

Anpassung des Massemanagementberichts für die Fahrzeuge
der BR 485 und Entwicklung von konstruktiven Maßnahmen zur
Kompensation derzeit vorhandener Mehrbelastung

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor

Technische Hochschule Wildau
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften
Studiengang Maschinenbau

eingereicht am:	31.08.2015
eingereicht von:	José Rolando Fredriksson Chaves
geb. am:	07.12.1992
betreuender Hochschuldozent:	Dipl. Ing. G. Wille (FH)
betrieblicher Betreuer:	M. Sc. M. Berntssen
themenstellende Einrichtung:	DB Systemtechnik GmbH

Bibliographische Beschreibung

Titel der Arbeit:

Anpassung des Massemanagementberichts für die Fahrzeuge der BR 485 und Entwicklung von konstruktiven Maßnahmen zur Kompensation derzeit vorhandener Mehrbelastung

Fredriksson Chaves, José Rolando

Bachelorarbeit, Technische Hochschule Wildau 2015, **76** Seiten, **20** Abbildungen, **10** Tabellen, **2** Diagramme, **15** Anlagen.

Ziel:

Das Ziel ist die Entwicklung von Maßnahmen zur Gewichtserleichterung für die Wagen der BR 485 S-Bahn Berlin und deren konstruktive Umsetzung für die Erfüllung der in den Normen vorgeschriebenen Bedingungen.

Inhalt:

- Ist-Stand der Fahrzeuge
 - Aufnahme der Dokumente zur BR485
- Variantenentwurf und Variantenvergleich
 - Berechnung der Nutz- und Achslasten nach gültigen Normen
- Konstruktive Umsetzung
 - Technische Dokumentation
- Begleitung Musterbau

Schlagwörter:

Massemanagement, Massebilanz, Leichterungsmaßnahme, Fahrzeugengineering, Konstruktion

Eidesstattliche Erklärung



Hiermit erkläre ich, José Fredriksson, geboren am 07.12.1992 in San José, Costa Rica, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Berlin, den 31.08.2015

Danksagung

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Mein Dank gilt der Organisationseinheit T.TVI48(1) Engineering Gleichstromtriebzüge der DB Systemtechnik GmbH für die Bereitstellung des Themas, die hervorragenden Bedingungen und das angenehme Arbeitsklima.

Bedanken möchte ich mich bei Frau Dipl. Ing. G. Wille für Ihre Hilfe sowie für die angenehme Betreuung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn M. Sc. M. Berntssen für die ständige Unterstützung, die vielen hilfreichen und interessanten Tipps und Gespräche sowie für die geduldige und ausführliche Beantwortung meiner Fragen speziell bedanken.

Mein Dank gilt Frau A. Wulle, Herrn G. Piehler, Herrn R. Arndt, Herrn E. Ott sowie Herrn D. Nitsch für die Hilfe bei der Konstruktionentwicklung, der Auswertung und dem Verständnis der theoretischen Grundlagen.

Abschließend möchte ich mich bei meinem Korrekturleser E. Fredriksson und B. Ing R. Kramer für das gewissenhafte Fehlerlesen und die nützlichen Anregungen bedanken.

Inhaltsverzeichnis

I. Abbildungsverzeichnis	V
II. Tabellenverzeichnis	V
III. Formelverzeichnis.....	VI
IV. Abkürzungsverzeichnis	VII
Vorwort	8
1. Einleitung.....	11
1.1 Problemstellung.....	11
1.2 Methode und Ressourcen	11
1.3 Abmessung des Ergebnisses	12
2. Hauptteil	13
2.1 Begriffe	14
2.1.1 Massemanagement	14
2.1.2 Massebilanz.....	14
2.1.3 Betriebsmasse	14
2.1.4 Nutzlast.....	14
2.1.5 Radsatzlast	14
2.2 Ist-Aufnahme	15
2.2.1 Ist-Stand der Lasten.....	17
2.2.2 Rahmenbedingungen.....	19
2.2.3 Schwerpunkt Betrachtung der Komponenten	22
2.2.4 Massebilanzrechnung	24
2.3 Varianten	25
2.3.1 Variante a)	26
2.3.2 Variante b)	28
2.3.3 Variante c).....	30
2.3.4 Variante d)	32
2.4 Variantenvergleich.....	34
2.4.1 Anforderungsliste	38
2.4.2 Wichtung der Kriterien	40
2.4.3 Punktbewertung nach VDI 2225	42
2.5 Abstimmung der Variante	44
3. Konstruktion: Rück- und Umbau.....	45
3.1 Befestigung der Sitze	45

3.2	GFK-Formteil.....	48
3.3	Umbau Abteiltrennwand	50
3.4	Endkonstruktion.....	53
4.	Bewertung der umgesetzten Variante	55
5.	Zusammenfassung und Ausblick.....	56
IV.	Quellen.....	57
V.	Anlagen.....	A

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 a, b, c S-Bahn Berlin- Baureihen im Betrieb [14]	8
Abbildung 2 Zuständigkeiten beim Projekt Weiterbetrieb	9
Abbildung 3 Einordnung der Einzelwagen im Viertelzug [2]	15
Abbildung 4 Fahrzeugschema [2]	17
Abbildung 5 Skizzierung Position Zusatzeinbauten von DG1 [19; 20; 21]	19
Abbildung 6 Abstände in x-Richtung von WE1 in mm; A-Wagen [2].....	20
Abbildung 7 Betrachtung der Schwerpunkt in x-Richtung [16].....	22
Abbildung 8 Umbauskizze der Variante a); geändert aus [2].....	26
Abbildung 9 Umbauskizze der Variante b); geändert aus [2].....	28
Abbildung 10 Umbauskizze der Variante c); geändert aus [2].....	30
Abbildung 11 Umbauskizze der Variante d); geändert aus [2].....	32
Abbildung 12 Befestigungsstellen am Sitz.....	45
Abbildung 13 Gewindeeinsatz Typ 40 [11]	47
Abbildung 14 Befestigungslösung am Fußboden	47
Abbildung 15 Explosionsansicht; GKF-Formteil aktuell	48
Abbildung 16 Illustration zu den Komponenten	49
Abbildung 17 Öffnungsquerschnitt der Wand	50
Abbildung 18 Skizze zur Querschnittberechnung; Abteiltrennwand	51
Abbildung 19 Entwurf Mehrzweckbereich; Variante c) umgesetzt	53
Abbildung 20 Gegenüberstellung mit korrigierten Werten der Variante c).....	54

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ist-Zustand der Radsatzbelastung ohne Stehplatzreduzierung	18
Tabelle 2 Auflistung der Bereiche im A-Wagen	21
Tabelle 3 Komponentenbetrachtung für Variante a)	27
Tabelle 4 Komponentenbetrachtung für Variante b)	28
Tabelle 5 Komponentenbetrachtung für Variante c)	31
Tabelle 6 Komponentenbetrachtung für Variante d)	33
Tabelle 7 Datenvergleich-Redesign A Wagen (Triebwagen)-BR485.....	35
Tabelle 8 Paarvergleich zur Wichtung der Kriterien.....	40
Tabelle 9 Variantenvergleich nach dem Punktbewertungsverfahren.....	43
Tabelle 10 Datenergänzung zur Abbildung 20.....	54

III. Formelverzeichnis

ρ_{Stahl}	Stahldichte	kg/dm^3
A_1	Öffnungsquerschnittfläche an Abteiltrennwand	mm^2
A_2	Querschnittfläche zwischen Holzplatten, Abteiltrennwand	mm^2
A_{Stpl}	die Stehplatzfläche	m^2
F_{Stpl}	die zulässige Stehplatzflächenbelastung	kg/m^2
$h_{1,2}$	Höhe $A_{1,2}$	mm
$l_{1,2}$	Breite $A_{1,2}$	mm
L_{DG}	Abstand Drehgestell zu Drehgestell	mm
$m_{\text{Nges x)}$	Gesamtnutzmasse der entspr. Variante x) / Personenbelastung	kg
$m_{1/2}$	Masse; 1=vorher; 2=neu	kg
m_{F}	Personalmasse	kg
M_i	Wirksame Einzelmasse	kg
m_{Q}	Fahrzeugmasse je Rad	kg
m_{QQ}	Fahrzeugmasse je Radsatz/Radpaar	kg
$m_{\text{Ü}}$	Übersetzungsmasse	kg
n	Anzahl der Einzelmasse	
n_{Sipl}	die Anzahl der Sitzplätze	Pers.
P'	die typische Personenmasse	kg/Pers.
P'_{Stpl}	die mittlere Stehplatzdichte	Pers./ m^2
S_x oder S_{x_i}	Schwerpunkt in x-Richtung; „i“ = der Einzelmasse	mm

IV. Abkürzungsverzeichnis

A1-A4	Treibradsätze des Triebwagens 485
B1-B4	Laufradsätze des Beiwagens 885
BKE	Betriebskupplungsende
DB	Deutsche Bahn
DG1/2	Drehgestell 1/2
DIN	Deutsches Institut für Normung
EB	elektrischer Beiwagen
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
E-Lok	elektrische Lokomotive
EN	Europäische Norm
ET	elektrischer Triebwagen
FASSI	Fahrer-Assistenz-System
FOK	Fußbodenoberkante
KKE	Kurzkupplungsende
kpl.	komplett
LRS	Laufradsatz
MZB	Mehrzweckbereich
OE	Organisationseinheit
Pers.	Person
Tf	Triebfahrzeugführer
TGL	Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen
TRS	Treibradsätze des Triebwagens 485
TSI	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität
UIC	Union Internationale des Chemins de fer (Internationaler Eisenbahnverband)
VT	Verbrennungstriebwagen
Vz	Viertelzug
WE1	Wagenende 1
ZAT	Zugabfertigung durch Triebfahrzeugführer
ZBS	Zugsicherung Balise S-Bahn

Vorwort

Die Bachelorarbeit wird unter der Betreuung der Deutsche Bahn Systemtechnik GmbH Standort Berlin angefertigt. Sie ist ein Tochterunternehmen der Deutsche Bahn AG, das sich mit dem Engineering von Schienenfahrzeugen befasst. Dieses Unternehmen gehört in der Struktur des DB Konzerns zu einer der sechs „Holding-Säulen“, nämlich zur „Infrastruktur, Dienstleistungen und Technik“.

Weiterhin ist die „T.TVI48(1) Engineering Gleichstromtriebzüge“ die Organisationseinheit (OE) der DB Systemtechnik mit dem Werkstattstandort Schöneweide. Sie bearbeitet hauptsächlich Themen, die mechanisches und/oder elektrisches Know-how beinhalten.

Die S-Bahn Berlin besitzt eine Flotte von ca. 650 Fahrzeugen, die zu den drei verschiedenen Baureihen gehören. Die Sachverhalte in dieser Bachelorarbeit werden an der BR 485 erarbeitet (s. Abbildung 1c). Diese wird heutzutage, ebenso wie die BR 480 als „Altfahrzeuge“ bezeichnet. In einem Projekt mit der Bezeichnung „ET48x Weiterbetrieb“¹, werden besonders für diese Baureihen Änderungsmaßnahmen geplant und durchgeführt.

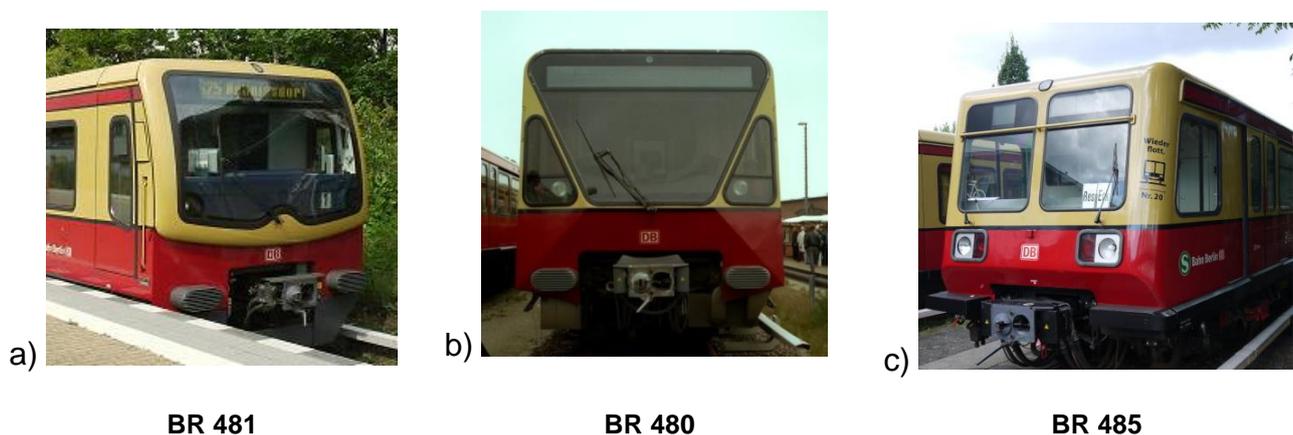


Abbildung 1 a, b, c S-Bahn Berlin- Baureihen im Betrieb [14]

¹ Die Abkürzung ET (elektrischer Triebzug) ist ein Bahnjargon, die die Triebwagen von anderen unterscheidet; z.B. von Verbrennungstriebwagen (VT) und elektrische Lokomotive (E-Lok). Die einzelne Baureihen der S-Bahn gehören zur ET-Kategorie.

Es ist notwendig, die Fahrzeugverfügbarkeit für den Zeitraum zwischen 2017 und 2023 zu steigern. Deshalb sind diese Altbaureihen von Instandhaltungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen betroffen. Wie es im S-Bahn Abschlussbericht „FZG-Expertengruppe 2013“ [1] beschrieben ist, ist es weniger kosten- und zeitaufwendig, diese Fahrzeuge zu sanieren, als neue Fahrzeuge zu bestellen und auszuschreiben.

„Vor dem Hintergrund der Beschaffungsmöglichkeiten von Neufahrzeugen, aber auch der S-Bahnkrise der letzten Jahre und immer noch vorhandener Fahrzeugprobleme, muss kurzfristig alles zur Steigerung der Fahrzeugverfügbarkeit unternommen werden [...]“ - S-Bahn Abschlussbericht 2013 [1]

Als Schlussfolgerung dieses Abschlussberichtes entsteht das Projekt „ET48x Weiterbetrieb“ nach Absprache zwischen den verschiedenen Interessenebenen. Abbildung 2 verdeutlicht die Zuständigkeitsbereiche für das Projekt „Weiterbetrieb“.

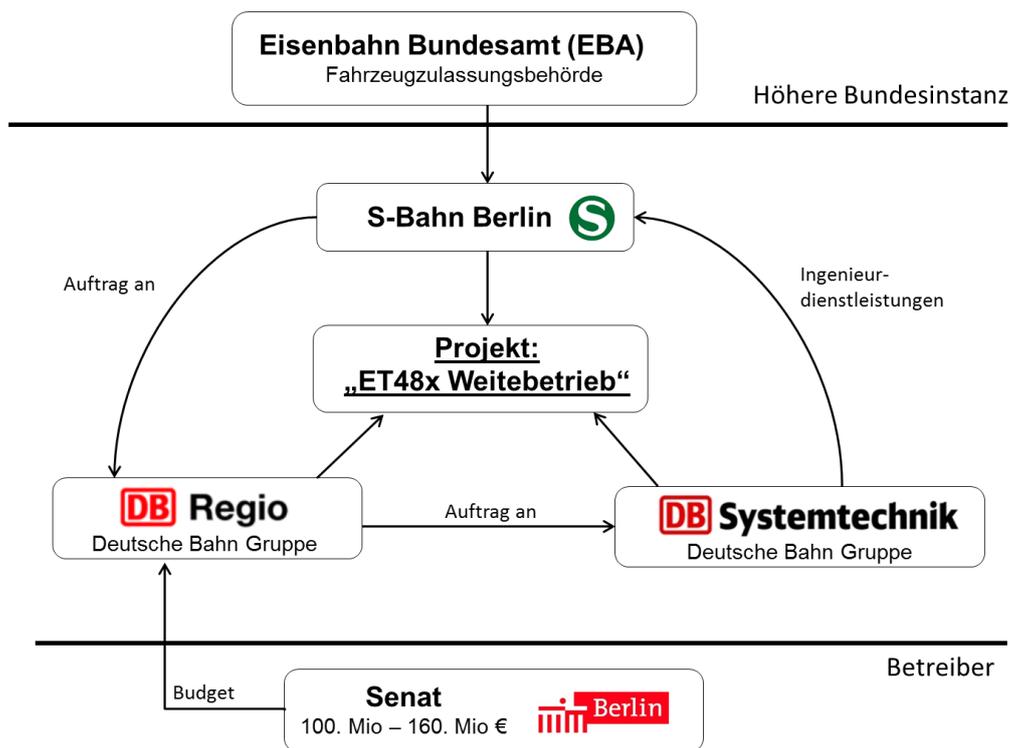


Abbildung 2 Zuständigkeiten beim Projekt Weiterbetrieb

Für die dargestellten Instanzen steht der „Weiterbetrieb“ im Mittelpunkt, wobei alle Beteiligten ihre Rolle übernehmen und dazu beitragen, dass das Projekt gelingt.

Den wichtigsten Projektpunkt stellt die Finanzierung. Rund 100- Mio. € bis 160- Mio. € werden in dieses Projekt investiert, das zum großen Teil für die Mobilität der Einwohner sowie der Besucher Berlins gilt. Die Verantwortung für den öffentlichen Verkehr liegt in der Hand der Berliner Regierung, welche gleichzeitig als Investor bzw. Auftraggeber des Projektes fungiert. Die finanzielle Schnittstelle bilden die DB Regio AG sowie die DB Systemtechnik welche über die Maßnahmen entscheiden und sie realisieren.

Auf der anderen Seite sind alle Schienenfahrzeuge, die in Deutschland aktiv sind, nach den Anforderungen des EBA (Eisenbahn-Bundesamt) zu betreiben. Diese Kontrollbehörde hat das Recht und die Pflicht, jegliche Fahrzeuge aus dem Betrieb zu nehmen, wenn sie nicht den Richtlinien entsprechen. Daraus folgt, dass die zukünftigen Änderungen an den Wagen gemäß diesen Richtlinien vorgenommen werden müssen.

Eines der Arbeitspakete dieses Projekts ist die Maßnahme „BR485 Massemanagement“. Das Thema dieser Bachelorarbeit „Anpassung des Massemanagementberichts für die Fahrzeuge der BR 485 und Entwicklung von konstruktiven Maßnahmen zur Kompensation derzeit vorhandener Mehrbelastung“ trägt zur Entwicklung dieser Maßnahme bei.

1. Einleitung

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der inhaltlichen Erweiterung der vorhandenen Unterlagen zu den Massebilanzen der S-Bahn BR 485, sowie der normgerechten konstruktiven Umsetzung einer vorgeschlagenen Lösungsvariante für die Problemstellung.

