



Lenkung

auf dem Prüfstand

Echtzeitbasiertes Testen in der
ZF TRW Lenkungsentwicklung

Für die Entwicklung und die Validierung sicherheitskritischer, mechatronischer Systeme wie Servolenkungen bedarf es einer geeigneten Prüfumgebung. ZF TRW Tech Center aus Düsseldorf setzt hier auf HiL-Instanzen mit schrittweise steigendem Hardware-Anteil.



*In einer Echtzeitumgebung
werden unter anderem komplette
Lenksysteme von ZF TRW getestet.*

Die funktionalen und sicherheitskritischen Leistungsansprüche eines modernen Lenkungssystems steigen stetig: funktional im Kontext des autonomen Fahrens und sicherheitstechnisch im Zusammenhang mit den wachsenden Verfügbarkeitsanforderungen der Lenkungsunterstützung. Beide Aspekte müssen in ein Absicherungskonzept eingebunden werden, das den Anforderungen der ISO 26262 gerecht wird. Darüber hinaus umfasst eine leistungsfähige Absicherung die Aspekte, die aus der Variantenvielfalt der Fahrzeugplattformen resultieren. Der Nachweis des Produktreifegrades muss innerhalb kürzester Zeit und unter wettbewerbsfähigen Kosten erbracht werden.

Lösungsansatz Virtualisierung

Um die genannten Herausforderungen anzugehen, setzt das Düsseldorf der ZF TRW Tech Center auf Virtualisierungstechniken und Verwendung von Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulatoren. Bei dieser Technik werden

reale Komponenten (Hardware) in einem Regelkreis betrieben, der durch virtuelle Komponenten geschlossen wird. Dazu zählen insbesondere präzise Modelle des Lenksensors, des Lenkgetriebes, des Fahrerarms sowie der Fahrzeugkommunikation. Diese spezialisierten Teilmodelle lassen sich zusammen mit den Komponenten der ASM (Automotive Simulation Models)-Bibliothek

„Die Offenheit der dSPACE Umgebung bringt uns sowohl bei der Implementierung eigener Modelle als auch bei der Verwendung selbst entwickelter Prüfstandskomponenten ganz klare Vorteile.“

von dSPACE leicht kombinieren. Damit kann zum Beispiel die Fahrzeugdynamik realitätsnah und in Echtzeit abgebildet werden. Die Echtzeitfähigkeit von ASM macht es erst möglich, Steuergeräte-Hardware in einer virtuellen Fahrzeugumgebung zu betreiben. So können modellbasierte Tests zu Zeitpunkten durchgeführt werden, zu denen die entsprechenden Systeme oder Komponenten physikalisch noch nicht verfügbar sind. Fehler- und Versagensereignisse lassen sich risikolos und zerstörungsfrei nachbilden und Tests leicht und

effizient automatisieren. Ganz nebenbei ergeben sich hier noch weitere Vorteile wie exakte Reproduzierbarkeit der Tests oder Unabhängigkeit von Wetterbedingungen, was bei Fahrzeugversuchen eine große Rolle spielt.

