

DLR Forschungsinfrastruktur NGT-Fahrwerk (NGT-FuN)

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt baut im Rahmen des Projektes Next Generation Train einen ersten Prototyp des für den Hochgeschwindigkeitsverkehr entwickelten, mechatronischen Einzelradfahrwerkes. Bis Ende 2022 wird das Fahrwerk mit einem Integrationsprüfstand in Betrieb genommen und anschließend auf Rollprüfständen und in Versuchsfahrzeugen weiter getestet.

1. Einleitung

Im Projekt Next Generation Train (NGT) bündelt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) seine Kompetenzen im Bereich der Schienenfahrzeugforschung. In diesem Rahmen entwickelt das DLR Methoden und Technologien für zukünftige Schienenfahrzeuge und demonstriert die Forschungsergebnisse anhand von Fahrzeugkonzepten wie einem doppelstöckigen Ultra-Hochgeschwindigkeitszug (NGT HST) [1]. Aufgrund der besonderen Vorteile bezüglich Verschleißreduktion, Bauraumbedarf und Masse konzentrieren sich die Aktivitäten in der Fahrwerkstechnik auf die Entwicklung



Dr.-Ing. Daniel Lüdicke

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Technischer Projektleiter im Projekt NGT-FuN und für MKS-Simulation, Sensorik und Automatisierung verantwortlich. daniel.luedicke@dlr.de



David Krüger, B.Eng. (McGill University)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte, seit 2017 im Forschungsfeld Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte. Seit 2014 Leiter des Projektknotens „NGT CARGO“ innerhalb des Projektes Next Generation Train. david.krueger@dlr.de

eines strukturoptimierten Einzelrad-Einzelfahrwerkes mit mechatronischer Spurführung und radnahem, aber primär gefedertem, Direktantrieb.



Dipl.-Ing. (FH) Christian Weber, M.Eng.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Alternative Energiewandler; dortige Kernthemen sind die Berechnung und Auslegung von elektrischen Maschinen. christian.weber@dlr.de



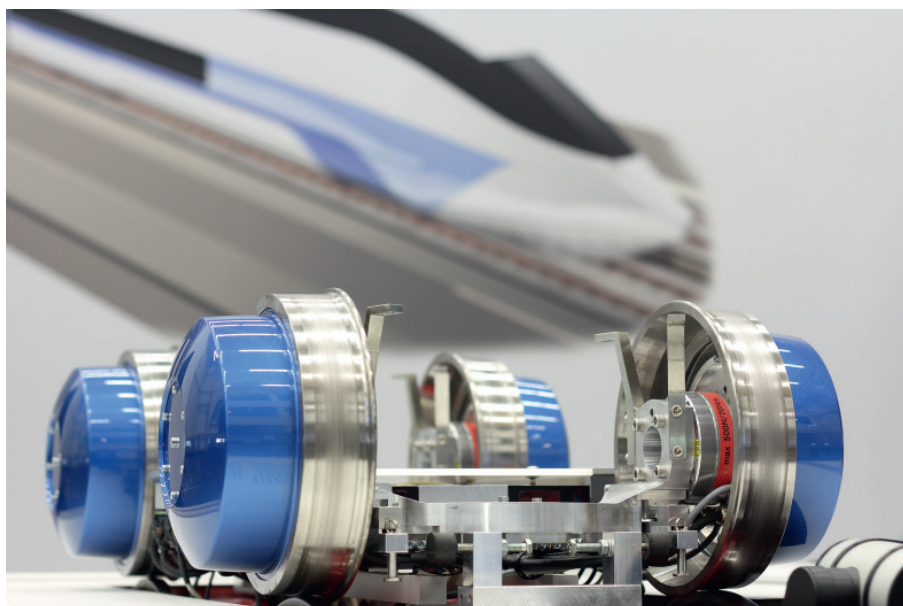
Björn Goetjes, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Verantwortlich für MKS-Simulationen und Regelungsaufgaben am Fahrwerk. bjoern.goetjes@dlr.de



Dr.-Ing. Andreas Heckmann

Abteilungsleiter SR-FAZ-RS am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Projektleiter NGT-FuN. andreas.heckmann@dlr.de



1: Bisher genutzter Rollprüfstand im Maßstab 1:5 [2]

Die bisherigen Arbeiten umfassen den virtuellen Entwurf, umfangreiche Finite Elemente (FE-) und Mehrkörper-Simulationen (MKS) für das NGT-Fahrwerk, sowie vielversprechende Experimente mit einem Fahrwerksmodell auf einem skalierten 1:5 Rollprüfstand, dargestellt in Bild 1.