1.1 Problemstellung

In den Wagen der o.g. Baureihe wurde eine Massenüberschreitung nach Verwiegeprotokollen festgestellt, welche eine Mehrbelastung in den Radsätzen verursacht. Um weitere unerwünschte Folgen zu vermeiden, müssen Änderungsmaßnahmen vorgenommen werden, die dieses Masseverhalten kompensieren und die Normvorgaben erfüllen.

In diesem Sinne ist es die Aufgabe dieser Bachelorarbeit die Ist-Verteilung der vorhandenen Komponente (in ihrer Masse und Lage am Fahrzeug) aufzunehmen und ein Redesign im Innenraum der Wagen so zu entwerfen, dass durch Stehplatzflächenreduzierung die Radsätze entlastet werden.

1.2 Methode und Ressourcen

Um dieses Ziel zu erreichen, werden die Massen der Komponenten in den Wagen betrachtet, bei denen man Änderungen vornehmen könnte. Dazu werden technische Dokumentationen der DB Systemtechnik recherchiert und der Leitfaden zu Masseproblemstellungen verfolgt. Bei fehlenden Masseangaben besteht die Möglichkeit, Komponenten am Wagen auszubauen und sie zu verwiegen.

Weiterhin sind verschiedene Varianten für das Redesign zu erstellen und diese unter Berücksichtigung der Normvorgaben zu berechnen. Die Varianten werden dem Auftraggeber (S-Bahn Berlin GmbH) präsentiert, welcher sich für die Lösung entscheidet, die unter konstruktiven Aspekten weiterzuentwickeln ist.

Prinzipiell wird für die konstruktive Umsetzung der Variante mit Hilfe von dem CAD-Software Autodesk Inventor² gearbeitet. Es werden hiermit 3D-Modelle von Einbauten erstellt, um die neuen Konstruktionen im Wagen zu simulieren. Von den

² Version 2013

notwendigen Teilen werden ebenfalls mit Inventor die zugehörigen technischen Zeichnungen abgeleitet, die später im Zeichnungsarchiv der S-Bahn dokumentiert werden.

Zu diesem Aspekt stellt die S-Bahn Altfahrzeuge zur Verfügung, an welchen denen Untersuchungen durchführt und die tatsächlichen Bauteile mit den technischen Unterlagen verglichen werden können.

1.3 Abmessung des Ergebnisses

Für eine ausgewählte Variante werden die Berechnungen der Nutz- und Radsatzlasten nachgewiesen, welche mit den Rahmenbedingungen der Normen zu kalkulieren sind. Insbesondere sind für die Art von Berechnungen folgende Normen einzuhalten:

DIN 25008: 2005-10,

Schienenfahrzeuge - Grundsätze für die Bestimmung der Fahrzeugmassen -
Begriffe, Formelzeichen, Werte

DIN EN 13103:2012-10,

Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Laufradsatzwellen -
Konstruktionsverfahren

DIN EN 13104:2013-03,

Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Treibradsatzwellen -
Konstruktionsverfahren

Weiterhin soll anhand eines Variantenvergleichs nach VDI 2225 die geeignete Lösung beurteilt und bestimmt werden.

2. Hauptteil

Jedes im Betrieb befindliche Fahrzeug muss von der EBA zugelassen sein, damit es auf den Schienen fahren darf. Diese Behörde kontrolliert, ob die Fahrzeuge unter den verschiedensten Aspekten normkonform betrieben werden. Dazu zählt die Belastung auf den Radsätzen und Drehgestellen, worauf die tragende Masse einen großen Einfluss hat. Sind die Radsatzlasten konstant zu hoch, kann dies durchaus mögliche Beschädigungen an der Struktur der Drehgestelle verursachen.

Schäden am Fahrzeug können eine signifikante Steigerung der Reparaturkosten mit sich ziehen. Um die Sicherheit sowohl der Fahrgäste und des Personals als auch der Maschinen zu gewährleisten, sind für die EBA Richtlinien und Normen die Werkzeuge für die Zulassung der Fahrzeuge.

Die Baureihe 485 (früher auch als BR270 in DDR-Zeiten) wurde nach den damaligen Normen konstruiert, entsprechend den „Technischen Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen“ (TGL). Das bedeutet, dass die Konstruktion dieser Wagen sich zum großen Teil nach diesen Normen gerichtet hat. Heute sind die gültigen (EN) DIN-Normen zu verwenden und einzuhalten. Deshalb erfordert die Situation für diese Baureihe eine Neuanpassung nach aktuellen Normen.

Für die Thematik zur Massebestimmung werden die angeforderten Kriterien des EBA für die Berechnungen und die Entscheidungsfindung befolgt. Wichtig an diesen Maßnahmen ist die rechtzeitige Beseitigung der potentiellen Schäden, um die Fahrzeugverfügbarkeit zu erhalten.

2.1 Begriffe

Zunächst die Erläuterung einiger Begriffe, die ein zentrales Merkmal in dieser Arbeit sind.

2.1.1 Massemanagement

Allgemein bezeichnet der Begriff Management die zielgerichtete Lenkung, Organisation, Verwaltung und/oder Überwachung einer Sache.

Hier werden hauptsächlich die Einwirkungen von Massen auf einen Gegenstand betrachtet und es liegt ein Problem vor, das behoben werden soll. Die Bearbeitungen, die dieses Ziel erfüllen, werden als „Massamanagement“ bezeichnet.

2.1.2 Massebilanz

Die Massebilanz ist der Vergleich unter identischen Bedingungen zwischen der Ausgangslage der Massenbetrachtung (bzw. dem Ist-Zustand) und dem neuen Zustand unter Berücksichtigung der durchgeführten Änderungen. Hier werden diese mit Vergleichsberechnungen nachgewiesen.

2.1.3 Betriebsmasse

Laut Quelle [7] ist die Betriebsmasse, „die Masse des Schienenfahrzeugs oder des gesamten Zugs unter durchschnittlichen Betriebsbedingungen, die für die Bewertung von betrieblichen Fragen anzuwenden ist“.

2.1.4 Nutzlast

Ist die Masse der im Zug beförderten Fahrgäste und des Gepäcks laut Quelle [8].

2.1.5 Radsatzlast

Die Radsatzlast wird als gebräuchlicher Begriff für die „Fahrzeugmasse je Radsatz“ verwendet und ist in der DIN 25008 wie folgt definiert:

„Im Fahrzeugstillstand bei waagrechtem, ebenem Gleis in beiden Radaufstandspunkten wirkender Anteil der Fahrzeugmasse“.

2.2 Ist-Aufnahme

Zur BR 485 gehören die ET-Wagen 485 (Triebwagen) und die EB-Wagen 885 (Beiwagen). Triebwagen besitzen eine Führerstandkabine, während die Beiwagen ausschließlich für Fahrgäste ausgelegt sind. Die Komponenten dieser elektrischen Triebzüge variieren in ihrer Verteilung auf die Gesamtlänge, welche auf vier Drehgestelle (zwei je Wagen) gestützt ist. Jedes Drehgestell besitzt zwei Radsätze und diese werden, je nach Wagen, anders benannt. In der Skizze in Abbildung 3 unterscheidet man den A-Wagen mit den Triebradsätzen (TRS) und den B-Wagen mit den Laufradsätzen (LRS).

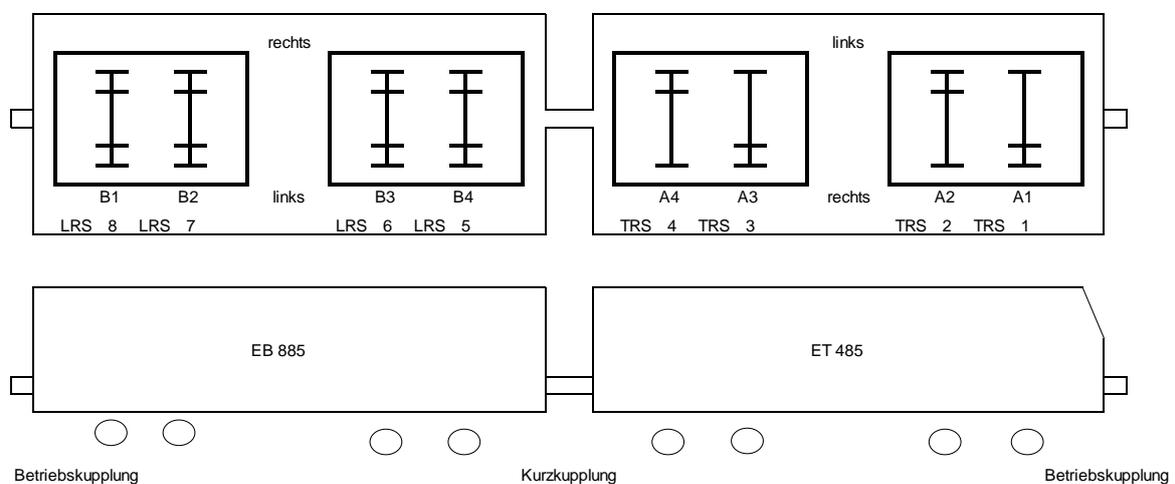


Abbildung 3 Einordnung der Einzelwagen im Viertelzug [2]

Wie zuvor erwähnt, sind die Gewichte in den Wagen ungleich verteilt, was eine unterschiedliche Last auf jedem Radsatz verursacht. Zu den Belastungen gibt es Unterlagen des zuletzt bearbeiteten Berichts zum Massemanagement³, welche, basierend auf Verwiegedaten von 12 Fahrzeugen, die nach [4] und [5] ermittelten Fahrzeugmassen und Nutzlasten enthalten. Hier wurden die damals durchgeführten Bauartänderungen für die Berechnungen berücksichtigt, wie der Einbau neuer Komponenten von nötigen Systemen. Dazu gehören Zusatzausrüstungen der folgenden Projekte:

- ZBS-Zugsicherung Balise S-Bahn

Kurzbeschreibung: Das ZBS ist ein System, das eine konstante Überwachung der Geschwindigkeiten der Züge durch elektronische Signale überprüft und bei Erfordernis eine

³ Stand: 11.06.2014

Abbremsung veranlasst. Das System wurde als Variante der bisher verwendeten Fahrsperrung eingesetzt.

- FASSI-Fahrerassistenz System

Kurze Beschreibung: Es ist ein innovatives Fahrerassistenzsystem für Eisenbahnen, welches den Energieverbrauch signifikant reduziert und den Betrieb von Zügen dank der Erfassung von Daten im Betriebsablauf optimiert. [12]

- ZAT-Zugabfertigung durch Triebfahrzeugführer

Kurzbeschreibung: Hierzu gehört der Einbau eines Monitors im Führerstandraum, der auf einem Quad-Bild die Lage am Bahnsteig durch Außenkameras überwacht. Nach dem Ruf „Zurückbleiben, bitte“ kontrolliert der Fahrzeugführer, ob nichts die Abfahrt behindert.

- Zusatzkomponenten

Wie zum Beispiel: Halter für Dokumentenmappe, Prüfstab, Eiskratzer, Nabelschlurmfunkmikrofon (links und rechts),...

Diese eingebauten Komponenten sind zusätzlich zu den Verriegelungsdaten berechnet worden, wie es laut der „Arbeitsanweisung zur Ermittlung von Fahrzeugmassen“ [3] vorgeschrieben ist. Dieses Dokument ist als Leitfaden für die Betrachtungen in dieser Arbeit anzuwenden, die das Ziel hat, u.a. die Einhaltung von gesetzlichen Normen und Vorschriften sicherzustellen.

Da die Einbauten, die zu den o.g. Projekten gehören, vor allem im A-Wagen konstruiert worden, konzentriert man sich bei den umsetzbaren Möglichkeiten auf den Wagen (485). Es werden dennoch in den nächsten Abschnitten auch Werte zum B-Wagen (488) gezeigt, um eine bessere Vorstellung der Thematik zu vermitteln.

2.2.1 Ist-Stand der Lasten

In der Anlage 1 sind die erfassten Daten der protokollierten Messergebnisse⁴ zu den Radsatzlasten illustriert. Hier wurde ein Mittelwert für jeden Radsatz aus den Messungen von 12 Fahrzeugen mit der zusätzlichen Korrektur der Räderdurchmesser berechnet. Diese Korrektur ist zu berücksichtigen, da das Material der Räder verschleißt und sich somit der Durchmesser verringert. Das Volumen der Räder wird geringer und somit auch ihr Gewicht. Um das abzugleichen, ergibt sich für eine Stahldichte von $\rho=7,85 \text{ kg/dm}^3$ eine Korrektur von 1,5 kg für jeden Radsatz, wie in dieser Anlage zu sehen ist.

In dem in Abbildung 4 gezeigten Fahrzeugschema sind die zu den Radsätzen gehörigen Lasten dargestellt. Das Schema zeigt eine erste Darstellung des Wagenzustands, der sich noch durch Zusatzlasten ändern wird.

	BKE				885				KKE				485				BKE			
Radsatzlast [kg]	Σ 12.967				Σ 12.407				Σ 16.235				Σ 18.317							
	6.472		6.496		6.224		6.183		8.135		8.100		9.109		9.208					
	O	-	O		O	-	O		O	-	O		O	-	O					
	L _{De} =12300				L _{DG} =12300															
Radsatz	B1	LD	B2		B3	LD	B4		A4	TD	A3		A2	TD	A1					
Radsatz neu	8		7		6		5		4		3		2		1					

Abbildung 4 Fahrzeugschema [2]

Gemeint ist die Nutzlast der Fahrgäste, sowie die Gewichte der zusätzlichen Ausrüstungskomponenten, wie in Punkt 2.2 vorgestellt. Unter Betrachtung dieser Aspekte lassen sich die Werte der Radsatzlasten in Tabelle 1 zusammenfassen. Dazu wird in einem weiteren Abschnitt erklärt, wie diese Lasten zu berechnen sind.

In Tabelle 1 sind die Lasten, die auf den 4 Drehgestellen verteilt sind, einmal ohne Massen der Zusatzkomponenten und einmal mit diesen Massen zu sehen. Beide Betrachtungen jeweils ohne Stehplatzreduzierung. Mit der Anmerkung, dass die **Grenzlast 12 t** beträgt, wird deutlich, weshalb die Kompensierungsmaßnahmen im Wagen 485 durchgeführt werden.

⁴ Verwiegunen, zwischen Dezember 2011 und September 2012

Tabelle 1 Ist-Zustand der Radsatzbelastung ohne Stehplatzreduzierung

Fahrzeug	ETB 885				ETA 485			
	8	7	6	5	4	3	2	1
Radsatz	LRS	LRS	LRS	LRS	TRS	TRS	TRS	TRS
Radsatztyp	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Redesign (Mittelwert) ohne ZBS, FASSI, ZAT und ohne Stehplatzreduzierung	10.137	10.161	9.868	9.827	11.732	11.697	<u>11.957</u>	<u>12.056</u>
Redesign (Mittelwert) mit ZBS, FASSI, ZAT und ohne Stehplatzreduzierung	10.137	10.161	9.868	9.827	11.734	11.699	<u>12.020</u>	<u>12.119</u>
Betriebsmasse [kg]	39.993				47.572			
Wagenschwerpunkt von DG1 [mm]	6.057				-6.059			

Wie man sehen kann, sind die Lasten am Drehgestell 1 (bestehend aus den Radsätzen 1 und 2) am größten und überschreiten in der Mehrheit die Grenzlast. TRS 1 weist eine Mehrbelastung von ca. 120 kg und TRS 2 von ca. 20kg.

Anhand dieser Werte ist dann die Massebilanz zu erstellen, wobei es abgesprochen ist, dass der Mindestwert für die reduzierten Lasten **150 kg** betragen soll. Eine Entlastung bis 200 kg wird im dem Sinne bevorzugt.

2.2.2 Rahmenbedingungen

Laut Arbeitsanweisung gelten als Rahmenbedingungen für die Ermittlung von Fahrzeugmassen zum Beispiel normative Festlegungen, Zeichnungen, Wiegeprotokolle, Rechenregeln, technische Merkmale u.a. Dazu zählt man auch die Vorlagen für die Ermittlungen, wie zum Beispiel die Definition des Koordinatensystems für die Bestimmung des Wagenschwerpunkts. Das ist in den Unterlagen festgelegt und nach Quelle [3] definiert:

Koordinatensystem

Der vereinbarte Bezugspunkt des Koordinatensystems wird durch den Schnittpunkt folgender Ebenen definiert:

- x_0 = Mitte zwischen den Abstützebenen des Fahrzeugkastens
- y_0 = Mitte zwischen linker und rechter Fahrzeugseite
- z_0 = Schienenoberkante

Die positive Achsenrichtung ist weiterhin wie folgt definiert:

- x in Richtung Fahrzeugende 1
- y in Richtung linke Fahrzeugseite
- z entgegengesetzt zur Schwerkraftrichtung

Als Beispiel dient die Abbildung 5 mit Skizzen zu den Zusatzkomponenten, die für den aktuellen Massebericht benutzt wurde.

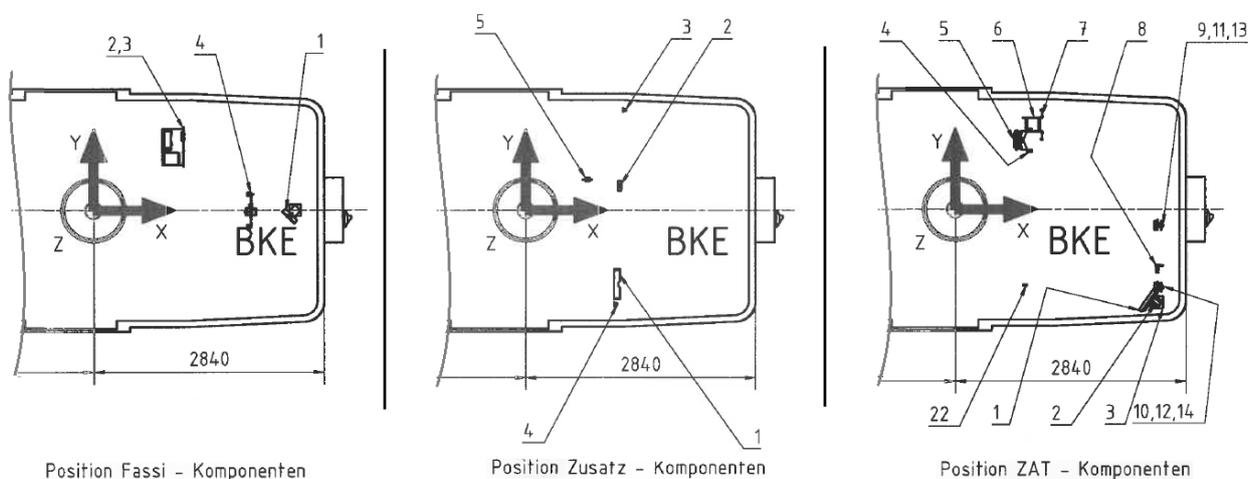


Abbildung 5 Skizzierung Position Zusatzeinbauten von DG1 [19; 20; 21]

Der dargestellte Schnitt in den Skizzen entspricht dem Fahrzeugende 1, der Ursprung des Koordinatensystems ist bezogen auf das Drehgestell 1. Von diesem Punkt aus werden die Abstände zu den Komponenten aufgenommen.

