

Entwicklung des EMW: Ein neuartiger Güterwagen für den transeuropäischen Einsatz

Development of the EMW: An innovative freight wagon for trans-European use

David Krüger, Robert Winkler-Höhn, Christian Gomes Alves, Nicolai Schmauder, Mathilde Laporte,
Dr.-Ing. Gerhard Kopp

Zusammenfassung

Der Extended Market Wagon (EMW) ist ein innovativer leichtbauoptimierter-Güterwagen der als Teil des Fr8Rail 4-Projekts im Rahmen von Europe's Rail entwickelt und gebaut wurde. Das Konzept zielt auf neue Verkehre im Schienengüterverkehr durch den Einsatz moderner Telematik, Sensorik und Automatisierungstechnik sowie einer hohen Energieeffizienz infolge einer geringen Masse und optimierten Aerodynamik. Im Projekt wurde für den EMW eine innovative Tragstruktur sowie ein neues Einzelfahrwerk entwickelt. Der gesamte Wagen wurde als Demonstrator mit einer Gesamtmasse von 11 600 kg realisiert, auf der InnoTrans 2022 ausgestellt und unter realen Bedingungen erprobt.

Abstract

The Extended Market Wagon (EMW) is an innovative, lightweight-optimized freight wagon that was developed and built as part of the Fr8Rail 4 project within the framework of Europe's Rail. The concept is aimed at new rail freight transport opportunities through the use of modern telematics, sensors and automation technologies, as well as high energy efficiency thanks to low mass and optimised aerodynamics. An innovative underframe structure and a new single-wheelset bogie design were developed for the EMW as part of the project. The entire wagon was realized as a demonstrator with a total mass of 11 600 kg, exhibited at the InnoTrans 2022 and tested under real conditions.

1 Einleitung

Der Extended Market Wagon (EMW) ist ein innovativer leichtbauoptimierter-Güterwagen der als Teil des Fr8Rail 4-Projekts im Rahmen von Europe's Rail entwickelt und gebaut wurde. Das Fr8Rail 4-Projekt schließt die Gesamtheit aller Fr8Rail (Fr-„eight“-Rail, engl. für Güterzug) Projekten ab, die sich mit der Verbesserung der Effizienz und Kapazität des Schienengüterverkehrs durch den Einsatz moderner Technologien, Designstrategien und Betriebskonzepte befassen. Für den innerhalb des Konsortiums „Competitive Freight Wagon“ (CFW) entwickelten EMW bedeutet dies besonders leichte Wagenrahmen- und Fahrwerksstrukturen, aerodynamische Verkleidungen, eine vielseitige Onboard-Telematik und eine moderne Betriebsstrategie, die darauf ausgelegt ist, mit dem Straßengüterverkehr zu konkurrieren [1]. Der EMW ist bezüglich der Frachtabfertigung auf einen hohen Automatisierungsgrad ausgelegt. Hierbei wird der Status des Zuges und seiner Systeme elektronisch überwacht, zudem können Kuppelvorgänge sowie die Verriegelung und Freigabe der transportierten Container vollständig ferngesteuert erfolgen.

Die Rahmenbedingungen für den EMW wurden in den vorangegangenen Fr8Rail-Projektphasen definiert. Er soll als Ganzzug aus permanent gekoppelten Wagenpaaren betrieben werden, der den schnellen Transport von Wechselbehältern und Containern auf geschlossenen Schleifen oder Punkt-zu-Punkt-Strecken zwischen intermodalen Terminals und anderen Kunden ermöglicht. Das Fahrzeugkonzept selbst besteht aus zweiachsigen Wagons die jeweils zwei Wechselbrücken transportieren können (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Gemäß den Anforderungen des Fr8Rail-Projekts wurde der EMW mit einer Ladehöhe von unter 1000 mm entwickelt, um 2,9 m hohe High-Cube-Wechselbehälter auch auf Strecken mit kleineren Lichtraumprofilen transportieren zu können. Die Wahl der Ladehöhe beeinflusst das Design des Konzepts erheblich, da die Radsatzabmessungen und auch die Kupplungshöhe von diesem Parameter beeinflusst werden.

