

Robotisch bewegt

Interaktive Fahrdynamik-
Bewegungssimulation



Wie fährt man die Fahrzeuge der Zukunft? Um einen physisch realistischen Eindruck zu erhalten, setzt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) eine robotische Bewegungsplattform zur Entwicklung und Bewertung zukünftiger Stellteile im Automobil ein.



Die X-by-Wire-Technologie eröffnet neue Herausforderungen, aber durch die Befreiung von mechanischen Zwängen vor allem auch neue Möglichkeiten für das Design moderner automobiler Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS). Beim ROboMObil – einer robotischen X-by-Wire-Forschungsplattform des DLR – werden die neuen Freiheiten für eine unabhängige Vierradlenkung und die Entwicklung haptischer Stellteile genutzt. Ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung neuer MMS-Konzepte ist die Evaluierung der Robustheit gegenüber physischen Rückwirkungen von Fahrzeugbeschleunigungen über den Körper des Fahrers auf die Steuerungselemente, zum Beispiel einen Joystick. Um diese Störeffekte in einem Hardware-in-the-Loop (HIL)-basierten Rapid-Prototyping-Verfahren abbilden zu können, wird am DLR der robotische Bewegungssimulator Robotic Motion Simulator in Verbindung mit einem HIL-System betrieben, das aus einer Echtzeit-Fahrdynamiksimulation auf dSPACE SCALEXIO® und dem ROboMObil besteht. Dieser Robotic-HIL-Aufbau erlaubt neben dem reinen Funktionstest der Komponenten auch die Untersuchung der Wechselwirkung von Fahrer, Fahrzeugverhalten und Stellteil in einer realitätsnahen, interaktiven Bewegungssimulation. Das Ziel dieser Untersuchungen ist es, die physisch über den Fahrer induzierten Störgrößen durch entsprechende kinematisch entkoppelte Stellteilkonzepte, eine geeignete Generierung von Stellgrößen und Strategien für die Kraftrückkopplung zuverlässig zu unterdrücken. >>