Das Koordinatensystem kann an anderen Stellen definiert werden, z.B. für die Betrachtung der verfügbaren Passagierbereiche.

Ziel ist es, die Stehplatzfläche zu reduzieren. Wichtig für diese Betrachtung ist, wo sich die Fahrgäste im Fahrzeug befinden werden. Indem die Wagen in Bereiche eingeteilt werden, kann eine Einschätzung über sitzende oder stehende Fahrgäste erfolgen. Anhand dieser Einteilung kann eine Feststellung der Schwerpunkte zum neuen Koordinatensystem mit Hilfe von Zeichnungsunterlagen aufgestellt werden. Hierzu sind in Abbildung 6 die Bereiche und die Abstände von Fahrzeugende 1 zu sehen.

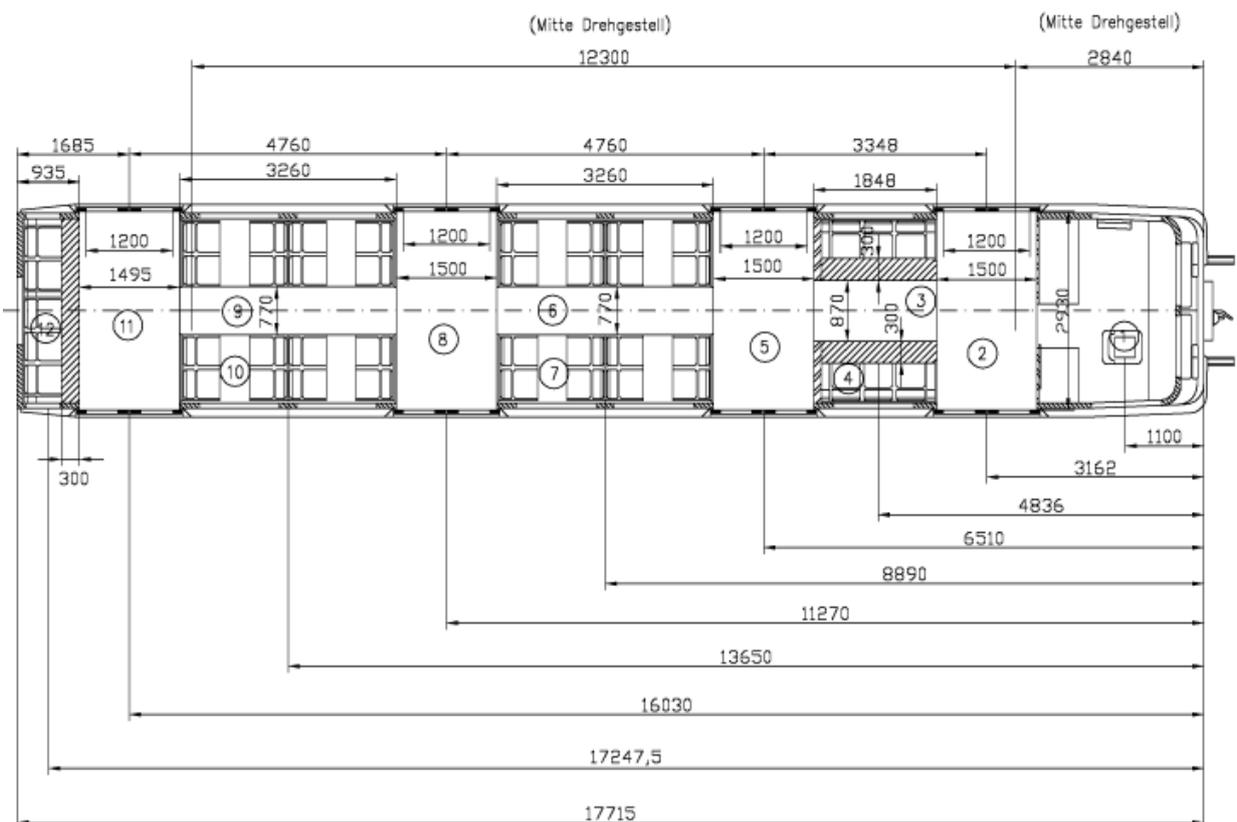


Abbildung 6 Abstände in x-Richtung von WE1 in mm; A-Wagen [2]

Dieses Schema wird auf eine erste Instanz verwendet, um die Zusatzlasten der Fahrgäste pro Bereich zu berechnen. Die Bereiche sind nummeriert und in Tabelle 2 kategorisiert. Aufgrund des symmetrischen Aufbaus des Wagens lassen sich hier z.B. die gegenüberliegenden Sitze in einen gemeinsamen Bereich einteilen.

Tabelle 2 Auflistung der Bereiche im A-Wagen

Bereich	Benennung
1	Betriebspersonal
3	Mehrzweckbereich/ Dienstabteil
6, 9	Gangbereich
2, 5, 8, 11	Einstiegsbereich
4, 7, 10, 12	Sitzplatzbereich

Als weitere Randbedingungen gelten die oben behandelten Werte der Wiegeprotokolle und der aktuelle Massebilanzbericht [2] als Referenz für die Ausgangswerte.

In 2.2.3 wird erklärt, weshalb der Schwerpunkt der Massen in x-Richtung zu betrachten ist und wie man die vorgestellten Bereiche nach Normen für die Berechnung mit Personen zu belasten hat.

2.2.3 Schwerpunktbetrachtung der Komponenten

Alle im Wagen eingebauten Komponenten besitzen einen Schwerpunkt, der sich mit einem gewissen Abstand von den beiden Drehzapfen⁵ entfernt. Die Wichtigkeit dieser Abstände liegt darin, dass an diesen Stellen die Gewichtslasten vom Wagenkasten zu den Drehgestellen übertragen wird.

Zur Bestimmung der Belastung an jedem Drehgestell fasst man die Schwerpunkte aller Komponenten in einen gemeinsamen zusammen, wobei der Betrag an den beiden Abstützstellen verteilt ist. Zur Verdeutlichung dient in diesem Fall Abbildung 7. Auf der seitlichen Ansicht sind die Übertragungsstellen mit den Lasten (A1-A2; A3-A4) zu sehen und der Schwerpunkt „S“, etwa in der Mitte skizziert. Auch hier definiert man das Koordinatensystems am DG1.

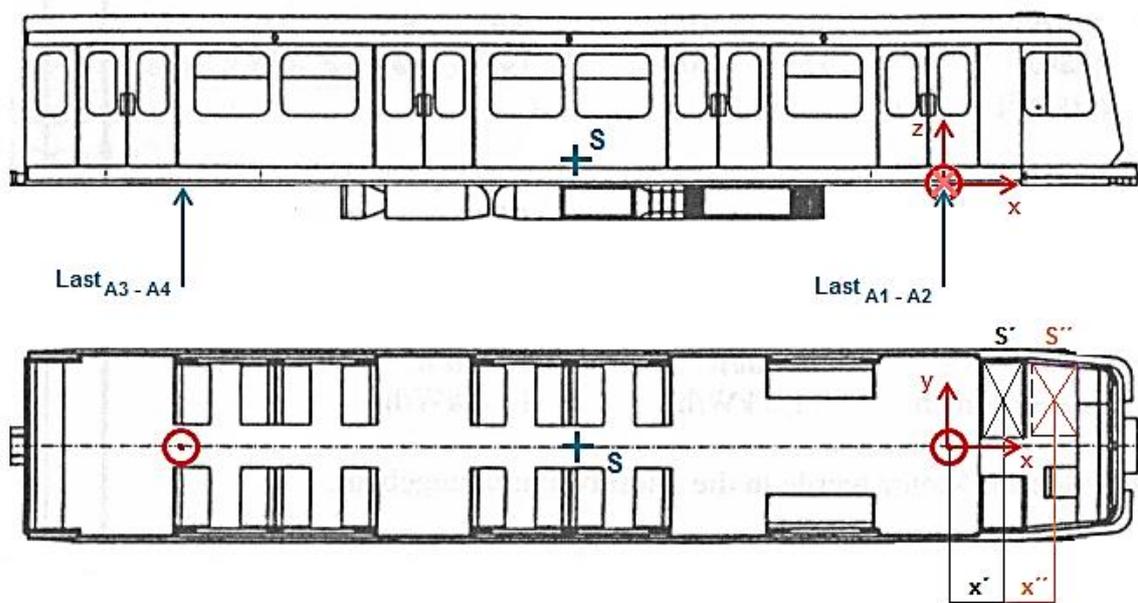


Abbildung 7 Betrachtung der Schwerpunkte in x-Richtung [16]

Das Modell kann zu einem Balken mit zwei Lagerstellen vereinfacht werden, an dem der Schwerpunkt, je nach Abstand, eine Lagerstelle mehr belasten kann als die andere. Ein Vorstellungsbeispiel dazu ist die Draufsicht in Abbildung 7.

Zunächst wird die schwarzgerahmte Komponente mit „S'“ als Schwerpunkt betrachtet. Dieser wirkt deutlich mehr in einem Abstand „x'“ auf den DG1 als den

⁵ Verbindungskomponente zwischen Wagenkasten und Drehgestellen

DG2. Dieses Objekt verursacht auch Belastungen in y- und in z-Richtung, die sich auf denselben Ursprung beziehen. Diese beeinflussen den gemeinsamen Schwerpunkt „S“ des Wagens nur zu den Seiten (entspr. in y-Richtung) und der Höhe (entspr. in z-Richtung), d.h die Belastungen haben keinen großen Einfluss auf die Wirkung von „S“ auf den beiden Drehgestellen.

Bei einer Verschiebung des Objekts in x-Richtung, auf die Position mit dem Schwerpunkt „ S´ “ und im Abstand „x´ + x´´ “ vom DG1, erfolgt ebenso eine Verschiebung von „S“ in die x-Richtung. Da die Belastungen sich aus dem Produkt der wirksamen Einzelmasse M_i mal dem Abstand S_{xi} zum Koordinatenursprung ergibt, kann man sagen, dass die Vergrößerung des Abstands zum Bezugspunkt eine Vergrößerung der Belastung verursacht.

Aus diesem theoretischen Beispiel ergibt sich, dass der Betrag der Last_{A1-A2} eher steigen würde als die Last_{A3-A4}.

In der Praxis dokumentiert man die Abstände der Schwerpunkte in x-, y-, z-Richtung. Vereinfacht wird mit der x-Richtung gerechnet, denn die Komponenten verursachen mehr Einfluss auf die Lastverteilung in dieser Richtung als in den anderen beiden.

Am Fahrzeug ist der Schwerpunkt eine Zusammensetzung aller Massenschwerpunkte der Einbauten. Um diesen zu ermitteln, werden alle Schwerpunkte mal dem Abstand zu einer bestimmten Koordinate berechnet und durch die errechnete Gesamtmasse geteilt. Folgende Formel wird für die Bestimmung des Wagenschwerpunkts in x-Richtung verwendet:

$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot S_{xi}}{\sum_i M_i} \quad (1)$$

(aus Quelle 3)

Wie vorher erwähnt, werden für die Berechnungen nicht nur Komponenten berücksichtigt, sondern auch Zusatzlasten der Fahrgästen. In den bereits aufgeteilten Bereichen (in 2.2.2) sind diese normgerecht in der Berechnung miteinzubeziehen.

2.2.4 Massebilanzrechnung

Im aktuellen Massebilanzbericht und in der Spezifikation des Auftrages sind die Ergebnisse gemäß **DIN EN 13103** und **DIN EN 13104** für Fahrzeuge des Nahverkehrs nachzuweisen.

In diesen Normen [4] und [5] sind für die Bereiche folgende Gewichte für die Personenmassen festgelegt. Zu den Massen gelten folgende Angaben:

- **Reisendenmassen auf Sitzplätzen:** ein Fahrgast mit 70 kg x 1,2 je Sitzplatz
- **Reisendenmassen auf Stehplätzen:**
 - 3 Fahrgäste mit 70 kg x 1,2 je m² in den Gängen zwischen den Sitzen
 - 4 Fahrgäste mit 70 kg x 1,2 je m² im Großraum- bzw. Mehrzweckbereich
 - 5 Fahrgäste mit 70 kg x 1,2 je m² im Einstiegsbereich
- **Betriebspersonal:** 1 Triebfahrzeugführer mit 80 kg x 1,2 im Führerraum
- **Betriebsstoffe:** wurden bereits bei der Verwiegung berücksichtigt“

(aus Quelle 2)

Weiterhin ergibt sich die gesamte **Nutzmasse** m_N der Personen aus der Summe der Masse der Fahrgäste bei maximaler Besetzung der größtmöglichen Zuladung (wie oben beschrieben). Für die Berechnung der Nutzmasse nach DIN 25008 wird folgende Formel verwendet:

$$m_N = (n_{Sipl} + A_{Stpl} \cdot P'_{stpl}) \cdot P' \quad (2)$$

mit:	n_{Sipl}	Anzahl der Sitzplätze [Personen]
	A_{Stpl}	Stehplatzfläche [m ²]
	P'_{stpl}	Mittlere Stehplatzdichte [Personen/m ²]
	P'	Typische Personenmasse [kg/Person]

Ergebnisse zur Nutzmasse der Ist-Lage befinden sich in der Anlage 2, welche die gezeigten Werte in Tabelle 1 bestätigen.

Die Nutzmasse m_N stellt in den nächsten Abschnitten ein zentrales Kriterium für den Vergleich der Varianten dar.

2.3 Varianten

Ziel ist die Reduzierung von Stehplatzflächen. Ein Aspekt, auf den die Nutzmasse der Personen einen direkten Einfluss hat. Es kann angenommen werden, je geringer die Stehplatzfläche, desto geringer ist die verursachte Belastung der Personen auf den Radsätzen.

Die zuvor getätigten Betrachtungen zeigen, dass die Lasten vor allem im vorderen Bereich des A-Wagens auftreten. Mit dem Auftraggeber wurde beschlossen, idealerweise die Änderungen am DG1 vorzunehmen. Das betrifft vor allem die Bereiche 2, 3 und 4 (siehe Abbildung 6 und Tabelle 2 in 2.2.2). Die Fotos in Anlage 3 veranschaulichen die Räumlichkeit und die Zuordnung der wesentlichen Komponenten.

Aus einer Zeichnungs- und Stücklistenrecherche entnimmt man für diese Komponenten die Massenwerte und ihre Lage am Fahrzeug und erfasst sie in einer Excel-Tabelle. Diese Software ist das verwendete Mittel zur Berechnung, die auch für den Vergleich benutzt wird.

Zu beachten ist, dass die vorgeschriebene Gesamtlast nicht durch die Änderungen überschritten wird. Diesbezüglich wird für jede Variante eine Überschlagsrechnung unter Berücksichtigung der aus- und einzubauenden Komponenten durchgeführt.

Diese Varianten sind in einer Runde mit den beteiligten Personen diskutiert und als Entwurf vorgeschlagen worden. Der rechnerische Teil und die konstruktive Umsetzung werden in den nächsten Abschnitten behandelt.

2.3.1 Variante a)

Bildliche Darstellung:

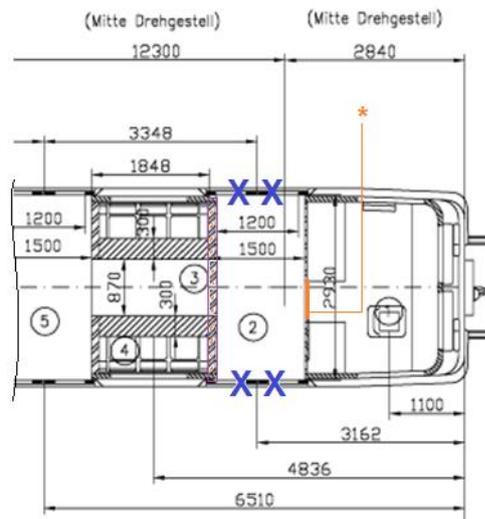


Abbildung 8 Umbauskizze der Variante a); geändert aus [2]

Beschreibung:

In dieser Variante erzielt man eine deutliche Reduzierung der Stehplätze, indem man den kompletten Bereich 2 (ca. 4,4 m²) für die Fahrgäste beschränkt. Hier werden die Einstiegstüren so umgebaut, dass nur der Triebfahrzeugführer dadurch ein- und aussteigen kann, d.h. die Reisenden haben in dem Bereich keinen Zutritt.

Weiterhin wird die Trennung zwischen den Bereichen 2 und 3 durch den Einbau einer neuen Wand anstatt der beiden Windfangwände erfolgen, wobei die vorhandene Führerstandrückwandtür (in orange mit „*“, s. Abbildung 8) in die neue Wand mit einem Panikschloss eingebaut wird.

Komponentenbetrachtung:

In der unten gezeigten Tabelle 3 werden die Komponenten mit ihren Massen m' und Schwerpunktabstände S_x vom Drehgestell 1 dargestellt. Diese werden für die Überschlagsrechnung mit einem Faktor multipliziert und ergeben die Masse m , mit dem man weiter rechnet. Das Vorzeichen am Faktor „+“ bedeutet in diesem Fall, dass die Masse zusätzlich im Wagen eingebracht wird. Dagegen bedeutet ein „-“ die Entnahme des Bauteils. Der Wert des Faktors bestimmt die Anzahl an Komponenten, die aus-/eingebaut werden. Diese Erklärung gilt für die Tabellen 3 bis 6.

Tabelle 3 Komponentenbetrachtung für Variante a)

				S _x vom DS 1
Bezeichnung	Faktor	m' [kg]	m [kg]	x [mm]
Abteiltrennwand (m.Tür)	1	356	356,0	-1.072
Trennwand, kpl. (klein)	-2	20,1	-40,2	-1.072
Führerstandrückwandtür	-1	138,00	-138,0	430
Summe:			<u>177</u> kg	
Summe mit ZBS,ZAT,FASSI:			<u>244</u> kg	

Kommentar:

Tabelle 3 zeigt, dass allein durch die Umbaukomponenten die Masse um 177 kg erhöht wird. Nach der Berechnung der zu berücksichtigenden Einbauten beträgt das Gewicht 244 kg.

In der Anlage 5 berechnet man weiterhin die Personenbelastung und weitere nötige Werte für den Vergleich nach den oben beschriebenen Rahmenbedingungen. Daraus ergibt die Gesamtnutzmasse für die Variante a) ($m_{Nges\ a}$) einen Wert von 11.045 kg oder 11,1 t⁶.