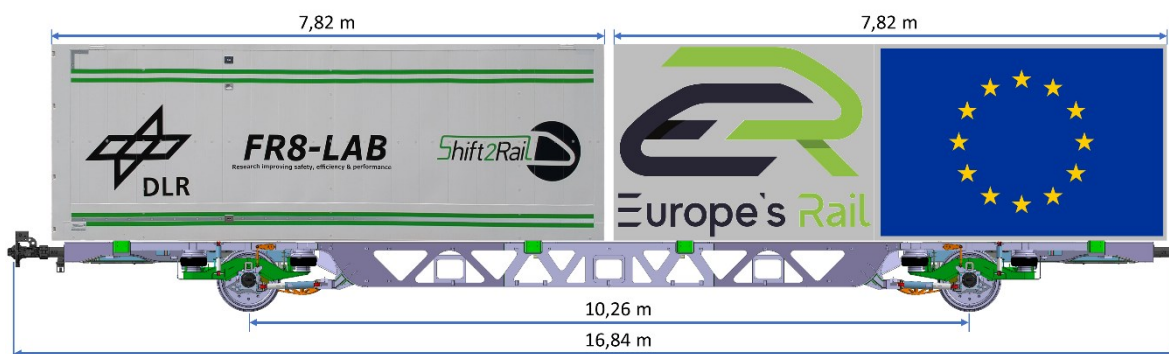


Abbildung 1

Die Aerodynamik spielt beim Gesamtkonzept des EMW eine große Rolle, da der Zug-Verband mit einer Zielgeschwindigkeit von 140 km/h verkehren soll und somit wesentlich schneller als übliche europäische Güterzüge sein soll. Neben der geringen Höhe des Fahrzeugs sollen dabei auch geringe Kupplungsabstände und aerodynamische Verkleidungen des Tragrahmens zu einer wesentlichen Verringerung des aerodynamischen Widerstands beitragen.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist im Rahmen von Fr8Rail 4 für die Berücksichtigung der gesetzten Anforderungen und Spezifikationen bei der Realisierung des Demonstrators zu verantwortlich. Der primäre Fokus des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte liegt auf der Konzeption, dem detaillierten Design und der Hardware-Umsetzung der strukturellen Komponenten des EMW. Zu diesen Komponenten gehören der Rahmen des Wagens, das neuartige, speziell für ihn entwickelte Einzelradsatz-Fahrwerk sowie die weiteren strukturellen Komponenten, die zur Verbindung dieser Baugruppen zu einem voll funktionsfähigen Güterwagen erforderlich sind. Abschließend muss der EMW unter realen Bedingungen geprüft werden und seine Fahreigenschaften in verschiedenen Tests zu beweisen.

2 Entwicklung des Leichtbauoptimierten EMW

Im Zuge der Entwicklung der leichtbauoptimierten Strukturen des EMW, wurden Bauräume für die Tragstruktur und den Rahmen des Fahrwerks definiert und die Randbedingungen und die relevanten Massen und Lastfälle gemäß EN 12663-2 sowie der relevanten Nutzungsszenarien aufgebracht [2]. Im Zuge einer auf Finite-Elemente (FE) basierten Topologieoptimierung wurden die relevanten Lastfälle auf das Modell angewendet und die resultierten Lastpfade im Bemessungsvolumen berechnet. Bei der Topologieoptimierung wird, vereinfacht gesagt, die Dichte der höher belasteten Elemente iterativ erhöht ebenso die Dichte der weniger belasteten Elemente verringert. Dies wird solange wiederholt bis die für diese Optimierung festgelegten Randbedingungen erfüllt und gleichzeitig eine optimale

Masse erreicht wird. Der EMW wurde dabei in einem zweistufigen Verfahren optimiert. In der ersten Iterationsschleife lag das Optimierungsziel des Solvers bei der Minimierung der Strukturmasse. Auf Basis dieser wurde in der zweiten Iterationsschleife das Ziel der maximalen Steifigkeit bei gegebener einzuhaltender Masse gesetzt. Beide Optimierungen wurden dabei unter Berücksichtigung der lokalen Verformungen und weiteren gesetzten Randbedingungen durchgeführt. Dieser Prozess wurde für den Wagenkasten und den Rahmen des Fahrwerks getrennt durchgeführt.

Anhand der Ergebnisse dieser Optimierungen wurden detaillierte Blechkonstruktionen für die Tragstruktur unter Berücksichtigung von Herstellbarkeit, Kosten und Haltbarkeit ausgearbeitet. Diese Anforderungen, die oft im Widerspruch zueinanderstehen, erfordern eine iterative Methodik der Konstruktion von Teilen, der Durchführung von FE-Analysen und Optimierungsläufen und der Überarbeitung des Entwurfs. All diese Schritte münden in der leichtbauoptimierten Tragstruktur des EMW, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** [4],[7].

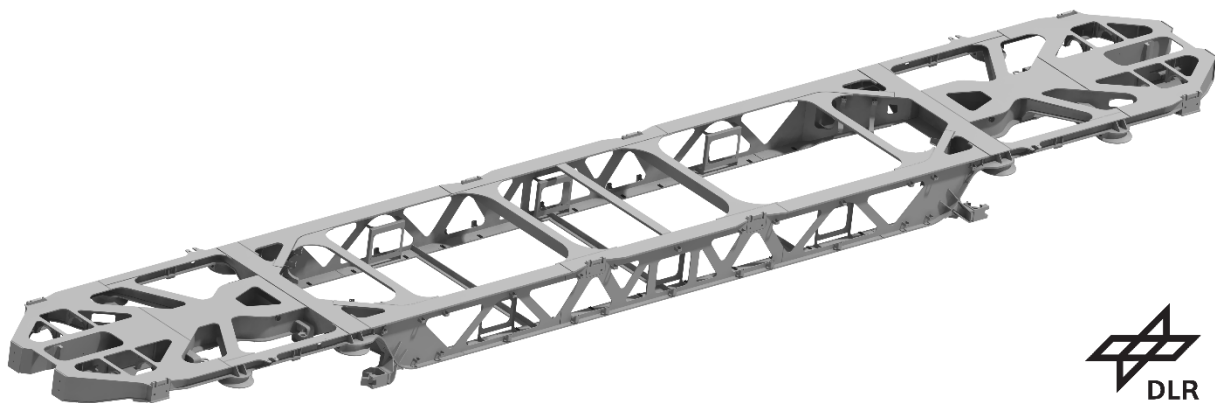


Abbildung 2

Die Konstruktion der Tragstruktur ist vollständig auf den vorgesehenen Einsatz spezialisiert. Da die Wechselbehälter ihre Befestigungsbeschläge nicht direkt an den Ecken haben und der Wagen ausschließlich für den Einsatz von Mittelpufferkupplungen (digitale automatische Kupplung, oder DAC) konzipiert worden ist, sind an den Enden der Wagenkastenstruktur die Ecken abgeschrägt um Masse einzusparen. Montagepositionen für wichtige Komponenten sind direkt in die Struktur integriert, z.B. die ferngesteuert elektrisch verriegelbaren Containerzapfen beidseitig in die Langträger, sowie die für Integration der notwendigen Elektronik am Steg des Langträgers.