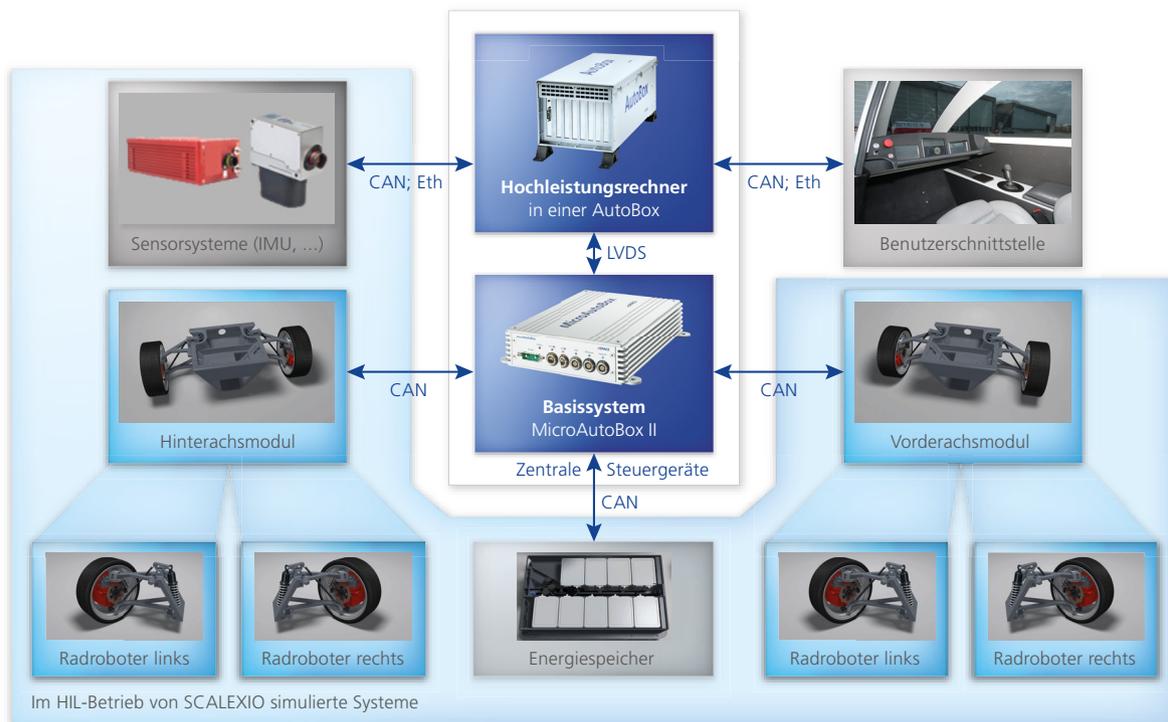


Abbildung 1: Architektur des Rechnernetzes im RoboMobil (Eth = Ethernet-Verbindung). Die von der Echtzeit-Fahrdynamiksimulation virtuell nachgebildeten, das heißt auf SCALEXIO simulierten Komponenten sind hellblau hinterlegt.

Forschungsplattform ROboMObil

Das ROboMObil des DLR ist eine von der Raumfahrtrobotik inspirierte X-by-Wire-Forschungsplattform mit Elektroantrieb. Die vier hochintegrierten, baugleichen Radroboter verleihen ihm eine außerordentlich hohe Manövrierbarkeit. Die dank der Radroboter realisierbare X-by-Wire-Architektur des ROboMObils (Abbildung 1) erlaubt mehrere sogenannte Vehicle Level Applications. Dies sind Betriebsarten wie Cockpitsteuerung oder Steuerung mittels Teleoperation sowie teil-

oder vollautonomes Fahren. Dies macht das ROboMObil zu einer ausgezeichneten Plattform für vielfältige Forschung in Domänen wie der Fahrdynamikregelung, dem autonomen Fahren und der Weiterentwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen. Die große Manövrierfähigkeit ermöglicht drei grundlegend verschiedene Bewegungsmodi, und zwar die Längsfahrt, die Seitwärtsfahrt und die Drehung des Fahrzeugs um eine Hochachse. Zur Steuerung benötigt jede dieser Bewegungsarten ein

spezifisches MMS-Konzept, das im Rahmen des Robotic-HIL-Setups untersucht wird. Als Eingabegerät steht im ROboMObil aktuell ein kraftreflektierender Joystick mit drei Freiheitsgraden zur Verfügung. Die wissenschaftliche Fragestellung für die Entwicklung dieser MMS ist die ergonomische Abbildung der zwei translatorischen sowie des rotatorischen Freiheitsgrades des Joysticks auf die Steuerung der drei horizontalen Bewegungsfreiheitsgrade des Fahrzeugs, abhängig vom Bewegungsmodus.

„Die Unterstützung frei programmierbarer Schnittstellen ermöglicht es, das HIL-System SCALEXIO mit einem dSPACE-fremden System wie dem Robotic Motion Simulator problemlos zu verbinden und diesen in die interaktive Fahrdynamiksimulation als Bewegungssimulator zu integrieren.“

