

AUTOREN



DIPL.-ING. URS WIESEL
ist Entwicklungsingenieur für mechatronische Applikationen in der Nutzfahrzeug-Vorentwicklung der Daimler AG in Stuttgart.



DR.-ING. ANDREAS SCHWARZHAUPT
ist Abteilungsleiter Mechatronik in der Nutzfahrzeug-Vorentwicklung der Daimler AG in Stuttgart.



DR.-ING. MICHAEL FREY
ist Akademischer Rat am Institut für Fahrzeugtechnik und Mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).



PROF. DR. RER. NAT. FRANK GAUTERIN
ist Leiter des Instituts für Fahrzeugtechnik und Mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

HYBRIDE LENKUNG ZUR VERBRAUCHS-REDUKTION BEIM NUTZFAHRZEUG

Im Rahmen eines Entwicklungsprojekts entwarf die Daimler AG, Bereich Vorentwicklung Nutzfahrzeuge, in enger Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine Methodik für die Modellierung und Validierung eines verbrauchsreduzierten hybriden Lenksystems für Lkw. Um eine optimale Systemkonfiguration erstellen und unterschiedliche Technikvarianten für das hybride Lenksystem bewerten zu können, wurde ein entwicklungsmethodischer Ansatz gewählt. Dieser ermöglicht es dem Entwickler, die Komplexität dieses mechatronischen Systems detailliert zu analysieren, Optimierungspotenziale quantitativ zu ermitteln und ein Anforderungsprofil an die simulations- und experimentbasierte Entwicklungsumgebung unter besonderer Berücksichtigung der Modellgüte und Entwicklungseffizienz zu erstellen.



1	EINLEITUNG
2	HYBRIDES LENKSYSTEM
3	MODELLIERUNG
4	EXPERIMENTELLE VALIDIERUNG UND SIMULATIONSERGEBNISSE
5	ZUSAMMENFASSUNG

1 EINLEITUNG

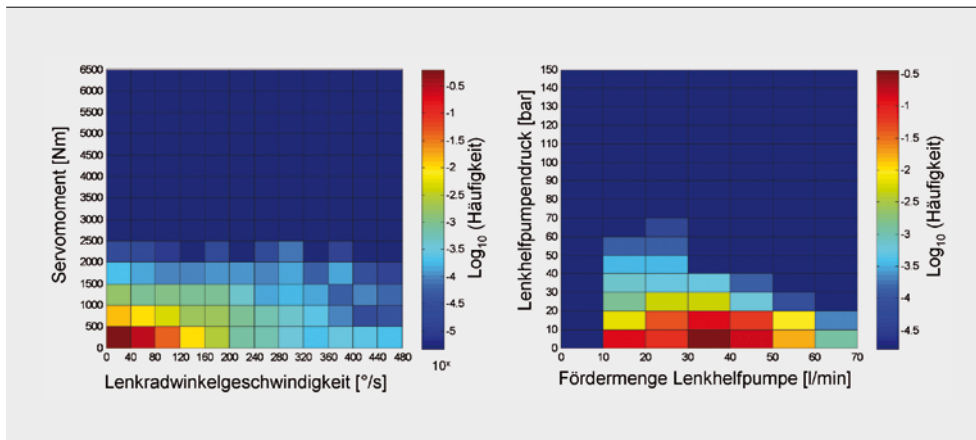
Die Kraftstoffkosten stellen im Fernverkehr nach Angaben des Bundesverbands Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung mit 26 % neben den Lohnkosten den größten Kostenfaktor dar [1]. Daraus erlangt im Nutzfahrzeugbereich die Optimierung von Nebenaggregaten und Teilsystemen nach energieeffizienten Gesichtspunkten einen immer höheren Stellenwert. Deutliches Potenzial zur Energieeffizienzsteigerung bietet das heutige hydraulische Open-Center-Lenkssystem (HPS-OC) des Nutzfahrzeugs.

Um die Energieflüsse des heutigen hydraulischen Lenksystems zu beurteilen, wurde die Servounterstützung mittels Messfahrten mit einem drucksensierten 40-t-Sattelzug ermittelt. Die Lenkhilfpumpenantriebsleistung, die neben der hydraulischen Servounterstützung stark von den auftretenden Durchströmverlusten im Lenksystem beeinflusst wird, wurde durch genaue Vermessung der einzelnen Lenkungskomponenten an einem eigens errichteten Hard-

