

AUTOREN



**DR.-ING. TILMAN BÜNTE**  
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in den Hauptarbeitsgebieten Nichtlineare Methoden der Regelungstechnik, Fahrdynamik in der Abteilung Fahrzeugsystemdynamik des DLR Oberpfaffenhofen.



**LOK MAN HO, BE/BSC**  
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in den Hauptarbeitsgebieten Fehlerdiagnose und fehlertolerante Regelung von Straßenfahrzeugen und Aktuatoren der Abteilung Fahrzeugsystemdynamik des DLR Oberpfaffenhofen.



**DIPL.-ING. CLEMENS SATZGER**  
arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fahrzeugsystemdynamik an optimierungsbasierten Aktuatorregelungen für hybrides Bremsen am DLR in Oberpfaffenhofen.



**DIPL.-ING. JONATHAN BREMBECK**  
ist Leiter der Abteilung Fahrzeugsystemdynamik für den Bereich Automotive im Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik im Robotik- und Mechatronik-Zentrum des DLR Oberpfaffenhofen in Weßling bei München.

# ZENTRALE FAHRDYNAMIKREGELUNG DER ROBOTISCHEN FORSCHUNGSPLATTFORM ROBOMOBIL

Das RoboMobil ist die von der Raumfahrtrobotik inspirierte elektromobile X-by-wire-Forschungsplattform des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) für mechatronische Aktuatoren, Fahrdynamikregelung, Mensch-Maschine-Schnittstellen und autonomes Fahren. Seine vier hochintegrierten, baugleichen Radroboter verleihen ihm eine außerordentlich gute Manövrierbarkeit, die selbst das Fahren seitwärts und das Drehen auf der Stelle ermöglicht. In diesem Artikel werden Themen rund um die Fahrdynamikregelung des RoboMobils vorgestellt.



1	DAS ROBOMOBIL ALIAS ROMO
2	HERAUSFORDERUNGEN UND BEITRAG
3	WERKZEUGE UND METHODEN
4	FAHRDYNAMIKREGELUNG UND INTEGRIERTE FAHRWERKREGELUNG
5	AUSBLICK

## 1 DAS ROBOMOBIL ALIAS ROMO

Die zentrale intelligente Steuerung des ROMO wird auf der Basis moderner Rapid-Control-Prototyping(RCP)-Systeme entwickelt und implementiert. Sie verknüpft reichhaltige Messsensorik, wie 360°-Stereo-Bilderfassung mit fortschrittlicher Bildverarbeitung, inertielle Messeinheit (IMU) und weitere Fahrdynamik-Sensoren sowie innovative Bedienelemente wie ein kraftreflektierender Stick mit drei Freiheitsgraden. Technische Details dazu finden sich in [1]. Die Ausstattung des ROMO erlaubt mehrere sogenannte Vehicle Level Applications (VLA). Das sind Betriebsarten wie das interaktive Fahren im Fahrzeug sitzend oder mittels Fernsteuerung sowie teil- oder vollautonomes Fahren [2, 3]. Damit bietet es eine ausgezeichnete Grundlage für vielfältige Forschung in verschiedenen wissenschaftlichen Domänen wie Fahrdynamikregelung und autonomes Fahren, Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI), fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme, Car-to-X-Kommunikation, Energiemanagement und fehlertolerante Regelung. Die Konstruktion und Realisierung des ROMO erfolgte vollständig unter der Leitung des Robotik und Mechatronik-Zentrums (RMC) des DLR. Das auf einem weißen Blatt Papier begonnene Purpose-Design und der Verzicht auf eine Straßenzulassung ermöglichen nun die Anwendung und Demonstration fortschrittlicher Technologien aus der Robotertechnik, die zur DLR-Expertise gehören, auf Straßenfahrzeuge. Seit seiner Jungfernfahrt im September 2010 hat der mechatronischer Zweisitzer etliche Experimente auf Prüfständen und Testgeländen bestanden und wurde 2012 mit dem eCarTec Award in der Kategorie Produktkonzept/Vision ausgezeichnet.

Das RoboMobil wird von vier permanenterregten Synchronmotoren angetrieben, die als Radnabenmotoren in jedem der Radroboter integriert sind, ❶. Jeder dieser Motoren mit maximal 160 Nm Drehmoment erlaubt eine Antriebs- beziehungsweise Rekupe- rationsleistung von 16 kW pro Rad. Eine 350-V-Lithium-Ionen- Batterie versorgt die direkt antreibenden Radnabenmotoren bei einer Kapazität von 13 kWh. Die ebenfalls im Rad integrierten Lenkaktuatoren erlauben Lenkausschläge von bis zu 95° und Stell- raten bis 65°/s. Elektrohydraulisch betätigte Scheibenbremsen (EHB) mit einem Aktuator pro Achse liefern maximal 445 Nm Bremsmoment je Rad. Die Daten von 18 Kameras, die zu un- terschiedlichen Stereo-Paaren kombiniert werden können, ergänzen die Erfassung des Fahrzeugzustandes durch die IMU mit integriertem zweifach-DGPS und einem Correvit-System. Der Fahrer kann die drei horizontalen Freiheitsgrade der Fahrzeugbewegung über einen kraftreflektierenden Stick unabhängig voneinander steuern [4]. Dieser ermöglicht eine ergonomische Einhand-Steuerung der Fahr- zeugbewegung über translatorische Auslenkungen in X- und Y-Richtung sowie die Rotation um seine Z-Achse.

