



FAHRERMODELL ZUR VIRTUELLEN REGELSYSTEMENTWICKLUNG

Virtuelle Fahrversuche zur Funktionsabsicherung und Applikation von Fahrzeugregelsystemen stellen hohe Anforderungen an das verwendete Fahrermodell. Das Fahrermodell von Tesis Dynaware bestimmt vorab realitätsnahe Sollvorgaben und schaltet fahrsituationsabhängig zwischen unterschiedlichen Fahrreglern und gesteuertem Verhalten um. Dies zeigt beispielhaft die Entwicklung und Vorabstimmung von Traktionsregelsystemen für Allradfahrzeuge bei Magna Powertrain.

AUTOREN



DR. RER. NAT. RAINER FISCHER
ist Projektleiter Fahrermodell-
entwicklung bei der Tesis Dynaware
GmbH in München.



DR.-ING. TORSTEN BUTZ
war bis September 2011 Leiter
Produktentwicklung bei der Tesis
Dynaware GmbH in München.



DIPL.-MATH. MARTIN EHMANN
ist Produktmanager bei der Tesis
Dynaware GmbH in München.



DIPL.-ING. MARIO VOCKENHUBER
ist Entwicklungsingenieur für
geregelt Antriebsstrangsysteme bei
der Magna Powertrain AG & Co. KG
in Lannach (Österreich).

AUFGABENSTELLUNG

Durch den durchgängigen Einsatz von Simulationsmethoden bei Magna Powertrain können reale Fahrversuche effizienter durchgeführt und bessere Ergebnisse für Abstimmungsvarianten von Traktionsregelsystemen gemäß Kundenvorgaben erzielt werden [1]. Das Simulationsframework Dyna4 der Tesis Dynaware [2] liefert dazu Fahrzeug-, Fahrer- und Umgebungsmodelle mit hoher Abbildungsgüte und gleichzeitig niedrigem Rechenzeitbedarf, die eine gute virtuelle Vorapplikation der Allradsteuergeräte erlauben.

Fahraufgabenbasierte Tests können aus einer Abfolge beliebiger Open- und Closed-Loop-Manöver, iterativen Simulationen

sowie automatisierten Bewertungen der Ergebnisse zusammengesetzt werden. Dies ermöglicht Variantenrechnungen, Reglerverifikationen und virtuelle Abstimmungen bei der Funktionsentwicklung bis hin zum Steuergerätestest in Hardware-in-the-Loop (HiL)-Umgebungen.

VIRTUELLER TESTFAHRER

Die Implementierung von virtuellen Fahrversuchen stellt hohe Anforderungen an das verwendete Fahrermodell. Dieses muss für die jeweilige Testaufgabe optimale Sollgrößen bereitstellen und die Längs- und Querverführung des virtuellen Fahrzeugs übernehmen. Durch Abbildung unterschiedlicher Fahrstile wird ein breites Spektrum plausiblen Fahrerhaltens mit realistischen Stellgrößeneingriffen und Ausnutzung des Kraftschlusspotenzials erreicht.