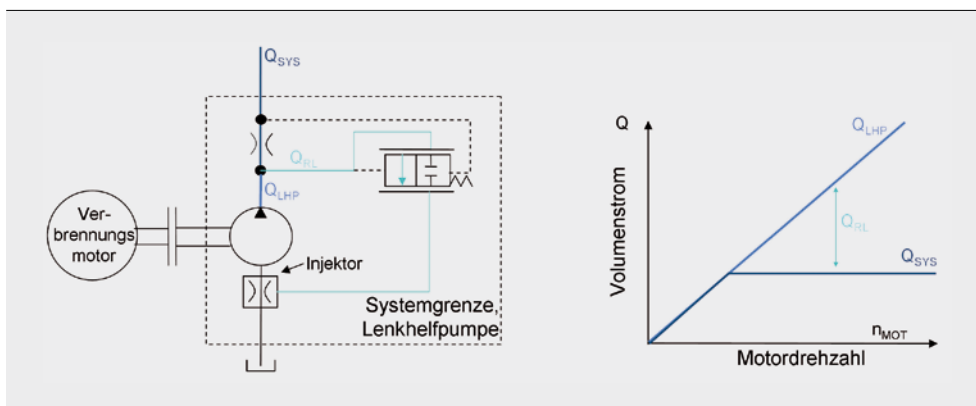
ware-in-the-Loop(HIL)-Prüfstand im Forschungsbereich der Daimler AG bestimmt.

① zeigt am Beispiel eines aufgenommenen Streckenkollektivs die Verteilung der Parameter Servomoment und Lenkradwinkelgeschwindigkeit, die für die mechanische Servoleistung entscheidend sind. Des Weiteren ist die Verteilung der Parameter Druck und Fördermenge der Lenkhilfpumpe dargestellt, welche die Antriebsleistung zur Bereitstellung der Lenkhilfe charakterisieren. Ein rechnerischer Vergleich ergibt, dass die genutzte mechanische Servounterstützungsleistung lediglich einen Anteil von zirka 1 % der eingesetzten Leistung darstellt.

Die hohen Verluste sind darauf zurückzuführen, dass die herkömmliche Lenkhilfpumpe unabhängig vom eigentlichen Lenkbedarf eine motordrehzahlabhängige Fördermenge erzeugt, die gegen einen Systemdruck fördert, ②. Da das Lenksystem nach dem Kriterium der maximalen Lenkgeschwindigkeit beim Lenken im Stand ausgelegt ist, ergibt sich bereits bei Leerlaufmotordrehzahl die Anforderung eines relativ hohen Verdrängervolumens [2]. Bei höheren Motordrehzahlen erfolgt eine Begrenzung des Systemvolumenstroms, wobei die restliche Fördermenge in einen pumpeninternen Rücklauf gelangt [3]. Daraus resultiert insbesondere für das Nutzfahrzeug im Fernverkehr aufgrund des hohen Langstreckenanteils eine permanent anliegende hydraulische Verlustleistung.



① Lastkollektiv für eine Lenkhilfpumpe einer 40-t-Sattelzugmaschine



② Prinzip der Lenkhilfpumpe

2 HYBRIDES LENKSYSTEM

Eine Reduktion der Leistungsaufnahme wird im Pkw durch die Elektrifizierung des Lenksystems erzielt, indem das hydraulische Lenksystem mittels eines elektromotorischen Antriebs der Lenkhilfpumpe teilweise elektrifiziert oder aber die hydraulische Lenkhilfe komplett durch einen elektromechanischen Steller substituiert wird [4]. Da aufgrund der hohen Lenkkräfte und -leistungen bis 6 kW im Nutzfahrzeug eine reine Elektrifizierung mit derzeitiger Bordnetzauslegung nicht ohne Weiteres möglich ist, stellt ein hybrides Lenksystem eine neuartige, attraktive Lösung dar. Das hybride Lenksystem ist gegenüber dem konventionellen Lenksystem um einen elektrischen Lenkungssteller und einen aktiven, elektrisch ansteuerbaren Volumenstromverstellmechanismus erweitert. Es bietet nicht nur ein großes Energiesparpotenzial, sondern auch die Möglichkeit, Lenkungsassistenzfunktionen zur Erhöhung der aktiven Fahrsicherheit zu realisieren.

3 stellt schematisch die Funktionsweise der verbrauchsreduzierten Lenkung dar. Die Grundidee besteht darin, dass in Fahrsituationen, in denen nicht oder nur wenig gelenkt wird, die Lenkhilfe durch den elektromotorischen Steller bereitgestellt und gleichzeitig die hydraulischen Verluste durch bedarfsgerechte Reduzierung des hydraulischen Systemvolumenstroms reduziert werden. Lediglich in Fahrsituationen, in denen ein hohes Maß an Servounterstützung angefordert wird, erfolgt die Lenkhilfe mit Unterstützung vom hydraulischen Teilsystem.

Mit dem Ziel, eine optimale Systemperformance für das mechatronische Gesamtsystem zu erreichen, wurde im Rahmen des Entwicklungsprojekts eine leistungsgeführte Betriebsstrategie entwickelt. Diese Betriebsstrategie erlaubt es, die Lenkhilfe stets nach dem Gesichtspunkt des energetischen Minimums bereitzustellen, 4.

