

Strukturoptimierte Bauweisen ermöglichen einen Schlafwagen der nächsten Generation: Ergebnisse des AliSa-Projektes

Nicolai Schmauder (M. Sc.), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart
Robert Winkler-Höhn (M. Sc.), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart
Aaron Paz Martinez (M. Sc.), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte, Berlin
Benedikt Brenke (M. Sc.), k + v Ingenieurgesellschaft mbH, Ibbenbüren
Dipl.-Ing. Karsten Ricks, k + v Ingenieurgesellschaft mbH, Ibbenbüren
Dieter Kobel, TRICON AG, Kirchentellinsfurt
Frank Schuster, TRICON AG, Kirchentellinsfurt
Olaf Schultz, Intelligent Transport Solutions (ITS), Bremen

1 Einleitung

Nachtzüge in Europa stehen aufgrund von veraltetem Rollmaterial, begrenztem Platzangebot und hohen Betriebskosten vor großen wirtschaftlichen Herausforderungen [1]. Ein systemimmanenter Nachteil des aktuellen Nachtzugverkehrs ist die relativ geringe Produktivität der eingesetzten Schlaf- und Liegewagen. Diese sind ausschließlich für den Nachtverkehr geeignet und werden tagsüber nicht genutzt. Eine Nutzung der Fahrzeuge im Tagverkehr kann die Produktivität und somit die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge um mehr als den Faktor zwei erhöhen [2]. Um dieses Potential nutzen zu können, müssen die Fahrzeuge sowohl den erforderlichen Komfort für den Tages- als auch den Nachtverkehr bieten. Weiterhin muss ein einfacher Wechsel zwischen Nacht- und Tagkonfiguration möglich sein. Insellösungen werden in der Literatur schon dargestellt, eine Kombination beider Aspekte, welche auch einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglicht und gleichzeitig das Gesamtfahrzeug betrachtet, wurde bisher nicht erarbeitet. Oftmals steht in der Tageskonfiguration dann kein vollwertiger Sitz, sondern nur ein Klappsitz oder die untere Liege als Sitzfläche zur Verfügung. Oder aber die Passagierdichte ist in der Tageskonfiguration aufgrund des hohen Komforts gering und ermöglicht keinen wirtschaftlichen Betrieb.

Forschungsergebnisse zeigen, dass eine erfolgreiche Implementierung von Nachtzügen einer konsequente Nutzerorientierung bedarf. 50 % der Fahrgäste erwarten eine garantierte Privatsphäre und 80 % bevorzugen eine liegende Beförderung [3]. Der Komfort, welcher eng mit der Privatsphäre bzw. Personenanzahl im Abteil gekoppelt ist, ist gleichzeitig ein Hauptgrund für die Wahl des Reisemittels [1]. Um den Nachtverkehr attraktiv zu gestalten ist daher neben einer wirtschaftlichen und zeitsparenden auch eine komfortable Beförderung unabdingbar [4]. Um diesem gerecht zu werden sind umfangreiche technische Systeme (Klimaanlage, Infotainment, Nasszellen etc.) notwendig. Gleichzeitig benötigt es ein Innenraumkonzept, welches eine hohe Privatsphäre und einen schnellen Tag-/Nachtwechsel ermöglicht. Zwei Faktoren, welche die Fahrzeugmasse beeinflussen.

Im Projekt "AliSa" (Angebotsdifferenziertes, leichtes und innovatives Schlafwagenkonzept, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Förderkennzeichen: 19123011) wird ein modulares und leichtes Schlafwagenkonzept entwickelt, welches diese Herausforderungen angeht. Bei der Entwicklung wird gegenüber bisherigen Forschungsaktivitäten ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, von Stakeholder-Untersuchungen über Design bis hin zu einem detaillierten Wagenkastenkonzept und Konstruktion. Dabei werden durch Expertise der Projektpartner sowohl notwendige Interieur-Komponenten, wie Sanitärbereiche und notwendige Technikkomponenten, integriert als auch optimierte und angepasste Bauweisen etabliert.

