



Fehlern
auf der

Spur

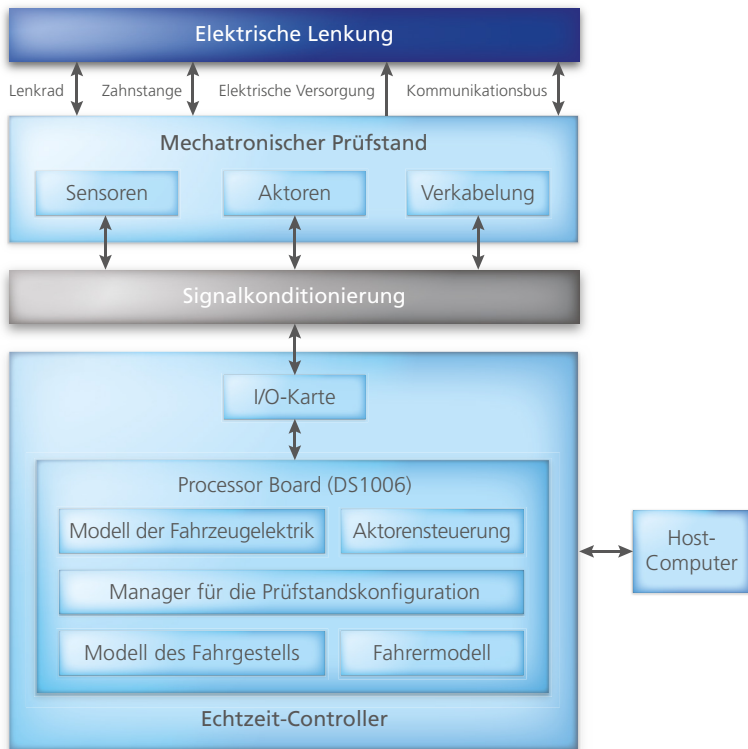
Automatisierte Fehlereinspeisungstests
für Lenksysteme von JTEKT

Als sicherheitskritische Komponente muss eine Pkw-Lenkungsregelung auch hinsichtlich ihrer Fehlertoleranz nach der ISO 26262 geprüft werden. Dank eines dSPACE HIL-Simulators mit automatisierter Fehlereinspeisung kann JTEKT den Großteil der dabei möglichen Unstimmigkeiten schon frühzeitig beseitigen, lange bevor ein Testfahrzeug auf das Prüfgelände rollt.



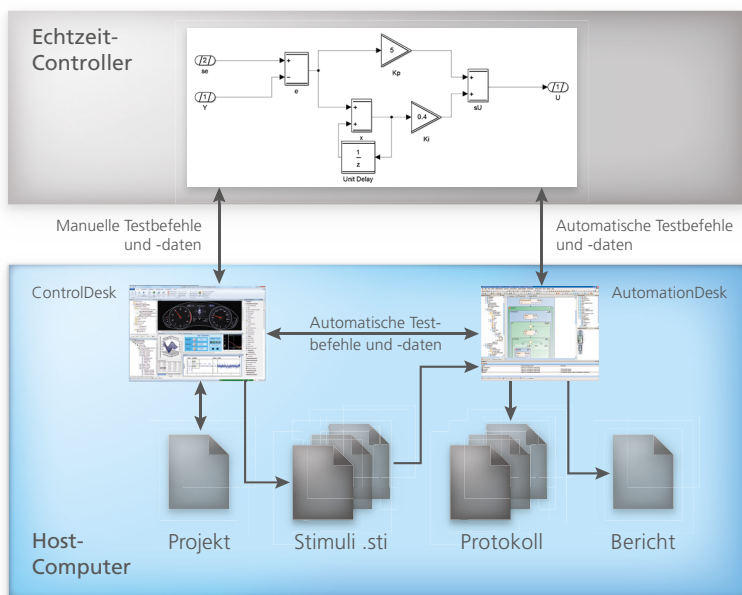
Das Fahrzeug immer schön in der Spur halten: Diese Grundregel aus der Fahrschule wird heute längst nicht mehr vom Fahrer allein umgesetzt. Häufig assistiert ihm dabei eine elektromechanische Servolenkung, die ihn mittels aufwendiger Regelungen beim Lenken spürbar unterstützt. Verhält sich eine Servolenkung jedoch plötzlich anders als erwartet, kann das Fahrzeug schnell aus der Spur geraten. Um das zu vermeiden, müssen Lenksysteme und ihre Regelungen vor der Markteinführung auch zahlreiche sogenannte Fehlereinspeisungstests durchlaufen und dabei die geforderte Robustheit demonstrieren. Dies erfolgt üblicherweise mit Testfahrten auf einem Prüfgelände. Mit der geradezu sprunghaft gestiegenen Variantenvielfalt von Fahrzeugen und Funktionen multipliziert sich die Anzahl der dabei notwendigen Testfälle aber mittlerweile derartig, dass reale Testfahrten ein immer kostspieligeres Unterfangen werden. Außerdem gehen reale Fahrttests mit einer Einschränkung des testbaren Fahrdynamikbereichs einher, da sie durch notwendige Sicherheitsvorkehrungen und die natürlichen Hemmschwellen menschlicher Testfahrer immer auf einen bestimmten Rahmen beschränkt bleiben. >>





