

DATipilot Modul 1 Innovationssprints

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Kurzbericht und Eingehende Darstellung öffentlich

Auslegungsmethodik für Leichtbauoptimierte Flexible Aufbauten für den
Schiengüterverkehr

ALFA-SGV

Institution	Name Projektleitung	Förderkennzeichen
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Fahrzeugkonzepte	Christian Gomes Alves	03DPS1195

LAUFZEIT: 01.09.2024 – 31.05.2025

Stuttgart, den 01.10.2025

Autorenschaft: Christian Gomes Alves, Mathilde Laporte, David Krüger*

**Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den
Autoren.**

Inhalt

1	Kurzbericht	2
1.1	Ausgangslage des Vorhabens.....	2
1.1.1.	<i>Ursprüngliche Aufgabenstellung.....</i>	<i>2</i>
1.1.2.	<i>Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele.....</i>	<i>2</i>
1.1.3.	<i>Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</i>	<i>2</i>
1.2	Ablauf des Vorhabens	3
1.3	Ergebnisse des Vorhabens	3
1.3.1.	<i>Wesentliche Ergebnisse.....</i>	<i>3</i>
1.3.2.	<i>Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....</i>	<i>3</i>
2	Eingehende Darstellung	4
2.1	Durchgeführter Arbeitsplan.....	4
2.2	Erreichte Meilensteine.....	6
2.3	Erreichte Ergebnisse	7
2.3.1	<i>Erreichung der Gesamtziele</i>	<i>7</i>
2.3.2	<i>Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele</i>	<i>7</i>
2.4	Verwertung.....	7
2.4.1	<i>Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses</i>	<i>7</i>
2.4.2	<i>Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens.....</i>	<i>7</i>
2.4.3	<i>Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse</i>	<i>8</i>
2.4.4	<i>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit.....</i>	<i>8</i>

1 Kurzbericht

1.1 Ausgangslage des Vorhabens

1.1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Gesamtziel des Innovationssprints	Das Ziel dieses Projekts ist die Erarbeitung eines Leitfadens zur Auslegung von leichtbauoptimierten Transportbehältern. Diese ermöglichen eine flexible Angebotsanpassung an einen stetig dynamischeren Markt und trägt aktiv zur Verkehrsverlagerung auf die ressourceneffiziente Schiene bei. Dieser Leitfaden stellt die Basis der Konstruktion und Auslegung der Transportbehälter für sämtliche Anwender dar.
--	---

1.1.2. Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele

Geplante konkrete Arbeitsziele
Ein Leitfaden, der es jedem ermöglicht, einen bahngerechten Behälter für ein zu transportierendes Gut zu entwickeln

1.1.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Stand der Wissenschaft und Technik

Bei der Dimensionierung von Güterwagen wird in der Regel eine dauerfeste Auslegung gewählt. Dies setzt im Normalfall eine Lebensdauer von > 40 Jahren bei Güterwagen voraus. Betroffen ist hiervon bei klassischen Güterwagen auch die Dimensionierung der Aufnahmen von Ladegütern. Durch die Funktionstrennung bei neuartigen multifunktionalen Güterwagen kann erstmals ein Aufbau zur Aufnahme von Lagegütern auch betriebsfest ausgelegt werden. Die betriebsfeste Auslegung ermöglicht leichte, für den Betriebszeitraum sichere, kostengünstige und variantenreiche Aufbauten. Mit dem Auslegungs- und Nachweisleitfaden sollen die Entwicklungskosten für diese Aufbauten reduziert werden und das Verfahren im Sektor verankert werden.

Die betriebsfeste Auslegung und die Konsolidierung des Vorgehens in einer Methodik ist für den Anwendungsfall sowie im Schienengüterverkehr neu. Die betriebsfeste Auslegung bei vereinzelt Komponenten im Eisenbahnsystem ist nicht fremd, bezogen sich jedoch bisher überwiegend auf Personenzüge und strukturelle Komponenten der Eisenbahnwagen selbst, nicht auf Behälter für die Ladegüter.

Bisherige Arbeiten

Das DLR und insbesondere das Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart verfügt über erhebliches Wissen im Bereich der belastungsgerechten Auslegung und mechanischen Konstruktion von Schienenfahrzeugstrukturen. Die Erfahrungen werden in die Erstellung des Auslegungsleitfadens einfließen. Der assoziierte Partner VTG hat einen großen Schatz an Erfahrung und Wissen im Bereich des Eisenbahnbetriebs und der Belastungen, die für die Auslegung von Konstruktionen im Bahnbereich relevant sind.