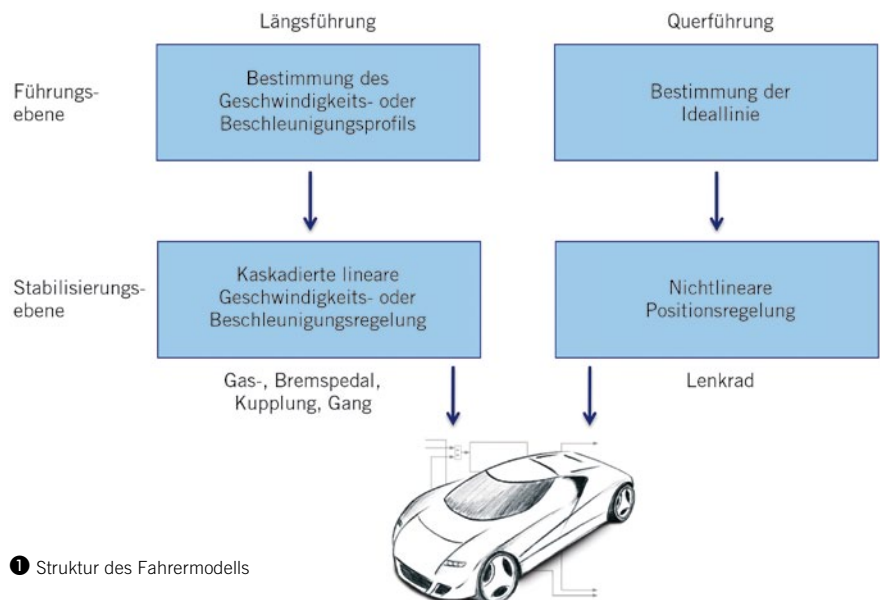
Der Dyna4-Test-Driver ist ein virtuelles Fahrermodell, das universell für verschiedenste Testszenarien, wie Standard- und Handlingversuche bis hin zum fahrdynamischen Grenzbereich, Nachfahren von Verbrauchszyklen, Parkieren oder realistische Reaktion auf den Umgebungsverkehr, einsetzbar ist. Die modulare Struktur, **1**, basiert auf dem Zwei-Ebenen-Modell von Donges, das um die strikte Trennung von Längs- und Querverführung sowie von Sollgrößenberechnung und eigentlicher Regelung oder Steuerung erweitert wurde [3].

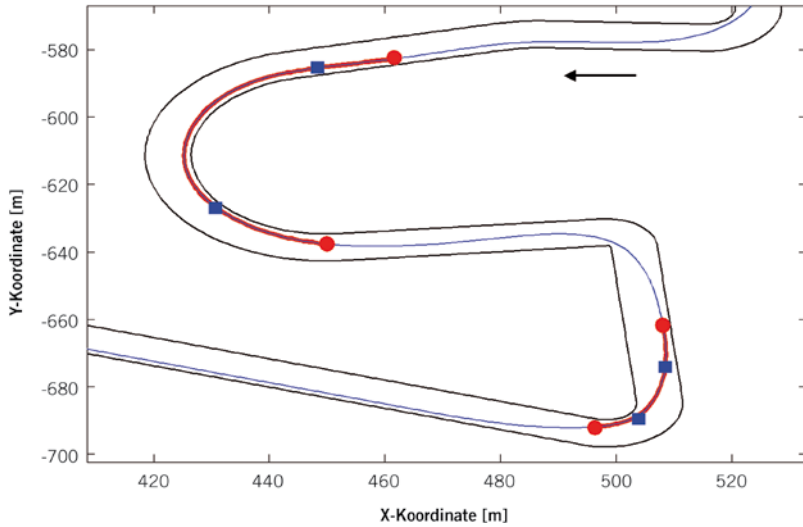
Die Kursvorgabe für die Querverführung wird dynamisch zur Laufzeit der Simu-

lation oder vorab in einem Preprocessing-Schritt bestimmt. Dazu wird ein heuristisches Verfahren verwendet, das auf der Basis von Expertenwissen professioneller Testfahrer näherungsweise zeitoptimale Ideallinien für Handlingkurse und Passstraßen berechnet [4]. Kurven und Kurvenfolgen werden identifiziert und dafür im Hinblick auf das Beschleunigungsverhalten optimale Trajektorien ermittelt. Dieses Vorgehen liefert bei sehr kurzen Rechenzeiten gute Übereinstimmung mit real gefahrenen Trajektorien und bessere Ergebnisse als Fahrermodelle von Wettbewerbern. Fahrzeugzustände im Grenzbereich, die beispielsweise für den Regelsystemeingriff eines ESP-Steuergeräts notwendig sind, können im HiL-Test reproduzierbar herbeigeführt werden.

Für die Querregelung kommt ein nichtlinearer Positionsregler zum Einsatz, der auf der Theorie der nichtlinearen Systemkopplung und Regelung basiert. Durch Variation von charakteristischen Parametern wie der Vorausschaulistanz können verschiedene Fahrertypen abgebildet werden.

Die Stellgrößen für die Fahrzeuglängsführung werden je nach Fahrsituation durch eine kaskadierte Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsregelung ermittelt, die die Nichtlinearitäten in Motor und Antriebsstrang durch inverse Motorkennfelder und Gain-Scheduling-Regler kompensieren. Die Bestimmung von realistischen Vorgaben für die Längsführung wird im folgenden Abschnitt beschrieben.





