

Technik 11.11.2018

An einem Strang ziehen

Der Antriebsstrang muss insbesondere bei sportlich ausgelegten Fahrzeugen sehr hohe Anforderungen erfüllen. Und die Ansprüche steigen noch: Bei modernen Plug-In-Hybriden müssen immer mehr Antriebskomponenten in den knappen Bauraum passen, die zudem immer mehr Leistung zuverlässig zu übertragen haben.



Neue Materialien und Fertigungsmethoden tragen dazu bei, diese gesteigerte Leistungsdichte zu erreichen. Dem Testing fällt damit eine wichtige Rolle als Freigabeinstrument zu. Denn nur was hier besteht, hat eine Chance, künftige Fahrzeuggenerationen zu bewegen. Es sind solche Herausforderungen, die die Ingenieure bei Porsche Engineering zur Höchstform auflaufen lassen. Im Testing geht es darum, repräsentative Alltagsbelastungen zu definieren und in Testszenarien für einzelne Teile und Baugruppen umzusetzen. Das Ziel besteht darin, in einer starken zeitlichen Raffung alle relevanten Belastungen und Funktionsanforderungen abzuprüfen. Die Werkzeuge hierfür reichen von der Simulation über Prüfstandsversuche bis hin zu Fahrversuchen.

Simulation als Ausgangspunkt

Simulationen beruhen auf physikalischen und verhaltensbasierten Modellen der Fahrumgebung, des Fahrers und des Fahrzeugs selbst. Heutige Computermodelle, wie sie Porsche Engineering nutzt, verfügen über eine Datentiefe, die im Verlauf der Jahrzehnte gewachsen ist. Damit können komplexere Anforderungen seitens des Kunden – etwa die Verwendbarkeit eines Triebstranges in verschiedenen Fahrzeugmodellen – zuverlässig abgebildet werden. Um für unterschiedliche Produkteinsatzgebiete die Belastungsprofile der Komponenten des Antriebsstrangs hinreichend genau bestimmen zu können, sind Simulationen für sogenannte Lastkollektive unerlässlich. Hierbei entsteht zwangsläufig ein Zielkonflikt zwischen Festigkeit, Gewicht und Kosten, den es zu lösen gilt. In einem zweiten Schritt werden aus den verschiedenen Belastungsprofilen die Auslegungskollektive extrahiert, auf deren Grundlage die Aggregate für den sogenannten Baukasten dimensioniert werden.

Dies ist ein sehr dynamischer Prozess, insofern als Applikationen die Fahr- und Komfoteigenschaften des Fahrzeugs im Laufe der Entwicklung ändern und verfeinern. Diese Änderung der Fahrzeugcharakteristik kann dazu führen, dass die Beanspruchung der Bauteile gravierend zunimmt und dadurch Auslegungsgrenzen überschritten werden. Auch dafür lassen sich ausschließlich über Simulationen

der Bauteilbelastungen mit neuen Applikationsdaten Lastkollektive ermitteln, die in einem iterativen Prozess immer wieder mit den Auslegungskollektiven abgeglichen und an diese angenähert werden müssen.

Prüfstandserprobung mit höchster Belastung

Bereits mit den ersten Prototypen der Komponenten kann die Prüfstandserprobung auf Bauteilebene beginnen. Dabei werden die Bauteile in der Regel im Rahmen von Kurzzeittests mit sehr starker Raffung in definierten Stufen und nach den definierten Auslegungsgrenzen hinsichtlich Ölversorgung, Lager-, Zahnflanken- und Zahnfußbelastung bis zur Bauteilermüdung (schädigungsäquivalent) geprüft. Diese Art der Prüfung ist hochgradig bauteilbezogen und nur bedingt aussagefähig. Allerdings gibt sie bereits in einer frühen Entwicklungsphase Aufschluss über die Funktionsfähigkeit des betreffenden Konzepts.

Sobald im weiteren Verlauf der Entwicklung Gesamtaggregate zur Verfügung stehen, können auch diese erprobt werden. Besonders geeignet sind sogenannte Zyklendauerläufe, die einen verhältnismäßig hohen Raffungsfaktor bei gleichzeitig hoher Aussagekraft in Bezug auf die Subkomponenten liefern. Die Aggregate befinden sich dabei in einem Gesamtverbund aus Verbrennungsmotor, Traktionsmotor, Getriebe, Steuergeräten, Kardan- und Achswellen. Den Reifenkontakt zur Fahrbahn stellen Abtriebsmaschinen in einer Reifenschlupfsimulation her.