Für die Fahrwerke erforderten die besonderen Anforderungen des EMW eine völlig neue Konstruktion. Die niedrige Ladehöhe des Wagens (unter 1000 mm) begrenzt den Raddurchmesser auf nur 850 mm. Dies, sowie die strukturellen Anforderungen des Wagens und die geplante Betriebsgeschwindigkeit von 140 km/h, erforderten den Einbau von radmontierten Scheibenbremsen mit den dazugehörigen Bremsätteln. Um diese Anforderungen mit einer verbesserten Fahrqualität zu erfüllen und gleichzeitig den Verschleiß und die Geräuschentwicklung zu reduzieren, wurde das neue Fahrwerk mit einer zweistufigen Federung und einer freien Lenkeinstellung um einen virtuellen Drehpunkt konzipiert. Große Lenkwinkel werden dadurch bei niedrigen Geschwindigkeiten ermöglicht. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt das fertige Fahrwerk des EMW [4], [7]. Dabei verbindet der Fahrwerksrahmen (blau) alle Komponenten und überträgt die Kräfte auf die beiden Zugstangen (orange, unten links). Diese laufen zur Mitte des Fahrwerkes zusammen und bilden dort einen virtuellen Drehpunkt.

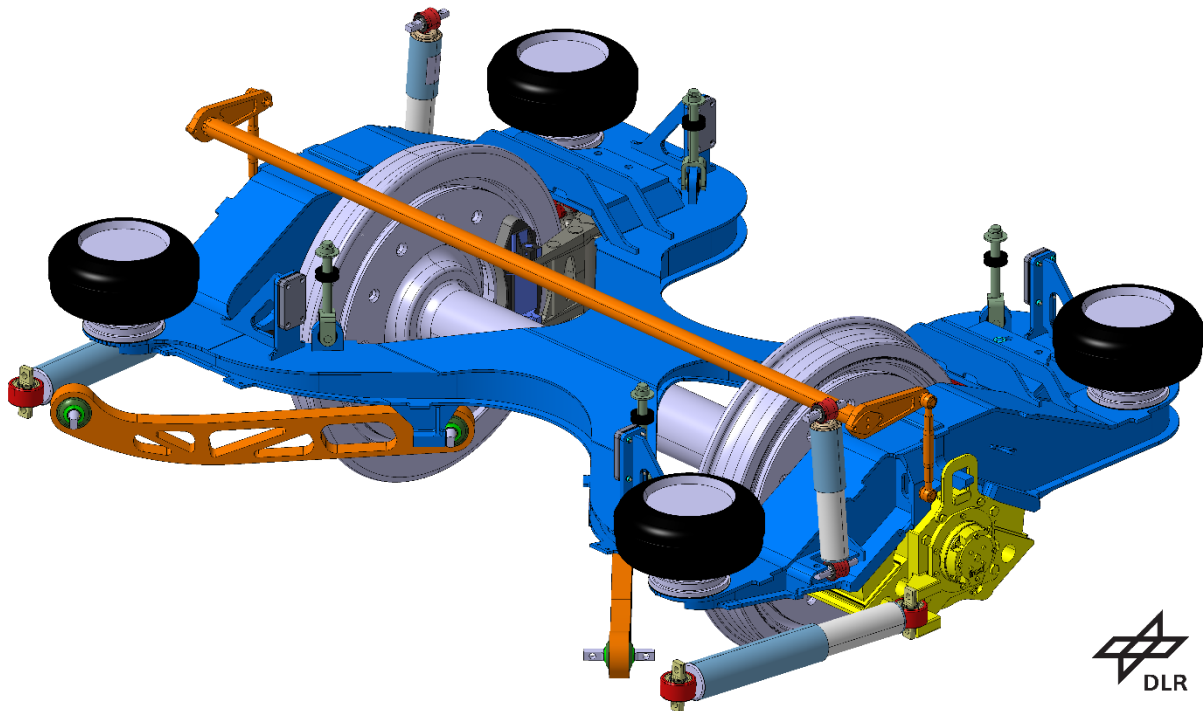


Abbildung 3

Um die Fahreigenschaften dieses neuartigen Fahrwerks zu bewerten und eine gute Fahrstabilität und Entgleisungssicherheit auch bei hohen Geschwindigkeiten zu gewährleisten, wurden Mehrkörpersimulationen (MKS) unter Berücksichtigung des vorgegebenen Anwendungsfalls und der EN 14363 durchgeführt. Die Simulationen eines unbeladenen EMW zeigten ein stabiles Fahrverhalten bei allen Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h. In allen Beladungszuständen wurde ein gutes Verhalten für den EMW bei seiner maximalen Betriebsgeschwindigkeit von 140 km/h simulativ nachgewiesen.

Insgesamt konnte mit Hilfe von Werkzeugen wie Topologie-Optimierungen und FEM-Strukturanalysen sowie der Gestaltung der Konstruktion anhand der Verwendung der DAC und der speziellen Einzelfahrwerke, ein neuer, innovativer leichtbauoptimierter Güterwagen entwickelt werden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dank der strukturellen Optimierung und dem konsequenten Leichtbau wiegt der EMW rund 11 600 kg [8]. Bezogen auf seine Länge von 16,84 m ist das Fahrzeug 23,5 % leichter als der vergleichbare LGS 580 [5][4] und 9,1 % leichter als der 5L next [6].