Im Zeitraum von 2019 bis 2022 bauen Wissenschaftler mehrerer DLR Standorte gemeinsam einen funktionsfähigen Prototyp des NGT-Fahrwerkes im Maßstab 1:1. In Zusammenarbeit mit externen Dienstleistern werden die Fahrwerkskomponenten fertigungsgerecht auskonstruiert und im zweiten Projektjahr gefertigt. Im dritten Jahr folgt der Aufbau eines Integrationsprüfstands zur Inbetriebnahme des Fahrwerkes, mit dem die Kinematik, Sensorik und Aktorik überprüft werden kann. Anschließend steht dieser Prototyp als „Forschungsinfrastruktur NGT-Fahrwerk“ (NGT-FuN) für DLR-interne und externe Forschungsaktivitäten zur Verfügung. Das primäre Ziel von NGT-FuN ist der prinzipielle Funktionsnachweis des Fahrwerks und dessen Eignung für den Hochgeschwindigkeitsverkehr sowie das Erreichen des Technologie-Reifegrades 6, vgl. [1]. Dazu soll NGT-FuN ab Ende 2022 für zunächst drei Jahre in jeweils zwei Messkampagnen pro Jahr auf externen Rollprüfständen betrieben werden. Im Anschluss daran ist die Erprobung in einem Schienenfahrzeug auf Test- und Prüfanlagen vorgesehen.

Der Artikel stellt das Fahrwerks- und Prüfstandskonzept vor. Es wird der Aufbau und die Funktionsweise des mechatronischen Fahrwerks sowie des Integrationsprüfstands erläutert. Des Weiteren werden die Entwicklungs- und Simulationstools vorgestellt und ein konkretes Anwendungsszenario der Spurführungsregelung in der Simulation gezeigt.

2. Fahrwerks- und Prüfstandskonzept

Der folgende Abschnitt führt in den Aufbau und die Funktionsweise des Fahrwerks ein, stellt den dazugehörigen Integrationsprüfstand vor und beschreibt die Sensorik und die simulationsbasierte Entwicklung der Automatisierungstechnik.

2.1. Funktionsweise und Konstruktion des Fahrwerkes

Bild 2 zeigt auf der linken Seite die mechanische Konstruktion des Fahrwerkes. Auf der rechten Seite ist die schematische Grundstruktur des Fahrwerkes dargestellt,



2: CAD-Modell und Grundstruktur des NGT HST (FuN) Fahrwerkes

anhand derer im Folgenden der Aufbau und die Funktionsweise des Fahrwerkes beschrieben werden.

Die gelben Zug-Druck-Stangen halten den Fahrwerksrahmen (Schwarz) parallel zum Wagenkasten bzw. Integrationsprüfstand (nicht dargestellt) und übertragen die Längskräfte. Die Übertragung der Längskräfte vom Fahrwerksrahmen auf den Radträger (Blau) erfolgt über die zwei gelben Lenker. Deren angewinkelte Anordnung stellt sicher, dass die laterale Mittenposition des Radträgers im Fahrwerksrahmen gehalten und nur die Gierbewegung freigegeben wird. Auch die als Blattfedern (gelb) ausgeführten Primärfedern verbinden den Radträger mit dem Fahrwerksrahmen und geben über Lenker mit verschiedenen Drehgelenken die Gierbewegung frei. Wie in [3] erläutert, sind die Einzelräder (Hellgrau) auf dem Radträger zu einem Radpaar montiert. Es existiert keine durchgängige Radsatzwelle, was eine über die ganze Fahrzeuglänge durchgehend ebene Begehrbarkeit auf beiden Ebenen des Doppelstockzugs ermöglicht.

Die Spurführungsregelung erzeugt eine stabile Fahrdynamik der unabhängig voneinander drehenden Räder und ermöglicht gleichzeitig eine Radiallenkung des Radpaares in Gleisbögen. Das Spurführungsprinzip basiert auf Differenzdrehmomenten zwischen dem linken und rechten Rad, was in der Folge zu einem Drehmoment am Radträger um die Hochachse führt. Hierdurch kann die Spurführungsregelung den Radträger, auch bei Gleislageabweichungen, immer in Richtung der gewünschten Position im Spurkanal einlenken bzw. lateral ausregeln. Moderne Regelungsverfahren ermöglichen

verschiedene Gütekriterien wie minimaler Verschleiß oder Stellenergie bestmöglich zu erreichen sind.

Aus Gründen der Bauraum- und Wirkungsgradoptimierung werden die Motoren direkt am Rad platziert und getriebelos ausgeführt. Jeder Motor ist teilabgefedert und mittels einer flexiblen Kuppelung an ein Rad angebunden. Die hohen Drehmomenten- und Leistungsdichten (2050 Nm/180 kW/200 kg pro Rad) werden durch eigens entwickelte hochpolige, permanent erregte Synchronmaschinen erreicht. Aufgrund der hohen Polpaarzahl erfolgt die Ansteuerung der Traktionsmaschine mittels Traktionsumrichter, in dessen Leistungstransistoren das Halbleitermaterial Siliciumcarbid (SiC) zum Einsatz kommt. Eine Wassermantelkühlung führt die Verlustleistung bzw. Wärmestrom der Maschinen ab.

