

HiL-Simulation für die Entwicklung von Lenksystemen

T. Herfeld

*DMecS Development of Mechatronic Systems GmbH und Co. KG,
Gottfried-Hagen-Straße 20, 51105 Köln, info@dmecs.de, www.dmecs.de*

J. Guderjahn, E. Blaj, H. Henrichfreise,

*Fachhochschule Köln, Labor für Mechatronik (Cologne Laboratory of Mechatronics, CLM),
Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, info@clm-online.de, www.clm-online.de*

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird der Aufbau eines HiL-Prüfstandes für die Entwicklung von Lenksystemen, bestehend aus einem Simulationsmodell einer Lenkung und einem Torque-Feedback-Lenkrad, beschrieben. Der Aufbau vermittelt ein realistisches Lenkgefühl und kann so für Entwicklungsarbeiten eingesetzt werden, wie hier am Beispiel einer EPS-Lenkung vorgestellt wird.

Der HiL-Prüfstand kann aufgrund der haptischen Rückmeldung des Lenkmomentes an den Fahrer über das Feedback-Lenkrad für die konzeptionelle Entwicklung und Vorabstimmung unterschiedlicher Lenksysteme genutzt werden. Damit werden Tests, die üblicherweise mit Prototypen durchgeführt werden, in die frühere Entwicklungsphase der Simulation verlagert. Auf diese Weise wird der erforderliche Aufwand im Fahrversuch reduziert und somit eine Effizienzsteigerung und Kostenoptimierung durch kürzere Entwicklungszeiten erreicht.

1. Einleitung

Stetig steigende Ansprüche an Energieeffizienz, Komfort und Sicherheit sind die treibenden Kräfte in der Entwicklung mechatronischer Systeme im Kraftfahrzeug. Diese Anforderungen gelten besonders für den Bereich der Lenksysteme. Hier setzen sich zunehmend elektrische Servolenkungen durch, die in ihrer Funktionalität durch den Einsatz von Software (Steuerung und Regelung) ständig erweitert werden.

Hinzu kommt ein steigender Wettbewerbsdruck, der zunehmende Effizienzsteigerungen und kürzere Entwicklungszeiten fordert. Daraus entsteht ein Bedarf an innovativer Entwicklungsmethodik. Eine Möglichkeit, dem zu begegnen, ist die Verlagerung von Tests mit Prototypen in die HiL-Simulation.

In der Entwicklung von Lenksystemen können z.B. aufwendige Tests vom Fahrzeug an einen HiL-Prüfstand verlagert werden. Zu diesem Zweck hat das Kölner Labor für Mechatronik (Cologne Laboratory of Mechatronics, CLM) an der Fachhochschule Köln in einem Kooperationsprojekt mit der DMecS GmbH & Co. KG ein Torque-Feedback-Lenkrad für die Entwicklung von Lenksystemen aufgebaut. Dieses ermöglicht es, eingebunden in die HiL-Simulation mit einem detaillierten Modell einer Lenkung, ein realistisches Lenkgefühl zu vermitteln. Den HiL-Prüfstand zeigt Bild 1.1.



Bild 1.1 HiL-Prüfstand mit Torque-Feedback-Lenkrad

Das Systemverhalten einer Lenkung kann damit in der frühen Entwicklungsphase der Simulation konzeptionell entwickelt und analysiert, durch konstruktive und regelungstechnische Maßnahmen optimiert und vor der Durchführung von Fahrversuchen vorabgestimmt werden. Diese Verwendung des HiL-Prüfstandes wird im Folgenden für die Entwicklung einer EPS-Lenkung beschrieben.

2. Gesamtsystem

Bild 2.1 zeigt die schematische Darstellung einer EPS-Lenkung im Fahrzeug-Gesamtsystem.