In einer ersten Entscheidungsebene wird auf Basis eines Abgleichs des vom Drehmomentsensor detektierten angeforderten Servomoments und des maximal möglichen elektrischen Servomoments entschieden, ob die Servounterstützung rein durch die elektrische Lenkhilfe bereitgestellt werden kann. In einer zweiten Stufe erfolgt anhand eines Leistungsbilanzvergleichs zwischen dem elektrischen und dem hydraulischen Lenken die Entscheidung, in welchem Modus gelenkt wird.

3 MODELLIERUNG

Für die optimale Abstimmung der Auswahl eines optimalen hardwaretechnischen Systemdesigns mit der höchsten Systemperformance be-

darf es einer detaillierten Kenntnis über das Zusammenwirken der einzelnen einsatz-, baureihen- und systemkonfigurationsspezifischen Parameter. Um die Komplexität dieses mechatronischen Systems detailliert analysieren zu können und die Leistungsreduktionspotenziale unterschiedlicher hardwaretechnischer Systemkonfigurationen prognostizieren zu können, wurde im Rahmen des Entwicklungsprojekts eine methodische Vorgehensweise für die Modellierung und Validierung des hybriden Lenksystems entwickelt.

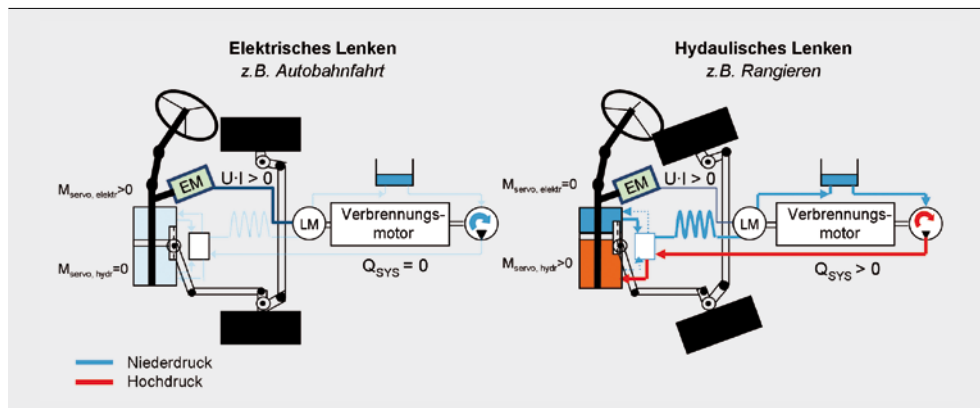
3.1 SIMULATIONSUMGEBUNG

Es wurde eine Simulationsmodellumgebung bestehend aus drei übergeordneten Teilmodellen entworfen, 5. Im Fahrzeugmodell wird auf Basis von Realfahrerdaten mittels der Größen Lenkradwinkel und Fahrzeuggeschwindigkeit das resultierende Rückstellmoment am Lenkgetriebeausgang berechnet und weiter im Lenkkräftmodell das notwendige Servounterstützungsmoment berechnet. Die Modellierung des Rückstellmoments ermöglichte es, während des Entwicklungsprojekts auf Lastkollektive von Serienfahrzeugen ohne eigene Lenkkräftsensierung zurückzugreifen. Das im Lenkkräftmodell ermittelte angeforderte Servomoment und die Motordrehzahl dienen dem Teilmodell der verbrauchsreduzierten Lenkung als Eingangsgröße. Dort wird gemäß der Betriebsstrategie die Leistungsbilanz für das elektrische und hydraulische Lenken unter besonderer Berücksichtigung von einsatz-, fahrzeug- und systemkonfigurationsspezifischen Parametern berechnet.

Während beim Fahrzeugmodell aus Vorgängerprojekten auf ein bereits validiertes Einspurmodell zurückgegriffen werden konnte, wurden im Rahmen des Entwicklungsprojekts sowohl eine methodische Vorgehensweise für die Modellierung und Validierung des Lenkkräftmodells als auch die Verbrauchsreduzierung von unterschiedlichen Lenksystemkonfigurationen entworfen.

3.2 MODELLIERUNGS- UND VALIDIERUNGSSTRATEGIE

Daimler entwickelte zusammen mit dem Institut für Fahrzeugtechnik und Mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) eine Vorgehensweise, mit der eine an die Entwicklungsaufgabe angepasste Simulationsumgebung nach dem Aspekt einer entwicklungseffizienten Vorgehensweise bei gleichzeitiger Sicherstellung einer geforderten Gesamtmodellgüte geschaffen wurde. Ziel war es, den Entwicklungsprozess dahingehend zu systematisieren, dass der Modellierungsumfang, die Modellierungsart und der Detaillierungsgrad systematisch erschlossen und ein kon-



3 Wirkungsweise des verbrauchsreduzierten hybriden Lenksystems: rein elektrisches Lenken beispielsweise auf einer Autobahnfahrt (links), hybrides Lenken beispielsweise während des Rangierens (rechts)

