



Abbildung 1: HIL-Prüfstand mit Feedback-Lenkrad.

Innovationen für Servolenkungen

Steigende Ansprüche an Energieeffizienz, Komfort und Sicherheit sind die treibenden Kräfte bei der Entwicklung mechatronischer Systeme im Kraftfahrzeug. Diese Ansprüche gelten besonders für den Bereich der Lenksysteme. Hier setzen sich zunehmend elektromechanische Servolenkungen durch, deren Funktionalität über Software erweiterbar ist und ständig wächst. Das entwickelte System muss individuellen haptischen und besonderen sicherheitskritischen Anforderungen genügen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, hat die DMecS GmbH & Co. KG in einem Kooperationsprojekt mit dem Kölner Labor für Mechatronik (Cologne Laboratory of Mechatronics, CLM) an der Fachhochschule Köln ein Feedback-Lenkrad realisiert (Abbildung 1). Damit werden bei der Entwicklung von Lenksystemen Tests mit Prototypen an einen Hardware-in-the-Loop (HIL)-Prüfstand verlagert.

Simulationsumgebung für das Feedback-Lenkrad

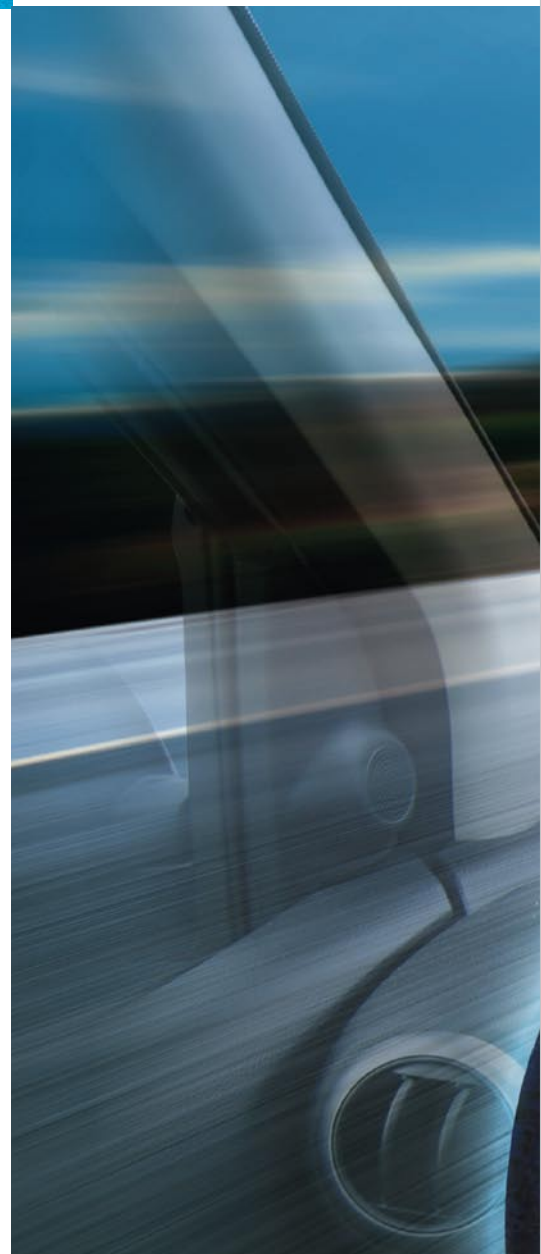
Für die Realisierung dieses Prüfstands wurden verschiedene echtzeitfähige Modelle verwendet. Das Simulationsmodell für das Lenksystem, bestehend aus Lenkmechanik und Electric-

Power-Steering-Aktor (EPS-Aktor) mit Regler, steht dabei mit Modellen für Fahrzeug, Fahrbahn und Fahrer in Wechselwirkung.

Für die Simulation von Fahrzeug und Fahrbahn werden die Automotive Simulation Models (ASM) von dSPACE eingesetzt. Bei dem verwendeten ASM Vehicle Dynamics Simulation Package handelt es sich um ein offenes Simulink®-Modell für die Echtzeitsimulation fahrdynamischer Anwendungen. Das Modell ermöglicht eine realitätsnahe Simulation der Fahrzeugdynamik und der sich auf die Lenkung auswirkenden Lastkräfte. Aufgrund der offenen Struktur der ASM konnten eigene Modelle von EPS-Lenkungen auf einfache Weise integriert werden.

Mit dSPACE ModelDesk wurden für die Fahrbahn eigene Straßenverläufe mit speziellen Oberflächeneigenschaften erstellt. In dieser Umgebung erfolgte die Entwicklung und Abstimmung der Lenkung mit üblichen Fahrmanövern, bei denen der Entwickler die Funktion des Fahrers mit Hilfe des Feedback-Lenkrads übernimmt.

