

DLR Forschungsinfrastruktur NGT-Fahrwerk (NGT-FuN)

Dr.-Ing. Daniel Lüdicke , Dipl.-Ing. Gustav Grether, David Krüger B.Eng. (McGill University), Dipl.-Ing. (FH) Christian Weber, M.Eng., Dr.-Ing. Andreas Heckmann, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), SR/FK, Oberpfaffenhofen

Einleitung

Im Projekt **Next Generation Train (NGT)** bündelt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt seine Kompetenzen im Bereich der Schienenfahrzeugforschung. In diesem Rahmen werden an Fahrzeugkonzepten (z.B. ein durchgängig begehbaren doppelstöckigen Ultra-Hochgeschwindigkeitszug in Leichtbauweise) u.a. in der Fahrdynamik, in der Antriebstechnik und mit Leichtbaukonzepten, Methoden und Technologien für zukünftige Schienenfahrzeuge entwickelt [1]. Aufgrund der besonderen Vorteile bzgl. Verschleißreduktion, Bauraumbedarf und Masse konzentrieren sich die Aktivitäten in der Fahrwerkstechnik auf die Entwicklung eines strukturoptimierten Einzelrad-Einzelfahrwerkes mit mechatronischer Spurführung und radnahem, aber primär gefedertem, Direktantrieb.

Nach dem virtuellen Entwurf, umfangreichen FE- und Mehrkörper-Simulationen sowie vielversprechenden Experimenten mit einem Fahrwerksmodell im Maßstab 1:5 auf einem entsprechenden Rollprüfstand soll nun bis 2021 ein funktionsfähiger Prototyp des NGT-Fahrwerkes im Maßstab 1:1 gebaut werden. Durch externe Dienstleister werden die Fahrwerkskomponenten fertigungsgerecht auskonstruiert und in 2020 gefertigt. Anschließend steht dieser Prototyp als **Forschungsinfrastruktur NGT-Fahrwerk (FuN)** für DLR-interne und externe Forschungsaktivitäten zur Verfügung. Dazu soll FuN ab 2022 für zunächst drei Jahre in jährlich zwei großen Messkampagnen auf DLR-externen Rollprüfständen betrieben werden. Die weitere Erprobung in einem Schienenfahrzeug auf Test- und Prüfanlagen ist vorgesehen.

Das primäre Ziel von FuN ist der prinzipielle Funktionsnachweis des Fahrwerkes und dessen Eignung für den Hochgeschwindigkeitsverkehr.