2 Das Wagenkastenkonzept

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, wird sowohl der Innenraum als auch das Gesamtkonzept des AliSa-Zugverbandes modular aufgebaut. Eines der Kernelemente des AliSa-Projekts ist die permanente Kupplung von drei Doppelstockwagen (DoSto) zu einer festen Einheit. Dieses ist für das GC-Lichtraumprofil konzipiert, da Untersuchungen des Projektes als auch die Literatur [5] aufzeigen, dass nur so ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Jede Einheit mit einer Gesamtlänge von 44,5 m hat zwei vollständig begehbare Etagen, um die Raumnutzung zu maximieren und eine optimale Fahrgastdichte zu gewährleisten. Einzelrad-Einzelfahrwerke ermöglichen diesen ungehinderten Durchgang durch die gesamte Einheit auf beiden Ebenen. Die DoSto-Wagen haben eine Länge von 14,5 bzw. 14,9 m und eine Breite von 2,96 m. Jeder Wagenkasten ist dabei in standardisierte Segmente von 2,55 Metern Länge unterteilt. Diese Segmentierung ermöglicht eine Modularität, durch die das Interieur betreiberspezifisch bzw. abhängig der befahrenen Strecke angepasst werden kann, ohne dass ein neuer Wagenkasten bzw. neue Schnittstellen entwickelt werden müssen. Die permanent gekuppelte Gruppe von drei Wagen ist an ihren Enden jeweils mit UIC-Standardkupplungen ausgestattet. Eine mögliche Nachrüstung mit einer DAK (Digitalen Automatischen Kupplung) ist berücksichtigt. Je nach Tages- oder Saisonbedarf kann so ein optimaler Zugverband zusammengestellt werden. Die Modularität des Gesamtverbandes

ermöglicht darüber hinaus auch die Integration von Kurswagen mit verschiedenen Start- und Endpunkten aber teilweise gleichen Wegstrecken. Dies ermöglicht eine einfache Anpassung an die sich ändernden Anforderungen der Nutzer bzw. Betreiber bei Tag und Nacht.

Das neue nutzerzentrierte Konzept verbessert die Attraktivität, die Auslastung und das Verhältnis von Sitzplatz pro Zugmeter, was für die wirtschaftliche Effizienz entscheidend ist [2]. Diese Anforderungen an den Innenausbau und die hohe Fahrgastdichte führen zu einer erhöhten Fahrzeugmasse.

3 Benutzerorientiertes Innenraumkonzept

Der Ausgangspunkt für das AliSa-, und somit für das Designkonzept, ist die Maßgabe einen Nachtzug so zu konzipieren, der wirtschaftlich betrieben werden kann. Um dieses zu gewährleisten, ist es erforderlich, den Nutzen der Abteile sowohl beim Nacht- als auch beim Tageinsatz in allen Kategorien umzusetzen.

Somit ist ein wesentlicher Designansatz eine nutzerorientierte Gestaltung aller Kundenbereiche. Um möglichst vielen Betreibern mit ihren unterschiedlichen Angebotsniveaus eine Lösung anzubieten, stehen differenzierte Reisebedürfnisse im Vordergrund, die in den Kabinenlösungen abgebildet werden. Das günstigste Angebot mit einer relativ hohen Sitzplatzdichte wird durch einen „klassischen“ Bahnsitz mit einer etwas ausgeprägteren „Recline-Funktion“ realisiert (Abbildung 1, oben). Eine Komfortstufe höher wird die Ruhezeit durch eine Relax-Position ähnlich einer Saunaliege gewährleistet. Darüber gibt es die klassische Business-Kategorie, wie wir sie aus den Interkontinentalangeboten der Airlines kennen: hier kann sich in einer privaten Nische schon ausgestreckt liegen.



Eine angenehme Privatsphäre bieten die Zweierkabinen. Die klappbaren Bettmechanismen schaffen tagsüber Sitzbereiche, während sich die Kabinen nachts in doppelstöckige Schlafräume verwandeln. So lassen sich die unterschiedliche Nutzungsprofile (Nacht – Tag) innerhalb eines einheitlichen Konzeptes berücksichtigen (Abbildung 1, unten). Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf der Gestaltung des Raumgefühls. In den Einzel- und Doppelkabinen sorgen großflächige Verglasungen für eine helle und offene Atmosphäre. Gleichzeitig kann die Transparenz individuell gesteuert werden: von klar bis milchig zur Wahrung der Privatsphäre oder zur Abdunklung während der Ruhezeiten. Damit können die Räume flexible an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden.