Die ROMO-Forschungsplattform und damit verbundene For- schungsinhalte sind durch das Projekt Intelligente Mobilität des DLR-Schwerpunkts Raumfahrt finanziert. Die Fahrdynamikrege- lung, die im DLR-Schwerpunkt Verkehr entwickelt wurde, wird auf

dem ROMO implementiert und validiert. Die Verankerung in den beiden DLR-Schwerpunkten unterstützt den Transfer von Techno- logien, die für den Mars-Rover [5] und mobile Roboter entwickelt wurden, auf terrestrische Mobilität. Innerhalb des Schwerpunkts Verkehr ist das ROMO einer von mehreren Versuchsträgern zum Forschungsthema Next Generation Car (NGC). NGC bildet die Klammer für die weit reichenden Forschungs Kooperationen zu Straßenfahrzeugen mehrerer DLR-Forschungsinstitute an un- terschiedlichen Standorten.

## 2 HERAUSFORDERUNGEN UND BEITRAG

Das ROMO bietet herausragende Eigenschaften aus Sicht der Fahrdynamik: Mittels X-by-wire-Technik können alle vier Lenkwinkel sowie Radantriebs- beziehungsweise -bremsmomente über ihre jeweiligen Aktuatoren individuell gestellt werden. Anspruchsvolle Techniken der Fahrdynamikregelung sind nötig, um das volle Potenzial des mehrfach überaktuierten Fahrzeugs auszuschöpfen. Die Lenkwinkel der sowohl vorn/hinten als auch links/rechts spie- gelsymmetrisch angeordneten Radroboter können jeweils im Bereich zwischen 25° in der einen und 95° in der anderen Rich- tung gestellt werden. Dies verleiht dem ROMO eine außergewöhn- liche Manövrierfähigkeit. Vernachlässigt man zunächst den Rei- fenschräglauf bei dieser geometrischen Grundbetrachtung, kann sich der Momentanpol  $ICR_{geo}$  der horizontalen Bewegung nur in den in ❷ mittelgrau gekennzeichneten Gebieten befinden. Sie wer- den wie folgt bestimmt: Die Lenkwinkelbegrenzungen jedes ein- zeln Rads resultieren in ungültigen Regionen für  $ICR_{geo}$  (der in Verlängerung der Radachse liegen muss). Die des linken Vorder- rads sind beispielhaft rot hinterlegt. Wenn man die ungültigen Regionen aller Räder überlagert, dann bleiben die für das gesamte Fahrzeug gültigen, grau hinterlegten  $ICR_{geo}$ -Regionen übrig. Aus den unterschiedlichen gültigen  $ICR_{geo}$ -Regionen kann man drei Steuerungsmodi herleiten [6]:

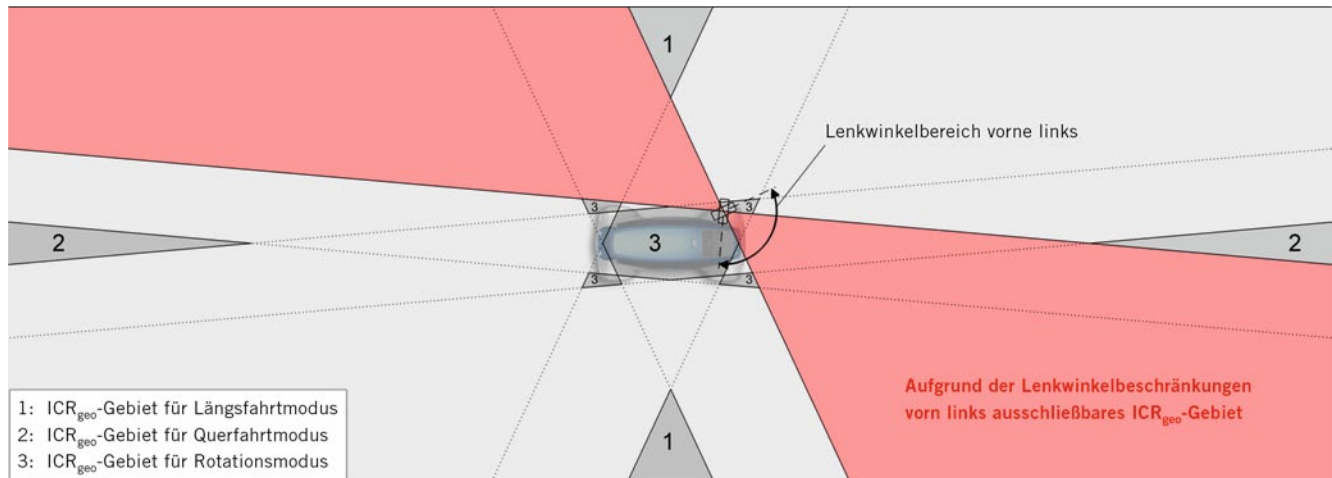
1. Längsfahrt (Normalfahrt)
2. Seitwärtsfahrt
3. Rotation.

Jede dieser Steuerungsmodi sowie der Wechsel zwischen den Modi bei Fahrzeugstillstand erfordern ihr jeweils spezifisches HMI- Konzept.

Grundsätzlich bieten X-by-wire-Technologie und mechatronische Aktuatoren die Möglichkeit, die Fahrdynamik mithilfe von Rege- lung entscheidend zu verbessern. Es müssen jedoch sowohl stati- stische Ausfallarten der E/E-Subsysteme als auch die determi-



❶ Radroboter im Fahrversuch



② Bedienmodi entsprechend der möglichen Positionen des Momentanpols ICR [6]

nistische Natur der Software berücksichtigt werden. Das Erfüllen der Anforderungen an die Betriebssicherheit ist von herausragender Bedeutung und erfordert Fortschritte im Fehlermanagement und fehlertoleranten Regelungsmethoden, die beide Forschungsthemen im RoboMobil-Projekt sind [7].