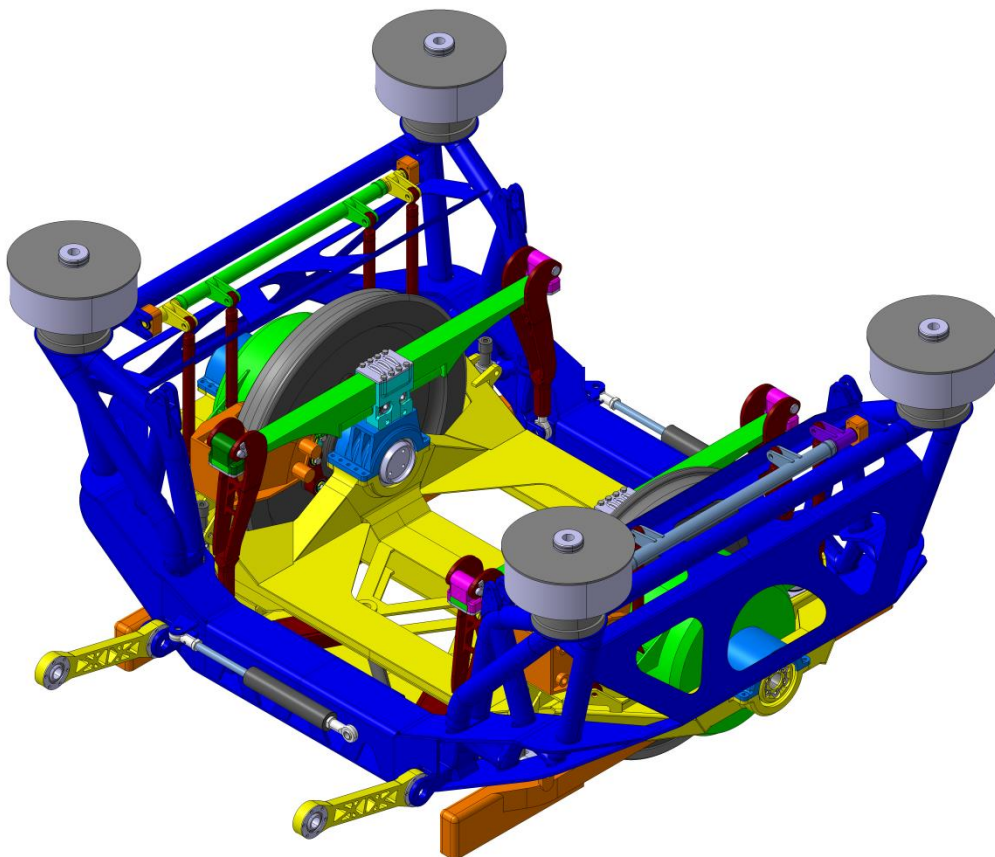


Abbildung 1: CAD-Modell des NGT HST (FuN) Fahrwerkes

Der Vortrag stellt das Fahrwerks- und Prüfstandskonzept vor. Es wird der Aufbau sowie die Funktionsweise des mechatronischen Fahrwerkes erläutert. Ausgehend vom aktuellen Entwicklungsstand wird die geplante Entwicklungsmethodik sowie die Entwicklungs- und Simulationswerkzeuge vorgestellt. Es wird ein Überblick über die

DLR RailwayDynamics Bibliothek für Modelica gegeben. Mit den Mehrkörper-Simulationsmodellen in Simpack und Modelica/Dymola wird das Prüfstandsmodell schrittweise um virtuelle Sensorik und Automatisierungstechnik erweitert. Damit lassen sich in Software-in-the-Loop-Architekturen bereits die Echtzeitprogramme und Softwarestrukturen entwickeln. Auf der Rapid-Control-Prototyping-Hardware soll die Echtzeitsoftware mit einer virtuellen Prüfstandssimulation aus einer Echtzeitsimulation ohne Prüfstandshardware bereits untersucht werden.

Fahrwerks- und Prüfstandskonzept

Funktionsweise und Konstruktion

In Abbildung 1 ist das CAD-Modell eines NGT high speed Train (HST) Mittelwagen-Fahrwerkes dargestellt, das in FuN gebaut wird. Wie in [2] ausführlich erläutert, sind die Einzelräder auf dem Radträger zu einem Radpaar montiert und werden direkt von separaten Motoren angetrieben. Es existiert keine durchgängige Radsatzwelle, was eine über die ganze Fahrzeuglänge durchgehende ebene Begehrbarkeit auf beiden Ebenen des Doppelstockzugs ermöglicht. Eine Radiallenkung des Radpaares ist möglich, da sich der Radträger durch die Primärfederung relativ zum Fahrwerksrahmen um die Hochachse drehen kann. Die Räder werden einzeln durch direkt angebundene Elektromotoren für Traktion, Bremse und aktive Spurführung angetrieben. Durch die Spurführungsregelung wird eine stabile Fahrdynamik der unabhängig drehenden Räder erreicht. Die aktive Primärfeder verbindet den Radträger mit dem Fahrwerksrahmen. Über Lenker, eine Sekundärfederung, Lateraldämpfer und Wankstabilisierung ist der Fahrwerksrahmen an den Wagenkasten angebunden, der bei dem Versuchsaufbau durch den Prüfstandsrahmen nachgebildet wird. Den Rad-Schiene-Kontakt bildet ebenfalls der Prüfstand durch kleine Schienenrollen nach.

