

Abschlussbericht

Verbundvorhaben

FlexSbus-LR

Flexibler Schienenbus für den ländlichen Raum

Zuwendungsempfänger: LBBZ GmbH Gutenbergstr. 29 52511 Geilenkirchen	Förderkennzeichen: 19I21005A
Vorhabenbezeichnung: Flexibler Schienenbus für den ländlichen Raum Teilvorhaben: Entwicklung und Fertigung von Metallstrukturen für Chassis und Fahrgastzelle sowie Montage des Schienenbus-Demonstrator	
Projektleiter: Benedikt Groß	Tel.: +49 2451 91117-32 Fax: +49 2451 91117-62 Email: gross@lbbz.de
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.06.2021 bis: 31.12.2024	
Berichtszeitraum: von: 01.06.2021 bis: 31.12.2024	Datum: 24.07.2025



Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Kurzbericht	3
1 Einleitung	3
1.1 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
1.2 Aufgabenstellung	6
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8
1.4.1 Innerhalb des Verbundprojekts	8
1.4.2 Außerhalb des Verbundprojekts.....	8
Teil II: Eingehende Darstellung.....	9
2 Ausführliche Beschreibung der Ergebnisse	9
2.1 AP 1.1: Entwicklung des Chassis.....	10
2.2 AP 1.2: Entwicklung der Fahrgastzelle.....	11
2.3 AP 2.1.Fertigungsvorbereitung.....	14
2.4 AP 2.2. Fertigung des Chassis.....	18
2.5 AP 2.3 Fertigung der Fahrgastzelle.....	20
2.6 AP 3 Montage von Chassis und Fahrgastzelle.....	23
2.7 AP 4 Inbetriebnahme	24
2.8 AP 5.3: Zeichnungsverwaltung, Datenmanagement CAD	25
2.9 AP 5.4: Gewichtsmanagement.....	25
3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	25
4 Notwendigkeit und Angemessenheit geleisteter Arbeiten	25
5 Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplans.....	26
6 Verwertungsrechte & Patentsituation.....	26
7 Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	26
8 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	26
9 Literaturverzeichnis	26

Teil I: Kurzbericht

1 Einleitung

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung durch den Konsortialverbund und der Aufbau durch LBBZ eines flexiblen Schienenbusses für den ländlichen Raum. Wesentliches Entwicklungsziel war eine Trennung von Chassis und Fahrgastzelle unter Berücksichtigung von Leichtbau, Energieeffizienz, emissionsarmer Antrieb, Lärmreduktion und Wirtschaftlichkeit über den Gesamtlebenszyklus.

Der FlexSbus-LR ist ein neuartiges, leichtes Schienenfahrzeugkonzept für den ländlichen Raum, das bestehende Nahverkehrszüge auf schwach frequentierten oder reaktivierten Strecken effizient ersetzen soll. Der kleinere, batteriebetriebene FlexSbus-LR stellt einen bedarfsgerechten Betrieb mit höherer Auslastung, niedrigeren Kosten und größerer Fahrgastfreundlichkeit dar. Durch seine Hochenergiebatterie ist er bis zu 300 km emissionsfrei unterwegs, idealerweise mit Ökostrom.

Bis heute fehlt ein modernes Schienenfahrzeug für den ländlichen Raum. Aus Sicht der Wissenschaft ist es dringend notwendig, die Ziele der Bundesregierung, den Anteil des Schienenverkehrs deutlich zu erhöhen, mit innovativen Ideen zu unterstützen. Das hier beantragte Projekt zielt auf die Attraktivierung des Schienenverkehrs im ländlichen Raum bei gleichzeitiger Emissionsfreiheit von CO₂ und maximaler Lärmreduzierung.

Hauptaspekte der Entwicklung sind Leichtbau, Energieeffizienz, ein emissionsarmer Antrieb, Lärmreduktion und Wirtschaftlichkeit über den Gesamtlebenszyklus. Das von der Fahrgastzelle getrennte Chassis beinhaltet nahezu die gesamte technische Ausrüstung des Fahrzeugs.

Sowohl die Entwicklung als auch der Aufbau des Fahrzeuges sind gelungen und es konnten an vielen Stellen aus der Automobilindustrie bewährte Konstruktions- und Fertigungsverfahren auf den Schienenfahrzeugbau angewendet werden.

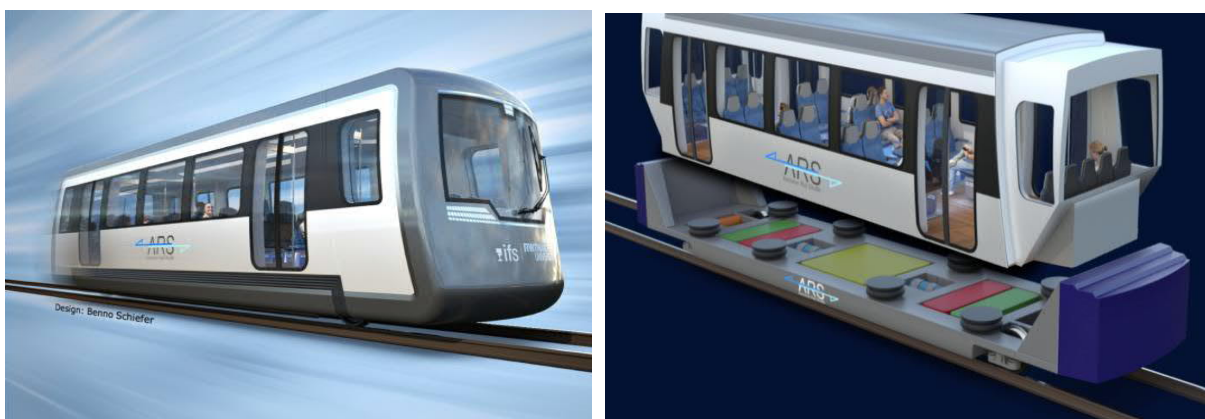


Abbildung 1: Konzeptstudien FlexSbus_LR

1.1 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Dieses Projekt dient neben dem praxisnahen Erkenntnisgewinn unter anderem dem Ziel der Bundesregierung, den Anteil des Schienenverkehrs deutlich zu erhöhen und innovativ zu unterstützen. Die Attraktivitätssteigerung des Schienenverkehrs im ländlichen Raum bei gleichzeitiger Emissionsfreiheit von CO₂ und maximaler Lärmreduzierung ist somit eine Zielsetzung des FlexSbus_LR-Projektes. Die ff. Passagen sind dem Gesamtantrag 2.1 entlehnt.

Obwohl der Schienenverkehr als die umweltfreundlichste Verkehrsart bekannt ist, führte er lange Zeit ein Schattendasein neben dem motorisierten Individualverkehr (MIV). Das Transportmittel Schiene spielt im ländlichen Raum eine untergeordnete Rolle. Nichtelektrifizierte, eingleisige Strecken, die mit selten verkehrenden, mit veralteten Dieselloks bespannten Personenzügen bedient werden, sind für Fahrgäste unattraktiv und durch die daraus resultierende, geringe Nutzung auch noch für den Betreiber kostenintensiv. Erst seit kurzen beginnt man stillgelegte Strecken wieder zu aktivieren. Nun fehlen aber geeignete Fahrzeuge um diese Strecken zu bedienen. Entsprechende Schienenbuskonzepte aus den 50-60er Jahren sind mittlerweile wieder verschwunden.

Etablierte Schienenfahrzeughersteller bieten bereits batterie- oder wasserstoffbetriebene Züge an (bspw. SIEMENS Mireo, STADLER Flirt H2, Alstom Coradia iLint), um die steigende Nachfrage nach emissionsfreien Schienenfahrzeugen zu befriedigen. Diese sind jedoch erheblich größer dimensioniert und nicht dafür ausgelegt, den Fahrplankontakt signifikant zu verdichten. Ein Forschungsvorhaben mit ähnlichen Zielen läuft derzeit in Großbritannien. Das sog. Revolution VLR Consortium, welches ähnlich zusammengesetzt ist, wie das des hier beantragten Projektes, entwickelt ein sog. Very Light Rail Vehicle für den Vollbahnbereich. Der Fokus liegt aber hier lediglich auf der Gewichtseinsparung, die sehr ambitioniert ist. Ansonsten ist der Aufbau des Fahrzeugs konventionell. Dasselbe Konsortium entwickelt aber auch ein batteriegespeistes Straßenbahnfahrzeug von 11 m Länge, welches für den Zweirichtungsbetrieb vorgesehen ist und wegen der Fahrerinnen etwa die halbe Kapazität, wie das hier beantragte Fahrzeug hat. Man untersucht gerade, inwiefern man dieses Fahrzeug auch autonom betreiben kann. Zum Stand der Technik gehört auch die sog. Msheireb Tram in Doha, Katar des US-Herstellers TIG aus Chatsworth, CA.⁵ Die 15 m langen, mit konventionellem, Drehgestell-Fahrwerken ausgerüsteten Straßenbahnfahrzeuge verkehren oberleitungsfrei im Einrichtungsbetrieb. Sie werden von Lithium-Ferrit-Batterien gespeist, beinhalten ansonsten aber keinerlei Innovationen.

Neuheit im Vergleich zu laufenden Aktivitäten

Die Neuheit des im Folgenden vorgestellten Fahrzeugs besteht zum einen in seinem Gesamtkonzept sowie auch in zahlreichen Innovationen bei den Subsystemen und Komponenten. In Summe wird dieses Fahrzeug einen neuen Benchmark in punkto Leichtbau und Energieeffizienz setzen.

Das Fahrzeugkonzept sieht eine Modularisierung des Aufbaus vor. So beherbergt das Chassis als Plattform die vollständige Fahrzeugtechnik und die Fahrgastkabine hat nur die Aufgabe, die Passagiere aufzunehmen. Dadurch sind wesentliche Vorteile zu erwarten:

(1) Durch die weitgehende Unabhängigkeit der Fahrgastkabine vom Rest des Fahrzeugs ist eine stärkere Berücksichtigung der Wünsche innerhalb der Branche möglich.

(2) Die Kabine könnte auch, wie z.B. im Nutzfahrzeugbau üblich, unabhängig vom Chassis, natürlich unter Einhaltung vorgegebener Randbedingungen und Schnittstellen, hergestellt werden.

(3) Der Ersatz der Fahrgastkabine zum Ende seiner Nutzungsdauer kann unabhängig vom Chassis vollzogen werden.

(4) Das Fahrzeug ist für den transmodalen Verkehr vorbereitet. Dabei wird die Fahrgastkabine mit weiteren Verkehrsträgern verknüpft und dem Fahrgast wird ein Umstieg erspart.

(5) Das Grundfahrzeug (Chassis mit Technik, Plattform) ist in der Lage einen Container anstelle der Fahrgastkabine zu transportieren. Damit ergeben sich betrieblich neue Möglichkeiten, Güterverkehr flexibel zu gestalten (intermodaler Güterverkehr).