Peter Ritzer, DLR

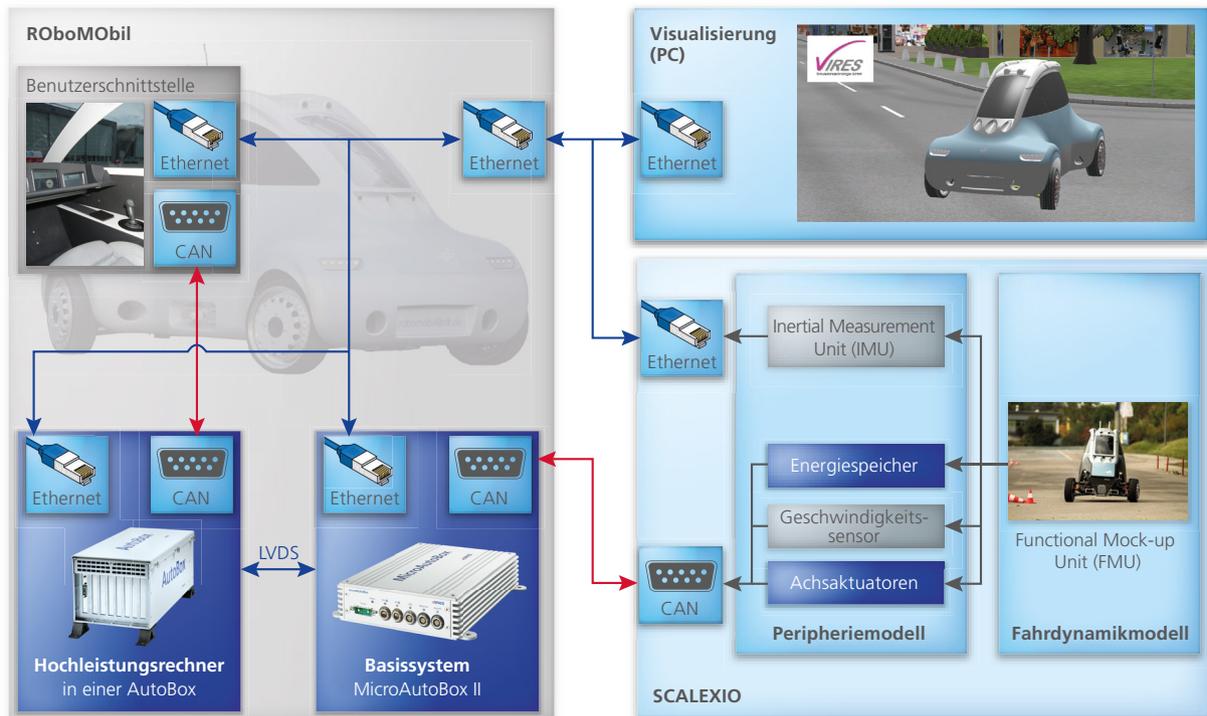


Abbildung 2: Das RoboMObil im unbewegten HIL-Betrieb für die gefahrlose Erprobung von Betriebssoftware und Regelungen.

Echtzeit-Fahrdynamiksimulation

Simulationswerkzeuge spielen im DLR sowohl für die Entwicklung als auch bei der Validierung von Fahrdynamikregelungen eine zentrale Rolle. Die virtuelle Entwurfs- und Testumgebung des DLR enthält dazu detaillierte Mehrkörper-Fahrdynamikmodelle, die auf der objektorientierten Modellierungssprache Modelica basieren. Neben der Mehrkörperdynamik umfassen diese Modelle Sensoren und elektromechanische Aktuatoren, sodass unterschiedliche Domänen wie Mechanik, Elektrik und Hydraulik in einem Modell vereint werden. Für die Entwicklung neuer Fahrdynamikregelungen in Simulink® werden die echtzeitfähigen Gesamtfahrzeugmodelle unter Einsatz des FMI-Standards (Functional Mock-up Interface) kosimuliert. In der Testphase werden die auf den zentralen Steuergeräten des

RoboMObils, einem Verbund aus MicroAutoBox II und AutoBox, implementierten Algorithmen an einem SCALEXIO-basierten HIL-System validiert. Dieses System führt eine Echtzeit-Fahrdynamiksimulation aus, die neben dem Mehrkörper-Fahrdynamikmodell und den Reifen mit zugehörigen Kontaktstellen sämtliche in Abbildung 1 hellblau hinterlegten Peripheriegeräte des RoboMObils mitberücksichtigt. Die in Abbildung 2 dargestellte HIL-Architektur erlaubt es, den Entwurfsprozess basierend auf dem FMI-Standard auf den Validierungsprozess der Steuersoftware zu übertragen. Durch den Einsatz des SCALEXIO-Systems ist die Einbindung einer Functional Mock-up Unit (FMU) aus Dymola (Modellierungs- und Simulationsumgebung für Modelica-Modelle) möglich. Somit kann auf vorhandene Modelica-Bibliotheken der DLR-Entwurfs- und

Testumgebung zurückgegriffen werden, wodurch sich der Entwicklungsaufwand für die Echtzeit-Fahrdynamiksimulation reduziert.