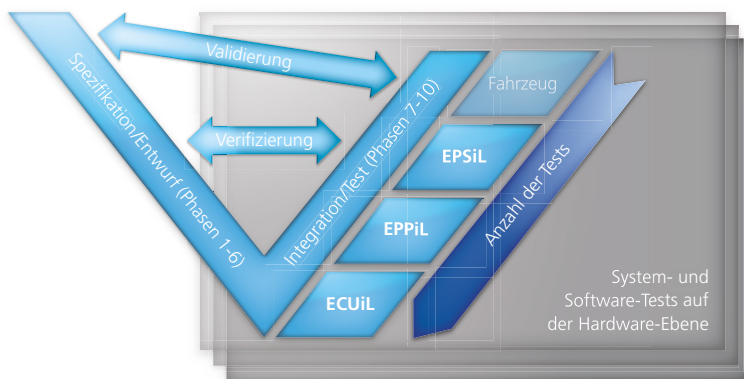
Drei Testinstanzen

Basierend auf der Strategie der Systemintegration, hat ZF TRW drei

HiL-Testinstanzen mit unterschiedlich ausbalancierten Hardware- und Modell-

anteilen aufgebaut: ECUiL, EPPiL und EPSiL. Die drei Abkürzungen stehen für Electronic-Control-Unit-in-the-Loop, Electric-Power-Pack-in-the-Loop und Electrically-Powered-Steering-in-the-Loop. Bei dem EPP bildet das Steuergerät (ECU) zusammen mit dem Elektromotor eine funktionelle Einheit. Das EPS-System vereint dann das Steuergerät, den Motor, einen Lenksensor und mechanische Leistungsübertragungselemente zu einem Lenksystem. Mit steigendem Integrationsgrad steigt der Hardware-Anteil der einzelnen Instanzen, während die Anzahl der zu modellierenden Komponenten abnimmt. Diese Instanzen werden dann entsprechend den Phasen des Testprozesses nach ISO 26262 durchlaufen (Abbildung 1). So werden die extensiven Tests der frühen Integrationsphasen kostengünstig auf den ECUiL-Simulatoren durchgeführt, die auch mehrfach vorhanden sind. Die höheren Testinstanzen sind kostenintensiver sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb. Sie erfordern zudem einen erweiterten mechanischen Umrüstaufwand beim Wechsel des Prüflings. Auf der anderen Seite sinkt aber der Testumfang mit steigendem Integrationsgrad. >>

Abbildung 1: Die drei Testinstanzen werden vorzugsweise genutzt, um die Lenkungsalgorithmen funktionell nach ISO 26262 auf Hardware-Ebene abzusichern – Verifikation durch bidirektionale Verfolgbarkeit. Die Validierungsschritte benötigen noch zusätzliche Informationen aus übergeordneten Spezifikationsphasen.



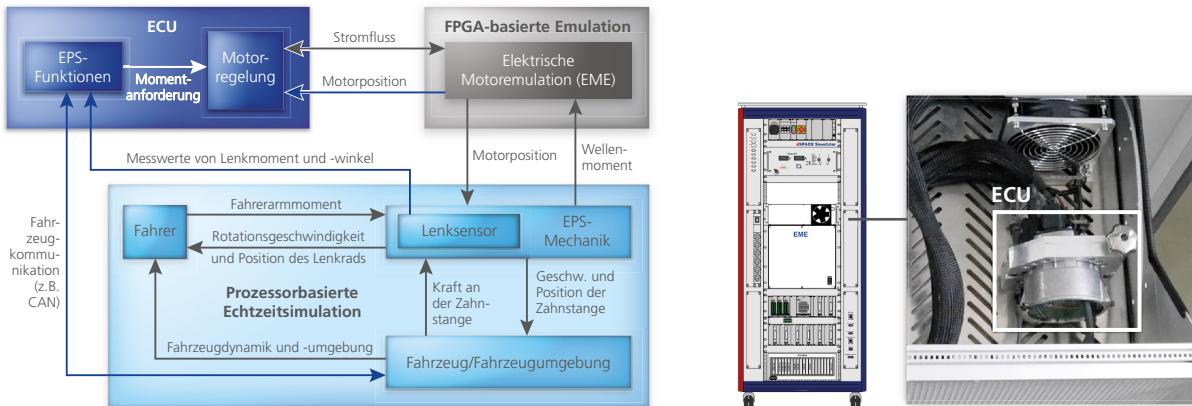


Abbildung 2: Bei den ECUiL-Systemen ist der Anteil der virtuellen Komponenten am größten. Das zu untersuchende Steuergerät wird mit der Simulationsumgebung elektrisch verbunden.