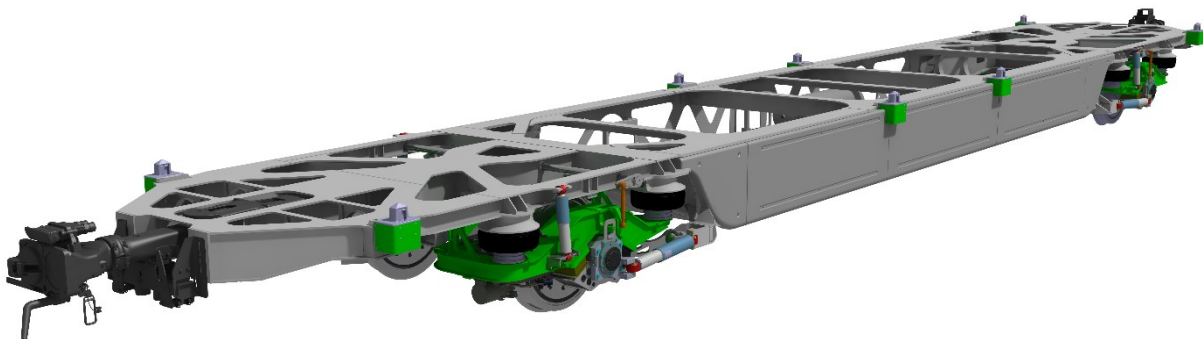


Abbildung 4

3 Fertigung und Montage des EMW

Im Zuge des Fr8Rail Projektes wurde der EMW als physischer Demonstrator aufgebaut. Die detaillierten Konstruktionen der Tragstruktur und der neuartigen Einzelradsatz-Fahrwerke wurden in Zeichnungen abgeleitet und dem Fertiger übergeben. Die Tragstruktur und die Fahrwerke wurden als Schweißbaugruppen aus S355 J2 gefertigt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden., Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Für die Montage des EMW wurden die diversen Anbauteile (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) aller beteiligten Partner über mehrere Wochen im Sommer 2022 zusammengesetzt bzw. montiert. Während der Montage wurden verschiedene Funktionen wie die Fernzugriffs- und Ortungstelematik sowie die Hardwarefunktionalität der DAC Typ 5 und der Luftfederung getestet. Der fertiggestellte EMW mit allen getesteten Komponenten konnte auf der InnoTrans im September 2022 erfolgreich präsentiert werden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).