Robotic Motion Simulator

Im Gegensatz zu den weit verbreiteten Hexapod-Systemen bietet der DLR Robotic Motion Simulator (RMS, Abbildung 3) wegen der Verwendung eines Industrieroboters in Kombination mit einer Linearachse einen deutlich größeren und dynamischer nutzbaren Arbeitsraum, und das bei vergleichsweise geringen Kosten. Der verbesserte Arbeitsraum ermöglicht die dynamische Simulation extremer Szenarien, beispielsweise fahrdynamischer Manöver im Grenzbereich. Das DLR entwickelt hierfür die Echtzeit-Bahnplanungsalgorithmen, um realistische Bewegungseindrücke dynamisch und interaktiv zu generieren. Der RMS dient unter anderem

>>



Quelle: © DLR

Abbildung 3: Zur Erweiterung des Arbeitsraums wird im DLR Robotic Motion Simulator (RMS) eine Linearachse eingesetzt.

der Erforschung von Mensch-Maschine-Schnittstellen für Fahrzeuge und Flugzeuge. Um ihn für unterschiedliche Anwendungen flexibel zu halten, ist sein Aufbau modular. Dies erlaubt einen unkomplizierten Tausch von Instrumenten oder der gesamten Kabine und damit einen schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Simulationsszenarien, wie zum Beispiel der Steuerung über Lenkrad und Pedale oder der Steuerung mittels Joystick.

Gesamtsystem Robotic-HIL

Während für die Untersuchung der Funktionalität der Soft- und Hardware ein konventionelles HIL-Konzept mit einer Fahrsimulation in einer unbewegten Sitzkiste völlig ausreicht,

erfordert die Bewertung neuer haptischer Stellteile mehr Aufwand. Hierfür muss zusätzlich zum reinen Funktionstest auch die Wechselwirkung von Fahrer- und Fahrzeugverhalten untersucht werden. Dies geschieht durch die Kombination der in Abbildung 4 dargestellten Teilsysteme. Dadurch wird es möglich, die auf die MMS wirkenden Störgrößen zu berücksichtigen, die durch die physische Rückkopplung über den Fahrer induziert werden. Im Versuch befindet sich der Fahrer in der Kabine des RMS und steuert mithilfe des Stellteils interaktiv das ROboMObil durch eine virtuelle Landschaft. Neben dem visuellen Feedback (Virtual Reality) über Projektoren in der Kabine wirkt in diesem komplexen HIL-System

auf den Fahrer zusätzlich die durch den RMS simulierte Fahrzeugbewegung.