Der Einsatz von realen Steuergeräten ermöglicht es, Applikationsdatensätze gemeinsam mit dem Triebstrang abzuprüfen. Das Erprobungsziel ist ebenfalls eine Schadensäquivalenz zur simulierten Triebstrangbelastung. Eine intelligente Online-Regelung der Verteilerkupplung sorgt während des Prüflaufs für die richtige Verteilung des Antriebsmoments auf Vorder- und Hinterachse. Mit voranschreitendem Prüflauf lassen sich Einflussgrößen, wie beispielsweise tribologische Schwankungen oder Verschleiß von Bauteilen und Schmierstoffen, die eine Änderung von Antriebsleistung oder Verlustleistung bewirken, durch eine Online-Regelung der Steigungswiderstände kompensieren. Dies hat zur Folge, dass der Triebstrang noch vor dem Einsatz in einem ersten Prototyp einen hohen Reifegrad erreicht.

Realitätsnaher Nachfahrversuch

Am genauesten – allerdings auch am zeitintensivsten – lassen sich die Belastungen aller Triebstrangkomponenten auf dem Prüfstand im Nachfahrversuch abbilden. Dieser zeichnet sich durch eine sehr hohe Aussagefähigkeit für alle Bauteile aus. Der Nachfahrversuch kann auf der Basis von Fahrermodellen unter Berücksichtigung der Fahrzeugparameter oder auf der Grundlage real gemessener Fahrdaten eines Erprobungsfahrzeugs erfolgen. Nachfahrversuche haben keine zeitliche Raffung, sie beziehen jedoch sämtliche Fahrer- und Umwelteinflüsse der Abnahmestrecke als Eingangsgrößen mit ein.

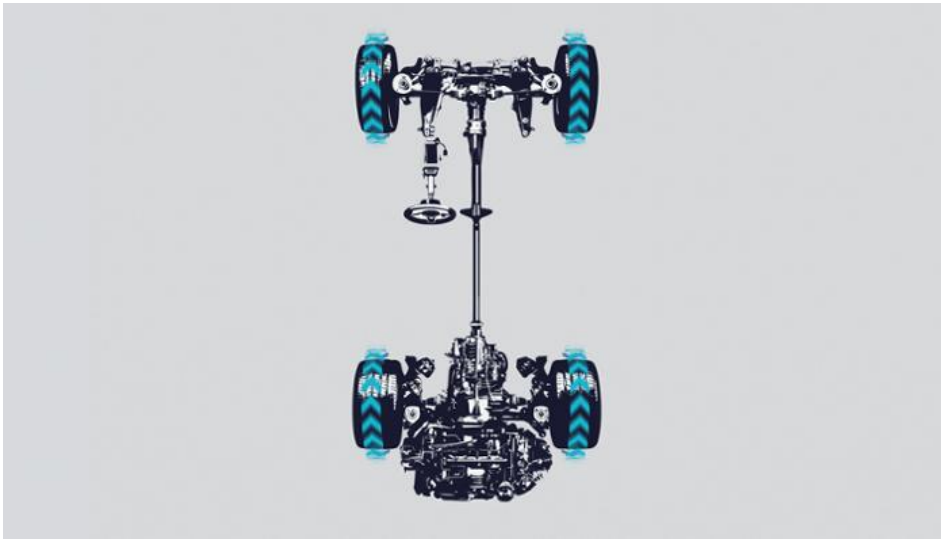
Als Regelgröße dienen Fahrzeuggeschwindigkeit und Abtriebsdrehzahlen. Diese lassen sich entweder direkt als Geschwindigkeit oder synthetisch als Fahrprofil vorgeben. Ziel ist die Minimierung der Fehleranfälligkeit bei geringsten Abweichungen von den Sollvorgaben. Eine Kompensation durch die Online-Regelung des Fahrwiderstands ist nicht möglich, kann jedoch über ein intelligentes Fahrermodell erfolgen, das zu einem dynamischen Nachfahrversuch führt. Dabei entscheidet die Fahrerlogik autonom, ob das Geschwindigkeitsprofil nachgefahren oder freies Fahren im Rahmen eines Grenzprofils gewählt wird.