Die Entwicklung der strukturellen Hauptkomponenten des Fahrwerks wie Radträger und Fahrwerksrahmen erfolgte unter Verwendung innovativer Leichtbauprinzipien, um leichte, hochbelastbare mechanische Strukturen in einem sehr begrenzten Bauraum zu realisieren. Dabei wurde eine Methode zur systematischen Erstellung leichtbauoptimierter Fahrwerkskonzepte erarbeitet und unter Beachtung statischer sowie dynamischer Lasten für die Konstruktion und Auslegung des Fahrwerks angewandt [4]. Die mechanische Struktur des Fahrwerks basiert auf Schweißbaugruppen aus Hohlprofilen und Blechen mit Gussknoten, die in erster Linie die Krafteinleitungsstellen bilden. Mit dieser Entwicklungsmethodik und unter Berücksichtigung der Funktionsanforderungen ist es möglich, ein umfassend struk-

turell leichtbauoptimiertes, angetriebenes Fahrwerkskonzept mit einer Masse von circa 3,3 Tonnen zu erstellen.

2.2. Der Integrationsprüfstand

Zur Unterstützung der ersten Inbetriebnahme und zur Vorbereitung von Testkampagnen auf externen Leistungsprüfständen entsteht für das Fahrwerk ein eigener Integrationsprüfstand am DLR Standort in Oberpfaffenhofen. Dieser bildet eine Systemumgebung zum schrittweisen Aufbau und zur Inbetriebnahme des Fahrwerks, jedoch auf eine Maximalgeschwindigkeit von 5 m/s und ein antreibendes bzw. bremsendes Drehmoment von max. 850 Nm beschränkt. Die vollständigen Leistungstests erfolgen auf externen Rollprüfständen. Der Prüfstand inklusive Fahrwerk ist mit einem Gesamtgewicht von 5 t transportabel und somit nicht nur für wissenschaftliche Versuche, sondern auch für Präsentationen z. B. auf Messen geeignet.

Der mechanische Aufbau des Integrationsprüfstandes besteht aus einem in Bild 3 in weiß dargestellten Prüfstandsrahmen („Käfig“), einer Schienenrolle, einem Messrahmen aus Aluminiumprofilen und diversen Anbauteilen. Der obere Teil des Prüfstandsrahmens ist abnehmbar, sodass das Fahrwerk (oder Einzelteile) mit einem

Hallenkran in den Prüfstand gehoben werden kann. Über den vier Sekundärfedern befinden sich Einstell- bzw. Vorspanneinrichtungen, die die in der ersten Projektphase vorgesehenen Spiralfedern vorspannen. Die Spiralfedern sollen später durch aktive Komponenten ersetzt werden.

Eine Schienenrolle, die eine gerade Endlosschiene darstellt, bildet die Oberbauschchnittstelle. Aus Bauraumgründen ist der Rollendurchmesser auf 0,6 m begrenzt, was eine zusätzliche Herausforderung bei der Implementierung der Spurführungsregelung darstellt. Die Anbindung der Zug-Druck-Stangen zur Ableitung der Längskräfte und der Sekundärfederung entsprechen den Wagenkastenschnittstellen. Sensoren messen die übertragenen Kräfte und Bewegungen in allen Raumrichtungen. Die energetische Schnittstelle zu den Motorumrichtern bildet ein 16 kW Labornetzteil mit 400 V...1000 V DC Zwischenkreisspannung.

Um ein Reaktionsmoment im Rad-Rolle-Kontakt zu erzeugen, sind an der Rolle eine Magnetpulverbremse sowie eine Sicherheitsbremse mit je 850 Nm verbaut. Bei Bedarf ersetzt ein Synchronmotor mit 1 kNm die Magnetpulverbremse. Zwischen den Aktoren und der Rolle messen zwei Messflansche das übertragene Drehmoment.

Der Prüfstand erhält aus Sicherheits- und Schallschutzgründen eine durchsichtige Einhausung, die für den normalen Laborbetrieb und Präsentationen vorgesehen ist. Eine zweite, stark schalldämmende Einhausung ist ebenfalls geplant.

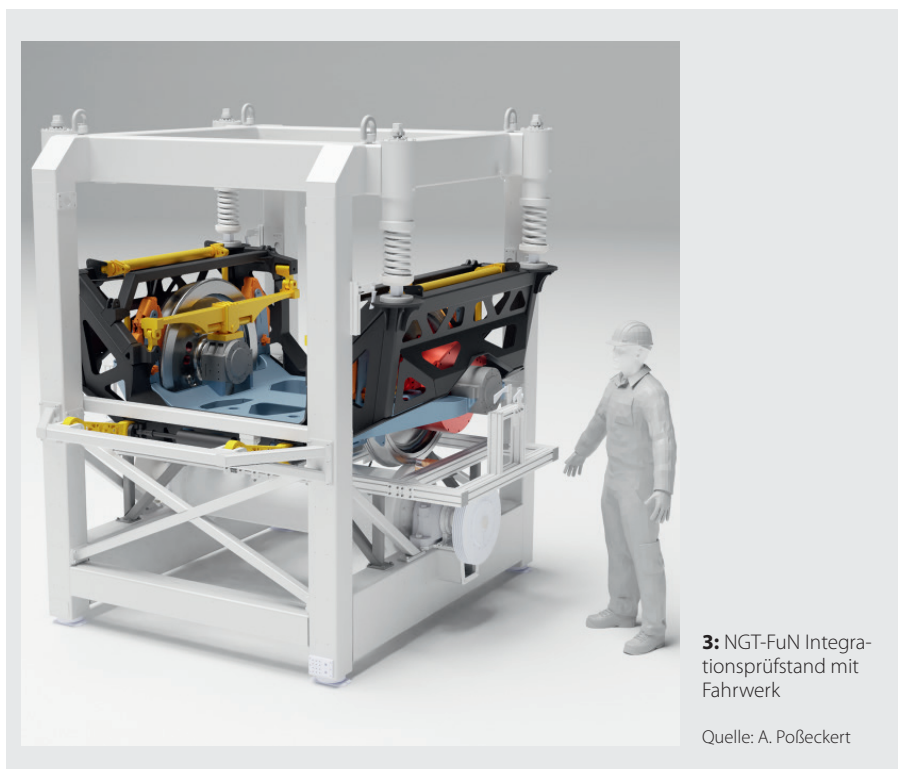
2.3. Prüfstandsautomatisierung und Sensorik

