Bremsvorgang von kinetischer in thermische Energie bereits sehr gut. Die dabei entstehenden akustischen Effekte in den Griff zu bekommen, ist allerdings wesentlich komplexer. Die dynamischen Belastungen beim Bremsen machen diese Aufgabe nicht einfacher. Automobil-Hersteller suchen die optimale Balance zwischen Bremsleistung und geringen Bremsgeräuschen mit Hilfe von Laservibrometern.

## Bremsgeräusche

Für Konstrukteure ist die Bremse ein unendlich komplexes, nicht-lineares, strukturdynamisches System und zudem abhängig von Umwelteinflüssen. Die Vorhersage seines akustischen Verhaltens ist entsprechend vage. Erst die Kombination aus Simulation und Test liefert Anhaltspunkte für die Anpassung der Einzelkomponenten. Als Polytec 2003 das weltweit erste 3D-Scanning Vibrometer entwickelte, wurden erstmals Ergebnisse der komplexen Eigenwertanalyse mit Betriebsschwingungsdaten abgleichbar. Die Testdaten bestätigen, dass das Bremsenquietschen durch Modenkopplung zwischen einer reibungsinduzierten In-Plane-Mode und einer schallabstrahlenden Out-of-Plane-Mode der Brems Scheibe entsteht. Dieses Verständnis macht es möglich, Gegenmaßnahmen schon während der Entwicklung einzuleiten.

## Modellierung und Validierung von Bremsen

Die Grundlage für ein modernes Bremssystem ist ein gutes Simulations-Modell. Die Komponenten werden einzeln anhand einer experimentellen Modalanalyse (EMA) mit dem Simulationsmodell abgeglichen. Damit minimieren sich die Modellabweichungen des Gesamtmodells. Das Bremsenquietschen tritt bei hohen Frequenzen auf. Der Ingenieur erhält deshalb optimale Testergebnisse, wenn die EMA ohne Massebeladung,

also berührungslos, mit hoher räumlicher Auflösung erfolgt. Das Laservibrometer ist dafür das perfekte Werkzeug.

## Test des Gesamtsystems

Beim finalen Modell kommt die modale Dämpfung aus der EMA der Teilkomponenten zum Einsatz. Die Messdaten werden an den Knoten des FEA-Modells gemessen und im Modellkoordinatensystem exportiert. Fehlerquellen und Interpolationen gehören der Vergangenheit an. Die Methode erhöht, gerade bei der Messung der Übertragungsfunktion an sehr kleinen Komponenten, die Genauigkeit des Simulationsmodells.

## Messungen unter Betriebsbedingungen

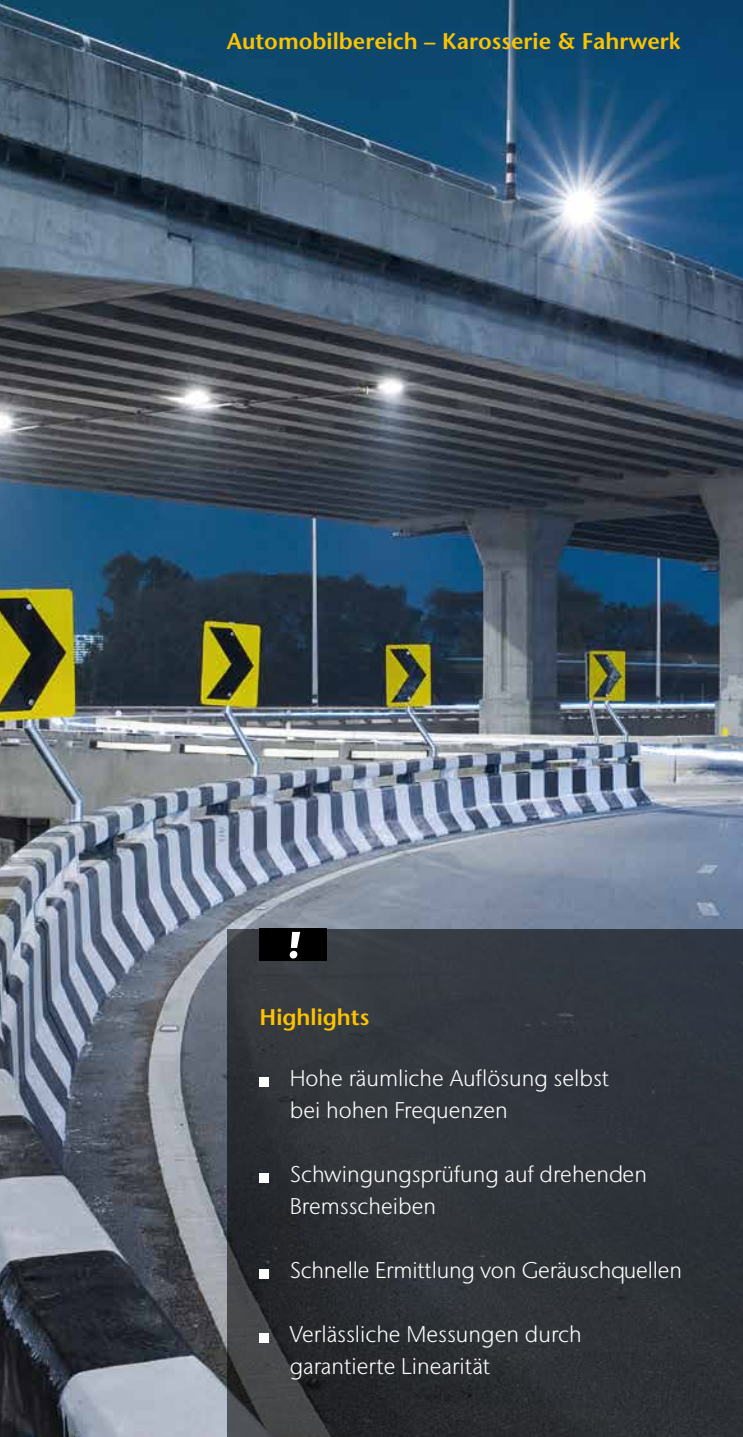
Die endgültige Überprüfung eines Bremssystems erfolgt am NVH-Bremsenprüfstand. Dabei wird das Bremssystem mitsamt der Aufhängung unter Betriebsbedingungen getestet. Das Vibrometer erfasst hochaufgelöste Modaldaten während des Quietschens. Nutzer können Simulationsmodelle dann im Vergleich mit den operationalen Daten so anpassen, dass instabile Betriebsbedingungen vermieden werden. Das verhindert zeitaufwändiges Ausprobieren.