(6) Da ein immer gleiches Chassis ähnlich der Zugmaschine eines Lkw für unterschiedliche Aufbauten verwendet werden kann, steigt die Stückzahl. Da die technischen und damit teureren Komponenten vornehmlich im Chassis verbaut sind, sinken die Gesamtkosten durch die hohe Stückzahl des Chassis.

Kern des Antriebskonzepts sind Batterie und Elektromotor. Da die Kosten für die Batterie und dessen Gewicht annähernd linear mit der Kapazität steigen, ist es unerlässlich den Energiebedarf so gering wie möglich zu halten. Dazu sind folgende Neuheiten vorgesehen:

(1) Das Fahrzeug ist klein, leicht und kompakt.

(2) Die Bremsenergie wird generatorisch in die Batterie rückgespeist.

(3) Zur Steigerung des Wirkungsgrads des elektrischen Antriebs werden neue Regelungs- und Schaltstrategien sowie Frequenzrichter-Topologien erforscht. Zusätzlich wird das Energiemanagement des batteriegetriebenen Fahrzeugs ausgelegt. Um die Ausnutzung und Überlastfähigkeit der Elektromotoren zu verbessern, wird ein digitaler Zwilling aufgebaut, der im Betrieb das thermische Verhalten der Elektromotoren und des Frequenzrichters nachbildet.

(4) Es werden weitgehend Leichtbaumaterialien, wie höherfeste Stähle, Aluminium und faserverstärkte Kunststoffe verwendet.

(5) Es wird auf Recyclingfähigkeit geachtet, bestenfalls auf vollständige Kreislauffähigkeit.

(6) Es werden weitgehend kompakte und leichte Komponenten anderer Verkehrsträger verwendet.

(7) Es werden statt der üblichen zweiachsigen Drehgestellfahrwerke, kompakte, leichte und gleisfreundliche Einzelachsfahrwerke eingesetzt, deren Radsätze in neuartigen besonders reibungsarmen Lagern montiert sind.

(8) Es sind kompakte, leichte und schnelllaufende Elektromotoren vorgesehen, die über neuartige Getriebe mit großer Übersetzung die Radsätze antreiben.

1.2 Aufgabenstellung

Im Folgenden wird die Beteiligung von LBBZ an den einzelnen Arbeitspaketen beschrieben. LBBZ hatte nahezu an allen Arbeitspaketen teilhabe um fertigungsrelevante Gesichtspunkte in die Planung oder Konstruktion einzubringen oder die Fertigung und Montage vorzunehmen. Besonders im AP1 bei der Entwicklung von Chassis und Fahrgastzelle war dies notwendig, um später auch die Produktion und die anschließende Montage umsetzen zu können. Aufgabe des LBBZ war es in beinahe allen Arbeitspaketen den Fertigungsgesichtspunkt einzubringen. Insbesondere bei der Montage der Außenhaut war die spätere Umsetzung bereits bei der Planung relevant. Die übergreifenden Entwicklungsaufgaben, wie die mechanische Anbindung von Chassis wurden ebenfalls begleitet. Der Fertigung des Chassis und der Fahrgastzelle im AP2 standen umfassende Fertigungsvorbereitung voran, bei denen nicht nur der Beschaffungsprozess der Materialien, sondern vor allem die Qualifizierung von Mitarbeitern und Material vorzunehmen war, denn die Fertigung sollte bereits unter allen Aspekten späterer Normierung stattfinden. Die Fertigung von Chassis und Fahrgastzelle waren der Hauptbestandteil der Arbeiten des LBBZ in AP2 unmittelbar gefolgt von AP 3 Montage des Chassis und der der Fahrgastzelle. Die „Hochzeit“ von Chassis und Fahrgastzelle stellte den Abschlusspunkt unserer Arbeiten dar. Anschließend wurde der FlexSbus durch uns für den Transport vorbereitet und über den erfolgreichen Messeauftritt auf der InnoTrans 2024 (kein Projektbestandteil) zum Institut für Schienenfahrzeuge transportiert (AP4). Dort wurden noch abschließende Innenausbau und Abdichtungsarbeiten vorgenommen. Bei den noch nicht erfolgten dynamischen Betriebsfahrten und den Versuchsfahrten auf den Gleisanlagen der Rurtalbahn werden wir ebenfalls wieder unterstützend zur Seite stehen. Die Arbeitspakete 5 und Dokumentation und Gewichtsmanagement und sowie Anforderungsmanagement, Terminplanung und Dokumentation wurden ebenfalls von uns im >Rahmen unserer Projektstätigkeit begleitet.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der ursprüngliche Projektplan musste im Juli 2021 an den verzögerten Projektstart angepasst werden. Zusätzlich wurde durch das Konsortium eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung um sieben Kalendermonate bis zum Ende des Jahres 2024 (31.12.2024) beantragt. Die Gründe hierfür waren in erster Linie Beschaffungsthemen (u.a. Corona), die aber gelöst werden konnten. Abbildung 1 zeigt den resultierenden Projektplan Die Ziele des Projektes konnten wie geplant erreicht werden.

Einleitung

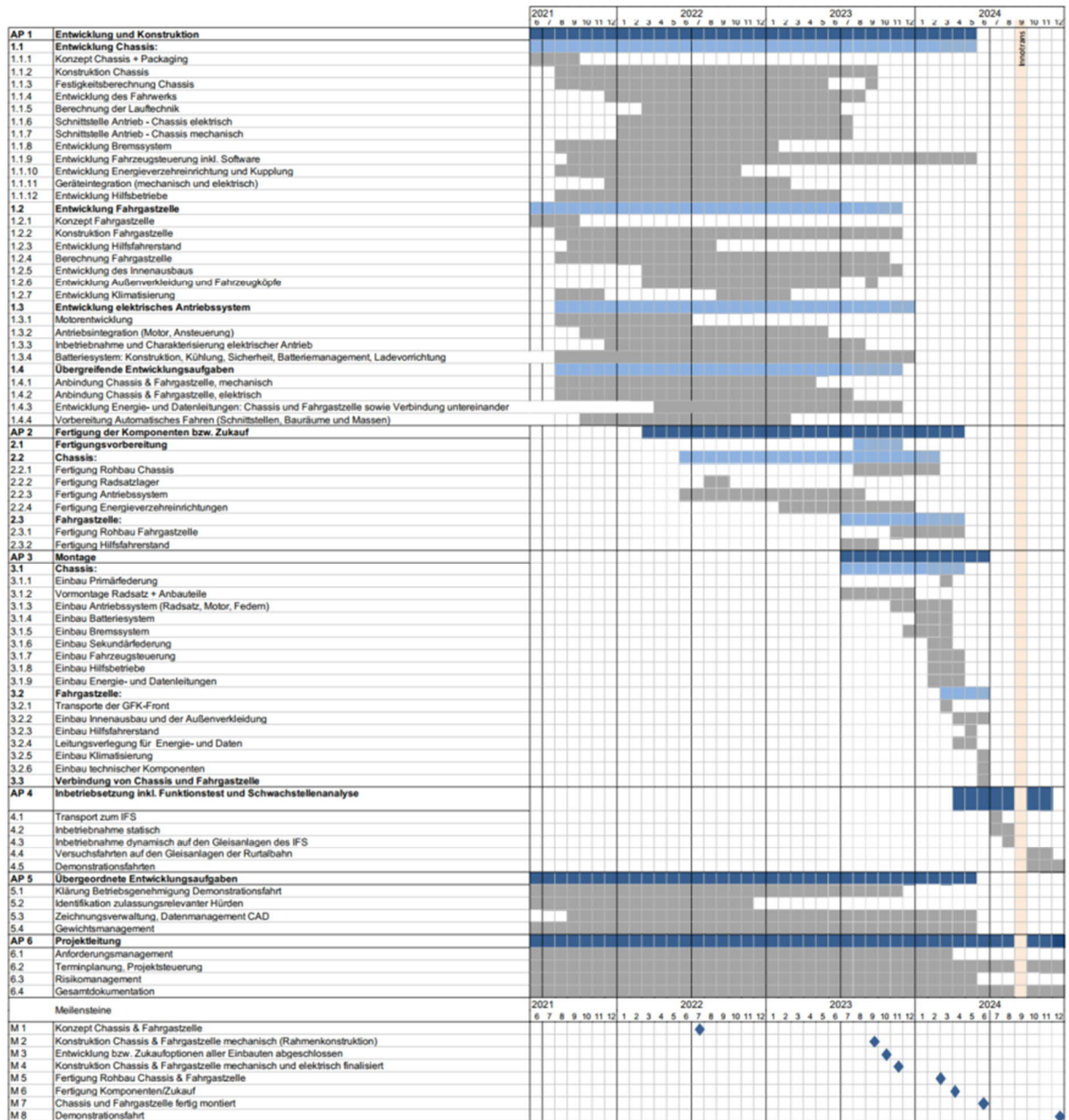


Abbildung 2: Projektplan

LBBZ konnte erfolgreich alle mit der Fertigung und der Montage sowie der fertigungsgerechten Konstruktion Arbeitspakete bis hin zur statischen Inbetriebnahme abschließen. Die einfache Trennung zwischen Chassis und Fahrgastzelle wurde umgesetzt und während der Montage mehrfach angewendet. Der Einbau der zugelieferten innovativen Komponenten, wie Bremsystem, Antrieb, Einachs-Fahrwerk und Batteriesystem konnte im vorhergesehenen Bauraum vorgenommen werden. Die Fahrgastzelle wurde in innovativ hybrid umgesetzt.

Durch die Kombination verschiedener Werkstoffe und den Einsatz von Klebeverbindungen, z.B. für die Außenbeplankung, konnte eine leichtbauoptimiert und fertigungsoptimiert gefertigt werden. Insbesondere die gehobene optische Qualitätsanmutung ist überzeugend und brachte auf der besuchten InnoTrans-Messe 2024 Beifall für das Fahrzeug ein.

Beim Bau dieses ersten Demonstrators konnten noch nicht alle Effizienzpotentiale gehoben werden, hier gibt es noch Skalierungspotential bezüglich der eingesetzten Schweißverfahren und des Automatisierungsgrades.