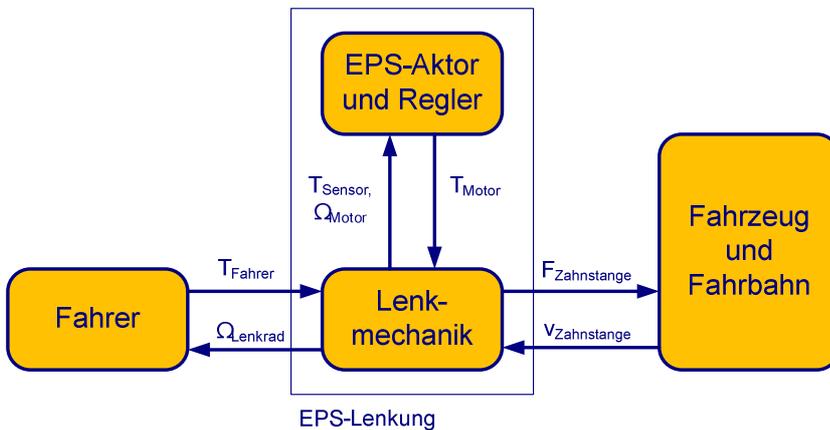


Bild 2.1 EPS-Lenkung im Fahrzeug-Gesamtsystem

Die Lenkung, bestehend aus der Lenkmechanik und dem EPS-Aktor mit Regler, steht mit dem Fahrzeug und der Fahrbahn sowie dem Fahrer in Wechselwirkung. Für die Realisierung des Gesamtsystems aus Bild 2.1 im HiL-Prüfstand werden verschiedene echtzeitfähige Modelle benötigt, die im Folgenden erläutert werden.

2.1 Modelle

Für die Lenkmechanik der EPS-Lenkung wird für die Vermittlung eines realistischen Lenkgefühls ein detailliertes Modell benötigt, das sämtliche Effekte beinhaltet, die sich auf das Lenkmoment auswirken. Dazu werden in einem Mehrkörpermodell (Bild 2.2) alle Trägheiten, Reibungen, Elastizitäten und Übersetzungen berücksichtigt.

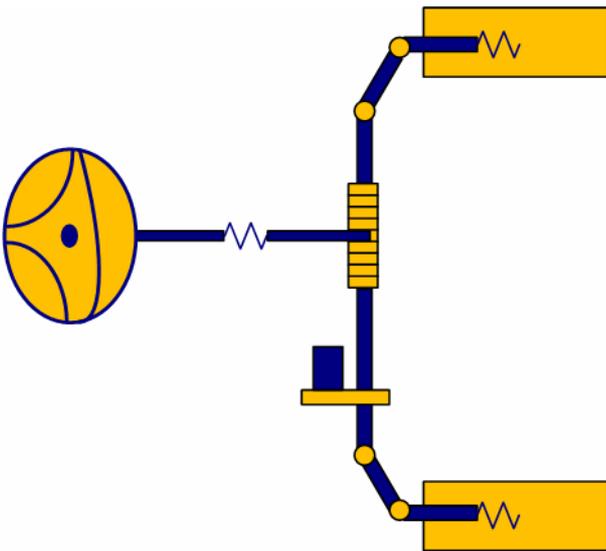


Bild 2.2 Lenkmechanik der EPS-Lenkung

Je nach Zielsetzung können für die Nachbildung der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn unterschiedliche Modelle zum Einsatz kommen. Für Lenkbewegungen bei einem stehenden Fahrzeug kann auf ein Reibmodell [1] zurückgegriffen oder für weiterführende Untersuchungen ein Reifenmodell [2], [3] eingesetzt werden.

Für die Regelung der EPS-Lenkung kann der im folgenden Bild 2.3 dargestellte EPS-Regler [4] zum Einsatz kommen.

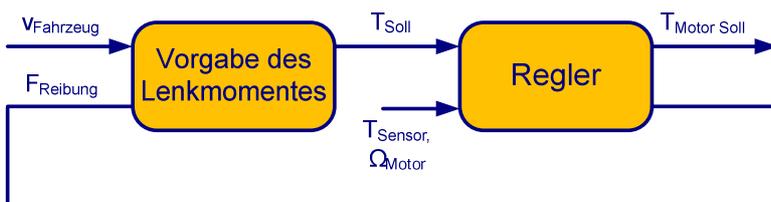


Bild 2.3 EPS-Regler

Ein Algorithmus berechnet basierend auf dem momentanen Fahrzustand des Fahrzeugs ein gewünschtes Lenkmoment T_{Soll} . Der Regler stellt mit Hilfe des Unterstützungsmomentes $T_{Motor Soll}$ dieses Lenkmoment für den Fahrer ein.