Abbildung 5



Abbildung 6

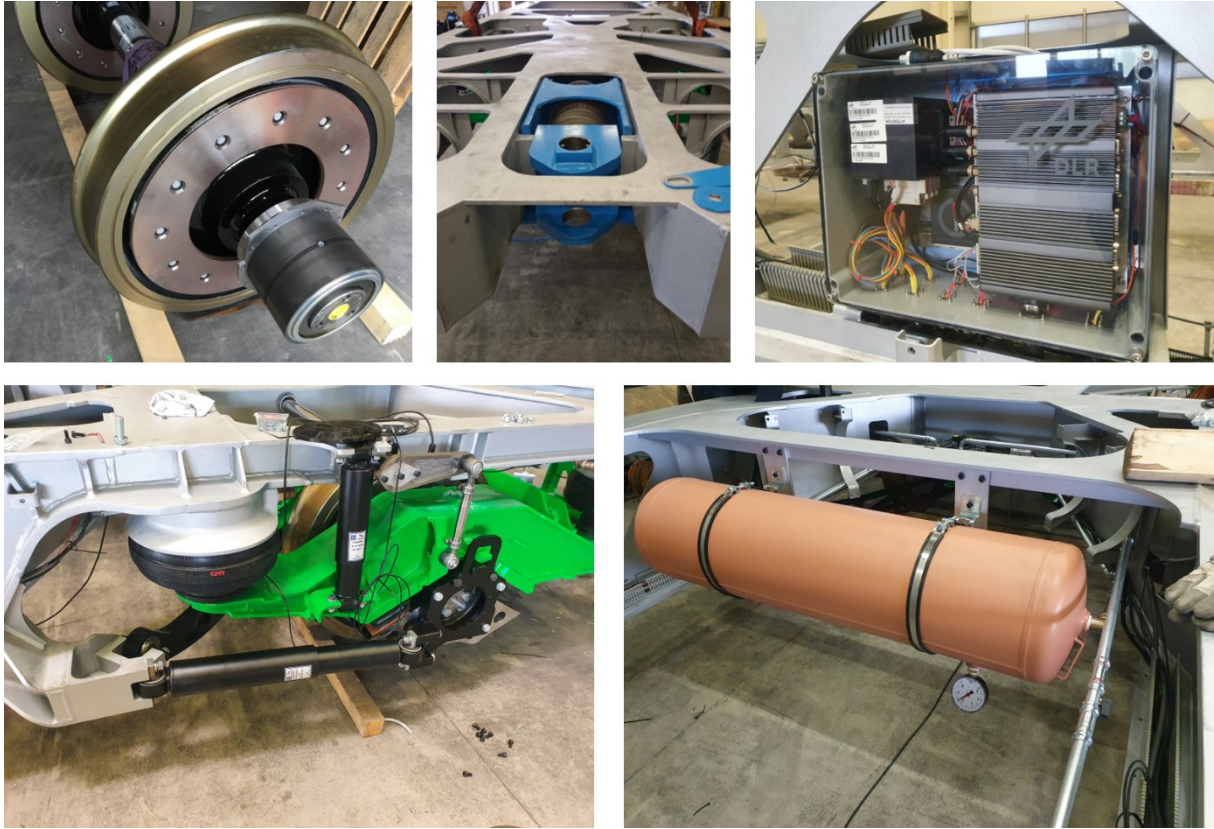


Abbildung 7



Abbildung 8

4 Erprobung des EMW

Im Nachgang zur InnoTrans 2022 wurde der EMW auf realen Gleisen erprobt. Ziel dieser Tests war es, die Funktionalität im realen Fahrbetrieb zu demonstrieren und das bis dahin nur simulativ nachgewiesene stabile Verhalten zu verifizieren. Die Prüfkampagne wurde bei VUZ (Výzkumný Ústav Železniční, a. s.) in Tschechien von VÚKV durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf der Überprüfung der Fahreigenschaften und somit auf den mechanischen Komponenten und dem Fahrwerk. Die elektronischen Systeme des EMW waren während der Tests nicht aktiv, da sie als nicht relevant für das physische Fahrverhalten des Wagens angesehen wurden und bereits in anderen Situationen erprobt worden waren.

Die Tests sollten sowohl Läufe mit aktiver als auch mit ausgeschalteter Luftfederung umfassen, nach der Standzeit im Freien über den Winter 2022/2023 zeigten sich allerdings Probleme mit der Sensorik der Luftfederung. Aufgrund von Lieferschwierigkeiten mit Ersatzteilen wurde entschieden die Erprobung abweichend vom ursprünglichen Plan mit ausgeschalteter Luftfederung durchzuführen. Dieser Zustand (Fahrt auf Notfedern/leeren Luftfedern) stellt die ungünstigste Konfiguration mit der geringstmöglichen Torsionsnachgiebigkeit dar und ist meist der kritischere Fall, daher sind die Tests für eine Bewertung des sicheren Fahrverhaltens dennoch unter gewissen Voraussetzungen relevant.

Zur Bewertung des Verhaltens des Wagens unter möglichst vielen Bedingungen wurde eine Prüfkampagne mit unterschiedlichen Testszenarien durchgeführt. Die durchgeführten Tests waren, im Überblick:

- 1 Test zur Sicherheit gegen Entgleisung (quasistatischer Verwindungstest nach EN 14363 Methode 2 [3])
 - Wagen in fünf Beladungszuständen, leer bis 24 t beladen
 - Messung der Radkräfte auf einem Prüfstand
 - Messung der Rad-Schiene-Kräfte in einem flachen 150m Bogen
- 2 Fahrttest in einer instrumentierten Kurve bei niedriger Geschwindigkeit ($R = \text{ca. } 150 \text{ m}$)
 - unbeladen und voll beladen mit 24 t
 - Kräfte je Messgleis in 3 Messpositionen gemäß EN 14363 gemessen
- 3 Fahrttest gemäß EN 15839 in S-Kurve mit kleinem Radius (150 m)
 - voll beladen mit 24 t
- 4 Fahrttest auf gerader Strecke und in Bögen mit großen Radien (1400 m)
 - unbeladen und voll beladen mit 24 t
 - Überprüfung der Fahrstabilität/-sicherheit bis Geschwindigkeiten von 140 km/h

Die grundlegenden Rad-Schiene-Interaktionskräfte (Y, Q) wurden wie oben beschrieben in einem instrumentierten Gleisabschnitt gemessen. Der Einsatz von sonst üblichen Messradsätzen war angesichts der nicht standardisierten Radsätze und der verbauten Radbremsscheiben nicht praktikabel. Da mit Hilfe von instrumentierten Gleisen und verschiedenen Weg- und Beschleunigungssensoren genügend Informationen gesammelt werden konnten, wurde die Herstellung von Messradsätzen als vermeidbares Risiko erachtet.

Zur Messung der Fahreigenschaften wurde eine Vielzahl von Beschleunigungs- und Wegsensoren verwendet. Die folgenden Variablen wurden während der Erprobung gemessen:

- 1 Gieren des Radsatzes
- 2 Primärfederung vertikal

- 3 Primärfederung lateral
- 4 Sekundärfederung vertikal
- 5 Sekundärfederung lateral
- 6 Wanken
- 7 Nicken des Fahrwerkrahmens
- 8 Beschleunigungen am Wagen und am Fahrwerk

Zusätzlich zu den vorhandenen Sensoren wurden zwei Kameras installiert. Dies wurde angewandt, um im Nachgang Rückschlüsse auf besondere Ereignisse ziehen zu können. Die Kameras filmten einerseits den Rad-Schiene-Kontakt des führenden Radsatzes und andererseits den EMW von oben und somit das Gesamtverhalten.

5 Ergebnisse der Erprobung

Die Versuche begannen im Mai 2023 mit dem Test zur Überprüfung der Entgleisungssicherheit. Dieser zweiteilige Test bestand aus einem Verwindungstest zur Bestimmung der Rad-Schiene-Kräfte in einer instrumentierten Strecke sowie mit einem mobilen Prüfstand (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Im Prüfstand wird je eine Gewindespindel des Prüfstandes unter jedem Rad angebracht um die diagonal gegenüberliegenden Räder anzuheben. Auf diese Weise wird die Torsionsnachgiebigkeit getestet und somit die Fähigkeit verwundene Gleise ohne Entlastung der Räder zu durchfahren.

