

# Neuartige Methode zur Entwicklung leichtbauoptimierter Fahrwerksstrukturen am Beispiel des Next Generation Trains des DLR

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart

David Krüger B. Eng. (McGill University), Michael Rehermann M. Sc., Christian Gomes Alves M. Sc., Dr.-Ing. Jens König, Dr.-Ing. Joachim Winter, Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich

## 1 Einleitung

Das Forschungsprojekt Next Generation Train (NGT) bündelt die Forschungsaktivitäten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) im Bereich von Schienenfahrzeugen. Anhand einer Familie von drei Fahrzeugtypen, NGT HST (Ultra-Hochgeschwindigkeitszug für den Personenverkehr), NGT LINK (Zubringer-Personenzug) und NGT CARGO (automatisch fahrender Triebwagen-Güterzug) [1], werden Themen bearbeitet, die eine effizientere, schnellere, leisere und komfortablere Eisenbahn der Zukunft zum Ziel haben. Dem Fahrwerk kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu. Infolge der durchgehend stufenlosen Begehrbarkeit auf beiden Ebenen des doppelstöckigen NGT HST ist ein geeignetes Fahrwerkskonzept erforderlich. Daher wurde in der aktuellen Phase des NGT-Projektes eine systematische Methode zur Entwicklung leichtbauoptimierter Fahrwerksstrukturen erarbeitet und am Beispiel des NGT HST angewandt.

## 2 Motivation für den Leichtbau im Fahrwerksbereich

Die Fahrwerke sind mit die wichtigsten Teilsysteme eines Schienenfahrzeugs, da sie 15% bis 50% der Gesamtmasse des Fahrzeugs ausmachen [2]. Die Fahrstabilität und Fahrsicherheit eines Schienenfahrzeugs werden maßgeblich durch die Fahrwerke bestimmt, wobei die Masse der gesamten Fahrwerke und ihrer Komponenten von zentraler Bedeutung ist. Aufgrund hoher Beschleunigungen in unterschiedliche Raumrichtungen und rotatorischen Bewegungen entstehen große Kräfte, Momente und Impulse, die die Fahrwerksstruktur belasten. Die Reduzierung der Masse dieser Fahrwerksstruktur ist ein effektiver Weg, um sowohl die dynamischen Radsatzlasten als auch den Energieverbrauch eines Schienenfahrzeugs zu senken. Gleichzeitig können dadurch die Schädigung des Oberbaus und die fahrwerksverursachten Lärmemissionen verringert werden. Aus den angeführten Gründen wurden daher bis dato unterschiedliche Fahrwerkskonzepte realisiert. [3, 4]

## 3 Motivation für den Leichtbau im Fahrwerksbereich

Für die zielgerichtete systematische Erstellung eines bedarfsgerechten und leichtbauoptimierten Fahrwerkskonzepts wurde eine neuartige Methode entwickelt [1]. Diese Methode stellt einen Prozessablauf dar, bei dem durch die Verkettung unterschiedlicher Simulations- und Konstruktionsschritte leichte und hochbelastbare Tragstrukturen erstellt und die Fahrwerkskonzepte mit dem größten Leichtbaupotenzial bestimmt werden können. Zur Erfüllung der Ziele innerhalb des NGT-Projekts wird die Methode für die Konzeption, Optimierung und Konstruktion der Einzelrad-Einzelfahrwerke (EEF) des NGT HST-Mittelwagens exemplarisch angewandt.

Ausgangspunkt für die Methode ist die Bauraumableitung anhand der gegebenen geometrischen Rahmenbedingungen, wie beispielsweise der Bezugslinie und dem Freiraum für das Fahrwerk im Wagenkasten eines Mittelwagens [2]. In diesem Bauraum werden relevante Komponenten (z.B. Räder, Motor, Bremse und Dämpfer) des Fahrwerks, mit Ausnahme der Tragstrukturen (Träger, Rahmen, etc.), angeordnet (Abb. 1). Die Anordnung der Komponenten wird von der bereits konzeptionell entworfenen Architektur des Fahrwerks bestimmt. Grundsätzlich verfügt das Fahrwerk über zwei Einzelräder, die in einem ungefederten Radträger gelagert sind. Die Räder sind unabhängig voneinander um die Radachse drehbar, wodurch deren Drehzahl mechanisch entkoppelt ist. Die Räder werden jeweils von einem abgedeckten Motor direkt angetrieben und gebremst. Der Radträger ist über die Primärfederung und zwei Lenker mit dem Sekundärrahmen verbunden, der als Fahrwerksrahmen und als Zwischenstufe der zweistufigen Federung dient. Der Sekundärrahmen wiederum ist über zwei Zug-Druck-Stangen zur Längskraftübertragung, vier Luftfedern und mittels Quer-Dämpfer mit dem Wagenkasten verbunden.