② Phasenunterteilung bei Kurvenfahrt auf einem Handlingkurs

MANÖVERUNTERTEILUNG FÜR DIE FAHRZEUGLÄNGSFÜHRUNG

Die Vorgabe eines Sollgeschwindigkeitsprofils für die Längsführung ist in der Praxis zwar verbreitet, aber für viele Anwendungen nicht geeignet. Insbesondere unter Niedrigreibwertbedingungen kann eine reine Geschwindigkeitsregelung zu unrealistischen Brems- und Schaltengriffen in Kurven führen und damit die virtuelle Abstimmung des Traktionsregelsystems auf den menschlichen Fahrer verhindern. Der vorgestellte Ansatz nimmt automatisch

eine Phasenunterteilung abhängig vom Krümmungsprofil der Kursvorgabe vor. Analog zur Querführung werden dabei zunächst Kurven und charakteristische Kurvenpunkte, wie Anbremspunkt und Kurvenende, identifiziert. Für jede Kurvenphase werden dann dem gewünschten Fahrertyp entsprechend entweder Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsprofile für die jeweiligen Fahrregler oder Open-Loop-Stellgrößenvorgaben bestimmt.

Exemplarisch wird das Manöver Bremsen und Anbinden in der Kurve für die beiden markierten Kurvenabschnitte skizziert, ②:

- : Der Beginn der Anbremsphase (roter Kreis) wird aus dem vorgegebenen Ende der Bremsphase (blaues Quadrat) und den fahrertypischen Beschleunigungsgrenzen ermittelt. Zum Abbremsen auf die gewünschte Kurvengeschwindigkeit kommt ein Verzögerungsregler zum Einsatz. Am Ende dieser Phase ist der für die Kurvenfahrt passende Gang eingelegt.
- : Während der Konstantfahrt sind weder Bremseingriffe noch Schaltvorgänge erlaubt. Die Kurvengeschwindigkeit wird aus der maximalen Kurvenkrümmung und den fahrertypischen Querbeschleunigungsgrenzen bestimmt.
- : Der Beginn der Beschleunigungsphase (blaues Quadrat) wird durch das Unterschreiten eines Querbeschleunigungslimits in der Konstantfahrt definiert. Zum Beschleunigen bis zum Kurvenende (roter Kreis) kommt ein Beschleunigungsregler zum Einsatz.

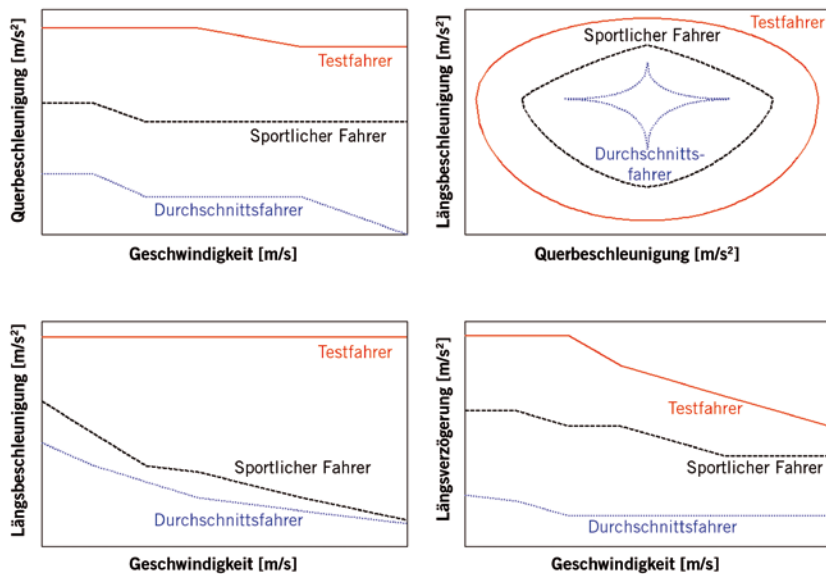
Für den Übergang zwischen den Kurven wird ein geeignetes Geschwindigkeitsprofil verwendet.