1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

1.4.1 Innerhalb des Verbundprojekts

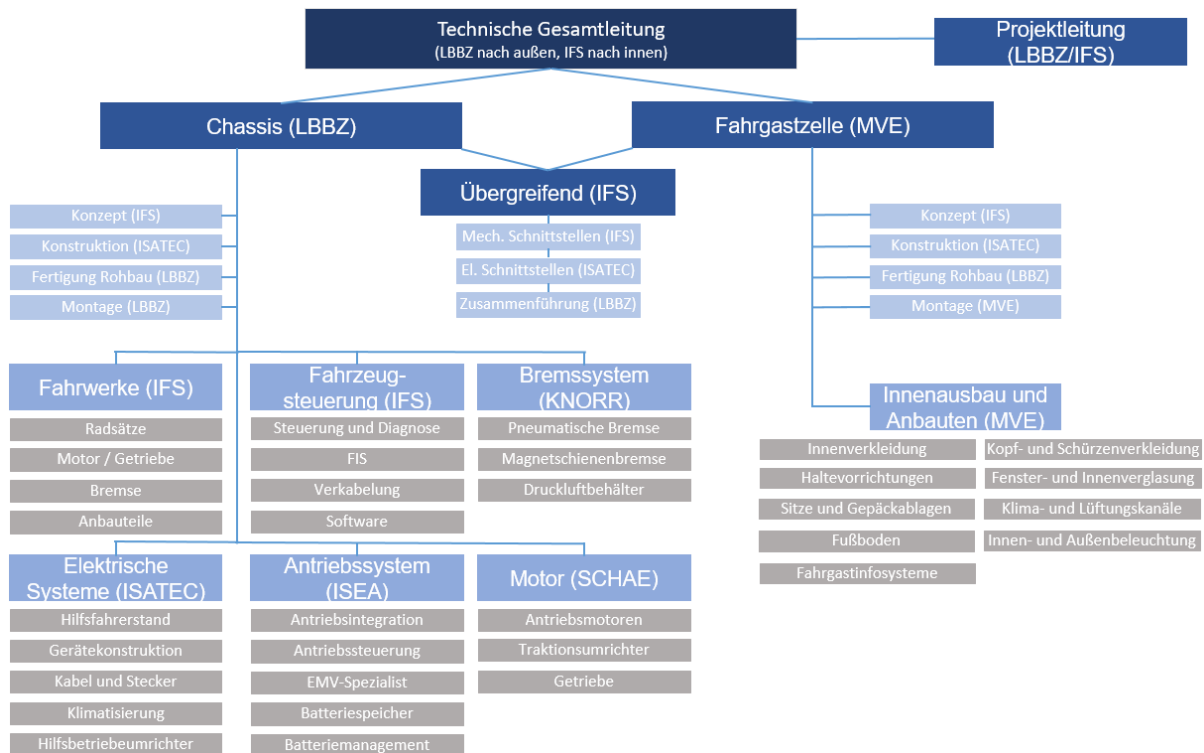


Abbildung 3: Darstellung der Aufgabenverteilung und Schnittstellen

FlexSbus-LR ist ein Verbundprojekt mit einer hohen Anzahl an Schnittstellen zwischen den Arbeitspaketen der Verbundpartner und erforderte eine besonders enge Zusammenarbeit sowie regelmäßige Abstimmung. Da die fertigungsrelevante Sichtweise bei nahezu allen Arbeitspaketen einzubringen war, hat LBBZ diesem Thema auch viel Aufmerksamkeit geschenkt. So konnten letztendlich einige Iterationsschleifen vermieden werden.

1.4.2 Außerhalb des Verbundprojekts

Für das gesamte Konsortium sind die Ruhrtalbahn sowie der Bochumer Verein Verkehrstechnik (BVV) Kooperationspartner. Für LBBZ im Einzelnen haben wir mit unserem Lieferanten für Klebetechnik, der Bodo Möller Chemie GmbH, zusammengearbeitet, die uns beratend zur Seite gestanden haben sowie mit den Kölner Verkehrsbetrieben (KVB), die ein wichtigere Inputgeber für die Verklebung der Außenhaut waren.

Teil II: Eingehende Darstellung

2 Ausführliche Beschreibung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Arbeitspakete aus LBBZ-Sicht beschrieben. Zu Beginn des Projektes wurden die Projektpartner ISAtec und IFS bei mehreren Ortsterminen am Standort Geilenkirchen mit den Fertigungsverfahren der LBBZ GmbH vertraut gemacht. Die zur Verwendung stehenden Verfahren beinhalteten im Bereich der Blech und Profilmbearbeitung im 2D und 3D Bereich, das Laserschneiden, die Profilebearbeitung mittels Trumpf-Lasertube sowie die Blechumformverfahren via Trumpf-Trubend und Placke HQPB Maschinen.

Für die Fügeverbindungen wurden die Möglichkeiten der Verfahren Kleben, Schweißen MIG/MAG und das Punkt sowie Laser und Remotelaserschweißen demonstriert. Für den nötigen Korrosionsschutz wie die Oberflächenveredelung wurden die Verfahren des KTL-Beschichtens, Pulverbeschichtens und der Nasslackierung vorgestellt.

Vorausgegangen war eine ausführliche Recherche über die zu verwendenden Fügeverbindungen, die bei LBBZ bereits in der Automotive-Serienproduktion verwendet wurden. Verfahren sind das Kleben, Schweißen im MIG/MAG Verfahren sowie das Punkt-, Laser- und Remotelaserschweißen. Auf Basis der bereits verwendeten Verfahren wurde eine Recherche/Machbarkeitsanalyse für die Fertigung des FlexSbus-Prototyps mit den Prozessverantwortlichen des LBBZ aufgestellt. Im Zuge dessen wurde festgestellt, dass die Verfahren unter Berücksichtigung der notwendigen Vorbereitungen sowohl voll- als auch teilumfänglich eingesetzt werden können. Vorbereitungen sind zum Beispiel das Anbringen von Schweißflanschen für Punkt und Laserschweißnähte, Prüfung der Zugänglichkeit der MIG/MAG Schweißpistolen.

Ebenfalls wurden die zu beachtenden Normen und Vorschriften recherchiert. Im Zuge der Arbeiten an den Fügeverbindungen war insbesondere für die Schweißverfahren (MIG/MAG, Punkt und Laserschweißen) die DIN EN 15085-2 in den Fokus der Schweißfachingenieure des LBBZ gerückt. Die Zertifizierung nach DIN EN 15085-2 ist maßgeblich für Hersteller, die an Schienenfahrzeugen, Schienenfahrzeugteilen und -komponenten schweißen.

Um die Vorschriften der DIN EN 15085-2 vollumfänglich zu erfassen wurden Beratungsgespräche mit dem TÜV Rheinland zur DIN EN 15085-2 geführt.

Die Analyse der im Projekt einzusetzenden Verfahren und Fertigungsanlagen und die Abstimmung zur fertigungsoptimierten Konstruktion wurde mit den Partnern, insbesondere IFS und ISATEC, vorgenommen. ISATEC wurde vom Projektverantwortlichen der LBBZ GmbH in Zusammenarbeit mit den Prozesseignern der LBBZ GmbH instruiert und entsprechende Verfahren im Zuge von vor Ort-Terminen und Webmeetings vorbereitet.

2.1 AP 1.1: Entwicklung des Chassis

Für die Fertigung des Chassis wurde ein modularer Aufbau vorsondirt um flexibel auf Anpassungen des Volumens der Batterie, Bremse und anderer C-Teile reagieren zu können sowie im späteren Verlauf der Fertigung entstandene Räume optimal nutzen zu können. Die modulare Bauweise ermöglicht zudem eine platz- und zeitoptimierte Montage, die auf kleinere und besser zu verarbeitende Baugruppen zurück zu führen ist.

Die vergleichsweise stark abweichenden Höhenvorgaben der Chassis-Struktur und den resultierenden Lastpfaden, die im Gegensatz zu herkömmlichen Containerwagenstrukturen nicht in einer Ebene liegen, stellten besondere Herausforderungen dar. Die Anforderungen an Crashlasten und eines komfortablen und barrierefreien Zugangs in die Fahrgastzelle mit fertigungsgerechten Produktionsmöglichkeiten übereinander zu bringen waren hierbei die Herausforderungen, die im Zusammenspiel mit den Partnern, vor allem der ISATEC bewältigt werden konnten. Zur Erhöhung der Effizienz und der Reichweite war die strukturelle Integrität bei möglichst geringer Masse zu realisieren. Neben dem verbauten Material entschied die Konstruktion, die sich an den Stärken und Bedürfnissen der Fertigung orientierte, über die Kosteneffizienz des Fahrzeugs. Auf Grund einer gewissen Beschaffungsunsicherheit bei zentralen Komponenten wie der Batterie wurde darüber hinaus großer Wert auf einen möglichst variablen Bauraum und flexible Schnittstellen im Unterflurbereich gelegt.

Zu Beginn der Chassis-Entwicklung wurden bewusst zwei sehr unterschiedliche Konzepte entworfen, eine Wannenausführung aus dünnen gekanteten Blechen Integralbauweise und rechts daneben ein Leiterraumkonzept (s. Abbildung 3) Das entwickelte Konzept für ein Leiterraum-Chassis setzte sich in der Konzeptphase gegen die Integralbauweise durch. Die Realisierbarkeit einer ausreichend tragfähigen Struktur bei möglichst geringem Gewicht und maximaler Flexibilität des Bauraums war ausschlaggebend, besonderes Augenmerk lag dabei auf der Sicherheit die Kollisionskräfte zu absorbieren bzw. weiterzuleiten. Hier lieferte LBBZ insbesondere bei der fertigungs- und festigkeitsgerechten Konstruktion des Chassis seinen Beitrag.

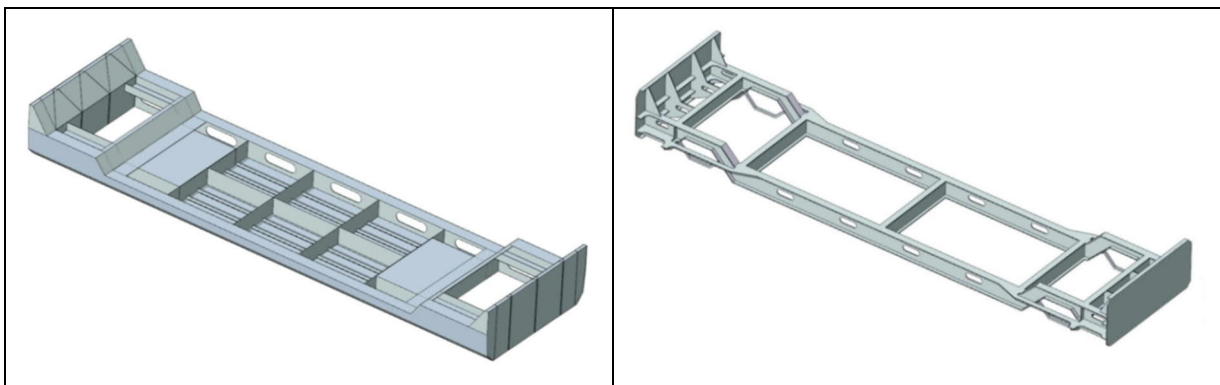


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Chassis-Konzepte "Wanne" und "Leiterrahmen"

Es wurden fertigungsgerechte Dateien erstellt, die sowohl den betrieblichen Anforderungen als auch den gesetzlichen Vorgaben entsprachen. Eine enge Abstimmung mit den Partnern war entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung.