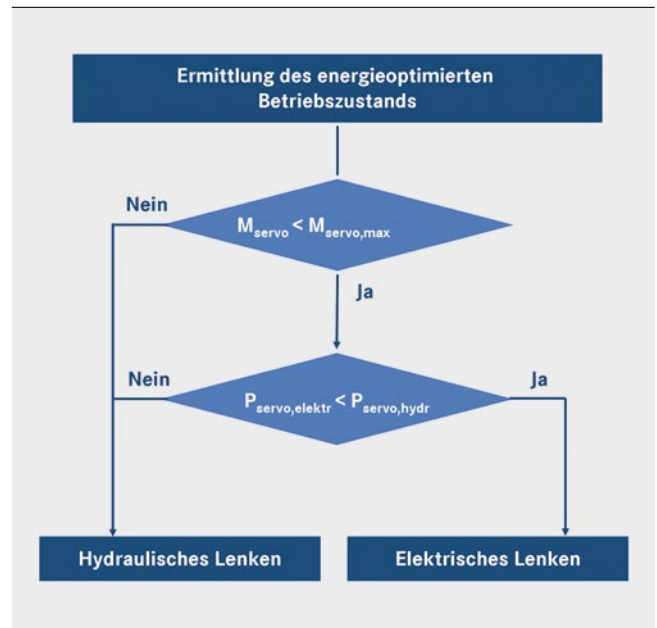
kreter Validierungsweg vorgegeben wird. Dabei sind die im Entwicklungsbereich vorhandenen Rahmenbedingungen, wie beispielsweise vorhandenes Wissen oder bereits experimentelle Prüfeinrichtungen, mit in die Modellierungs- und Validierungsvorgehensweise einzubeziehen.

Die Modellierungs- und Validierungsstrategie setzt sich aus mehreren methodischen Stufen zusammen. Ihre Umsetzung findet im Entwicklungsprojekt der verbrauchsreduzierten Lenkung Anwendung und wird nachfolgend beschrieben.

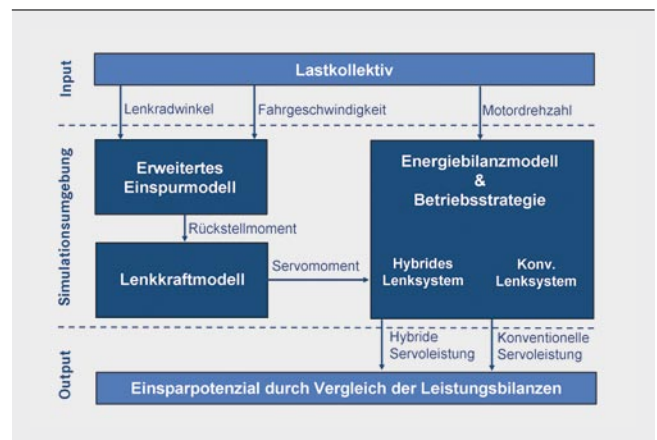
Im Rahmen einer Systemabstraktion und Systemanalyse wird das Gesamtsystem in Teilsysteme und deren Komponenten zerlegt, mathematisch-physikalische Beschreibungsformen formuliert und die Einflussparameter gesamtheitlich identifiziert. Durch Verknüpfen der einzelnen Komponentenbeschreibungen zu Teilsystemen und zu einem Gesamtsystem liegt letzten Endes eine mathematisch-physikalische Leistungsbilanzbeschreibung für das Gesamtsystem vor. ⑥ zeigt die mechatronische Wirkstruktur in Anlehnung an [5], aus dem der Kraft- und Energiefluss des hybriden Lenksystems unter Berücksichtigung der Energieform hervorgeht. Die Systemgrenze zwischen Lenksystem und restlichem Fahrzeug ist dabei so gewählt, dass die notwendige Leistung für das hydraulische und elektrische Lenken sich jeweils auf die mechanische Antriebsenergie von Lenkhilfpumpe und Generator bezieht, sodass die Leistungen für das elektrische und hydraulische System vergleichbar sind.

Den Kern der Methode bildet die Erstellung einer zentralen Modellierungs- und Validierungsmatrix sowie eines Optimierungsalgorithmus, mit Hilfe dessen für eine vorgegebene zu erreichende Gesamtmodellgüte die Kombination mit dem geringsten Modellierungs- und Validierungsaufwand berechnet wird, ⑦. Die gesamtheitliche Matrix setzt sich aus einzelnen Modellierungs- und Validierungsstufen für die einzelnen Systemparameter des hybriden Lenksystems unter Angabe der abgeschätzten erreichbaren Modellierungsgüte (G), des Aufwands (A), der Modellierungsart (MA) und der Validierungsart (VA) zusammen. Die Anordnung der Systemparameter ist dabei so gewählt, dass der Einfluss der Parameter gemäß einer im Vorfeld durchgeführten Sensitivitätsanalyse auf die Gesamtenergiebilanz in der Matrix nach rechts hin abnimmt und die Modellierungs- und Validierungsgenauigkeit in der Matrix nach unten hin zunimmt. Im Gegensatz zu der vornehmlich intuitiv geprägten Vorgehensweise, bei der ein Entwicklungsingenieur bestrebt ist, einflussstarke Parameter in einem höheren Detaillierungsgrad zu modellieren und weniger einflussstarke Parameter in einer geringeren Güte zu modellieren, berechnet ein Optimierungsalgorithmus für eine vorgegebene Modellgüte die Kombination für die Modellierung und Validierung mit dem geringsten Aufwand.