Abbildung 1: Designkonzept. Business-Schlafsessel gegenüber den Schlafkabinen (oben), Zweierkabine bei Nacht (unten)

Hohen Komfort bieten die großen „Hotel-Abteile“ für die PRM-Kunden, die Familien sowie die VIP-Gäste. Für Personen mit eingeschränkter Mobilität ist ein separates Abteil für bis zu vier Personen mit eigenem Sanitärbereich vorgesehen. Dies erleichtert die selbständige Nutzung und reduziert mögliche Barrieren und Stresssituationen. Ergänzend wird das Zwei-Sinne-Prinzip berücksichtigt: Durchsagen erfolgen nicht nur akustisch, sondern werden auch visuell auf größeren Displays dargestellt. So wird die Informationsvermittlung für hör- oder sehbeeinträchtigte Fahrgäste zuverlässiger gestaltet. Auch in der Familien- und im VIP-Kabine ist die Nasszelle integriert. Bei beiden Abteilen gewährleistet eine intelligente Raumstruktur ein großzügige Raumempfinden. Nicht zuletzt eine moderne Lichtarchitektur unterstützt dieses Empfinden.

Das AliSa-Projekt soll ein möglichst neutrales Image darstellen und so orientiert sich die Farb- und Materialauswahl an zurückhaltenden, natürlichen Tönen. Um einen beengten Raum möglichst großzügig wirken zu lassen, sind auch ergonomische und wahrnehmungspsychologische Aspekte zu berücksichtigen. Erd- und Grüntöne bilden die Basis, ergänzt durch dezente Akzente. Die Seitenwände sind bewusst dunkler gehalten, um den Blick nach außen und nicht auf die Wand zu lenken. Die Formsprache bleibt funktional und unaufdringlich. Gerade Linien, größere Radien sowie einzelne 45°-Bezüge – angelehnt an strukturelle Elemente des Wagenkastens – geben dem Innenraum eine klare und konsistente Gestaltung.

Insgesamt liegt der Fokus auf einem schlichten, funktionalen Design, das verschiedene Nutzergruppen berücksichtigt und eine flexible Raumnutzung ermöglicht. Das gesamte AliSa-Konzept ist so konzipiert, dass jeder Betreiber das „Wagen-Triple“ entsprechend seinen Angeboten und Bedürfnissen konfigurieren und in einen passenden Zugverband integrieren kann.

4 Die Strukturoptimierte Bauweisen

Damit ein Nachtzug effizient eingesetzt werden kann ist es notwendig, dass dieser trotz des größeren Lichtraumprofils die maximal zulässige Radsatzlast von 16 t nicht überschreitet (Streckenklasse A). Um die Achslast bei einem zweiachsigen Konzept mit dem geforderten Komfort und Sitzplatzanzahl zu gewährleisten, ist eine Masseoptimierung zwingend erforderlich. Nur so können alle Streckenklassen bedienen werden.

Die zehn masseintensivsten Bestandteile des End- bzw. Mittelwagens tragen 72 bzw. 74 % zur Gesamtmasse bei. Neben dem Fahrwerk sind der Rohbau mit 18 % und die Verkleidung mit 6 % die größten Gewichtstreiber. Die Masse der Fahrgäste stellt mit 7 – 9% die drittgrößte Masse dar. Eine Reduktion der Fahrgäste steht aber dem Ziel einer höheren Fahrgastdichte entgegen. Die restlichen sieben Hauptbestandteile beziehen sich auf notwendige und nur bedingt weiter optimierbare Komponenten wie Klimaanlage, Sanitäranlagen oder Fenster. Diese haben jeweils nur noch einen Anteil von 2 – 6% der Gesamtmasse. Es ist ersichtlich, dass die erhöhte Fahrzeugmasse aufgrund der komplexen Anforderungen des Gesamtsystems durch leichtbauoptimierte Bauweisen und Funktionsintegration beispielsweise Verkleidung in die Struktur nivelliert werden muss.

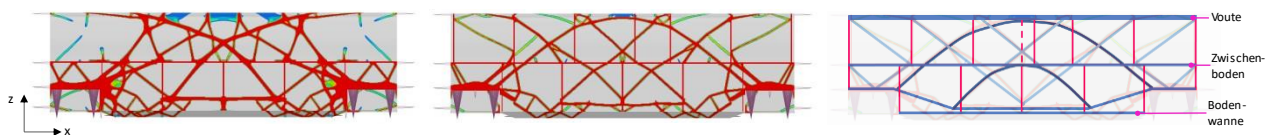


Abbildung 2: Lastfluss durch den Mittelwagen ohne (links) sowie mit Rahmenstruktur (Mitte) der modularen Bauweise, Prinzip-Skizze der lasttragenden Bauweise (rechts).