Intelligente Arbeitsteilung: Die Vierkern-Architektur des DS1006 Processor Boards ermöglicht es JTEKT, verschiedene Berechnungsmodelle der Prüfstandssimulation auf die einzelnen Prozessorkerne zu verteilen und so die Echtzeitausführung zu optimieren.

Perfekte Ergänzung: Die Experimentier- und Visualisierungssoftware ControlDesk® ermöglicht JTEKT nicht nur die manuelle Steuerung des Lenkungsprüfstands. Mit AutomationDesk im Hintergrund lassen sich über ControlDesk auch sämtliche Automatisierungen, beispielsweise für die Fehlereinspeisung, konfigurieren und steuern.



ISO 26262 auf dem Vormarsch

Ein weiterer wichtiger Treiber für JTEKT ist die Konformität mit der ISO-Norm 26262 für die funktionale Sicherheit von Straßenfahrzeugen. Die Norm beinhaltet verschiedene Vorschriften für Fehlereinspeisungstests auf Gesamtsystemebene. Unter anderem fordert sie für die Tests eine sogenannte Regressionsstrategie, die durch die Wiederholung von Testfällen sicherstellt, dass Modifikationen in bereits getesteten Teilen der Software keine neuen Fehler verursachen. Nicht- oder nur teilweise regressive Tests sind dagegen nur in Ausnahmen erlaubt und erfordern aufwendige Begründungen im Rahmen der Zertifizierung. Für die Risikostufe ASIL D (Automotive Safety Integrity Level) schreibt die ISO 26262 zudem sogenannte „Back-to-Back“-Tests vor, bei denen die Ergebnisse der Tests auf der Software-Ebene mit jenen auf der Modellebene verglichen werden. Durch diese und weitere Anforderungen der Sicherheitsnorm, zum Beispiel beim Anforderungsmanagement, beim Software-Design und bei der Dokumentation verschiedener Work Products entlang des gesamten Entwicklungs- und Verifikationsprozesses, entstehen in einem Entwicklungsprojekt erhebliche formale Aufwände.

Prüfstandtests für mehr Sicherheit und Effizienz

Um diesen aktuellen Herausforderungen und dem gestiegenen Aufwand zu begegnen und auch die Fehlereinspeisungstests ISO-26262-konform durchzuführen, hat sich JTEKT Europe im französischen Irigny für einen echtzeitfähigen Hardware-in-the-Loop (HIL)-Prüfstand mit integrierter und automatisierter Fehlereinspeisung von dSPACE entschieden. Damit können die Entwickler einen Großteil ihres Testprogramms von den realen Fahrttests in eine hochgenaue, reproduzierbare Simulation mit teilweise realen Komponenten

„Der HIL-Simulator von dSPACE bietet uns ein leistungsstarkes System, das sich dank seiner offenen Architektur zudem ständig weiterentwickeln lässt.“

Loic Bastien, JTEKT

vorverlagern. In der Folge ist der Reifegrad des Systems bereits sehr hoch, bevor die Lenkungsregelung die Freigabe zur weiteren Erprobung in einem realen Testfahrzeug bekommt. So wird zum einen das Risiko für die Testfahrer minimiert. Zum anderen können am HIL-Prüfstand aber auch Testfahrten in Extremsituationen (sogenannte „Boundary Conditions“ in der ISO 26262) simuliert werden, die ein menschlicher Testfahrer aufgrund natürlicher Hemmschwellen niemals reproduzieren könnte. In der Folge wird durch den Prüfstand eine deutlich höhere Testabdeckung erzielt. Außerdem können am Prüfstand unterschiedlichste Varianten des Lenksystems effizient geprüft wer-

den, ohne dass dafür langwierige und teure Umbauten am Testfahrzeug stattfinden müssen.