Das Fahrwerk und der Integrationsprüfstand werden als mechatronische Systeme betrachtet, die neben der Mechanik über umfangreiche Sensorik, Messtechnik und Signalverarbeitung verfügen. Die gesamte Messtechnik ist in einem Schaltschrank zusammengefasst. In einem weiteren, direkt angrenzenden 19-Zoll Schrank sind das Rapid-Control-Prototyping-System (RCP), Netzwerktechnik, Server und eine Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) untergebracht. Das Labornetzteil erhält aus Bauraum- und EMV-Gründen einen separaten Standort.

Das Sensorkonzept leitet sich aus den für die Echtzeitanwendungen benötigten Signalen ab, welche für den operativen Betrieb z. B. für eine Schätzung des Fahrzeugzustands, der Reibverhältnisse und der Position benötigt werden. Diese Sensorik muss den Robustheitsanforderungen einer rauen Fahrwerksumgebung genügen. Für die relative Bewegungsmessung der großen Fahrwerksteile (Radträger und Fahrwerksrahmen) kommen daher überwiegend LVDT-Sensoren zum Einsatz.

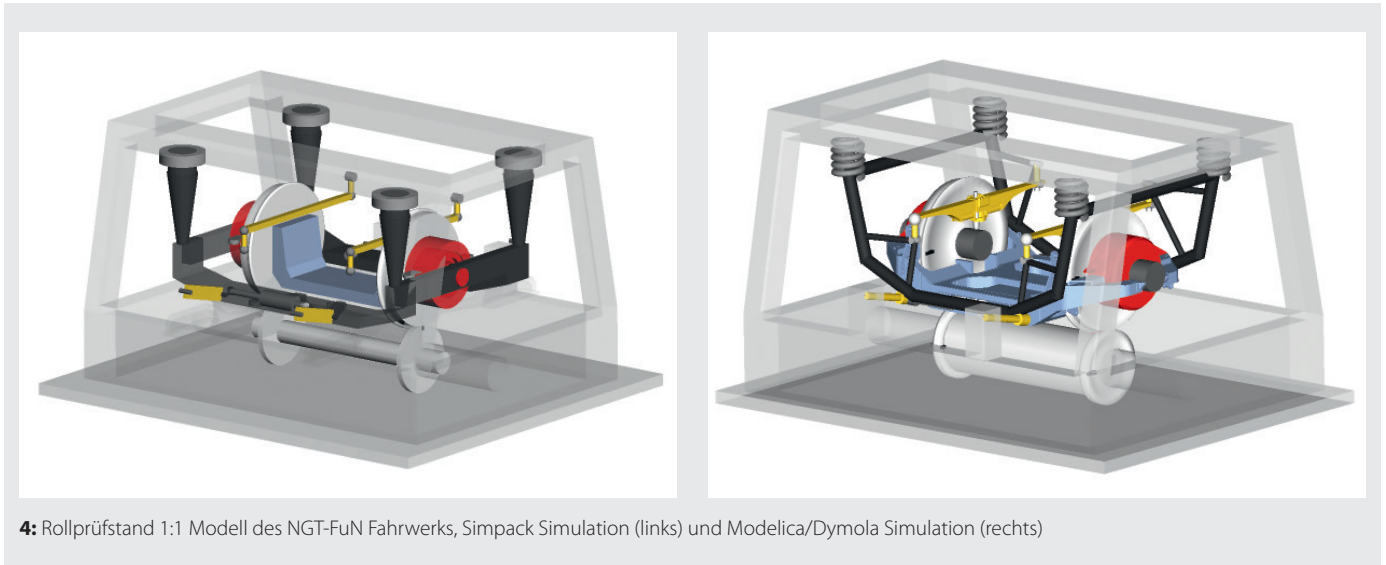
Für die konstruktive und mechatronische Beurteilung des Fahrwerkes, sowie zur Validierung der Simulationsmodelle, werden weitere Kraft- und Bewegungsgrößen durch eine (von der Fahrwerksensorik) unabhängige Referenzsensorik gemessen. Die dreidimensionalen Bewegungen des Radträgers und des Fahrwerksrahmens erfassen 20 Laser-Abstandssensoren. Auch die Kraft, Inertial- und DMS-Sensorik, die nicht direkt für den Betrieb des Fahrwerkes vorgesehen ist, zählt zur Referenzsensorik. Die Lastpfade sind (bis auf wenige Ausnahmen) mit Kraft- und Drehmomentsensoren instrumentiert. Auf den Radlagern und in der Mitte des Radträgers sind variable Messpositionen vorgesehen und mit unterschiedlicher Inertialsensorik bestückt.