⁶ Gerundet nach den Regeln der Arbeitsanweisung

2.3.2 Variante b)

Bildliche Darstellung:

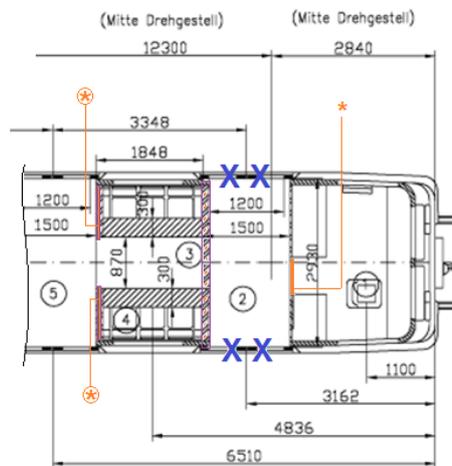


Abbildung 9 Umbauskizze der Variante b); geändert aus [2]

Beschreibung:

Diese Variante ist wie Variante a) formuliert, jedoch mit einer Erweiterung. Hier betrachtet man die Möglichkeit, die vorhandene Abteiltrennwand komplett oder teilweise auszubauen und stattdessen Windfangwände einzubauen.

Komponentenbetrachtung:

Tabelle 4 Komponentenbetrachtung für Variante b)

Bezeichnung	Faktor	m´ [kg]	m [kg]	Sx vom DS 1
				x [mm]
Abteiltrennwand (o.Tür)	-1	87,2	-87,2	-2920
Abteiltrennwand (m.Tür)	1	356	356,0	-1.072
Trennwand, kpl. (klein)	-2	20,1	-40,2	-1.072
Führerstandrückwandtür	-1	138,00	-138,0	430
Trennwand, kpl. (klein)	2	20,1	40,2	-2.920
Summe:			<u>131</u> kg	
Summe mit ZBS,ZAT,FASSI:			<u>197</u> kg	

Kommentar:

Interessant in dieser Variante ist der Ausbau der „Abteiltrennwand (o. Tür)“. Die Entfernung dieser Wand führt zu einer Reduzierung der Masse, wobei sie im Wagen eine wichtige Aufgabe hat. Aus dem Grund hat man festgestellt, dass der komplette Ausbau der Wand nicht durchzuführen ist. Der Wert dieser Wand in Tabelle 4 entspricht nicht der Gesamtmasse des Bauteils, sondern nur 40% der 218,0 kg. Der Grund für diese Betrachtung wird bei der konstruktiven Beurteilung erläutert.

Ansonsten erfolgt hier keine weitere Bereichseinschränkung im Vergleich zu Variante a). Das bedeutet, die Werte für die Personenbelastung bleiben so erhalten wie in der vorherigen Variante; $m_{Nges\ b)} = m_{Nges\ a)} = 11.1\ t.$ (s. Anlage 6)

Mit dieser Erweiterung der ersten Variante erfolgt die Reduzierung nur durch die Manipulation von Komponenten und nicht von Stehplatzflächen.

2.3.3 Variante c)

Bildliche Darstellung:

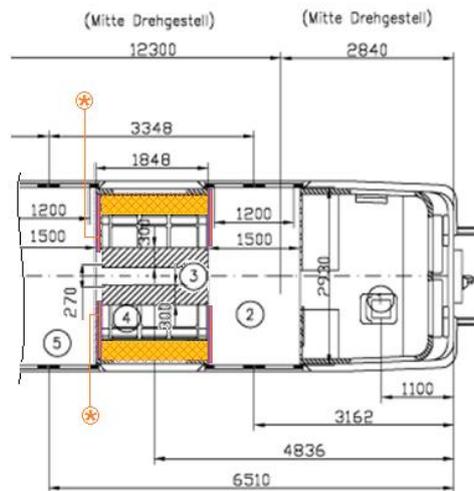


Abbildung 10 Umbauskizze der Variante c); geändert aus [2]

Beschreibung:

Die Reduzierung in dieser Variante wird nicht mehr durch die Einschränkung eines ganzen Bereiches erfolgen, sondern durch die Limitierung des Bereichs 3 (Mehrzweckabteil). In diesem Raum sind zwei symmetrisch zur x-Achse angeordnete Dreiersitze (Bereich 4), die je um **300 mm** zur Mitte umgebaut werden sollen. Verschiebt man die Sitze nach vorne, bleibt ein Spalt zwischen Seitenwand und Rücklehne der Sitze. Der Vorschlag dazu ist der „Einbau einer Kofferablage oder ähnliches“ [10].

Weiterhin werden die Sitze auf einer Seite mit der Abteiltrennwand und auf der anderen Seite mit der kleinen Variante der Windfangwände abgegrenzt. Die zuletzt genannten werden nun durch die großen Windfangwände ersetzt und die kleinen auf Höhe der Abteiltrennwand angebracht, um den Durchgang zum Mehrzweckabteil zu vergrößern.

So wie in Variante b) bleibt die Idee, die Abteiltrennwand zu entfernen. Hier wird sie auch so wie oben behandelt.

Komponentenbetrachtung:

In der Tabelle 5 ist die Summe der Masse der Komponenten berechnet, die ein- und ausgebaut werden. Es werden besonders zwei Einbauten betrachtet. Das erste ist die befestigte Haltestange am Dach. Diese wird auf beiden Seiten wegen Verletzungsgefahr entfernt, da sie sich genau über den Köpfen der Fahrgäste befinden würden.

Das zweite ist das „GFK-Formteil + Einbaukomponenten“. Die Werte für diese Masse wurden durch die Erstellung von 3D- Modellen in Inventor ermittelt. Mit der entsprechenden Zuordnung der Werkstoffe für das GFK-Formteil und das Gestell ergibt es zusammen eine Masse von **23 kg** für den Einbau auf einer Seite.

Tabelle 5 Komponentenbetrachtung für Variante c)

				Sx vom DS 1
Bezeichnung	Faktor	m´ [kg]	m [kg]	x [mm]
Trennwand, kpl. (groß)	2	28,6	57,20	-1.072
Abteiltrennwand (o.Tür)	-1	87,2	-87,20	-2920
Haltestangen	-2	6,396	-12,79	-1.996
Trennwand, kpl. (klein)	-2	20,1	-40,20	-1.072
Trennwand, kpl. (klein)	2	20,1	40,20	-2.920
GFK-Formteil+Einbaukomp.	2	23,00	46,00	-1.996
Summe:			<u>3</u> kg	
Summe mit ZBS,ZAT,FASSI:			<u>69</u> kg	

Kommentar:

In Anlage 7 befindet sich wiederum die Berechnung der Personenbelastung unter Beachtung der projizierten Sitzflächen im Bereich 3. Diese, geregelt in der DIN 25008, ergibt sich aus der Sitzbreite mal einer Tiefe von 300 mm (s. Abbildung 10, schraffierte Fläche). Die Fläche ist für die Füße der sitzenden Fahrgäste gedacht.

Unter Beachtung dieses Kriteriums ergibt sich im A-Wagen mit dem Redesign eine Nutzmasse von $m_N = 12.518$ kg oder 12,6 t.

2.3.4 Variante d)

Bildliche Darstellung:

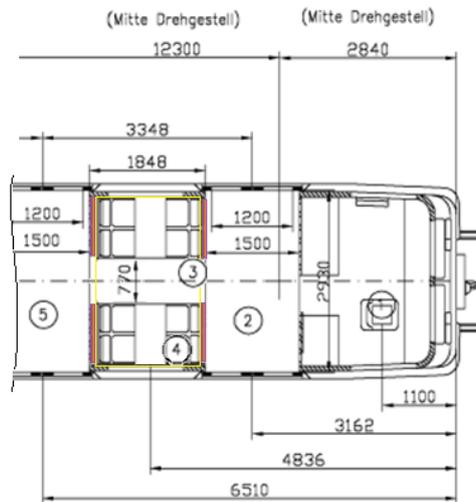


Abbildung 11 Umbauskizze der Variante d); geändert aus [2]

Beschreibung:

Sowie in der Variante c) versucht man, durch den Umbau der Sitzgestelle im Mehrzweckabteil das Ziel zu erfüllen. In dem Fall will man die vorhandenen Dreiersitze ausbauen und diese mit Vis-a-vis-Bestuhlung ersetzen. Zur Veranschaulichung der Position der Sitze dient die Abbildung 11, Bereich 4.

Weiterhin besteht die Absicht, die Abteiltrennwand auszubauen, um so den Durchgang zum Mehrzweckabteil zu vergrößern.

Komponentenbetrachtung:

Tabelle 6 Komponentenbetrachtung für Variante d)

				Sx vom DS 1
Bezeichnung	Faktor	m [kg]	m [kg]	x [mm]
Trennwand, kpl (groß)	2	28,6	57,20	-1.072
Abteiltrennwand (o.Tür)	-1	87,2	-87,20	-2.920
Haltestangen	-2	6,396	-12,79	-1.996
Vis a Vis Sitze	4	36,997	147,99	-1.996
3er Sitze	-2	59,492	-118,98	-1.996
Trennwand, kpl. (klein)	-2	20,1	-40,20	-1.072
Trennwand, kpl. (klein)	2	20,1	40,20	-2.920
Summe:		-13 kg		
Summe mit ZBS,ZAT,FASSI:		52 kg		

Diese Variante, analog zu den anderen berechnet, ergibt ein negatives Ergebnis für die Summe der Umbaukomponenten. Das bedeutet, dass durch diese Maßnahme kein Zusatzgewicht eingebaut wird, sondern eine Erleichterung von **13 kg** erfolgt.

Da diese Räumlichkeit für die Dreiersitze konzipiert ist, werden möglicherweise für die Anpassung der Vis-a-vis-Bestuhlung im Raum weitere Bauteile notwendig sein. Für die Überschlagsrechnung wird dieser Aspekt vernachlässigt, aber nicht beiseitegelassen, wenn diese Variante umgesetzt werden sollte.

Kommentar:

Mit der Anmerkung, dass der Umbau eine Vergrößerung der Fläche im Bereich 3 verursacht, berechnet man die Nutzmasse in Anlage 8. Das Ergebnis für die Belastung der Personen lautet dann $m_N = 12.871 \text{ kg}$ oder 12,9 t.

Wie in Anlage 2; Tabelle 2 zu sehen ist, liegt die aktuelle Personenbelastung bei 12.890 kg. Bei dem Vergleich mit Variante d) ergibt sich eine geringe Änderung.

Um solch eine Feststellung zu interpretieren und um weitere Aussagen über die Varianten formulieren zu können, erfolgt im nächsten Abschnitt ein globaler Variantenvergleich gegenüber der Ist-Lage.

2.4 Variantenvergleich

Nach der Präsentation der Ergebnisse der Nutzmassen und der Ausrüstungskomponenten für jede Variante werden nun die endgültigen Änderungen an den Radsätzen betrachtet. Hierfür werden relevante Kriterien aufgelistet.

In Tabelle 7 stellt man die Ergebnisse nebeneinander dar und vergleicht sie direkt mit dem Ist-Stand der gewählten Kriterien. Um aus dieser Gegenüberstellung der Werte konkretere Aussagen machen zu können, gibt man an einigen Stellen die Änderung des Kriteriums als Prozentzahl an.

Im Punkt „1. Allgemein“ der Tabelle werden die verfügbaren Plätze für die Fahrgäste anhand der Neuaufteilung der Bereiche betrachtet.

Der zweite Punkt fasst die errechneten Nutzlasten nach den Normen DIN EN 13103/13014 zusammen und beinhaltet die Lage des Schwerpunkts der Lasten in x-Richtung vom Wagenende 1 und Drehgestell 1. Diese Werte werden weiterhin im Punkt 3 den Massen der Ausrüstungskomponenten zugerechnet.

Nach der Betrachtung der berechneten Ergebnisse werden nun die Gewichte in Punkt 4 mit der gewogenen Masse des Wagens (s. Anlage 2) addiert und somit die Radsatzbelastungen bestimmt. Bevor die Lasten den entsprechenden Radsätzen zugeteilt werden können erfolgt eine Überprüfung der bereits erwähnten Gewichtseinsparung von **150 kg** oder **0,3%**.

Die Verschiebung des Wagenschwerpunktes in x-Richtung ist abschließend zu sehen. Zur besseren Übersicht für die Tabelle 7 befindet sich in Anlage 4 eine Zusammenfassung der Varianten.

Tabelle 7 Datenvergleich-Redesign A Wagen (Triebwagen)-BR485

Kriterium	Var. A	Var. B	Var. C	Var. D	Ist-Stand
1. Allgemein					
Sitzplätze	43 Sitze	43 Sitze	43 Sitze	45 Sitze	43 Sitze
Stehplätze	87 Stehplätze	87 Stehplätze	104 Stehplätze	107 Stehplätze	109 Stehplätze
Anzahl Fahrgäste	130	130	148	152	152
Stehfläche in [qm]	19,8	19,8	23,1	23,5	24,2
Reduzierte Fläche in [%]	18,2%	18,2%	4,6%	2,9%	
2. Nutzlast nach DIN EN 13103/13014					
Gesamtmasse Fahrgäste in [kg]	11.044,9	11.044,9	12.518,2	12.871,4	12.890,80
Reduzierte Masse in [%]	14,3%	14,3%	2,9%	0,2%	
Schwerpunkt von WE 1 in [mm]	-10.797,97	-10.797,97	-9.849,43	-9.651,52	
Schwerpunkt von DG1 in [mm]	-7.957,97	-7.957,97	-7.009,43	-6.811,52	
3. Masse mit Ausrüstungskomponenten in [kg]:					
Summe m. ZAT, ZBS, FASSI:	243,69	196,69	69,10	52,10	-
Gesamtmasse:	11.288,6	11.241,6	12.587,3	12.923,5	-
4. Maximale Radsatzlasten mit Massekorrektur nach 2. und 3.					
<i>kg x mm</i>	-287.649.585	-287.786.825	-287.950.952	-287.912.982	
$m_{\text{Ges Var}}$ in [kg]	45.839	45.792	47.137	47.474	47.572
Red. m_{Ges} in [%]	3,64%	3,74%	0,91%	0,21%	
Stand Ziel:	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	
Radsatz A1-A2 in [kg]	22.452	22.394	23.727	24.066	24.139
Reduzierung in [%]	7,0%	7,2%	1,7%	0,3%	
Radsatz A3-A4 in [kg]	23.386	23.397	23.411	23.408	23.433
Reduzierung in [%]	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	
Radsatz A1 in [kg]	11.276	11.247	11.913	12.083	12.119
Radsatz A2 in [kg]	11.176	11.147	11.813	11.983	12.020
Radsatz A3 in [kg]	11.675	11.681	11.687	11.686	11.699
Radsatz A4 in [kg]	11.711	11.717	11.723	11.722	11.734
5. Maximale Schwerpunkt S_x mit Massekorrektur nach 2. und 3.					
von WE 1 in [mm]	-9.115	-9.125	-8.949	-8.905	-8.899
von DG 1 in [mm]	-6.275	-6.285	-6.109	-6.065	-6.059
Reduzierung S_x von DG1 in [%]	-3,6%	-3,7%	-0,8%	-0,1%	

Tabelle 7 zeigt die Nichterfüllung des Ziels in Variante d), bestätigt am Wert des Radsatzes A1 mit 12,1 t, welche über die zulässigen 12 t liegt. Diese Variante wird weiter betrachtet, wobei ein deutlicherer Fokus auf die Varianten a) bis c) liegt.

Diagramm 1 verdeutlicht die Lage der Kriterien in Prozent gegenüber dem Ist-Stand. Diese Daten wurden aus den Werten der Tabelle 7 erstellt.

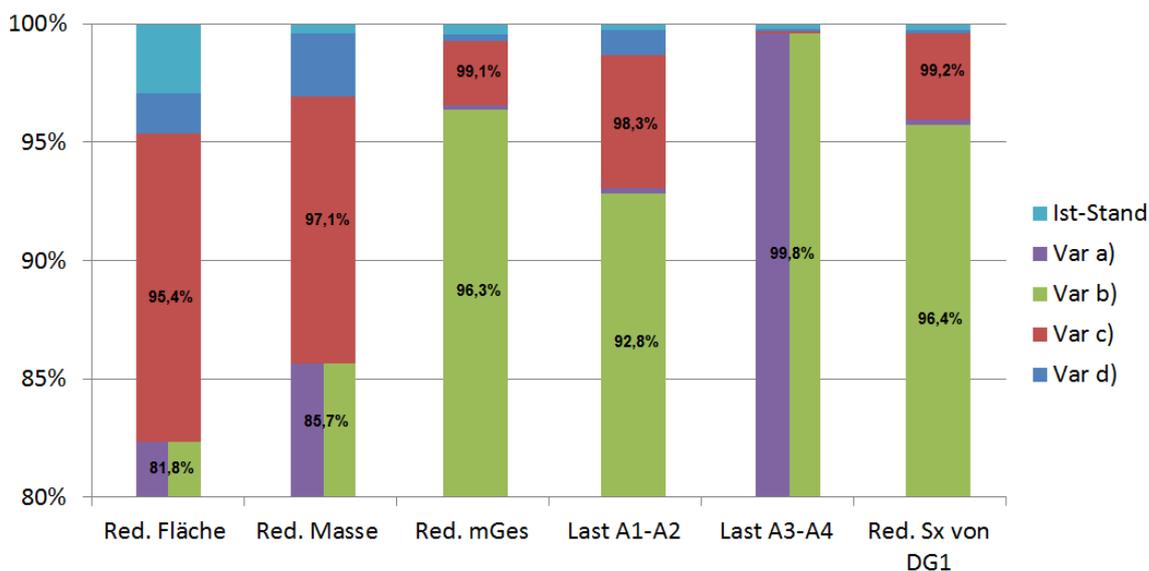


Diagramm 1 Darstellung der Ergebnisse

Hier betrachtet man eine gewisse Ähnlichkeit zwischen den Varianten a) und b), die aber die größten Änderungen in den Aspekten aufweisen. Für die Fläche erreicht man hier eine Reduzierung von **18,2%** und für die Masse der Fahrgäste **14,3%**. Das bewirkt eine Reduzierung von **3,74%** auf der Gesamtmasse m_{Ges} . Variante c) ergibt eine Erleichterung **1%**. Diese Ergebnisse liegen über der geforderten Grenze von 0,3% und erfüllen somit das Ziel.

Die Trennung der Abteiltrennwand in Variante b) verursacht einen Unterschied von 0,1% zur Variante a) in Bezug auf die Gesamtmasse und die Lasten am Drehgestell 1 (A1-A2). Dazu kann man sagen, dass man eine signifikante Verminderung der Lasten am A1-A2 mit **7,2%** bei Variante b) erreicht und bei c) nur **1,7%**.