Basierend auf der konzeptionell entworfenen Architektur erfolgt eine Mehrkörpersimulation. Diese liefert erste Werte für die Bewegungsverläufe der Fahrwerkskomponenten und die Kräfte sowie Momente, die auf die Tragstrukturen des Fahrwerks wirken. Abhängig von den Bewegungen der Fahrwerkskomponenten, z.B. Lenk- oder Federbewegungen, werden die Bauräume ermittelt, die für die Tragstrukturen maximal zur Verfügung stehen. Unter Verwendung normativer Lastfälle werden die ermittelten Bauräume einer Topologieoptimierung unterzogen. Die Topologieoptimierung, die mittels Altair OptiStruct durchgeführt wird, basiert auf der Finiten Elemente Methode (FEM). Diese hat das Ziel, möglichst ideale kraftflussoptimierte Strukturen, unter der Berücksichtigung von Rahmenbedingungen, zu generieren. Hierbei wird jedes Element hinsichtlich bestimmter mechanischer Eigenschaften an die lokal angreifenden Kräfte angepasst. Einerseits werden Topologieoptimierungen zur Masseabschätzung von

Tragstrukturen, andererseits zur Erstellung der Strukturausprägung durchgeführt. Mit der Masseabschätzung werden unterschiedliche Fahrwerkskonzeptansätze untersucht und deren Leichtbaupotenzial verglichen. Die Ergebnisse der Topologieoptimierungen zur Strukturausprägung stellen möglichst ideale kraftflussoptimierte Lastpfadverläufe mit einer angepassten Dichteverteilungen dar. Aus diesem Grund ist in einem weiteren Schritt deren konstruktive Interpretation und Umsetzung erforderlich. Hierbei werden fertigungsgerechte Bauweisen für den Radträger und den Sekundärrahmen erstellt und eine detaillierte Konstruktion des Fahrwerks erarbeitet [5].