### Highlights

- Verlässlichere Vorhersagen: durch validierte FE-Modelle
- Verringerter Prüfaufwand für die experimentelle Modalanalyse
- Grenzen überwinden:
  - Hohe räumliche Auflösung selbst bei hohen Frequenzen und kleinsten Komponenten
  - Schwingungsprüfung bei hohen Temperaturen
  - Schwingungsprüfung auf drehenden Brems scheiben
- Verlässliche Daten: Keine Massebeladung auf Leichtbau-Komponenten
- Sichere Investition: etabliertes Prüfverfahren bei allen Tier-1-Zulieferern





### Highlights

- Hohe räumliche Auflösung selbst bei hohen Frequenzen
- Schwingungsprüfung auf drehenden Bremsscheiben
- Schnelle Ermittlung von Geräuschquellen
- Verlässliche Messungen durch garantierte Linearität

**Fahrverhalten, Dämpfung, Traktion.**  
**Wir kümmern uns um die Details, damit die Fahrt zum sicheren Vergnügen wird.**

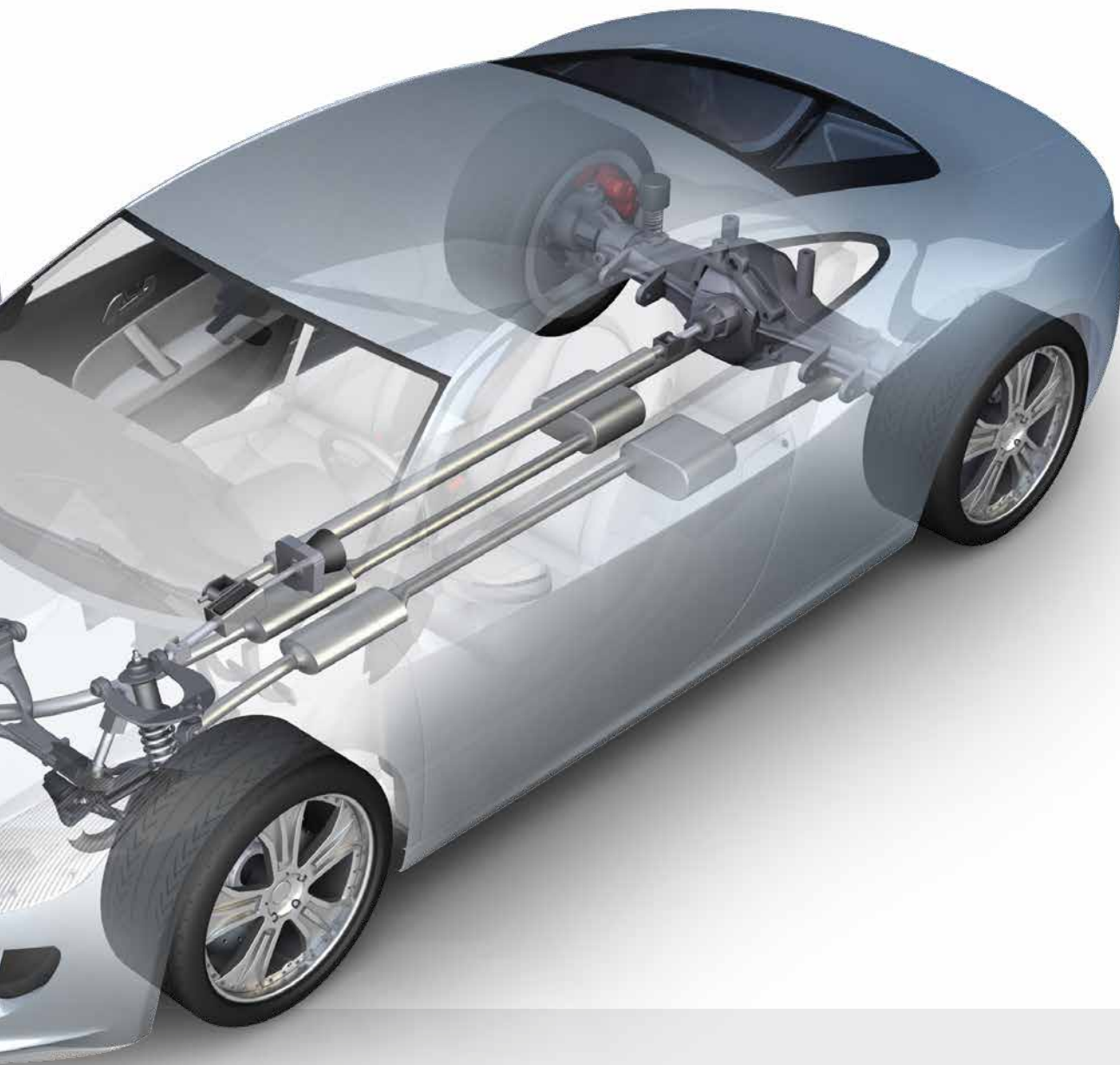
## Fahrwerk

Abrollgeräusche sind neben den Emissionen des Antriebs die wichtigste Geräuschquelle im Innenraum und bei der Vorbeifahrt. Die Radaufhängung spielt eine wichtige Rolle bei der Übertragung in den Fahrzeuginnenraum. Die Optimierung der Komponenten ist eine essenzielle Entwicklungsaufgabe auf dem Weg zu leisen und komfortablen Fahrzeugen.



### Reifen

Leisere Fahrzeuge brauchen entsprechende Reifen. FE-Modelle von Reifen sind wegen deren Aufbau und Materialmix komplex und nicht-linear. Akustische Modelle müssen mit bis zu mehreren hundert Herz validiert werden. Es gilt, rotierende und nicht-rotierende Moden getrennt zu betrachten. Das Scanning-Laser-Doppler-Vibrometer hilft nicht nur bei der experimentellen Modalanalyse, sondern erfasst auch rotierende Reifen und hilft bei der Trennung der Moden.



### **Achs- und Lenkung**

Im Leichtbau von Achs- und Lenkungskomponenten soll bei unveränderter Lebensdauer und Steifigkeit das Gewicht reduziert werden. Resonanzen und zusätzliche Geräuschquellen gilt es zu vermeiden. Leichtbau-Achs- und die elektrische Lenkunterstützung erfordern eine Modellvalidierung bei höheren Frequenzen. Zahnrad- und Zahnriemenantriebe regen Moden höherer Ordnung an und können so zu erhöhter Beanspruchung, Schallübertragung, Schwebungsfrequenzen und Torsionsschwingungen führen. Dröhnen und andere unerwünschte Geräusche sind die Folge. Vibrometer von Polytec messen rückwirkungsfrei Anregungen direkt dort, wo sie entstehen.

Die gleiche Messtechnik erkennt auch innerhalb der Qualitätssicherung unerwünschte Schwingungsamplituden durch Produktionsfehler und -toleranzen.

### **Stoßdämpfer**

Ob ein Stoßdämpfer so dämpft, wie er soll, zeigt sich spätestens am Hydropulser. Aber schon während der Herstellung stellen Oberflächen-Messsysteme von Polytec sicher, dass Ebenheits-Toleranzen an leistungskritischen Stellen des Stoßdämpfers eingehalten werden. Das Ergebnis ist ein verbesserter Straßenkontakt des Reifens und damit eine erhöhte Fahrsicherheit.

# Komplettfahrzeug

Es sind nicht die einzelnen Komponenten, die einen Kunden überzeugen, sondern der Gesamteindruck des Fahrzeugs. Am Ende entscheidet das komplette Produkt über den Qualitätsgrad. Die Herausforderung für den Hersteller besteht darin, dass zwar alle Einzelkomponenten optimiert sind, ihr Zusammenspiel aber zu neuen Schwachstellen führen kann.