Bestandteile des Prüfstands

Der Prüfstand von JTEKT Europe besteht aus einem mechanischen Aufbau, einem HIL-Simulator, Aktoren für Lenkrad und Zahnstange, Sensoren für Winkel, Kräfte und Auslenkung der Zahnstange sowie aus einer Signalkonditionierungsschnittstelle und einem Host-Computer für die Bedienoberfläche. Der HIL-Simulator verwendet ein DS1006 Processor Board, auf dem ein Fahrzeugmodell zur Berechnung der Krafteinleitung auf die Zahnstange und ein Fahrermodell zur Simulation des mensch-

lichen Verhaltens in bestimmten Situationen ausgeführt werden. Neben dem reinen HIL-Betrieb können das Lenkrad und die Zahnstange auch unabhängig bewegt werden. Die damit verbundene Änderung von Winkeln, Momenten, Kräften und Auslenkung macht auch sehr spezielle Systemtests möglich.

Fehlereinspeisung und Debugging

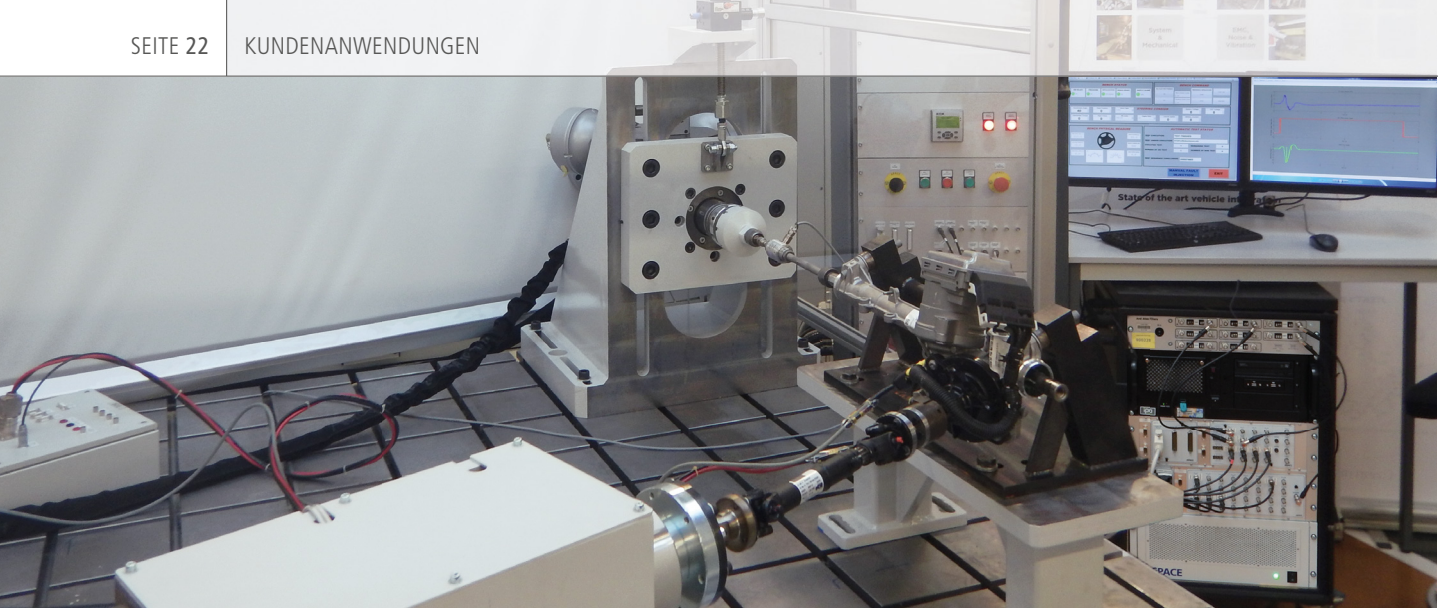
Gerade wegen der hohen Echtzeitfähigkeit und seiner leistungsfähigen Multiprozessor-Architektur bietet der dSPACE HIL-Simulator JTEKT auch für die zeitsynchrone Fehlereinspeisung über das XCP-Protokoll ein perfektes Werkzeug. Weil die dSPACE Tools auch in eine Testauto-

>>

Virtueller Leitstand mit komfortabler Konfiguration: ControlDesk erlaubt sowohl den Entwicklern als auch den Testingenieuren, sich jederzeit voll und ganz auf ihre jeweilige Aufgabe zu konzentrieren.