### 3 WERKZEUGE UND METHODEN

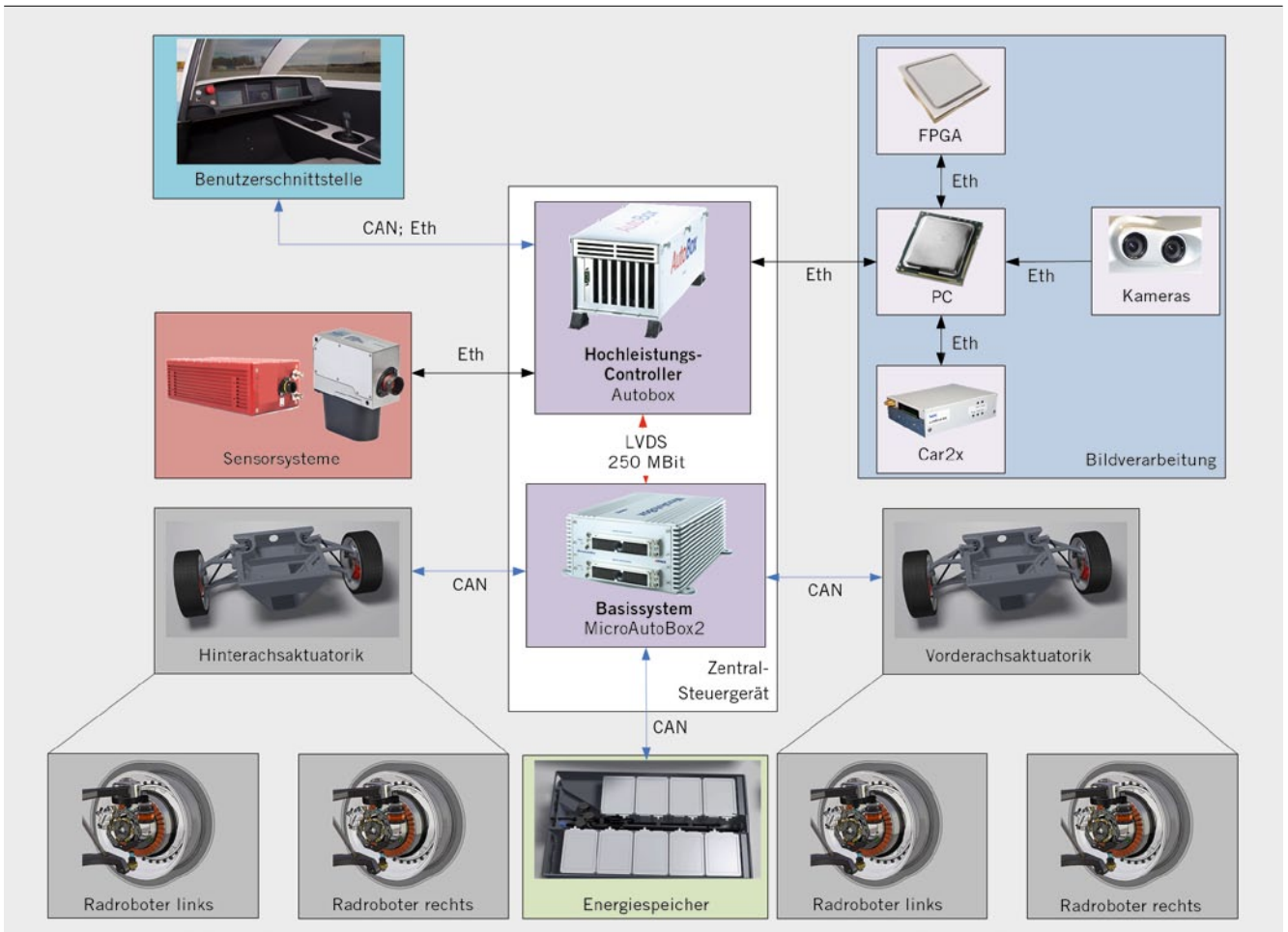
Virtuelle Simulationswerkzeuge werden sowohl für die Entwicklung des Fahrzeugs als auch der Fahrdynamikregelung eingesetzt. Die virtuelle Entwurfs- und Testumgebung des DLR enthält detaillierte Mehrkörper-Fahrdynamikmodelle, die auf der objektorientierten Modellierungssprache Modelica basieren. Sie enthalten auch Komponentenmodelle für Sensoren, elektromechanische Aktuatoren sowie Verfahren zur automatischen Durchführung und Nachverarbeitung von Standard- und Nicht-Standard-Fahrmanövern. Während der Entwicklung der in Simulink implementierten Fahrdynamikregelung werden die echtzeitfähigen Streckenmodelle unter Einsatz des FMI-Standards (functional mock-up interface) co-simuliert. Für den Regelungsentwurf wurden die Modelle aus den umfangreichen DLR-Modelica-Bibliotheken und nutzen dabei bewährte Techniken aus der Luftfahrt und der Robotik wie die dynamische Inversion und die Offline-Optimierung von Reglerparametern. Zur Validierung der Betriebs-Software einschließlich Regelalgorithmen auf der RCP-Hardware simuliert eine dSpace Scalexio-basierte HiL-Plattform die Fahrdynamik einschließlich Aktuatoren, Sensoren und Kommunikationsbusse. Die Software kann so in vielfältigen virtuellen Fahrsituationen und Manövern getestet werden, bevor sie ins reale Fahrzeug übertragen wird.

Echtzeitoptimierung ist eine Technik, die an unterschiedlichen Stellen in der Steuerungs-Software verwendet wird, zum Beispiel zur modellprädiktiven Radschlupf-Regelung oder Stellgrößenverteilung (Control allocation). Jüngste Fortschritte ermöglichen schnelle Konvergenz und damit hohe Abstraten einer integrierten Fahrwerkregelung. Die hierarchische RCP-Architektur, ③, spiegelt die zentrale, aus der Robotik übernommene Architektur wider, in der Entscheidungsprozesse und die Planung von Aufgaben beziehungsweise die Steuerung/Regelung von Bewegungen zentral berechnet und dann an intelligente Aktuatoren weiter gegeben werden.