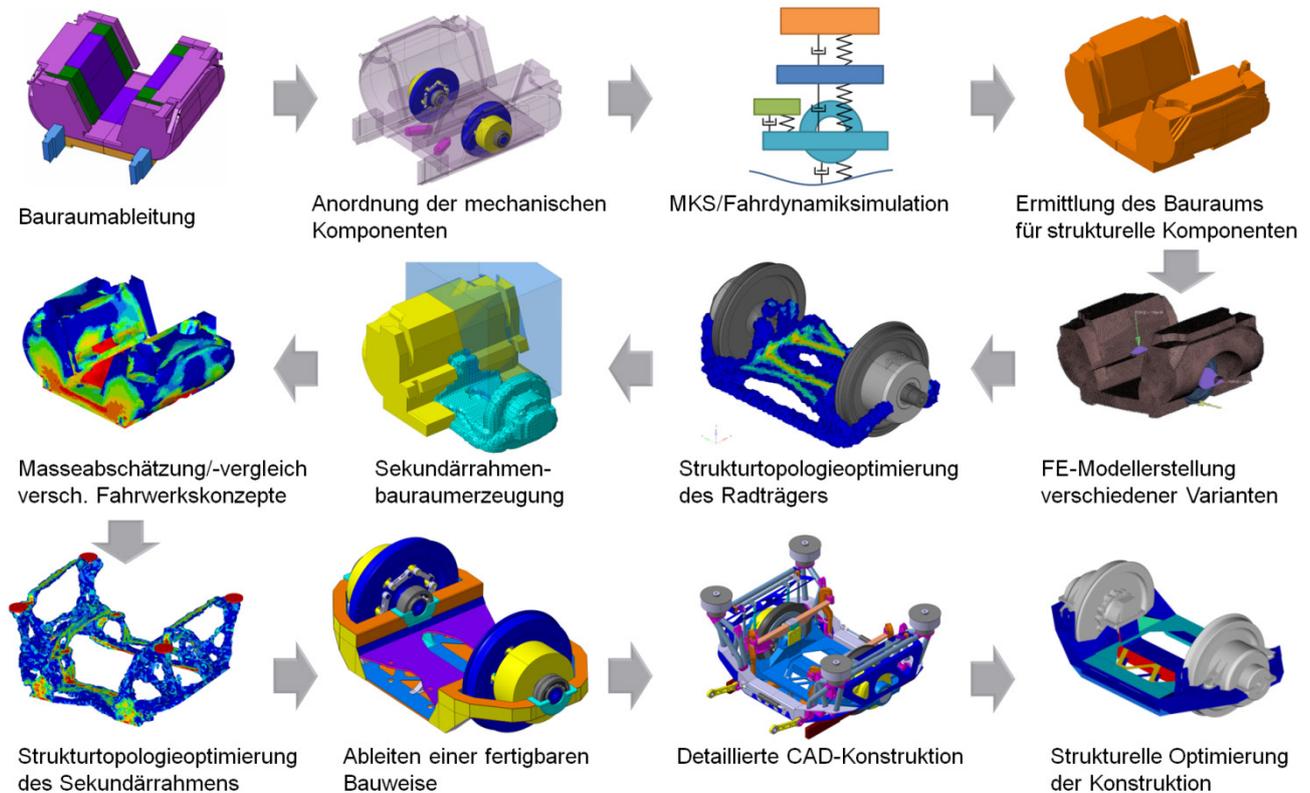


Abb.1 Sequenzielle Darstellung der systematischen Methode zur Entwicklung von leichtbauoptimierten Fahrwerksstrukturen

Der Radträger wird als geschweißte Blechkonstruktion mit Stahlgussteilen realisiert. Da der Sekundärrahmen eine räumlich ausgeprägte Struktur aufweist, wurde ein Hybrid aus einer Gitterrohrbauweise und einer Blech-Gussbauweise gewählt. Die Struktur des Sekundärrahmens besteht somit prinzipiell aus Gussknoten, die die Krafteinleitungsstellen bilden sowie Hohlprofilen und Blechen, die die Gussknoten miteinander verbinden und die Kräfte weiterleiten. Die Schweißkonstruktion aus Stahl baut auf einem umgeformten Grundblech auf, welches sich über die gesamte Länge und Breite des Fahrwerks erstreckt und das als toleranzarme Referenz für die Positionierung der restlichen Bauteile dient. Die Bleche und Rohre werden in der Konstruktion als Schalen vorgesehen und zunächst nicht endgültig dimensioniert. Weiter werden die Gussknoten zuerst lediglich als Bauräume in der Konstruktion berücksichtigt.

Um kraftflussoptimierte Geometrien der Gussknoten sowie der Wanddicken der Bleche und Rohre zu erreichen, werden bei der Konstruktion weitere Strukturoptimierungen durchgeführt. Die Bauräume der Gussknoten werden hierbei einer lokalen Topologieoptimierung unterzogen, während in einer parallel laufenden Optimierung die Wanddicken der Bleche und Rohre an die Lasten angepasst werden. Eine Mehrkörpersimulation liefert die Lasten für diese parallel arbeitenden Optimierungen. Zur Verknüpfung der Mehrkörpersimulation mit den beiden Verfahren zur Strukturoptimierung dient die „Equivalent Static Load Method“ (ESLM). ESLM bietet die Möglichkeit, die dynamischen Belastungen des Fahrwerks, die während des Betriebs auftreten (aus der Mehrkörpersimulation), für statische Strukturoptimierungen (Topologie- und Wanddickenoptimierung) zu verwenden. Die Belastungen auf die Struktur werden dabei für jeden Zeitschritt der Mehrkörpersimulation berechnet und die Simulationszeit in mehrere statische Lastfälle aufgeteilt. Diese Lastfälle werden anschließend in den statischen Strukturoptimierungen verwendet. Bis zur Erreichung des vorgegebenen Optimierungsziels werden mehrere Iterationen durchlaufen, in denen nach jeder Optimierung eine neue Mehrkörpersimulation mit dem zuletzt optimierten Modell durchgeführt wird und neue statische Ersatzlasten berechnet werden [5]. Basierend auf den Optimierungsergebnissen erfolgt die Vervollständigung der Konstruktion. Die Bleche und Rohre werden dimensioniert und die Gussknoten unter Berücksichtigung sowohl der Fertigungs- als auch der Fügetechnik konstruktiv umgesetzt.