Am Beispiel der Modellierung der hydraulischen Steuerventilcharakteristik ergibt sich als einfachste Modellierungs- und Validierungsgenauigkeit die Abbildung des Lenkgetriebedrucks in Abhängigkeit vom Eingangsmoment des Lenkgetriebes als stationäre Kennlinie, deren Daten aus Stützpunkten vom Zulieferer stammen. Die nächste Modellierungsstufe ist durch die Vermessung des Lenkgetriebes am bereits vorhandenen Erprobungsträger ohne zusätzlichen Aufwand für die Versuchsumgebung unter Berücksichtigung der Lenkradwinkelgeschwindigkeit charakterisiert. Die höchste Modellierungsstufe stellt die Vermessung unter Laborbedingungen an einem neu zu errichtenden dynamischen Lenkgetriebeprüfstand unter Berücksichtigung des Tem-



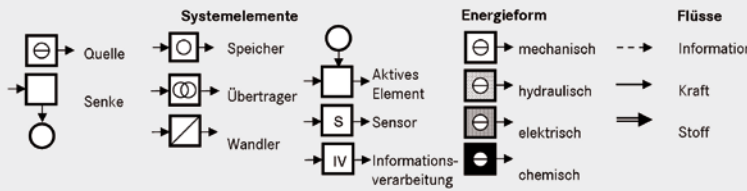
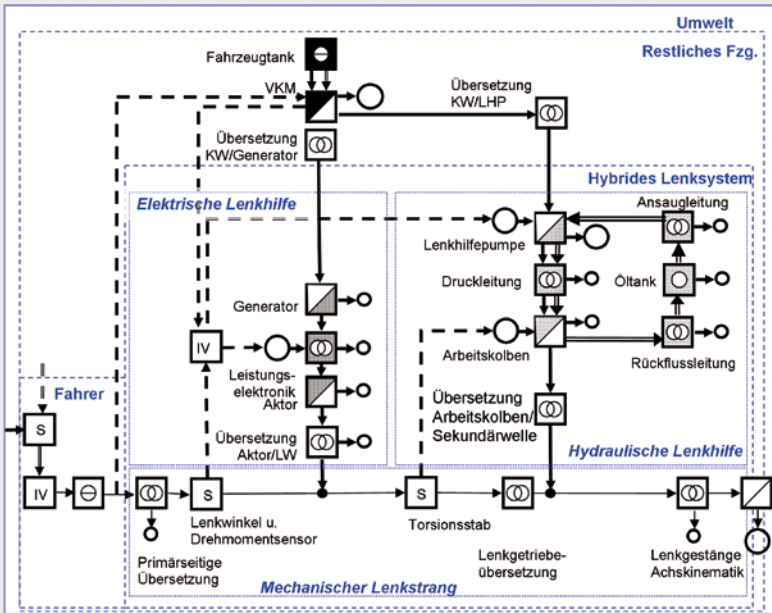
④ Leistungsgeführte Betriebsstrategie der verbrauchsreduzierten Lenkung



⑤ Simulationsumgebung

peratureinflusses dar. Die in ⑦ eingefärbten Flächen zeigen die Kombination mit dem geringsten Gesamtaufwand für eine 90-%ige Modellierungsgüte. Es zeigt sich, dass auf einen eigens zu errichtenden dynamischen Lenkgetriebeprüfstand für die Validierung des verhältnismäßig starken Einflusses der Steuerventilkennlinie auf die Gesamtleistungsbilanz auf Kosten einer höheren Modellierungstiefe weniger einflussreicher Parameter verzichtet werden kann.