### 4 FAHRDYNAMIKREGELUNG UND INTEGRIERTE FAHRWERKREGELUNG

Die Rückführung von Beschleunigungen, Drehraten und Schwimmwinkel wird im ROMO nur im Längsfahrt-Steuerungsmodus eingesetzt. In den anderen (hier nicht weiter dargestellten) Modi vernachlässigen wir wegen geringer Fahrgeschwindigkeiten die Auswirkungen von Modellungenauigkeiten und äußeren Störungen. Das skalierbare Regelungskonzept geht, wie bei mobilen Robotern üblich, von der Aufgabe aus, einem vorgegebenen Pfad zu folgen ④ (links). Entsprechend ist die allgemeine Schnittstelle „Kinematische Bewegungsanforderung“ zur Beschreibung der ebenen Fahrzeugbewegung, ⑤, definiert. Unabhängig von der VLA ist dies ein Vektor aus drei Skalaren: Das erste Element ist der reinen Längsdynamik des Fahrzeugs entlang des vorgegebenen Pfads zugeordnet. Es kann entweder durch die (tangentele) Geschwindigkeit oder die Beschleunigung vorgegeben sein. Die beiden anderen Elemente beziehen sich auf die Geometrie der Bewegung, nämlich die Kurvenkrümmung  $\rho$  und den Schwimmwinkel  $\beta$ . Im Sinne der Regelgüte sollen diese Signale mehrfach differenzierbar sein und mit einer ausreichenden Anzahl an partiellen Ableitungen nach der Bogenlänge  $s$  bereitgestellt werden.

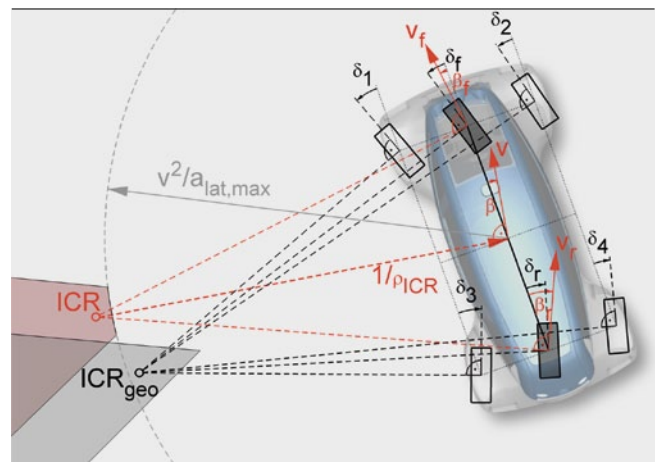
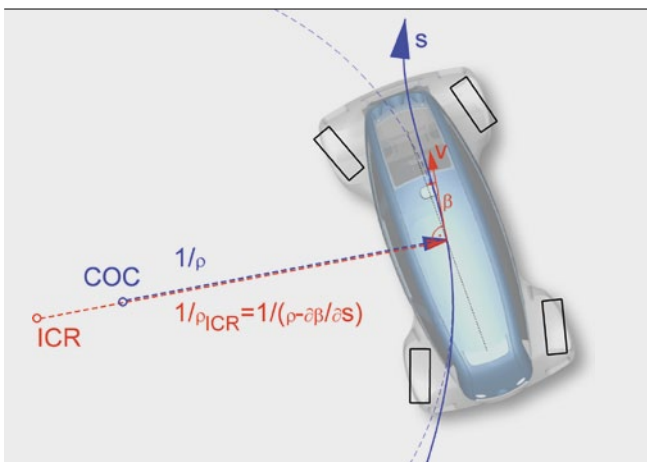
Entsprechend der X-by-wire-Natur des ROMO und seiner von der Robotik inspirierten Steuerungsarchitektur ist seine Fahrdynamikregelung in einer hierarchischen und zentralisierten Weise strukturiert, wie in ⑤ gezeigt. Die Regelung der Radrobo-Aktuatoren arbeitet mit hoher Abstrakte auf separaten ECUs. Die oberen drei Ebenen in der Pyramide werden auf dem Zentralsteuerggerät, ③, ausgeführt. Die VLA beinhaltet die Pfadplanung und -verfolgung im Falle des autonomen Fahrens oder die Wechselwirkung mit der HMI im Fall des interaktiven Fahrens. Letzteres kann vom Bediener entweder im Fahrzeug sitzend oder ferngesteuert (Teleoperation) ausgeführt werden. Die VLA, welche autonomes oder teilautonomes Fahren unterstützt, wird als Artificial Intelligence Agent (AIA) [8] bezeichnet. Im teilautonomen Betrieb liefert der Fahrer nur eine grobe Bewegungsanforderung, die mittels Antizipation verfeinert und vom AIA unter Einsatz hochentwickelter Pfadplanungs- und Verfolgungsalgorithmen ausgeführt wird. Im Gegensatz zu konventionellen Fahrerassistenzsystemen wird die letztlich gültige Bewegungsanforderung vom AIA vorgegeben. Eine