Für Untersuchungen, wie sich die EPS-Lenkung im Fahrzeug-Gesamtsystem verhält, wird das Lenkungsmodell in ein Modell für Fahrzeug und Fahrbahn integriert. Ein solches Fahrzeugmodell wurde in einer weiteren Kooperation des CLM mit der Firma DMecS entwickelt [5]. Hierbei wurde der Schwerpunkt auf eine komponentenbasierte Struktur gelegt. Diese ermöglicht es, basierend auf einer Modellbibliothek das Fahrzeugmodell

anwendungsspezifisch zu konfigurieren und weitere erforderliche Komponenten zu integrieren. Auf diese Weise können das Modell der Lenkmechanik, der EPS-Regler, die Sensor- und Aktorschnittstellen sowie die Regelung für das Feedback-Lenkrad komfortabel in das Gesamtmodell integriert werden.

In die Simulation kann gemäß Bild 2.1 ein Fahrermodell eingebunden sein. Es erzeugt entweder als open-loop Modell definierte Stimuli oder folgt als closed-loop Modell einer vorgegebenen Fahrbantrajektorie.

Mit dem Torque-Feedback-Lenkrad übernimmt der Entwickler selbst die Querführung des Fahrzeugs.

2.2 Torque-Feedback-Lenkrad

Das entwickelte Feedback-Lenkrad (Bild 1.1) basiert auf einem geregelten elektrischen Aktor. Für die beschriebene Anwendung sind an diesen hohe Anforderungen zu stellen. Dazu zählen unter anderem ein geringes Massenträgheitsmoment, eine geringe Reibung und geringe Ungleichförmigkeiten, wie sie z.B. durch Rastmomente entstehen. Weiterhin muss der Aktor bis zu hohen Lenkwinkelgeschwindigkeiten von 1200 °/s ein erforderliches Drehmoment von bis zu 30 Nm stellen. Im Test mit verschiedenen Systemen hat sich gezeigt, dass die Sensor- und Aktorschnittstellen nur vernachlässigbar geringe Totzeiten enthalten dürfen und Sensorsignale mit hoher Güte erforderlich sind.

Diese Anforderungen werden von dem für das Feedback-Lenkrad verwendeten Aktor erfüllt. Die noch vorhandenen geringen Ungleichförmigkeiten wurden dazu zusätzlich mit Hilfe einer Regelung in ihrer Wirkung auf das Lenkmoment unter eine Schwelle fühlbarer Momente abgesenkt.

Bild 2.4 zeigt beispielhaft für die Lenkradwinkelgeschwindigkeit Ergebnisse aus der Simulation ohne und mit Feedback-Lenkrad im Vergleich. Die Simulation ohne Feedback-Lenkrad wurde mit dem Modell der Lenkmechanik aus Bild 2.2 durchgeführt. Die zugehörige Zeitantwort stellt das ideale Verhalten einer Lenkmechanik dar.

Für die HiL-Simulation mit dem Feedback-Lenkrad wurde das lenkradseitige Trägheitsmoment im Modell um das Trägheitsmoment des Lenkrades mit Aktor reduziert. Angeregt wurden beide Systeme mit einem Blockimpuls für die Zahnstangenkraft.