Flächenhafte Schwingungsmessung mit einem Scanning-Vibrometer



Zeitsynchrone optische Schwingungsmessung mit einem MPV Multipoint Vibrometer: Berührungslos transiente und instationäre Vorgänge erfassen wie Akustiktests beim Türzuschlagen.

## Aeroakustik

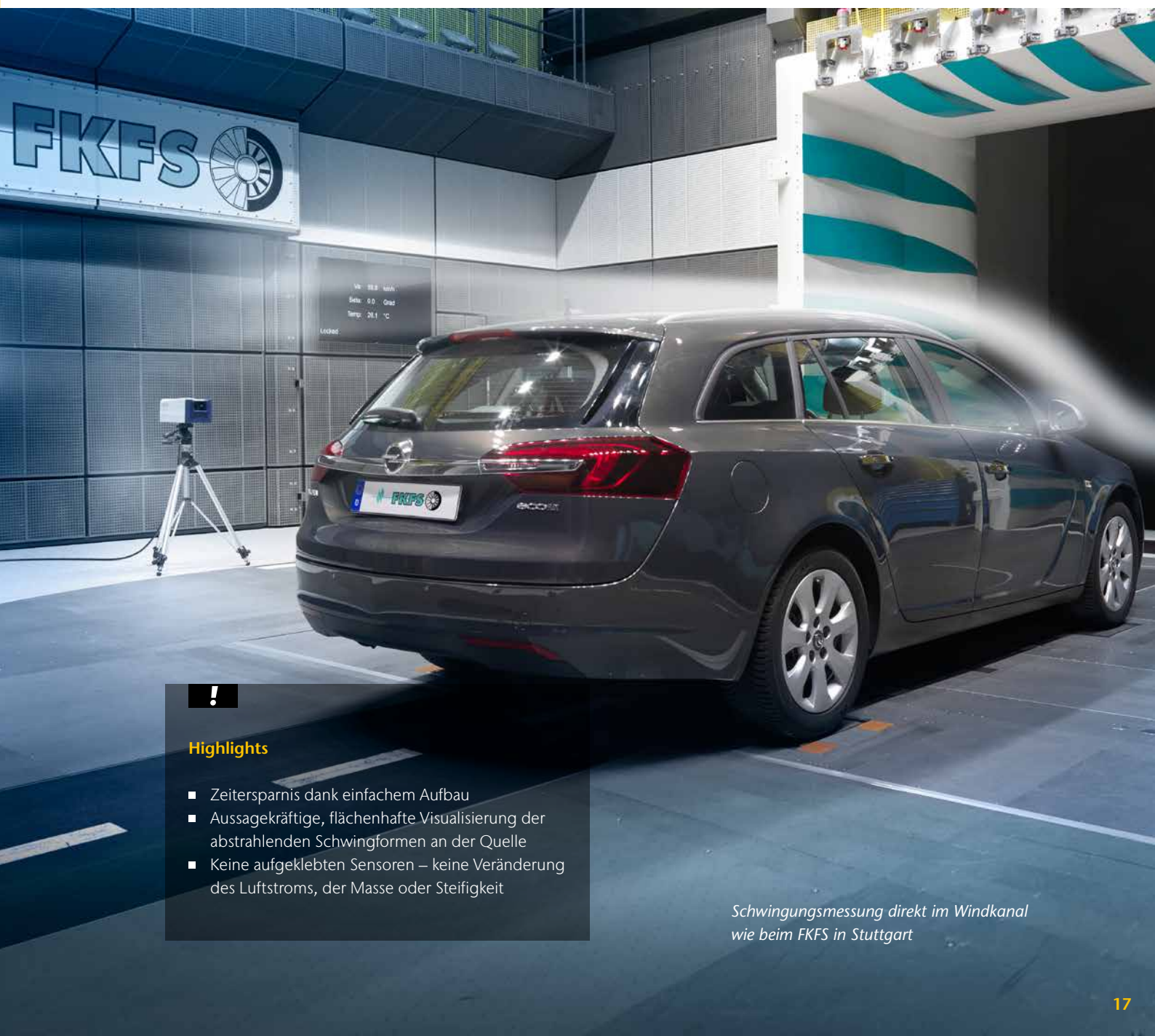
Umfangreiche Messungen von Kräften, Strömungen, Schalldrücken erfolgen in einem Akustik-Windkanal. Die durch die Strömung erzeugte, im Innenraum hörbare Schwingung von Berandungsflächen misst das Scanning- oder Multipoint Vibrometer ohne die Strömung zu stören. Aus sicherer Distanz erfasst es die angeregten Schwingungsmoden aller Außenflächen und – durch Glasböden – auch jene des Unterbodens.

## Troubleshooting

Luftschallmessungen zeigen schnell die Schwachstellen des NVH-Designs. Das SLDV identifiziert im Labor die Geräuschquellen im Handumdrehen. Kritische Frequenzen und die dazugehörenden Moden bzw. Geräuschquellen treten in der Visualisierung deutlich hervor. Sie leiten den Akustiker bei seiner Lösungsfindung.

Die Quelle einer Störung kurz vor dem Serienstart schnell zu finden, braucht die richtigen Werkzeuge und viel Erfahrung. Der PolyXpert Service sorgt genau dann für zusätzliche Ressourcen, wenn sie gebraucht werden – und das ohne Investitionen. Unser Team von Messexperten findet zusammen mit Ihren NVH-Spezialisten schnell die beste Lösung. Die verständliche Visualisierung der Messergebnisse durch die Polytec-Software hilft dabei, das Fahrzeug so leise zu gestalten, wie es sein soll.





### Highlights

- Zeitersparnis dank einfachem Aufbau
- Aussagekräftige, flächenhafte Visualisierung der abstrahlenden Schwingformen an der Quelle
- Keine aufgeklebten Sensoren – keine Veränderung des Luftstroms, der Masse oder Steifigkeit

*Schwingungsmessung direkt im Windkanal  
wie beim FKFS in Stuttgart*



Um das Fahrerlebnis des Kunden zu verbessern, ist es wichtig, die Dynamik des Antriebsstranges genau zu kennen. Schon während der Entwicklung sorgen ausführliche Tests der Komponenten auf dem Rollen- oder Komponentenprüfstand für diese Erkenntnisse.





# Antriebsstrang

Das Maximum rausholen

# Antrieb

Geräusche zu minimieren, Lebensdauer zu optimieren und die Dynamik des Getriebes, des Differentials oder eines Zweimassenschwungrades zu verstehen ist schlicht notwendig, wenn Torsionsresonanzen oder Getrieberasseln nicht in Serie gehen sollen. Detaillierte Messergebnisse auf der Rolle und im Fahrversuch sichern dem Kunden am Ende das richtige Fahrerlebnis.