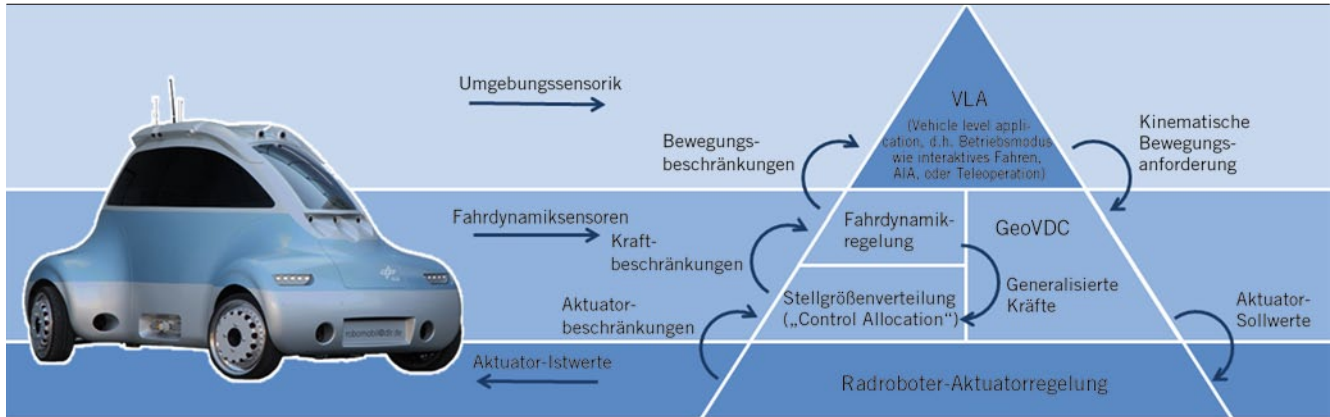
3 Architektur des ROMO-Rechnernetzwerks

einheitliche Schnittstelle erlaubt den nahtlosen Übergang zwischen manuellem und autonomem Fahren. Jede Form der VLA stellt die oben beschriebene kinematische Bewegungsanforderung für die zweite Ebene bereit. Jede der drei unteren Hierarchieebenen

meldet den aktuellen Spielraum für Aktuierung, Kraft oder Bewegung an die höhere Ebene, um die optimale Ausnutzung der jeweiligen Beschränkungen dort zu ermöglichen. Jede Ebene wird von den Forschern mit unterschiedlichen Verfeinerungsgraden rea-



4 Längsfahrt-Steuerungsmodus: pfadbasierte Bewegungsanforderung (links), geometrische Lenkwinkelsteuerung unter Berücksichtigung des Reifenschräglaufwinkels gemäß statischem Einspurmodell (rechts)



5 Skalierbare Fahrdynamikregelung für den Längsfahrt-Steuerungsmodus

liert, welche untereinander ausgetauscht werden können. Dies macht das gesamte Konzept skalierbar.

Ein grundlegendes Modul, das bereits eine einfache Ansteuerung der Aktuatoren erlaubt, nennt das DLR die „geometrische Steuerung“ (GeoVDC). Sie kommt auch als Vorsteuerung in den aufwendigeren Ausprägungen zum Einsatz. Da auch die hinteren Räder des ROMO lenkbar sind, können die Kurvenkrümmung  $\rho$  und der Schwimmwinkel des Fahrzeugs  $\beta$  beide unabhängig voneinander entlang der Bogenlänge  $s$  des Pfads eingestellt werden. Der Momentanpol ICR, dargestellt im Fahrzeug-Koordinatensystem, kann direkt aus der Bewegungsanforderung berechnet werden, ④ (links), Gl. 1:

GL. 1	$\begin{bmatrix} x_{ICR} \\ y_{ICR} \end{bmatrix} = \frac{l}{\rho - \partial\beta / \partial s} \begin{bmatrix} \sin(\beta) \\ \cos(\beta) \end{bmatrix}$
-------	---

Dieser Zusammenhang bietet die Grundlage für eine Vorsteuerung der Lenkwinkel. Sie werden so eingestellt, dass die sich die Verlängerungen aller Radachsen in  $ICR_{geo}$  schneiden, wobei  $ICR_{geo}$  eine Approximation des Momentanpols ICR unter Vernachlässigung des Reifenschräglaufls darstellt. In einem vorausgehenden Schritt wird  $ICR_{geo}$  aus dem ICR berechnet, der der Bewegungsanforderung in Gl. 1 entspricht. Zu diesem Zweck wird ein geschwindigkeitsabhängiges statisches Einspurmodell herangezogen, das den Reifenschräglauflwinkel berücksichtigt, ④ (rechts). Die aktuellen geschwindigkeitsabhängigen Grenzen der erlaubten ICR-Region können durch den inversen Zusammenhang berechnet werden und stehen bereit, beispielsweise für die Skalierung und Kraft-Rückkopplung der HMI sowie für die AIA-Pfadplanung. Zusammen mit einer (ähnlich wie die für die Lenkwinkel gestalteten) Vorsteuerung der Radantriebs- beziehungsweise Bremsmomente, stellt die GeoVDC eine einfache gemeinsame Implementierung der beiden mittleren Ebenen im skalierbaren Steuerungskonzept dar. Moderate Fahrmanöver und nominale Fahrzeugparameter vorausgesetzt, lässt sich hiermit bereits eine gute Übereinstimmung der Fahrzeugbewegung mit der kinematischen Bewegungsanforderung erreichen. Bei Annäherung an den fahrdynamischen Grenzbereich sind wegen der begrenzten Gültigkeit des linearen Einspurmodells aufwendigere regelungstechnische Ansätze erforderlich. Klassi-

sche Rückführungen gemessener fahrdynamischer Größen wie die Gierrate, die Querbewegung und der Schwimmwinkel (optional) werden in der Ebene Fahrdynamikregelung verwendet, ④, um die Regelgüte und Fahrsicherheit bei Modellungenauigkeiten oder Auftreten externer Störungen zu verbessern.