Durch den gegebenen Bauraummangel war die regelmäßige Abstimmungen zwischen dem IFS, ISATEC und dem LBBZ besonders wichtig um das entwickelte Konzept den Ansprüchen der Funktionalität, der Festigkeit und der Fertigungsgerechtigkeit gerecht zu entwickeln,

so dass ein funktionsfähiges Leiterraum-Chassis inklusive aller erforderlichen Komponenten für die nächsten Schritte in der Fertigung und Implementierung entstanden ist. Gleichsam konnte die fertigungsgerechte mechanische und elektrische Integration aller technischen Komponenten im Chassis ebenfalls erfolgreich durchgeführt werden, hier spielte insbesondere die Abstimmung mit ISATEC eine Rolle. So konnten Bauräume sowie Schnittstellen definiert werden, um eine reibungslose Integration zu gewährleisten. Die Schwierigkeit hierbei ergab sich aus dem äußerst begrenzten Bauraum auf der einen Seite – dieser resultierte aus der kurzen Fahrzeuglänge sowie der Trennung von Chassis und Fahrgastzelle mit der Forderung, dass sämtliche für die Fahrfähigkeit notwendige Technik im Chassis platziert werden sollte - und dem Vorhandensein aller wesentlichen Komponenten eines gängigen Schienenfahrzeugs auf der anderen Seite.

Die Konstruktion und schweißtechnische Ausführung des Chassis wurde gemäß DIN EN 15085 ausgeführt. Dieser Norm gerecht werdend, haben wir uns, durch die im Projekt erworbenen Kenntnisse, mittlerweile dahingehend zertifizieren lassen. Diese Konformität stellt sicher, dass ein nachgelagerter Zulassungsprozess mit geringfügigen oder keinen Anpassungen am Chassis angestoßen werden kann.

Nach Abschluss des Schweißprozesses wurde das komplette Chassis zum Schutz vor Korrosion mit einer kathodischen Tauchbadlackierung versehen.

2.2 AP 1.2: Entwicklung der Fahrgastzelle

Durch die Crash-Anforderungen berücksichtigende Auslegung des Chassis konnte die Konstruktion der Fahrgastzelle deutlich feinstrukturierter und leichter ausgeführt werden als bei einem konventionellen Schienenfahrzeug.

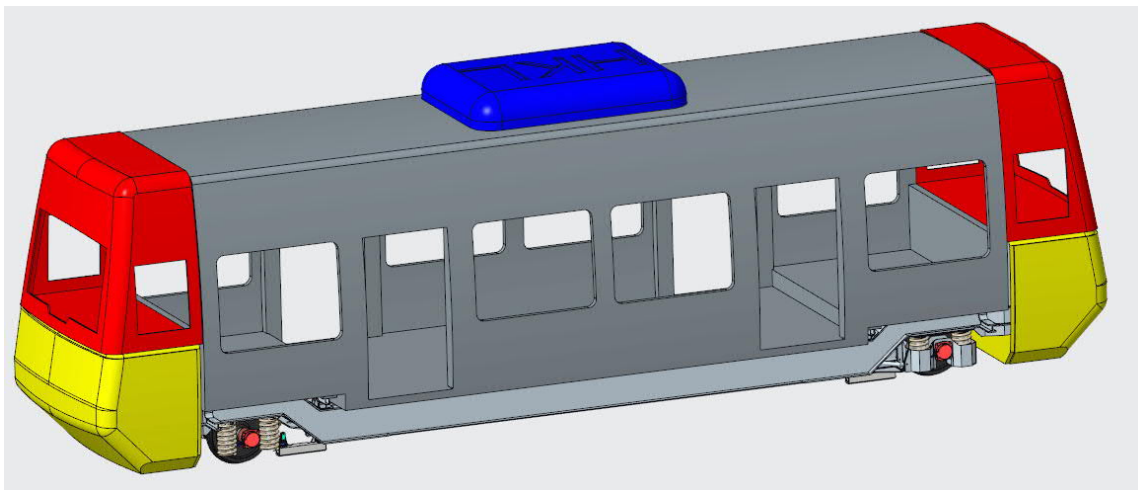


Abbildung 5: Grundsätzliche Aufteilung der Fahrgastzelle

Abbildung 5 zeigt den grundsätzlichen Aufbau der hybrid aufgebauten Fahrgastzelle. Die aus Metall gefertigte Kabine wird mit Kopfstrukturen aus GFK versehen. Diese hybride Leichtbauweise war die Möglichkeit gestalterisch neue Wege zu gehen.

Im Zuge der Beratung zur fertigungsoptimierten Konstruktion war in Zusammenarbeit mit der ISATEC die Fertigung eines Rohrrahmengestells für die Fahrgastzelle konstruktiv und produktionsterminologisch ausgearbeitet worden. Erste Detailabstimmungen wie Rohrdurchmesser und mögliche Biege- und Bombierradien wurden festgelegt und weitere Detailbesprechungen vereinbart.

Eine Bombierung der Seitenwände zur Verbesserung des Platzangebotes im Innenraum wurde beschlossen und hatte Einfluss auf den Fertigungsprozess, da die Befestigung der Außenpaneele nur mit Klebtechnologien möglich schien. Im Schienenfahrzeugbau kommt neben der Schweißtechnik vermehrt das Kleben als Fügetechnologie zum Einsatz und ist etabliert. Dies führt bei sicherheitsrelevanten Bauteilen zu besonderen klebtechnischen Anforderungen an die Hersteller von Schienenfahrzeugen und Komponenten, zur Erfüllung der hohen Anforderungen sind leistungsfähige Kleb- und Dichtstoffe erforderlich. In Zusammenarbeit mit unseren Liefertanten und unserem Projektpartner der ISATEC GmbH wurde ein Klebkonzept im Zusammenspiel von Konstruktion und Klebstoff erarbeitet.

Die Konzeptionierung der Fahrgastzelle mündete schließlich in einen dem Busfahrzeugbau angelehnten Stahlrohrrahmen. Durch sein Fachwerk aus verschweißten Vierkantrohren werden die hohen Kräfte, die im Crashfall entstehen können, bei geringem Gewicht aufgefangen. Für die weitere Ausarbeitung fiel die Wahl auf die Konzeptvariante „Rohrrahmen“. Ausschlaggebend waren neben einem geringen Gewicht vor allem die optimale Ausrichtung auf die verfügbaren Fertigungsmöglichkeiten sowie die Realisierbarkeit von optisch hochwertigen Außenflächen.

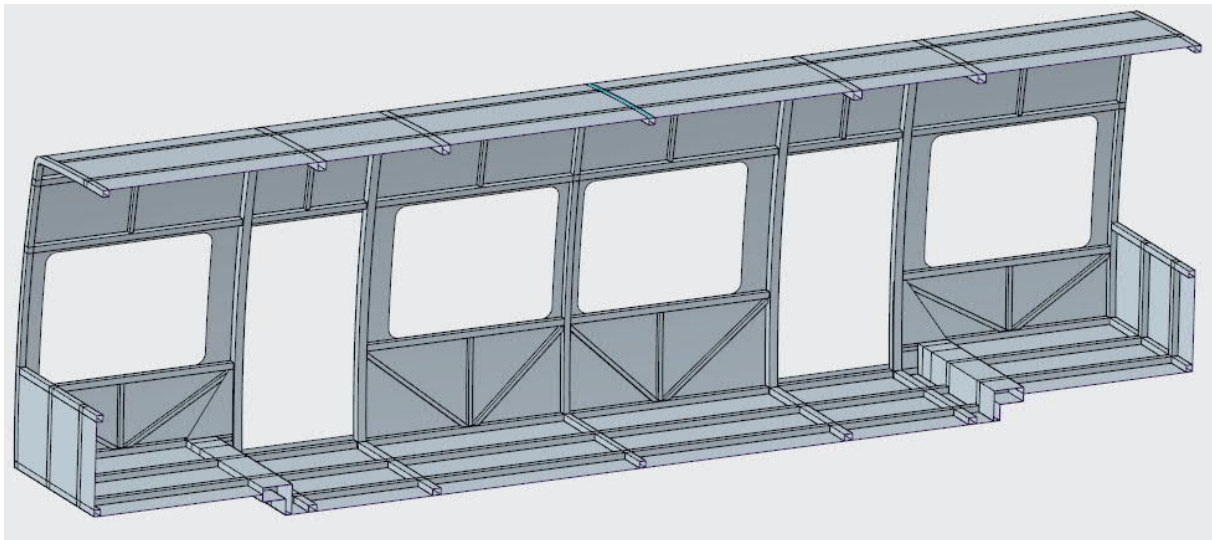


Abbildung 6: Konzept Rohrrahmen

Geschweißte Vierkantrohre bilden das Skelett der Fahrgastzelle, auf welche die Außenhautbleche aufgezogen werden. Klebeverbindungen ermöglichen das Fügen der hybriden Materialpaarung und kompensieren über ihre elastischen Eigenschaften ungleichförmige Ausdehnungen infolge von Temperatureinfluss. Zudem lassen sich durch ein Fügeverfahren ohne Schweißverzug optisch hochwertige Sichtbereiche ohne extrem aufwendige und kostenintensive Nachbehandlungen realisieren. Sowohl die Rohrsegmente als auch die Bleche der Außenhaut könnten in der Industrialisierung mit einem hohen Automatisierungsgrad gefertigt werden, wodurch Kosten und Zeit in der Produktion eingespart werden können.

Die Fachungen innerhalb des Rohrrahmens eignen sich auch bei dieser Lösung hervorragend zum Einbringen von Isoliermaterial.

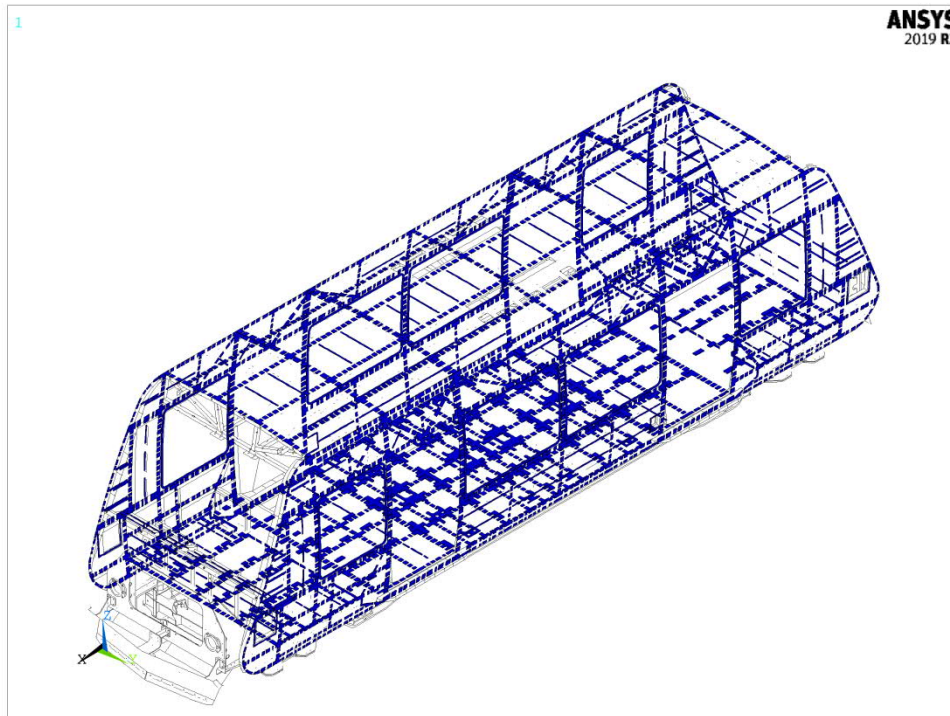


Abbildung 7: FE-Modell: Klebeverbindungen zwischen Stahlrahmen und Aluminium-Hülle

Im Zuge der Detaillierung des Rohrrahmengerüsts der Fahrgastzelle wurden nach Abstimmung der notwendigen Teilung und -festlegung der Schweißstöße, die Vorbereitungen für die KTL-Beschichtung vorgenommen.