## Motorakustik

Die Entwicklungsingenieure arbeiten parallel mit unterschiedlichen Antriebskonzepten. Schwingungen eines Verbrennungsmotors regen nicht nur die Karosserie an, sondern strahlen auch Schall über ihre Oberflächen ab. Ölwannen, Ansaug- und Auspuffsysteme sind kritische Komponenten. Die höheren Drehzahlen von Elektromotoren regen höherfrequente Moden an und erfordern damit einen Paradigmenwechsel im Testansatz. Schwingformen, Ordnungsanalysen und flächenhafte Messtechnik erkennen Resonanzen und schallabstrahlende Flächen. Polytecs berührungsfreie Messtechnik eignet sich besonders für die Messung auf heißen und rotierenden Oberflächen.

## Drehschwingungsdämpfer

Weniger Zylinder bedeuten geringeren Verbrauch und höhere Reichweite. Um den NVH-Komfort zu verbessern, sind die Eigenschaften von Drehschwingungsdämpfern und Zweimassenschwungrädern fein abzustimmen. Rotationsvibrometer liefern während des Betriebs ohne zusätzliche Instrumentierung Messdaten an genau der richtigen Stelle des Antriebsstrangs.

## Einspritzsysteme

Hub und Timing der Düsennadel bestimmen die exakte Kraftstoff-Dosierung. Vibrometer von Polytec erfassen diese Größen präzise, so dass Verbrauch und Emissionen den Anforderungen der EURO-Norm bzw. CARB entsprechen. Diese Schwingungsmessungen entlarven auch unerwünschtes Verhalten wie Prellen oder ungenaue Einspritzzeiten bereits im Vorfeld.

## End-of-Line-Test

Nebenaggregate wie Kompressoren oder Lüfter sind gerade bei elektrifizierten Antriebskonzepten störende Geräuschquellen. Schwingungsmessungen geben Aufschluss über die Design-Qualität während der Entwicklungsphase und Endabnahme. Komponenten werden vor Ihrem Einbau einem 100%-Test unterzogen, um die Kundenzufriedenheit sicherzustellen.

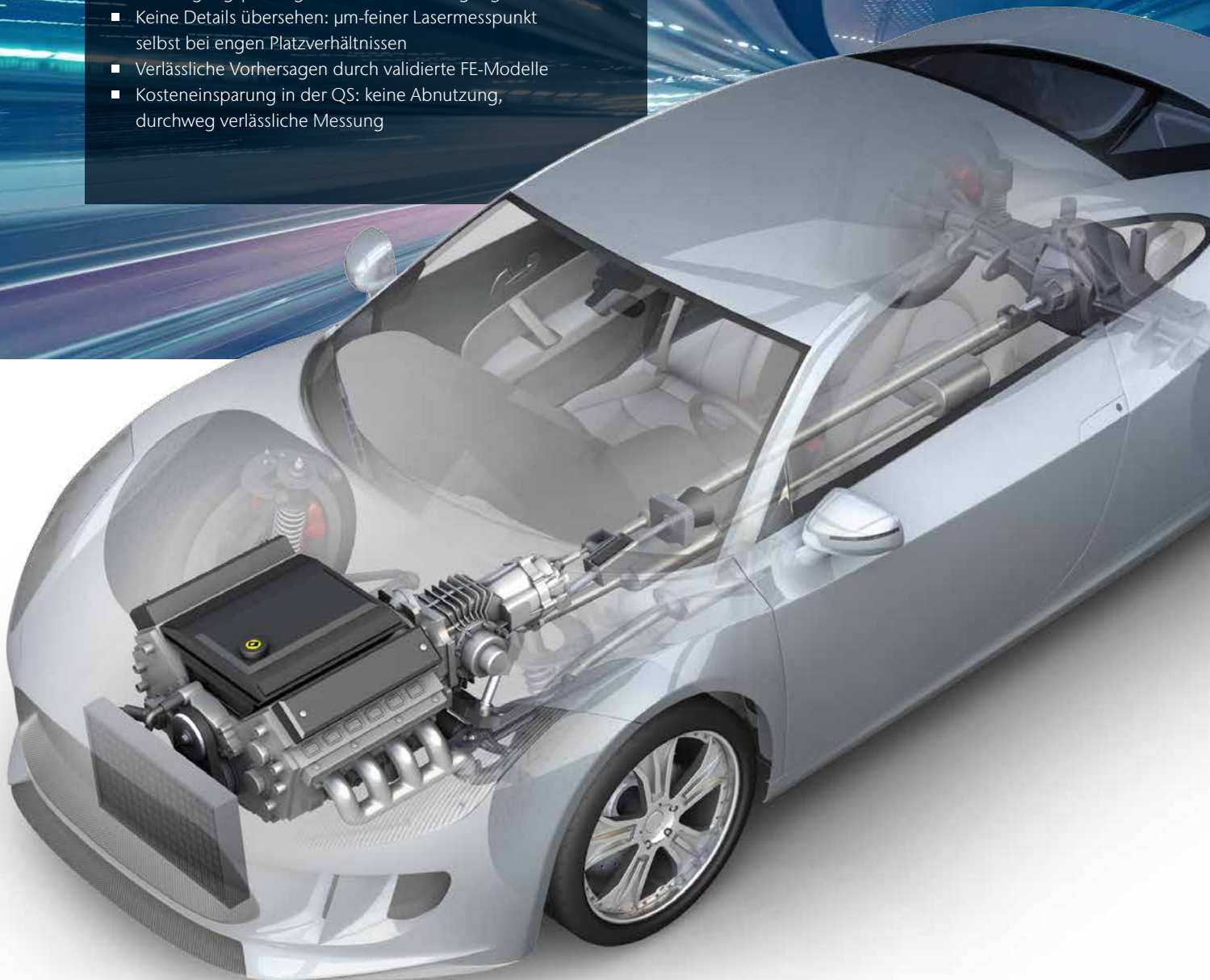
Das Laser-Doppler-Vibrometer unterstützt hier an mehreren Stufen: In der Entwicklungsphase für NVH, bei der Auswahl der Testpunkte für Körperschallmessungen und als Sensor, der ohne Zustellmechanik über einen weiten Arbeitsabstand misst. Weil der Sensor die Oberfläche nicht berührt, beeinflussen weder Schmutz noch Massebeladung die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Messung. Damit wird Pseudo-Ausschuss reduziert und die Ausbringung und damit die Wirtschaftlichkeit erhöht.