Hinsichtlich der drei horizontalen Freiheitsgrade der Bewegung ist das ROMO mit seinen zehn fahrdynamisch wirksamen Aktuatoren siebenfach überaktuiert. Die Aufgabe der nächsten Ebene Stellgrößenverteilung ist es, in Echtzeit die Überaktuatorierung bestmöglich zu nutzen, um neben der präzisen Umsetzung der Bewegungsanforderung gleichzeitig weitere Kriterien wie Energieeffizienz, Fahrsicherheit und Komfort zu optimieren. Daher sprechen die Forscher statt Fahrdynamikregelung nunmehr von „integrierter Fahrwerkregelung“ (iFR). Hierzu kombiniert das DLR [5] inverse Fahrdynamikmodelle mit Echtzeit-Optimierung, wobei die genannten Kriterien simultan durch gewichtete Aufnahme in eine zu optimierende Gesamt-Kostenfunktion berücksichtigt werden. Für Energieeffizienz wird beispielsweise ein Term in die Kostenfunktion eingeführt, der Aktuatorverluste und den Stromverbrauch beim Fahren entlang des geplanten Pfads widerspiegelt [10]. Im Fall reduzierter Fähigkeiten eines fehlerhaften Aktuators werden diese vom Fehlerdiagnosemodul gemeldet, und die Kostenfunktion wird angepasst. So wird, entsprechend einem hierarchischen Diagnosekonzept [9], die fehlertolerante Fahrdynamikregelung rekonfiguriert. Künftig werden auch die Regelung der Vertikaldynamik des ROMO mithilfe von semi-aktiven Dämpfern verwendet, die von einem FPGA mit hoher Bandbreite angesteuert werden können. Der beschriebenen Stellgrößenverteilung unterlagert, zielt eine Radlängsschlupfregelung darauf ab, das Blockieren und Durchdrehen jedes Rads zu verhindern. Die Radnabenmotoren agieren als schnelle und energieeffiziente Ergänzungen zu den EHBs [10]. Das so gebildete hybride Bremssystem wird dazu genutzt, einen optimalen Kompromiss zwischen Energierückgewinnung und Bremswirkung zu erzielen. Dazu wird ein Algorithmus zur Aufteilung der Bremsmomente verwendet, der auf der Model Predictive Control Allocation (MPCA) basiert.

Schließlich ist die Schätzung des Fahrzustands ein wichtiger Baustein, um eine integrierte Fahrwerkregelung zu ermöglichen. Dazu wurde ein Konzept für einen allgemeinen Modelica-basierten Beobachter mit automatischer Code-Generierung entwickelt und



6 Fahrversuch mit dem ROMO im ADAC-Fahrsicherheitszentrum Augsburg

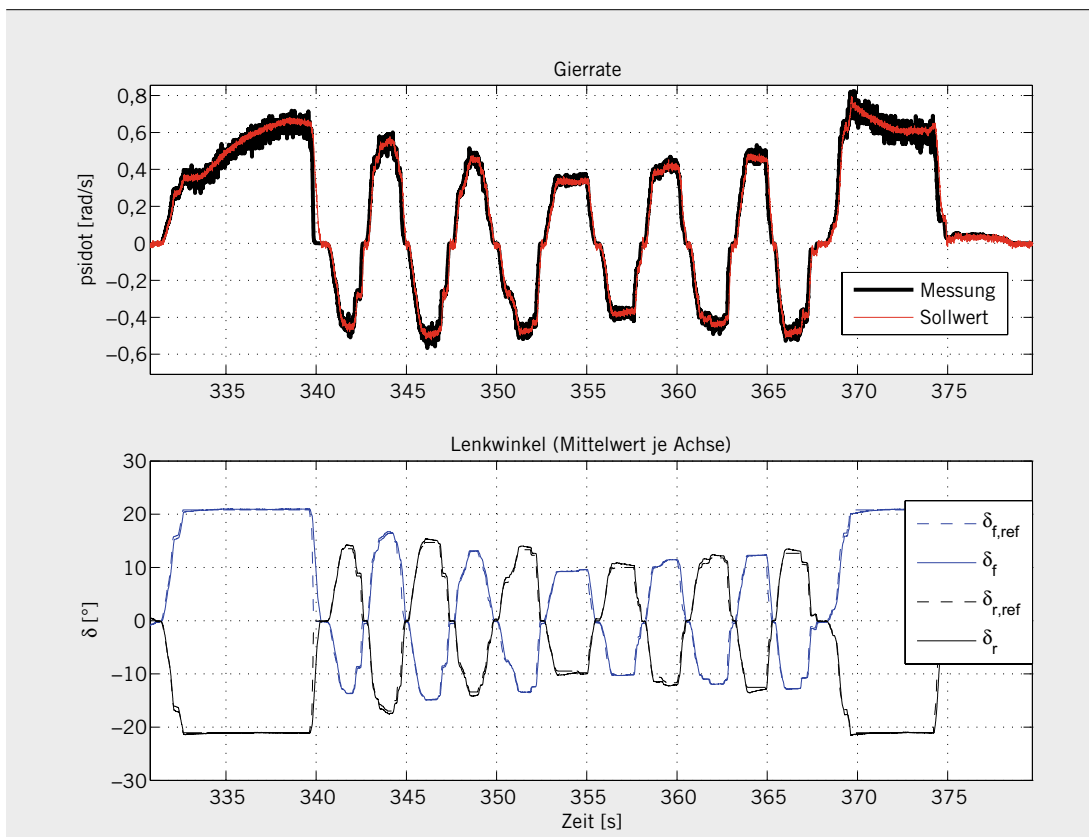
implementiert. Es wird dabei ein kontinuierliches (im Allgemeinen nichtlineares) Modelica-Modell der Strecke vorausgesetzt. Diese Methode nutzt den FMI-Standard zum Austausch und zur Co-Simulation von Modellen und ermöglicht die Anwendung unterschiedlicher Beobachter-Entwurfsverfahren, zum Beispiel nichtlineare EKF- und UKF-Kalman-Filter [11].