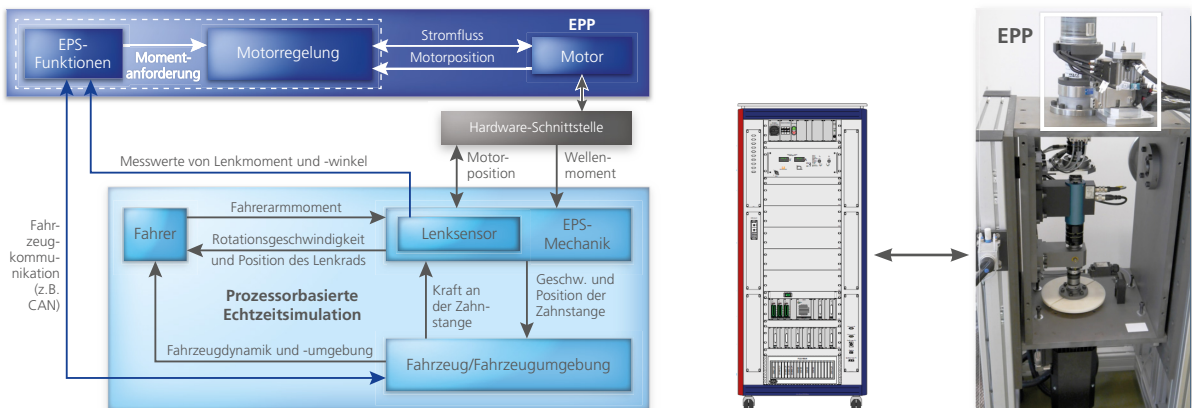


Abbildung 3: Das EPPiL-System beinhaltet zusätzlich zu der ECU den Lenkungsmotor als Hardware. Um den Motor in die Simulationsumgebung einzubeziehen, ist entsprechende Aktuatorik notwendig.

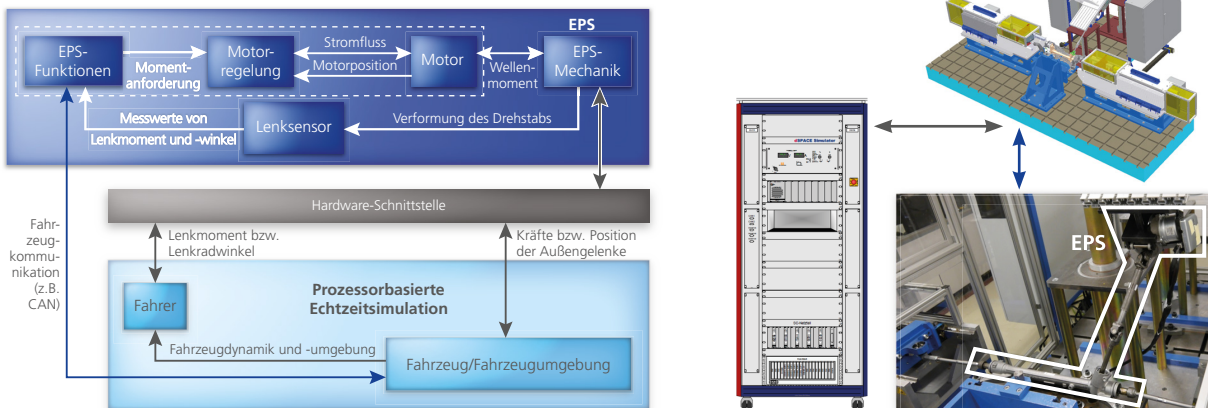


Abbildung 4: Auf dem EPSiL-Simulator wird die komplette Lenkung getestet. Die mechanische Schnittstelle zu der Modellwelt muss dann entsprechend aufwendig ausgeführt werden.

„Die Flexibilität der Echtzeitsysteme von dSPACE ist beeindruckend. Unsere HiL-Infrastruktur wird sowohl in den Applikationsprojekten als auch in der Vorentwicklung effizient eingesetzt.“

Dr. Michael Moczala, ZF TRW

Instanz 1: Electronic-Control-Unit-in-the-Loop

Das im Lenkungsbereich eingesetzte Steuergerät beherbergt sowohl die numerischen Algorithmen der Lenkungsfunktionen als auch den eigentlichen Regler des Elektromotors (Abbildung 2). Der Motor prägt dem Lenksystem ein Drehmoment auf, das den Fahrsituationen bzw. den Fahrervorgaben angepasst ist. Um diese Interaktion darzustellen, ist es notwendig, in einem ECUiL-Testsystem den Motor elektrisch korrekt abzubilden. Dies wird mit Hilfe eines elektrischen Motoremulators (EME) erreicht, der in das dSPACE Echtzeitsystem integriert ist. Dem Entwickler bzw. Tester werden auf diese Weise zusätzliche Eingriffsmöglichkeiten in die Motoreigenschaften bereitge-

stellt. Sie sind dann zusammen mit den Messdaten und den Modellgrößen über die dSPACE Software zugänglich.