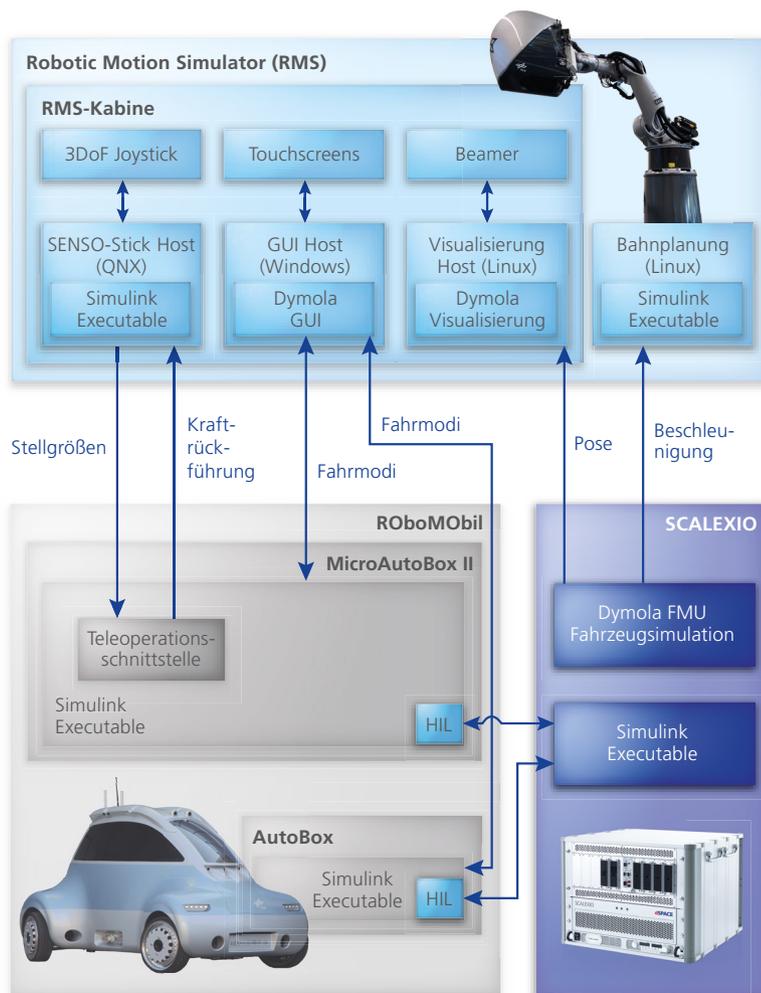
Ausblick: Benutzerstudien

Mithilfe des Robotic-HIL werden am DLR zukünftig Probandenstudien durchgeführt, die dem Vergleich von neu entwickelten Stellteilen mit dem konventionellen Lenkrad-Pedal-System dienen. Ein großer Vorteil des Robotic-HILs für diese wissenschaftlichen Studien an MMS-Konzepten ist die einfache Austauschbarkeit der unterschiedlichen MMS-Hardware und die Vergleichbarkeit in einer einheitlichen Umgebung. Neben den Probandenstudien liegt das Hauptaugenmerk am Robotik und Mechatronik Zentrum (RMC) des DLR auf der Weiterentwicklung des ROboMObil-Stellteilkonzepts, das den Besonderheiten dieser Fahrzeugarchitektur gerecht wird. Einerseits muss das Stellteil alle drei horizontalen Freiheitsgrade des ROboMObils adressieren können, andererseits aber auch die Anforderungen an eine vereinfachte Schnittstelle für zukünftige Assistenzsysteme erfüllen, beispielsweise für eine Bahnfolgeregelung oder für eine Platooning-Funktion (Kolonnenfahren). Diese Forschung des RMC zum haptischen Kanal in der Interaktion mit solchen teilautonomen Funktionen ergänzt die Entwicklungen zum automatischen Fahren des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik im Rahmen des DLR-Projekts „Next Generation Car (NGC)“ . ■

Peter Ritzer, Michael Panzirsch, Jonathan Brembeck, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

„Der im Entwurf angewandte Prozess basiert auf dem FMI-Standard und kann direkt übertragen werden. Die Einbindung einer Functional Mock-up Unit aus Dymola in ConfigurationDesk reduziert dabei erheblich den Entwicklungsaufwand zur Emulation der physikalischen Umgebung im HIL-Simulator.“

Jonathan Brembeck, DLR



Danksagung

Bei folgenden Personen möchten wir uns für die Unterstützung beim Aufbau der bewegten HIL-Infrastruktur bedanken: Tobias Bellmann, Andreas Seefried und Miguel Neves aus dem Robotic Motion Simulator Team als Verantwortliche für die Integration und Adaption des Bewegungssimulators sowie Christoph Winter aus dem ROboMObil Team als Verantwortlicher für die 3D-Visualisierung. Außerdem bedanken wir uns bei Dr.-Ing. Tilman Bünthe für die Mitwirkung an diesem Artikel.

Sehen Sie das ROboMObil in Aktion:

www.dspace.com/go/dMag_20161_DLR



Mehr über das ROboMObil:

<http://www.dlr.de/rmc/sr/robomobil>

Abbildung 4: Architektur des Gesamtsystems. Ziel dieser speziellen HIL-Anwendung ist die Evaluierung neuartiger MMS-Konzepte unter idealen und bekannten Laborbedingungen.

Peter Ritzer

Peter Ritzer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik, Robotik und Mechatronik Zentrum (RMC) des DLR in Oberpfaffenhofen, Deutschland.

Michael Panzirsch

Michael Panzirsch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Robotik und Mechatronik, Robotik und Mechatronik Zentrum (RMC) des DLR in Oberpfaffenhofen, Deutschland.

Jonathan Brembeck

Jonathan Brembeck ist Projektverantwortlicher ROboMObil und Leiter der Abteilung Fahrzeugsystemdynamik für den Bereich Automotive im Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik, Robotik und Mechatronik Zentrum (RMC) des DLR in Oberpfaffenhofen, Deutschland.