### Highlights

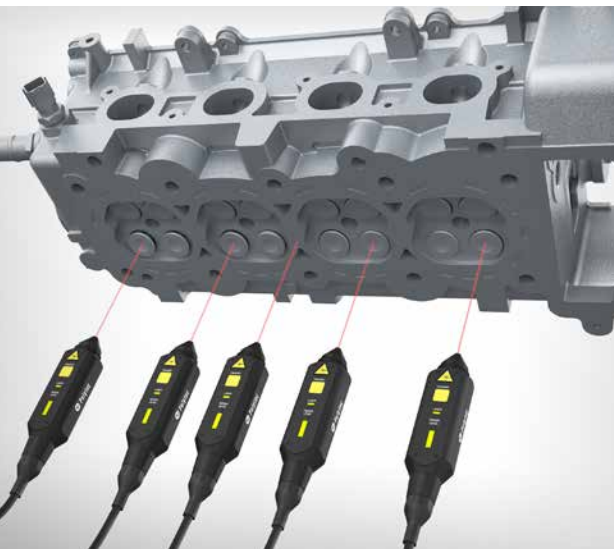
- Präzise: LDV lösen Schwingwege im nm-Bereich auf
- Hohe räumliche Auflösung selbst bei hohen Frequenzen
- Schwingungsprüfung unter heißen Bedingungen
- Keine Details übersehen:  $\mu\text{m}$ -feiner Lasermesspunkt selbst bei engen Platzverhältnissen
- Verlässliche Vorhersagen durch validierte FE-Modelle
- Kosteneinsparung in der QS: keine Abnutzung, durchweg verlässliche Messung



### Abgassysteme

Um ein leises Abgassystem zu erhalten, muss man störende Resonanzen detektieren und eliminieren sowie die Aufhängung schwingungstechnisch optimieren. Das SLDV misst Schwingformen auch an heißen Komponenten unter Betriebsbedingungen. Die Testdaten erleichtern dem Ingenieur die Optimierung des Designs erheblich.

## Ventiltrieb



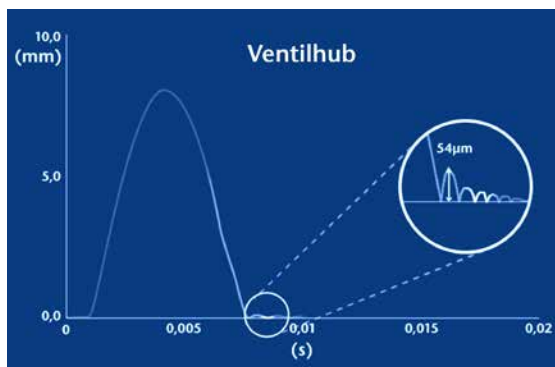
*Mehrkanalmessungen zur synchronen Erfassung der Ventilschließzeiten*

### **Sparsame Motoren erfordern eine hochpräzise Steuerung des Ladungswechsels. Hierfür sind Laservibrometer das richtige Messinstrument.**

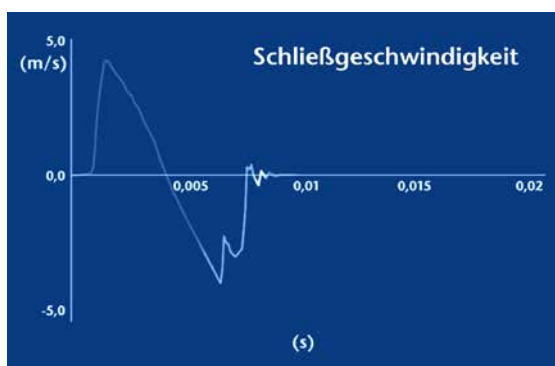
Ein effektiver Ladungswechsel entscheidet über Leistung, Drehmoment und Verbrauch. Um das Zusammenspiel von Nockenwelle, Ventil, Feder und Sitz zu optimieren, muss man verstehen, was während des Betriebs vor sich geht. Vor der Einführung des HSV Ventiltrieb-Messsystems blieben hier viele Fragen unbeantwortet. Folgt das Ventil der Nockenkurve oder hebt es ab? Schließt das Ventil sauber oder neigt es zum Prellen? Ein Multikanal-LDV legt die tatsächliche Dynamik bei Betriebsdrehzahlen offen. Über dem Nockenwellenwinkel aufgetragene Ventil-erhebungskurven zeigen, wie genau das Ventil folgt und verdeutlichen leistungskritische Phasenabweichungen zwischen verschiedenen Zylindern parallel. High Speed Vibrometer messen Geschwindigkeit und Weg der Ventile synchron und mit  $\mu\text{m}$ -Auflösung, um auch die feinsten Abweichungen zu offenbaren.

*Laservibrometer helfen beim perfekten  
Timing des Ventiltriebs*

### Messung von Ventilhub und Schließgeschwindigkeit



*Ventilerhebungskurve mit Ventilprellen*



*Im Geschwindigkeitsdiagramm wird das Prellen  
besonders deutlich*





# Getriebe

Wie der Antrieb das Drehmoment auf die Räder überträgt, beeinflusst Verbrauch, Betriebsfestigkeit, Fahrgefühl und die akustische Qualität. Drehschwingungsdämpfer, Zweimassenschwungräder, Getriebe und Differenzial wandeln die Antriebsenergie um. Damit sind diese Komponenten immer auch potenzielle Vibrationsquellen mit starkem Einfluss auf Haltbarkeit und NVH-Verhalten.

## Getriebe und Differenzial

Der Zahneingriff regt das Getriebegehäuse mit hohen Frequenzen zum Schwingen an. E-Antriebe mit einstufigen Untersetzungsgetrieben und hohen Drehzahlen treiben diese Frequenzen in den hohen kHz-Bereich. LDVs erfüllen mit ihrer hohen Bandbreite und Linearität zwei der wichtigsten Anforderungen für Ordnungs- und Betriebsschwingformanalysen.

Geräusche sind der unerwünschte hörbare Effekt hochfrequenter Anregung durch den Zahneingriff. Eine gängige Abhilfe ist das sogenannte Verstimmen der Flächen, wodurch Eigenfrequenzen nicht mehr angeregt werden. Die Visualisierung der Betriebschwingformen zeigt dem Ingenieur, was zu tun ist.

Auf den Testdaten basierende akustische Simulationen erlauben es, den Effekt vorgesehener Modifikationen zu antizipieren. Diese Testprozedur reduziert die Zahl der Iterationen und beschleunigt das Troubleshooting.

Ist die Entwicklung abgeschlossen, hängt die Produktqualität von der Fertigung ab. Um unerwünschte Geräusche und damit Kundenreklamationen zu vermeiden, erfolgt eine 100%-Kontrolle der Getriebe. Auch hier hat sich die berührungslose Messtechnik als die effizienteste Messmethode erwiesen.

## Antriebswelle und Drehschwingungsdämpfer

Die Laservibrometrie gibt dem Anwender mehr Freiheiten in der Messtechnik. Mit Rotationsvibrometern werden Ordnungsanalysen an jeder beliebigen Stelle des Antriebsstrangs möglich. Weder das Trägheitsmoment, noch die Geometrie der Welle werden dabei verändert. Torsionsschwingungsdaten direkt von der Quelle liegen als Spannungssignal vor, für die einfache Weiterverarbeitung in gängigen Datenerfassungssystemen. Somit werden effizient torsionale Schwingungen zwischen Wellen sowie Eigenresonanzen erfasst. Rotationsvibrometer passen sich allen Gegebenheiten moderner Antriebstechnik bei Benzin-, Diesel- bis Hybrid-Fahrzeugen an.

Auch Scanning-Vibrometer liefern wertvolle operationale Daten über Biegeschwingungen an Antriebswellen. Wenn Querkräfte die Biegemoden, das Geräuschverhalten und die Haltbarkeit beeinflussen, decken Messungen der dynamischen Biegelinie solche Einflüsse auf und liefern Daten für die CAE-Simulation.