Das RCP-System (dSpace SCALEXIO) besteht aus einer Rechneinheit mit mehreren CPU-Kernen, denen unterschiedliche Echtzeitprogramme oder -simulationen zugewiesen sind. Die Messverstärker sind hiervon separiert und werden über digitale Echtzeitschnittstellen (IOCNET,



3: NGT-FuN Integrationsprüfstand mit Fahrwerk

Quelle: A. Poßbeckert



4: Rollprüfstand 1:1 Modell des NGT-FuN Fahrwerks, Simpack Simulation (links) und Modelica/Dymola Simulation (rechts)

EtherCAT) mit der Rechneinheit verbunden. So können die Messverstärker vom Systemhersteller oder von spezialisierten Messtechnikherstellern flexibel eingesetzt werden.

2.4. Mehrkörpersimulationen (Entwicklungs- und Simulationswerkzeuge)

Für das NGT-Fahrwerk und den NGT-FuN-Prüfstand gibt es verschiedene Simulati-

onsmodelle und Simulationsumgebungen. Zur Untersuchung der detaillierten Fahrwerkseigenschaften wie Komfort nach EN 12299, Fahrstabilität nach EN 14363 oder Seitenwind nach EN 14067-6 werden

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

IABG. Die Zukunft.
Analysieren. Testen. Qualifizieren.

NEU IN 2021
Erweiterung des IABG-Prüfzentrums in Dresden

Qualifizierung von Schienenfahrzeugen

LEISTUNGSSCHWERPUNKTE

Betriebsfestigkeit • Umweltsimulation • Schadensanalyse • Impact Testing • Prüfstände • Simulation

Die IABG ist seit 60 Jahren auf dem Feld der Absicherung von Technologielösungen tätig. In der Bahntechnik verfügt die IABG über weitreichende Erfahrungen bei der

- Qualifizierung von Systemen und
- funktionalen Absicherung digitaler und vernetzter Systeme.

Wir begleiten die Entwicklung zukünftiger Mobilität mit Lösungen für Wasserstoff- und Hochvoltspeichertechnologien und Innovationen für spurgeführte Hochgeschwindigkeitssysteme.

Die IABG ist **anerkannter Unterauftragnehmer des EISENBAHN-CERT** und arbeitet gemäß der Hersteller- und Bahnnormen sowie der technischen Spezifikationen für die Interoperabilität.

IABG • Tel. +49 89 6088-2030 • info@iabg.de • www.iabg.de



Mehrkörpermodelle des NGT-HST Zuges in Simpack und Dymola verwendet. In Simpack wird hauptsächlich die Fahrodynamik des Fahrwerks untersucht. Die Dymola Umgebung mit der objektorientierten und gleichungsbasierten Modellierungssprache Modelica dient demgegenüber zur Implementierung und Auslegung komplexer Regler- und Beobachterkonzepte.

In Bild 4 auf der linken Seite ist das Simpack Mehrkörpermodell des NGT-FuN Fahrwerkes zu sehen. Wie in Bild 2 gezeigt, basiert das NGT-FuN Fahrwerk auf dem Mittelwagenfahrwerk des NGT HST. Die Schienenrollen befinden sich unter den Rädern und können Reaktionskräfte und -momente aus dem Rad-Schiene-Kontakt aufnehmen. Die Körper und Kraftelemente des Fahrwerkes sind schematisch dargestellt.

Auf der rechten Seite von Bild 4 ist das Modelica/Dymola-Mehrkörpermodell des Fahrwerks mit Prüfstand dargestellt. Es basiert auf der DLR RailwayDynamics Bibliothek (RDL) [5] und enthält die gleichen konstruktiven Eigenschaften wie das Simpack-Modell. Diese zweigleisige Modellumgebung im Projekt NGT-FuN erlaubt es, die RDL umfassend in Vergleichssimulationen und Experimenten zu verifizieren und zu validieren. Zur Visualisierung der Körper

sind CAD-Modelle eingebunden. Kraftelemente, wie die Sekundärfedern oder Hebel, sind mit vereinfachten Geometrieelementen dargestellt.

Der Abgleich der beiden Simulationsmodelle untereinander, sowie die Aktualisierung und Validierung verfügbarer Fahrwerks- und Prüfstandshardware, wird kontinuierlich fortgeführt. Beide Modelle können durch Functional Mockup Units (FMU) [6] erweitert und selbst als FMU in anderen Simulationsprogrammen oder Echtzeitumgebungen integriert werden.

2.5. Simulationsbasierte Entwicklung der RCP-Echtzeitanwendungen

Nachdem der Integrationsprüfstand und das Versuchsfahrwerk voraussichtlich erst ab Ende 2021 zur Verfügung stehen, erfolgt die Entwicklung der Echtzeitsoftware des RCP-Systems bis dahin in einer Offline-Simulationsumgebung (Software-in-the-Loop). Diese Simulationsumgebung (Bild 5) bildet den gesamten Prüfstand ab, indem die Prüfstandsmechanik aus der zuvor beschriebenen MKS-Umgebung mithilfe einer Sensorik- sowie Aktoriksimulation mit der Echtzeitsoftware verbunden wird.

