

Innovatives Leichtbaukonzept für den Wagenkasten des NGT und Möglichkeiten zur Leichtbaubewertung

1 Dipl.-Ing. Jörg Nickel (Vortragender), Schwerpunktleiter Verkehr, DLR e.V., Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik (FA), Braunschweig,

2 Dipl.-Ing. Jens König (Co-Vortragender), wissenschaftlicher Mitarbeiter, DLR e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte (FK), Stuttgart

unter Mitwirkung von Dipl.-Ing. Gerhard Kopp (FK), Dipl.-Ing. Johannes Wolff (FA), Dr.-Ing. Christian Hühne (FA), Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann (FA), Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich (FK)

1 Innovatives Leichtbaukonzept für den Wagenkasten des NGT (Next Generation Train)

Unter dem Leitbild NGT werden die Kompetenzen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.) in Aero-, Struktur- und Fahrdynamik, Antriebstechnik, Werkstoffwissenschaften und Leichtbauweisen auf die Entwicklung eines Hochgeschwindigkeitszuges der nächsten Generation ausgerichtet, um neue Maßstäbe in Sicherheit, Effizienz und Umweltverträglichkeit zu setzen.

Eine gegenüber dem ICE 3 um 25 % gesteigerte Höchstgeschwindigkeit sowie ein um 50 % verringerter Energieverbrauch pro Fahrgast erfordern ein innovatives Fahrzeugkonzept, dem unter Berücksichtigung aller Randbedingungen ein Triebzug mit Hauptantrieben in den Triebköpfen sowie Einzelwagen, die jeweils mit zwei angetriebenen Einzelrad-Einzelachs-fahrwerken ausgerüstet sind, besonders gerecht wird. Bei dieser Anordnung nutzen die Wagenkästen den theoretisch zur Verfügung stehenden Platz optimal aus. Die Stützweite ist bei gleicher Wagenkastenlänge gegenüber einer Jakobs-Anordnung verringert, und aus den Überhängen resultiert ein der Durchbiegung entgegengesetztes Moment. So wird bereits konzeptionell eine Gewichtsreduktion erzielt.

Das gewählte Konzept mit nur zwei Einzelachs-fahrwerken je Wagen erfordert erhebliche Anstrengungen im Leichtbau, da die zulässigen maximalen Achslasten das Fahrzeuggewicht auf 32 t begrenzen. Notwendige Energieeinsparungen bei Beschleunigung, Konstantfahrt und Bremsen, Verminderung der Oberbaubelastung bzw. -schädigung und Verringerung von Umweltbelastungen durch reduzierte Emissionen sind weitere wesentliche Gründe für einen konsequenten Leichtbau.

Um maximale Leichtbaupotentiale auszuschöpfen, wird als grundlegendes Prinzip das Multi-Material-Design verfolgt, bei dem die jeweiligen Werkstoffe dort eingesetzt werden, wo sie ihr optimales Potential entfalten können. Insbesondere kommen faserverstärkte Kunststoffe und Leichtmetalle zum Einsatz, um die geringen Strukturgewichte zu realisieren. Die im DLR entwickelte innovative Leichtbauweise verfolgt ein modulares Konzept bestehend aus einer Fachwerkstruktur mit tragenden Ausfachungen in Faserverbundleichtbauweise, die den Wagenkasten durch definierte Spanten in verschiedene parallel fertigmögliche Sektionen gliedert, Abb. 1.

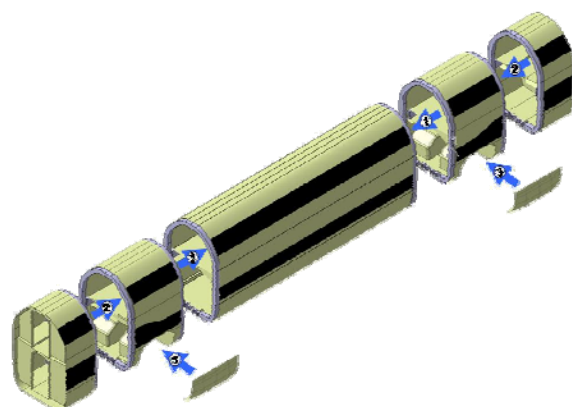


Abb. 1: NGT und modulares Konzept am Beispiel eines NGT-Mittelwagens

Dadurch werden Fertigungszeiten verkürzt, Wiederholteile maximiert und infolge des modularen Konzepts einfache Anpassungen an Kundenanforderungen möglich. Definierte Trennstellen vereinfachen Wartung und Reparatur sowie das Recycling am Ende der Nutzungsdauer.