Die strukturellen Hauptkomponenten des Fahrwerks wie Radträger und Fahrwerksrahmen sind unter Verwendung von Leichtbauprinzipien entwickelt worden, um leichte, hochbelastbare mechanische Strukturen in einem sehr begrenzten Bauraum zu erhalten. Dabei wurde eine Methode zur systematischen Erstellung leichtbauoptimierter Fahrwerkskonzepte erarbeitet und unter Beachtung von sowohl statischer als auch dynamischer Lasten für die Konstruktion und Auslegung des Fahrwerks angewandt. Die mechanische Struktur des Fahrwerks basiert auf Schweißbaugruppen aus Hohlprofilen und Blechen mit Gussknoten, die in erster Linie die Krafteinleitungsstellen bilden. Mit dieser Konstruktion und unter Berücksichtigung der Funktionsanforderungen war es möglich, ein umfassend strukturell leichtbauoptimiertes, angetriebenes Fahrwerkskonzept mit einer Masse von ca. 3 Tonnen zu erstellen.

Aus Gründen der Bauraumoptimierung werden die Motoren direkt am Rad platziert und getriebelos ausgeführt. Der Motor ist teilabgefedert und mittels einer Kupplung ans Rad angebunden. Aufgrund der notwendigen hohen Momenten- und Leistungsdichte (180 kW pro Rad) werden eigens entwickelte hochpolige, permanent-erregte Synchronmaschinen verwendet. Für die effektive Abfuhr der generierten Verlustleistung besitzt die Maschine eine Wassermantelkühlung. Aufgrund der hohen Polpaarzahl erfolgt die Ansteuerung der Traktionsmaschine mittels Traktionsumrichter, in dessen Leistungstransistoren das Halbleitermaterial Siliciumcarbid (SiC) zum Einsatz kommt.

Prüfstandsautomatisierung und Simulation

Die Automatisierungstechnik des Fahrwerkes besteht aus einem Rapid-Control-Prototyping Steuergerät (RCP), das die Echtzeitanwendungen ausführt. In mehreren Entwicklungsschritten werden die in der Mehrkörpersimulation verteilten Algorithmen und Regler zu einer Echtzeitsoftware konzentriert. Eine Software-in-the-Loop Simulation enthält die Mehrkörpersimulation, eine Sensorsimulation und die Echtzeitsoftware in einer Nicht-Echtzeitumgebung. Das RCP-System besteht aus einer Rechneinheit mit mehreren CPU-Kernen, denen unterschiedliche Echtzeitprogramme oder -simulationen zugewiesen werden. Die Messverstärker sind hiervon separat und werden über eine digitale Echtzeitschnittstelle mit der Rechneinheit verbunden. So können die Messverstärker vom Systemhersteller oder von spezialisierten Messtechnikherstellern flexibel eingesetzt werden.

Das Sensorkonzept leitet sich aus den für die Echtzeitanwendungen benötigten Signalen und den für die Beurteilung des Fahrwerkes sinnvollen Kraft- und Bewegungsgrößen ab. Die verwendeten Sensoren werden vorgestellt.

Entwicklungs- und Simulationswerkzeuge

Für das NGT-Fahrwerk und den NGT-FuN-Prüfstand gibt es verschiedene Simulationsmodelle und Simulationsumgebungen. Zur Untersuchung der detaillierten Fahrwerkeigenschaften wird das Simpack-Referenzmodell des NGT-HST Zuges (oder Teile davon) verwendet. In den vergangenen Jahren wurde das Fahrwerkskonzept und grundlegende Eigenschaften wie Komfort nach DIN EN 12299 oder Fahrstabilität nach DIN EN 14363 bestimmt. Zur Reglerauslegung z.B. des Lateralreglers oder Lateralbeobachters werden vereinfachte

algebraische Modelle verwendet, in MATLAB oder Dymola implementiert und dann flexibel über Functional Mockup Units (FMU) in Simulationsmodelle von Dymola oder Simpack eingebunden.

Modelica bietet eine einheitliche Simulationssprache für alle Technikbereiche. Dymola ist eine grafische Entwicklungsumgebung für Modelica. Für Anwendungen im Eisenbahnbereich wird die Modellierung durch die DLR RailwayDynamics Library [3] unterstützt. Das NGT-Fahrwerk ist, neben dem AVMZ-Wagen, als Viertel-, Halb-, und Vollfahrzeugmodell modelliert, sodass virtuelle Versuche zur Vertikal-, Lateral- und Längsdynamik unter Berücksichtigung des Rad-Schiene-Kontakts durchgeführt wurden. Es sind der 1:5 Rollprüfstand und der geplante 1:1 Rollprüfstand modelliert. Weitere Bibliotheken für Pneumatik, Thermodynamik, Elektrik, Georeferenzierung und Visualisierungen werden genutzt.