Die Sensoriksimulation bildet dabei die Schnittstelle zwischen den idealen physikalischen Signalen der Mehrkörpersimulation und der Echtzeitsoftware, die technische Sensorsignale des „realen“ Prüfstandes erwartet. Die Sensor-Modellstruktur ist in einen physikalischen und einen technischen Teil untergliedert, der jeweils das ideale Sensorverhalten, ein Störungs- und ein Fehlermodell enthält. Mit dieser Methode wurden alle geplanten Sensoren (LVDT, Laser, Inertial, Kraft/Dehnung (DMS)-Sensoren) modelliert [7].

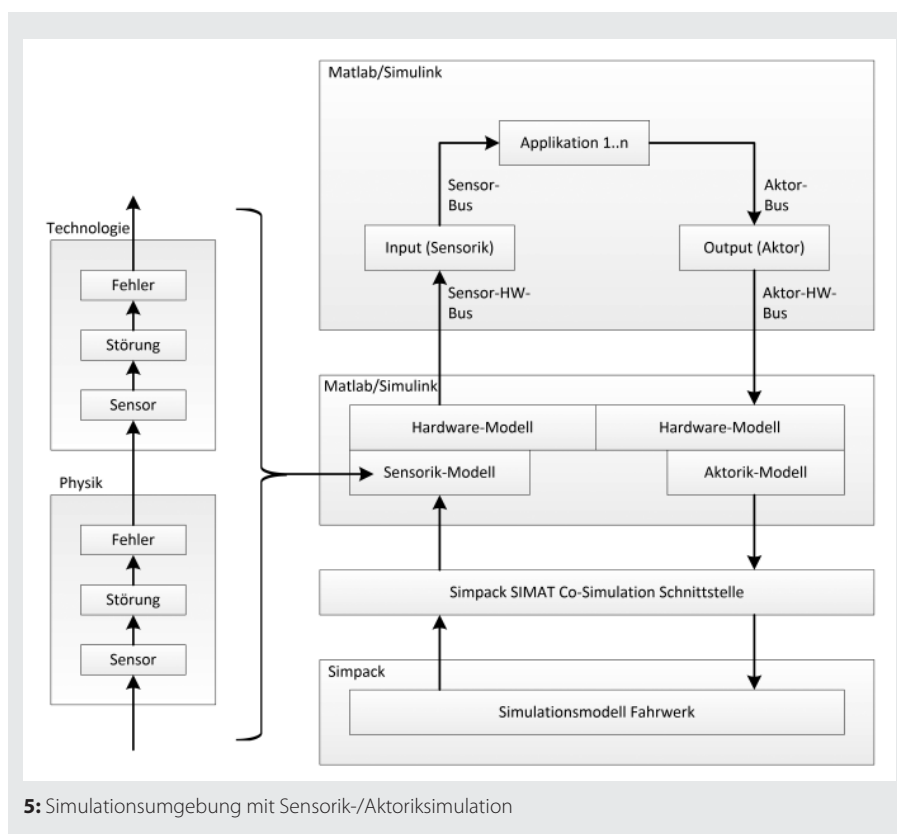
In einem weiteren Entwicklungsschritt wird die Offline-Simulationsumgebung auf das Zielsystem migriert. Neben der Echtzeitsoftware führen weitere Rechnerkerne des RCP-Systems die Sensorik- und MKS-Simulation als FMU aus. Die Schnittstellen der Echtzeitsoftware sind nun nicht mit der externen Peripherie verbunden, sondern mit der Sensorik- bzw. Aktoriksimulation. Das nichtlineare Mehrkörpermodell ist indes zu rechenaufwändig, um es in Echtzeit auszuführen, sodass die Taktzeit des gesamten RCP-Systems gegenüber der Realzeit skaliert wird. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Simulationsergebnisse. Mit dieser Anordnung wird die Ausführbarkeit der Echtzeitsoftware auf dem Zielsystem nachgewiesen und eine effektive Methode geschaffen, die Echtzeitsoftware in einer Simulationsumgebung auf der Zielhardware weiterzuentwickeln.

3. Ergebnisse

Um die Anwendung der eben beschriebenen Entwicklungsumgebung zu veranschaulichen, werden im Folgenden erste Ergebnisse der Synthese des Spurführungsreglers auf dem Integrationsprüfstand dargestellt.