MODELLIERUNG VON FAHRERTYPEN

Unterschiedliche Fahrstile werden in erster Linie über dreidimensionale g-g-v-Diagramme abgebildet, die die Längs- und Querbeschleunigungsgrenzen verschiedener Fahrertypen, wie Durchschnittsfahrer, sportlichem Fahrer oder Testfahrer, abhängig von der Fahrgeschwindigkeit wiedergeben, ③. Dadurch können unter anderem auch degressive Beschleunigungs- und progressive Bremsvorgänge modelliert werden.

Die Beschleunigungscharakteristiken [5] spiegeln wider, dass sportliche Fahrer und Testfahrer bei gegebener Geschwindigkeit und Längsbeschleunigung sehr viel höhere Querbeschleunigungen erreichen als der Durchschnittsfahrer. Sowohl Längsbeschleunigung als auch Längsverzögerung nehmen mit steigender Geschwindigkeit tendenziell ab, wobei die Reduktion je nach Fahrertyp unterschiedlich ausfällt.

Daneben gibt es weitere charakteristische Parameter bei der Manöverunterteilung, die zur Unterscheidung verschiedener Fahrweisen dienen. Beispiele dafür sind das Ende der Bremsphase, das bei sportlicher Fahrweise weiter in der Kurve liegt, die Begrenzungen von Gas- und Bremspedalgradienten sowie Totzeiten an den Phasenübergängen.



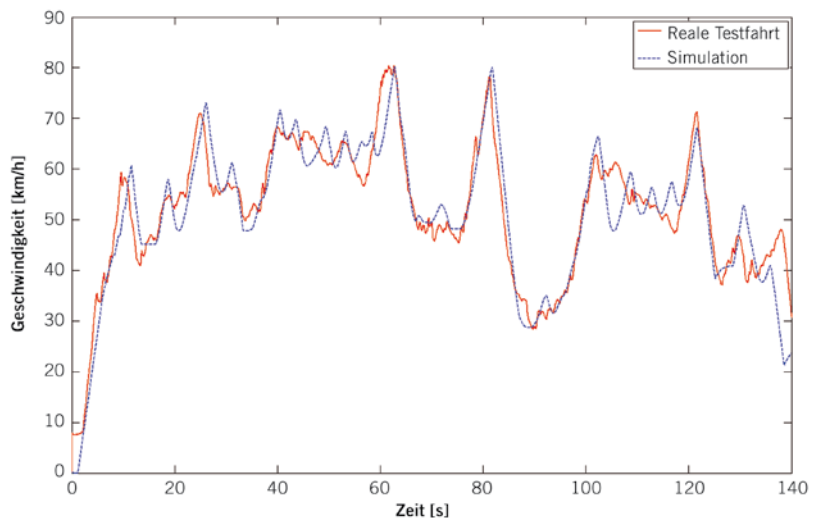
③ Geschwindigkeits- und Beschleunigungscharakteristiken für Durchschnittsfahrer, sportliche Fahrer und Testfahrer

ABSTIMMUNG VON TRAKTIONSGELEGESYSTEMEN

Bei der Entwicklung von Traktionsregelsystemen bei Magna Powertrain gewinnt die virtuelle Funktionsentwicklung sukzessive an Bedeutung, auch im Hinblick auf die Reduktion von CO₂-Emissionen [6]. Für die Serientauglichkeit muss der Regelalgorithmus eine Reihe von Kriterien aus den Bereichen Fahrdynamik, Traktion, Verbrauch und Systembelastung erfüllen. Bereits in der Simulation lassen sich verschiedene Abstimmungsvarianten alternierend auf Hoch- und Niedrigreibwert testen und so eine Abstimmung mit hohem Vertrauensgrad erreichen. Aufgrund des menschenähnlichen Modells für die Fahrzeuglängsführung können sogar Steuer- und Regellogiken, die sich an das Fahrerverhalten adaptieren, realistisch getestet werden.