The screenshot displays the ControlDesk interface with several panels:

- BENCH STATUS:** Shows indicators for HW READY (YES), PRESSURE (YES), INITIALISATION (DONE), BENCH READY (YES), and SAFETY ALARM (No Alarm).
- BENCH COMMAND:** Includes ACTUATOR POWER (ON/OFF), MECHANICAL INITIALIZATION (START/STOP), and checkboxes for Rack_Actuator_Enable and HandWheel_Actuator_Enable (both checked).
- STEERING CONSIGN:** Displays Handwheel Angle (10), Rack Position, Driver Type (NORMAL), HIL mode (FULL HIL), Engine State (RUNNING), Vehicle speed (120), Battery Voltage (13), IGK Voltage (13), Handwheel Torque, Rack Force, and Battery Current (100).
- BENCH PHYSICAL MEASURE:** Shows Hand Wheel Angle (10.0), Rack Position (1.9), Hand Wheel Torque (0.6), Rack Force (953), Hand Wheel Speed (0.0), and Rack Speed (0.1). It also features a steering wheel graphic and two gauges.
- AUTOMATIC TEST STATUS:** Indicates TEST EXECUTION (TEST FINISHED), TEST UNDER EXECUTION (STZForRobustesse.stz), EXECUTED TEST (1), REMAINING TEST (0), NUMBER OF OK TEST (1), and NUMBER OF NOK TEST (0). The TEST SEQUENCE CONCLUSION is OK.
- MANUAL FAULT INJECTION:** A blue button at the bottom.
- EXIT:** A red button at the bottom.



Der Hardware-in-the-Loop-Lenkungsprüfstand von JTEKT: Ein Großteil ihres Testprogramms zur Fehlertoleranz kann damit, noch vor den realen Fahrtests, in eine hochgenaue Simulation mit realen Komponenten vorverlagert werden.

matisierung eingebunden werden können, sind die Tests jederzeit wiederholbar. Der Aufwand für die wiederholten Komplettests wird dadurch minimiert, daher kann die von der ISO 26262 geforderte Regressionstrategie jederzeit problemlos und bequem umgesetzt werden. In der Folge kann sich JTEKT den vormals hohen Zeitaufwand der Begründung unterlassener oder unvollständiger Regressionen komplett sparen. Außerdem erfolgen die Fehlereinspeisungstests nun simulationsbasiert direkt im Systemtest. Dadurch können auch die in der ISO 26262 geforderten Back-to-Back-Tests jetzt ganz einfach durchgeführt werden: Hier werden einfach dieselben Stimuli, die zur modellbasierten Entwicklung der Funktionen zum Einsatz kamen, am HiL-Prüfstand wiederverwendet. Auf der anderen Seite liest der Prüfstand über das XCP-Protokoll auch interne Daten des Steuergerätes aus, die beispielsweise für das Debugging verwendet werden können. In beiden Fällen ist es für eine korrekte Evaluierung von größter Wichtigkeit, dass die Daten, die mit Hilfe des XCP-Protokolls eingespeist werden, absolut synchron sind mit den analogen Messdaten aus den Prüfstandssensoren.

Hier nutzt JTEKT das dSPACE RTI Bypass Blockset, mit dem die aufwendige Datensynchronisation ganz einfach durchgeführt werden kann.

Automatisierung macht Variantenvielfalt beherrschbar

Der Testplan, mit dem JTEKT ein neu entwickeltes Lenksystem für Testfahrten in der realen Welt qualifiziert, besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Erprobungen, die zudem mit allen geplanten Varianten einer Plattform durchgeführt werden müssen. Um trotz dieser Vielfalt die für den straffen Entwicklungsprozess notwendige Termintreue bei der Lieferung neuer Software-Stände sicherzustellen, setzt JTEKT auf dSPACE AutomationDesk. Mit dieser Testautomatisierungssoftware wird das Testprogramm reproduzierbar abgearbeitet und die daraus entstandenen Messdaten aufgezeichnet. Aus den aufgezeichneten Daten und sogenannten Evaluierungsblöcken, welche die vorher definierten Testkriterien und ihre jeweiligen Erfüllungskriterien beinhalten, ermittelt AutomationDesk anschließend die Resultate der Fehlereinspeisungstests und fasst sie für die Testingenieure in einem ausführlichen Bericht zusammen. Neben den seitens der ISO 26262 geforderten

Informationen über das Bestehen oder Nicht-Bestehen eines Tests liefert der Bericht auch weitere Details, um ganz gezielt einzelne Messdaten mit den angewandten Testkriterien abzugleichen und mögliche Abweichungen zu analysieren. Die ISO-26262-Zertifizierung von AutomationDesk reduziert dabei die Aufwände für die Klassifizierung und Qualifizierung des verwendeten Werkzeugs im Kontext der funktionalen Sicherheit von Straßenfahrzeugen erheblich.