Für automatisierte Tests wurden ASM-Fahrermodelle verwendet, mit denen Manöver stets unter den gleichen Bedingungen wiederholt werden können.



Das Engineering-Unternehmen DMecS untersucht mit Hilfe eines dSPACE Simulators das Systemverhalten von Lenkungen. Dieses kann somit bereits in der frühen Entwicklungsphase der Simulation vor der Durchführung von Fahrversuchen getestet werden. Neuartige Algorithmen für die Erzeugung unterschiedlicher Lenkungscharakteristika oder Assistenzsysteme werden mit einem Feedback-Lenkrad im Vorfeld hinsichtlich ihrer Akzeptanz durch den Fahrer realistisch getestet, bewertet und optimiert.

Gelenkte Gefühle

HIL-Simulation mit Feedback-Lenkrad für die Entwicklung von Lenksystemen



Abbildung 2: Das Feedback-Lenkrad sorgt für realitätsnahe haptische Rückkopplung.

„Die vollständig offenen Automotive Simulation Models (ASM) ermöglichten eine leichte Implementierung eigener Lenkmodelle und neuer Lenksystem-Algorithmen.“

Thorben Herfeld, DMecS GmbH & Co. KG

Feedback-Lenkrad und HIL-Prüfstand

Für die Vermittlung eines realistischen Lenkgefühls erfüllen die Mechanik und die Elektronik des Feedback-Lenkrads hohe Anforderungen (Abbildung 2). Störende Einflüsse auf das Lenkgefühl durch zusätzliche Trägheitsmomente, Rastmomente, Reibung und Signallaufzeiten wurden bereits beim konstruktiven Entwurf minimiert. Verbliebene Unzulänglich-

keiten konnten mit Hilfe geeigneter Erweiterungen der HIL-Aktorregelung auf ein kaum spürbares Maß verringert werden.

Die ASM sind mit dem Modell des Lenksystems im HIL-Prüfstand auf einem dSPACE Simulator implementiert. Dieser enthält eine modulare Echtzeithardware mit einem DS1006 Processor Board und die zur Ansteuerung des Feedback-Lenkrads benötigten Schnittstellenkarten. Damit steht für das gesamte Simulationsmodell und mögliche Erweiterungen ausreichend Rechenleistung bereit.

Einsatzmöglichkeiten für den HIL-Prüfstand

Bei der Model-in-the-Loop- und Software-in-the-Loop-Simulation wird der EPS-Regler zusammen mit dem ASM-Fahrzeugmodell auf dem dSPACE Simulator betrieben. Mit dem Einsatz des Feedback-Lenkrads kann das Lenkgefühl analysiert und durch Veränderung von Reglerstruktur, Parametern und Kennlinien angepasst werden. Weiter können bei Implementierung der Regelalgorithmen mit dSPACE TargetLink die Auswirkungen von Festkomma-Arithmetik unter-

sucht und durch geeignete Maßnahmen gemindert werden. Wird der Regler auf einem Seriensteuergerät betrieben (Abbildung 3), kommen weitere Realisierungseffekte durch die Serienhardware (z.B. Signallaufzeiten und spezielle Schnittstellen) hinzu. Sie können separat betrachtet und in ihren möglichen Auswirkungen auf das Lenkgefühl minimiert werden.

Entwicklung von Algorithmen für Lenksysteme

Mit Hilfe der beschriebenen Prüfstands-umgebung wurden bereits verschiedene Algorithmen zur Erzeugung von Lenkgefühl erfolgreich entwickelt. So wurde zum Beispiel ein Algorithmus implementiert, der in der Grundcharakteristik des vermittelten Lenkgefühls einer hydraulischen Servolenkung entspricht und darüber hinaus die Lenkunterstützung abhängig von der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit anpasst. Der Algorithmus ermöglicht so zum Beispiel momentenfreies Parkieren sowie eine zunehmende Mittenzentrierung bei höheren Geschwindigkeiten. Andere Algorithmen vermitteln dem Fahrer durch die Verwendung von Reifenkräften Informationen über das Kraftschlusspotential an den Radaufstandsflächen. Für diese Algorithmen wurde ein spezieller Fahrdynamikbeobachter eingesetzt, der neben den üblichen fahrdynamischen Größen wie Schräglaufwinkel oder Gierrate auch die Reifenkräfte schätzt und dabei ohne Reifenmodelle arbeitet.