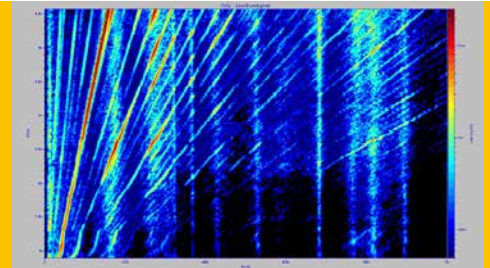


### Highlights

- Laser Vibrometer überwinden Grenzen:
  - selbst hohe Frequenzen sicher messen
  - linearer Frequenzgang auf der kompletten Bandbreite
- Zeitersparnis: keine Montage an rotierenden Strukturen nötig
- Flexibel bleiben: Messpunkte ohne Einschränkungen wählen
- Schnellere Marktreife: rasche FE-Modell-Updates basierend auf hochgenauen Messdaten
- Überzeugende Resultate: vollflächige Visualisierung der abstrahlenden Schwingformen an der Quelle




Rotationsvibrometer ermitteln torsionale Eigenresonanzen des Antriebsstrangs auf dem Rollenprüfstand, hier am IPEK des KIT Karlsruhe Institute of Technology.



Spektrogramm eines Motorenhochlaufs





A close-up, artistic photograph of a car's instrument cluster. The focus is on a tachometer with a needle pointing towards the 'ECO' (Eco) zone. The needle is white and positioned between the 'ECO' and 'HIG' (High) markings. The 'ECO' zone is highlighted with a green and yellow border, while the 'HIG' zone is blue. The background of the tachometer is dark with concentric lines. The word 'DISP' is visible on the left side of the instrument panel.

Emissions-Grenzwerte geben wichtige Impulse für Weiterentwicklungen in der Fahrzeugtechnik und haben einen Boom in der Erforschung neuer elektrischer Antriebskonzepte ausgelöst. Und auch die Fahrzeug-elektronik wird umfangreicher. Heute entscheiden Computer und elektronische Steuerungen etwa über die richtige Einspritzstrategie oder halten das Fahrzeug auch unter kritischen Fahrsituationen auf der Straße. Diese elektronische Evolution mit ihrer Fülle an Technologien verändert und verbessert das Fahrerlebnis nachhaltig. Gleichzeitig entstehen neue Herausforderungen durch neue Störquellen.

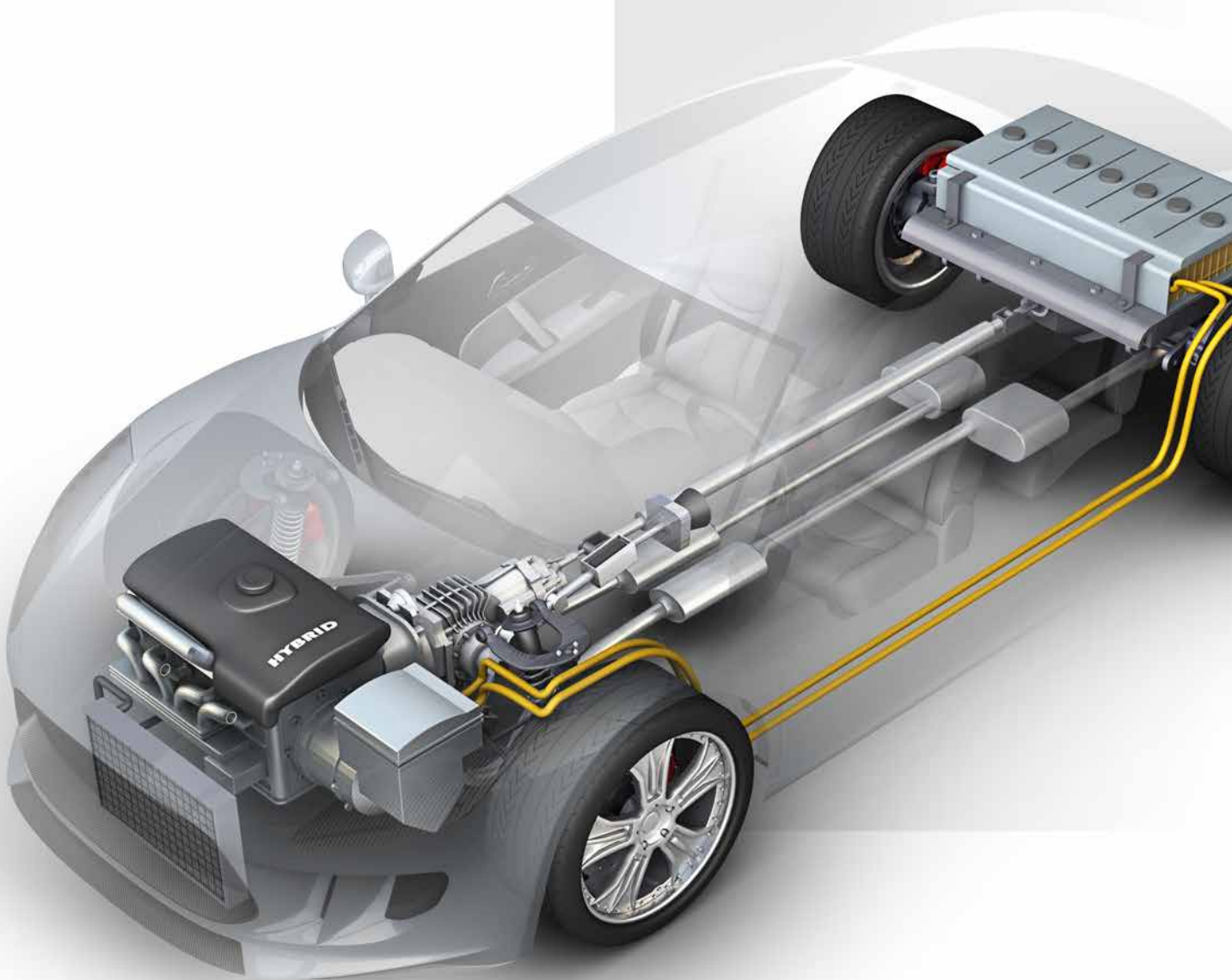


# Elektromobilität & Fahrzeugelektronik

Integration von Antriebskonzepten

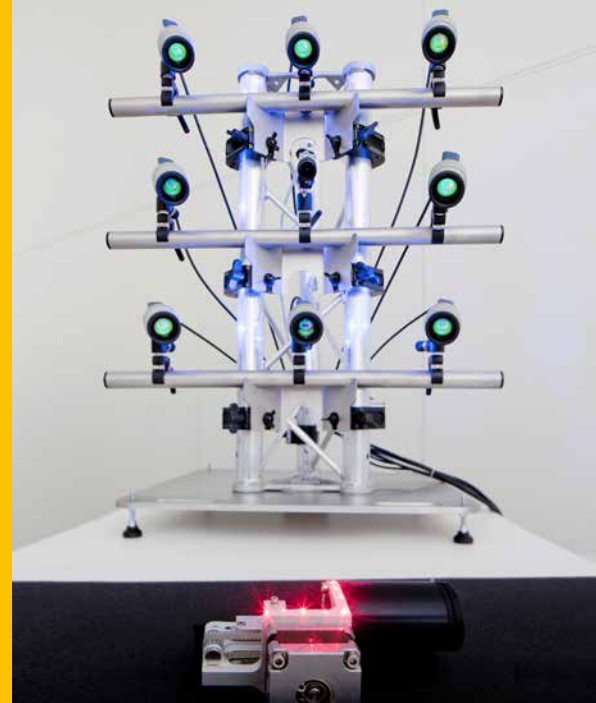
# Elektrischer Antrieb

Wenn die Elektronik das komplette Fahrzeug dominiert ...