Im Rahmen des Vortrags wird die Entwicklung eines modularen Leichtbau-Wagenkastenkonzepts für Schienenfahrzeuge am Beispiel des NGT vorgestellt und erläutert.

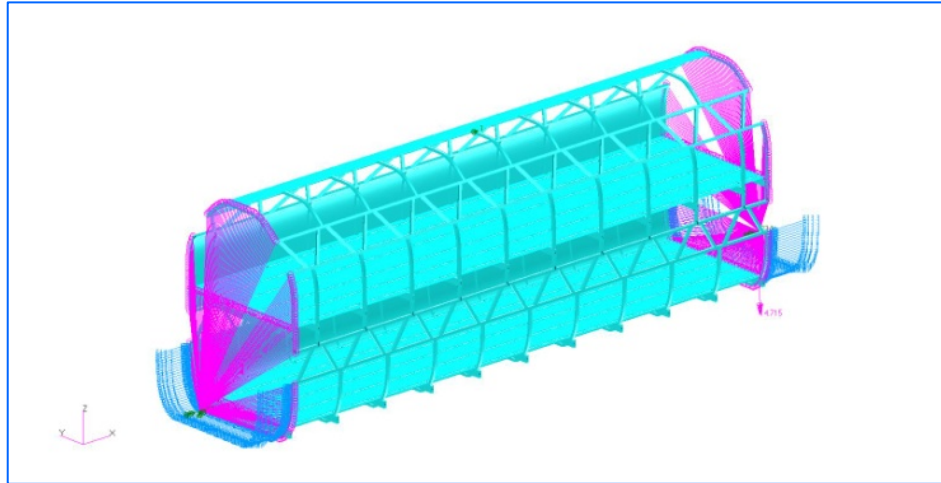


Abb. 2: Lastfall für FE-Analyse des mittleren Wagenkastens / Fahrgastbereichs

Die Zielsetzung besteht darin, mit der konsequenten Anwendung der Multi-Material-Design-Philosophie und der neuartigen Spant-Panel-Bauweise eine Gewichtsreduzierung von bis zu 30 % im Vergleich zu metallischen Bauweisen zu erreichen. Dazu wird der Nachweis mittels FE-Methoden geführt.

2 Möglichkeit zur Bewertung des Leichtbaugrades von Wagenkästen mittels des Faktors der Leichtbaugüte

Wagenkästen unterliegen entsprechend deren Verwendungszweck vielseitigen Anforderungen, welche direkten Einfluss auf die tragende Wagenkastenstruktur und somit deren Masse nehmen. Diese Einflussparameter bedingen eine Variantenvielfalt, so dass ein Vergleich der Wagenkastenmassen unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte schwierig wird. Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, wird ein Gütemaß mit Parallelen zum Automobilbereich hergestellt, das die Durchbiegung unter Last mit der Wagenkastenrohbaumasse in Verbindung setzt.

Im Automobilbereich erfolgt die Bewertung des Leichtbaugrades mittels des Faktors der Leichtbaugüte unter Verwendung der Torsionssteifigkeit. Im Gegensatz zum Automobilbereich kommt dieser bei Schienenfahrzeugen eine geringere Bedeutung zu, stattdessen jedoch die Durchbiegung. Die daraus ableitbare und hier als Durchbiegesteifigkeit bezeichnete Größe ergibt sich aus der Verformung bezogen auf die Belastung durch die Dienstmasse zuzüglich Nutzlast. Es ist zu beachten, dass die Durchbiegesteifigkeit über bedeutenden Einfluss auf die Auslegung der Wagenkastenstruktur verfügt, weshalb es sich anbietet, diesen Faktor für die Definition der Leichtbaugüte mit einfließen zu lassen. Folglich des Zielkonfliktes zwischen Wagenkastenmasse, Zuladung und Steifigkeit kann die Durchbiegesteifigkeit nicht ausschließlich betrachtet werden. Vielmehr muss sie mit der Wagenkastenmasse pro Nutzfläche verknüpft werden. Resultierend aus den Betrachtungen wird die dimensionslose Leichtbaugüte L von Schienenfahrzeugen vorgeschlagen:

$$L = \frac{m_{\max} \cdot A_{ges}}{s \cdot m_{WK}} \cdot 10^{-6} = \frac{c_b \cdot A_{ges}}{m_{WK}} \cdot 10^{-6}$$