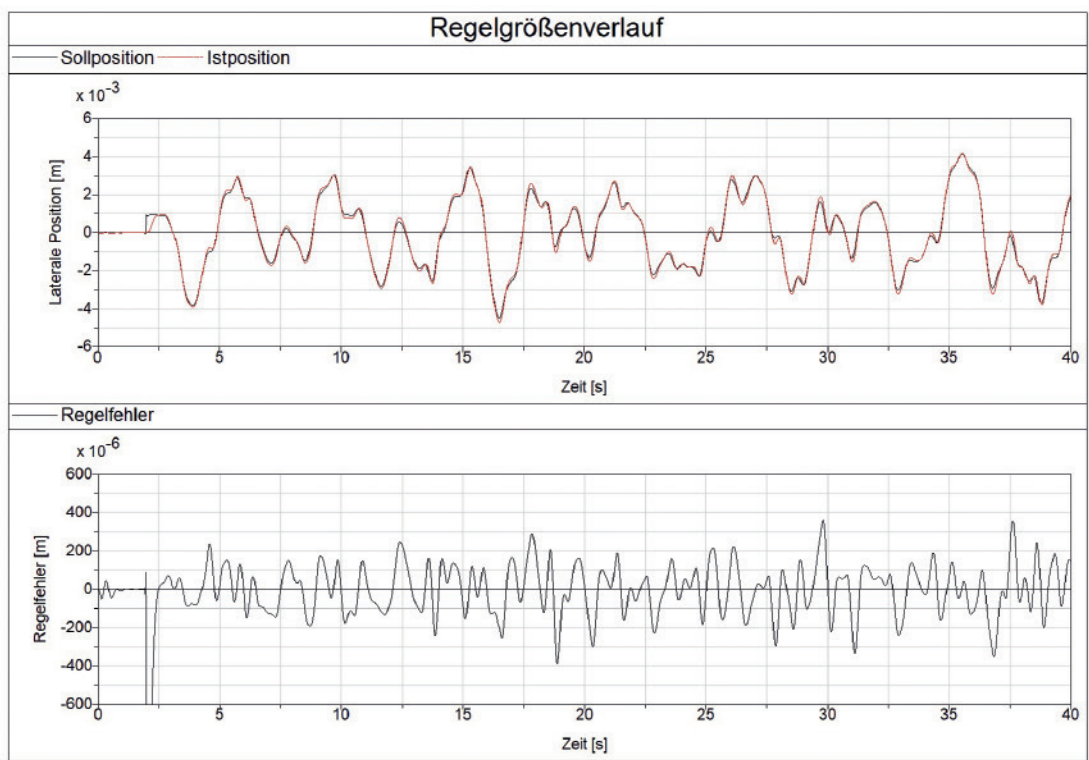
Im Gegensatz zu konventionellen Radatzfahrwerken zeigen Einzelradfahrwerke keinen Wellenlauf. Die Spurführungseigenschaften müssen durch andere Verfahren erzeugt werden [8]. So basiert die Spurführungsregelung des mechatronischen NGT-Fahrwerks auf einem Differenzdrehmoment zwischen rechtem und linkem Rad, welches den Radträger in die Mitte bzw. eine andere, vordefinierte Position im Spurkanal „lenkt“. Diese Regelung vermeidet weitestgehend die sehr verschleißintensiven Spurkranzanläufe und reduziert den Verschleiß insgesamt deutlich.

Im Allgemeinen hängt die Lateraldynamik und somit das Auftreten von Spurkranzanläufen stark von der Fahrgeschwindigkeit und möglichen Gleisanregungen ab. Solche



5: Simulationsumgebung mit Sensorik-/Aktoriksimulation

6: Laterale Position des Radpaares im Spurkanal (rot: Soll, schwarz: Ist) (oben), Regelabweichung (unten)



Gleisanregungen mit den Schienenrollen des Integrationsprüfstands zu erzeugen, wie auf dem Rollprüfstand in Freimann [9], ist technisch sehr aufwändig und wird, auch angesichts der Fortschritte in der Mehrkörpersimulation, als unwirtschaftlich erachtet.

Um dennoch auf dem Integrationsprüfstand die Spurführungsregelung zu untersuchen wird das Szenario angepasst: Die Gleisanregungen werden nicht durch eine Bewegung der großen Schienenrollen dargestellt, sondern durch transiente Sollwertschwankun-

gen der Lateralregelung eingeleitet. Damit lassen sich grundlegende Reglereigenschaften untersuchen und darstellen, wobei auf den strukturellen Unterschied zwischen Stör- und Führungsverhalten von Regelungen zu achten ist.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



**LANGE NÄHTE.
 HOHE MATERIALSTÄRKE.
 SCHWEISSEN MIT 100%
 EINSCHALTDAUER.**

What's your
 welding challenge?

Let's get connected.

Das Fügen großer Bauteile mit hohen Materialstärken gehört im Bereich Commercial Transportation zum Alltag. Mit den High-End-Schweißsystemen von Fronius können diese effizient und ohne Unterbrechung geschweißt werden. Mehr Informationen finden Sie unter: www.fronius.com

Mit dieser Fahrwerksentwicklung möchte das DLR einen Beitrag für einen noch ressourcenschonenderen, effizienteren und komfortableren Hochgeschwindigkeitsverkehr leisten.