Dass die Änderungen im vorderen Bereich des Wagens vorgenommen sind, zeigen die Prozentsätze für die Lasten A3-A4. Da widerspiegeln sich minimale Änderungen zur Ist-Lage bei allen Varianten mit einer maximal 0,2-prozentualen Abweichung.

Weiterhin erfolgt eine Verschiebung des Schwerpunktes in die negative x-Richtung von etwa 23 cm (3,7%) in Variante b) und bei c) von 5 cm (0,8%). Diese Werte dienen eher zur Kontrolle der Lage des Schwerpunkts.

Mit dem Verweis auf das theoretische Beispiel in 2.2.3, bedeutet eine Verschiebung des Schwerpunktes in die negative x-Richtung eine Entlastung am DG1. Dies ist der Fall in den vier Varianten. Geprüft wird, ob die Entlastung nach der Zielstellung erfüllt ist. Wie festgestellt, ist Variante d) nicht konform mit den Bedingungen.

Mit den gesammelten Ergebnissen muss eine Variante gewählt werden. Mit Hilfe einer methodischen Vorgehensweise soll die Entscheidungsfindung realisiert werden. Zur besseren Beurteilung erfolgt hierfür eine Auflistung der Zielstellung, der gesammelten Werte sowie der praktischen Aspekte.

2.4.1 Anforderungsliste

Für den Beurteilungsprozess erstellt man eine Anforderungsliste, die die Soll-Eigenschaften der gewählten Kriterien beschreibt. Dann werden diese gegeneinander paarweise bewertet, um eine Punktbewertungstabelle aufstellen zu können und somit den Rang der Varianten zu bestimmen.

Zunächst erfolgt die Präsentation der ausgewählten Auswertungspunkte

- **Verringerung der Radsatzlast**

Die Reduzierung der Radsatzlasten ist das Hauptkriterium laut Zielstellung. Wichtig ist, dass diese Last den Wert von **12 t** nicht überschreitet. Je größer die Unterschreitung der 12 t, desto geeigneter ist die Variante. Dieses Kriterium wird anhand der errechneten Werte bewertet.

- **Konstruktiver Aufwand**

In einem praktischen Umfeld sind die tatsächlichen konstruktiven Maßnahmen zu betrachten. Hierfür wird jede Variante auf Aufwendigkeit der Konstruktion mit einer genaueren Berücksichtigung der vorhandenen Bauteile eingeschätzt. Der Aufwand soll so gering wie möglich sein, was auch eine positive Einwirkung auf die Faktoren Zeit und Kosten haben kann. Ein Kriterium, welche zur Variante infrage kommen könnte, wäre die Möglichkeit, vorhandene Komponenten weiterverwenden zu können, um die Anschaffung neuer Bauteile zu vermeiden.

- **Kostenaufwand**

In jedem großen Projekt spielen die finanziellen Aspekte eine große Rolle. In der mechanischen Abteilung wird geschätzt, dass die hier getroffenen Entscheidungen auf 60-70% der Kosten Einfluss haben. Unter Berücksichtigung des Konstruktions- und Zeitaufwands wird dieser Punkt bewertet. Die gewählte Variante soll nicht den finanziellen Rahmen übersteigen, aber die Lösung soll vernünftig umgesetzt werden.

- **Zeitaufwand**

Arbeitsstunden der technischen Bearbeitung sowie der konstruktiven Umsetzung sind Aspekte, nach denen der Zeitaufwand beurteilt wird. Ein Hauptaugenmerk liegt

auf der Verfügbarkeit der Wagen. Je länger die Standzeiten, desto weniger bringt dieser Wagen ein.

Die Frage nach dem konstruktiven Aufwand schließt die Beurteilung mit ein, wie lange annähernd die Züge pro Umbau in der Werkstatt sein müssen. Die Standzeit soll natürlich möglichst kurz sein.

- **Schwerpunkt Verschiebung in x-Richtung**

Um eine zu große Verschiebung der Lage des Schwerpunkts zu vermeiden, wird dieser in x-Richtung kontrolliert.

- **Anzahl Fahrgäste**

Die Verfügbarkeit an Steh- und Sitzplätze wird in diesem Punkt betrachtet. Eine zu große Verringerung wäre nachteilig.

- **Reduzierte Fläche**

Diese Anforderung hat Auswirkungen sowohl auf die Begrenzung der Anzahl der Fahrgäste als auch die Personenbelastung im Wagen. Dieser Aspekt ist jedoch unter praktischen Gesichtspunkten zu beurteilen. Manche Bereiche sollen eine Erleichterung des Transports größerer Gegenstände ermöglichen; zum Beispiel, Kinderwagen, Rollstühle oder Fahrräder. Diese funktionellen Bereiche sollen weitgehend beibehalten werden.

Die Bedeutung der vorhandenen Anforderungen wird im nächsten Abschnitt ausgewertet.

2.4.2 Wichtung der Kriterien

Für die Wichtung der Kriterien wurde ein Paarvergleich gewählt. Bei diesem Verfahren werden die Anforderungen eins zu eins verglichen und festgestellt, welcher der beiden als wichtiger zu behandeln ist.

Tabelle 8 Paarvergleich zur Wichtung der Kriterien

		B →							
A ↓	Kriterium	Geringe Achslast	Konstruktiver Aufwand	(Geschätzter) Kostenaufwand	Zeitaufwand	Schwerpunkt Verschiebung in x-Ri.	Anzahl Fahrgäste	Reduzierte Fläche	Wichtung
	Geringe Radsatzlast	/	1	1	1	1	1	1	6
	Konstruktiver Aufwand	0	/	1	0	1	1	0	3
	(Geschätzter) Kostenaufwand	0	0	/	1	1	1	1	4
	Zeitaufwand	0	1	0	/	1	1	1	4
	Schwerpunkt Verschiebung in x-Ri.	0	0	0	0	/	0	1	1
	Anzahl Fahrgäste	0	0	0	0	1	/	1	2
	Reduzierte Fläche	0	1	0	0	0	0	/	1
	("A" ist 0 od. 1 als "B")								

In der Tabelle 8 sind die vertikal angeordneten Kriterien (in A) mit den horizontal angeordneten Kriterien (in B) zu vergleichen. Als Beispiel lässt sich folgende Formulierung aus der Tabelle ableiten:

„Der Zeitaufwand (*in A*) ist wichtiger ($=1$) als der konstruktive Aufwand (*in B*)“

oder

„Der konstruktive Aufwand (*in A*) ist weniger wichtig ($=0$) als der Zeitaufwand (*in B*)“

Zu jedem Vergleich gehört auch eine Begründung, weshalb ein Kriterium mehr Gewicht als das andere hat. Zunächst wird das Kriterium „Verringerung der Radsatzlasten“ betrachtet. Diesem ist eine volle Wichtung (6) zugewiesen.

Da die Reduzierung der Radsatzlasten dem Hauptziel des Projektes entspricht, ist die Bedeutung dieser Aufgabe besonders hervorzuheben. Laut Anforderungsliste

steht fest, dass die Kosten, die Zeit und der Konstruktionsaufwand nicht exzessiv hoch sein sollten, aber das Ziel muss erfüllt werden. Um ihre Wichtigkeit hervorzuheben, wertet man die „Verringerung der Radsatzlasten“ deshalb mit einer 1 gegenüber den anderen Kriterien aus.

Weiterhin ergibt sich für den Zeit- und den Kostenaufwand eine Gleichwertigkeit von 4 Punkten. Da diese Faktoren in der Wirklichkeit voneinander abhängig sind, wurde festgelegt, dass es berechtigt ist, die beiden Kriterien mit derselben Wichtigkeit zu behandeln. Danach steht der konstruktive Aufwand mit einer Wichtung von 3 Punkten. Diese hat definitiv einen direkten Einfluss auf die beiden zuvor genannten Kriterien.

Werden die konstruktiven Maßnahmen zu komplex, so können leicht die Kosten und die Bearbeitungszeit steigen. Genauere Betrachtungen zur Konstruktion folgen bei den Erläuterungen zum Umbau.

Aus dieser Auswertung bleiben unter den genannten Kriterien die „Anzahl der Fahrgäste“ mit 2 Punkten, die „reduzierte Fläche“ und die „Verschiebung des Schwerpunkts in x-Richtung g“ jeweils mit 1 Punkt.

2.4.3 Punktbewertung nach VDI 2225

Vorhanden sind die Varianten a) bis d). Davon müssen vor der Bewertung die geeignetsten Varianten ausgewählt werden, die das Ziel und die Anforderungen erfüllen. Die Varianten a) bis c) erfüllen diese Kriterien, Variante d) jedoch wird als mangelhaft eingestuft. Deshalb wird diese in der Entscheidungsphase nicht betrachtet.

Als Bewertungsmethode wird das Punktbewertungsverfahren nach VDI 2225 mit einem 4 Punkt Schema verwendet. Die Anforderungen werden von „*sehr gut*“ bis „*unbefriedigend*“ bewertet.

Mit dieser Methode bildet man eine ideale Variante. Dazu multipliziert man die Wichtung aller Kriterien mal der bestmöglichen Punktzahl und summiert sie anschließend. In Tabelle 9 sieht man für die Spalte „Ideal“ eine Summe von 84 Punkten, welcher man für den Vergleich eine Wertigkeit von 100% gibt.

Dasselbe Vorgehen führt man für die Varianten durch und vergleicht im Anschluss die Anzahl der erreichten Punkte bzw. die prozentige Wertigkeit. Die Variante mit der höchsten Punktzahl erfüllt zum größten Teil die gestellten Anforderungen und sollte weiterverfolgt und umgesetzt werden.

Die Auswertung der Varianten und die Punktzahlzuordnung sind gemeinsam mit den Konstrukteuren durchgeführt und von dem Projektleiter (M. Berntssen) zugestimmt (20.07.2015). In Tabelle 9 erfolgt die Auflistung der Ergebnisse.

Tabelle 9 Variantenvergleich nach dem Punktbewertungsverfahren

4 Punkt-Schema:			Ideal		Var a)		Var b)		Var c)		Var d)	
Nr.	Kriterium	Wichtung	P	WxP	P	WxP	P	WxP	P	WxP	P	WxP
	• sehr gut	4										
	• gut	3										
	• ausreichend	2										
	• gerade noch tragbar	1										
	• unbefriedigend	0										
1	Geringe Radsatzlast	6	4	24	4	24	4	24	4	24	1	6
2	Konstruktiver Aufwand	3	4	12	2	6	1	3	2	6	1	3
3	(Geschätzter) Kostenaufwand	4	4	16	3	12	3	12	3	12	2	8
4	Zeitaufwand	4	4	16	2	8	1	4	2	8	2	8
5	Schwerpunkt Verschiebung in x-Ri.	1	4	4	3	3	3	3	2	2	1	1
6	Anzahl Fahrgäste	2	4	8	0	0	0	0	3	6	4	8
7	Reduzierte Fläche	1	4	4	3	3	3	3	2	2	1	1
•	Summe			84		56		49		60		35
•	Wertigkeit			100%		67%		58%		71%		42%

Zur Veranschaulichung der Tabelle erstellt man ein sogenanntes Spinnendiagramm (s. Diagramm 2). Darin sind die Kriterien in den Achsen verteilt und die jeder Variante eingetragen. In diesem Diagramm lassen sich die Punktunterschiede erkennen.

Die Verbindung der Punkte umschließt im Diagramm eine Fläche, die der Gesamtwertigkeit entspricht. Die grün dargestellte Variante c) umfasst in diesem Diagramm die größte Fläche. Bei dem Vergleich mit Variante a) sind die Unterschiede in der linken Diagrammseite deutlich.

Obwohl die Variante a) eine bessere Punktzahl bei der reduzierten Fläche und Schwerpunktverschiebung in x-Richtung hat, ist das Kriterium der Anzahl der Fahrgäste an dieser Stelle entscheidend.

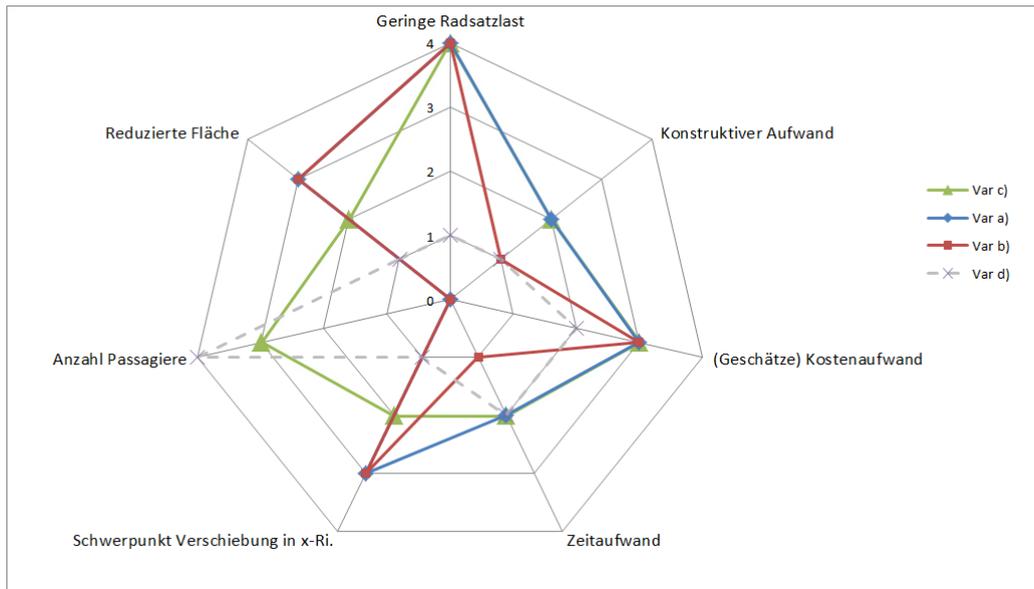


Diagramm 2 ZIS-Spinne

Die Varianten a) und b) werden aufgrund der Passagierplatzbeschränkung mit der geringsten Punktzahl bewertet.

2.5 Abstimmung der Variante

Auf der Basis des durchgeführten Vergleichs und der errechneten Werte wird die **Variante c)** für die konstruktive Umsetzung weiter berücksichtigt.

Diese Variante erreicht bisher eine Reduzierung von 0,91% der Betriebsmasse, welche ausreichend für unsere Problemstellung ist. Gleichzeitig erfolgt keine große Einschränkung für die Fahrgäste.

3. Konstruktion: Rück- und Umbau

Zu diesem Abschnitt kann man wiederum die Anlage 3 nochmal zur Hand nehmen, um die Einbauten im Wagen zu lokalisieren.

Für den konstruktiven Teil dieses Themas entwickelt man einen Entwurf für die umzusetzende Variante c), erklärt in 2.3.3. Die Tabelle 5 in diesen Abschnitt listet die Umbaukomponenten auf, die zu betrachten sind. Anhand einer Zeichnungsrecherche und Untersuchungen am Fahrzeug, leitet man insbesondere folgende drei konstruktive Entwicklungsthemen ab:

- die Befestigungsmöglichkeiten der Sitze nach der Verschiebung um 300 mm
- der Neuentwurf des GFK-Formteils
- der Umbau der Abteiltrennwand

Bei diesen Themen werden die möglichen Kosten sowie der konstruktionstechnische Aufwand und die Gewichtsänderungen berücksichtigt.

3.1 Befestigung der Sitze

Die Sitzbank und das Sitzgestell sind die beiden Komponenten, die um 300 mm zur Wagenmitte verschoben werden. Ihr Einbau im Mehrzweckabteil erfolgt an vier Befestigungsstellen. An den Seiten werden sie einmal an einer schmalen Windgangwand und einmal an der Abteiltrennwand verschraubt. Am Fußboden wird das Sitzgestell mit Holzschrauben auf die vorhandenen Holzschwellen geschraubt. Im hinteren Bereich werden am Sitz eingebaute Blechteile an eine Blechabdeckung geklemmt, die mit der Wand verbunden ist. Zur Veranschaulichung siehe Abbildung 12.

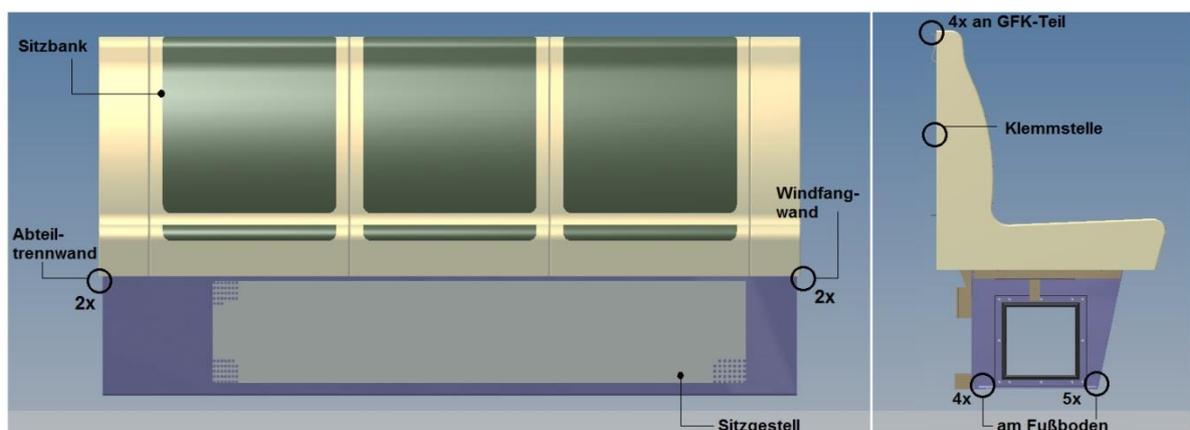


Abbildung 12 Befestigungsstellen am Sitz

Nach der Verschiebung werden für die konstruktive Lösung Befestigungen derselben Art und Weise realisiert.

In Anlage 9 Abbildung 2 ist die aktuelle Position des Sitzgestells zu erkennen. Als Musterumbau wird das Gestell um 300 mm (s. Anlage 9, Abbildung 3) nach vorn verschoben. Aus dieser Untersuchung ergibt sich, dass nach der Verschiebung von 300 mm am Fußboden keine Holzschwellen vorhanden sind, an denen das Sitzgestell befestigt werden kann. Daraus ergeben sich 2 Möglichkeiten:

1.) Sitzbank und Sitzgestell werden um 300 mm verschoben und fehlende Holzteile werden montiert. Hierfür muss bei sämtlichen Fahrzeugen der Fußraum modifiziert werden. Durch diesen Mehraufwand ist diese Variante trotz Einhaltung der Vorgaben nicht realistisch.