Die genannten neuartigen multifunktionalen Güterwagen wurden bereits mit Aufbauten ausgestattet. Bei deren Dimensionierung wurden jedoch klassische statische und/oder dauerfeste Auslegungsverfahren gewählt. Die Vorarbeiten zur Auslegungsmethodik für Leichtbau-Aufbauten und die verbundene betriebsfeste

Auslegung bezogen sich bisher auf die Evaluierung und Bewertung von Risiken zur Einführung in das Eisenbahnsystem. So wurde die technische und rechtliche Umsetzbarkeit geprüft.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Zu Beginn des Projekts wurde ein Workshop mit dem assoziierten Partner VTG gehalten, in dem die Projektziele abgesteckt und direkter Industrieinput zu den geplanten Inhalten des Leitfadens eingeholt wurde. Danach wurden die Arbeitspakete gemäß der Planung bearbeitet. Im ersten Schritt (Arbeitspaket 1) erfolgt eine umfassende Analyse der Lasten und Lastannahmen, wobei statische und dynamische Belastungen aus Fahrzeug, Ladung und Betrieb erfasst sowie kombinierte Lastszenarien modelliert werden. Arbeitspaket 2 vertieft diese Erkenntnisse durch konkrete Empfehlungen zur Konstruktion und Festigkeitsanalyse: Geometrische Randbedingungen, Werkstoffwahl (von Stahl bis zu Faserkunststoffverbund) und normative Vorgaben werden systematisch aufbereitet. Ergänzt wird die Festigkeitsanalyse durch Hinweise zur Schwachstellenidentifikation, bei der hochbelastete Bereiche bewertet und Sicherheitsfaktoren aus Regelwerken zusammengefasst werden. Schlussendlich folgen Recherchen und Zusammenstellungen zur Risikoanalyse (Arbeitspaket 3), die sowohl Betriebsfestigkeitsanalyse als auch Risikobewertung und Instandhaltung beinhaltet. Hierzu werden geeignete Analyseverfahren und materialspezifische Betrachtungen (z. B. Wöhlerkurven) detailliert und Empfehlungen zur Ausfall- und Risikobewertung abgeleitet werden, indem Methoden wie FMEA, Ausfallbäume und Weibull-Analysen angeführt werden. Hieraus werden Hinweise gegeben, wie Instandhaltungsintervalle abgeleitet werden können.

1.3 Ergebnisse des Vorhabens

1.3.1. Wesentliche Ergebnisse

Aus dem Gesamtprojekt ist ein Leitfaden entstanden, der als Grundlage dienen kann für die Entwicklung von leichtbauoptimierten Ladegutaufbauten für den Schienengüterverkehr. Die gestellte Aufgabenstellung konnte dabei erfolgreich umgesetzt werden. Nur im Detail mussten Abstriche hingenommen werden, da keine ausreichenden Lastdaten zur Verfügung standen. Dies konnte mit einer allgemeineren Darstellung im Leitfaden aufgefangen werden.

1.3.2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während des Projekts standen wir mit Ansprechpartnern der Firma VTG in regelmäßigem Kontakt, wodurch der Leitfaden an Praxisnähe gewinnen konnte.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Durchgeführter Arbeitsplan

Arbeitspaket	abgeschlossen		
		nicht abgeschlossen	
			nicht durchgeführt
1 Vorarbeiten/Literaturrecherche	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.1 Konstruktion & Festigkeitsanalyse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2 Schwachstellenidentifikation & Sicherheitsfaktoren	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.1 Betriebsfestigkeitsanalyse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2 Schwachstellenidentifikation & Sicherheitsfaktoren	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Arbeitspaket 1 Vorarbeiten/Literaturrecherche