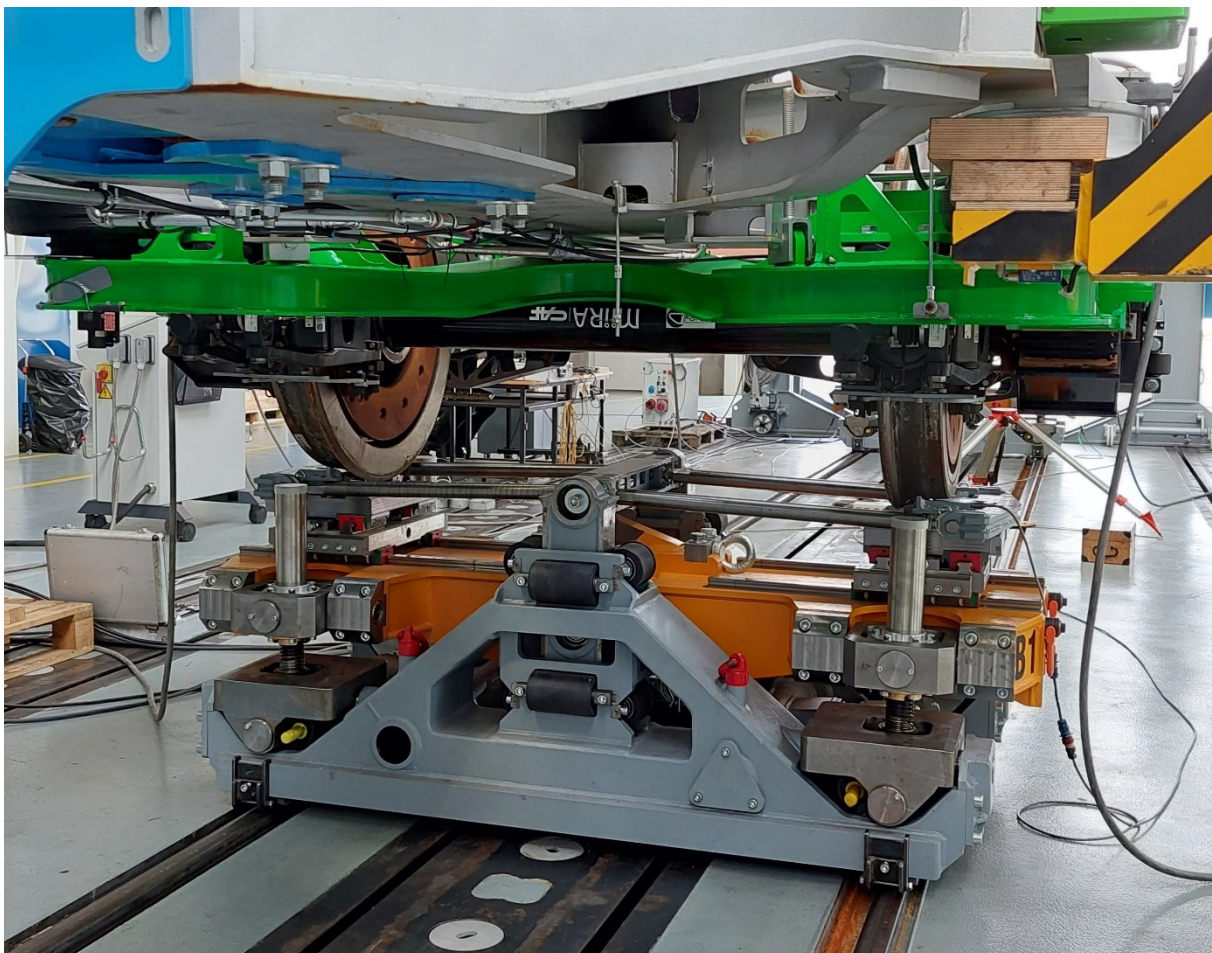


Abbildung 9

Der Test im Prüfstand wurde in fünf verschiedene Beladungszustände durchgeführt, von unbeladen bis vollständig beladen. Wie oben beschrieben wurden diese Tests mit leeren Luftfedern durchgeführt. Trotz der steifen Notfedern wies der Wagen eine ausreichende Nachgiebigkeit auf, ohne dass die Räder entlastet wurden, selbst bei stärkster Verwindung des leeren Wagens. Diese Ergebnisse wurden später bei der Messung der Rad-Schiene-Kräfte in der Kurve mit einem Radius von 150 m bestätigt. Bei den Tests konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse des Verwindungstests im unbeladenen mit entlüfteten Luftfedern sehr gut mit den Ergebnissen der MKS übereinstimmen. In der MKS beträgt die minimale Radaufstandskraft $Q_{jk,min} = 11,8$ kN. Im Verwindungstest (siehe oben) lag $Q_{jk,min}$ zwischen 10,2 und 17,1 kN.

Mit dem erfolgreichen Abschluss des Verwindungstests wurde eine Komponente des Nachweises der Sicherheit gegen Entgleisung bestanden. Dies war die Voraussetzung für alle folgenden Tests und ermöglichte die Prüfung in der instrumentierten Kurve mit 150 m Radius (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und in der S-Kurve mit 2 x 150 m (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Für diese Tests wurde der EMW bei einer niedrigen Geschwindigkeit von ca. 5 km/h gemäß EN 14363 [3] durch das Gleis gezogen. Insgesamt verhielt sich der EMW bei den Tests gemäß den Erwartungen und simulativen Analysen. Der Wagen zeigte ein gutes Verhalten und keine Tendenz der Räder in der Kurve zu klettern, wobei das Verhältnis von Y/Q unter allen Beladungsbedingungen unter dem kritischen Schwellenwert von 1,2 blieb. Auch bei den Fahrten im S-Gleisbogen zeigte der EMW bei einer Last von 24 t das erwünschte Verhalten. Die radiale Lenkfunktion der Fahrwerke konnte demonstriert werden und damit auch die Fähigkeit in engen und komplexen Gleisverläufen verschleiß- und geräuscharm zu fahren.