2.) Sitzbank und Sitzgestell werden so verschoben, dass die Gestellrückseite auf Höhe der vorderen Seite liegt. So kann die hintere Seite mit der Holzschwelle verschraubt werden. Diese Variante hätte eine Verschiebung von 266 mm statt der 300 mm. Daraus folgt eine Anpassung der Massenberechnung und einer Lösungsfindung für die Befestigung der vorderen Seite des Sitzgestells am Fußboden.

Nach der Neuberechnung der Werte dieser Variante erfüllen die Ergebnisse weiterhin die Anforderungen und liegen somit im zulässigen Bereich der geforderten Belastung.

In dieser Lösung (Nr. 2) wird das Sitzgestell im hinteren Teil mit der Holzleiste im Fußboden durch Holzschrauben befestigt. Dies entspricht dem aktuellen Einbau. An der vorderen Seite des Gestells ist der Einsatz von Holzschrauben nicht mehr möglich. Um eine Befestigung mittels Gewindeschrauben zu ermöglichen, verwendet man Muffen an den fünf Befestigungsstellen. Die hier verwendete Ausführung ist in Abbildung 13 skizziert. Mit einer Gesamtlänge l von 16 mm kann diese in den 15 mm dicken Fußbodenholzplatten eingesetzt werden. Mit diesem Bauteil ist der Einsatz von Metallschrauben auf Holzmaterial möglich (spezifiziert im KVT Katalog 2011).

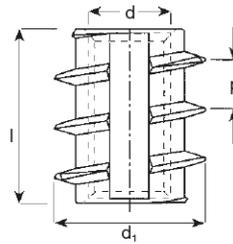


Abbildung 13 Gewindeeinsatz Typ 40 [11]

Zur Darstellung des Einbaus dient Abbildung 14, entnommen den erstellten 3D-Modellen. Links ist die Befestigung der vordere Seite des Sitzgestells vergrößert zu sehen und rechts die hintere Seite mit den Holzschrauben.

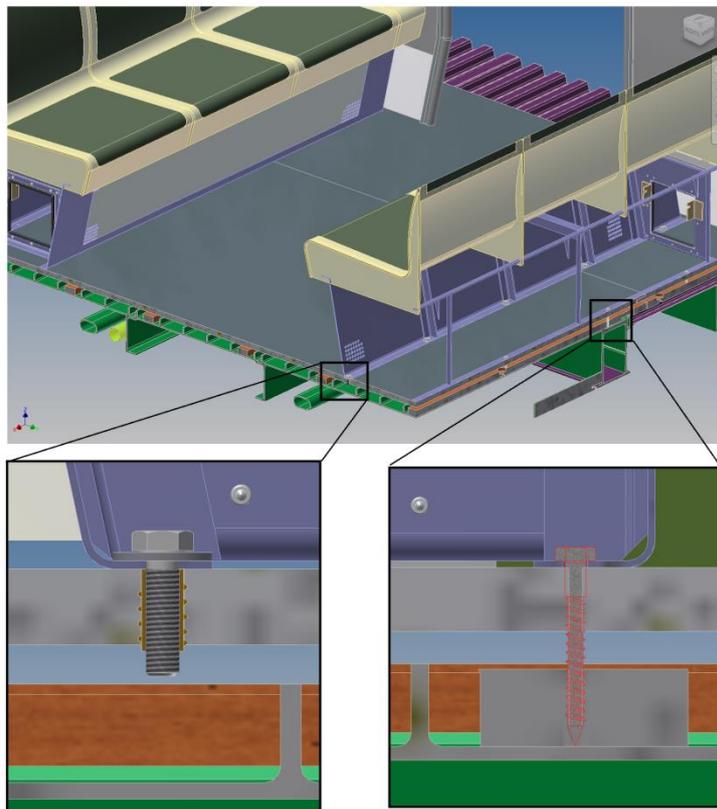


Abbildung 14 Befestigungslösung am Fußboden

Die Seiten der Sitze werden, wie in Abbildung 12 sichtbar, auch durch Verschraubung befestigt. Durch die Änderung erfolgt dies auf einer Seite an einer neu eingebauten breiten Windfangwand und auf der anderen an der Abteiltrennwand und einer schmalen Windfangwand.

3.2 GFK-Formteil

In Anlage 3 bezeichnet der Buchstabe „D“ das vorhandene GFK-Formteil. Im Wagen sind zum Beispiel auch u.a. die Sitzbänke, Wände und Abdeckungen in der Umgebung der Einstiegstüren aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt. Für die Bearbeitung wird dieses GFK-Formteil um den Abstand, der die Verschiebung der Sitze entspricht, verlängert. Ziel ist es, das neue Teil ähnlich der vorhandenen Befestigungslösung zu entwerfen. In Abbildung 15 ist der Einbau des aktuellen Formteils zu sehen. Auf einem Abdeckungsblech gestützt sowie an der Sitzbank verschraubt.

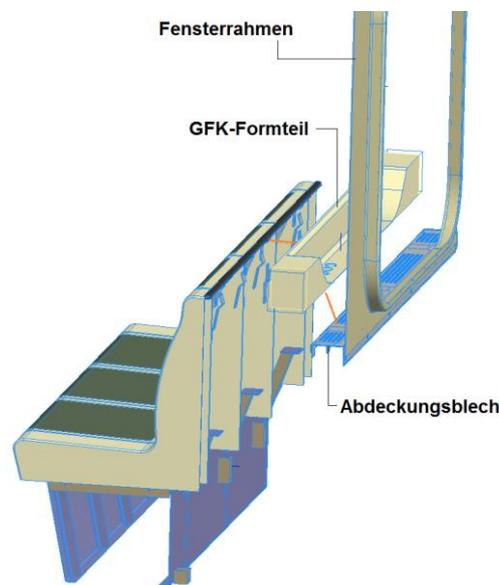


Abbildung 15 Explosionsansicht; GFK-Formteil aktuell

Mit der Verlängerung des GFK-Formteils ändern sich wesentlich die Funktionen des Teils oder zumindest der Eigenschaften. Es ist ihm wegen die Breite eine gewisse Stabilität und Steifigkeit zu zurechnen. So wie das vorherige liegt das neue Formteil auf dem Abdeckblech und wird an die Sitze verschraubt. Das neue Teil ist in der Zeichnung mit der Nummer 25.485.11.01 in den Anlagen zu sehen. (s. auch Abbildung 16)

Man erkennt, dass durch die Form des Teils und seine Montage möglicherweise Fahrgäste auf ihm Platz nehmen könnten. Deshalb sollte die Konstruktion (Kombination GFK-Formteil/Stützgegenstand) für eine solche Belastung ausgelegt sein. Um es den Fahrgästen „schwerer“ zu machen, wird eine Haltestange auf der Oberfläche angebracht, die diese Fläche reduziert.

Zur Stabilitäts- und Steifigkeitsthematik werden zwei mögliche einsetzbare Varianten entwickelt.

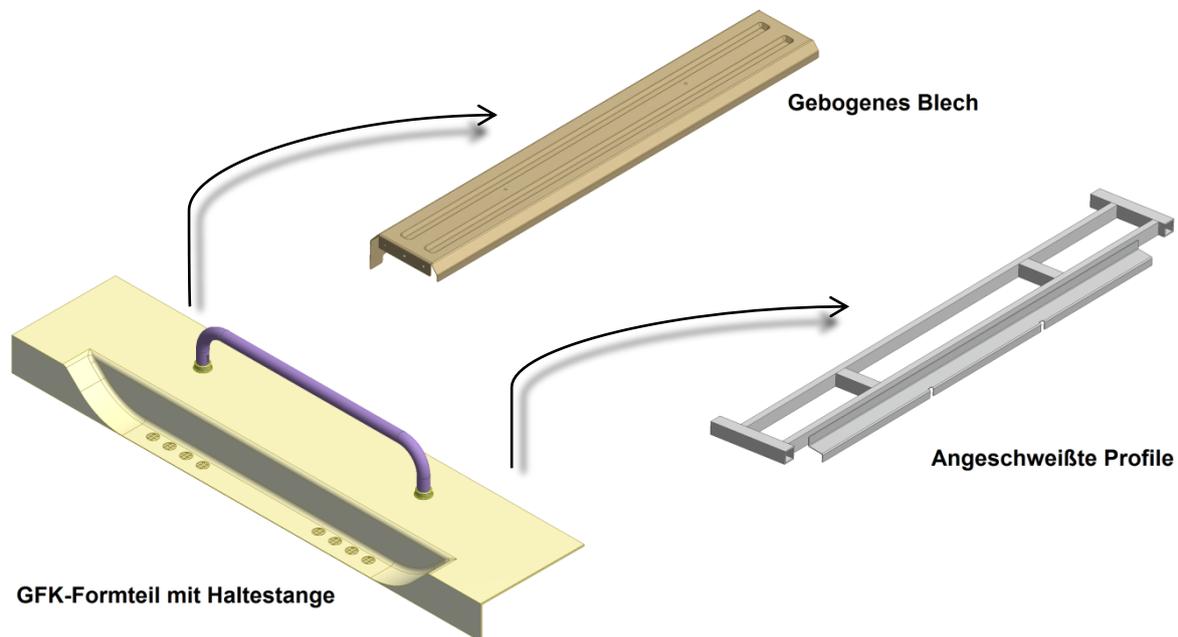


Abbildung 16 Illustration zu den Komponenten

Die beiden Einbauten werden unter das GFK-Formteil platziert, an denen die Haltestange befestigt wird. Die Seiten beider Teile sollen an den Wänden befestigt und die Vorderseite an die Sitze geklemmt werden.

Ein Vorschlag besteht aus einer Schweißbaugruppe Aluminium–Vierkantrohre und einem schmalen Z-Blech. Die andere Möglichkeit ist ein abgebogenes Aluminiumblech, mit Sicken versehen, um die Steifigkeit des Teils zu gewährleisten.

Da das Fertigungsverfahren für das Biegeteil günstiger als Aluminiumschweißen ist, leitet man für das gebogene Blech die technische Zeichnung ab (s. Anlagen, Zeichnungsnummer 25.485.11.02). Man kann jedoch über die andere Lösung sagen, dass sie auch eingesetzt werden könnte.

Diese Teile würden höchstens für einen Musterbau in der S-Bahn-Werkstatt gefertigt werden können. Für die Serienfertigung wäre es wirtschaftlicher, sie über den Einkauf zu bestellen. Solche Entscheidungen trifft aber die Leitung des Engineering zusammen mit der Leitung des Flottenmanagements.

3.3 Umbau Abteiltrennwand

Bei der Vorstellung der Varianten wurde erwähnt, dass diese Abteiltrennwand eine besondere Funktion hat, auf die bei der Konstruktion geachtet werden muss. Genau unter den Bereich, an dem das Redesign vorgenommen wird, befinden sich Elektrogerätekästen, die mit eingehender Luft vom Dach abgekühlt werden. Die Luft strömt von der Decke zwischen den Wänden entlang, durch einen Öffnungsquerschnitt in den Luftkanal hinein und erreicht dann die elektrischen Komponenten. (s. Abb. 17; s. auch Anlage 9 Abbildung 3)

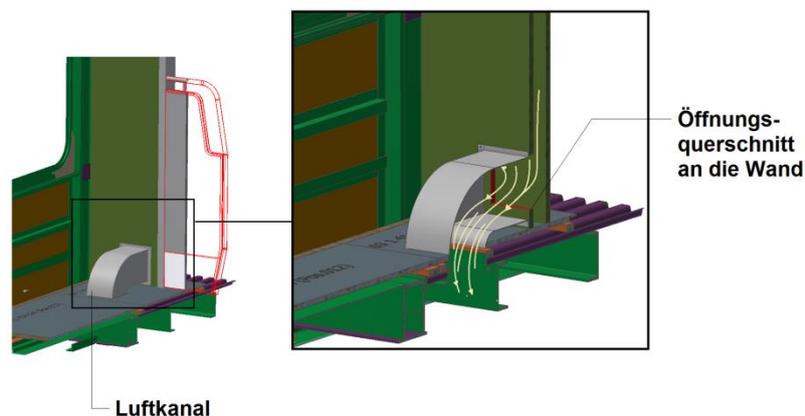


Abbildung 17 Öffnungsquerschnitt der Wand

Soll die 218 kg schwere Abteiltrennwand umgebaut werden, ist die Größe des Öffnungsquerschnitts als eine Randbedingung für die Konstruktion zu sehen. Der „Querschnitt zwischen den beiden Holzplatten“ (A_2) darf nicht kleiner sein als die „Öffnung an der Wand“ (A_1). Eine zu kleine Dimensionierung für die Wand könnte in dem Fall starke Geräusche durch den Luftstrom verursachen. Es wird einen Richtwert für die Breitenlänge (l_2) des Querschnitts (A_2) berechnet, so dass diese Randbedingung eingehalten wird. Siehe Skizze in Abbildung 18.

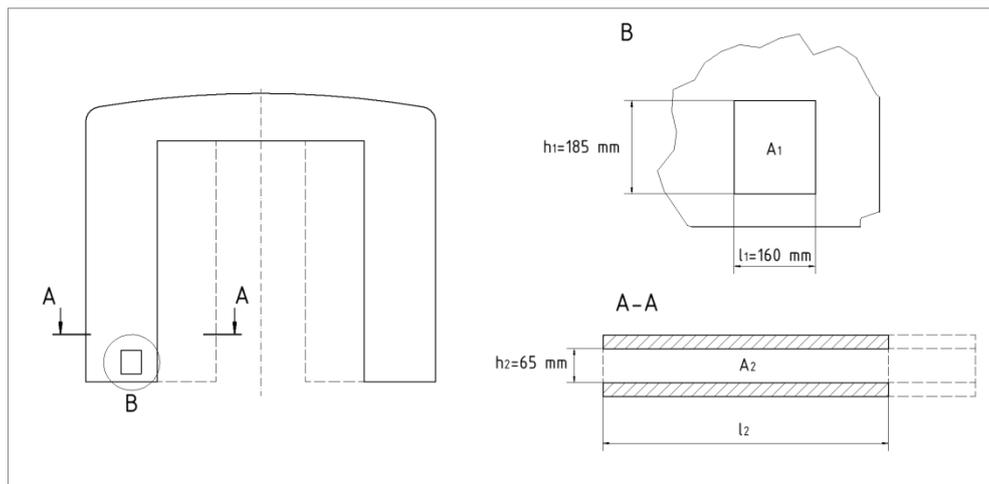


Abbildung 18 Skizze zur Querschnittberechnung; Abteiltrennwand

Die Randbedingung wird erfüllt, indem A_2 dasselbe ergibt wie A_1 .

$$A_1 = h_1 \cdot l_1 = h_2 \cdot l_2 = A_2 \quad (3)$$

$$A_1 = 185 \text{ mm} \cdot 160 \text{ mm} = 29.600 \text{ mm}^2$$

Gesucht ist die Breite l_2 für eine Höhe $h_2=65$ mm.

$$l_2 = \frac{A_1}{h_2} \quad (4)$$

$$l_2 = \frac{29.600 \text{ mm}^2}{65 \text{ mm}} = 455,4 \text{ mm}$$

Sobald die Luft vom Dach angesaugt wird und ein Schnitt in der Wand vorgesehen ist, muss die Mindestbreite der Wand 456 mm betragen. Zusätzlich sind 100 mm Abstand zum Luftkanal geplant. Somit ergibt sich eine Länge $l_2=560$ mm.

Mit Hilfe von Inventor wird die neue reduzierte Masse bestimmt. Aus dem Verhältnis der Volumenkörper der Modelle und den Angaben der Stückliste zum jetzigen Gewicht berechnet man die Masse m_2 . Die aktuelle Wand hat ein Volumen $V_1=258423 \text{ cm}^3$ und eine Masse $m_1=218 \text{ kg}$. Mit einem Wert $V_2=161413 \text{ cm}^3$ für das neue Volumen, ermittelt man m_2 :

$$\rho_{\text{Holz}} = \frac{m_1}{V_1} = \frac{m_2}{V_2} \quad \Leftrightarrow \quad m_2 = m_1 \cdot \frac{V_2}{V_1} \quad (5)$$

$$m_2 = 218 \text{ kg} \cdot \frac{161413 \text{ cm}^3}{258423 \text{ cm}^3} = 136 \text{ kg}$$

Daraus resultiert eine reduzierte Masse Δm von:

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (6)$$

$$\Delta m = 218 \text{ kg} - 136 \text{ kg} = 82 \text{ kg} (-37,6\%)$$

Bei der Vorstellung der Variante c) wurde eine reduzierte Masse von 40 % geschätzt. Nach den Berechnungen ergibt sich eine tatsächliche reduzierte Masse von 37,6 %. Diese Werte werden dementsprechend auch in eine neue Kalkulation betrachtet. Davor sind weitere Aspekte zu klären, die zu dieser Konstruktion gehören.

1) Verkleidung Trennwandrahmen

Die Verkleidung für die neue Trennwand wird aus gebogenem Aluminium entwickelt. Als alternative Variante hätte man auch die Möglichkeit GFK-Verkleidungen zu entwerfen, das wäre aber kostenintensiv und zeitaufwendig. Zu der gewählten Variante sind in den Anlagen zwei Teilzeichnungen zu finden. (s. Anlagen Zeichnungsnummer 25.485.11.03 und 25.485.11.04)

2) Wiederverwendung Windfangwände

Bei Verschiebung der Sitze nach vorne und der Verkürzung der Trennwand fehlt auf einer Seite der Sitze eine Befestigungsmöglichkeit für das Sitzgestell, und die Fahrgäste, die dort sitzen, wären nicht geschützt. Daher ist eine Wiederverwendung der entfernten schmalen Windfangwände an dieser Stelle gedacht. Eine Nachbearbeitung ist an den Komponenten nötig, was wesentlich günstiger als die Bestellung von neuen Teilen ist. Dieses Vorgehen würde den Anteil der Masse reduzieren.

Zur Gestaltung der Wand und der Räumlichkeit wird eine Variante für die Wand mit einem alternativen Schnitt entworfen. Anlage 10 zeigt das Modell der Konstruktion. Die Umsetzung dieses Entwurfs kann weiter verfolgt werden, es würde aber eine konstruktiv aufwendigere Wandverkleidung benötigen. Da diese Variante eine Reduzierung von zusätzlichen **13 kg** ermöglicht, wird die Entscheidung der S-Bahn überlassen. Im folgenden Abschnitt wird die Endkonstruktion mit einem einfachen, geraden Schnitt an der Wand präsentiert.

3.4 Endkonstruktion

Nach der Entwicklung der oben behandelten Konstruktionsthemen folgt die Vorstellung des Zusammenbaus. In Abbildung 19 sieht man im Schnitt den Innenraum des Mehrzweckbereichs nach der bearbeiteten Zielstellung der Variante c).