Aufwendige Messung in der Straßenerprobung

Parallel zur Entwicklung des Triebstranges schreitet die Gesamtfahrzeugentwicklung voran, sodass die Nachfahrversuche auf Prüfständen um Messungen in den Erprobungsfahrzeugen ergänzt werden. Dies erfolgt im realen Straßenverkehr sowie auf abgesperrtem Prüfgelände, wie zum Beispiel in Nardò. Ziel der Fahrzeugmessungen von Porsche Engineering ist es, die im täglichen Einsatz des Fahrzeugs zu erwartenden charakteristischen Betriebslasten des Triebstrangs über Fahrdistanzen von bis zu 15.000 Kilometern im Zeitbereich mit ausreichender statistischer Aussagekraft zu messen. Die Versuchsfahrer nutzen dazu ausschließlich trockene Straßen, da hier der Ermüdungseintrag am höchsten ist. Die Messbedingungen berücksichtigen alle wesentlichen Einflussparameter wie Streckenzusammensetzung, Fahrweise und Fahrzeugbeladung. Aus den Messungen leiten die Ingenieure im Rahmen der nachfolgenden Datenaufbereitung Lastkollektive für genau definierte Kundennutzungsprofile ab.

Messtechnik: robust, aber sensibel

Die Messtechnik für die Fahrversuche ist so ausgelegt, dass sie neben dem üblichen Alltagsbetrieb auch Extremlasten aus Missbrauchsmanövern, wie sogenannte „Performance-Starts“, ohne Schaden übersteht. Um im Fahrzeugbetrieb in einem Zeitraum von drei Wochen Messdaten aus einer zurückgelegten Strecke von mehr als 15.000 Kilometern erfassen zu können, wird ein Messsystem eingesetzt, das sich durch eine besonders hohe Zuverlässigkeit bezüglich sicherem Systemstart, Ausfallsicherheit und Speicherfähigkeit auszeichnet. Das Hauptaugenmerk beider Lastkollektivmessungen liegt auf den Raddrehmomenten. Anhand der Raddrehmomente und der Getriebeübersetzung lässt sich exakt ermitteln, welche Belastungen am Antriebsstrang wirken und welche Schädigungen daraus für die einzelnen Komponenten im Antriebsstrang resultieren. Erschwert werden die Messungen der Drehmomente durch drehende Teile (Messung nur über Schleifkontakte oder Telemetrie möglich), Bewegung des Triebstrangs in alle Richtungen, Temperatureinflüsse (Strahlungswärme von Abgasanlage, Getriebe, Motor), elektromagnetische Störungen (EMV-Robustheit) sowie Witterungseinflüsse.



Der Antriebsstrang muss auch Extremlasten aus Missbrauchsmanövern ohne Schaden überstehen

Als Messinstrument dienen hier sogenannte Messflansche. Sie sind aufgrund ihrer hohen Bauteilsteifigkeit besonders unempfindlich gegen Missbrauchsbelastungen (Performance-Start, -Sprung).

Weitere Messinstrumente für die Straßenerprobung sind:

- Beschleunigungssensoren, die Fahrzeugbeschleunigungen in der x-, y- und z-Achse aufnehmen,
- GPS-Empfänger, die die Position anhand von Längen- und Breitengraden sowie die Höhe, Steigung, Kurvenkrümmung und -radien bestimmen,
- Temperaturfühler, die die Umgebungstemperatur, Bauteiltemperaturen sowie Temperaturen in Betriebsflüssigkeiten erfassen.

Großes Datenvolumen

Digitale Messgrößen beschreiben in erster Linie die Signale, die zur Kommunikation der Steuergeräte über das Fahrzeug-Bussystem ausgetauscht werden. War bis vor wenigen Jahren noch eine geringe Anzahl an CAN-Systemen ausreichend, um den Datenaustausch zu gewährleisten, wird bei Fahrzeugen neuerer Generationen zusätzlich auf das FlexRay-System zurückgegriffen. FlexRay kann aufgrund

seiner Architektur viel größere Datenmengen übertragen. Der Signalumfang der Messreihen beträgt in der Regel zwischen 100 und 600 Signale, die im Zeitbereich zwischen 500 Hertz (Drehmoment) und einem Hertz (Temperatur) gemessen werden. Zur Erfassung der Daten setzt Porsche Engineering leistungsfähige Datenlogger ein, die für große Datenvolumen und hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten ausgelegt sind. Für die Getriebeentwicklung sind zusätzliche Übertragungsprotokolle (XCP, CCP etc.) erforderlich.