Bei der kathodischen Tauchlackierung handelt es sich um ein elektrochemisches Verfahren zur Aufbringung eines Korrosionsschutzlacks auf Epoxidbasis. Das Werkstück wird in einem Gestell befestigt und nacheinander in unterschiedliche Behandlungsbäder getaucht, so dass auch in sämtlichen Hohlräumen, die erreichbar sind, der Korrosionsschutz aufgebracht wird.

Die Lackabscheidung erfolgt über einen elektrischen Stromfluss ausgehend von der sich im Beckenrand befindlichen Anode über den leitfähigen Lack hin zum Werkstück, das die Kathode darstellt. So erfolgt eine Ablagerung auf dem Werkstück, welche auch nach Austauschen glatt und Lackiernasenfrei auf dem Werkstück verbleibt. Anschließend wird der Lack in einem Trog-Ofen bei 190-220°C ca. 1 h lang eingebrannt und vernetzt.

Die Vorteile die sich für unsere Fahrgastzelle aus der KTL-Beschichtung ergeben sind ein hoher Korrosionsschutz trotz geringer Schichtdicken (ca. 25 µm), gleichmäßige Schichtverteilung auch an schwer zugängigen Stellen und in Hohlräumen und bei komplizierten Formteilen und Kleinstteilen. Eine umfassende Beständigkeit gegen Öle und Bremsflüssigkeiten ist ebenfalls gegeben. Desweiteren bildet die KTL-Beschichtung eine hervorragende Primeroberfläche.

Zwischen der ISAtec GmbH und der LBBZ GmbH wurden die Fertigung eines Rohrrahmengerüsts weiter abgestimmt und die für die Fertigung nötige Teilung der Einzelteile und die hier raus resultierenden Schweißstöße wurden vereinbart. In den folgenden Abschnitten werden verschiedene Strukturkonzepte vorgestellt.

Durch die intensive Teilnahme am Entwicklungsprozess konnten wir uns erhebliches Entwicklungs-Know-How für die Konstruktion und Auslegung im Bahnbereich aneignen sowie unser Fertigungs-Know-How im Klebebereich ausbauen.

2.3 AP 2.1.Fertigungsvorbereitung

Im Rahmen des Arbeitspakets "Fertigungsvorbereitung" wurden umfassende Maßnahmen getroffen, um die Fertigung effizient zu gestalten. Die Fertigung aller mechanischen Komponenten erfolgte auf Basis von Zeichnungssätzen und CAD-Modelldaten. Um die Konstruktion bestmöglich auf die Produktion abzustimmen, wurden alle Baugruppenstrukturen und Toleranzkonzepte, moderiert durch ISATEC, von Anfang an mit uns abgestimmt.

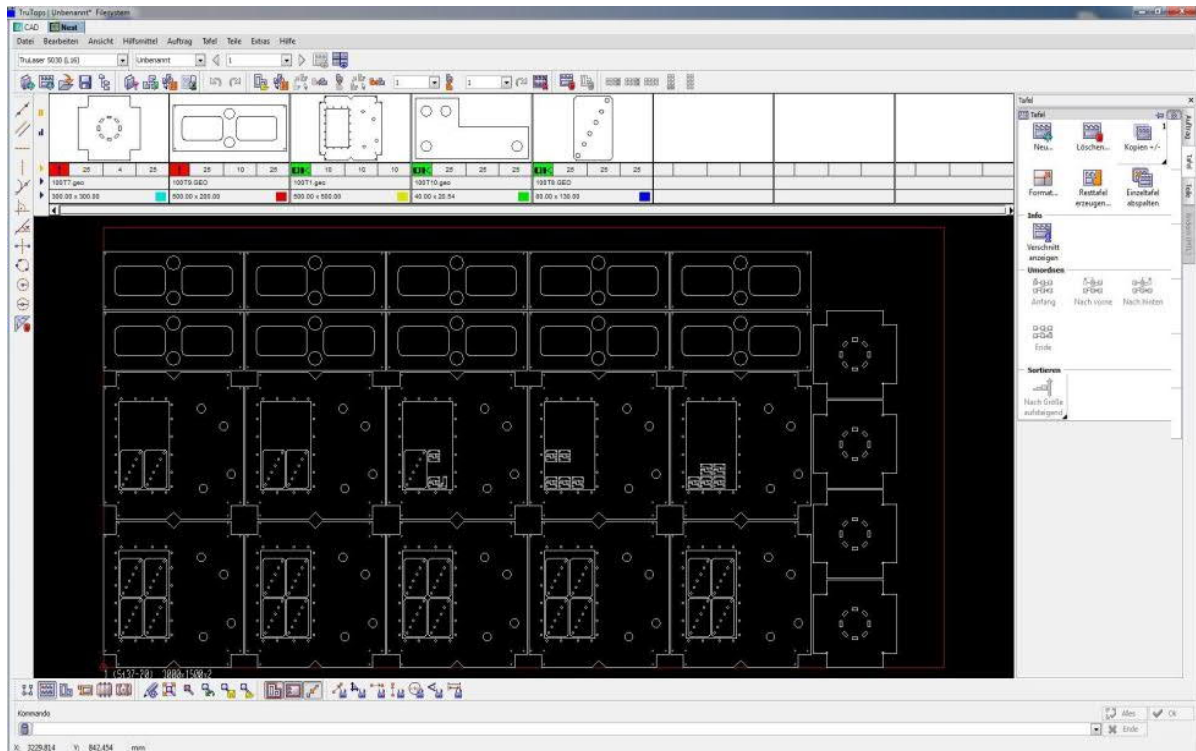


Abbildung 8: FE-Modell: Beispiel für eine Verschachtelungsplanung für den Laserbeschnitt

Wir übernehmen die vollständige Vorbereitung der CAD-Daten für die Fertigung und die entsprechenden Übersetzungen von step-Daten und dxf-Daten zu Ist-Daten (Daten zum Laserschneiden) und bnc-Daten (Daten für den Umformungsprozess via hydraulischem Gesenkbiegen). Dies beinhaltet die optimale Orientierung Ihrer Bauteile auf den Schneid- und Kantplänen, das Erzeugen von Supportstrukturen und auch die Berücksichtigung notwendiger Bearbeitungsaufmaße für eine eventuelle Nachbearbeitung der Bauteile. Nur wenn bereits während der Aufbereitung sämtliche Aspekte der Prozesskette bis zum fertigen Bauteil berücksichtigt werden, lassen sich die einzelnen Prozessschritte wirtschaftlich miteinander verknüpfen. Eine sorgfältige Datenaufbereitung entscheidet über die Qualität und Wirtschaftlichkeit des Fertigungsprozesses.

Einer der Hauptzwecke der Datenaufbereitung besteht darin, sicherzustellen, dass die Daten, die für die Verarbeitung vorbereitet werden, genau und konsistent sind. Andernfalls sind die Fertigungsergebnisse nicht zufriedenstellend oder die Fertigung ist schlicht nicht möglich. Gründe für eine schlechte Datenqualität gibt es viele, beispielsweise fehlen bei Datensätzen häufig Werte, die Daten sind oft ungenau oder haben andere Defekte, zum Beispiel offene Geometrien bei dxf-Daten. Das Korrigieren von Datenfehlern, das Validieren der Datenqualität und das Konsolidieren von Datensätzen war ein wichtiger Bestandteil des Projektbeitrages.

Für das automatisierte Laserschneiden wurden Parameter in der Programmierung entwickelt oder angepasst und dann getestet. Kritische Schweißverbindungen wurden im Vorhinein diskutiert, um eine optimale Arbeitsvorbereitung zu gewährleisten. Fertigungsreihenfolgen wurden gemeinschaftlich am 3D-Modell optimiert. Unser Personal wurde in spezifischen Fertigkeiten geschult, um mit großen Blechstärken bei gleicher Qualität umgehen zu können. Dies beinhaltete sowohl theoretische Schulungen als auch praktische Anleitungen.

Das LBBZ spielte bei der Beschaffung der Werkstoffe eine vorherrschende Rolle und verschiedene Fertigungsprozesse wurden erprobt, darunter der Einfluss von Schmelzschwind bei Schweißungen. Arbeitsanweisungen und Sicherheitsunterweisungen wurden erstellt und durchgeführt, um ein sicheres Arbeitsumfeld zu gewährleisten. Ein wichtiger Aspekt war die Entwicklung einer speziellen Arbeitsplattform, die Arbeiten am Gesamtfahrzeug von allen Seiten ermöglicht.

Bei einem Besuch der KVB in Köln konnten wir erfahren, dass die Fahrzeuge der KVB, wie der FlexSbus, ebenfalls ein Stahlgerippe besitzen, welches mit 2mm dicken Alublechen beklebt ist. Das größte Blech war etwa 4.800 mm lang, die meisten knapp unter 4m. Im Zuge der Fertigungsbesichtigung erfuhren wir, dass die Alubleche entsprechend vorbehandelt werden müssen (offenporig anodisiert). Die Klebenähte waren nicht durchgezogen, sondern, wie beim Schrittschweißen, intervallgeklebt, damit, wenn eine Klebestelle versagt, die anderen Nähte Ggf. halten. Diese Erkenntnisse und einige Unterlagen zum Vorbereiten und Verkleben von Fahrgastzellen mit Außenverkleidungen die uns überlassen wurden, konnten wir und unsere Partner zur Detaillierung verwenden. Nach der Besichtigung der KVB-Fertigung und Sichtung der Unterlagen konnten in zusammen. Arbeit zwischen dem IFS, ISATEC und dem LBBZ final die Teilungen und Positionen der Außenverkleidung festgelegt werden.