Dieses Arbeitspaket zielt darauf ab, eine systematische Auflistung und Analyse der relevanten Lasten und Lastannahmen für verschiedene Ladegüter im Schienengüterverkehr zu erstellen, wobei sowohl statische als auch dynamische Belastungen berücksichtigt werden. Dabei sollen nicht nur die Lasten aus dem Fahrzeug selbst (wie Eigengewicht, Beschleunigungskräfte oder Bremsvorgänge), sondern auch die spezifischen Belastungen durch unterschiedliche Ladungstypen (z. B. Schüttgüter, Stückgüter, Container oder Sonderladungen) erfasst und klassifiziert werden. Ein besonderer Fokus liegt auf der Erfassung kombinierter Lastszenarien, die im realen Betrieb auftreten, etwa durch Überlagerung von Vertikallasten, Längs- und Querkraften oder durch Wechselwirkungen zwischen Fahrzeugdynamik und Ladungssicherung. Um eine fundierte Grundlage zu schaffen, wird zudem eine umfassende Übersicht über bestehende Literatur, Normen und Richtlinien erarbeitet, die nicht nur den Schienenverkehr, sondern auch verwandte Branchen wie den Luftverkehr umfassen. Dies dient dem Zweck, bewährte Ansätze zu identifizieren, Lücken in der aktuellen Regelwerklage aufzudecken und gegebenenfalls branchenübergreifende Synergien zu nutzen.

Der methodische Ansatz beginnt mit einem Kick-Off-Workshop unter Einbindung aller Projektbeteiligten, um die Anforderungen, Schnittstellen und Prioritäten abzustimmen sowie eine gemeinsame Wissensbasis zu schaffen. Im nächsten Schritt erfolgt die Ableitung statischer Lasten aus Normen auf das Fahrzeug. Diese Daten bilden die Grundlage für die Modellierung realitätsnaher Belastungsszenarien. Parallel dazu wird eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, die sowohl statische Lasten als auch Ermüdungslasten berücksichtigt.

Anschließend werden die identifizierten Einflüsse auf die Lasten systematisch zusammengestellt und in thematische Gruppen unterteilt, um wiederkehrende Muster oder kritische Belastungskonstellationen zu erkennen. Aus dieser Analyse lassen sich repräsentative Auslegungslasten ableiten, die als Basis für die Dimensionierung und Bewertung von Fahrzeugkomponenten dienen. Ein zentraler Aspekt der Arbeit besteht darin, die gewonnenen Erkenntnisse auf flexible Aufbauten im Schienengüterverkehr zu übertragen. Hier gilt es insbesondere, die Besonderheiten dieser Bauweisen, wie etwa veränderte Steifigkeitsverteilungen oder dynamische Wechselwirkungen zwischen Aufbau und Ladung, zu berücksichtigen und in die Lastannahmen zu integrieren. Ziel ist es, praxisnahe Empfehlungen für die Auslegung zu entwickeln, die sowohl die Betriebssicherheit als auch die Wirtschaftlichkeit optimieren.

Arbeitspaket 2.1 Konstruktion & Festigkeitsanalyse

In diesem Unterkapitel sollen konkrete Empfehlungen für die Konstruktion und Festigkeitsanalyse flexibler Aufbauten zusammengestellt werden. Es werden geometrische Randbedingungen systematisch aufbereitet. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Werkstoff- und Bauweisenwahl, wobei sowohl klassische Materialien wie Stahl oder Aluminium als auch innovative Leichtbaukonzepte und Verbundwerkstoffe bewertet werden. Um eine normenkonforme Umsetzung zu gewährleisten, wird eine zusammenfassende Darstellung und kommentierte Verweisung auf relevante Normen und Verfahrensanweisungen integriert, die für die Auslegung und Prüfung maßgeblich sind. Besonders hervorzuheben ist dabei die Einbindung statischer Ersatzlasten gemäß Arbeitspaket 1, um sicherzustellen, dass die konstruktiven Lösungen den zuvor ermittelten Belastungsszenarien Rechnung tragen und gleichzeitig die Anforderungen an Sicherheit, Haltbarkeit und Wirtschaftlichkeit erfüllen.

Zu Beginn wird eine Analyse aktueller Bauweisen und Materialien durchgeführt, wie sie in Schienenfahrzeugen und Ladungsträgern eingesetzt werden, aber auch in der Luftfahrt, um Potenziale für Übertragbarkeit oder Optimierung zu identifizieren. Parallel dazu erfolgt eine vertiefte Studie der relevanten Normen und Richtlinien, darunter die FKM-Richtlinie für den Festigkeitsnachweis metallischer Bauteile oder EN 15085 für das Schweißen von Schienenfahrzeugen sowie weitere branchenspezifische Vorschriften, die für die Auslegung flexibler Strukturen von Bedeutung sind. Besonders berücksichtigt werden dabei Aspekte wie Ermüdungsfestigkeit, Korrosionsschutz und die Eignung für dynamische Belastungen.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend bewertet und auf die spezifischen Anforderungen flexibler Aufbauten übertragen.