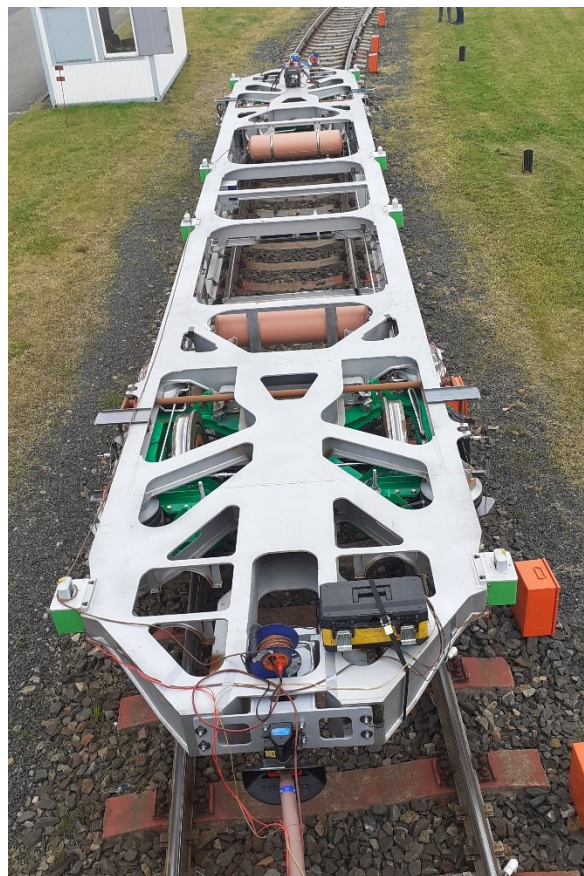


Abbildung 10



Abbildung 11

Die positiven Ergebnisse der vorangegangenen Versuche ermöglichte die Erprobung auf dem großen Testring. Die Fahrversuche wurden zunächst im unbeladenem Zustand durchgeführt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei wurden die Versuche mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h begonnen und die Geschwindigkeit schrittweise um je 10 km/h auf die Zielgeschwindigkeit von $v_{\max} = 140$ km/h erhöht. Ab einer Geschwindigkeit von 120 km/h betrug die Erhöhung aus Sicherheitsgründen nur noch 5 km/h. Die unbeladenen Fahrten verliefen erfolgreich; der Wagen bleibt trotz ausgeschalteter Luftfederung stabil und lief unauffällig. Dies stimmte mit den Simulationsergebnissen aus der MKS überein, die unter den meisten Beladungsbedingungen eine Stabilität bis zu 200 km/h gezeigt hatten.



Abbildung 12

Nach den positiven Fahrversuchsergebnissen mit dem unbeladenen EMW wurde der Wagen mit 24 t beladen und die Erprobung fortgeführt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Versuche begannen ebenso bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h, mit dem Ziel diese bis 140 km/h schrittweise zu erhöhen. Beim Test entwickelte der hintere Radsatz ab ca. 30 km/h in einer Kurve mit ca. 140 mm Überhöhung einen hohen Widerstand und die Fahrt wurde aus Sicherheitsgründen angehalten. Eine tiefgehende Untersuchung der Ursache war mit den vor Ort verfügbaren Mitteln in der verfügbaren Zeit nicht möglich. Erste Hinweise deuten auf eine unerwartete Reibung in der Labyrinthdichtung hin. Der voll beladene Wagen konnte im Rahmen dieser Testkampagne nicht bis 140 km/h getestet werden, nichtsdestotrotz konnte beobachtet werden, dass der EMW während des Ereignisses ein stabiles und sicheres Fahrverhalten aufwies.



Abbildung 13

Mit dem vorgestellten konstruktiven Leichtbauansatz des EMW ist es den Partnern des CFW-Konsortiums gelungen ein leichtes und innovatives Fahrzeugkonzept mit einer Gesamtmasse von rund 11 600 kg und gleichzeitig stabilem Fahrzeugdynamischen Verhalten zu entwickeln. Dabei wurde die strukturelle Masse des EMW bezogen auf die Länge gegenüber vergleichbaren Wagen um bis zu 23,5 % reduziert und ein stabiles Fahrverhalten in Simulationen und realen Fahrversuchen bestätigt. Der EMW zeigte in allen durchgeführten Tests ein gutes Verhalten, sogar in seiner ungünstigsten Konfiguration mit entleerten Luftfedern. Selbst im Fehlerfall bewies der EMW seine Fehlertoleranz und die Stabilität seiner Konstruktion durch sein unproblematisches Verhalten.

Die durchgeführten Tests bestätigten die Simulationen und erfüllten die Projektziele der Projektbeteiligten. Die grundsätzlichen Funktionen des Tragwagens konnten erfolgreich nachgewiesen werden. Mit der Demonstration des Wagens (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) hat das Projekt einen wichtigen Schritt in die Richtung eines leistungsfähigeren, intelligenteren und konkurrenzfähigeren Schienengüterverkehrs gemacht. Dabei liefert der EMW auch einen wichtigen Faktor für die Dekarbonisierung des Güterverkehrs durch die Verdrängung des fossil betriebenen Straßengüterverkehrs. Die im EMW integrierten Konzepte und Technologien ermöglichen einen hochflexiblen Betrieb und hohen Automatisierungsgrad, welche es einer neuen Generation von Güterwagen erlauben werden das derzeitige Angebot im Schienengüterverkehr zukunftsorientiert zu ergänzen.

Dieses Projekt wurde vom Shift2Rail Joint Undertaking (JU) im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 101004051 finanziert. Das Joint Undertaking erhält Unterstützung aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union und von den Shift2Rail-Mitgliedern außerhalb der Union.