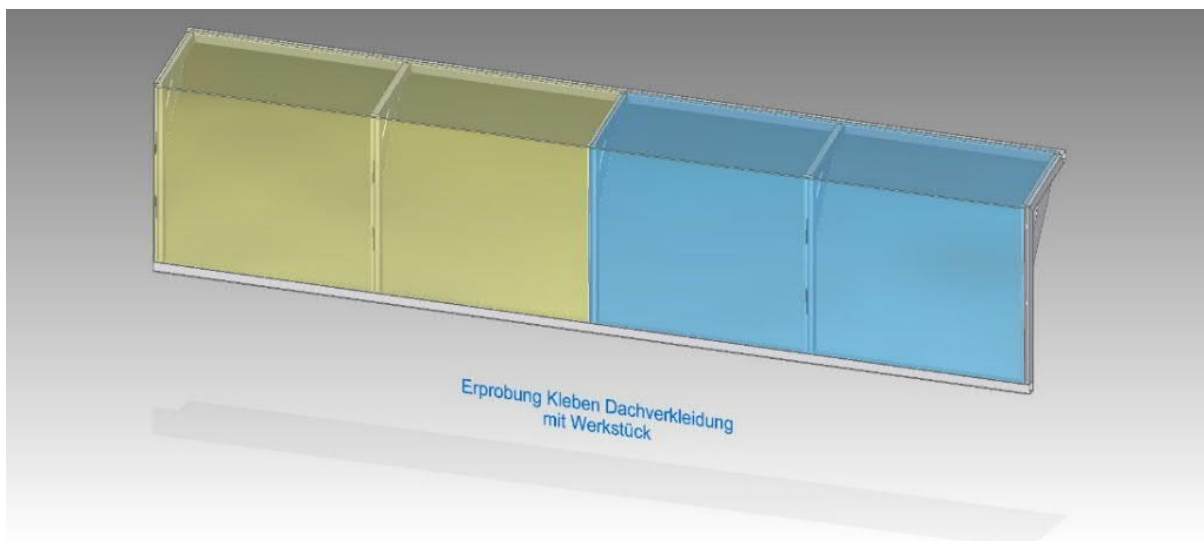


Abbildung 9: Aufbau eines Verklebungsversuch der Außenpaneele mit der Tragstruktur

Da beim Aufbau unseres Versuchsträgers im Gegensatz zur Fertigung der KVB die Außenverkleidung KTL beschichtet werden kann, wurde geprüft ob die Verbindung von anodisierten Blechen und Kleber und die von KTL-beschichteten Blechen und Kleber im Verhältnis zu einander stehen.

Nach dem die Grundlegenden Fragen zur Fertigung und zur Teilung des Chassis finalisiert sind, wurden die Details der Fertigung und Fertigungsvorbereitung zwischen IFS, ISATEC und

LBBZ erarbeitet und festgehalten. Da es sich beim Chassis um eine geteilte Schweißkonstruktion handelt ist ein besonderes Augenmerk auf die Schweißnahtvorbereitung und die Zugänglichkeit der einzelnen Verbindungspunkte gelegt worden. Die Schweißnahtvorbereitung ist ein wichtiger Arbeitsschritt, um Bauteile mit einer sauberen und toleranzgenauen Schweißnaht stoffschlüssig zu verbinden. Dabei werden die zu verschweißenden Kanten meist angefast und die Schweißstöße von Verunreinigungen wie Fette, Lacke, oder Rost befreit. So können Schweißnähte mit einer optimalen Qualität und engsten Toleranzen gefertigt werden, weshalb das Auftreten von Schweißfehlern wie Risse vermieden wird.

Schweißerprüfungen

Im Vorfeld zur Produktion wurden Schweißer-Prüfungen mit allen am Projekt beteiligten Fertigungsmitarbeitern vorgenommen sowie entsprechende Schulungen vollzogen. Im Zuge der Arbeitsvorbereitung sind für alle zu fertigenden Baugruppen, Probe und Prüfstücke für die Qualifikation der entsprechenden Mitarbeiter festgelegt wurden um eine möglichst Bauteilbezogene Qualifikation, der Mitarbeiter gewährleisten zu können. Zudem werden die Mitarbeiter möglichst Bauteilbezogen in Zusammenarbeit mit einer unabhängigen Beratungsstelle geprüft. Der Zweck der Schweißer-Prüfung besteht in der Sicherung von Schweißarbeiten. Im "geregeltem Bereich" ist der Einsatz von geprüften Schweißern vorgeschrieben. Im "nicht geregelten Bereich" wird durch die Forderungen der Produkthaftung ausreichend qualifiziertes Personal gefordert.

Gültige Schweißerprüfungen sind in vielen Bereichen wie dem Stahlbau, Fahrzeugbau, Anlagenbau usw. eine grundlegende Voraussetzung für die Ausführung von Schweißarbeiten, daher werden alle am Projekt beteiligten MA geprüft und in anlehnung an die EN 15085 geprüft. Die Schweißerprüfung ist eine Handfertigkeitprüfung und basiert auf wesentlichen Einflussgrößen. Für jede dieser Einflussgrößen ist ein Geltungsbereich definiert.

Folgende Einflussgrößen sind definiert:

- Schweißprozess(e)
- Produktform (Blech, Rohr)
- Nahtart (Stumpf- oder Kehlnaht)
- Werkstoffgruppe des Schweißzusatzes
- Art des Schweißzusatzes
- Abmessungen (Werkstoff-, Schweißgutdicke und Aussendurchmesser)
- Schweißpositionen
- Schweißnahteinheiten (Badsicherung, Wurzelschutz, Nahtaufbau, Schweißrichtung)

Verfahrensprüfungen

Bei einer Verfahrensprüfung wird im Beisein eines Prüfers die zu qualifizierende Schweißaufgabe durchgeführt und anschließend mithilfe zerstörungsfreier und zerstörender Prüfungen durch ein unabhängiges Institut überprüft, ob die Schweißanweisung geeignet ist. Ebenfalls wurden umfangreiche Beschichtungstests und Materialerprobungen vorgenommen um die späteren Beschichtungsprozesse der fertig gestellten Baugruppen vorzubereiten. Ebenso wurde die Einrichtung einer Fertigungslinie für die Produktion eines Schienenfahrzeuges mit den entsprechenden Vorrichtungen, Anschlags- und Zurrmitteln aufgebaut. Eine entsprechend benötigte Halleninfrastruktur (entsprechende Deckenhöhe /Krananlage/Brandschutz) wurde in einer unserer Produktionshallen ertüchtigt.



Abbildung 10: Hebe- und Anschlagmittel sowie typischer Schweiß-Fertigungstisch

Rückverfolgbarkeit der Materialien als Kriterium für Sicherheit und Qualität

Rückverfolgbarkeit schafft Transparenz und Vertrauen in die Werkstoffe. Sie dient Herstellern und den späteren Verbrauchern gleichermaßen. Nur eine lückenlose Rückverfolgbarkeit bis zum Ursprung von verwendeten Materialien oder industriellen Vorprodukten ermöglicht bei Bedarf den Rückruf von nicht sicheren Chargen und Serien. Die eindeutige Rückverfolgbarkeit begrenzt auch die Produktionskosten im Fehlerfall.

Das sog. 3.1 Abnahmeprüfzeugnis ist ein Dokument, in dem der Hersteller erklärt, dass die vom Kunden bestellten, gelieferten Produkte der Bestellung entsprechen. Die Konformitätserklärung enthält die Prüfergebnisse der Einzelprüfung. Prüfungen werden nach behördlichen oder technischen Vorschriften durchgeführt und in der Produktspezifikation festgelegt.

Neben den gesetzlich vorgeschriebenen, teilweise standardisierten Kennzeichnungen, gibt es zahlreiche weitere technische - inzwischen auch digitalisierte - Kennzeichnungsverfahren. Jedem Unternehmen steht daher ausreichend Spielraum zur Verfügung, eine für das jeweilige Produkt bzw. Dienstleistung geeignete Variante zu praktizieren.

verwendete Kennzeichnungsarten:

- Los-, Serien- oder Chargen-Nummer
- Produkt-ID, Versionsnummer, Auftragsnummer

verwendete Kennzeichnungsverfahren:

- Etikett/Label, Lasergravur,
- Barcode, RFID

Die Rohrprofildaten und entsprechenden Dreh- und Fräsbaugruppen sowie Bauteile wurden im Zuge der Arbeitsvorbereitung in fertigungsgerechte Dateien und Pläne übersetzt. Danach wurden die benötigten Rohrprofile am Markt unter Berücksichtigung der Erfordernisse der 3.1. Zeugnisse beschafft.

Nach dem Eingang der Profile und Prüfung wurden diese laserbeschnitten. Die entsprechenden Aufmaße der Schweißnähte sind dabei bereits bei der Schnittgeometrie berücksichtigt worden.

2.4 AP 2.2. Fertigung des Chassis

In diesem Arbeitspaket wurde das Chassis einschließlich aller untergeordneten Baugruppen gefertigt. Der Prozess begann mit der Materialauswahl, die auf die spezifischen Anforderungen der Anlagen und Fertigungsprozesse abgestimmt wurde. Das LBBZ beschaffte die Rohmaterialien. Die Fertigung begann mit dem Zuschnitt der Halbzeuge auf Laserschneidmaschinen, gefolgt von der Formgebung mittels großformatiger Abkantpressen nach den erstellten für die Fertigung relevanten Zeichnungen und Pläne für den Rohbau des Chassis. Nach dem Eingang der Rohr-Profile und Prüfung wurden diese laserbeschnitten. Die entsprechenden Aufmaße der Schweißnähte sind dabei bereits bei der Schnittgeometrie berücksichtigt worden. Während der Fertigung bestand ein intensiver Austausch zwischen ISATEC und dem LBBZ, um Rückfragen zu klären. Das IFS spielte auch eine wesentliche Rolle in der Kommunikation und Koordination zwischen Konstruktion und Fertigung und stellte sicher, dass erforderliche Anpassungen in enger Abstimmung umgesetzt wurden.



Das Chassis, welches als Leiterraum mit modular einsetzbaren Segmenten für die Nebenbetriebe ausgeführt ist, wurde aufgrund seiner Dimensionen und seinem Charakter als Einzelstück größtenteils von Hand geschweißt. Die großen Abmaße, die hohen Blechstärken und der Schwund beim Schweißen stellten besondere Herausforderungen in der Fertigung dar.