Leicht konfigurierbare Benutzeroberfläche

Die Prüfstandsingenieure können alle ihre Aufgaben über eine einzige Benutzeroberfläche steuern, die mit dSPACE ControlDesk® erstellt wurde. Darüber lassen sich nicht nur einzelne Aktorbefehle an den Prüfstand senden und deren Auswirkungen beobachten und aufzeichnen, auch die Automatisierungsfunktionen können aus ControlDesk konfiguriert und gesteuert werden bis hin zur finalen Auswertung der Testergebnisse. Dabei agiert AutomationDesk stets im Hintergrund, während ControlDesk dem Nutzer permanent die volle Transparenz und Kontrolle über die damit laufenden Vorgänge verschafft. Durch seine einfache Konfigurierbarkeit in

„Die effiziente Testautomatisierung mit AutomationDesk hat die Produktivität im ISO-26262-konformen Testbetrieb deutlich gesteigert.“

Jean Michel Trebuchon, JTEKT

Kombination mit den anschaulichen Visualisierungsmöglichkeiten erlaubt ControlDesk sowohl den Entwicklern als auch den Testingenieuren, sich jederzeit voll und ganz auf ihre jeweilige Aufgabe zu konzentrieren.

Fazit und nächste Schritte

Das primäre Ziel, also die Automatisierung der Fehlereinspeisungstests im Labor und die Konformität mit der ISO 26262, konnte JTEKT mit dem HIL-Prüfstand und der Werkzeugkette von dSPACE erreichen. In der Folge gelang es, die Fahrtests mit echten Fahrzeugen bereits deutlich zu reduzieren, wodurch sich signifikante Zeit- und Ressourceneinsparungen ergaben. Hinzu kommt, dass die Testfahrer ein bereits umfassend getestetes System auf dem Testgelände bewegen, was ihnen ihre Arbeit deutlich erleichtert.

In der Zukunft könnten sich für den Simulator darüber hinaus aber noch weitere Anwendungsmöglichkeiten ergeben, beispielsweise in der Durchführung zusätzlicher anforderungsbasierter HIL-Tests auf Systemebene. Anstelle synthetischer Stimuli plant JTEKT, zukünftig auch aufgezeichnete Messdaten aus echten Fahrversuchen am HIL-Prüfstand zu nutzen, was mit der vorhandenen Infrastruktur und der nahtlosen dSPACE Werkzeugkette problemlos möglich sein wird. Mittels der 3D-Visualisierungssoftware MotionDesk können die Entwickler dann sogar frühzeitig anschaulich visualisieren, wie weit ein Fehler in der Lenkungsregelung ein Fahrzeug von seinem planmäßigen Fahrweg abweichen lässt. Um Fahrzeuge mit JTEKT-Lenkensystemen zukünftig noch zuverlässiger in der Spur zu halten, werden die Entwickler möglichen Fehlern im Lenksystem also noch genauer auf der Spur sein. ■

Jean Michel Trebuchon,
Loïc Bastien,
JTEKT Europe,
Frankreich



Prüfzentrum von JTEKT Europe in Irigny: Die hier durchgeführten Fahrversuche mit neuen Lenksystemen werden durch den HIL-Prüfstand perfekt ergänzt. Weil viele Unstimmigkeiten der Lenkungsregelung bereits am Simulator beseitigt werden können, erhöht sich auch die Sicherheit der hier arbeitenden Testfahrer.

Jean Michel Trebuchon

Jean Michel Trebuchon arbeitet als Prüfstandsentwickler in der Abteilung Test & Analyse bei JTEKT Europe in Irigny, Frankreich, und ist dort verantwortlich für die Entwicklung von Benutzeroberflächen und Testautomatisierungssoftware.



Loïc Bastien

Loïc Bastien arbeitet als Prüfstandsentwickler in der Abteilung Test & Analyse bei JTEKT Europe in Irigny, Frankreich, und ist dort verantwortlich für Echtzeitmodellierung und Buskommunikation.