Arbeitspaket 2.2 Schwachstellenidentifikation & Sicherheitsfaktoren

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wird eine systematische Vorgehensweise zur Identifikation und Bewertung von Schwachstellen in den flexiblen Aufbauten entwickelt. Sie dient zur Erkennung hochbelasteter Bereiche und unterstützt bei deren Bewertung unter Berücksichtigung der gewählten Werkstoffe und Bauweise. Dabei werden relevante Sicherheitsfaktoren aus etablierten Regelwerken wie der FKM-Richtlinie, EN 12663 oder den DVS-Richtlinien 1608 und 1612 zusammengestellt. Ergänzend erfolgt eine strukturierte Aufbereitung der maßgeblichen Normen und Verfahrensanweisungen, die als direkte Arbeitsgrundlage für Konstrukteure und Prüfer dienen soll.

Um dies zu erreichen, wird zunächst eine umfassende Analyse und Zusammenstellung der normativen Grundlagen durchgeführt, wobei besonderes Augenmerk auf Vorschriften gelegt wird, die für die Beurteilung von Ermüdung, Stabilität und Betriebsfestigkeit entscheidend sind. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend auf die Besonderheiten flexibler Aufbauten übertragen, um praxismgerechte Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Den Abschluss dieses Arbeitspakets bildet ein Workshop, in dem die erarbeiteten Ergebnisse abgestimmt werden. Dabei wird nicht nur der bisherige Arbeitsstand kritisch reflektiert, sondern auch eine detaillierte Planung der nächsten Schritte vorgenommen, insbesondere die inhaltliche Ausgestaltung des Leitfadens sowie die Definition der folgenden Arbeitspakete.

Arbeitspaket 3.1 Betriebsfestigkeitsanalyse

Im Rahmen der Betriebsfestigkeitsanalyse erfolgt die Zusammenstellung einer Übersicht über die Auswahl geeigneter Analyseverfahren gemäß den einschlägigen Normen und Richtlinien (bspw. FKM-Richtlinie). Dabei werden nicht nur die verfahrensspezifischen Anforderungen dargestellt, sondern auch materialspezifische Aspekte betrachtet, darunter die Auswertung von Wöhlerkurven für metallische Werkstoffe sowie die Berücksichtigung äquivalenter Belastungsmodelle für Faserverbundkunststoffe. Um eine vollständige

Nachweisführung zu ermöglichen, erfolgt zudem eine Darstellung der relevanten Normen und Verfahrensanweisungen, die für die Betriebsfestigkeitsbewertung maßgeblich sind, inklusive konkreter Verweise auf Prüf- und Berechnungsvorgaben.

Die Herangehensweise beginnt mit einer umfassenden Literaturrecherche zu den Belastungen im Ablaufbergbetrieb, da keine direkten Messdaten vorliegen. Reale Lastaufzeichnungen aus Ablaufbergversuchen konnten nicht herangezogen und auch nicht selbst ermittelt werden. Daher muss die Klassifizierung von Lastkollektiven und damit konkrete Hinweise zu belastungsspezifischen Besonderheiten entfallen. Nichtsdestotrotz werden allgemeine Hinweise zur Ermüdungsfestigkeit zusammengetragen und auf Regelwerke verwiesen. Außerdem wurden Planungen aufgenommen für die Entwicklung eines Messaufbaus, um zukünftig diese Lasten selbst ermitteln zu können.

Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse auf die spezifischen Konstruktionsmerkmale flexibler Aufbauten übertragen, wobei besonders die Wechselwirkungen zwischen Bauweise, Werkstoffverhalten und Betriebslasten berücksichtigt werden.