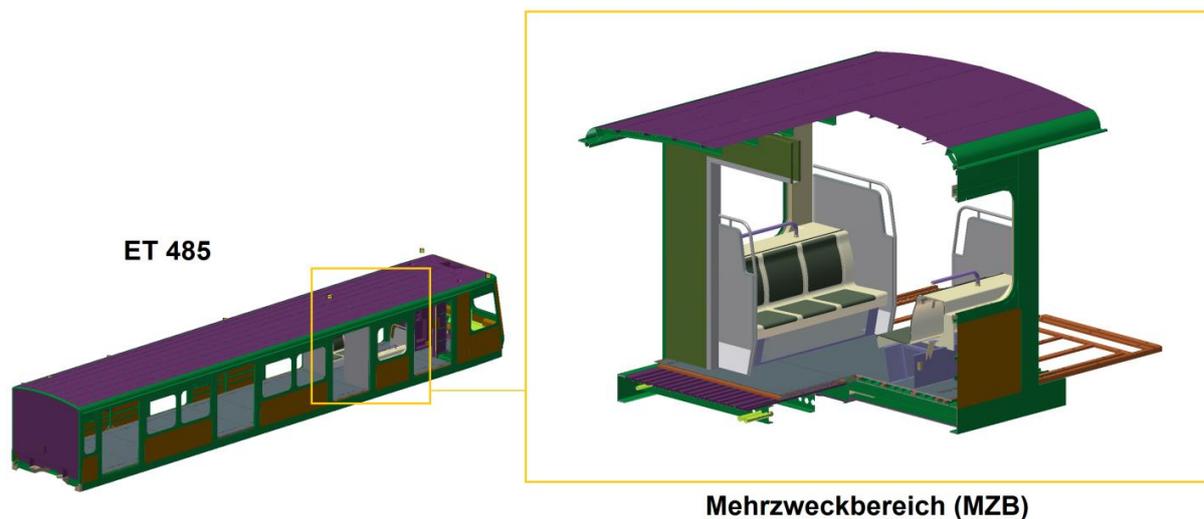


Abbildung 19 Entwurf Mehrzweckbereich; Variante c) umgesetzt

Weiterhin wurde eine Übersicht des Ergebnisses in einer technischen Zeichnung erstellt, zu finden in den Anlagen mit der Nummer 25.485.11.00.

Wegen dieser getroffenen Maßnahmen wurden in den oberen Punkten folgende Kriterien festgestellt, die den Berechnungen anzupassen sind:

- 1) Vergrößerung der Fläche im Bereich 3 durch Verschiebung der Bänke um 266 mm anstatt 300 mm in x-Richtung.
- 2) Die tatsächlichen Gewichte der Ausrüstungsstruktur für das GFK-Formteil; vorher mit 23 kg pro Stück gerechnet und jetzt mit ca. 33 kg für das gebogenen Blech mit dem neuen GFK-Formteil.
- 3) Die tatsächliche reduzierte Masse von 37,6% der Abteiltrennwand statt 40%.

Anpassung der Zahlenwerte

Bei der Überschlagsrechnung der Variante c) wurde eine Reduzierung der Betriebsmasse (Gesamtmasse) von **0,91%** erreicht. Nun berechnet man den Ist-Zustand der Variante c) mit den festgestellten Korrekturen. In der Abbildung 20 werden an den Fahrzeugschemen die Werte des Ist-Zustands (I.) im Vergleich zum Ist-Zustand der Variante c) (II.) dargestellt.

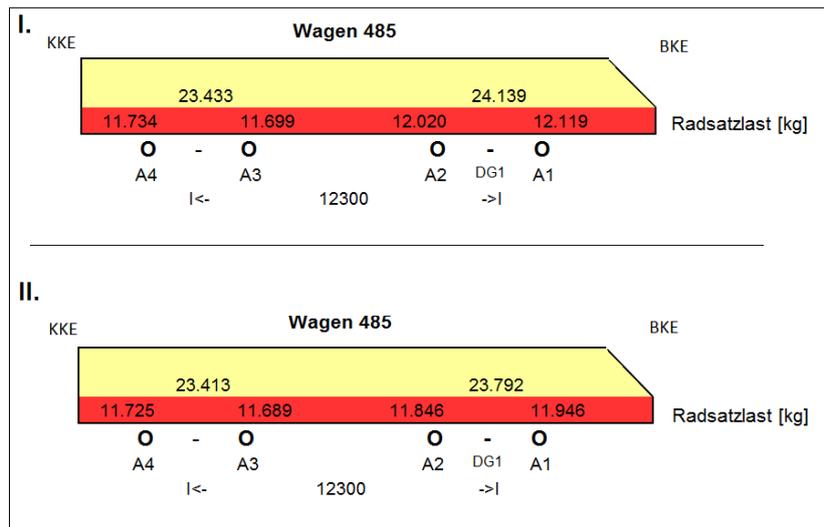


Abbildung 20 Gegenüberstellung mit korrigierten Werten der Variante c)

In dieser Abbildung sind die Lastwerte an den Drehgestellen 1 und 2 vergleichbar, sowie die einzelnen Radsatzlasten. Die Werte der Radsätze A1 und A2 liegen unter der maximal erlaubten Last von 12,0 t und weisen somit die Erfüllung der Zielstellung nach. Weiterhin wird es für die Betriebsmasse der umgesetzten Variante eine endgültige Reduzierung von **0,77 %** berechnet. Dieser Prozentsatz entspricht der prozentualen Differenz der Betriebsmassen, vorgestellt in Tabelle 10 zur Ergänzung der Werte.

Tabelle 10 Datenergänzung zur Abbildung 20

	I.	II.	Einheit
Betriebsmasse	47.572	47.205	kg
Schwerpunkt in x-Ri.	-6.059	-6.101	mm
Sitzplätze	43	43	Pers.
Stehplätze	109	105	Pers.
Gesamt:	152	148	Pers.

4. Bewertung der umgesetzten Variante

Nicht nur am Variantenvergleich bestätigt, sondern auch als abgestimmte Variante den Repräsentanten der S-Bahn, ist die Variante c) eine Lösung, die die Zielstellung dieser Arbeit abdeckt. Das heißt, mit dieser Lösung werden die Radsatzlasten so auf eine Belastung gebracht, dass sie sich nach den EBA Anforderungen im normgerechten Zustand befinden. Das mit der Massebilanz auch nachgewiesen.

Konstruktiv ist diese Variante umsetzbar, wobei nicht unbedingt komplexere Konstruktionen entwickelt werden müssen, sondern die vorhandenen Prinzipien genutzt werden. Hier zum Beispiel die Befestigung der Sitze oder sogar die Funktion des GFK-Formteils. Man verwendet außerdem bei dieser Lösung bedeutsame Komponenten wieder, die nicht eine zusätzliche neue Konstruktion fordern.

Finanziell ist die Umsetzbarkeit dieser Variante für die 80 Viertelzüge der BR 485 nicht unbedingt gering, aber im Vergleich zu den anderen Varianten günstiger. Der konstruktionstechnische Aufwand fällt deutlich geringer aus, allerdings muss eine minimale Verringerung der Passagierplätze akzeptiert werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Für die Kompensation der vorhandenen Mehrbelastungen, die die Radsätze A1-A2 im unzulässigen Zustand (mehr als **12 t**) bringen, hat man die Betriebsmasse in einer Massebilanz an vier Varianten nach den Normen **DIN EN 13103** und **DIN EN 13104** berechnet. Als Ausgangswerte hierfür wurden das Wiegeprotokoll von 12 Fahrzeugen und die letzte Ausgabe des Massebilanzberichts verwendet. Mit einem Variantenvergleich nach VDI 2225 wählt man die Variante aus, die am besten die festgelegten Anforderungen einhält. Daraus folgt die Variante c) als Lösung, nach der die Konstruktionsänderungen im Mehrzweckabteil des Triebwagens zu realisieren sind. Hier erfolgt die Entlastung der Radsätze durch den Verzicht auf Stehplätze und den Abbau einiger Komponenten. Nach den Fahrzeuguntersuchungen und Zeichnungsrecherchen wurden Vorschläge für wesentliche Konstruktionen gemacht wie: die Befestigung der Sitze in einer neuen Position, die Entwicklung eines neuen GFK-Formteils und die Behandlung der Abteiltrennwand unter Berücksichtigung des eingebauten Luftkanals zur Abkühlung elektronischer Geräte. Nach diesen Kriterien werden die tatsächlichen Massenwerte für die Variante c) in der Berechnung angepasst. Die ermittelte Reduzierung der Betriebsmasse von **0,77%** liegt über dem minimalen Ziel (**0,3%**). Das bringt den Radsatz A1 auf den zulässigen Wert von **12 t** und den Radsatz A2 bei **11,9 t**. Die zur Übersicht und für einen Musterumbau entwickelten technischen Zeichnungen sind in den Anlagen zu dieser Arbeit enthalten.

Zum großen Themengebiet „Massemanagement“ der BR 485 ist diese Arbeit ein erster Ausgangspunkt für die zukünftigen konstruktiven Maßnahmen. Es wurde eine Lösung gefunden, die die Absicht des Projektes erfüllt. An konstruktiven Aspekten können sich im Laufe der Umsetzung weitere Thematiken ergeben, wie die Behandlung der Abteiltrennwand oder die Befestigung der Sitze. Änderungen, die sich nach den Feststellungen und Ergebnissen dieser Arbeit richten können.

IV. Quellen

- [1] „FZG-Expertengruppe 2013“; S-Bahn Berlin, Arbeitskreis Fahrzeuge 2013, Abschlussbericht (IFB-Bericht Nr. 2013/607430-40/770; Berlin, 30. Juli 2013)
- [2] Bericht-„BR485 Berechnung der Radsatzlasten unter Berücksichtigung von Zusatzeinbauten und Reduzierung von Stehplätzen“; (14-21025-I.TVI48B-B-BR485 Massemanagement mit FASSI, V01; 11.06.2014)
- [3] „Arbeitsanweisung-Ermittlung von Fahrzeugmassen“; DB Systemtechnik GmbH (E.Hänsel, B.Ehrlich; 16.04.2013)
- [4] EN 13103:2012-10, Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Laufradsatzwellen – Konstruktionsverfahren
- [5] EN 13104:2013-03, Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Treibradsatzwellen – Konstruktionsverfahren
- [6] DIN 25008, Schienenfahrzeuge – Grundsätze für die Bestimmung der Fahrzeugmassen – Begriffe, Formelzeichen, Werte; Ausgabe Oktober 2005
- [7] DIN EN 1563:2009-09
- [8] DIN EN 13452-1; Bremssysteme des öffentlichen Nahverkehrs
- [9] FSF-Richtlinien zur „Erstellung Technischer Dokumentationen“
- [10] Weiterbetrieb Altbaureihen- BR 485 Massemanagement (Leichterung), Mail Ilona Neumann v 18.06.2015
- [11] KVT-Tappex Katalog 2011, Gewindeeinsätze

Internetquellen:

- [12] FASSI-System (20.07.2015); <http://www.dbkommunikationstechnik.de/>
- [13] <http://bahnamateurbilder.startbilder.de/1024/485-als-s75-nach-spandau-152984.jpg> (22.06.2015)
- [14] http://www.s-bahn-galerie.de/S_Bahn_Berlin/ (22.06.2015)

[15] http://www.eba.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Fahrzeuge/Inbetriebnahme/VV_IBG/Anhang1/05_Radsatz_Radsatzlager_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=4 ; Radsatzlager (25.06.2015)

[16] http://www.eba.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Fahrzeuge/Inbetriebnahme/VV_IBG/Anhang1/00_Allgemein_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1

[17] Skizze 485; (24.07.2015)
[skiz485_d_http_www.berliner-verkehr.de_sbbilder_skiz485_d.gif](http://www.berliner-verkehr.de/sbbilder/skiz485_d.gif)

[18] Fotogalerie BR 485, Dienstabteil; (30.07.2015); s-bahn-forum.de

Zeichnungen:

[19] 119.00_Skizze_485

[20] 120.00_Skizze_485

[21] 121.00_Skizze_485

V. Anlagen

Anlage 1.

Anlagen; Tabelle 1 Radaufstandskräfte und Radsatzlasten der Fahrzeuge nach Verwiegung und Radsatzkorrektur [2]

		Redesign												Mittelwert
		Verwiegung nach Aufarbeitung (Mittelwert aus 4 Verwiegungen)										Klimagerät		
Fahrzeug 485-...		042	048	083	109	117	128	149	168	119	158	066	070	
FR1 rechts (A1)	kN	46,77	47,20	47,04	46,64	45,51	46,35	46,32	44,68	47,22	46,90	47,54	47,44	
FR1 links (A1)	kN	43,59	43,36	43,70	42,73	44,08	43,70	43,76	45,03	43,61	43,41	43,75	43,27	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 1	kg	9.214	9.234	9.253	9.113	9.135	9.182	9.185	9.148	9.262	9.209	9.309	9.250	9.208
FR2 rechts (A2)	kN	46,06	46,24	45,51	46,05	45,14	46,62	46,00	46,75	46,02	46,57	46,09	47,11	
FR2 links (A2)	kN	42,44	43,13	44,25	42,37	42,63	42,48	43,63	42,80	43,99	43,11	44,20	42,76	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 2	kg	9.024	9.113	9.153	9.016	8.950	9.085	9.139	9.131	9.178	9.145	9.207	9.164	9.109
FR3 rechts (A3)	kN	41,38	40,89	40,32	40,93	41,78	40,30	41,45	42,15	39,05	39,08	40,56	40,08	
FR3 links (A3)	kN	38,04	38,51	39,16	39,01	37,85	39,14	38,69	38,20	39,55	40,18	38,34	38,56	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 3	kg	8.099	8.097	8.105	8.152	8.120	8.101	8.172	8.193	8.015	8.082	8.046	8.019	8.100
FR4 rechts (A4)	kN	39,50	40,47	41,65	41,04	41,51	40,68	40,45	41,74	41,60	41,31	40,71	40,15	
FR4 links (A4)	kN	39,71	39,12	37,81	39,55	38,93	38,97	39,55	38,67	38,57	38,44	38,73	38,47	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 4	kg	8.077	8.116	8.103	8.218	8.203	8.122	8.158	8.200	8.175	8.132	8.101	8.017	8.135
Fahrzeug 885-...		042	048	083	109	117	128	149	168	119	158	066	070	
FR4 rechts (B4)	kN	31,21	30,82	30,55	30,66	29,83	30,94	29,78	30,13	30,66	29,02	32,40	30,81	
FR4 links (B4)	kN	29,90	29,79	30,99	29,28	30,10	28,59	30,63	29,68	29,47	31,20	31,45	29,59	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 5	kg	6.232	6.181	6.276	6.113	6.112	6.071	6.161	6.100	6.132	6.142	6.512	6.160	6.183
FR3 rechts (B3)	kN	31,19	29,57	30,73	28,66	30,51	28,75	31,05	29,45	29,25	29,72	32,02	31,58	
FR3 links (B3)	kN	29,93	31,40	31,30	31,26	29,53	30,99	29,65	30,61	31,19	30,60	31,73	31,68	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 6	kg	6.233	6.218	6.326	6.111	6.123	6.093	6.190	6.125	6.164	6.152	6.501	6.451	6.224
FR2 rechts (B2)	kN	33,83	32,53	32,33	32,04	33,68	31,30	32,79	33,02	31,04	33,35	29,19	32,59	
FR2 links (B2)	kN	30,83	31,49	32,72	30,71	30,53	31,86	31,56	30,70	32,76	30,67	31,35	31,45	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 7	kg	6.594	6.529	6.634	6.399	6.548	6.441	6.563	6.498	6.506	6.529	6.174	6.531	6.496
FR1 rechts (B1)	kN	31,30	32,22	33,73	31,92	31,61	32,30	32,10	31,64	32,75	32,80	30,00	33,00	
FR1 links (B1)	kN	32,98	31,82	31,20	30,91	32,25	30,66	31,96	31,94	30,64	30,86	30,19	30,75	
Korrektur Rad Ø	kg	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Radsatz 8	kg	6.555	6.531	6.622	6.408	6.513	6.421	6.533	6.484	6.465	6.492	6.138	6.501	6.472

Anlage 2. Ist-Zustand in Werten

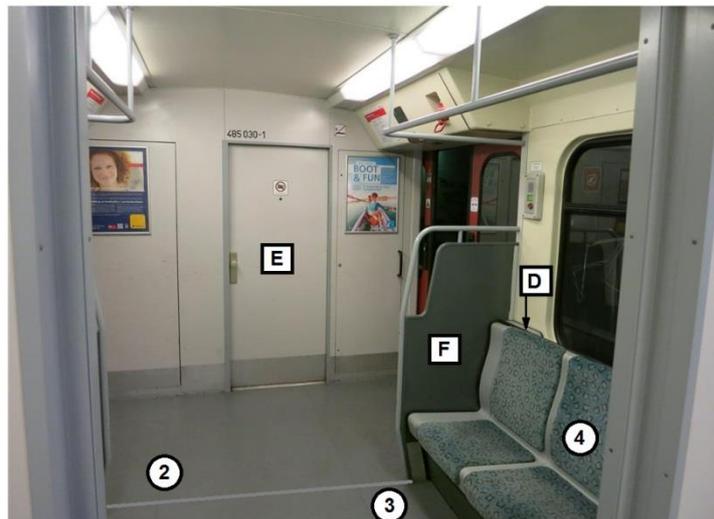
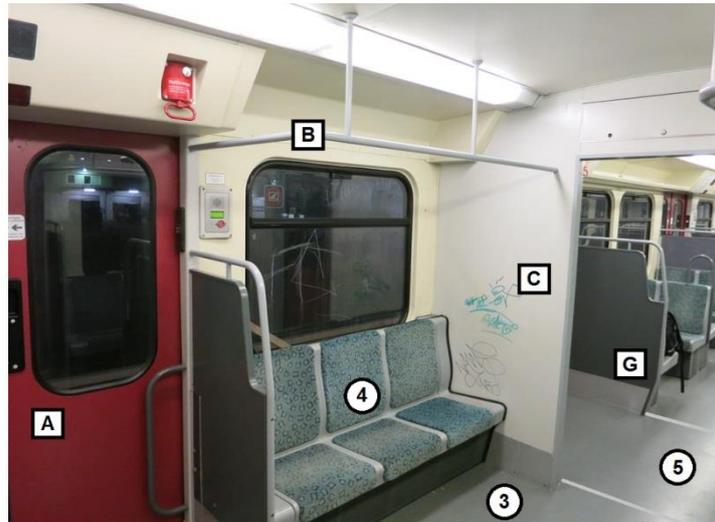
Anlagen; Tabelle 2 Berechnung der Personenbelastung nach DIN 13104