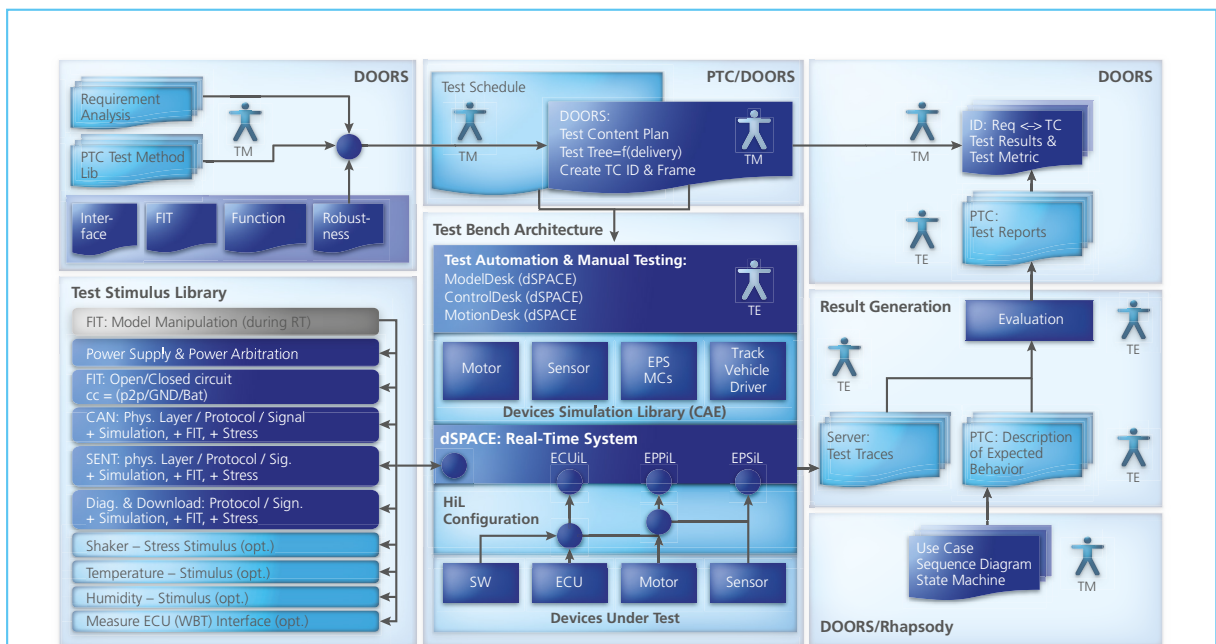
Instanz 2: Electric-Power-Pack-in-the-Loop

Bei den EPPiL-Testinstanzen ist die ECU mit dem echten Motor verbunden (Abbildung 3). Entsprechend dem in der Simulation dargestellten Lastfall interagiert der Motor mit einem rotatorischen Aktuator. Passende Sensorik, die einen Teil der Hardware-Schnittstelle darstellt, liefert den Istzustand und der Umrichter des Aktuators empfängt die in der Simulation ermittelten Sollgrößen. Die HiL-Schleife wird dann, ähnlich wie bei den ECUiL-Systemen, durch weitere virtuelle Komponenten geschlossen.

Instanz 3: Electrically-Powered-Steering-in-the-Loop

Im Falle des EPSiL-Simulators ist der Anteil der virtuellen Komponenten am geringsten (Abbildung 4). Um jedoch die mechanischen Schnittstellen einer kompletten Lenkung der Modellwelt zugänglich zu machen, ist eine umfangreiche Aktuatorik und Messtechnik notwendig. So wird das Fahrermoment bzw. der Rotationswinkel des Lenkrads über einen Rotationsaktuator realisiert. Auch die Linearaktuatoren, die mit den beiden Außengelenken der Spurstangen der Lenkung verbunden sind, sind als direkte Elektroantriebe ausgeführt. Die enge Kopplung zwischen Echtzeit-Hardware und Antriebsregler über das TWINSync-Protokoll garantiert hochpräzise und dynamische

Abbildung 5: EPS-HiL-Tool-Architektur unter Verwendung von dSPACE Komponenten, die eine geschlossene Lösung für die Bearbeitung und Verwaltung von Testartefakten liefert.