In Bild 6 ist das Simulationsergebnis einer Simpack-Mehrkörpersimulation des NGT HST Fahrwerkes im NGT-FuN Integrationsprüfstand dargestellt. Die Sollvorgabe der lateralen Position des Lateralreglers und die eingeregeltere laterale Position des Radträgers entsprechen der Gleisstörung einer deutschen Hochgeschwindigkeitsstrecke, allerdings dort bezogen auf eine 10-fach längere Strecke. Die Anforderungen an die Lateralodynamik sind damit um den Faktor 10 höher, als es bei der geringen Geschwindigkeit von 10 km/h in der Realität zu erwarten wäre. Auf Seite 67 ist die Regelabweichung des Lateralreglers aufgetragen. Es zeigt sich, dass der Lateralregler bei einer mittleren Regelabweichung von 0,12 mm den Sollwertschwankungen auf dem Integrationsprüfstand gut folgt. Das Szenario verdeutlicht einen wichtigen Aspekt: die mechatronische Spurführung erlaubt es, die Position des Fahrwerks innerhalb des Spurkanals frei zu bestimmen. So lässt sich Verschleiß nicht nur reduzieren, sondern auch die Profiltreue des Rades steuern.

4. Zusammenfassung

Das DLR entwickelt im Projekt „Next Generation Train“ ein mechatronisches Einzelradfahrwerk für den Hochgeschwindigkeitsverkehr. Im Rahmen der DLR-Großinvestition „Next Generation Train – Forschungsinfrastruktur NGT-Fahrwerk“ (NGT-FuN) wird ein Prototyp im Maßstab 1:1 aufgebaut und auf einem hierfür entwickelten Integrationsprüfstand in Betrieb genommen.

Die Fahrwerksentwicklung basiert auf einem iterativen Prozess zwischen Konstruktion und Mehrkörpersimulation sowie

einer eigenen Motor- und Umrichterentwicklung. Eine Simulationsumgebung unterstützt die Entwicklung der Echtzeitsoftware durch die Kopplung von bereits vorhandenen Mehrkörpermodellen und Sensorikmodellen für das zukünftige Rapid-Control-Prototyping Steuergerät.

Die Funktionsfähigkeit und die Eignung des Fahrwerkes für den Hochgeschwindigkeitsverkehr werden nach einer grundlegenden Inbetriebnahme am DLR in Oberpfaffenhofen auf externen Leistungsrollprüfständen und durch Fahrzeugversuche in Prüfzentren nachgewiesen.

Mit dieser Fahrwerksentwicklung möchte das DLR einen Beitrag für einen noch ressourcenschonenderen, effizienteren und komfortableren Hochgeschwindigkeitsverkehr leisten. Die Weiterentwicklung

der Fahrwerkstechnologie, insbesondere von Einzelradfahrwerken mit mechatronischen Systemen, bietet hierfür ein großes Innovationspotential. ●

Literatur

- [1] Winter, J.: Next Generation Train – 20 Jahre Forschung für die Eisenbahn. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) (2019) 03, S. 17 – 21
- [2] Kurzeck, B. u. Keck, A.: Die Spurführung des „Next Generation Train“, Oberpfaffenhofen 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=nBQQA9TogPs>, abgerufen am: 18.11.2020
- [3] 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 142 (2018) 03
- [4] Krüger, D., König, J., Rehmann, M. u. Winter, J.: Next Generation Train Fahrwerk: Eine neuartige Methode für die Leichtbauoptimierung von Schienenfahrzeugfahrwerksstrukturen. ZEVrail – Zeitschrift für das gesamte System Bahn 141 (2017) 06/07
- [5] 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
- [6] Modelica Association: Functional Mock-Up Interface, 2020. <https://fmi-standard.org/>, abgerufen am: 23.11.2020
- [7] Blazevic, M.: Entwicklung einer Co-Simulationsumgebung für einen Schienenfahrzeug-Fahrwerksprüfstand mit Sensorsimulation, Hochschule für angewandte Wissenschaften München Masterarbeit. München 2020
- [8] Carballeira, J., Baeza, L., Rovira, A. u. García, E.: Technical characteristics and dynamic modelling of Talgo trains. Vehicle System Dynamics 46 (2008) sup1, S. 301 – 316
- [9] Bergander, B.: The roller rig in München-Freimann – An estimation. Der Rollprüfstand in München-Freimann – Eine Würdigung. ZEVrail Glasers Annalen 128 (2004) 8, S. 316 – 329

Danksagung

„Wir möchten uns für die gute Zusammenarbeit mit Herrn Stocker und Herrn Edelmann von IABG bei der Konstruktion des Integrationsprüfstandes bedanken.“

„Einen Dank auch an Hr. Hügl und Kollegen von der Firma Hörmann Vehicle Engineering GmbH für die fertigungsgerechte Konstruktion des Radträgers und Fahrwerksrahmens“

„Die Autoren möchten unserem ehemaligen Kollegen Gustav Grether für die sehr gute Zusammenarbeit danken und für die Mitwirkung an dem Vortrag auf der 17. Internationalen Schienenfahrzeugtagung 2020 in Dresden, der diesem Artikel zugrunde liegt.“

Summary

DLR research infrastructure NGT-trolley (NGT-FuN)

Within the project „Next Generation Train – research infrastructure NGT-trolley“, DLR builds the prototype of a mechatronic independent trolley for high-speed transport on a 1:1 scale. The trolley will be implemented in an integration test bed up by the end of 2022. The functionality and suitability of the trolley for high-speed transport will then subsequently be proved on a chassis dynamometer and by attempts in test centers.