*Zeitsynchrone Schwingungsmessung mit Multipoint Vibrometern zur Erforschung transienter Vorgänge wie bei Motorenhochläufen.*



### **Elektromobilität**

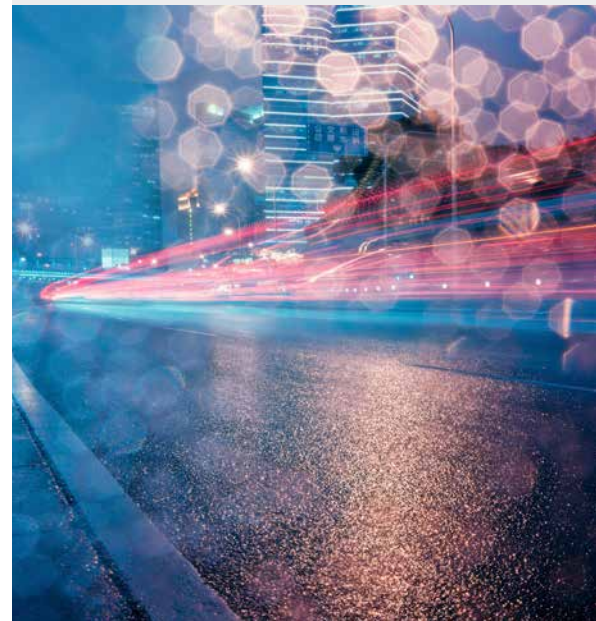
Elektrofahrzeuge sind ein gutes Beispiel für neue Ansätze in der Fahrzeugentwicklung. Fällt der Verbrennungsmotor weg, rücken hochfrequente und schärfebehaftete Quellen in den Vordergrund. Neben der klassischen Optimierung von Windgeräuschen und Getriebeheulen müssen vermehrt Lüftergeräusche, Leistungselektronik oder Stellmotoren untersucht werden. Der Abgleich von Simulationsdaten mit gemessenen Testdaten ist entscheidend für akustische Spitzenleistung – gerade im mittleren Frequenzbereich.



### **Batterien & Leistungselektronik**

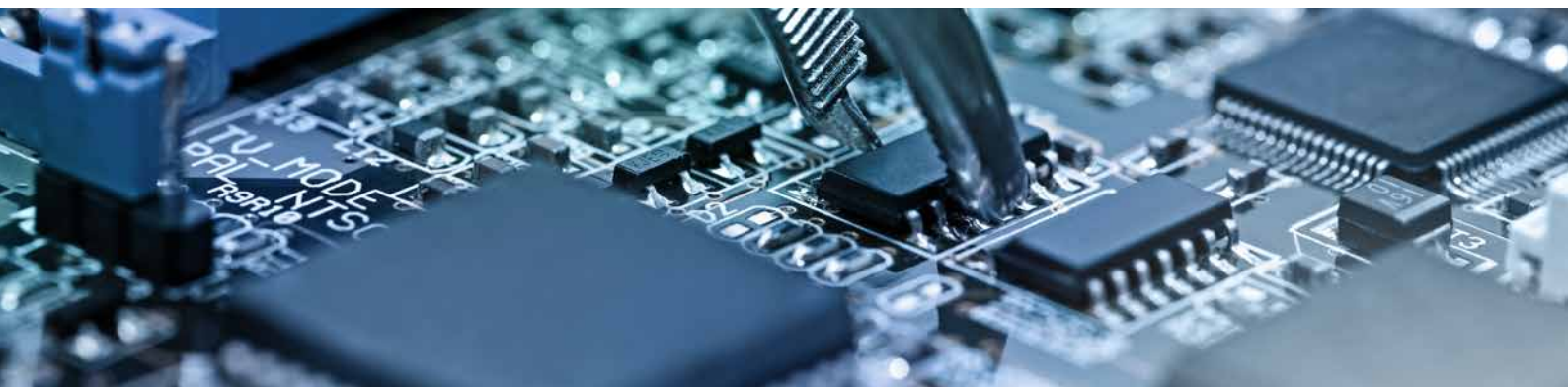
Neue Herausforderungen sind hierbei die Störquellen wie Kühlventilatoren von Batterien oder hochfrequente Inverter-Schwingungen zu minimieren. Körperschallquellen im kHz-Bereich misst und visualisiert ein Laservibrometer direkt.

Mit der Verbreitung von Elektroantrieben ist auch in die Batterie-Entwicklung neuer Schwung gekommen. Hier verbessern Vibrometer die Zuverlässigkeit. Dank der hohen örtlichen Auflösung sind auch Messungen an kleinen Komponenten und sogar an einzelnen Kabeln möglich, sodass Ausfälle der Vergangenheit angehören.



# Elektronikplatinen & Steuergeräte

**Die Elektrifizierung des Autos beschränkt sich jedoch nicht nur auf den Motor. Immer mehr computer-gesteuerte Systeme kommen zum Einsatz. Sie steuern den Motor, halten das Fahrzeug auf der Straße und sorgen für Komfort bei Fahrer und Passagieren. Ein eingehendes Verständnis dieser Teilsysteme ist nötig, um die Zuverlässigkeit zu gewährleisten und teure Fehlfunktionen zu vermeiden.**



Jedes Fahrzeug besitzt heute eine Fülle von Elektronikplatinen. Sensoren auf Platinen von ESP-Systemen sorgen dafür, dass das Fahrzeug die Spur hält und Fahrfehler folgenlos bleiben. Polytec bietet spezielle Messtechnik für diese Leistungselektronik an. Messungen direkt auf der Platine liefern Erkenntnisse über das Schwingverhalten und die Beanspruchung des Bauteils. Sie zeigen das Übersprechen von Platinen- und Fahrzeugmoden ebenso wie 3D-Bewegungen feinsten Anschlussdrähte. Diese Messdaten verbessern schließlich die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Fahrzeugs.

## Sensorik

Die Weiterentwicklung der Steuergeräte erfordert parallel die Evolution der Sensoren für Stabilitätskontrolle und Fahrerkomfort. Mikromechanische Sensorsysteme (MEMS) sind die Basis dieser Sensoren. Um sicherzustellen, dass sich das Fahrzeug richtig verhält, muss die Charakteristik der MEMS-Sensoren für Beschleunigung, Drehrate oder Druck genau bekannt sein. Zu diesem Zweck entwickelte Polytec Mikroskop-basierte LDVs. Um die Funktion von Beschleunigungs- oder Drehratensensoren zu

garantieren, muss das Sensorsignal der Fahrzeugdynamik entsprechen. Übersprechen von lokalen Moden stört diese Übereinstimmung. Untersucht man die lokale Dynamik des Sensors bei Stoß- oder Strukturanregungen, erleichtert das die richtige Auslegung des Packaging und der Befestigung.