⑧ stellt den Modellierungs- und Validierungsaufwand in Abhängigkeit von der vorgegebenen Modellierungsgüte dar. Für die Beurteilung der Entwicklungseffizienzsteigerung bei gleichzeitiger Sicherstellung der Modellgüte wurde zum einen als Referenz die aufwändigste Modellierungs- und Validierungsvorgehensweise berechnet. Zum anderen wurde im Rahmen eines Realversuchs ein ambitionierter Jungingenieur mit der Planung einer Modellierungs- und Validierungsvorgehensweise für eine 90-%ige Modellgüte ohne Anwendung eines Optimierungsalgorithmus be-



6 Wirkungsweise des hybriden Lenksystems

Abnahme des Parametereinflusses

Zunahme der Modellierungstiefe

		Wirkungsgrad LHP	Segmentwellenradius	Motordrehzahl	Schluckvolumen LHP	Wirkungsgrad Lenkgetriebe	Hydr. Steuerventilkennlinie	Grenzsistemvolumenstrom	Leitungsradius	Wirkungsgrad Generator	Umwälzverlust LHP	Elektrische Servokennlinie	Dichte Lenkungsöl	Steuerventilkennlinie	Viskosität Lenkungsöl	Leitungslänge	Druckverlust ÖlfILTER	Krümmungsfaktor
		η_{LHP}	r_{SW}	n_{Mot}	$V_{Schluck}$	η_{LG}	$P_{Servo,hydr}$	Q_{Zy}	r_L	$\eta_{LG,Gen}$	P_{Uw}	$P_{Servo,el}$	$\rho_{Öl}$	ΔP_{Sy}	$\nu_{Öl}$	L	ΔP_{Pr}	ξ_{Kr}
1	MA	1	1	1	1	MA	2	Kennlinie										
	VA	4	4	4	4	VA	4	Übertragung aus Wissensdatenbank										
	G[%]	60	90	20	76	Güte	80	%										
2	MA	2	2	1*	2	MA	3	Mehrdimensionales Kennfeld										
	VA	4	4	3	1	VA	3	Messung am vorhandenen Erprobungsträger										
	G[%]	75	99,9	99,9	80	Güte	98	%										
3	MA	3			3	MA	3	Mehrdimensionales Kennfeld										
	VA	4			1	VA	2	Messung am zu errichtendem Prüfstand										
	G[%]	80			90	Güte	99	%										
4	MA	3			3	MA	3	Neuerichtung Prüfstand										
	VA	1			1	VA	1	Betriebskosten + Durchführung der Messung										
	G[%]	99,2			99	Güte	99	Auswertung und Implementierung in das Simulationsmodell										
5	MA	3			3	MA	3	Auswertung und Implementierung in das Simulationsmodell										
	VA	1			1	VA	1											
	G[%]	55			55	Güte	55											

zusätzlich wird ein Aufwand von 62 Aufwandseinheiten für die Erstellung der Modellierungs- und Validierungsmatrix erhoben

Modellierungsart (MA): 1: Konstante, 2: Kennlinie, 3: mehrdimensionales Kennfeld; 4: weiteres Teilmodell
 Validierungsart (VA): 1: Nebenaggregateprüfstand, 2: Lenkgetriebeprüfstand, 3: Erprobungsträger, 4: Wissensdatenbanken
 Farbig hinterlegte Felder: Beste Kombination der Modellierungs- und Validierungsstrategie für eine 90%ige Validierung

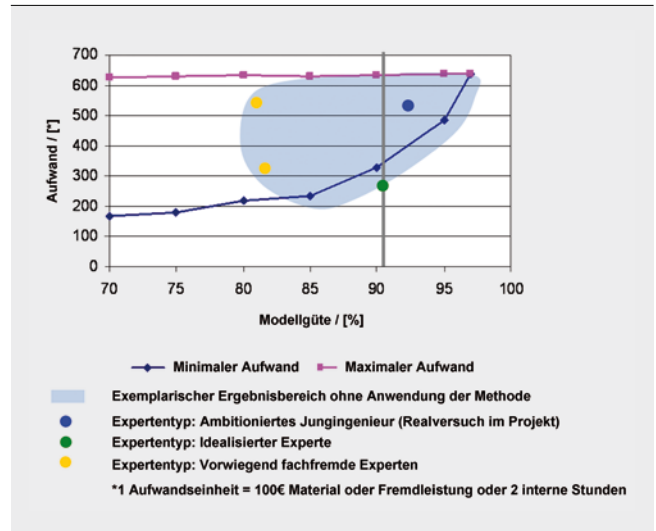
7 Modellierungs- und Validierungsmatrix: Farbig dargestellt ist die Modellierungs- und Validierungsstrategie für die 90-%ige Modellierung und Validierung des Lenkkräftmodells nach dem Gesichtspunkt des minimalen Gesamtaufwands

traut. Dieser kam zu einer Modellierungsgüte, die die geforderte Güte von 90 % zwar um 3 % überschritt, aber deren Aufwand mit 520 Punkten um 58 % höher lag als im Falle der Anwendung der Methode. Gegenüber dem idealisierten Experten, der sogar ohne den Aufwand für die Erstellung der Modellierungs- und Validierungsstrategie unmittelbar die optimale Kombination für das Erreichen der geforderten Modellgüte nach dem geringsten Aufwand auswählt, ist die Performance der Methode maßgeblich vom individuellem Expertenwissen abhängig. Die Methode zeichnet sich durch die Systematisierung des Modellierungs- und Validierungsprozesses aus, bei der Unsicherheiten bei dem Erreichen der vorgegebenen Modellierungsgüte reduziert werden und der Modellierungsaufwand sich nach dem geringsten Entwicklungsaufwand richtet.