6 zeigt das ROMO mit abgenommener Verkleidung bei einem dynamischen Fahrmanöver mit GeoVDC-Steuerung. Signalverläufe

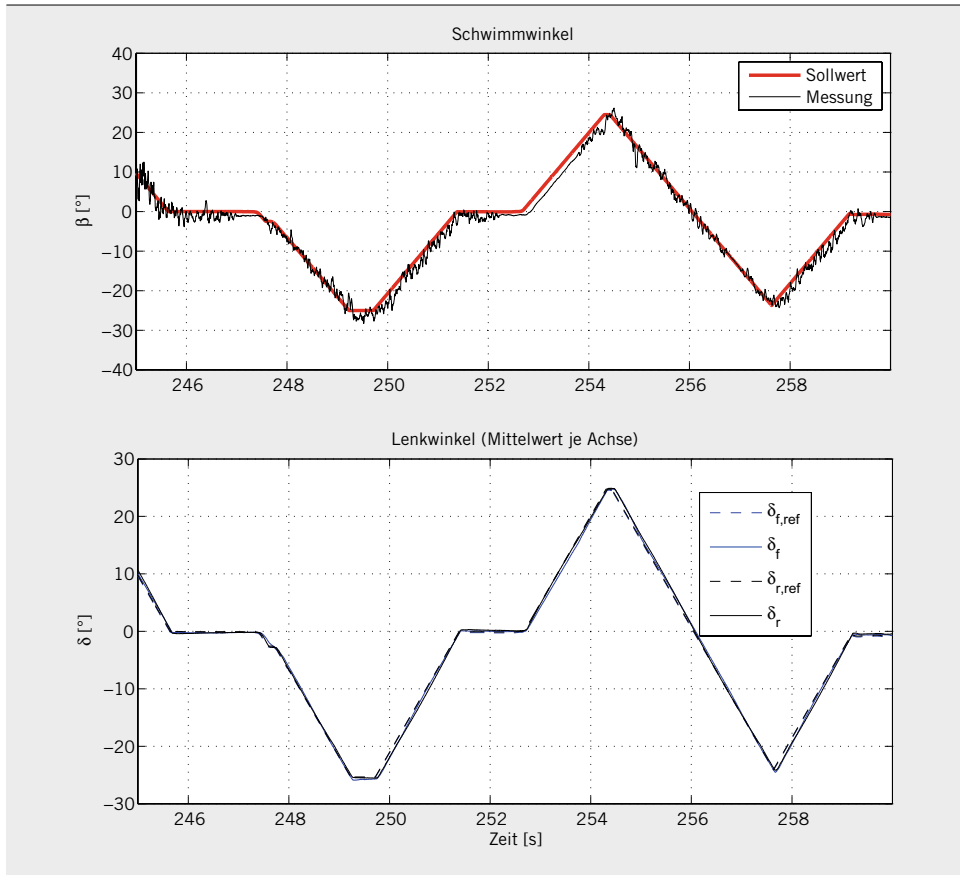
von Gierrate beziehungsweise Schwimmwinkel mit den zugehörigen Lenkwinkeln sind in 7 und 8 dargestellt. In den dargestellten Experimenten wurden entsprechende Sollwerte manuell über die HMI vorgegeben. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Bewegungsanforderungen und den gemessenen Größen. Dies demonstriert, dass bei moderaten Bewegungsanforderungen das Fahrzeug mit der GeoVDC ausreichend genau der Vorgabe folgt. Ähnlich ist es mit der Längsdynamik des ROMO, 9. Auch hier zeigt sich ein gutes Folgen der Beschleunigungsanforderungen.

## 5 AUSBLICK

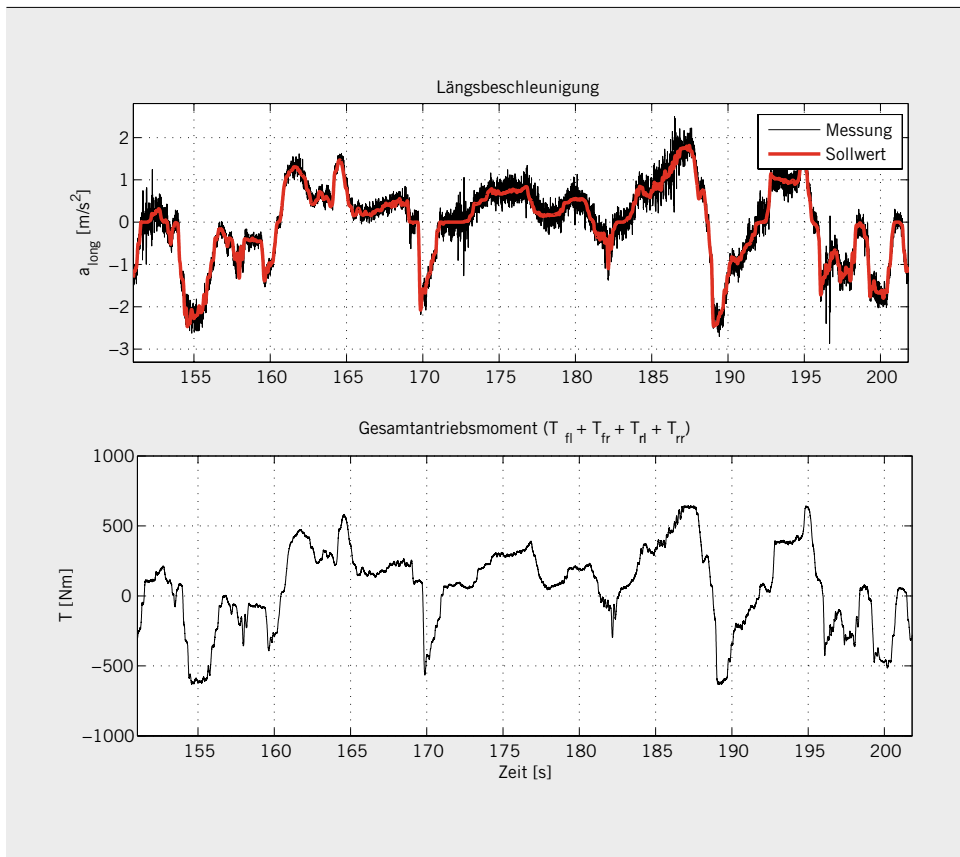
Es gibt vielfältige weitere Forschungsvorhaben, die mit dem ROMO geplant sind. Eine der langfristigen Visionen des DLR ist der Einsatz als ein In-Drive-Simulator, um das dynamische Verhalten neuartiger Fahrzeuge in der frühen Phase ihrer virtuellen Entwicklung zu emulieren. Zu diesem Zweck wird die Regelungsstruktur verallgemeinert, damit sie flexibel auf unterschiedliche Ausstattung hinsichtlich Aktuierung anzuwenden ist. In naher Zukunft plant das DLR weitere Experimente zur Parameter-Identifikation, zur Erprobung der integrierten Fahrwerkregelung, zum autonomen Fahren und zur Pfadverfolgung. Es ist auch beabsichtigt, mit der Integration (mittels Car-to-X-erfasster) aktueller Umgebungsinformationen und der sensorlosen Schätzung der Reifenkräfte die Leistungsfähigkeit der DLR-Fahrdynamik-Regelungsalgorithmen weiter zu verbessern.