Arbeitspaket 3.2 Schwachstellenidentifikation & Sicherheitsfaktoren

Zum Abschluss des Leitfadens und des Projekts werden Empfehlungen für die Ausfallbewertung, Risikobewertung und Instandhaltung flexibler Aufbauten im Schienengüterverkehr bereitgestellt, um eine zuverlässige und sichere Betriebsführung über den gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten. Dazu wird zunächst eine methodische Anleitung zur Durchführung einer FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) sowie zur Erstellung von Ausfallbäumen entwickelt, die es ermöglicht, potenzielle Schwachstellen systematisch zu identifizieren und deren Auswirkungen auf die Funktionssicherheit zu bewerten. Auf Basis dieser Analysen werden risikoorientierte Instandhaltungsintervalle abgeleitet, die sich an der Ausfallwahrscheinlichkeit kritischer Komponenten und der resultierenden Risikobewertung orientieren.

Hierzu werden Recherchen zu Ausfallbäumen, Ausfallraten und statistischen Verteilungen wie der Weibull-Analyse durchgeführt und zusammengefasst, um die Grundlagen für eine quantifizierbare Bewertung von Ausfallwahrscheinlichkeiten zu schaffen. Parallel dazu wird eine beispielhafte FMEA beschrieben. Ergänzend erfolgt eine Auseinandersetzung mit etablierten Verfahren der Risikobewertung, bspw. unter Bezugnahme auf DIN ISO 14121-2.

2.2 Erreichte Meilensteine

Meilensteine

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
MS01: Konstruktionsleitfaden vorhanden Zielparameter: Leitfaden enthält Inhalte bezüglich Konstruktion & Festigkeitsanalyse	01	6	6	-

2.3 Erreichte Ergebnisse

2.3.1 Erreichung der Gesamtziele

Gesamtziel des Innovationssprints	Das Ziel dieses Projekts ist die Erarbeitung eines Leitfadens zur Auslegung von leichtbauoptimierten Transportbehältern. Diese ermöglichen eine flexible Angebotsanpassung an einen stetig dynamischeren Markt und trägt aktiv zur Verkehrsverlagerung auf die ressourceneffiziente Schiene bei. Dieser Leitfaden stellt die Basis der Konstruktion und Auslegung der Transportbehälter für sämtliche Anwender dar.	Wir konnten erfolgreich einen Leitfaden erstellen und ihn an interessierte Partner verteilen.
--	---	---

2.3.2 Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele

Geplante konkrete Arbeitsziele	Erfüllung
Ein Leitfaden, der es jedem ermöglicht, einen bahngerechten Behälter für ein zu transportierendes Gut zu entwickeln	Vollständig erfüllt

Zusätzliche oder neue Arbeitsergebnisse, die im Projektverlauf entstanden sind:

Planung für Messaufbau und Fahrversuche zur Ermittlung von Lasten zwischen Aufbau und Fahrzeug
--

2.4 Verwertung

2.4.1 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

Durch die Methodik können bei der VTG und anderen Unternehmen technisch abgesicherte Leichtbauaufbauten entwickelt werden. Die Materialeinsparungen liegen je nach Verwendungsdauer bei schätzungsweise 30 Prozent, was die Zuladung und damit die Effizienz des Schienengüterverkehrs steigert, sowie Beschaffungskosten reduzieren. Zwei Jahre nach Beendigung des Projekts könnten voraussichtlich die ersten Aufbauten in Betrieb genommen werden. Folgende wirtschaftliche Aspekte werden nach wie vor wie folgt geschätzt:

- Einsparung der Entwicklungskosten um 0-10%
- Einsparung des Materialeinsatzes um 10-30%
- Einsparung der Beschaffungskosten um 20-30%
- Erhöhung der Zuladung bei multifunktionalen Güterwagen mittlerer Länge um 1-2 t

Die Projektergebnisse werden in die wissenschaftliche und technische Gemeinschaft mit Hilfe von Veröffentlichungen und Tagungsbeiträgen herangetragen. Außerdem ist eine Vorstellung bei Verbänden und Arbeitsgruppen im Fachbereich geplant.

2.4.2 Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens

Es sind keine vergleichbaren Arbeiten Dritter auf dem Gebiet bekannt.

2.4.3 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Geplant: Vortrag bei „21. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden“ 04. bis 06. März 2026

2.4.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Das Projekt wurde mit Mitteln von datipilot durchgeführt, da zum Zeitpunkt des Antrags die nächste institutionelle Förderperiode erst in über zwei Jahren beginnen sollte. Damit die Innovation durch die Projektidee schnellstmöglich ihre Wirkung entfalten kann, wurde daher das datipilot-Projekt angestrebt. So konnte auch innerhalb einer Förderperiode das Projekt bearbeitet werden.