Es ist m_{\max} die Dienstmasse mit Nutzlast, s die dabei auftretende Durchbiegung, A_{ges} die gesamte Grundfläche des Wagenkastens, m_{WK} die Masse des Wagenkastenrohbaus und c_b die Durchbiegesteifigkeit. Die Leichtbaugüte L wird folglich groß bei:

- einer kleinen Wagenkastenmasse mit
- geringer Durchbiegung,
- hoher Zuladung,
- großer Wagenkasten-Grundfläche.

Die Bewertung der Wagenkästen mittels der Leichtbaugüte lässt sich anhand eines stark vereinfachten und abstrahierten Wagenkastens zeigen, der einem an den Enden offenen Vierkantrohr entspricht (Abbildung 1). Anhand dessen Geometriemodifikation kann die Wirkungsweise der Leichtbaugüte validiert werden, da hier die Modifikationen direkt nachvollzogen werden können. Bei der hier gezeigten Prinzip-Untersuchung werden folgende vereinfachende Annahmen getroffen:

- Berechnung der Durchbiegung erfolgt entsprechend Balkentheorie
- Äußere Abmessungen und Zuladung orientieren sich grob am realen Wagenkasten
- Lagerung an den Enden ohne Überhänge
- Lage der Schwerachse (Biegeachse) abhängig von Verteilung der Masse der Gurte
- Homogene Struktur aus Stahl (Dichte 7,85 g/cm³, E-Modul 210 000 N/mm²)
- Masse Wagenkasten wird anhand Volumen bestimmt

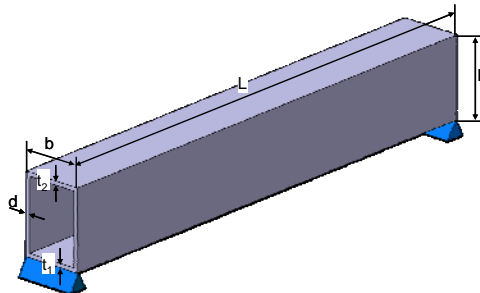


Abbildung 1: Abstrahierter Wagenkasten zur Demonstration der Bewertung mittels Leichtbaugüte

Die durchgeführten Geometriemodifikationen bestehen in der Variation der Wanddicken des Dachs und Bodens, wodurch sich das Flächenträgheitsmoment ändert. Werden die in Tabelle 1 aufgezeigten Werte für die Berechnung des Flächenträgheitsmoments verwendet, so folgt für die Leichtbaugüte eine Bestätigung der erwarteten Ergebnisse. Beispielsweise schneidet trotz gleichbleibender Masse Variante 2 ungünstiger ab als Variante 1, da sich hier durch eine ungünstigere Verteilung des Materials die Durchbiegung erhöht.

	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4
Dicke t_1 [mm]	2	3	2	2
Dicke t_2 [mm]	2	1	1	1
Dicke d [mm]	2	2	1	3
Masse WK [kg]	5495	5495	3336	6476
Durchbiegung s [mm]	6	7	10	6
Leichtbaugüte L	100	92	105	81

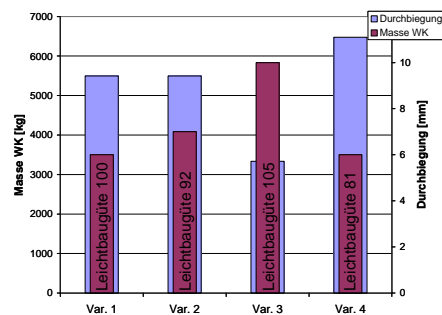


Tabelle 1: Variation der Wanddicken des Vierkantrohres und dessen Auswirkungen

Was anhand stark vereinfachter Annahmen gezeigt wurde, stellt einen vielversprechenden Ansatz zur Berechnung der Leichtbaugüte von realen Wagenkästen dar, die somit hinsichtlich deren Leichtbaugrades neben den bisherigen Verfahren bewertet werden könnten.