Das System wird über einen Zentralschalter gestartet, der alle Verstärker und Messblöcke von einer zentralen Spannungsversorgung aus bedient. Dies ist erforderlich, um Fehlmessungen aufgrund versehentlich nicht angeschalteter Systemkomponenten zu vermeiden. Gleiches gilt nach Abschluss der Messung: Werden einzelne Komponenten versehentlich nicht ausgeschaltet, ist die Fahrzeugbatterie vor dem nächsten Messeinsatz entladen.

Präzise Erfassung der Strecke

Um Datenverluste während der Messungen zu reduzieren, gibt es auf jeder Strecke feste Speicherpunkte, die von den Fahrern einzuhalten sind. Sollte die Messtechnik zwischen zwei Speicherpunkten ein Problem aufweisen, muss nicht die gesamte Strecke, sondern nur das fehlerhafte Teilstück nachgefahren werden. Daraus ergeben sich aber für jede Messung mehrere Dateien, die im Nachgang wieder zusammengefügt werden müssen. Zur eindeutigen Zuordnung der Messdaten zu einem Streckentyp dient ein Streckensignal, das sich zum Beispiel mit GPS-Koordinaten auf bekannten Strecken erstellen lässt. Eine weitere Methode generiert ein Streckensignal anhand von zusätzlichen Messgrößen (Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Beschleunigung usw.), die aufwendig miteinander verrechnet werden. Daraus ergibt sich ein sehr dynamisches Signal, das auch Standzeiten in einem Stau oder Stadtfahrten gezielt verarbeitet. Wenn durch Streckensperrungen vom geplanten Streckenverlauf abgewichen werden muss, kommt es zu Abweichungen zwischen verschiedenen Messungen. In diesem Fall ermöglicht das Verfahren eine automatisierte Zuordnung eines Streckentyps (zum Beispiel Stadt, Landstraße, Autobahn).

Aufbereitung der Messdaten

Im Verlauf der Messungen können systembedingt unterschiedliche Messfehler in den Daten auftreten, die im Nachgang und insbesondere vor der Übergabe der Messdaten an den Kunden behoben werden. Bei den Messfehlern handelt es sich vor allem um Fehlstellen innerhalb des Drehmomentsignals der Messflansche/-wellen. Mögliche Fehlerarten sind unter anderem Drehmoment-Offsets, Kalibriersprünge, Spikes, Drifts oder „No Values“. Eine manuelle Behebung dieser Messabweichungen wurde je nach Umfang der Rohdatenmasse Monate beanspruchen. Deshalb hat Porsche Engineering die Erkennung derartiger Fehler automatisiert. Nicht verwertbare Daten werden von Suchprogrammen herausgefiltert, sodass eine manuelle Prüfung der Datensätze entfällt. All das mit einem Ziel: dem Kunden möglichst schnell und effizient verlässliche Daten liefern zu können, die am Ende über die Dimensionierung und das Setting einer wesentlichen Baugruppe eines Fahrzeugs entscheiden. Eine große Verantwortung, der sich Porsche Engineering in jedem Projekt stellt.

Ausblick

Porsche Engineering arbeitet intensiv daran, mit seinen Testszenarien der Zukunft der Automobiltechnik immer mindestens einen Schritt voraus zu sein. Ganz konkret errechnet Porsche Engineering beispielsweise Simulationen, welche die Belastungen des Fahrbetriebs noch facettenreicher abbilden. Automatisiertes Fahren wird in Zukunft erheblichen Einfluss auf die Zusammensetzung und Harte der Triebstrangbelastungen haben, sodass etwa potenzielle Belastungsreduzierungen zielgerichtet für den Leichtbau genutzt werden könnten. Diesen Herausforderungen trägt das künftige Testing des Triebstrangs ebenso Rechnung wie dem Faktor Mensch, der in seinem zu erwartenden geändertem Nutzungsverhalten die Testparameter verschieben wird.

Text erstmalig erschienen im Porsche Engineering Magazin, Ausgabe 01/2018

Verbrauchsangaben

Panamera Turbo S E-Hybrid: Kraftstoffverbrauch kombiniert 2,9 l/100 km; CO₂-Emission 66 g/km; Stromverbrauch kombiniert 16,2 kWh/100 km

Linksammlung

Link zu diesem Artikel

<https://goo.gl/fqNgXF>

Media Package

<https://newsroom.porsche.com/media-package/kopie-porsche-power-measurements-simulation-powertrain-test-trial-equipment-engineering-2018-1-15911>

Externe Links

<https://www.porscheengineering.com/peg/en/>