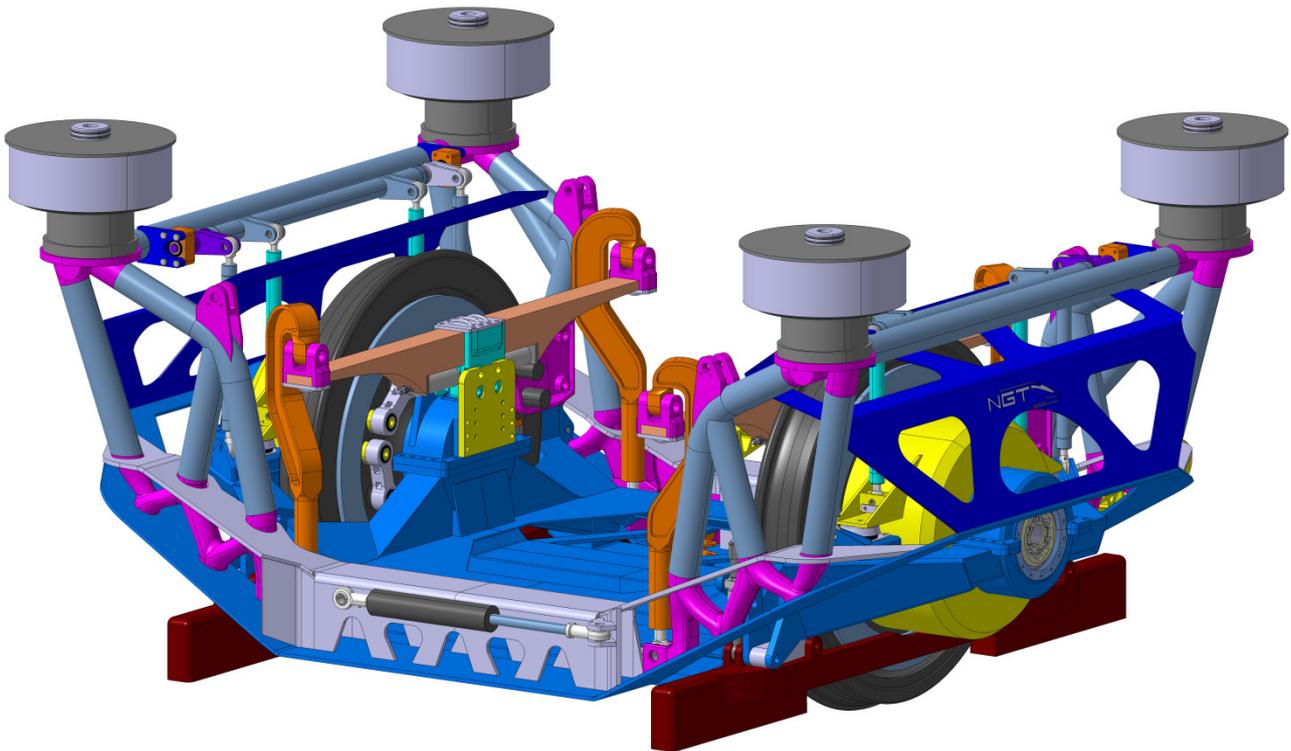


Abb.2 Gesamtansicht des NGT HST-Fahrwerks mit leichtbauoptimierten Strukturen

#### 4 Fazit und Ausblick

Durch die Anwendung der hier beschriebenen neuartigen systematischen Methode konnte ein umfassend leichtbauoptimiertes Fahrwerk für die Mittelwagen des NGT HST entwickelt werden (Abb. 2). Das Ergebnis ist ein Fahrwerk mit einer Gesamtmasse von ca. 3000 kg, einschließlich zweistufiger Federung, linearer Wirbelstrombremsen und Motoren mit einer gesamten Antriebsleistung von 360 kW. In weiterführender Arbeit wird eine Schweißbaugruppe von der Tragstruktur im Maßstab 1:1 gefertigt und zur Validierung der Konstruktion und der Optimierungsberechnungen getestet.

- [1] D. Krüger, et al.: Next Generation Train Fahrwerk: Eine neuartige Methode für die Leichtbauoptimierung von Schienenfahrzeugfahrwerksstrukturen. *ZEVrail*. 2017-06, Bd. 141
- [2] J. König, J. Winter, G. Kopp, H. Friedrich: Konsequente und neuartige Leichtbauansätze bei Schienenfahrzeugen des Personenverkehrs. *ZEVrail*. 2016-10, Bd. 140.
- [3] F. Frederich: Vom Drehgestell zum INTEGRAL. *ZEV + DET Glasers Annalen*. 1999-01, Bd. 123
- [4] A. Netzel: Talgo XXI – zuverlässige Neigetechnik im hochwertigen Reisezugverkehr. *ZEVrail* 2002-09 Bd. 126
- [5] D. Krüger et al.: Next Generation Train Fahrwerk: Ein Leichtbauoptimiertes Fahrwerkskonzept für den Hochgeschwindigkeitsverkehr. *ZEVrail*. 2018-01.