Ohne Näherungs- und Positionssensoren kommt heute kein Fahrzeug mehr aus. Das Auto warnt den Fahrer vor Hindernissen und steigert so die Fahrsicherheit. Polytec liefert Messsysteme, die bis in den Ultraschallbereich prüfen und damit bei der Entwicklung solcher Sensoren helfen. Bei Ultraschall-Parksensoren ist es beispielsweise entscheidend, das Schallfeld des Senders zu kennen. In der Entwicklung ist die Optimierung der Schallwandler an sich und im Einbauzustand wichtig, um im Betrieb zuverlässig vor Hindernissen zu warnen. Messtechnik von Polytec erledigt zuverlässig all diese Messaufgaben.

# Entertainment




*Haptik und haptisches Feedback sind Qualitätsmerkmale an der Schnittstelle zwischen Mensch und Auto*

Im Laufe der Zeit wurde aus dem Transportmittel ein Lifestyle-Objekt und die Erwartungen der Passagiere steigen von Jahr zu Jahr. Qualität drückt sich im Detail aus: im haptischen Feedback von Displays oder im Sound der Audioanlage. Dieser Qualitätsanspruch unterstreicht das Markenbewusstsein der Fahrzeug-Hersteller.

Polytec entwickelt die Messtechnik, um dieses Fahrerlebnis objektivierbar und damit reproduzierbar zu machen.





Polytec ist Weltmarktführer bei der Entwicklung und Herstellung optischer Messsysteme zur Charakterisierung von Schwingungen. Auch für Oberflächenmesssysteme sowie bei der berührungslosen Längen- und Geschwindigkeitsmessung sind wir Spezialisten. Polytec ist seit 1994 ISO-zertifiziert, zuletzt nach DIN EN ISO 9001:2008. Zahlreiche nationale und internationale Auszeichnungen belegen unsere technologische Spitzenposition.





 **Polytec**

 **Polytec**

 **Polytec**

 **Polytec**

 **Polytec**  
↳ PolyXpert Services  
← Hauptingang Main Entrance  
Anlieferung Delivery

 **Polytec**  
[www.polytec.de](http://www.polytec.de)

 **Polytec**  
KA-P 1630

# PolyXpert Services

Zusammen schneller zum Ziel



# Mit PolyXpert Services schneller zum Ziel







Sie entwickeln gerade ein neues Produkt und brauchen schnellstens **hochpräzise Messdaten**, um grundlegende Funktionen und Eigenschaften besser zu beurteilen?

**Dann ist Polytec Ihr Partner.**

Sie benötigen dringend **hochqualifizierte Fachleute** für ein zeitlich begrenztes Projekt, z. B. im Bereich Troubleshooting?

**Dann ist Polytec Ihr Partner.**

Sie möchten Ihr Spezialwissen ausbauen und von den Erfahrungen erstklassiger Experten profitieren?

**Dann ist Polytec Ihr Partner.**

Darüber hinaus dürfen Sie Ihr **Budget nicht über Gebühr strapazieren** und wollen Ihr Projekt auch schnell beim Controlling „durchboxen“?

**Dann ist Polytec Ihr Partner.**

Sie sehen, Polytec ist viel mehr als ein Gerätehersteller. Wir bieten Ihnen rund um unsere Produkte ein umfassendes Produkt- und Dienstleistungsspektrum:

- Schwingungsmessung und Strukturanalyse
  - Von der Planung zur Auswertung
  - Von mikroskopisch bis makroskopisch
  - Von 1D bis 3D
- Modaltest und experimentelle Modalanalyse
  - Optimierung der Strukturodynamik und Akustik
  - Zur Modellvalidierung
  - Ideal für Bottom-Up-Strategie
  - Ermittlung von lokalen Moden und Dämpfungen
- Betriebsschwingformen
- Vibroakustische Güteprüfung
- Dreh-Ungleichförmigkeiten und Ordnungsanalysen
- Torsionsschwingungsuntersuchung
- Untersuchung transienter Phänomene
- Hochdynamische Wegmessung
- Messung der dynamischen Dehnung
- Untersuchung von Mikrostrukturen



### Was bringt Ihnen PolyXpert Services?

Ganz einfach – viele Vorteile:

- Sie nutzen die aktuellste und bestmöglich geeignete Messtechnik für eine optimale Datenqualität und ein besseres Verständnis der statischen und dynamischen Eigenschaften Ihres Produkts.
- Sie lassen kurzfristig anfallende Messaufgaben unkompliziert als Dienstleistung ausführen.
- Sie profitieren auch von einmaligen oder gelegentlichen Messungen, für die sich die Anschaffung eines eigenen Systems nicht lohnt.
- Sie testen die Messtechnik anhand Ihrer spezifischen Fragestellung und in der späteren Betriebsumgebung.



 **Polytec GmbH**  
 Polytec-Platz 1-7  
 76337 Waldbronn  
 Tel. +49 7243 604-0  
 info@polytec.de

**Polytec GmbH**  
 Vertriebs- und  
 Beratungsbüro Berlin  
 Schwarzschildstraße 1  
 12489 Berlin  
 Tel. +49 30 6392-5140

 **Polytec, Inc.**  
**(USA)**  
 North American  
 Headquarters  
 16400 Bake Parkway  
 Suites 150 & 200  
 Irvine, CA 92618  
 Tel. +1 949 943-3033  
 info@polytec.com

**Central Office**  
 1046 Baker Road  
 Dexter, MI 48130  
 Tel. +1 734 253-9428

**East Coast Office**  
 1 Cabot Road  
 Suites 101 and 102  
 Hudson, MA 01749  
 Tel. +1 508 417-1040

 **Polytec Ltd.**  
**(Great Britain)**  
 Lambda House  
 Batford Mill  
 Harpenden, Herts AL5 5BZ  
 Tel. +44 1582 711670  
 info@polytec-ltd.co.uk

 **Polytec France S.A.S.**  
 Technosud II  
 Bâtiment A  
 99, Rue Pierre Semard  
 92320 Châtillon  
 Tel. +33 1 496569-00  
 info@polytec.fr

 **Polytec Japan**  
 Arena Tower, 13th floor  
 3-1-9, Shinyokohama  
 Kohoku-ku, Yokohama-shi  
 Kanagawa 222-0033  
 Tel. +81 45 478-6980  
 info@polytec.co.jp

 **Polytec South-East Asia  
 Pte Ltd**  
 Blk 4010 Ang Mo Kio Ave 10  
 #06-06 TechPlace 1  
 Singapore 569626  
 Tel. +65 64510886  
 info@polytec-sea.com

 **Polytec China Ltd.**  
 Room 402, Tower B  
 Minmetals Plaza  
 No. 5 Chaoyang North Ave  
 Dongcheng District  
 100010 Beijing  
 Tel. +86 10 65682591  
 info-cn@polytec.com