4 EXPERIMENTELLE VALIDIERUNG UND SIMULATIONSERGEBNISSE

Gemäß den Vorgaben der Modellierungs- und Validierungsstrategie wurde die Modellvalidierung an einem Erprobungsträger, sowie an einem HIL-Prüfstand durchgeführt und anschließend die Ergebnisse in der Simulationsumgebung abgebildet. ⑧ stellt die experimentelle Versuchsumgebung dar.

Als Erprobungsträger kam eine 4x2-Sattelzugmaschine des Typs Mercedes-Benz Axor 1840 zum Einsatz, bei der als hybrides Lenksystem im frühen Entwicklungsstadium ein eigens konstruierter Lenkungssteller mit einem permanentmagneterregten Synchronmotor der Firma Emoteque gekoppelt mit einer Leistungselektronik SWM-50 der Firma Maccon [6] zum Einsatz kam. Im weiteren Entwick-



⑧ Ergebnis der Modellierungs- und Validierungsstrategie

lungsprozess wurde der Aktor durch das hybride Lenksystem „Servotwin“ der Firma ZF-Lenksysteme GmbH [7] ersetzt. Als aktiver Volumenstromverstellmechanismus kam eine EV2-Lenkhefelpumpe der Firma Ixetic GmbH zum Einsatz, die es ermöglicht, den Systemvolumenstrom über ein im Bypass ansteuerbares Ventil zu drosseln [8]. Ferner wurde das hydraulische Lenksystem druck- und volumenstromsensiert, sowie das elektrische Teilsystem mit einer Strom- und Spannungssensorik ausgestattet.

Gemeinsame Rapid-Control-Prototyping-Plattform

Hybrid Steering System

HIL-Prüfstand

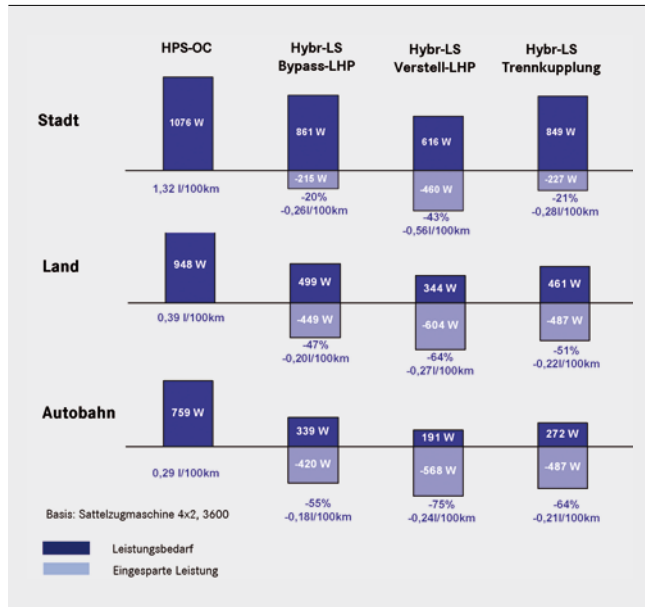
- Druck- Temp.-sensor
- Hydraulikleitungen
- Volumenstromsensor
- 3-Wege-Ventil
- Hydromotor inkl. Momenten- & Drehzahlsensor
- Lenkhilfpumpe
- MABx

Erprobungsfahrzeug

- Vermessung der LHP
 - Wirkungsgrad
 - interne Umwälzverluste
 - Grenzvolumenstrom
 - Schluckvolumen
- Vermessung der Durchströmverluste
 - Leitungslänge
 - Krümmungen
- Ölfilterverluste

- Vermessung Lenkgetriebe
 - Druckverlust im Steuerventil
 - Steuerventilkennlinie
 - Leistungskennlinie elektrische Lenkhilfe
- Verifikation Einspurmodell
- Lastkollektive Stadt Land Autobahn

⑨ Prüfumgebung für die Validierung der Simulationsumgebung



10 Potenziale zur Leistungsreduktion und der daraus resultierenden Kraftstoffeinsparung für unterschiedliche Hybridvarianten

Die HIL-Prüfstands Umgebung wurde auf Basis eines bereits bestehenden Nebenaggregateprüfstands in der zentralen Forschung der Daimler AG errichtet und um die einzelnen hydraulischen Lenkungs-komponenten für die Vermessung erweitert.

In Matlab/Simulink wurde sowohl die leistungsgeführte Betriebsstrategie der verbrauchsreduzierten Lenkung als auch die Prüfstandssteuerung implementiert. In einer gemeinsamen Rapid-Control-Prototyping Plattform der Firma dSpace erfolgte die Ansteuerung der Prüfumgebungen und die prototypische Darstellung der Betriebsstrategien.