Neben der Erzeugung von Lenkgefühl über Software bietet eine elektromechanische Lenkung ebenso die Möglichkeit, über aktive Lenkeingriffe die aktuelle Fahrsituation gezielt zu beeinflussen. Hierfür wurden Assistenzsysteme entwickelt und getestet, die über einen solchen Lenkeingriff das Fahrzeug in fahrdynamisch kritischen Situationen stabilisieren. Durch den Einsatz des HIL-Prüfstands

Fazit

- Verlagerung von Lenksystem-Entwicklungsarbeiten vom Fahrversuch in die Phase der Simulation am HIL-Prüfstand
- Neuartige Algorithmen für Lenkungscharakteristika und aktiven Lenkeingriff hinsichtlich der Akzeptanz durch den Fahrer mit Feedback-Lenkrad realistisch getestet, bewertet und optimiert
- Effiziente Umsetzung, unterstützt durch die offene Struktur der Automotive Simulation Models (ASM)

konnte bei der Entwicklung aller Algorithmen mit dem Feedback-Lenkrad bereits im Vorfeld die Akzeptanz durch den Fahrer untersucht, bewertet und durch geeignete Maßnahmen optimiert werden. ■

*Thorben Herfeld
Entwicklung Mechatronische Systeme
DMecS GmbH & Co. KG*

*Jan Guderjahn
Fachhochschule Köln
Cologne Laboratory of Mechatronics*



*Jan Guderjahn,
Cologne Laboratory of Mechatronics
Jan Guderjahn ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Cologne Laboratory of Mechatronics an der Fachhochschule Köln.*



*Thorben Herfeld,
DMecS GmbH & Co. KG
Thorben Herfeld ist Entwicklungsingenieur für mechatronische Systeme bei DMecS in Köln.*

„Die durchgängige dSPACE-Toolkette hat uns sehr bei der Entwicklung des HIL-Prüfstands unterstützt – von der Parametrierung der ASM-Echtzeitsimulation mit ModelDesk über die Analyse und Synthese von Algorithmen mit Hilfe von ControlDesk bis zur Realisierung des HIL-Prüfstands und Visualisierung des Fahrzeugmodells mit MotionDesk.“

Jan Guderjahn, Cologne Laboratory of Mechatronics

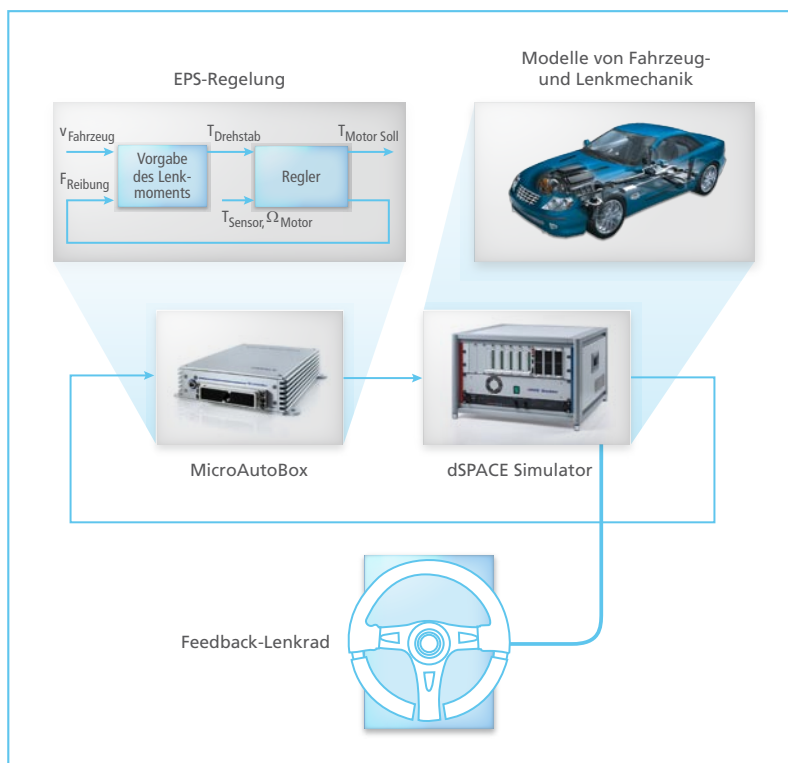


Abbildung 3: Aufbau des Prüfstand-Systems, bestehend aus HIL-Simulator, Prototyping-Steuergerät und Feedback-Lenkrad.

Ausblick

Der Einsatz eines HIL-Prüfstands kann in der frühen konzeptionellen Entwicklungsphase zu einer Reduktion von Entwicklungszeiten beitragen. Der modellbasierte Systementwurf unter Berücksichtigung des haptischen Verhaltens der jeweiligen Lenkung ermöglicht die frühe Abstimmung des Gesamtsystems in der HIL-Simulation. Der Abstimmungs- und Testaufwand im Fahrversuch wird dadurch verringert.

Über die Entwicklung von Lenksystemen hinaus kann diese Vorgehensweise mit dem Einsatz geeigneter HIL-Prüfstände auf weitere Systeme mit haptischer Rückmeldung übertragen werden. Dazu zählen zum Beispiel Bremssysteme oder im Flugzeugbau verwendete Sidesticks und Pedale mit Krafrückkopplung.