Um dies zu erreichen, wird eine Strukturoptimierung der Wagenkästen durchgeführt und der Einfluss der geforderten Modularität berücksichtigt. Durch einen mittragenden Modulrahmen angepasst an die standardisierten Innenraum-Module wird ein strukturierter Kraftfluss der Lasten durch den Wagenkasten in Form einer klaren Brückenstruktur erreicht (Abbildung 2). Des Weiteren werden die einzelnen Module durch regelmäßig auftretende diagonal verlaufende Streben geteilt. Dies ermöglicht eine einheitliche und somit wirtschaftliche Umsetzung in fertigmassige Bauweisen. Voruntersuchungen haben bereits gezeigt, dass der optimierte Kraftfluss dabei nicht mit der Verwendung herkömmlicher Profile erreicht werden kann, ohne dabei das Innendesign stark einzuschränken. Daher wird bereits bei der Konzeption der Rahmenstruktur eine Integration der Innenausbauten in die tragende Struktur vorgesehen. Die hohen Durchgangslasten in Längsrichtung werden durch die sich ausbildenden Langträger (Voute, Zwischenboden und Bodenwanne) aufgenommen. An diesen Bereichen können beispielweise Kabelkanäle in die Langträger integriert werden. Sowohl im Dach als auch Zwischenboden bilden sich im Bereich der Modul-Rahmenstruktur Querträger aus, zwischen diesen wird die Struktur kaum beansprucht. Hier eignet sich ein Multi-Material-Design Ansatz und die Integration einer Sandwich-Bauweise zur Massereduktion. Die Umsetzung dieser Bauweisen in ein optimiertes und zulassungsfähiges Detail Design mit auskonstruierten Schnittstellen ist Gegenstand der aktuellen Arbeiten.

Die konzeptionellen strukturellen Optimierungen des Wagenkastens durch Multi-Material-Ansatz und Funktionsintegration, die sich aus Topologie-Optimierungen ergeben, reduzieren so die Masse pro Meter um 15%. Gleichzeitig wird die Fahrgastdichte dank des ganzheitlichen modularen Konzepts gegenüber dem Nightjet um 36% erhöht. Dies führt zu einer geringeren Umweltbelastung und einer verbesserten wirtschaftlichen Effizienz. Das AliSa-Projekt zeigt, wie Nachtzüge wirtschaftlicher betrieben werden können und welche wichtige Rolle der Leichtbau spielt.

5 Literatur

- [1] HEUFKE KANTELAAR, Martijn ; MOLIN, Eric ; CATS, Oded ; DONNERS, Barth ; VAN WEE, Bert: *Willingness to use night trains for long-distance travel*. In: *Travel Behaviour and Society* (2022), Nr. 29, S. 339–349
- [2] GERFRIED, Cebrat ; GERHARD, Troche ; MARCUS, Bruckmann ; THOMAS, Brait: *Flexible Fahrzeugeinrichtungen - Neue Chancen für den Fernreiseverkehr der Bahnen*. In: *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)* (2007), Nr. 10, S. 628–631
- [3] BAUER, K. ; BELLMANN, M.: *Die jüngste Reannaissance des Nachtseizugverkehrs hat begonnen*. In: *Der Eisenbahningenieur* (2019), Nr. 1, S. 37–41
- [4] RÜGER, Bernhard Dr. ; MAILER, Markus Univ.-Prof. Dr.: *Autofreie Anreise in Urlaubsregionen - Maßnahmen zur Stärkung der Bahn*. In: *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)* (2020), 7/8, S. 18–23
- [5] RAMBOLL DEUTSCHLAND GMBH (Hrsg.): *Studie zur Betrachtung der ökologischen und gesamtgesellschaftlichen Bilanz von Nachtzugverkehren auf der Schiene im inter- und intramodalen Vergleich*. im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr. 2024
- [6] AMTRAK VACATIONS: *Roomette*. URL <https://www.amtrakvacations.com/trip-planning/private-sleeping-accommodations/roomette> – Überprüfungsdatum 2025-09-19