Mit dem Ziel ein optimales Systemdesign bereits in der frühen Entwicklungsphase zu identifizieren und den weiteren Entwicklungsprozess nach dem Gesichtspunkt des größten Potenzials auszurichten, wurden im Rahmen der Untersuchungen unterschiedliche hardwaretechnische Systemkonfigurationen für den aktiven Volumenstromverstellmechanismus untersucht. Als Systemkonfigurationen wurden eine Bypasspumpe (Hybr-LS/Bypass-LHP), bei der der überflüssige Systemvolumenstrom durch einen pumpen-internen Rücklauf umgewälzt wird, eine Verstellpumpe mit variablem Schluckvolumen (Hybr-LS/Verstell-LHP), sowie eine konventionelle Lenkhilfpumpe gekoppelt mit einer binär schaltbaren, elektromagnetischen Trennkupplung (Hybr-LS/Trennkupplung) in der Simulation untersucht. 10 zeigt zusammenfassend die Simulationsergebnisse.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine ansteuerbare Verstellpumpe gegenüber den beiden anderen Systemkonfigurationen mit 60 bis zu 75 % das größte Leistungsreduktionspotenzial besitzt. Dem Vorteil des größten Leistungsreduktionspotenzials bei der aktiven Verstellpumpe steht jedoch als Nachteil auch ein größerer Bauraum gegenüber. Eine ansteuerbare Bypasspumpe dagegen stellt nicht zuletzt aufgrund der einfachen Bauweise insbesondere in der Fernverkehrsapplikation eine attraktive Lösung dar. Eine Trennkupplung besitzt zwar gegenüber der Bypasspumpe ein geringfügig höheres Leistungsreduktionspotenzial, jedoch stellt sie nicht nur an

den Bauraum und die Robustheit, sondern auch aufgrund der binären Schaltweise an die Regelung hohe Anforderungen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines Entwicklungsprojekts der Daimler AG wurde in enger Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mittels Modellbildung ein verbrauchsreduziertes hybrides Lenksystem konzipiert. Für den Entwurf des verbrauchsreduzierten Lenksystems und die Simulation kam eine Methode zum Einsatz, die es erlaubt, den Modellbildungs- und Validierungsprozess dahingehend zu systematisieren, dass Unsicherheiten bzgl. des Erreichens einer geforderten Modellgüte minimiert werden und eine entwicklungs-effiziente Vorgehensweise gewählt wird, die bereits vorhandene Entwicklungsressourcen und vorhandenes Wissen berücksichtigt.

Mittels einer validierten Simulationsumgebung wurden die Kraftstoffreduktionspotenziale für unterschiedliche Systemkonfigurationen prognostiziert. Es konnte gezeigt werden, dass sich ein Leistungsreduktionspotenzial von 60 bis 75 % gegenüber dem konventionellen Lenksystem im Nutzfahrzeug realisieren lässt.

LITERATURHINWEISE

- [1] Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e. V.: Kostenentwicklung im Güterkraftverkehr. http://www.bgl-ev.de/images/downloads/initiativen/kostenentw_fern_01.pdf, Frankfurt am Main, 11. September 2009
- [2] Bootz, A.: Konzept eines energiesparenden elektrohydraulischen Closed-Center-Lenksystems für Pkw mit hoher Lenkleistung. Dissertation, TU Darmstadt, 2004
- [3] Stoll, H.: Fahrwerktechnik: Lenkanlagen und Hilfskraftlenkungen. Vogel-Verlag, Würzburg, 1992
- [4] Lubischer, F.; Pickenhahn, J.; Gessat, J.; Gilles, L.: Kraftstoffeinsparpotenzial durch Lenkung und Bremse. In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 110 (2008), Nr. 11, S. 996-1005
- [5] Schmidt, M.: Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs von Nebenaggregaten im Kraftfahrzeugbau. Dissertation, VDI-Fortschritt-Bericht, Reihe 12, Nr. 537, Düsseldorf, 2003
- [6] Maccon: Motion Control Technologies, Products & Services. www.maccon.de
- [7] Nutsch, T.; Braun, A.: Sicherheits- und Komfortgewinn durch Hybridlenkungen – Assistenzfunktionen mittels Momentenüberlagerung. VDI-Berichte, Nr. 1986, S. 133-148, Düsseldorf, 2007
- [8] Lauth, H. J.; Webert, D.; Scholz, T.; Agne, I.: Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen – Reduzierte Leistungsaufnahme von Lenk-, Fahrwerks- und Getriebesystemen. In: Vortragsband, 7. Luk-Kolloquium, S. 99-111, Baden-Baden, 11. und 12. April 2002



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
 order your test issue now: SpringerAutomotive@abo-service.info