Bereich	Fläche in [qm]	Flächenbereich	Pers. Pro Bereich	X Anzahl Personen nach		X Personenbelastung nach	
				DIN 13104	DIN 25008	DIN 13104	DIN 25008
1	1	Triebfahrzeugführer	1	-	-	96,00	75,00
2	4,40	Einstiegsbereich 1	5	21,98	17,58	1.845,90	1.318,50
3	1,61	Mehrzweckbereich	4	6,43	6,43	540,21	482,33
4	0,00	Sitzplatzbereich	6	6,00	6,00	504,00	450,00
5	4,40	Einstiegsbereich 2	5	21,98	17,58	1.845,90	1.318,50
6	2,51	Gangbereich	3	7,53	10,04	632,57	753,06
7	0,00	Sitzplatzbereich	16	16,00	16,00	1.344,00	1.200,00
8	4,40	Einstiegsbereich 3	5	21,98	17,58	1.845,90	1.318,50
9	2,51	Gangbereich	3	7,53	10,04	632,57	753,06
10	0,00	Sitzplatzbereich	16	16,00	16,00	1.344,00	1.200,00
11	4,38	Einstiegsbereich 4	5	21,90	17,52	1.839,75	1.314,11
12	0,00	Sitzplatzbereich	5	5,00	5,00	420,00	375,00
Summe:				152	139	12.890,80	10.558,05

Anlagen; Tabelle 3 Weitere Daten; Ist-Zustand mit ZBS, FASSI, ZAT und Zusatzausrüstung

Allgemein:		Radsätze in [kg]:	
Sitzplätze	43	A1-A2	24.139
Stehplätze	109	A3-A4	23.433
Stehfläche in [qm]	24,19		
Anzahl der Fahrgäste	152	A1	12.119
Gesamtmasse Fahrgäste	12.890,80	A2	12.020
		A3	11.699
		A4	11.734
Weitere Massen in [kg]:		<i>(Aus Tab. "Gegenüberstellung" in Auswertung_Verwiegen_V1_74)</i>	
Fahrzeugmasse (verwogen)	34.552,00	Schwerpunkt S_x in [mm]	
ZBS	63,33	von WE1	-8.899
ZAT	40,70	von DG1	-6.059
FASSI	19,99		
Zusatzausrüstung	5,20		
Personenbelastung	12.890,80		
(Summe:) m _{Ges} =	47.572,02	Ziel	red. Masse in [kg] in [%]
		Ideal	200 0,42%
		Gestrebt	175 0,37%
		Mind.	150 0,32%

Anlage 3. Abbildung der Räumlichkeit und der Komponenten



Anlagen; Abbildung 1 Dienstabteil; Fotos aus [17]

Bereich:

2; 5- Einstiegsbereich

4- Dreiersitze

3- Mehrzweckbereich

Komponenten:

A- Einstiegstür

B- Haltestange

C- Abteiltrennwand (o. Tür)

D- GFK-Formteil

E- Führerandrückwandtür

F- Windfang- od. Trennwand, kpl. (klein)

G- Windfang- od. Trennwand, kpl. (groß)

Anlage 4. Zusammenfassung der Varianten

Variante a)

- Einbau einer neuen Trennwand im A-Wagen hinter den Einstiegstüren, anstelle des Windfanges
- Einbau einer Führerstandrückwandtür in die neue Trennwand mit Panikschloss (Fluchttür Tf)
- Ausbau der Schiebetür zum Führerstand A-Wagen
- Umbau der Einstiegstüren, kein Zutritt für Reisende, aber Abfertigung auf Bahnhöfen mit ZAT ohne technische Unterstützung durch Tf, (Ein- und Ausstieg Tf über die Einstiegstüren)

Variante b)

- wie Variante 1
- zusätzlich Ausbau der Trennwand zum Mehrzweckbereich
- Einbau Windfang evtl. aus Rückgewinnung

Variante c)

- Umbau der Sitze im Mehrzweckabteil A-Wagen
- Spalt zwischen Seitenwand und Rückenlehne; Sitz zur Reduzierung Stehplätze
- ggf. andere Sitzgestelle
- bei Bedarf Ausbau eines Sitzes und Einbau Kofferablage oder ähnliches zur Gewichtsreduzierung
- Vergrößerung Durchgang Trennwand zum Mehrzweckabteil

Variante d)

- Umbau Sitzgestelle im Mehrzweckabteil A-Wagen in Vis-a-vis-Bestuhlung (Umwidmung Mehrzweckabteil in reinem Sitzbereich)
- Falls zur Gewichtsreduzierung nicht ausreichend Verzicht auf 1 Platz der Vis-a-vis-Bestuhlung, Ablage anstelle 1 Sitz
- Vergrößerung Durchgang Trennwand zum Mehrzweckabteil

Anlage 5. Personenbelastung und Schwerpunktberechnung; Variante a)

Anlagen; Tabelle 4 Personenbelastung Variante a)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Bereich	Breite in [mm]	Länge in [mm]	A _{Sipl} in [m ²]	Flächenbereich	n _{Sipl} in [Pers.]	P' in [kg/Pers.]	P' _{Sipl} in [Pers./m ²]	m _N in [kg]	Nutzlast in [kN]	Pers pro Bereich	mm von WE 1	Produkt IxJ
1	1000	1000	1,000	Triebfahrzeugführer	1	96	0,942	96,0	0,942	1	-1,100	-105,600
2	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 1	5	84	5	1.845,9	18,108	22	-3,162	-5.836,736
3	870	1848	1,608	Mehrzweckbereich	4	84	4	540,2	5,299	6	-4,836	-2.612,443
4	0	0	0	Sitzplatzbereich	6	84	4,944	504,0	4,944	6	-4,836	-2.437,344
5	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 2	5	84	5	1.845,9	18,108	22	-6,510	-12.016,809
6	770	3260	2,510	Gangbereich	3	84	3	632,6	6,206	8	-8,890	-5.623,551
7	0	0	0	Sitzplatzbereich	16	84	13,185	1.344,0	13,185	16	-8,890	-11.948,160
8	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 3	5	84	5	1.845,9	18,108	22	-11,270	-20.803,293
9	770	3260	2,510	Gangbereich	3	84	6,206	632,6	6,206	8	-13,650	-8.634,586
10	0	0	0	Sitzplatzbereich	16	84	13,185	1.344,0	13,185	16	-13,650	-18.345,600
11	1495	2930	4,380	Einstiegsbereich 4	5	84	5	1.839,7	18,048	22	-16,030	-29.491,144
12	0	0	0	Sitzplatzbereich	5	84	4,120	420,0	4,120	5	-17,248	-7.243,950
					Summe:			12.890,795	126,459	130		-125.099,216
								m _N in [t]=	12,891			-119,262,480

Gesamtefl.:	25,194 m ²
Sitzfläche:	1,000 m ²
Stehfläche:	19,799 m ²

43 Sitze

87 Stehplätze

Redesign: ohne Bereich 2 + Trennwand

A _{Sipl} =	4,395 m ²
P _{Sipl} =	5 Pers./m ²
P' =	84 kg
m _{N2} =	1845,9 kg
m _{NgesA} =	11,045 kg

Schwerpunkt von WE1:	-10,797,97 mm
Schwerpunkt vom DG 1	-7,957,97 mm

Anlage 6. Personenbelastung und Schwerpunktberechnung; Variante b)

Anlagen; Tabelle 5 Personenbelastung Variante b)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
Bereich	Breite in [mm]	Länge in [mm]	A _{spl} in [m ²]	Flächenbereich	n _{spl} in [Pers.]	P' in [kg/Pers.]	P' _{spl} in [Pers./m ²]	m _N in [kg]	Nutzlast in [kN]	Pers pro Bereich	mm von WE 1	Produkt lxJ	
1	1000	1000	1	Triebfahrzeugführer	1	96		96,000	0,942	1	-1,100	-105,600	
2	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 1		84	5	1.845,900	18,108	22	-3,162	-5.836,736	
3	870	1848	1,608	Mehrzweckbereich		84	4	540,207	5,299	6	-4,836	-2.612,443	
4	0	0	0	Sitzplatzbereich	6	84		504,000	4,944	6	-4,836	-2.437,344	
5	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 2		84	5	1.845,900	18,108	22	-6,510	-12.016,809	
6	770	3260	2,510	Gangbereich		84	3	632,570	6,206	8	-8,890	-5.623,551	
7	0	0	0	Sitzplatzbereich	16	84		1.344,000	13,185	16	-8,890	-11.948,160	
8	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 3		84	5	1.845,900	18,108	22	-11,270	-20.803,293	
9	770	3260	2,510	Gangbereich		84	3	632,570	6,206	8	-13,650	-8.634,586	
10	0	0	0	Sitzplatzbereich	16	84		1.344,000	13,185	16	-13,650	-18.345,600	
11	1495	2930	4,380	Einstiegsbereich 4		84	5	1.839,747	18,048	22	-16,030	-29.491,144	
12	0	0	0	Sitzplatzbereich	5	84		420,000	4,120	5	-17,248	-7.243,950	
								Summe:	12.890,795	126,459	130	-119,262,480	
								m _N in [t]=		12,891	(o. Betr. Pers)		

Gesamtefl.:	25,194 m ²
Sitzfläche:	1,000 m ²
Stehfläche:	19,799 m ²

43 Sitze
87 Stehplätze

Redesign: ohne Bereich 2 + Trennwand +
Windfangwände:

A _{spl} =	4,395 m ²
P' _{spl} =	4 Pers./m ²
P' =	75 kg
m _{h2} =	1318,5 kg
m _{NgesB} =	11045 kg

Schwerpunkt von WE1:	
	-10,797,97 mm
Schwerpunkt vom DG 1	
	-7,957,97 mm

Anlage 7. Personenbelastung und Schwerpunktberechnung; Variante c)

Anlagen; Tabelle 6 Personenbelastung Variante c)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Bereich	Breite in [mm]	Länge in [mm]	A _{spl} in [m ²]	Flächenbereich	n _{spl} in [Pers.]	P' in [kg/Pers.]	P' _{spl} in [Pers./m ²]	m _N in [kg]	Nutzlast in [kN]	Pers pro Bereich	mm von WE 1	Produkt IxJ
1	1000	1000	1	Triebfahrzeugführer	1	96		96,0	0,942	1	-1,100	-105,600
2	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 1	84	84	5	1.845,9	18,108	22	-3,162	-5.836,736
3	270	1848	0,499	Mehrzweckbereich	84	84	4	167,7	1,645	2	-4,836	-810,758
4	0	0	0	Sitzplatzbereich	6	84		504,0	4,944	6	-4,836	-2.437,344
5	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 2	84	84	5	1.845,9	18,108	22	-6,510	-12.016,809
6	770	3260	2,510	Gangbereich	84	84	3	632,6	6,206	8	-8,890	-5.623,551
7	0	0	0	Sitzplatzbereich	16	84		1.344,0	13,185	16	-8,890	-11.948,160
8	1500	2930	4,395	Einstiegsbereich 3	84	84	5	1.845,9	18,108	22	-11,270	-20.803,293
9	770	3260	2,510	Gangbereich	84	84	3	632,6	6,206	8	-13,650	-8.634,586
10	0	0	0	Sitzplatzbereich	16	84		1.344,0	13,185	16	-13,650	-18.345,600
11	1495	2930	4,380	Einstiegsbereich 4	84	84	5	1.839,7	18,048	22	-16,030	-29.491,144
12	0	0	0	Sitzplatzbereich	5	84		420,0	4,120	5	-17,248	-7.243,950
					Summe:			12.518,2	122,804	148		-123.297,531
								m _N in [t]=				
								12,518				

Gesamtfl.:	24,085 m ²
Sitzfläche:	1,000 m ²
Stehfläche:	23,085 m ²

43 Sitze

104 Stehplätze

Redesign: Reduzierung Stahlplätze im Bereich 3 +

Windfangwände:

Schwerpunkt von WE1:	
	-9,849,43 [mm]
Schwerpunkt vom DG 1:	
	-7,009,43 [mm]

Anlage 8. Personenbelastung und Schwerpunktberechnung; Variante d)

Anlagen; Tabelle 7 Personenbelastung Variante d)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Bereich	Breite in [mm]	Länge in [mm]	A _{spl} in [m ²]	Flächenbereich	n _{spl} in [Pers.]	P in [kg/Pers.]	P _{spl} in [Pers./m ²]	m _N in [kg]	Nutzlast in [kN]	Pers pro Bereich	mm von WE 1	Produkt IxJ
1	1000	1000	1.000	Triebfahrzeugführer	1	96		96.000	0,942	1	-1.100	-105.600
2	1500	2930	4.395	Einstiegsbereich 1		84	5	1.845.900	18,108	22	-3.162	-5.836.736
x	770	1848	1.423	Mehrzweckbereich		84	4	478.115	4,690	6	-4.836	-2.312.162
x	0	0	8.000	Sitzplatzbereich	8	84		672.000	6,592	8	-4.836	-3.249.792
5	1500	2930	4.395	Einstiegsbereich 2		84	5	1.845.900	18,108	22	-6.510	-12.016.809
6	770	3260	2.249	Gangbereich		84	3	566.849	5,561	7	-8.890	-5.039.286
7	0	0	16.000	Sitzplatzbereich	16	84		1.344.000	13,185	16	-8.890	-11.948.160
8	1500	2930	4.395	Einstiegsbereich 3		84	5	1.845.900	18,108	22	-11.270	-20.803.293
9	770	3260	2.249	Gangbereich		84	3	566.849	5,561	7	-13.650	-7.737.486
10	0	0	16.000	Sitzplatzbereich	16	84		1.344.000	13,185	16	-13.650	-18.345.600
11	1495	2930	4.395	Einstiegsbereich 4		84	5	1.845.900	18,108	22	-16.030	-29.589.777
12	0	0	5.000	Sitzplatzbereich	5	84		420.000	4,120	5	-17.248	-7.243.950
					Summe:			12.871.412	126.269	152		-124.228.651
								m _N in [t]=				
								12,871				

Gesamtefl.:	69.502 m ²
Sitzfläche:	46.000 m ²
Stehfläche:	23.502 m ²

45 Sitze
107 Stehplätze

Redesign: Vis-a-Vis im MZB

Schwerpunkt von WE1:	
	-9.651,52 mm
Schwerpunkt vom DG 1	
	-6.811,52 mm

Anlage 9. Musterumbau am Fahrzeug

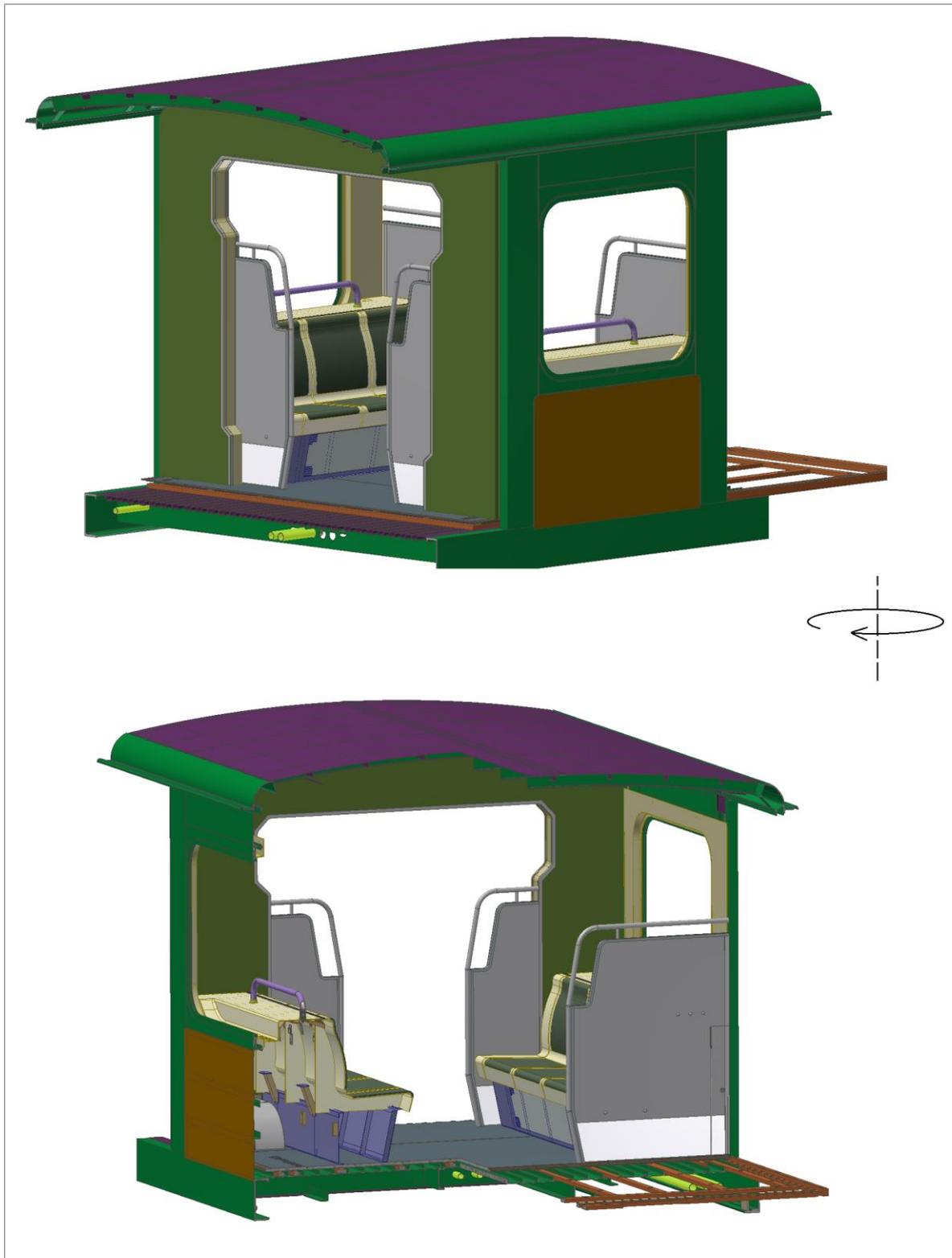


Anlagen; Abbildung 2 Sitzposition vor Umbau mit geöffnetem Fußboden



Anlagen; Abbildung 3 Sitzposition nach Verschiebung mit geöffnetem Fußboden

Anlage 10. Alternativer Entwurf; Abteiltrennwand im Mehrzweckbereich



Anlagen; Abbildung 4 Modell MZB-alternativer Entwurf

Anlage 11. Übersicht von den erstellte technischen Zeichnungen

Zeichnungsnummer	Benennung	Format
25.485.11.00	Übersicht Umbau- Mehrzweckbereich	A1*
25.485.11.01	GFK-Formteil	A3
25.485.11.02	Stützblech- GFK Formteil	A1*
25.485.11.03	Verkleidung- Trennwand	A3
25.485.11.04	Verkleidung- Trennwand Mittelstück	A3

*In der ausgedruckten Form der Bachelorarbeit in A3 Format beinhaltet.

Anlage 12. Digitale Version der Bachelorarbeit (CD)