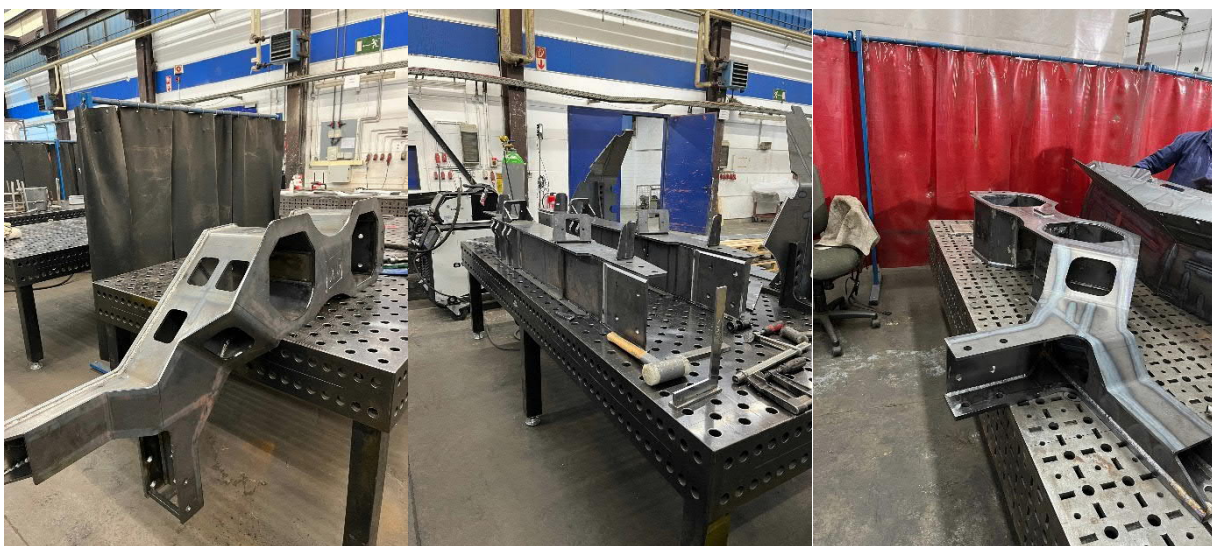


Abbildung 11: Fertigungstische mit verschiedenen Strukturkomponenten Fahrwerk-Schwinge

Ausführliche Beschreibung der Ergebnisse

Die Oberflächenveredelung erfolgte durch kathodische Tauchbadlackierung (KTL) zum Korrosionsschutz. An den Unterseiten wurde zudem eine zusätzliche Schutzbeschichtung gegen Steinschlag aufgebracht.

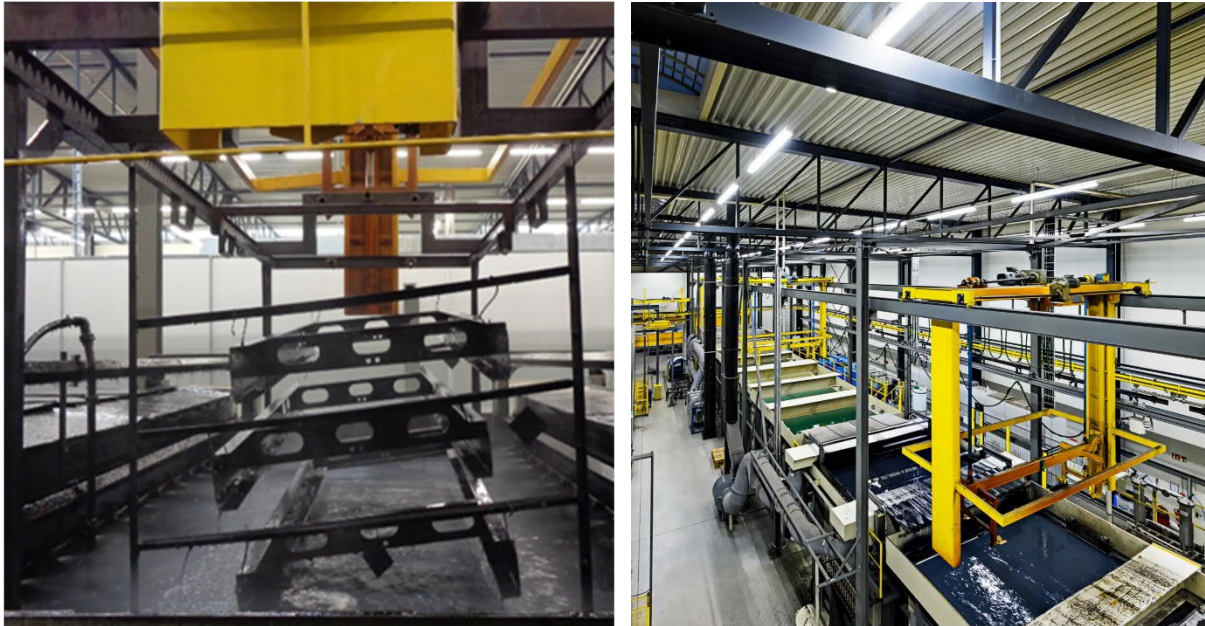


Abbildung 12: KTL-Anlage des LBBZ, 11 Prozessbecken und Trogofen

Um dem hohen Maß an Fertigungstoleranzen und der entsprechenden Vorspannung im Bereich der Batterieaufnahme (16mm) gerecht zu werden, sind für das Flammrichten und Verschweißen modulare Schweißvorrichtungen angefertigt worden. Beim Chassis lag der Fokus in erster Linie beim Aufbau und der Montage des Fahrwerks und der Anpassung der einzelnen Komponenten aufeinander.



Abbildung 13: Bahnräumer, Fahrwerksaufnahme im vorgespannten Zustand, Aggregate Träger

2.5 AP 2.3 Fertigung der Fahrgastzelle

Der Rohbau der Fahrgastzelle, welcher im Wesentlichen aus einer Fachwerkstruktur von Vierkantrohren aus Stahl besteht, wurde gemäß den Konstruktionsplänen gefertigt und mit einer Aluminium-Bepunktung sowie verschiedenen Profilen für den An- und Einbau von Außen- und Innenverkleidungen versehen. Dieses Konzept resultiert aus den Anforderungen des Leichtbaus und der verminderten Belastung der Fahrgastzellenstruktur gegenüber dem Chassis im Crashfall. Das LBBZ beschaffte die metallischen Halbzeuge und fertigte aus diesen die konstruierten Baugruppen. Es setzte dabei Verfahren wie CNC-Laserschneiden, CNC-Biegen sowie WIG- und MAG-Schweißen ein. Auch Drehen & Fräsen, Schleifen sowie Lackieren gehörten zu den angewandten Techniken.

Das Biegen der Vertikalstreben für die formgebende Bombierung wurde extern beauftragt. Die Verbindung der einzelnen Komponenten erfolgte stoff- bzw. kraftschlüssig durch verschiedene Verfahren wie Schweißen, Schrauben, Nieten oder Kleben; oft kam auch eine Kombination dieser Methoden zum Einsatz. Beispielsweise wurden die GFK-Fronthauben zunächst positionierend verschraubt und anschließend verklebt. Im letzten Schritt erhielt der Rohbau einen Korrosionsschutz und wurde in Absprache mit dem IFS farblich lackiert.

Das IFS spielte eine wichtige Rolle bei der Koordination der Fertigung des Rohbaus und definierte zudem die Schnittstellen zu Zukaufteilen wie Klimaanlage und Türen sowie elektrische Schnittstellen. Erforderliche Anpassungen wurden eng mit ISATEC besprochen.

ISATEC erstellte die Zeichnungen zur Fertigung und fungierte während des gesamten Prozesses als Ansprechpartner für auftretende Fragen bezüglich der Konstruktion, einschließlich einer Nachbearbeitung bei Problemen während der Fertigung.

Bodengruppe und Einstiegsbereich

Die Rohrprofildaten und entsprechenden Dreh- und Fräsbaugruppen sowie Bauteile wurden im Zuge der Arbeitsvorbereitung in fertigungsgerechte Dateien und Pläne übersetzt. Diese wurden im Anschluss an die Fertigung sowie den Einkauf zur Beschaffung übergeben. Danach wurden die benötigten Rohrprofile am Markt unter Berücksichtigung der Erfordernisse der 3.1. Zeugnisse beschafft.

Dach/ Anschluss Klimaanlage

Die Daten der Dachstruktur und der dazugehörigen kleineren Bauteile wurden durch die Arbeitsvorbereitung aufbereitet und auf die Fertigungsverfahren abgestimmt. Im Bereich des Daches wurde insbesondere ein Augenmerk auf die Anschlussstelle der Klimaanlage gelegt. Um eine reibungslose Montage im späteren Projektverlauf zu gewährleisten, wird zurzeit mit der Konstruktionsabteilung und der Fertigungsabteilung ein entsprechendes Montage- und Vorrichtungskonzept erarbeitet. Wie bereits bei der Bodengruppe wurden auch hier die entsprechenden Aufmaße berücksichtigt und in die Schneidgeometrien integriert.

Seitenstruktur mit Außenpaneelen

Die Rohdaten für die Seitenstruktur wurden unter Berücksichtigung der Fertigungsverfahren (Rohrbiegen und Laserbearbeitung) im Zuge der Arbeitsvorbereitung übersetzt und in externe und interne Fertigung gesplittet. Der Beschaffungsprozess für die gebogenen Rohre wurde

Insbesondere in Zusammenarbeit mit MV Engineering und dem IfS wurde bereits ein Konzept und die Planung zur Montage der GFK-Köpfe entwickelt, hierbei spiegeln die bei uns vorhandenen LKW durch ihre Sonderaufbauten beim Transport zum LBBZ der durchaus empfindlichen und besonders zu handelnden GFK-Köpfe vom Zulieferer zu uns eine wichtige Rolle.



Abbildung 16: Anpassungsvorgang des empfindlichen GFK-Triebkopfes auf die Fahrgastzelle

Die einzelnen Verkleidungsbleche wurden dann mit Erdungslaschen mit der Fahrgastzelle verbunden und ebenfalls von innen versiegelt. Ebenfalls sind die GFK-Köpfe lackiert worden und im Anschluss an die Fahrgastzelle angepasst und montiert. Die Seiten und Frontscheiben wurden im nach Gang zur Montage der GFK-Köpfe angebracht und versiegelt. Parallel zur Außen Verkleidung wurden verschiedene GFK Bauteile der Innenverkleidung, sowie Frontschürzen zur Montage vorbereitet und Lackiert. Die Türen wurden montiert und an die Fahrgastzelle angepasst, sowie die Notentriegelungen eingebaut und getestet.

2.6 AP 3 Montage von Chassis und Fahrgastzelle

Ein besonderer Meilenstein der Fertigung war die Hochzeit des Fahrwerks und des Chassis. Unter Berücksichtigung weniger Millimetern an Toleranz wurden die Baugruppen montiert und mithilfe der für diesen Zweck organisierten Hebeböcke sowie verschiedenen Werkzeugen wie Hallenkran und Kettenzüge in Position gebracht und gehalten. So konnten alle Verschraubungen passgenau vorgenommen werden.

Des Weiteren wurden die Komponenten wie der Aggregateträger bestückt und auf das Chassis angepasst und montiert. Verschiedene pneumatische wie elektrische Komponenten wurden, wie die Hochvoltbatterie und Leistungselektronik verbaut.