Diese Veröffentlichung gibt nur die Meinung der Autoren wieder. Das JU ist nicht verantwortlich für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.



- [1] Bänsch, R et al.: *CFW – Das Schienengüterverkehrskonzept von morgen*. In: Eisenbahningenieur, Issue 9, September 2022
- [2] EN 12663-1 *Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies – Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons)*, DIN e.V., 2010
- [3] EN 14363 *Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Running Behaviour and stationary tests*. DIN e.V., 2013
- [4] Kirkayak, L. et al. *Lightweight Design Concept Methodology of the Extended Market Wagon: A Shift2Rail Project* [Konferenzbeitrag]. In: World Congress on Railway Research 2022, Birmingham, UK, 06.-10. Juni 2022.

- [5] Gueterwagenkatalog.dbcargo.com. 2021. LGS 580. [online]:
<<https://gueterwagenkatalog.dbcargo.com/katalog/nach-gattung/Lgs-580-5852654>>
[Zugegriffen am 22. April 2021].
- [6] Hofstetter, Stefan (2019): Weiterentwicklung Schienengüterverkehr: vom 5L-Wagen zum intelligenten Güterzug. In: *ZEV Rail Tagungband SFT Graz* 143, S. 88–91
- [7] Krüger, D. et al. Lightweight Design of the Extended Market Wagon - An Innovative Freight Wagon Developed in Fr8Rail 4, a Europe's Rail Project, *Internationales Verkehrswesen* (3), Seiten 54-57. Deutscher Verkehrs Verlag Media Group, Hamburg. ISSN 0020-9511
- [8] Winkler-Höhn, R. et al. Successful use of comprehensive lightweight construction, the Extended Market Wagon [Konferenzbeitrag] In: International Conference on Vehicle Body Engineering (VBE) in Proto 2023.
- [9] Bell, James und Buhr, Alexander und Henning, Arne (2022) [*Measuring the oncoming flow that operational freight-trains experience using the DLR FR8-LAB*](#). In: 23rd STAB/DGLR Symposium on New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics. 23. STAB-DGLR-Symposium 2022, 9.-10. Nov. 2022, Berlin, Deutschland.
- [10] Bell, James und Henning, Arne (2022) [*Full-scale aerodynamic measurements on-board a freight train during specific operating scenarios using the DLR FR8-LAB*](#). In: Railways, Seiten 1-6. 5th International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, 22.-25.08.2022, Montpellier, Frankreich.

ANMERKUNG AN DIE REDAKTION: Alle Anschriften sind gleich, möglicherweise gesammelt nennen?

Christian Gomes Alves *M.Sc.* Studium des Maschinenbaus an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Mannheim und an der Universität Stuttgart. Seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte auf dem Gebiet der Schienenfahrzeugarchitekturen. Arbeitsschwerpunkte: Simulation und Berechnung von Schienenfahrzeugkomponenten sowie Automatisierung von Prozessabläufen.

Anschrift: DLR Institut für Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Deutschland. christian.gomesalves@dlr.de

Robert Winkler-Höhn *M.Sc.* geb. Höhn. Von 2005 bis 2008 als Chemielaborant beim Chemischen und Veterinäruntersuchungsamt Karlsruhe tätig. Studium des Maschinenbaus an der Hochschule Karlsruhe sowie der Kunststofftechnik und Faser-Kunststoff-Verbunde an der Technischen Universität Kaiserslautern bis 2015. Seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Stuttgart, Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte auf dem Gebiet der Schienenfahrzeugarchitekturen. Anschrift: DLR Institut für Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Deutschland. robert.winkler-hoehn@dlr.de

Dipl.-Ing. Mathilde Laporte. Studium des Maschinenbaus an der Sigma Clermont University, Frankreich, bis 2021. Seit 2021 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Stuttgart, Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte auf dem Gebiet der Schienenfahrzeugarchitekturen.

Anschrift: DLR für Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Deutschland.
mathilde.laporte@dlr.de

Nicolai Schmauder *M.Sc.* Studium der Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart bis 2021. Seit 2021 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte. Arbeitsschwerpunkte: Berechnung und Optimierung von Tragstrukturen und Ableitung konzeptioneller Bauweisen.
Anschrift: DLR Institut für Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Deutschland. nicolai.schmauder@dlr.de

David Krüger *B. Eng. (McGill University)* Studium bis 2006 (Mechanical Engineering) an der McGill University in Montréal, Kanada. 2005 bis 2008 Design Engineer (E.I.T.) bei Steelworks Design in Peterborough, Kanada. Von 2008 bis 2012 Entwicklungs- und Projektingenieur bei Vossloh High Speed Grinding (ehemals Stahlberg-Roensch) in Hamburg. Seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte, seit 2017 im Forschungsfeld Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte.
Anschrift: DLR Institut für Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Deutschland. david.krueger@dlr.de

Dr.-Ing. Gerhard Kopp, bis 2005 Studium der Luft- und Raumfahrttechnik, 2015 Abschluss Dissertation an der Universität Stuttgart. Seit 2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart. 2012-2013 Teamleiter „Leichtbaukonzepte Schienenfahrzeuge und Nutzfahrzeuge“. 2014-2017 Teamleiter „Leichtbaukonzepte und Methoden Straßenfahrzeuge“ 2017-2018 - Gruppenleiter „Leichtbaukonzepte und Methoden Straßenfahrzeuge“. Seit 2018 Abteilungsleiter „Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte“.
Anschrift: DLR Institut für Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Deutschland. gerhard.kopp@dlr.de