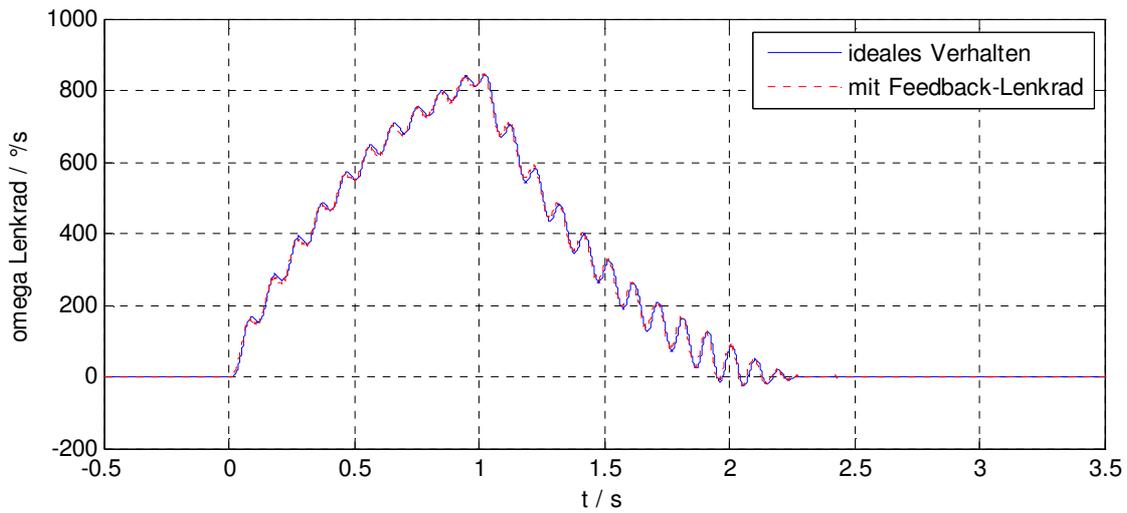


Bild 2.4 Simulationsergebnisse mit und ohne Feedback-Lenkrad

Die Zeitantwort mit Feedback-Lenkrad zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Idealverhalten.

3. Anwendungen

Bild 3.1 stellt den mit den oben beschriebenen Modellen und dem Feedback-Lenkrad realisierten HiL-Prüfstand mit einem zusätzlichen externen Steuergerät dar.