Die Vorbereitungen für die Pneumatik Leitungen wie Elektroleitungen wurden vorgenommen und die Erdungslaschen und Kabel zum Großteil montiert und befestigt.

Nach dem Umzug des montierten FlexSbus zum IfS wurde unter Zusammenarbeit die weiteren Ausführungen vorgenommen. Die die konischen Parker-Pneumatikverschraubungen wurden final montiert bzw. verschweißt und auf Dichtigkeit hin überprüft. Dies war besonders im Zusammenspiel mit der Inbetriebnahme der Bremse des Projektpartner Knorr wichtig.

Parallel dazu wurden alle Elektroleitungen gelegt und an die Komponenten fest verdrahtet.

Der finale Innenausbau erfolgte dann im Zusammenspiel mit der MV Engineering.



Abbildung 17: Innenausbau und Fertigstellung am ISF

2.7 AP 4 Inbetriebnahme

In diesem Arbeitspaket war LBBZ vor allem in der Transportvorbereitung und der Anbringung entsprechender Hebevorrichtungen tätig, um den fertig montierten FlexSbus vom Montageplatz über spezielle Schwertransportsattelschlepper zunächst zur Messe InnoTrans (nicht in unseren Projektleistungen enthalten) zu verbringen und von da aus zum IfS zur endgültigen Fertigstellung und Inbetriebnahme. Die Verladung in der Montagehalle erfolgte mittels Deckenkran sowie eines weiteren Kranes um die wegen zu geringer Deckenhöhe auftretenden Scherkräfte der kurzen Anschlagmittel zwischen den Anschlagpunkten zu minimieren.

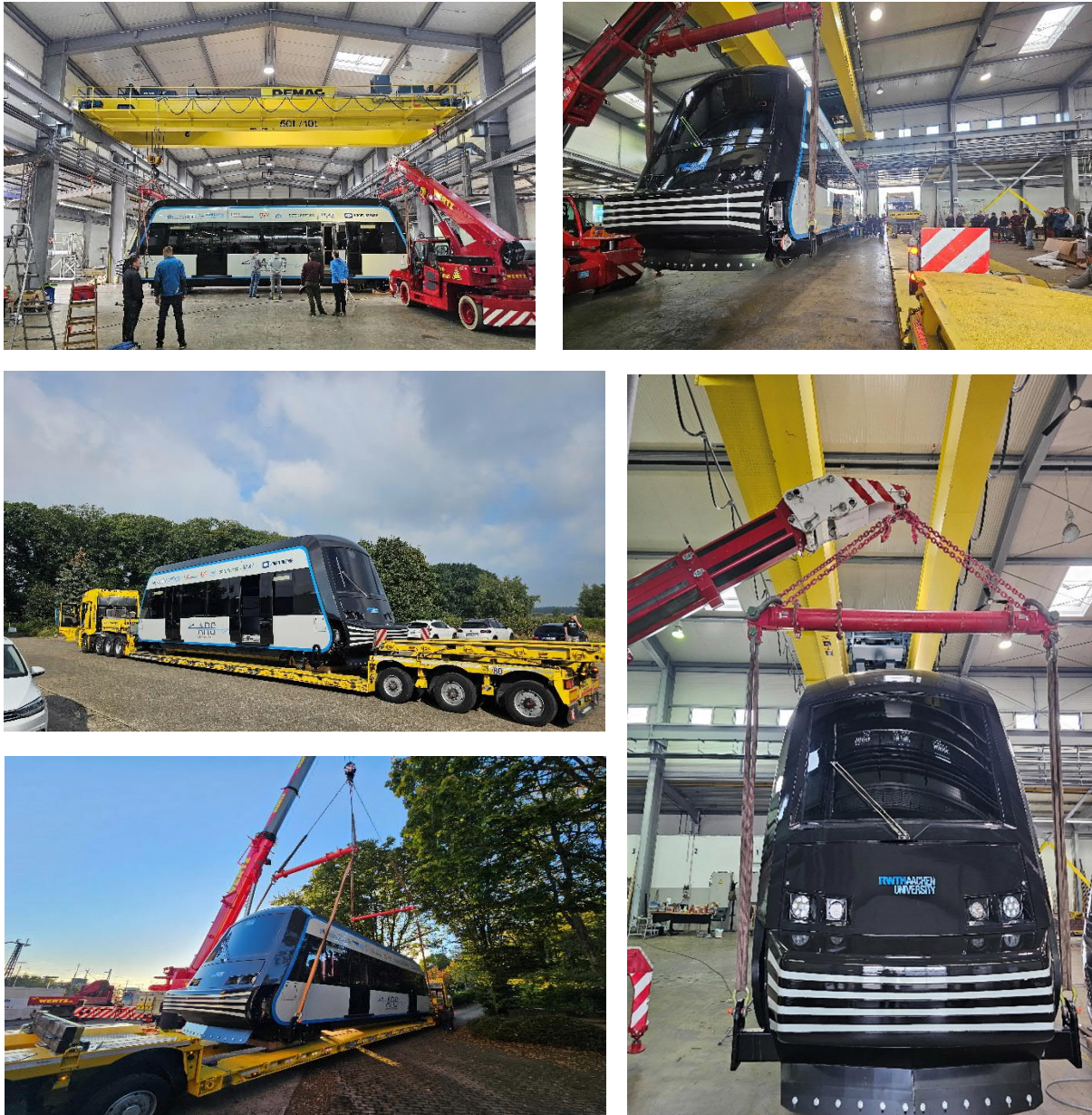


Abbildung 18: Verladung des FlexSbus am LBBZ und Entladung am IfS

Bei der Abladung am IfS war ein Mobilkran ausreichend, da hier die Hubhöhe und die Winkelstellung der Anschlagmittel ausreichend war. Zum Zeitpunkt dieses Projektberichtes steht die dynamische Inbetriebnahme sowie die ersten Testfahrten noch aus. LBBZ wird das Projekt auch weiterhin voll unterstützen.

2.8 AP 5.3: Zeichnungsverwaltung, Datenmanagement CAD

Der Datenaustausch mit Projektpartnern über einen gemeinsamen Server. Das Revisionsmanagement für die Fertigungsunterlagen wurde über eine zentrale Stückliste umgesetzt, welche von ISATEC verantwortlich geführt wurde und zum Austausch der step-Daten verwendet wurde. Die auf diesem Server abgelegten Daten wurden durch die Hausinterne Konstruktionsabteilung der LBBZ GmbH in Fertigungsgerechte Daten übersetzt und die entsprechenden PDF-Zeichnungen für die Fertigung abgeleitet. Hier bei lag ein besonderes Augenmerk auf die angezogenen Normen und den daraus resultierenden Toleranzen der DIN En15085 (Bahn Schweißnorm) und der DIN EN2768. In zusammen Arbeit mit ISATEC wurden entsprechende Anpassungen und Berechnungen durchgeführt, für den Fall das aus fertigungstechnischen Umsetzungen die Vorgaben nicht oder nur Teilweise erfüllt werden konnten.

2.9 AP 5.4: Gewichtsmanagement

Hier war die Kooperation und Abstimmung notwendig, um die zur Massenreduzierung notwendigen Einsparpotenziale für alle Unterbaugruppen zu analysieren und umzusetzen. Die aktuell umgesetzte Struktur des Demonstrators wurde in erster Linie auf die Fertigungsmöglichkeiten der LBBZ GmbH hin optimiert. Für eine eventuell folgende Produktion unter Serienbedingungen wurden bereits Potenziale für weitere Masseinsparungen identifiziert.

3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Förderprojekt FlexSbus-LR sind Personalkosten, Materialkosten, Kosten für innerbetriebliche Leistungen sowie Reisekosten beantragt worden. Im Großen und Ganzen konnte das Budget, trotz der Beschaffungsschwierigkeiten, gestiegener Energie- und Material-Preise, weitestgehend eingehalten werden. Die größten Positionen der realen Ausgaben sind die Personalkosten sowie die Materialkosten.

4 Notwendigkeit und Angemessenheit geleisteter Arbeiten

Die durchgeführten Arbeiten waren im geleisteten Umfang erforderlich, ohne unsere Fertigungs- und Montagetätigkeit wäre das Projekt nicht realisierbar gewesen.

Die geplanten Ziele sind vollständig erreicht worden, obwohl, wie zu erwarten, viele Schwierigkeiten erst bei der tatsächlichen Umsetzung und Montage zu Tage traten. Aufgrund unserer Erfahrung in der Prototypenfertigung konnten wir diesen Schwierigkeiten aber immer mit Lösungen begegnen, die zum Realisierungserfolg geführt haben.

Der hohe finanzielle Aufwand stellte für LBBZ ein erhebliches Kostenübernehmerisiko dar, welches nur mit Hilfe der Fördermittel zu realisieren war. Die während des Projektzeitraumes stattgefundenen und erfolgreich abgeschlossene Insolvenz in Eigenverwaltung hatte keine Auswirkung auf die Durchführung des Projektes. Ohne die Förderung wäre dieses Projekt nicht

durchführbar gewesen. Das Forschungsprojekt ist kostenneutral bis zum 31.12.2024 verlängert worden.

5 Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplans

Durch den erheblichen Erkenntnisgewinn und die Übertragung unserer Erfahrungen aus dem Automotive-Bereich auf die Aufgabenstellungen ist es uns gelungen ein einzigartiges Know-How in der Fertigung von Prototypen für Schienenverkehrsfahrzeuge aufzubauen. Mit diesen Möglichkeiten sind wir in der Lage uns ein neues Kundensegment zu erschließen und haben dies auch schon in einem ersten Projekt umgesetzt. Darüber hinaus waren wir so in der Lage, uns nach DIN EN 15085-2 zertifizieren zu lassen und können somit den Anforderungen der Schienenverkehrsbranche gerecht produzieren. Bereist dieses ist ein großer Erfolg des Projektes für uns, denn bis dahin konnten wir unsere Fertigungskompetenz nicht im Schienenverkehr demonstrieren.

Weiterhin rechnen wir nach den erfolgreichen Fahrttests mit einer Weiterentwicklung des FlexSbus hinsichtlich einer kundenorientierteren Industrialisierung in einem weiteren Projekt, woran wir gerne wieder teilnehmen möchten.

6 Verwertungsrechte & Patentsituation

Schutzrechte und Schutzrechtsanmeldungen wurden seitens des LBBZ nicht vorgenommen und stehen einer späteren Ergebnisverwertung nicht entgegen. Nach unserer Kenntnis ist dies auch nicht durch andere Projektpartner erfolgt.

7 Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Hier ist uns kein für das Projekt relevanter Fortschritt bei anderen Stellen bekannt.

8 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Das Forschungsvorhaben FlexSbus-LR ist in Abstimmung mit den Projektpartnern auf der Seite <http://www.aachener-rail-shuttle.de/> veröffentlicht. Darüber hinaus gibt es bislang unsererseits keine Veröffentlichungen.

9 Literaturverzeichnis

nicht benötigt