Ergebnisse

Das Dymola/Modelica Mehrkörpermodell des Fahrwerks, das auf einem Rollprüfstand betrieben wird, ist auf der linken Seite von Abbildung 2 dargestellt. Die in Braun dargestellte Traverse überträgt die von hydraulischen Antrieben (nicht dargestellt) ausgeübten Kräfte auf die Befestigungspunkte der Sekundärfedern.

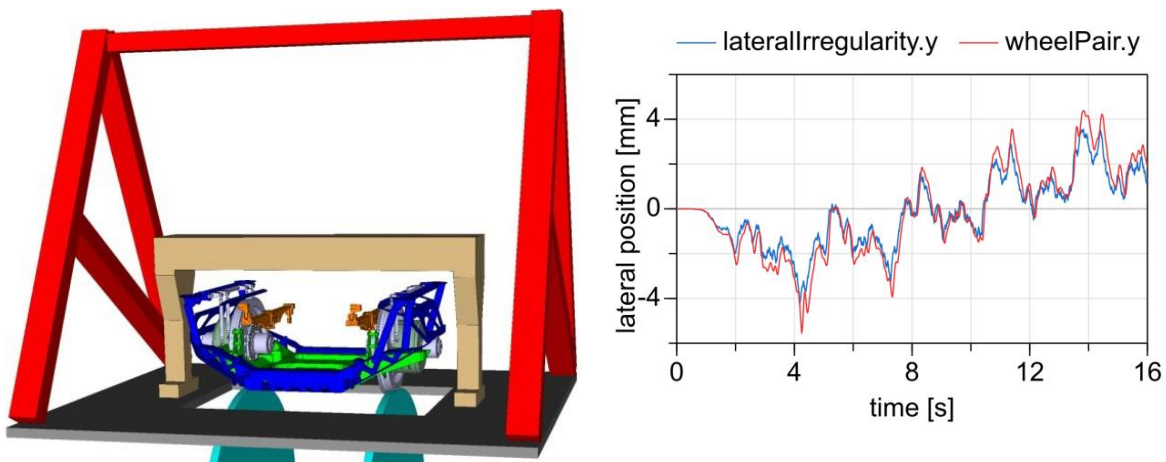


Abbildung 2: Modelica/Dymola Simulation des NGT FuN Fahrwerk auf 1:1 Rollprüfstand (links), Simulation des geregelten Fahrwerkes mit lateralen Sollwertänderungen

Die aktive Spurführung regelt die durch Schienenunebenheiten angeregte Querbewegung des Fahrwerks aus. Die großen Rollen, die die Schienen auf dem Rollprüfstand darstellen, können diese Anregung jedoch nicht reproduzieren. Um dennoch die Regelgüte auf gegebene Störungen zu analysieren, wird das Szenario angepasst: Die Unregelmäßigkeiten werden nicht durch die damit verbundene Bewegung der großen Schienenrollen dargestellt, sondern durch transiente Sollwertschwankungen der Querregelung eingeleitet. Nach diesem Ansatz zeigt das Diagramm auf der rechten Seite in Abbildung 2 die simulierte laterale Reaktion des Fahrwerks auf Unregelmäßigkeiten bei einer Fahrgeschwindigkeit von 33m/s.

Literaturangaben

- [1] Winter, J.: Next Generation Train – 20 Jahre Forschung für die Eisenbahn. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) (2019) 03, S. 17–21
- [2] Krüger, D., Gomes Alves, C., König, J., Winter, J. u. Friedrich, H. E.: Next Generation Train Fahrwerk: Ein leichtbauoptimiertes Fahrwerkskonzept für den Hochgeschwindigkeitsverkehr. ZEVrail - Zeitschrift für das gesamte System Bahn (2018) 3
- [3] Heckmann, A., Ehret, M., Grether, G., Keck, A., Lüdicke, D. u. Schwarz, C.: Overview of the DLR RailwayDynamics Library. Proceedings of the 13th International Modelica Conference, Regensburg, Germany, March 4-6, 2019. Linköping Electronic Conference Proceedings. Linköping University Electronic Press, Linköpings universitet 2019, S. 323–332