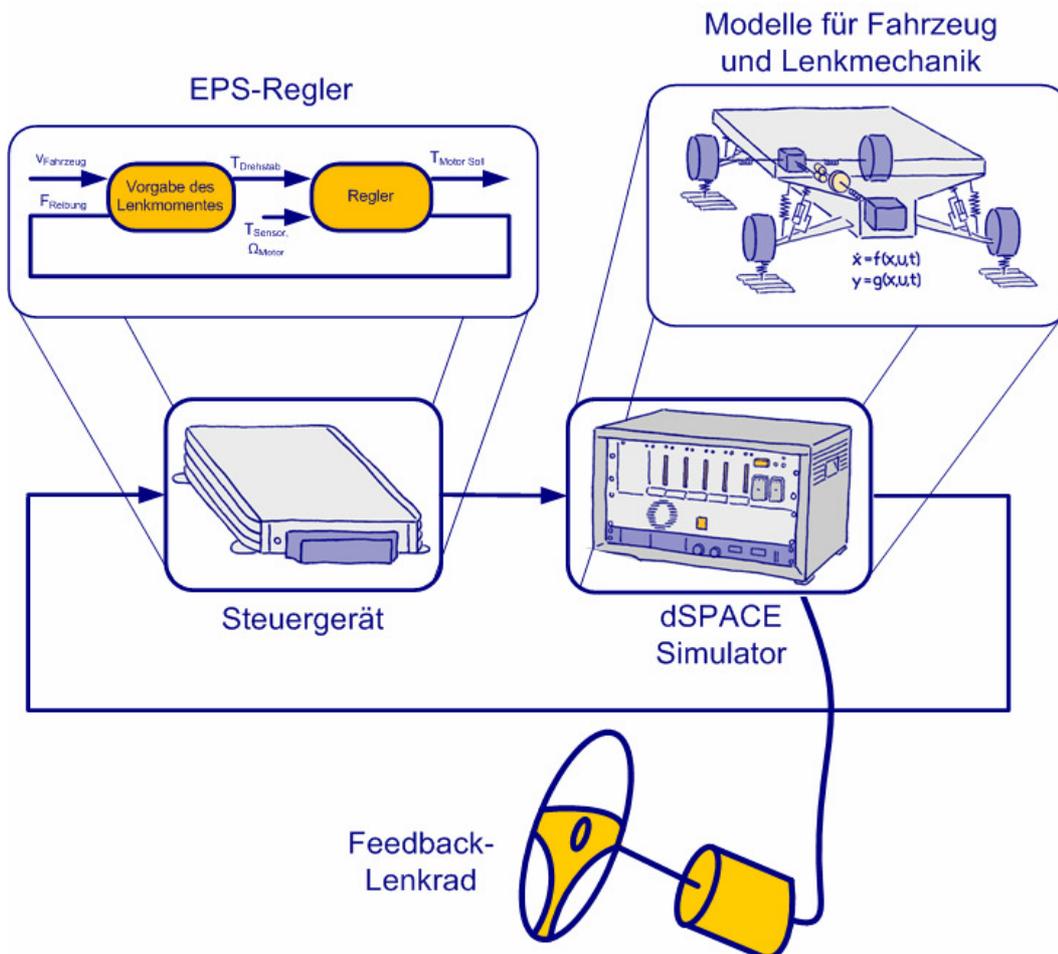


Bild 3.1 HiL-Prüfstand mit Feedback-Lenkrad und externem Steuergerät

Das Modell der Lenkmechanik wurde in das Fahrzeugmodell integriert und auf einem dSPACE-Simulator implementiert. Durch Anschluss des Feedback-Lenkrades über die I/O-Schnittstellen entsteht der HiL-Prüfstand in der ersten Ausbaustufe.

Der EPS-Regler kann nun sowohl zusammen mit dem Fahrzeugmodell auf dem dSPACE-Simulator Software-in-the-Loop (SiL) als auch separat auf einem externen Steuergerät betrieben werden. In der SiL-Simulation können zum Beispiel Auswirkungen auf das Lenkgefühl durch eine Implementierung des Reglers mit Festkomma-Arithmetik untersucht und gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen gemindert werden. Mit der Realisierung auf einem externen Steuergerät liegt eine weitere Ausbaustufe des HiL-Prüfstandes vor, wie sie in Bild 3.1 dargestellt ist. Darin sind alle Realisierungseffekte durch Serienscode und

Serienhardware für den EPS-Regler mit ihren Auswirkungen auf das Lenkgefühl in der HiL-Simulation berücksichtigt.

Mit diesen Ausbaustufen des HiL-Prüfstandes können Realisierungseffekte unabhängig voneinander untersucht und die Vorabstimmung des Lenkgefühls vor Fahrversuchen durchgeführt werden.

Bei der gewählten Vorgehensweise der Entwicklung werden, wie in Bild 3.2 dargestellt, Arbeiten vom Systemtest im Fahrversuch in die Analyse und Synthese durch Simulation und somit in eine frühere Entwicklungsphase verlagert.

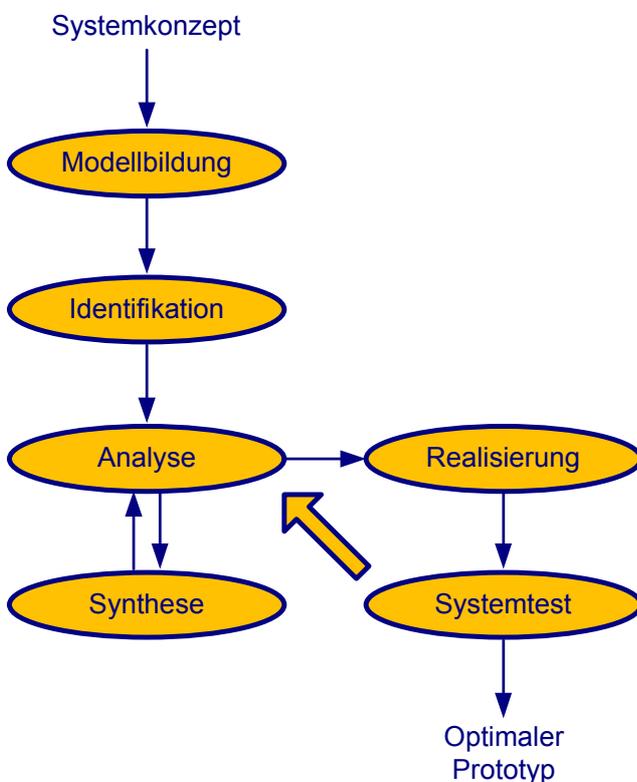


Bild 3.2 Verlagerung von Entwicklungsarbeiten vom Fahrversuch in die Simulation

So wird der Forderung nach kürzeren Entwicklungszeiten Rechnung getragen.