7 Gierrate und Lenkwinkel im Fahrversuch



8 Schwimmwinkel und Lenkwinkel im Fahrversuch



9 Längsbeschleunigung im Fahrversuch

## LITERATURHINWEISE

- [1] DLR Robotics and Mechatronics Center: The Robotic Electric Vehicle. URL <http://www.dlr.de/rm/robomobil>
- [2] Schaub, A.; Brembeck, J.; Burschka, D.; Hirzinger, G.: Robotisches Elektromobil mit kamerabasiertem Autonomieansatz. In: ATZelextronik 6 (2011), Nr. 2, S. 10-17. URL <http://dx.doi.org/10.1365/s35658-011-0023-8>
- [3] Schaub, A.; Brembeck, J.; ; HO, L. M.; Sattzger, C.; Tobolar, J.; Bals, J.; Hirzinger: ROMO – The Robotic Electric Vehicle. In: 22<sup>nd</sup> IAVSD International Symposium on Dynamics of Vehicle on Roads and Tracks, 2011
- [4] Weber, B.; Panzirsch, M.; Preusche, C.; Deml, B.: Der aktive Sidestick als Bedienelement im Elektromobil. In: Schütte, M.(Hrsg.): Mensch, Technik, Organisation – Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess: Vom 23.-25. März 2011. Als Ms. gedr. Dortmund : GfA-Press, 2011 (Jahresdokumentation/Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V, 2011)
- [5] Krenn, R.; Renn, R.; Köppern, J.; Bünthe, T.; Brembeck, J.; Gibbesch, A.; Bals, J.: Modellbasierte Regelungsansätze für überaktuierte planetare Rover und robotische Elektromobile. In: at – Automatisierungstechnik 61 (2013), Nr. 3, S. 183-194
- [6] Bünthe, T.; Brembeck, J.; Ho, L.M.: Human machine interface concept for interactive motion control of a highly maneuverable robotic vehicle. In: 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), S. 1170-1175
- [7] Ho, L.M.: Application of Adaptive Thresholds in Robust Fault Detection of an Electromechanical Single-Wheel Steering Actuator. In: 8<sup>th</sup> IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes (SAFEPROCESS), 2012
- [8] Schaub, A.; Hellerer, M.; Bodenmüller, T.: Simulation of Artificial Intelligence Agents using Modelica and the DLR Visualization Library. In: 9<sup>th</sup> International Modelica Conference, Munich, Germany: Linköping University Electronic Press, 2012 (Linköping Electronic Conference Proceedings), S. 339-346
- [9] You, S. (Hrsg.); Jalics, L. (Hrsg.): Hierarchical Component-based Fault Diagnostics for By-Wire Systems, 2004
- [10] Sattzger, C.; Brembeck, J.; Otter, M.: Framework for the Evaluation of Wheel Torque Blending Algorithms. In: Advances in Automotive Control: Elsevier, IFAC, 2013 (IFAC proceedings volumes), S. 347-352
- [11] Brembeck, J.; Zimmer, D.; Otter, M.: Nonlinear Observers based on the Functional Mockup Interface with Applications to Electric Vehicles. In: 8<sup>th</sup> International Modelica Conference, 2011

## DANKE

Die Autoren danken besonders den beteiligten Abteilungskollegen: Dipl.-Ing. Daniel Baumgartner, Dipl.-Ing. Michael Fleps-Dezasse, Dipl.-Ing. Michael Panzirsch, Ricardo Pinto de Castro, PhD and Dipl.-Ing. Alexander Schaub. Sie arbeiten als Assistenten am DLR in Oberpfaffenhofen.



### DOWNLOAD DES BEITRAGS

[www.springerprofessional.de/ATZelextronik](http://www.springerprofessional.de/ATZelextronik)



### READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

order your test issue now: [springervieweg-service@springer.com](mailto:springervieweg-service@springer.com)

Was immer Sie  
messen wollen,  
wir haben  
die Lösung!



- Modulare Hardware für direkte Sensoranbindung
- Flexible Software mit umfangreichen Bibliotheken und Analysefunktionen
- Apps zur Visualisierung auf Tablets und Smartphones

Für NI-CompactDAQ-Systeme stehen mehr als 50 messspezifische Module und eine umfassende Auswahl an I/O zur Verfügung.

[ni.com/measurements-platform/d](http://ni.com/measurements-platform/d)



089 7413130