Eine besondere Herausforderung stellen Niedrigreibwertbedingungen dar, bei denen der virtuelle Fahrer auch im Grenzbereich ein stabiles Fahrverhalten erreichen muss und bei rutschendem Fahrzeug Gaspedal und Bremse nur moderat und gezielt betätigen darf. Die Fahrgeschwindigkeiten für einen Handlingkurs zeigen eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation, ④. Die phasenweise Manöverdefinition gibt das feinfühligere, dynamische Verhalten eines erfahrenen Testfahrers in den Betriebszuständen Anbremsen, Lastwechsel und Anbinden wieder.

Für jede Regelsystemabstimmung können in der Simulation der Kraftstoffverbrauch, die Fahrstabilität und die Traktion in guter Übereinstimmung mit der Testfahrt ermittelt werden. Die Belastung des Antriebsstrangs ergibt sich aus der Einwirkung der Kräfte und Momente auf die mechanischen Komponenten, wie der in der Allradkupplung auftretenden Reibarbeit und dem schädigungsäquivalenten Dauermoment im Achsgetriebe. Über eine geeignete Gewichtung fließt diese in ein Gesamtkollektiv als Basis für die Betriebsfestigkeitsbewertung ein. Mit der Toolunterstützung aus Dyna4 können so automatisiert Simulationen für eine Vielzahl



④ Fahrgeschwindigkeit bei Testfahrt und Simulation auf einem Handlingkurs

von Fahrzeugsetups durchgeführt, die Berechnungsergebnisse ausgewertet und die Qualität der Abstimmungsvarianten bewertet und dokumentiert werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der zunehmenden Anzahl und Komplexität mechatronischer Regelsysteme im Fahrzeug ist deren Entwicklung und Abstimmung nicht mehr ohne Unterstützung durch Simulationsmodelle und -tools durchführbar. Einen Beitrag dazu liefert das Fahrermodell der Tesis Dynaware, das die Simulation verschiedener Fahrertypen ermöglicht. Bei der Bewertung von Traktionsregelsystemen für Allradfahrzeuge von Magna Powertrain konnten hohe Anforderungen, wie die Fahrzeugbeherrschung unter Niedrigreibwertbedingungen, erfolgreich erfüllt werden. Die Ergebnisse für Abstimmungen von Allradsystemen zeigen ein gutes Verhalten sowohl hinsichtlich subjektiver Bewertung durch erfahrene Testfahrer als auch nach objektiven Entwicklungskriterien.

LITERATURHINWEISE

- [1] Vockenhuber, M.; Ehmann, M.; Ruckebauer, T.: Funktionsapplikation für Allrad-Traktionsregelsysteme. 1. Automobiltechnisches Kolloquium, Garching, 16./17. April 2009
- [2] Tesis Dynaware GmbH: Dyna4 User Manual. München, 2011
- [3] Fischer, R.; Vockenhuber, M.; Butz, T.: Sollwertgenerierung für die Fahrzeuglängsführung zur Auslegung von Fahrzeugregelsystemen. In: Jürgensohn, T.; Kolrep, H. (Hrsg.): Fahrermodellierung – Zwischen kinematischen Menschmodellen und dynamisch-kognitiven Verhaltensmodellen. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22, Nr. 32, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2010, S. 148 – 160
- [4] Alms, R.; Chucholowski, C.; Butz, T.; Jürgensohn, T.: Generierung und Optimierung von Sollkursen mittels Expertenwissen und Heuristiken. In: Jürgensohn, T.; Kolrep, H. (Hrsg.): Fahrermodellierung – Zwischen kinematischen Menschmodellen und dynamisch-kognitiven Verhaltensmodellen. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22, Nr. 32, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2010, S. 171 – 183
- [5] Bossdorf-Zimmer, J.; Kollmer, H.; Henze, R.; Küçükay, F.: Fingerprint des Fahrers zur Adaption von Assistenzsystemen. In: ATZ 113 (2011), Nr. 3, S. 226 – 231
- [6] Vockenhuber, M.; Ehmann, M.: Dimensionierung einer Allradkupplung im Zielkonflikt zwischen verbesserter Fahrdynamik und Fahrzeuggewicht. In: Laschet, A.; Brill, U. (Hrsg.): Systemanalyse in der KFZ-Antriebstechnik IV, Renningen: Expert-Verlag, 2007, S. 42 – 51



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
SAM-service@springer.com