TM: test manager, TE: test engineer

Übertragung der Stellgrößen an die zu untersuchende Lenkungshardware. Messwerte aus mehreren Kraft-, Moment-, Positions- und Beschleunigungssensoren liefern die Zustände der Lenkung zurück ins Echtzeitfahrtdynamikmodell und schließen so die Regelkreise. Der EPSil-Simulator ist eine Komplettlösung der Firma dSPACE.

Flexible Testumgebung

Die Kontrollumgebung aller drei HiL-Testinstanzen ist so ausgelegt, dass sie nicht nur komplexe Interaktionen zwischen Fahrer, Fahrzeug und Straße in einem virtuellen Umfeld abbilden, sondern auch einfache Kraft- und Wegvorgaben in einem Open-Loop-Betrieb realisieren können. Hier können synthetische Anregungen oder aufgezeichnete Messdaten dem Prüfling über die Hardware-Schnittstelle zu-

geführt werden. Der modulare Charakter der Echtzeitsysteme erlaubt eine große Flexibilität auf der Hardware-Seite. So können die Echtzeitsysteme

zum Beispiel mit relativ geringem Aufwand an die bereits vorhandenen Teststände angeschlossen werden.

Zusammenfassung und Bewertung

Zur Absicherung von Electrically Powered-Steering (EPS)-Systemen setzt ZF TRW auf ein Testkonzept aus mehreren HiL-Instanzen, die vom Steuergerätest (ECU-in-the-Loop)

bis zum Test des gesamten Lenksystems auf dem Prüfstand (EPS-in-the-Loop) reichen. Zusammen mit der Hardware der HiL-Simulatoren wurde

im Düsseldorfer Tech Center eine komplette Daten- und Software-Infrastruktur geschaffen, auf die alle HiL-Instanzen zugreifen. Modelle,

Thomas Maur, ZF TRW

Bediener-Layouts und Testautomatisierungsskripte werden übergreifend entwickelt. Dabei wird bewusst auf die Durchgängigkeit und Anpassungsfähigkeit der dSPACE Software-Produkte gesetzt. Die Kombination der dSPACE Echtzeit-Hardware mit Werkzeugen wie ControlDesk® Next Generation, AutomationDesk, ASM bzw. ModelDesk gibt den Entwicklern und Anwendern der HiL-Systeme maximale Flexibilität. Der offene Charakter

Thomas Maur, ZF TRW

der Echtzeitapplikation, die in MATLAB®/ Simulink® beschrieben wird, erlaubt deren Erweiterung durch spezialisierte Teilkomponenten. Nur durch die Verwendung detaillierter Modelle lassen sich die anspruchsvollen Entwicklungs- und Testaufgaben im EPS-Lenkungsbereich bewerkstelligen. Das Datenmanagementsystem SYNECT® rundet die Software-Infrastruktur ab und stellt die notwendigen Schnittstellen zum Testmanagement in PTC® Integrity und zum Anforderungsmanagement in DOORS® her (Abbildung 5). Die eingeführte HiL-Infrastruktur ist geeignet, EPS-Lenkungen nach der ISO-Norm zur funktionalen Sicherheit von Straßenfahrzeugen effizient und zuverlässig zu entwickeln und zu testen. Die Testinstanzen (ECUiL, EPPiL und EPSiL) spiegeln die in der ISO 26262 geforderte Integrationsstrategie wider. ■

Dr. Michael Moczala, Thomas Maur, ZF TRW

„Mit der offenen dSPACE Architektur – Echtzeit-Hardware und Software-Tools – ist es uns gelungen, unsere Integrationsstrategie auf die HiL-Testinfrastruktur abzubilden.“

„Mit der Einbindung von SYNECT in unsere dSPACE-basierenden HiL-Konzepte schließen wir unter anderem die Tool-Lücke zwischen Anforderungsmanagement und Test. ‚Testing between DOORS & DOORS‘ ist nun unsere Devise.“

Dr. Michael Moczala

Dr.-Ing. Michael Moczala ist CAE Specialist bei ZF TRW Active & Passive Safety Technology in Düsseldorf, Deutschland.



Thomas Maur

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Maur ist Leiter der Abteilung System Integration & Testing bei ZF TRW Active & Passive Safety Technology in Düsseldorf, Deutschland.