Über die oben beschriebene Anwendung hinaus ist der HiL-Prüfstand für die Entwicklung neuartiger Konzepte für Lenkungsalgorithmen einsetzbar. Durch die Verwendung eines Fahrzeugmodells stehen alle fahrdynamischen Größen (z.B. Schwimmwinkel, Reifenkräfte, Beschleunigungen etc.) zur Verfügung. Diese können zur Erzeugung neuer Lenkungscharakteristika [6] genutzt werden, die zunächst in der HiL-Simulation untersucht

werden. Auf diese Weise lassen sich Algorithmen erproben, die auf fahrdynamischen Größen basieren, ohne dass diese zunächst im realen Fahrzeug verfügbar sein müssen. Für eine spätere Erprobung im Testfahrzeug sind Fahrdynamikbeobachter [7] erforderlich, die zuvor ebenfalls in die HiL-Simulation einbezogen werden können.

Die beschriebene Nutzung des HiL-Prüfstands in der Entwicklung von Algorithmen lässt sich auf andere Lenksysteme übertragen. Bei entsprechender Erweiterung des Gesamtmodells können Winkel- und Momentenüberlagerungen einbezogen werden. Im Bereich hydraulischer Lenksysteme kann die Auswirkung der Gestaltung von Steuerkanten auf das Lenkgefühl untersucht werden.

4. Fazit

HiL-Prüfstände haben mittlerweile eine große Verbreitung im Bereich des Tests von seriennahen Produkten. In der Entwicklung und Bewertung neuer Systemfunktionen sind sie hingegen seltener anzutreffen. Die beschriebene Anwendung zeigt, dass der Einsatz von HiL-Prüfständen bei der frühen konzeptionellen Entwicklung von Funktionen zu einer Reduzierung von Entwicklungszeiten beitragen kann. Neuartige Algorithmen für die Erzeugung unterschiedlicher Lenkungscharakteristika können schon sehr früh in der Entwicklung auch hinsichtlich ihrer Akzeptanz durch den Fahrer realistisch getestet und bewertet werden. Durch die modellbasierte Analyse und Synthese unter Berücksichtigung des haptischen Verhaltens des Lenksystems wird ein gut vorabgestimmtes System entwickelt. Der Abstimmungs- und Testaufwand im Fahrversuch wird damit reduziert. Das System ist nach der Realisierung im Fahrzeug nur noch feinabzustimmen.

Über die Entwicklung von Lenksystemen hinaus kann die gezeigte Vorgehensweise mit dem Einsatz geeigneter HiL-Prüfstände zur Vorabstimmung eines gewünschten Gefühls auf unterschiedliche Systeme, in denen eine haptische Rückmeldung vorliegt, übertragen werden. Dazu zählen zum Beispiel Bremssysteme oder im Flugzeugbau verwendete Sidesticks und Pedale mit Kraftrückkopplung.

Literatur

- [1] S. Klotzbach , H. Henrichfreise: Entwicklung, Implementierung und Einsatz eines nichtlinearen Reibmodells für die numerische Simulation reibungsbehafteter mechatronischer Systeme. ASIM 2002, 16. Symposium Simulationstechnik, Rostock, 10.-13. September 2002.
- [2] G. Rill: Simulation von Kraftfahrzeugen. Vieweg Verlag 1994.
- [3] H.B. Pajeika: Tyre and vehicle dynamics. Butterworth-Heinemann 2002.
- [4] H. Henrichfreise , J. Jusseit, H. Niessen: Optimale Regelung einer elektromechanischen Servolenkung. 5. VDI-Tagung Mechatronik 2003, Fulda, 7.-8. Mai 2003.
- [5] S. Klotzbach, T. Herfeld, H. Henrichfreise: Eine flexibel konfigurierbare Modellumgebung für die Fahrdynamiksimulation. AUTOREG 2006, Steuerung und Regelung von Fahrzeugen und Motoren, Wiesloch, 7.-8. März 2006.
- [6] M. v. Groll: Modifizierung von Nutz- und Störinformationen am Lenkrad durch elektromechanische Lenksysteme. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 630, Düsseldorf, VDI Verlag 2006.
- [7] T. Schubert: Untersuchung von Ansätzen zur Beobachtung querdynamischer Größen von Fahrzeugen. Labor für Mechatronik, FH Köln, 2008.